

FAPESP 60 Anos: A Ciência no Desenvolvimento Nacional

*60 Years of FAPESP:
Advancing Science
for National
Development*

Adriano D. Andricopulo
Editor / Editor

**Marco Antonio Zago
Luiz Eugênio Mello
Marie-Anne van Sluys
Vanderlan S. Bolzani
Paulo Artaxo**

Organizadores / Organizers



Uma homenagem da
Academia de Ciências do Estado de São Paulo
A tribute from the São Paulo State Academy of Sciences





FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO
THE SÃO PAULO RESEARCH FOUNDATION

Conselho superior/Board of trustees

Marco Antonio Zago
presidente/president
Ronaldo Aloise Pilli
vice-presidente/vice-president
David Everson Uip
Helena Bonciani Nader
Herman Jacobus Cornelis Voorwald
Ignácio Maria Poveda Velasco
Liedi Legi Bariani Bernucci
Mayana Zatz
Mozart Neves Ramos
Pedro Luiz Barreiros Passos
Pedro Wongtschowski
Thelma Krug

Conselho técnico-administrativo/Executive board

Carlos Américo Pacheco
diretor-presidente/executive director
Luiz Eugênio Mello
diretor científico/scientific director
Fernando Menezes de Almeida
diretor administrativo/administrative director



ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
SÃO PAULO STATE ACADEMY OF SCIENCES

Diretoria/Executive board

Vanderlan S. Bolzani
presidente/president
Paulo Artaxo
vice-presidente/vice-president
Adriano D. Andricopulo
diretor executivo/executive director

Conselho diretor/Board of trustees

Pedro Alberto Morettin
Daciberg Lima Gonçalves
Antonio M. Figueiredo Neto
Hamilton Varela
Marie-Anne van Sluys
Aline Maria da Silva
Guilherme Ary Plonski
Hernan Chaimovich
Regina Pekelmann Markus
Jose Manoel Balthazar
Carlos Alfredo Joly
Sidney José Lima Ribeiro
José Antonio Eiras

FAPESP 60 Anos: A Ciência no Desenvolvimento Nacional 60 Years of FAPESP: Advancing Science for National Development

Uma homenagem da Academia de Ciências do Estado de São Paulo
A tribute from the São Paulo State Academy of Sciences

Editor/Editor

Adriano D. Andricopulo

Organizadores/Organizers

Marco Antonio Zago
Luiz Eugênio Mello
Marie-Anne van Sluys
Vanderlan S. Bolzani
Paulo Artaxo
Adriano D. Andricopulo

Coordenadores/Coordinators

Marie-Anne van Sluys
Hernan Chaimovich
Paulo Artaxo
Carlos Alfredo Joly
Bernadette D. G. de Melo Franco
Claudia Maria Bauzer Medeiros
Adriano D. Andricopulo
Sergio Adorno

Colaboradores/Collaborators

Leonardo Luiz Gomes Ferreira
Marília Valli

DOI: <https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4>

Produção editorial: Editora Cubo

Tiragem: 1.500 exemplares

Impressão: Ispis Gráfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

FAPESP 60 anos: a ciência no desenvolvimento nacional / organização Marco Antonio Zago...[et al.]. -- São Carlos, SP: Cubo Multimídia, 2022.

Outros organizadores: Luiz Eugênio Mello, Marie-Anne Van Sluys, Vanderlan S. Bolzani, Paulo Artaxo, Adriano D. Andricopulo.

Vários coordenadores.
ISBN 978-65-86819-28-1

1. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - História I. Zago, Marco Antonio. II. Mello, Luiz Eugênio. III. Sluys, Marie-Anne Van. IV. Bolzani, Vanderlan S., V. Artaxo, Paulo. VI. Andricopulo, Adriano D.

22-123569

CDD-001.440608161

Índices para catálogo sistemático:

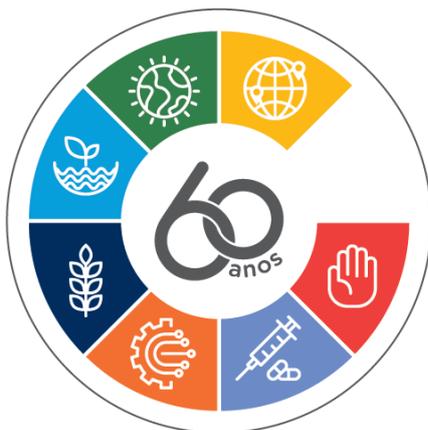
1. FAPESP : História : São Paulo : Estado
001.440608161

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

Exceto onde indicado de outra forma, este é um livro publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

Except where indicated otherwise, this is an Open Access book distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

FAPESP processo/grant: 21/12294-5.



FAPESP 60 Anos: A Ciência no Desenvolvimento Nacional 60 Years of FAPESP: Advancing Science for National Development

Uma homenagem da Academia de Ciências do Estado de São Paulo
A tribute from the São Paulo State Academy of Sciences

Esta obra marca os 60 anos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e suas realizações, ao longo destas seis décadas dedicadas à sua missão de fomento à pesquisa científica e tecnológica do estado de São Paulo. As ações da FAPESP são responsáveis pelo papel de vanguarda de São Paulo no cenário científico nacional e internacional.

Organizado em sete capítulos, o livro sintetiza o estado da arte da ciência brasileira e a sua contribuição para o desenvolvimento econômico e social do país. Este livro é resultado de um trabalho coletivo e só foi possível graças ao compromisso e dedicação de muitos pesquisadores.

Com muita alegria, convidamos todos à leitura desta obra para celebrarmos a belíssima trajetória de 60 anos da FAPESP, que se consolidou como uma das mais importantes e admiráveis agências de fomento à ciência, à tecnologia e à inovação do país. Um orgulho para o estado de São Paulo e para o Brasil.

This book celebrates the 60th anniversary of the São Paulo Research Foundation (FAPESP) and its achievements, over these six decades dedicated to its mission of fostering scientific and technological research in the state of São Paulo. FAPESP's actions are responsible for the vanguard role played by the state of São Paulo in the national and international scientific scenario.

Organized in seven chapters, the book summarizes the state of the art of Brazilian science and its contribution to the country's economic and social development. This book is the result of a collective effort and was only possible thanks to the commitment and dedication of many researchers.

It is with great joy that we invite you to read this book and celebrate with us the beautiful 60-year trajectory of FAPESP, which has consolidated itself as one of the most important and admirable agencies for the promotion of science, technology, and innovation in the country – a source of pride for the state of São Paulo and Brazil.

Vanderlan S. Bolzani
Paulo Artaxo
Adriano D. Andricopulo
Diretoria da ACIESP
ACIESP Executive Board





Introdução / Introduction

6 **FAPESP 60 anos: uma homenagem da Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP)**
FAPESP 60 years: a tribute from the São Paulo State Academy of Sciences (ACIESP)

Marie-Anne van Sluys, Luiz Eugênio Mello, Vanderlan S. Bolzani, Paulo Artaxo, Adriano D. Andricopulo, Marco Antonio Zago



Capítulo / Chapter 1

20 **Internacionalização e pesquisa colaborativa**
Internationalization and collaborative research

Edgar D. Zanotto, Glaucius Oliva, Helena B. Nader, Hernan Chaimovich, Jorge A. Guimarães, Marilda S. T. Bottesi, Sérgio F. Novaes



Capítulo / Chapter 2

48 **Mudanças climáticas globais: seus impactos e estratégias de mitigação e adaptação**
Global climate change: impacts and mitigation and adaptation strategies

Paulo Artaxo, Mercedes Bustamante, David Montenegro Lapola, Pedro Leite da Silva Dias, Gabriela Marques di Giulio



Capítulo / Chapter 3

80 **Biodiversidade terrestre e marinha: conservação, uso e desenvolvimento sustentável**
Terrestrial and marine biodiversity: conservation, use, and sustainable development

Carlos Alfredo Joly, Alexander Turra, Helder Lima de Queiroz, Jean Paul Metzger, Lucas Buruaem Moreira, Vanderlan S. Bolzani, Vera Maria Fonseca de Almeida e Val



Capítulo / Chapter 4

110 **Desafios da segurança alimentar global e equilíbrio ambiental**
Challenges for global food security and environmental balance

Bernadette Dora Gombossy de Melo Franco, Elibio Leopoldo Rech Filho, Roberto Rodrigues, Marcos Heil Costa, Lucas William Mendes



Capítulo / Chapter 5

138 **Computação: ciência, engenharia e arte**
Computing: science, engineering and art

Claudia Maria Bauzer Medeiros, André Carlos Ponce de Leon Ferreira de Carvalho, Helder Takashi Imoto Nakaya, João Marcos Travassos Romano, Marcelo Knörich Zuffo, Virgílio Augusto Fernandes Almeida



Capítulo / Chapter 6

166 **Saúde humana e os desafios globais das doenças crônicas e infecciosas**
Human health and the global challenges of chronic and infectious diseases

Adriano D. Andricopulo, Ester Cerdeira Sabino, Mayana Zatz, Juliana Quero Reimão, Marcia C. Castro



Capítulo / Chapter 7

190 **Violência e radicalização**
Violence and radicalization

Sérgio Adorno, Maria Hermínia Tavares de Almeida, Renato Janine Ribeiro, Marcos Severino Nobre, Roberto Kant de Lima, Joana da Costa Martins Monteiro

Introdução

FAPESP 60 anos: uma homenagem da Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP)

Introduction

FAPESP 60 years: a tribute from the São Paulo State Academy of Sciences (ACIESP)

OPERAÇÃO CIÊNCIA – A CONSTRUÇÃO DE UM LEGADO PARA AS FUTURAS GERAÇÕES

Celebrar as realizações da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) nos 60 anos de trabalho dedicado à sua missão de fomento à pesquisa científica e tecnológica de São Paulo neste livro é mais que um motivo de orgulho da ciência paulista, mas também uma síntese da importância dos investimentos pú-

blicos regulamentados por lei. Desde a sua criação, a FAPESP executa com rigor a receita de sua administração privativa, mantendo São Paulo na vanguarda da Ciência nacional e internacional. A decisão política e visionária de reconhecer a relevância da Ciência como instrumento de desenvolvimento econômico e social disseminou-se amplamente no mundo no pós-guerra. O papel fundamental da Ciência no desenvolvimento econômico e social fica ainda mais evidente no contexto da quarta revolução industrial e dos desafios e transformações que as “sociedades do conhecimento” demandam. Em São Paulo, a FAPESP inicia suas atividades em 23 de maio de 1962, após 15 anos de elaboração e regulamentação de sua missão e estatuto. Datas a serem comemoradas são a inclusão do artigo 123 na Constituição Estadual de 1947, a aprovação da Lei nº 5.918, em 18 de outo-

SCIENCE TASK FORCE – CREATING A LEGACY FOR FUTURE GENERATIONS

This book celebrates the achievements of the São Paulo Research Foundation (FAPESP) over its 60 years of work dedicated to its mission of promoting scientific and technological research in the state of São Paulo. The book is not only a source of pride for the science of the state of São Paulo but also a synthesis of the importance of legally regulated public investments. Since its creation, FAPESP has rigorously executed its private administration revenue, keeping the state of São Paulo at the forefront of national and international science. In the postwar world, a visionary and political decision was widely disseminated to recognize the relevance of science as an instrument of socioeconomic development. The fundamental role of science in socioeconomic development becomes even more evident in the context of the fourth industrial revolution and of the challenges and trans-

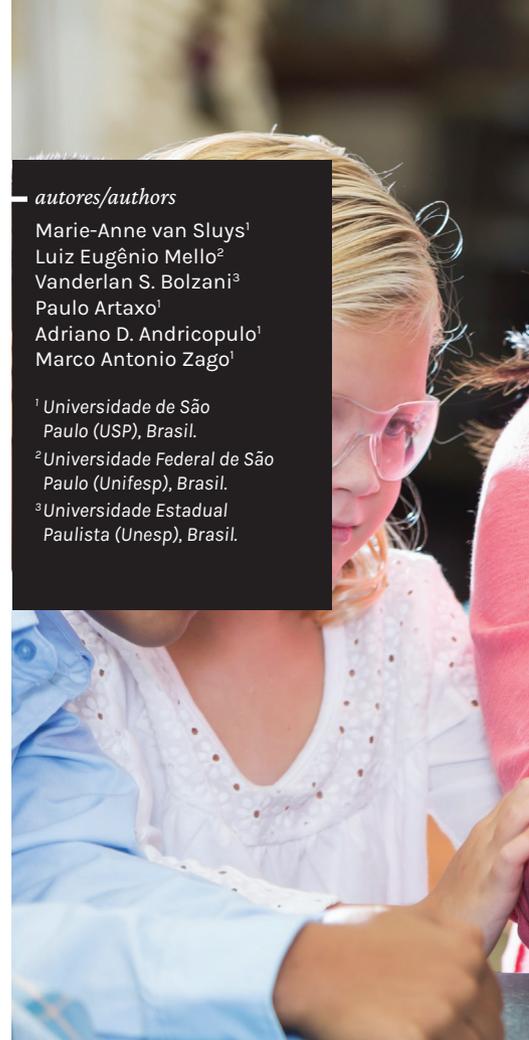
autores/authors

Marie-Anne van Sluys¹
Luiz Eugênio Mello²
Vanderlan S. Bolzani³
Paulo Artaxo¹
Adriano D. Andricopulo¹
Marco Antonio Zago¹

¹ Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

² Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), Brasil.

³ Universidade Estadual Paulista (Unesp), Brasil.



<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000000>

 Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](#), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado. *Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](#) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.*



formations demanded by “knowledge societies”. In the state of São Paulo, FAPESP began its activities on May 23rd 1962, after 15 years consolidating its statute of mission and regulation. Dates to be celebrated are the inclusion of Article 123 in the São Paulo state Constitution of 1947; the approval of Law no. 5.918 on October 18, 1960; and the enactment of Decree no. 40.132 on May 23, 1962 (São Paulo, 1962) which marked the beginning of FAPESP’s activities. Many contributions were made throughout this 15-year journey (Teixeira, 2015). Twenty-seven years passed, and the country’s redemocratization process was marked by the declaration of the new São Paulo state Constitution in 1989, which sanctioned its previous achievements in Article 271 (São Paulo, 1989) but increased FAPESP’s endowment to 1% of the state of São Paulo’s tax revenue for “use in scientific and technological development”.

bro de 1960, e o dia 23 de maio de 1962 (Decreto nº 40.132, São Paulo, 1962), que culmina com o início das atividades. Muitos contribuíram para esse percurso de 15 anos (Teixeira, 2015). Vinte e sete anos se passaram e o processo de redemocratização do país foi marcado pela elaboração da nova Constituição Paulista em 1989, que ratifica, no artigo 271 (São Paulo, 1989), os ganhos anteriores, mas amplia a dotação da Fundação para 1% da receita tributária do estado, para “aplicação em desenvolvimento científico e tecnológico”.

Transcorreram 75 anos desde aquela decisão política da Constituinte do estado de São Paulo, que se mostrou um poder transformador de longo prazo para as sociedades paulista e brasileira. Ao abrir as portas para a submissão de propostas de pesquisa, a FAPESP acolheu uma concepção ampla de pesquisa, seja teórica, experimental,

tecnológica ou de inovação, envolvendo todas as áreas do conhecimento, incluindo ciências naturais, engenharias, saúde, humanidades, ciências sociais aplicadas e artes. O apoio da FAPESP foi fundamental para o avanço do conhecimento por meio da consolidação do sistema de pesquisa no estado, feito em conjunto com as três universidades estaduais (USP, Unicamp e Unesp), as universidades federais e institutos de pesquisa sediados em São Paulo.

De um lado, o processo de formação de recursos humanos fortemente vinculados à investigação científica é uma atitude transformadora, que garante a renovação permanente das lideranças científicas. Por outro lado, o rigoroso foco no processo de análise de mérito científico do projeto e da proposta fundamentado na avaliação por pares e verificação continuada do processo decisório privilegia

a qualidade da pesquisa financiada. Este processo também se guia pela aplicação consistente de critérios de qualidade e relevância nas mais diversas áreas, não estando sujeito a vontades alheias ao mérito, coerência e potencial de impacto da proposta. As palavras relevância e impacto assumem aqui seu significado mais amplo e desvinculado de métricas. O esforço de desenvolvimento científico e tecnológico do país foi institucionalizado também pelo governo federal, com a criação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e especialmente pelas universidades federais consolidadas em todos os estados da federação.

Esse fio condutor costurou a malha de pesquisa instalada no estado. É claramente visível a expansão dos centros de pesquisa do estado, com o efeito multiplicador exponencial de cada bolsa e auxílio à pesquisa dos primeiros anos (Figura 1), com a nucleação de grupos de pesquisa e o fortalecimento das instituições públicas de pesquisa e de ensino, que se ampliaram em número, cresceram e se fortaleceram nessas seis décadas.

Além do financiamento de pesquisa nas universidades e institutos de pesquisa pú-

blicos ou privados, a FAPESP também contribui com o financiamento da pesquisa em inovação. A Figura 2 apresenta o financiamento acumulado em 2022 em dois grandes grupos: empresas e auxílios. É possível observar que a distribuição espacial dos grupos pelo estado é semelhante e acompanha em certa medida a nucleação da atividade de pesquisa apresentada na Figura 1. A FAPESP contribui para a pesquisa em empresas oferecendo oportunidades para a formação de pequenas empresas por meio do programa PIPE (Programa de Inovação em Pequenas Empresas), e parcerias com empresas consolidadas por meio do programa PITE (Programa de Inovação e Tecnologia em Empresas) e Centro de Pesquisa em Engenharia (CPE).

UMA ACADEMIA DE CIÊNCIAS NO ESTADO: ACIESP

Como a FAPESP, a Academia de Ciências do Estado de São Paulo (ACIESP) estrutura-se em 1975 como uma ação de Estado, com o apoio de governadores visionários. São Paulo é um estado empreendedor e reconhece a Ciência como uma importante força estruturante de diferentes ações. No discurso da primeira reunião da ACIESP, vários nomes mencionados ganham reconhecimento (Figura 3), mas o que chama a atenção é a clareza de que a ACIESP se es-

Seventy-five years have passed since the initial political decision by the Constituent Assembly of the state of São Paulo, which proved to be a source of long-term transformative power for the state and Brazilian societies. By opening its doors to the submission of research proposals, FAPESP welcomed a broad concept of research—theoretical, experimental, technological, and innovative—involving all areas of knowledge, including natural sciences, engineering, health, humanities, applied social sciences, and the arts. FAPESP's support was fundamental to advancing knowledge through the consolidation of the local research system, carried out jointly with the three state universities (USP, Unicamp, and Unesp), federal universities, and research institutes based in the state of São Paulo.

On the one hand, the activity of training human resources strongly linked to scientific research is a transformative attitude that ensures the permanent renewal of scientific leadership. Additionally, the strict focus on the process of analyzing the scientific merit of projects and proposals, based on peer evaluation and on the continual verification of the decision-making process, privileges the quality of the funded research. This process is also guided by the consistent application of quality and relevance criteria in the most diverse areas and is not subject to desires unrelated to the merit, coherence, and impact potential of the proposal. The words “relevance” and “impact” here assume their broader meaning, un-

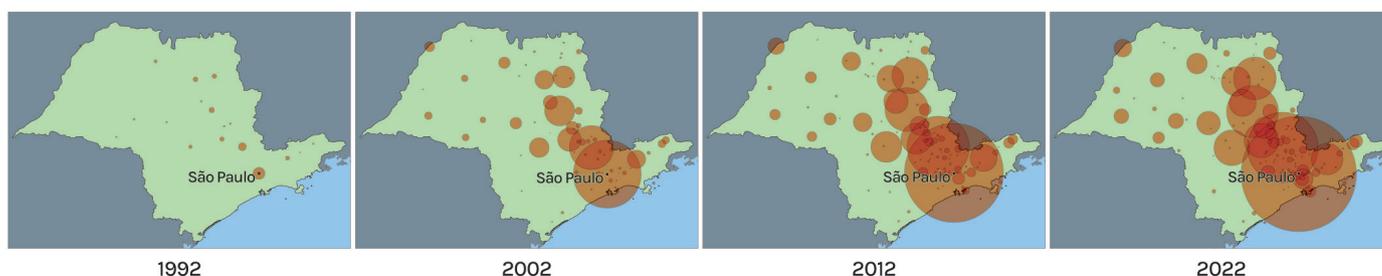


Figura 1. Distribuição geográfica no estado de São Paulo de todo o financiamento FAPESP. As informações apresentadas foram coletadas a partir da Biblioteca Virtual @ FAPESP. A coletânea de todo o investimento nas últimas quatro décadas ilustra a nucleação de atividade de pesquisa pelo estado.

Fonte: Biblioteca Virtual da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022).

Figure 1. Geographic distribution of FAPESP's overall funding in the state of São Paulo. Information collected from FAPESP's Virtual Library.

This collection of all investments in the past four decades illustrates the solidification of research activity conducted by the state.

Source: FAPESP Virtual Library (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022).

related to metrics. The effort for the scientific and technological development of the country was also institutionalized by the Federal Government with the creation of the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), the Financier of Studies and Projects (FINEP), and especially by the federal universities consolidated in all states of the federation.

This strategy has woven the research mesh installed in the state of São Paulo. The expansion of research centers in the state is clearly visible with the exponential multiplier effect of each research grant and aid in the early years (Figure 1). This expansion has resulted in the consolidation of research groups and the strengthening of public research and teaching institutions, which have grown in number, size, and strength over these six decades.

In addition to funding research at public or private universities and research institutes, FAPESP also contributes to funding innovative research. Figure 2 presents the funding accumulated in 2022 in two large groups: companies and research grants. The spatial distribution of the groups throughout the state is similar and follows somewhat the solidification of the research activity presented in Figure 1. FAPESP contributes to enterprise research by offering opportunities to establish small businesses through its Innovative Research in Small Business Program (PIPE) and partnerships with consolidated companies through its Research Partnership for Technological Innovation Program (PITE) and Engineering Research Centers (CPE).

SÃO PAULO STATE ACADEMY OF SCIENCES (ACIESP)

Like FAPESP, the ACIESP was structured in 1975 as a state action, with the support of visionary state governors. The state of São Paulo is entrepreneurial and recognizes science as an important structuring force of different actions. In a speech at the first ACIESP meeting, many names mentioned gain recognition (Figure 3), but attention must be drawn to the fact that the ACIESP was structured, in line with the Brazilian Academy of Sciences (ABC) and the Brazilian Society for the Advancement of Science (SBPC), as an organization that values scientific and technological activity concerned with bringing the knowledge

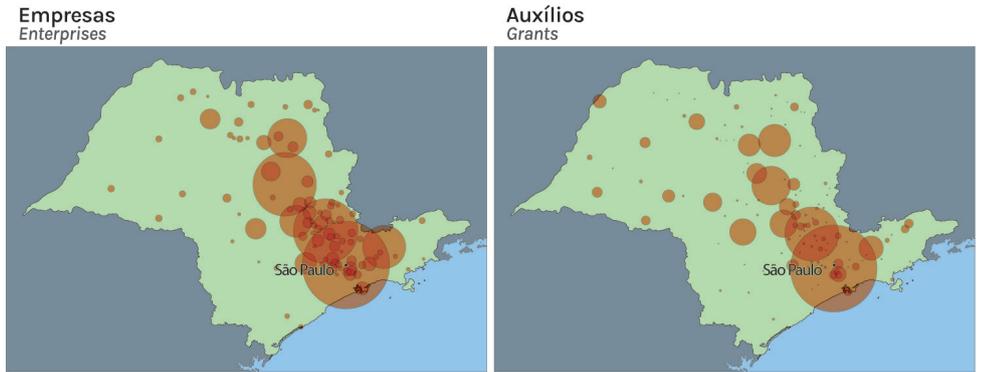


Figura 2. Iniciativas FAPESP de fomento à pesquisa em 2022. Informações coletadas a partir da Biblioteca Virtual e classificadas segundo a natureza do fomento em empresas e auxílios. Fonte: Biblioteca Virtual da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022).
Figure 2. FAPESP-supported research in 2022. Information collected from the Virtual Library and classified according to funding nature: enterprises and grants. Source: FAPESP Virtual Library (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022).

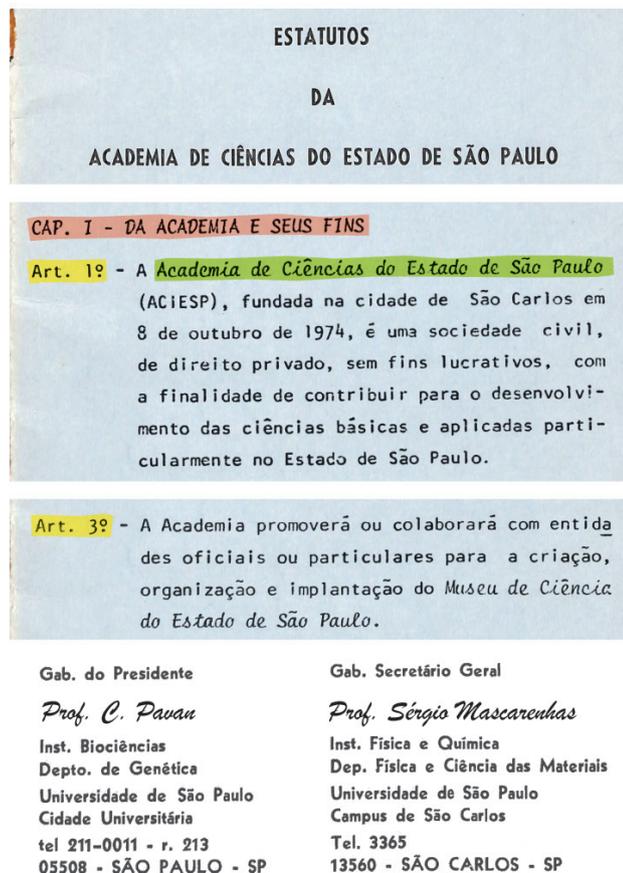


Figura 3. Imagem do Estatuto da ACIESP e destaque para os artigos primeiro e terceiro das finalidades da Academia. Fonte: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1975.
Figure 3. Photograph of the cover of the ACIESP Statute and an excerpt from the first and third articles of its mission. Source: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1975.

truturava para se juntar à Academia Brasileira de Ciências (ABC) e a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) como uma organização de valorização da atividade científica e tecnológica preocupada em levar o conhecimento produzido pelos pesquisadores do estado aos jovens através da Educação.

[...] caracterizada pelo reconhecimento da capital importância da ciência básica ao lado da aplicada, como fator de desenvolvimento, não do precário desenvolvimento puramente econômico, mas daquele outro, muito mais amplo, cuja essência é, na expressão de Asher, “a inculcação de novas atitudes e ideias... capazes de aplicar abordagens científicas à crescente gama de problemas” [...] Não é a lei, nem o plano, nem a propaganda que muda atitudes, mas a educação, educação verdadeira não mera doutrinação... (Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1976)

Mais adiante no discurso, já próximo ao fim está registrado: “*Caber-lhe-á a importante missão de comunicar a chama e a força dessas tradições ao grande público e, particularmente, à juventude*”.

Sem fins lucrativos, a ACIESP tem atualmente 274 membros titulares que contribuem anualmente com uma taxa simbólica por membro efetivo e 11 Jovens Afiliados, categoria criada para premiar jovens cientistas de grande talento, seguindo o modelo bem-sucedido dos jovens afiliados da ABC, sendo esta categoria isenta de contribuição. Os 60 anos da FAPESP são também um momento especial de celebração para a ACIESP, dada a íntima relação que cada acadêmico teve ou tem com a FAPESP, que investiu em inúmeros projetos regulares, temáticos, PIPES, PITES, ao longo destes anos (Figuras 1 e 2). Esta relação membros ACIESP/FAPESP pode ser um excelente exercício para discussão dos avanços e impactos gerados pela Ciência paulista em todas as áreas do conhecimento e nas tecnologias que transformaram São Paulo no polo de pesquisa mais robusto da América do Sul. Um olhar sobre o desenvolvimento científico e tecnológico das nações demonstra que são os investimentos

públicos destinados à pesquisa fundamental os pilares de alta tecnologia e inovações tão essenciais à riqueza das nações, tão bem contextualizada na obra *Riqueza e a pobreza das nações*. Por que algumas são tão ricas e outras são tão pobres, do economista David Landes (Landes, 1998).

Um dado historiográfico fascinante das competições científicas envolvendo estudantes brasileiros trata das olimpíadas de Matemática. Em 1977, sob os auspícios da ACIESP, que se colocava à frente pelas atividades de vanguarda da época, uma Olimpíada foi realizada sob a coordenação do professor Shiguo Watanaabe. Sua atuação ativa projetou a ACIESP nacional e internacionalmente, pelo esmero com que estas competições foram realizadas, com a participação ativa da ACIESP, cujos objetivos eram garimpar estudantes de talento, visando ao aperfeiçoamento dos conhecimentos da Matemática por meio de mudanças metodológicas e de políticas voltadas para a melhoria das escolas públicas.

O Brasil tem tradição nesta competição até hoje, reconhecida mundialmente. Quando a ACIESP iniciou a Olimpíada de Matemática, ainda não existiam as duas grandes competições nacionais que mobilizam um número substancial de professores, educadores e alunos. A Olimpíada Brasileira de Matemática (OBM) e a Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas (OBMEP) reúnem estudantes brasileiros excelentes, candidatos a medalhistas aptos a participar de competições internacionais. A OBMEP é hoje o projeto nacional de olimpíadas mais bem-sucedido e conta com o apoio do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), da Sociedade Brasileira de Matemática (SBM), e recursos do Ministério da Educação (MEC) e do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) (Duarte & Galvão, 2014).

A FAPESP ATRAVÉS DOS ANOS

Diferentes períodos da construção da relação da FAPESP com o sistema de ciência e

produced by state researchers to young people through education:

[...] characterized by the recognition of the capital importance of basic science alongside applied science as a factor of development, not of the precarious, purely economic development, but of a broader one, whose essence is, in Asher’s words, ‘the inculcation of new attitudes and ideas ... capable of applying scientific approaches to the growing range of problems ... It is not the law, nor the plan, nor the propaganda that changes attitudes, but education—true education, not mere indoctrination (Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1976).

Close to the end of the speech, the speaker stated, the “ACIESP will be responsible for the important mission of communicating the vocational spirit of these traditions to the general public and, in particular, to young people.”

The ACIESP is a nonprofit institution currently consisting of 274 full members, who contribute annually a symbolic fee per effective member. It also has 11 young affiliates, a contribution-exempt category created to reward highly talented young scientists following the successful model of ABC’s young affiliates. FAPESP’s 60th anniversary is also a special moment of celebration for the ACIESP, given the close relationship that each of its members, who are also academics, have had with FAPESP, resulting from its investment in numerous regular and thematic projects, as well as through PIPES and PITES, over the years (Figures 1 and 2). This relationship between ACIESP/FAPESP members can be an excellent opportunity to discuss the advances and impacts generated by science in the state of São Paulo in all areas of knowledge and on the technologies that have transformed the state into the most robust research hub in South America. A look at the scientific and technological development of central nations shows that public investments in research are the pillars of high technology and innovation, essential to the wealth of nations, as contextualized in the book “The Wealth

and Poverty of Nations: Why Some are So Rich and Some So Poor”, by David Landes (Landes, 1998).

Fascinating historiographical data of scientific competitions involving Brazilian students concern the Mathematical Olympiads. In 1977, under the auspices of the ACIESP, which was at the forefront of the avant-garde activities of the time, an Olympiad was coordinated by Professor Shigueo Watanabe. His engaged performance garnered national and international recognition for the ACIESP for the care with which the competitions were carried out with the active participation of the ACIESP. The latter's objectives were to prospect talented students and improve their knowledge about mathematics through changes in methodologies and policies aimed at the state's better public schools.

To this day, Brazil has a traditional role in this world-renowned competition. When the ACIESP created the Mathematical Olympiad, the two major national competitions that mobilize a significant number of teachers, educators, and students. The Brazilian Mathematical Olympiad (OBM) and the Brazilian Mathematical Olympiad of Public Schools (OBMEP) gather excellent Brazilian students, and candidates for medals able to participate in international competitions did not exist yet. Currently, the OBMEP is the most successful national Olympiad Project and has the support of the Institute for Pure and Applied Mathematics (IMPA), the Brazilian Mathematical Society (SBM), and resources from the Ministry of Education (MEC) and the Ministry of Science, Technology and Innovation (MCTI) (Duarte & Galvão, 2014).

FAPESP OVER THE YEARS

Throughout FAPESP's history, different periods can be identified in the construction of its relationship with the science and technology system. The first decades were marked by a greater concern with basic science projects and with the research infrastructure in the state, which at that time was still incipient, especially in universities and institutes. In addition, a clear effort was made to update knowledge and research in the state, favoring contact with foreign countries, the arrival of renowned researchers, and the organization of symposia and seminars. Scholarships and grants were intended for researchers who formed research groups, consolidating local experi-

tecnologia podem ser identificados ao longo de sua história. Os primeiros decênios foram marcados por maior preocupação com os projetos de ciência básica e com a infraestrutura de pesquisa no estado, naquela época, ainda muito incipiente, em especial nas universidades e nos institutos. Houve também um claro esforço para atualizar o conhecimento e a pesquisa no estado, favorecendo o contato com o exterior, a vinda de pesquisadores reconhecidos e a organização de simpósios e seminários. Bolsas e auxílios foram destinados a pesquisadores que nuclearam grupos de pesquisa, consolidando a experiência local ou trazendo a experiência do exterior e de outros estados brasileiros.

No primeiro ano de funcionamento, a Fundação analisou 507 propostas e recomendou 322 para financiamento (57 bolsas e 265 auxílios). Nos primeiros 30 anos, houve um aumento de quatro vezes do número de projetos apoiados; em contrapartida, entre o início da década de 1980 (10.292 propostas) e o ano 2020, ocorreu um aumento de 10 vezes no número de projetos apoiados (108.910 propostas). Atualmente, esses projetos distribuem-se em auxílios à pesquisa e inovação com financiamento de pequenas empresas, institutos de pesquisa, hospitais e instituições de ensino superior (Figuras 1 e 2). Com a aproximação da virada do século 20 para o século 21, a inserção da Ciência no cotidiano e no mundo ganha espaço mediante colaborações internacionais e com empresas.

Entre os anos de 1992 e 1999, um grande número de iniciativas de financiamento tem início, e a pesquisa orientada à missão começa a ser estruturada. Um portfólio para a atração e fixação de jovens pesquisadores tem início com as bolsas para pós-doutores e também o auxílio à pesquisa Jovem Pesquisadores em Centros Emergentes. Este último visou à distribuição dos jovens em centros ainda sem tradição consolidada de pesquisa e também à formulação de novas linhas de pesquisa. Ainda nesse período, têm início os primeiros programas de visão estratégica e também com uma missão claramente definida. Nasce o projeto Genoma em 1997 e, em 1999, o programa BIOTA. Du-

as estratégias distintas de organização da pesquisa, mas claramente ambas tinham o olhar para o futuro. O projeto Genoma teve início com o sequenciamento do genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*, responsável pela doença do amarelinho nos laranjais paulistas. A rede de pesquisadores que participaram desta iniciativa foi denominada Rede ONSA – Organização para Sequenciamento e Análise de Nucleotídeos e se organizou de forma virtual, aproveitando a estrutura da rede ANSP, sustentando a transmissão dos dados pela internet. O Instituto Virtual de Genoma de São Paulo congregou pesquisadores renomados de diferentes áreas do conhecimento (Medicina, Agronomia, Biologia, Computação, Química, entre outras) e cada qual com diferentes expertises (Câncer, Fitopatologia, Bioinformática, Bioquímica e Biologia Molecular). Um único objetivo comum a todos era determinar a sequência do genoma do patógeno causador da doença para 30 grupos de pesquisa espalhados pelo estado. O programa BIOTA focou na estruturação de uma rede de especialistas em biodiversidade para juntos mapearem a diversidade das espécies no estado de São Paulo. Importante ressaltar que não foi sem grandes discussões e críticas por parte da comunidade acadêmica, mas hoje fica evidente que ambas as iniciativas alavancaram competências fundamentais no enfrentamento dos problemas atuais e descritos nos capítulos a seguir.

Do projeto Genoma da *Xylella*, a FAPESP recebe o convite do USDA – Departamento de Agricultura americano – para liderar o sequenciamento do genoma de duas outras linhagens de *Xylella*, a que causa doença nas videiras, denominada Pierce's disease, grave problema na Califórnia na virada do século 21, e a *Xylella*, que causa doença no oleandro, planta ornamental que muitas vezes compartilha a mesma área que as videiras. O programa BIOTA contribuiu por sua vez no estabelecimento da parceria entre a FAPESP e a NSF – National Science Foundation. Estes dois programas, entre outros, deram à FAPESP projeção internacional.

Visto o sucesso dessas iniciativas, novos programas estratégicos são estruturados a

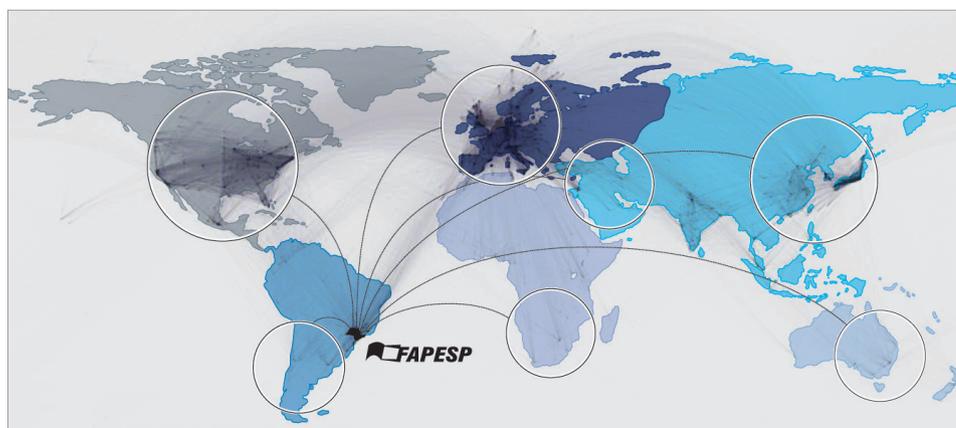


Figura 4. Ciência se constrói pelo compartilhamento do conhecimento. Sobreposição de imagens do mapa global das colaborações científicas entre 2005 e 2009 computado por Olivier H. Beauchesne @ Scientific Metrix sobre o mapa dos acordos internacionais mantidos pela FAPESP. Fonte: Olivier H. Beauchesne @ Scientific-Metrix, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Figure 4. Science is constructed by sharing knowledge. Image of the global map of scientific collaborations between 2005 and 2009 computed by Olivier H. Beauchesne @ Scientific Metrix overlaid with that of the map of international agreements by FAPESP. Source: A Olivier H. Beauchesne @ Scientific-Metrix, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

partir de 2008. O programa BIOEN, organizado em cinco divisões, promoveu pesquisas em Bioenergia nas suas mais diferentes facetas, desde a produção de biomassa até os aspectos de sustentabilidade econômica, ambiental e social. O programa FAPESP de Mudanças Climáticas produz conhecimento em diferentes escalas (local – regional – global) e propõe estudos de síntese para predição e modelagem de diferentes cenários dos padrões de clima e seus impactos na sociedade. Como a ONSA e o BIOTA, o BIOEN e o Mudanças Climáticas são reconhecidos internacionalmente, conforme o convite para a elaboração do relatório SCOPE (Souza et al., 2015), que trata da Bioenergia e Sustentabilidade promovido pela UNESCO, e a participação continuada dos pesquisadores do PPMCG no IPCC. O capítulo 1 deste livro destaca a qualidade e importância das cooperações (Figura 4).

Neste início do século 21, o Sistema Paulista de Ciência, Tecnologia e Inovação é

relativamente estável, dinâmico e o mais maduro do país. A comunidade de pesquisadores do estado atinge 54.000 pessoas, dos quais mais de metade (54%) atuam em cerca de 10.000 empresas inovadoras, enquanto 39% estão nas 94 instituições públicas ou privadas de ensino superior e institutos de pesquisa, e 5% no governo.

A IMPORTÂNCIA DAS UNIVERSIDADES E INSTITUTOS

O Estatuto da FAPESP, fundamentado na sua Lei Orgânica (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1960), especifica que a Fundação tem por objetivo custear a execução de projetos de pesquisa, mas claramente veda que realize contratação de pessoal próprio para essa finalidade. Portanto, a visão é muito clara: a FAPESP financia a execução de pesquisas, mas não as executa. Portanto, o sucesso da FAPESP é, de fato, o de ter potencializado

ence or introducing novel approaches from abroad and from other Brazilian states.

In its first year of operation, FAPESP analyzed 507 proposals and recommended 322 for funding (57 scholarships and 265 grants). FAPESPs' first 30 years witnessed a fourfold increase in the number of supported projects. Meanwhile, from the early 1980s (10,292 proposals) to 2020, the number of these projects increased 10-fold (108,910 proposals). Currently, these projects are distributed through research and innovation grants with funding for small businesses, research institutes, hospitals, and higher education institutions (Figures 1 and 2). At the end of the 20th century, science was inserted into everyday life through collaborations with foreign countries and enterprises.

Between 1992 and 1999, a large number of funding initiatives were instrumental, and mission-oriented research began to be structured. A portfolio was created to attract and retain young researchers through postdoctoral fellowships and research support for Young Researchers in Emerging Centers. The latter aimed at distributing young professionals in centers with no consolidated research tradition and at formulating new lines of research. Additionally, in this period, the first programs were created with strategic views and clearly defined missions: two examples are GENOME Project and the BIOTA Program, which were created in 1997 and 1999, respectively. These two projects had two strategies with different research organizations but clearly with the same future vision. The GENOME Project began sequencing the genome of the bacterium *Xylella fastidiosa*, which is responsible for citrus variegated chlorosis, a disease affecting orange plantations in the state. The participating researchers were called the Organization for Sequencing and Analysis of Nucleotides Network (ONSA Network) and were organized remotely through the structure of the Academic Network at São Paulo (ANSP Network), currently REDNESP Network, supporting data transmission via the internet. The São Paulo Virtual Genomics Institute gathered renowned researchers from different knowledge areas (medicine, agronomy, biology, information technology, chemistry, among others), each with different areas of expertise (cancer, phytopathology, bioinformatics, biochemistry, and molecular biology). For 30 research

groups throughout the state, the common objective was to determine the genomic sequence of the disease-causing pathogen. The BIOTA Program focused on structuring a network of biodiversity experts to jointly map species diversity in the state of São Paulo. These projects provoked many discussions and were criticized by the academic community; however, both initiatives have enhanced key competencies to tackle today's problems, as described in subsequent chapters.

As a result of the GENOME Project on *Xylella*, FAPESP was invited by the United States Department of Agriculture (USDA) to lead the genomic sequencing of two other *Xylella* strains: one that causes a vine disease, called Pierce's disease—a serious problem in California at the end of the previous century—and another that causes disease in oleander—an ornamental plant often cultivated in the same area as vines. Because of the BIOTA Program, a partnership was established between FAPESP and the National Science Foundation (NSF). These two programs, among others, have provided FAPESP with international recognition and participation.

Given the success of these initiatives, new strategic programs were structured as of 2008. The BIOEN Program, organized into five divisions, promoted research in bioenergy in its different facets, from biomass production to aspects of economic, environmental and social sustainability. The FAPESP Research Program on Climate Change (FRPGCC) produces knowledge at different scales (local, regional, and global) and proposes synthesized studies to predict and model different scenarios of climate patterns and their impacts on society. BIOTA, BIOEN and the FRPGCC are internationally recognized, according to the invitation to prepare the SCOPE report (Souza et al, 2015), which addresses bioenergy and sustainability, promoted by UNESCO, and the continued participation of Policy and Management Consulting Group (PPM-CG), researchers on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The first chapter of this book highlights the quality and importance of collaborations (Figure 4).

At the beginning of the 21st century, the São Paulo innovation, science and technology system was relatively stable, dynamic, and the most mature in the country. The research community in the state has approximately 54,000 researchers: 54% working in approximately 10,000 in-



a força da pesquisa do sistema de ciência, tecnologia e inovação do estado. Quando a Constituição de 1947 (São Paulo, 1947) foi elaborada, com a primeira referência à futura fundação, “O amparo à pesquisa científica será propiciado pelo Estado, por intermédio de uma Fundação, organizada em moldes que forem estabelecidos por lei”, o estado de São Paulo estava constituindo uma invejável rede de instituições para sustentar o desenvolvimento econômico, industrial, agrícola e urbano. Desde o final do século 19 foram sendo criados: o Instituto Agrônomo de Campinas, a Escola Politécnica, a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, o Instituto Butantan, a Faculdade de Medicina, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o Laboratório de Higiene (precursor da Faculdade de Saúde Pública), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), uma referência ao monitoramento ambiental do nosso território, e finalmente a Universidade de São Paulo, em 1934. O sistema viria ainda a se ampliar com a criação de mais duas universidades públicas paulistas (Unicamp e Unesp), a abertura de três universidades federais, e a criação de um sistema de ensino técnico e educação vocacional, o Centro Paula Souza.

Além do mais, em fevereiro de 1989, o Decreto do Governo do Estado nº 29.598 (São Paulo, 1989) assegurou também estabilidade e autonomia à gestão financeira das três universidades públicas paulistas, modelo ainda inédito no país. Essa medida, juntamente com o dispositivo constitucional que garante o financiamento da FAPESP, com o apoio ao Centro Paula Souza e aos institutos de pesquisa, representam uma política de Estado que, sustentada ao longo dos anos, garante o crescimento dessas atividades.

O ESTADO DA CIÊNCIA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Ao iniciar os eventos de comemoração de seus 60 anos, em maio de 2021, a FAPESP inaugurou o site *Pesquisa, Inovação e Parcerias para a Agenda 2030*, onde estão inde-

novative enterprises, 39% in the 94 public or private higher-education institutions and research institutes, and 5% in government.

IMPORTANCE OF THE UNIVERSITIES AND INSTITUTES

The FAPESP Decree (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1960), based on its Organic Law, specifies that the Foundation has the objective of funding the execution of research projects but clearly prohibits it from hiring its own personnel for this purpose. Therefore, FAPESP finances the execution of research but does not carry it out. Thus, FAPESP's success resides in having enhanced the research strength of the São Paulo innovation, science and technology system. The 1947 State Constitution (São Paulo, 1947), was drafted with the first reference to the future foundation: “Support to scientific research will be provided by the state through a foundation, organized in the manner established by law”. Thus, the state of São Paulo was building an enviable network of institutions to support economic, industrial, agricultural and urban development. The following institutions have been created since the late 19th century: the Agronomic Institute of Campinas, the Polytechnic School of Engineering, the Luiz de Queiroz College of Agriculture (ESALQ), the Butantan Institute, the Faculty of Medicine, Institute for Technological Research (IPT), the Hygiene Laboratory (precursor of the Faculty of Public Health), the National Institute for Space Research (INPE; a reference in the environmental monitoring of our territory), and finally the University of São Paulo in 1934. This system was also expanded with the creation of two more public universities (Unicamp and Unesp), the opening of three federal universities, and the creation of a system of technical and vocational education—the Paula Souza Center.

Furthermore, in February 1989, State Government Decree no. 29,598 (São Paulo, 1989) ensured stability and autonomy for the financial management of the three public universities in the state, a model unprecedented in the country until then. This measure—together with the constitutional provision that guarantees the funding of FAPESP, which supports the Paula Souza Center and research institutes—represents a State policy that, sus-

tained over the years, ensures the growth of these activities.

STATE OF SCIENCE IN THE STATE OF SÃO PAULO

When FAPESP started the events to celebrate its 60th anniversary in May 2021, it opened the website *Research, Innovation and Partnerships for the 2030 Agenda*, on which all the Foundation's programs and projects are indexed to the 17 Sustainable Development Goals (SDGs). Proposed by the United Nations (UN), the SDGs are a type of "road map" to end poverty, protect the environment and climate, and ensure that all people enjoy peace and prosperity. FAPESP thus reaffirms its commitment to the 2030 Agenda, summarized in the final document of the Rio+20 Conference: "The future we want" (Rio+20, 2012).

With that initiative, FAPESP wanted to show the contribution of the research carried out in the state of São Paulo to the sustainability, equity, and well-being of all Brazilians.

Similarly, when the ACIESP organized its study on the state of science in the state of São Paulo, it based it on these objectives and strategic development axes. This approach reflects the strategic view shared by FAPESP's Board of Trustees that the resumption of growth and development in the post-COVID-19 era is being guided worldwide by strategic themes: the transition to a low-carbon economy, social sustainability, and digital transition. These themes emphasize the need to build a more sustainable and equitable society.

Finally, in the past two years, the whole world and the scientific community have faced a major clash. The COVID-19 pandemic, which began at the end of 2019, was one of the greatest recent tragedies of humanity, causing the death of approximately 6.3 million people globally, and at least 670,000 of them in Brazil. In addition to the health tragedy, it was a moment of conflict between science and obscurantism. Knowledge, rationality, and scientific methods were confronted with ideological bias and science denial. This clash brought science and technology closer to the population, which followed the evolution of the pandemic and the reactions of governments and scientific movements. Science has won, and the population has realized the importance of research for saving lives. Eventually, the vaccines developed, pro-

xados aos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) todos os programas e projetos da Fundação. Propostos pela ONU, os ODS representam uma espécie de "mapa do caminho" para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima, e para garantir que todas as pessoas desfrutem de paz e prosperidade. A FAPESP reafirma, assim, seu compromisso com a *Agenda 2030*, resumida no documento final da Conferência Rio+20: *O Futuro que Queremos* (Rio+20, 2012).

Com essa iniciativa, a FAPESP quis mostrar a contribuição da pesquisa realizada no estado de São Paulo para a sustentabilidade, a equidade e o bem-estar de todos os brasileiros.

Em consonância com essa visão, a ACIESP, ao organizar seu estudo sobre o estado da Ciência em São Paulo, tomou por base esses objetivos e eixos estratégicos do desenvolvimento. Essa abordagem reflete a visão estratégica, compartilhada pelo Conselho Superior da FAPESP, de que a retomada do crescimento e desenvolvimento na era pós-covid, no mundo todo, está sendo guiada por temas estratégicos: a transição para uma economia de baixo carbono, a sustentabilidade social e a transição digital. Estes temas enfatizam a necessidade da construção de uma sociedade mais sustentável e justa.

A Ciência venceu, e a população percebeu a importância da pesquisa salvando vidas. No final, as vacinas, desenvolvidas, produzidas e aplicadas largamente na população em tempos recordes, venceram a pandemia.

Finalmente, nos últimos dois anos, o mundo todo e a comunidade científica enfrentaram um grande embate. A pandemia de covid-19, que se iniciou no final de 2019, constituiu uma das maiores tragédias recentes da humanidade, na qual morreram cerca de 6,3 milhões de pessoas no mundo, das quais mais de 670.000 no Brasil. Além da tragédia sanitária, foi um momento de conflito entre a Ciência e o obscurantismo. Conhecimento, racionalidade e método científico foram confrontados pelo viés ideológico e pela negação da Ciência. Este embate trouxe a ciência e a tecnologia para mais próximo da população, que acompanhou a evolução da epidemia e das reações dos governos e dos movimentos dos cientistas. A Ciência venceu, e a população percebeu a importância da pesquisa salvando vidas. No final, as vacinas, desenvolvidas, produzidas e aplicadas largamente na população em tempos recordes, venceram a pandemia. A resposta do estado de São Paulo à pandemia de covid teve uma forte participação de toda a comunidade científica, das universidades, dos institutos e de empresas e da FAPESP no apoio à vacina e aos testes clínicos e diagnósticos, ao Instituto Butantan, às pequenas empresas produtoras de vacinas, respiradores, de testes diagnósticos, de tomógrafos portáteis. A Ciência baseada em evidência, o lema *Scien-*



duced, and widely applied to the population in record time defeated the pandemic. The response of the state of São Paulo to the COVID-19 pandemic had strong participation from the entire scientific community, universities, institutes, enterprises, and FAPESP, all of which supported the vaccines and clinical/diagnostic tests. In addition, the Butantan Institute and small businesses produced vaccines, respirators, diagnostic tests, and portable tomographs. Evidence-based science—embodied in the motto “Scientia Vincens”, which permeates the installed research network—can be observed in the message of the speech delivered at the first ACIESP meeting, in which the partnership between academia and its counterparts ABC and SBPC was identified:

[...] dangerous crises [are] generated by overwhelming anti-intellectualism. [...] However, the patrimony and scientific potential of the state of São Paulo justify the presence of an Academia [...] determined to fight so that they never become dwarfed or dissolved, willing to cooperate, through comprehensive studies, with the public authorities and the private sector, in the thorny task of establishing options of technical nature that are relevant to national progress (Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1976).

This introduction is followed by seven thematic chapters, described briefly below. The thematic chapters, written by Brazilian senior researchers and young scientists, were selected for a critical analysis of the state of the art of science in the state of São Paulo and Brazil and to examine the many research opportunities arising in the coming years. These topics demonstrate how science contributes to national development.

1. INTERNATIONALIZATION AND COLLABORATIVE RESEARCH: The advancement of scientific knowledge presupposes information exchange. This process can occur through results publications and, as described in here, through collaborative research between researchers. Science, in almost all areas, is a national and international collaborative activity.

- 2. GLOBAL CLIMATE CHANGE: IMPACTS AND MITIGATION AND ADAPTATION STRATEGIES:** *A major challenge today, climate change has strongly impacted society as it constitutes a threat capable of destabilizing our economic and social model. It can further be seen as an opportunity to build a more sustainable society. Reducing greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, and others) and adapting to climate change while minimizing socioeconomic impacts are necessary targets to achieve the SDGs. Scientific knowledge is the most solid instrument for guiding public policies and the necessary economic changes so a sustainable society can be built.*
- 3. TERRESTRIAL AND MARINE BIODIVERSITY: CONSERVATION, USE, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT:** *An inheritance of billions of years of evolution on Earth, biodiversity is responsible for the planet's balance, and it ensures the life of the human species itself. From ancient civilizations to today, humans have always depended on nature for their survival and improvement of their quality of life (QoL), which is also a valuable source for the bioeconomy, provided it is in harmony with the SDGs.*
- 4. CHALLENGES FOR GLOBAL FOOD SAFETY AND ENVIRONMENTAL BALANCE:** *Science and technology have contributed to expanding food production, but the growths of the population and urbanization are increasingly important challenges. Additionally, large-scale agriculture, which is necessary to feed this growing population, can increasingly threaten both biodiversity and the necessary reduction in greenhouse gas emissions, especially CO₂ and methane. Thus, as societies increase their production capacities and sustainable consumptions, they should consider the impact of these actions on climate change and the restriction of natural resources, with a view to ensuring food security for future generations.*
- 5. COMPUTING: SCIENCE, ENGINEERING AND ART:** *The digital revolution represents the most radical global transformation, affecting all human activities: communications, health, commerce, education, transport, engineering, agriculture, industry, city management, and public administration. The innovative development of artificial intelligence, Industry 4.0, robotics and automation, and data science handling*

cia Vinces, que permeia a rede de pesquisa instalada, se identifica com a mensagem do discurso proferido na primeira reunião da ACIESP, em que se destaca a parceria entre a Academia e suas congêneres ABC e SBPC na identificação de

[...] perigosas crises, geradas por avassalador anti-intelectualismo. [...] Mas o patrimônio e o potencial científico de São Paulo justificam a presença de uma Academia [...] decidida a lutar para que eles nunca se amesquinhem ou desfibrem, disposta a cooperar, mediante aprofundados estudos, com as autoridades públicas e a iniciativa privada, na espinhosa tarefa de estabelecer opções de natureza técnica relevantes ao progresso nacional (Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1976).

Seguem-se a esse capítulo introdutório, sete capítulos temáticos conforme descrito brevemente abaixo. Os temas, redigidos por pesquisadores seniores e jovens cientistas brasileiros, foram selecionados para uma análise crítica do estado da arte da Ciência em São Paulo e no Brasil, e para examinar as grandes oportunidades de pesquisa nos próximos anos. Esses temas demonstram como a Ciência contribui para o desenvolvimento nacional.

- 1. INTERNACIONALIZAÇÃO E PESQUISA COLABORATIVA:** O avanço do conhecimento científico pressupõe a troca de informação. Esta pode ocorrer através da publicação de resultados e, como descrito no capítulo, através de pesquisa colaborativa entre pesquisadores. A Ciência, em quase todas as áreas, é uma atividade colaborativa nacional e internacional.
- 2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS: SEUS IMPACTOS E ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO:** Um grande desafio da atualidade, as mudanças climáticas têm impactado fortemente a sociedade e constituem, ao mesmo tempo, uma ameaça capaz de desestabilizar nosso modelo econômico e social, e podem ser vistas como uma oportunidade de construção de uma sociedade mais sustentável. Reduzir as emissões de ga-

ses de efeito estufa (CO₂ e CH₄, além de outros), adaptando-se às mudanças do clima, e ao mesmo tempo minimizar os impactos socioeconômicos, são metas necessárias para que possamos atingir os ODS. O conhecimento científico representa o mais sólido instrumento para orientar políticas públicas e as necessárias mudanças econômicas para que possamos construir uma sociedade sustentável.

- 3. BIODIVERSIDADE TERRESTRE E MARINHA: CONSERVAÇÃO, USO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:** Herança de bilhões de anos de evolução da vida na terra, a biodiversidade é responsável pelo equilíbrio planetário, assegurando a vida da própria espécie humana. Das civilizações antigas aos dias atuais, o homem sempre dependeu da natureza para a sua sobrevivência e melhoria da qualidade de vida, que constitui também uma fonte valiosa para a bioeconomia, desde que em harmonia com os ODS.
- 4. DESAFIOS DA SEGURANÇA ALIMENTAR GLOBAL E EQUILÍBRIO AMBIENTAL:** Ciência e tecnologia contribuíram para a expansão da produção de alimentos, mas o crescimento populacional e a urbanização são desafios cada vez mais importantes. Adicionalmente, a agricultura em larga escala, necessária para alimentar essa população crescente, cada vez mais pode representar ameaça tanto a biodiversidade, como a necessária redução da emissão de gases de efeito estufa, em especial CO₂ e metano. Assim, o aumento da capacidade produtiva e o consumo sustentável devem considerar seu impacto sobre as mudanças climáticas e a restrição de recursos naturais, visando ainda garantir a segurança alimentar das próximas gerações.
- 5. COMPUTAÇÃO: CIÊNCIA, ENGENHARIA E ARTE:** A revolução digital representa a mais radical transformação global, atingindo todas as atividades humanas: comunicações, saúde, comércio, educação, transporte, engenharia, agricultura, indústria, gestão das cidades, admi-

nistração pública. O desenvolvimento inovador da inteligência artificial, a indústria 4.0, a robótica e automação, e tratamento da ciência de dados, já estão tendo grande impacto econômico e social. Parcelas importantes da população estão alijadas deste processo, aumentando as desigualdades sociais.

6. SAÚDE HUMANA E OS DESAFIOS GLOBAIS DAS DOENÇAS CRÔNICAS E INFECCIOSAS:

A saúde ocupa posição central para o desenvolvimento social e econômico de todas as nações. O aumento populacional e da expectativa de vida, a mudança global do perfil de carga de doenças, com predomínio de doenças como câncer, do sistema cardiovascular, pulmonares e Alzheimer, criaram demandas adicionais nas fronteiras do conhecimento científico e tecnológico para o desenvolvimento de novos medicamentos, vacinas, diagnósticos e terapias. Medicina de precisão, incluindo medicina genômica e terapia gênica, câncer e envelhecimento, são tópicos relevantes neste cenário. Além disso, o recente exemplo da epidemia de SARS-CoV-2 mostrou que a humanidade continua exposta a riscos de processos altamente destrutivos. Salvar vidas e melhorar a qualidade de vida são desafios prioritários para atingir vários dos ODS.

7. VIOLÊNCIA E RADICALIZAÇÃO:

A crescente violência urbana e no campo representa marca das sociedades no mundo todo, atingindo predominantemente as parcelas mais vulneráveis. Uma das faces dessa violência, a radicalização política, enfraquece o diálogo entre as instituições e os diferentes atores da sociedade, trazendo prejuízos à qualidade da democracia. Redução da violência em nosso país representa um enorme desafio que terá de ser vencido.

CONCLUSÃO: O PODER TRANSFORMADOR DO PENSAMENTO E DA PESQUISA

A assinatura da Lei tem potencial, mas seu impacto depende de sua implantação ade-

quada para se tornar uma árvore a exemplo do jequitibá-rosa, que se encontra no campus da ESALQ (Figura 5). A atividade da FAPESP ao longo dos 60 anos de atividade de financiamento à pesquisa como missão *sine qua non* pode ser representada como um processo contínuo de crescimento e desenvolvimento capaz de resiliência e adaptação. Essa atividade de financiamento contribuiu significativamente para o estabelecimento de massa crítica no estado e no território nacional. O fomento à pesquisa como missão carrega em si o desafio à curiosidade e à capacidade de inovação industrial, e resulta na formação de especialistas em todos os campos.

A semente inicia o processo de germinação absorvendo água. Essa ação singular é transformadora: desencadeia um processo admirável de ativação de genes, multiplicação e crescimento celular, diferenciação de tecidos. E aquilo que era um ser biológico simples (uma semente) origina um ser altamente complexo do ponto de vista de estrutura e função (*script* desse processo estava codificado no DNA das células embrionárias da semente. A exemplo do jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*), cujo embrião mede pouco mais de 3 milímetros e se transforma ao longo dos anos em um indivíduo de mais de 50 metros usando água, luz, sol e nutrientes do solo, a Ciência do estado de São Paulo cresce forte e segura com o investimento estável, garantido pelo arcabouço legal do Estado, e a qualidade de sua aplicação assegurada pela FAPESP. Suas sementes se espalham pelo estado, pelo Brasil e no mundo, levando consigo o DNA da FAPESP da qualidade científica, da curiosidade transformadora e da responsabilidade social.

Ciência sendo produzida para melhoria da qualidade de vida e promover o desenvolvimento social e econômico. Esta frase simboliza a missão da FAPESP realizada com afinco ao longo dos últimos anos. Temos que olhar para o futuro com a visão da construção de uma sociedade mais justa e sustentável.

are already having great socioeconomic impacts. Important parts of the population are excluded from this process, increasing social inequalities.

6. HUMAN HEALTH AND THE GLOBAL CHALLENGES OF CHRONIC AND INFECTIOUS DISEASES:

Health occupies a central position in the socioeconomic development of all nations. The increases in population and life expectancy and the global change in the disease burden profile—predominantly cancer, cardiopathy, lung diseases and Alzheimer’s disease—have placed additional demands on the frontiers of scientific and technological knowledge to develop new drugs, vaccines, diagnoses, and therapies. Precision medicine—which includes genomic medicine, gene therapy, cancer and aging—is a relevant topic in this scenario. In addition, the recent example of the SARS-CoV-2 epidemic has shown that humanity remains exposed to the risks of highly destructive processes. Saving lives and improving QoL are priority challenges to achieve several of the SDGs.

7. VIOLENCE AND RADICALIZATION:

Growing urban and rural violence is a hallmark of societies around the world, predominantly affecting the most socially vulnerable populations. One of the faces of this violence—political radicalization—weakens the dialog between institutions and societal actors, affecting the quality of democracy. Reducing violence in Brazil represents an enormous challenge to be overcome.

CONCLUSION: THE TRANSFORMATIVE POWER OF THOUGHT AND RESEARCH

Enacting a law has potential, but its impact depends on its proper implementation to become a legacy, such as the jequitibá-rosa tree, which resides at the ESALQ campus. FAPESP’s activity over 60 years of research funding as a *sine qua non* mission can be represented as a continual process of growth and development capable of resilience and adaptation. This funding activity has significantly contributed to the establishment of critical mass in the state and national territories. Fostering research as a mission carries with it the challenge of curiosity and the capacity for industrial innovation and results in the education of specialists in all fields.

A seed starts its germination process by absorbing water. This simple action is transformative: it triggers an admirable process of gene activation, cell multiplication and growth, and tissue differentiation. A simple biological being (a seed) thus gives rise to a highly complex being from structural and functional standpoints (a tree). This process is possible because its entire script is encoded in the DNA of the embryonic cells of the seed. Like the jequitibá-rosa, whose embryo is just over 3 mm long and transforms over approximately 55 years into an individual of more than 50 m in height—using water, sunlight, and nutrients from the soil—the science of the state of São Paulo grows strong and secure with stable investment, guaranteed by the legal framework of the state, and the quality of its application ensured by FAPESP. Its seeds spread throughout the state, Brazil, and the world, taking with them FAPESP's DNA of scientific quality, transformative curiosity, and social responsibility.

Science has been produced to improve QoL and foster socioeconomic development. This phrase symbolizes the mission that FAPESP has carried out diligently over the past few years. We must look to the future with the vision of building a more equitable and sustainable society.

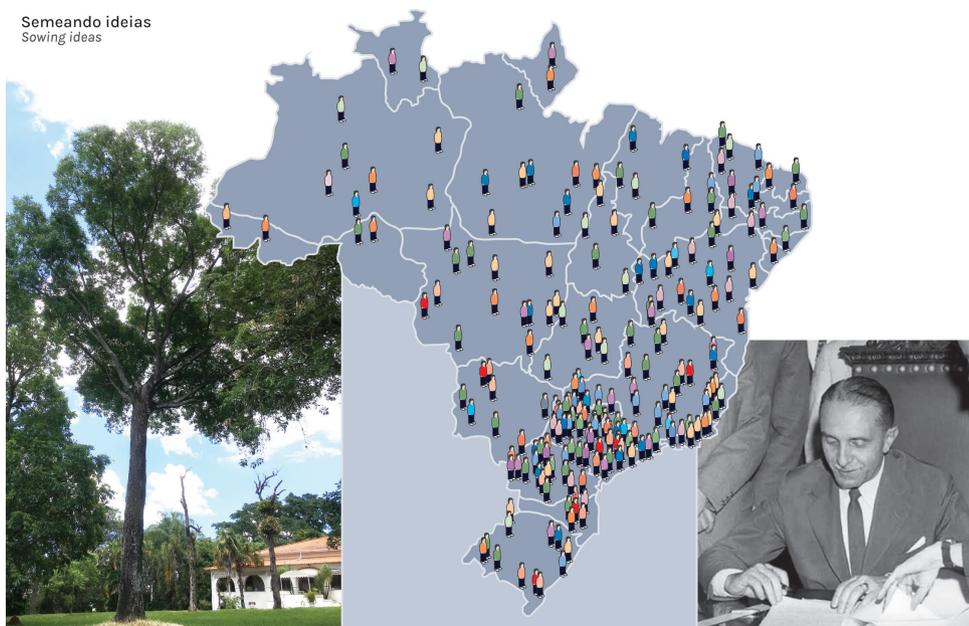


Figura 5. Semeando ideias (ou conhecimento ou ciência): Uma analogia entre a assinatura da Lei nº 5918 pelo governador Carvalho Pinto e a semente de um jequitibá-rosa, ponto vermelho ao pé da árvore. A árvore com pouco menos de 60 anos representa o sistema de pesquisa instalado no estado de São Paulo. E seus frutos espalhados pelo território nacional. Fotografia: Em 1960, Governador Carvalho Pinto sanciona a Lei no. 5918. Gráfico: Perfil dos Bolsistas da FAPESP. Fonte do Gráfico: Vogt et al. (2008). Fotografia jequitibá-rosa: Marie-Anne van Sluys.

Figure 5. Sowing ideas (knowledge): An analogy between the enacting of Law no. 5918 by Governor Carvalho Pinto and the seed of a *Cariniana legalis* (jequitibá-rosa) tree (red dot at the foot of the tree). The tree with a little less than 60 years represents the research system based in the state of São Paulo. It bore fruits spread over the country. Photo: In 1960, Governor Carvalho Pinto enacts Law no. 5918. Graph: Profile of FAPESP Fellows. Graph source: Vogt et al. (2008). Photography jequitibá-rosa: Marie-Anne van Sluys.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

- Academia de Ciências do Estado de São Paulo – ACIESP. (1975). *Estatutos da Academia de Ciências do Estado de São Paulo*. ACIESP.
- Academia de Ciências do Estado de São Paulo – ACIESP. (1976). *Discurso realizado na primeira sessão pública da Academia de Ciências do Estado de São Paulo*. ACIESP.
- Duarte, A. E. S., & Glavão, M. E. E. Olimpíada Paulista de Matemática: Quase quatro décadas de incentivo ao estudo da matemática. *Revista Brasileira de História da Matemática*, 14(29), 129-143.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (1960, 18 de outubro). *Lei Orgânica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo*. FAPESP. <https://fapesp.br/6279/lei-organica-da-fundacao-de-amparo-a-pesquisa-do-estado-de-sao-paulo-lei-5918-de-18-de-outubro-de-1960>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022). *Biblioteca Virtual da FAPESP*. <https://bv.fapesp.br/>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022). *Linha do Tempo*. Carvalho Pinto aprova a criação da FAPESP. <https://bv.fapesp.br/linha-do-tempo/249/carvalho-pinto-aprova-criacao-fapesp/>.
- Landes, D. S. (1998). *Riqueza e a pobreza das nações: A - por que são algumas tão ricas e outras tão pobre*. (10. ed). Elsevier/Alta Books.
- Rio+20. (2012). *Rio +20 Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável*. <https://riomais20sc.ufsc.br/files/2012/07/CNUDS-vers%C3%A3o-portugu%C3%AAs-COMIT%C3%8A-Pronto1.pdf>.
- São Paulo, Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo – ALESP. (1947). *Constituição Estadual de 1947*. ALESP. <https://www.al.sp.gov.br/leis/constituicoes/constituicoes-antiores/constituicao-estadual-1947>.
- São Paulo, Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo – ALESP. (1962, 23 de maio). Decreto n. 40.132, de 23 de maio de 1962. Aprova os Estatutos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. *Diário Oficial*. <https://www.al.sp.gov.br/norma/94571>.
- São Paulo, Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo – ALESP. (1989, 5 de outubro). *Constituição Estadual de 05 de Outubro de 1989*. ALESP. <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/constituicao/1989/compilacao-constituicao-0-05.10.1989.html>.
- São Paulo. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo – ALESP. (1989). Dispõe sobre providências visando a autonomia universitária. *Diário Oficial*. <https://www.al.sp.gov.br/norma/?id=35148#:~:text=Decreto%20n%C2%BA%2029.598%2C%20de%2002%2F02%2F1989&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20provid%C3%AAs%20visando%20a%20autonomia%20universit%C3%A1ria>.
- Souza, G. M., Victoria, R., Joly, C., & Verdade, L. (Eds.). (2015). *Bioenergy & Sustainability: Bridging the gaps* (Vol. 72, 779 p.). SCOPE.
- Teixeira, M. (2015). *Circa 1962: A ciência paulista nos primórdios da FAPESP*. FAPESP, 240 p.
- Vogt, C., Di Giovanni, G., Charney, E. M. R., Antunes, H. M. C. C., & Archangelo, J. (2008). *Perfil e trajetória acadêmico-profissional de bolsistas da FAPESP (1992-2002)*. FAPESP. <https://fapesp.br/publicacoes/perfilbolsistas.pdf>.

Capítulo 1

Internacionalização e pesquisa colaborativa

Chapter 1

Internationalization and collaborative research

INTERNACIONALIZAÇÃO, CONTEXTO GERAL E HISTÓRIA

Internacionalização da pesquisa científica em todas as áreas do conhecimento pressupõe que a pesquisa seja colaborativa e, portanto, conjunta. Não é possível discorrer sobre internacionalização da pesquisa sem antes entendermos que ela deriva da existência de pesquisa conjunta (trabalhos em coautoria) e, em se-

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000001>

 Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](#), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](#) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

guida, da pesquisa colaborativa, na qual pesquisadores ou instituições de pesquisa compartilham recursos intelectuais, materiais e financeiros.

Já nos séculos XVII e XVIII começaram a aparecer na França os primeiros trabalhos científicos publicados em coautoria, decorrentes de compartilhamento de resultados de pesquisas ou mesmo de dois ou mais pesquisadores trabalhando juntos em um mesmo laboratório. De fato, a “profissionalização” de pesquisadores estimulou o aparecimento de pesquisa conjunta e a publicação de resultados em coautoria (Beaver & Rosen, 1978). Profissionalização foi um processo organizacional dinâmico que levou a uma reestruturação revolucionária daquilo que havia sido um grupo livre de cientistas amadores em uma comunidade científica. A profissionalização redefiniu como a ciência era

autores/authors

Edgar D. Zanotto¹
Glaucius Oliva²
Helena B. Nader³
Hernan Chaimovich²
Jorge A. Guimarães⁴
Marilda S. T. Bottesi⁵
Sérgio F. Novaes⁶

¹ Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil.

² Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

³ Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), Brasil.

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Brasil.

⁵ Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Brasil.

⁶ Universidade Estadual Paulista (Unesp), Brasil.

INTERNATIONALIZATION, GENERAL CONTEXT, AND HISTORY

The internationalization of scientific research in all areas of knowledge presupposes that research is collaborative and, as such, shared. It would be impossible to consider the internationalization of research without firstly understanding that it emerges from research in teams (work in co-authorship) and, subsequently, from collaborative research, in which researchers or research institutions share intellectual, material, and financial resources.

During the 17th and 18th centuries, the first scientific studies published in co-authorship began to emerge in France resulting from the sharing of research results or even from two or more researchers working together in the same laboratory. In fact, the “professionalization” of researchers stimulated the emergence of group research and the publication of results in co-authorship (Beaver & Rosen, 1978). Professionalization was a dynamic organizational process that led to a revolutionary restructuring of what had been a group of amateur scientists working in a scientific community. It redefined how science was do-



ne, by whom it was done, where it was done, who paid for it, what its practitioners were seeking and how a person became a scientist. Beaver & Rosen (1978) highlighted that it was in Napoleonic France that the first professionalized scientific community was born. At the beginning of the 19th century, nearly all group research were undertaken by French researchers. Collaborative research only appeared in Germany and England much later when they also underwent professionalization. As such, scientific collaboration represents a response to the professionalization of science.

If the internationalization of science allowed for funding partnerships and resource optimization, it also led to a global search for the best talent, thus instigating competition and inequality between regions and countries, with consequences for economic competitiveness and national security (Internationalisation of EU Research Organisations, 2019; National Research Council, 2014). Internationalization is healthy and desirable, but it also has a direct relationship with diasporas that are increasingly more evident in a globalized world.

feita, quem a fazia, onde era feita, quem pagava, o que seus praticantes queriam e como se tornariam cientistas. Beaver & Rosen (1978) apontam que foi na França napoleônica que surgiu a primeira comunidade científica profissionalizada. No início do século XIX, praticamente todas as pesquisas conjuntas eram realizadas por pesquisadores franceses. A pesquisa colaborativa só apareceu muito mais tarde na Inglaterra e na Alemanha, quando eles também passaram por profissionalização. Ou seja, a colaboração científica representa uma resposta à profissionalização da ciência.

Se, por um lado, a internacionalização da ciência permitiu parcerias de financiamento, otimização de recursos, também levou à busca mundial pelos melhores talentos, gerando competição e desigualdades entre regiões, países, com implicações

para a competitividade econômica e a segurança nacional (Internationalisation of EU Research Organisations, 2019; National Research Council, 2014). A internacionalização é saudável e desejada, mas também tem relação direta com as diásporas que estão cada vez mais evidentes no mundo globalizado.

As bases de dados (como Scopus ou In-Cites) em geral analisam internacionalização de publicações tomando como base as publicadas desde 1980. A história cientométrica da colaboração internacional é bem mais difícil de encontrar. Um exemplo desse tipo de dados pode ser encontrado no trabalho de Graf & Kalthaus (2018), que mostra como o número de publicações com autores de mais de um país referentes a energia fotovoltaica, quase desprezível até 1980, começa a crescer exponencialmente a partir da década de 1990.

Número de publicações com autores Brasil/EUA em enzimas

Number of publications with authors Brazil/USA about enzymes

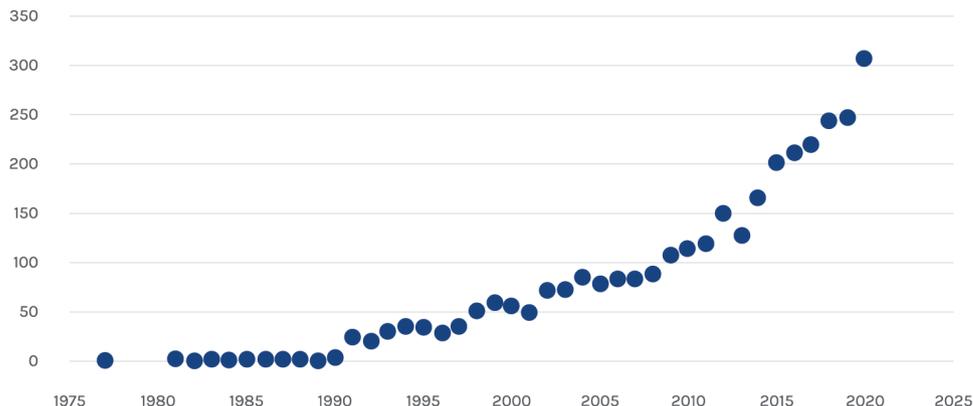


Figura 1. Número de publicações com autores do Brasil/EUA com a palavra-chave “enzymes”.
Figure 1. Number of publications with authors from Brazil/USA with the keyword “enzymes”.

Demonstrando esta tendência, a Figura 1 apresenta dados obtidos do Web of Science em 04/10/2020 mostrando as publicações em que aparecem autores do Brasil e dos Estados Unidos no tema enzimas.

Claramente, em temas tão distintos como energia fotovoltaica e enzimas, e em contextos também distintos como nos países da Europa e na colaboração Brasil-Estados Unidos, é na década de 1990 que a colaboração internacional, estimada pelas publicações com autores de mais de um país, aumenta exponencialmente. Certamente a colaboração entre cientistas tem uma história milenar, que se traduz em trabalhos publicados com autores de países diferentes somente nos últimos séculos. No século XIX, a colaboração se profissionalizou, mas o número de trabalhos com autores de países distintos era ainda pequeno.

Na esteira das grandes transformações globais decorrentes da segunda grande guerra e seu final marcado pela trágica detonação das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki em agosto de 1945, várias ações seminais foram estabelecidas aqui no Brasil no decênio pós-guerra. A ciência foi decisiva no desfecho do conflito global, e todos

os países entenderam que as descobertas científicas iriam determinar a geopolítica global e o bem-estar das pessoas e sociedades. Foi assim que no Brasil foram criados a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) em 1948, o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) em 1949, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) em 1951. De forma pioneira e de grande vanguarda inclusive no cenário internacional, a Constituição paulista de 1947 determinou que o fomento à pesquisa científica seria propiciado **pelo Estado**, por intermédio de uma Fundação, que deveria receber “[...] como renda de sua privativa administração, quantia não inferior a meio por cento do total da receita ordinária arrecadada pelo Estado [...]” (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022a). Esta Fundação, a FAPESP, foi criada somente quinze anos depois (São Paulo, 1960, 1962), por iniciativa de uma série de cientistas e implementada por um eminente Governador de Estado, **Carlos Alberto Alves de Carvalho Pinto**.

Databases (such as Scopus or InCites) usually analyze the internationalization of publications based on works published since 1980. The scientometric history of international collaboration is much more difficult to find. An example of this kind of data can be found in the work of Graf & Kalthaus (2018), which shows how the number of publications with authors from more than one country, related to photovoltaic energy, almost negligible in the 1980s, begins to grow exponentially starting from the 1990s.

Demonstrating this tendency, Figure 1 presents data obtained from Web of Science on Oct. 04, 2020, showing the publications about enzymes, in which authors from Brazil and the United States appear.

Clearly, in subjects as different as photovoltaic energy and enzymes, and contexts as diverse as European countries and Brazil-United States collaboration, it was in the 1990s that international collaboration, estimated according to publications by authors from more than one country, increased exponentially. Certainly, collaboration between scientists has a history going back centuries, which is reflected in works published by authors from different countries only in recent centuries. In the 19th century, collaboration was professionalized, with the number of works with authors from different countries still being small.

In the wake of the sweeping global transformations following the Second World War, and its conclusion marked by the tragic detonation of the atomic bombs over Hiroshima and Nagasaki in August 1945, numerous important steps were taken in Brazil in the post-war decades. Science was decisive for the outcome of the global conflict, and all countries understood that scientific discoveries would determine global geopolitics and the well-being of their peoples and societies. For these reasons, the Brazilian Society for the Advancement of Science (SBPC) was founded in 1948, the Brazilian Center for Research in Physics (CBPF), in 1949, the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) both in 1951. In a pioneering and visionary manner, the São Paulo Constitution of 1947 specified that encouragement of scientific research would be provided by the State, through a Foundation that would receive “[...] as funding for its administration, a sum of no less than 0.5% of the total ordinary revenue collected by the state [...]” (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022a). This Foundation, FAPESP, was created only fifteen years later (São Paulo, 1960, 1962), at the behest of a group of scientists, and implemented by a distinguished governor of the state, **Carlos Alberto Alves de Carvalho Pinto**.

Science can be represented by a simple formula, Science = minds x resources. With many minds but few resources, the results will be negligible. With a vast amount of resources, but few minds, the outcome will be equally limited. Minds with knowledge and training to confront the unknown recognize no regional or national boundary. This is the essence of any project of internationalization for every nation in the world. Exchanges of knowledge between scientists, initially through the system of written correspondence and later on in a more systematic fashion with the creation of the main scientific journals in the world, was the most important instrument for internalization of science during centuries, and continues to be so. Another instrument for rapidly sharing new knowledge, with a global reach is the exchange of scientists and students. The movement of minds occurred in a forced manner many times throughout history, with the exodus of scientists persecuted by the Nazi regime, which carried them to other countries, where they contributed in a decisive manner to the outcome of the global conflict and subsequently to significant scientific advances during the second half of the 20th century. Serious geopolitical contexts such as the implantation of violent dictatorial regimes in Latin-American countries provoked a displacement of scientists within and outside the region. The fall of the Berlin wall led to a large exodus of Russian scientists. The lack of opportunities in Maoist China, and subsequently the economic growth strategy of the political group that came afterward, led to a significant exodus of students to other countries, many of whom returned decades later, drawn by the abundance of scientific resources in that country.

Similarly, countries without an academic tradition built the foundations for national education, science and technology systems, attracting professors and scientists worldwide and sending students to more well-established centers. This was the case of Imperial Brazil and of the First Republic, in areas such as Law, Humanities and Medicine that sustained themselves with the qualification of their representatives in Portuguese universities such as Coimbra, Lisbon and Porto. Oswaldo Cruz studied microbiology for two years at the Pasteur Institute and returned to Brazil to found the first Brazilian institute of biomedical research and public health. The University of São Paulo, the main structural reaction to the military defeats of 1930 and 1932, was organized by integrating professional Colleges around a central nucleus, the Department of Philosophy, Sciences and Humanities comprised by many scientific leaders brought from other countries.

A Ciência pode ser representada por uma equação simples, Ciência = cérebros x recursos. Se tivermos muitos cérebros e poucos recursos, o resultado será pequeno. Porém, mesmo se tivermos muitos recursos, mas poucos cérebros, o produto será igualmente limitado. E cérebros com conhecimento e preparação para trilhar o desconhecido são ativos que desconhecem barreiras regionais ou nacionais. Esta é a essência das ações de internacionalização de qualquer nação no mundo. O intercâmbio do conhecimento entre cientistas, inicialmente pelo sistema de correspondência escrita e depois de forma mais sistemática com a criação das principais revistas científicas no mundo, foi o principal instrumento de internacionalização da ciência durante séculos, e ainda continua sendo. Outro instrumento de rápido compartilhamento do conhecimento novo com alcance global é a mobilidade de cientistas e estudantes. O movimento de cérebros ocorreu de forma forçada em muitos momentos da história, como o êxodo de cientistas perseguidos pelo regime nazista, que os levou a outros países, onde contribuíram de forma decisiva para o desfecho do conflito mundial e depois para os grandes avanços científicos da segunda metade do século XX. Contextos geopolíticos graves como a implantação de regimes ditatoriais violentos nos países latino-americanos provocaram a movimentação de cientistas dentro e fora da região. A queda do muro de Berlim propiciou forte mobilidade de cientistas russos para o exterior. A falta de oportunidades na China maoísta e depois a estratégia desenvolvimentista do grupo político que a sucedeu promoveram uma ampla saída de estudantes para o exterior, muitos dos quais retornaram depois de décadas, atraídos pela abundância de recursos para a ciência naquele país.

Da mesma forma, países sem tradição acadêmica construíram as bases de seus sistemas nacionais de educação, ciência e tecnologia com a atração de professores e cientistas e o envio de estudantes para os centros mais desenvolvidos. Este foi o caso característico do Bra-

sil Imperial e da Primeira República, em algumas áreas como o Direito, as Letras e a Medicina, que se nutriram com a qualificação de seus expoentes em Universidades portuguesas como Coimbra, Lisboa e Porto. Oswaldo Cruz estudou microbiologia por dois anos no Instituto Pasteur e retornou ao Brasil para estabelecer a primeira grande instituição nacional de pesquisa biomédica e de saúde pública. A Universidade de São Paulo, principal reação estrutural paulista às derrotas militares em 1930 e 1932, foi organizada integrando as Faculdades profissionais com um núcleo central, a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras constituída com muitas lideranças científicas trazidas do exterior.

INTERNACIONALIZAÇÃO PARA QUE E POR QUÊ? TIPOS DE COLABORAÇÃO

Hoje existe uma tendência de aumento de colaborações em praticamente todas as áreas da ciência, com foco principalmente na formação de recursos humanos e na produção conjunta de conhecimento. Estudos (Adams et al., 2019; The Royal Society, 2011; Wang & Barabási, 2021; Wuchty et al., 2007) mostram que colaborações promovem o contato com expoentes da pesquisa científica, melhoram a capacitação de novos pesquisadores, trazem o benefício da escala com acesso a grandes instalações e equipamentos, acesso a conhecimentos interdisciplinares e têm a tendência de produzir descobertas de maior impacto.

As colaborações em pesquisa nacionais ou internacionais podem, em geral, começar de duas maneiras: (a) como iniciativa individual do pesquisador que, por interesse próprio, procura um colega que trabalha em área / tema semelhante à sua para troca de conhecimentos e acaba gerando uma parceria, seja ela eventual ou duradoura; e (b) a colaboração estimulada por agências de fomento por meio de políticas de incentivo à pesquisa colaborativa e muitas vezes cofinanciada.

A colaboração individual é um hábito milenar entre cientistas e começa quando se encontram, ou trocam correspondência,

despertando interesses mútuos por procurar entender algum aspecto mal compreendido da natureza. Na medida em que a velocidade da comunicação aumenta, o número de encontros se amplia. E os cientistas, seguindo os seus naturais interesses e a partir de iniciativas individuais, aumentam a intensidade da colaboração. Este tipo de interação, ainda que possa produzir impactos notáveis, não depende, nem cresce, a partir de uma política institucional definida.

Ao estimular colaborações em pesquisa, as agências de fomento podem simplesmente usar as próprias linhas regulares de fomento para apoiar projetos que de algum modo envolvam pesquisadores parceiros de outras instituições, por exemplo, desde estágios de pesquisa no exterior, atração de pesquisador visitante, participação de pesquisadores em reuniões científicas nacionais ou internacionais, até o apoio à participação de pesquisadores em grandes colaborações internacionais (GCI). Podem também participar de chamadas internacionais de propostas ou celebrar acordos de cooperação com instituições nacionais ou internacionais e lançar, por meio desses acordos, editais (chamadas) visando receber propostas de projetos concebidos, escritos e desenvolvidos em conjunto com o pesquisador a ser apoiado pela instituição parceira.

Em particular, as chamadas grandes colaborações internacionais que envolvem às vezes milhares de pesquisadores e dezenas de países têm sido cada vez mais adotadas em diferentes áreas da ciência. Apesar de não ser um fenômeno recente (e.g. Projetos Manhattan e Apollo e a Estação Espacial Internacional), a pesquisa colaborativa tem sido cada vez mais recorrente e indispensável em algumas áreas. Certamente seria impossível imaginar que algumas das mais importantes descobertas das últimas décadas pudessem ter sido realizadas com apenas alguns pesquisadores trabalhando em seus laboratórios. O sequenciamento do genoma humano, a descoberta das ondas gravitacionais ou do bóson de Higgs são alguns exemplos.

Algumas características são comuns à maioria das GCI: a instrumentação complexa, o custo muito elevado, a grande escala de tempo e a sazonalidade na produção científica. Alguns exemplos confirmam esse perfil. O CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) opera o mais avançado acelerador de partículas – *Large Hadron Collider*, LHC –, que é constituído por um anel principal de 27 km na fronteira franco-suíça e do qual participam pesquisadores de instituições paulistas de pesquisa, com apoio da FAPESP. O LHC demorou mais de uma década para ser construído¹ a um custo aproximado de US\$ 10 bilhões. As colisões de prótons a 13 TeV que ocorrem a cada 25 ns são analisadas por quatro detectores, sendo dois deles multipropósito. O detector *Compact Muon Solenoide* (CMS) (Compact Muon Solenoid, 2022) envolve por volta de 5.000 físicos, engenheiros, técnicos, estudantes e equipes de apoio vindos de 200 institutos de 50 países. Com 5 andares de altura e 14.000 toneladas, o detector possui 150.000 sensores responsáveis pelas medidas dos produtos das colisões. O processamento dos dados é realizado por uma estrutura de 170 centros distribuídos por 40 países, que foi concebida e implantada com essa finalidade (*Worldwide LHC Computing Grid*, WLCG). As colaborações CMS e Atlas tornaram-se, de alguma forma, os protótipos das GCI. O artigo que combina os resultados de ambos os experimentos sobre a descoberta do bóson de Higgs, que deu origem ao Nobel de 2012, possuía 5.153 autores de mais de 500 endereços institucionais. Por meio de outro projeto apoiado pela FAPESP, um grupo de pesquisadores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) projetou e desenvolveu um chip, chamado de Sampa, que será instalado no sistema de detecção do ALICE (*A Large Ion Collider Experiment*), um dos quatro grandes experimentos do LHC.

¹ Na realidade, o túnel no qual operou na década de 1990, o *Large Electron-Positron collider* (LEP), foi aproveitado para receber os feixes de prótons do LHC.

INTERNATIONALIZATION: WHAT FOR AND WHY? TYPES OF COLLABORATION

Currently, there is a tendency to increase collaboration in nearly all fields of science, focused mainly on the formation of human resources and on the shared production of knowledge. Studies (Adams et al., 2019; The Royal Society, 2011; Wang & Barabási, 2021; Wuchty et al., 2007) show that collaborations promote contact with representatives of scientific research, improve training of new researchers, benefit in scale with access to significant infrastructure and equipment, promotes access to interdisciplinary knowledge and has a tendency of producing discoveries of significant impact.

National or international research collaborations generally begin in two ways: (a) as an individual effort on the part of a researcher who, by his own initiative, contacts a colleague that works in the same area (similar topic) to exchange ideas, and to build a partnership, be it short or long-term, and (b) collaboration stimulated by funding agencies through policies encouraging collaborative and frequently co-funded research.

Individual collaboration is a millennial practice between scientists, and starts when they meet or exchange correspondence, awakening mutual interests in which they seek to investigate some poorly understood aspect of nature. To the extent that speed of communication increases, so does the number of meetings. Scientists, according to their natural interests and based on individual initiative, increase the intensity of their collaborations. This type of interaction, even if it can produce considerable impact, does not depend, or grow, based on an institutionally defined policy.

By encouraging research collaborations, funding agencies can use their own and already established support streams to support projects that may involve researchers from other institutions. As an example, we can mention overseas research exchanges, recruitment of visiting researchers, participation of investigators in national or international scientific congresses, or support for participation of scholars and students in large scale international collaborations (GCI). They can also participate in international calls for proposals or enter into cooperation agreements with national or international institutions and launch, by way of these agreements, calls for proposals of draft projects drafted, written up and developed with the researcher to be supported by the partnering institution.

Particularly, the large calls for international collaborations, that at times involve thousands of researchers and tens of countries, have been increasingly adopted in different scientific fields. Despite not being a recent phenomenon (e.g., Manhattan and Apollo Projects and the International Space Sta-

tion), collaborative research has been ever more present and necessary in certain areas. Unquestionably, it would be impossible to imagine that some of the most important discoveries of recent decades could have been made with only a limited number of researchers working in their laboratories. The sequencing of the human genome, the discovery of gravitational waves or the Higgs boson are some examples.

Certain characteristics are common to the majority of GCI: complex instrumentation, high costs, long-time scales, and the seasonality of scientific production. Specific examples confirm this profile. CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) operates the most advanced particle accelerator – the Large Hadron Collider (LHC) – which is made up of a 27 km main ring on the Franco-Swiss border and in which researchers from São Paulo research institutes participate supported by funding from FAPESP. The construction of the LHC took over a decade¹ at a cost of approximately US\$10 billion. Proton collisions at 13 TeV that occur every 25 ns are analyzed by four detectors, two of which are multipurpose. The Compact Muon Solenoid (CMS) (Compact Muon Solenoid, 2022) detector involves around 5,000 physicists, engineers, technicians, students, and support teams from 200 institutes in 50 countries. Five stories tall and weighing 14 thousand tons, the detector has 150 thousand sensors responsible for measuring the outcome of the collisions. Data processing is carried out by a group of 170 centers spread across 40 countries, which was conceived of and established with this purpose in mind (Worldwide LHC Computing Grid, WLCG). The Atlas and CMS collaborations became, in some manner, prototypes for GCI. The article that combines the results for both experiments regarding the discovery of the Higgs boson, which was the basis for the 2012 Nobel Prize, had 5,153 authors from more than 500 institutions. Through another project supported by FAPESP, a group of researchers from the Polytechnic School of the University of São Paulo (Poli-USP) conceived and developed a chip called “Sampa” that would be installed in the detection system of ALICE (A Large Ion Collider Experiment), one of the four large experiments of the LHC.

Some big projects in Astronomy have presented a similar profile. Rubin Observatory of the Legacy Survey of Space and Time (LSST) (Legacy Survey of Space and Time, 2022) will study dark energy and matter. The LSST collaboration has approximately 1,500 members from 35 institutions in 23 countries. The construction proposal for the more than 8-me-

Alguns grandes projetos em Astronomia possuem um perfil similar. O *Rubin Observatory* do *Legacy Survey of Space and Time* (LSST) (Legacy Survey of Space and Time, 2022) deverá estudar a energia escura e a matéria escura. A colaboração do LSST envolve aproximadamente 1.500 membros vindos de 35 instituições de 23 países. A proposta de construção do telescópio de mais de 8 m foi feita em 2003, o sítio de Cerro Pachón foi selecionado para abrigar o telescópio em 2006 e ele deverá entrar em operação em 2023².

O mesmo padrão de complexidade, custo e escala de tempo aparece no ITER (ITER Organization Headquarters Building, 2022) o maior projeto de produção de energia através da fusão nuclear. Seu *tokamak* de 23.000 toneladas está sendo implantado no sul da França por uma colaboração de 35 países. O ITER deverá demorar 30 anos para ser construído (2005-2035), com um custo previsto de US\$ 22 bilhões, que poderá atingir a cifra de US\$ 45 bilhões, segundo algumas estimativas.

Outro exemplo de GCI, o *Deep Underground Neutrino Experiment* (Dune), nos Estados Unidos, é um projeto com o objetivo de descobrir novas propriedades dos neutrinos, partícula elementar com pouquíssima massa e que viaja a uma velocidade muito próxima à da luz. O Dune tem participação de grupo de pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que desenvolveu, também por meio de um projeto financiado pela FAPESP, um detector de luz chamado de Arapuca, que está sendo instalado no Dune.

Apesar de 95% dos artigos publicados mundialmente terem 10 ou menos autores (Adams et al., 2019; The Royal Society, 2011; Wang & Barabási, 2021; Wuchty et al., 2007) temos que nos adaptar à realidade das grandes colaborações internacionais caso queiramos atacar alguns dos problemas científicos mais relevantes. Com cer-

Um aspecto importante dos grandes projetos internacionais são os incontáveis spinoffs, que decorrem da instrumentação sofisticada utilizada pelas GCI.

teza, os parâmetros da cientometria usuais, válidos para os artigos típicos, não devem ser diretamente aplicados ao caso das grandes colaborações. No entanto, há formas universalmente aceitas para avaliar pesquisadores e suas atividades científicas nesse caso.

Um aspecto importante dos grandes projetos internacionais são os incontáveis spinoffs, que decorrem da instrumentação sofisticada utilizada pelas GCI. Não são esses subprodutos da investigação em ciência básica que justificam o investimento em grandes projetos internacionais: eles, naturalmente, possuem seus próprios méritos. No entanto, é inegável o número de avanços induzidos por essas pesquisas que têm grande impacto para toda a sociedade.

O projeto internacional genoma, apoiado no Brasil pela FAPESP, recebeu de diversas fontes investimentos diretos de aproximadamente US\$ 4 bilhões e foi capaz de gerar mais de 300.000 empregos apenas em 2010, levando a um crescimento econômico estimado em US\$ 800 bilhões (Drake, 2011). No caso da física de altas energias, talvez o exemplo mais conhecido seja a implementação de um meio de acesso compartilhado de informações armazenadas em bancos de dados geograficamente dispersos. Berners-Lee e Cailliau, encarregados de desenvolver uma ferramenta colaborativa para cientistas e engenheiros que atuavam em colaborações internacionais, apresentaram no final de 1990 a proposta “*World Wide Web* (WWW) Proposta para

¹ In fact, the tunnel in which it operated during the 1990s, the Large Electron-Positron collider (LEP) was approved to receive the bundles of protons from the LHC.

² Além do *Legacy Survey of Space and Time* (LSST), os experimentos *Southern Photometric Local Universe Survey* (S-PLUS) e o *Javalambre Physics of the Accelerating Universe Survey* (J-PAS) vêm sendo apoiados pela FAPESP.



ter-long telescope was made in 2003; the site of Cerro Pachón was selected to house the telescope in 2006, which should be operational by 2023².

The same level of complexity, cost and timeframe is observed with ITER (ITER Organization Headquarters Building, 2022), the biggest energy production project that uses nuclear fusion. Its tokamak, weighing 23 thousand tons, is being installed in the south of France in a collaboration between 35 countries. ITER will take 30 years to complete (2005-2035), at a predicted cost of US\$22 billion; but could cost as much as US\$45 billion according to some estimates.

Another example of GCI, the Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE), in the United States, is a project that seeks to investigate new properties of neutrinos, an elementary particle with incredibly small mass that travels at a velocity very close to the speed of light. DUNE involves the participation of a group of researchers from the State University of Campinas (Unicamp), which developed, as another project funded by FAPESP, a light detector called Arapuca, that is being installed in DUNE.

Although 95% of the articles published globally have 10 or fewer authors (Adams et al., 2019; The Royal Society, 2011; Wang & Barabási, 2021; Wuchty et al., 2007), we must adapt to the reality of large international collaborations in case we intend to confront some of the most relevant scientific problems. Certainly, the usual scientometric parameters, valid for most articles, should not be directly applied to the case of large-scale collaborations. However, there are universally accepted ways of evaluating researchers and their scientific activities in this case.

An essential aspect of large-scale international projects is the numerous spinoffs that emerge from the sophisticated instrumentation used in GCI. These subproducts of basic scientific investigation do not necessarily justify the investment in large-scale international projects: they obviously have their own merits. However, the number of advances originated from such research that has a significant impact on the whole society is undeniable.

The international genome project, supported in Brazil by FAPESP, received numerous direct funding sources for around US\$4 billion and was able to generate over 300,000 jobs in 2010 alone, producing an estimated economic growth of US\$ 800 billion (Drake, 2011). In the case of high energy physics, maybe the most well-known example is the implemen-

² In addition to the Legacy Survey of Space and Time (LSST), the experiments of the Southern Photometric Local Universe Survey (S-PLUS) and the Javalambre Physics of the Accelerating Universe Survey (J-PAS) is being supported by FAPESP.

tation of a means of access to shared information stored in geographically diffuse data banks. Berners-Lee and Cailliau, in charge of developing a collaborative tool for scientists and engineers who were involved in international collaborations, presented at the end of the 1990s the “World Wide Web” (WWW) Proposal for a “Hypertext Project”, in which they outlined the main steps for creating the WWW. It is unnecessary to highlight the impact that the WWW had on all aspects of society. There are various other examples of the impact of high energy physics in different areas (Amaldi, 1999; Florio et al, 2016; Lecoq, 2007).

It is important to observe the effect on training of students who participate in GCI (Camporesi et al., 2017). The student's immersion in a multicultural and multidisciplinary environment, with researchers coming from hundreds of institutions, allows for an ample education aiming at the development of competencies that could be incorporated into other fields of activity. Learning how to have different approaches to new problems, mastering abilities for advanced techniques, learning to deal with an enormous amount of data, gaining experience in managing complex projects and working with large, diverse teams are valuable assets of interest to the most different sectors of society.

INTERNATIONALIZATION IN BRAZIL

The significant growth of Brazilian science in the last quarter of the 20th century was driven by the ample investment in the training of PhDs overseas, with large-scale financial support from FAPESP and federal agencies. During the second decade of the 21st century, The Science without Borders (CsF) program promoted a new round of investment in international exchange, expanding to include graduate students. In this program, only areas associated with technological innovation were included, and all graduate scholarship holders had to undertake an internship in a company or laboratory of a large multinational corporation that offered internships for scholarship holders of CsF overseas. Following, they recommended their Brazilian partners offer trainee opportunities for these students. Recently, the head of human resources of EMS pharmaceutical company reported that most trainees they hired in recent years were previous scholarship holders of the CsF program.

FAPESP adopted a model that encouraged student mobility through exchange programs, via Grants for Research Internships Abroad (BEPE), made available for all FAPESP undergraduate, master, doctoral and post-doctoral scholarship holders.

However, internationalization of science cannot be reduced to academic mobility. In the modern world, and especially following

um Projeto de Hipertexto”, na qual delineavam as principais etapas para a criação da WWW. É desnecessário ressaltar o impacto que o WWW teve em todos os aspectos da sociedade. Há vários outros exemplos do impacto da física de altas energias em diferentes áreas (Amaldi, 1999; Florio et al., 2016; Lecoq, 2007).

É importante observar o impacto na formação dos estudantes que participam de GCI (Camporesi et al., 2017). A imersão do estudante em um ambiente multicultural e multidisciplinar, formado por pesquisadores vindos de centenas de instituições, permite uma formação ampla capaz de gerar competências que podem ser incorporadas em outras áreas de atividade. Aprender a ter diferentes abordagens para novos problemas, dominar habilidades em técnicas avançadas, aprender a tratar uma enorme quantidade de dados, ter experiência em gestão de projetos complexos e trabalhar em grandes equipes heterogêneas são ativos valiosos que interessam a diversos setores da sociedade.

A INTERNACIONALIZAÇÃO NO BRASIL

O grande crescimento da ciência brasileira no último quarto do século XX foi impulsionado pelo amplo investimento na formação de doutores no exterior, com expressivo apoio financeiro da FAPESP, bem como das agências federais, neste sentido. Na segunda década do século XXI, o Programa Ciência sem Fronteiras (CsF) promoveu um novo ciclo de investimento na mobilidade internacional, ampliado para estudantes de graduação. Neste programa somente foram contempladas as áreas associadas à inovação tecnológica, e todos os bolsistas de graduação tinham que fazer estágio em empresa ou laboratório de grandes empresas multinacionais que ofereceram estágios para bolsistas do CsF no exterior, e depois recomendaram a suas filiais brasileiras que oferecessem vagas de *trainees* a estes egressos. Recentemente, a diretora de recursos humanos da farmacêutica EMS relatou que a maioria dos *trainees* que contrataram nos últimos anos foram bolsistas do CsF.

A FAPESP adotou modelo indutor de mobilidade estudantil na modalidade sanduíche, com o programa de Bolsas de Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE), disponibilizado a todos os bolsistas de iniciação científica, mestrado, doutorado, doutorado direto e pós-doutorado da FAPESP.

No entanto, internacionalização da ciência não pode se resumir a mobilidade acadêmica. No mundo atual, e em especial após a radical transformação da estrutura do trabalho para o modelo remoto, a circulação de informação e conhecimento é instantânea e sem barreiras. Neste cenário, o grande valor da internacionalização na ciência está na realização de projetos de pesquisa concebidos, escritos e desenvolvidos em parceria com pesquisadores de diferentes países e cofinanciados por meio dos mais variados mecanismos de colaboração internacional.

Ainda que seja esperado haver profundas mudanças no contexto mundial, no que concerne ao funcionamento das universidades no cenário pós-covid-19, as instituições sobreviventes precisarão, com mais razão, estar antenadas com a perspectiva de forte interação internacional.

Apesar do grande crescimento do sistema de C&T nacional nas últimas décadas, o Brasil ainda apresenta um baixo índice de cooperação científica internacional, medida pelo número de publicações de autores brasileiros em coautoria com pesquisadores de outros países.

O estudo que analisa as publicações indexadas no Web of Science de 1980 até 1999 (Leta & Chaimovich, 2002) mostra que, embora tenha crescido a porcentagem de publicações de cientistas brasileiros com colegas de outros países, ao estagnar no começo da década de 1990, não acompanhou a explosão global de colaboração.

Reconhecida a importância da colaboração científica no desenvolvimento de pesquisas conjuntas, a evolução deste índice tem sido mais lenta do que o esperado, atingindo atualmente 45% somente quando um (ou mais) dos autores trabalha em alguma instituição do estado de São Paulo. Assim, o Brasil, com uma por-

centagem de colaboração de apenas 42%, encontra-se em evidente posição de inferioridade na comparação com os vizinhos Colômbia, Chile, Argentina e México, e com Portugal, Espanha e África do Sul, e mesmo com países de produção científica modesta, como Indonésia, Eslováquia, Bulgária, Paquistão e muitos outros, todos com este índice acima dos 45%. Somente o estado de São Paulo ultrapassa os 45% de trabalhos com autores de São Paulo e outros países. Na Figura 2, a Espanha aparece no gráfico para exemplificar o grau de internacionalização de um país representativo da Comunidade Europeia.

Mesmo quando se analisa tal índice entre nossas universidades vê-se que apenas USP, UERJ, UFRJ e UCB situam-se entre 41% e 43%, e a PUCRJ um pouco acima, com 48%. Destaque-se, todavia, que em áreas

as médicas e biomédicas, o índice de cooperação atinge percentagens acima dos 40%, e em várias outras áreas, como Astronomia e Astrofísica, Física de Partículas, Biologia da Evolução, Ecologia, Física Nuclear, Neurologia Clínica, Meteorologia & Ciências Atmosféricas, Psiquiatria, Estudos Ambientais, Físico-Química Atômica e Molecular e Geociências, o índice situa-se acima dos 50%. Observa-se, no entanto, que áreas de pesquisa importantes no cenário científico brasileiro, como Ciências Agrárias e Veterinária, Ciências da Computação e a maioria das ciências humanas e sociais, não aparecem entre as 50 mais destacadas na produção científica brasileira e têm, em comum, baixíssimo índice de cooperação internacional. A observação é útil como alerta sobre a necessidade de estimular essas áreas para adoção de

the radical transformations in the structure of work according to the distance working model, the circulation of information and knowledge is instantaneous and without borders. In this context, the great value of internationalization in science concerns the execution of research projects, conceived, written and developed in partnership with researchers from different countries and cofounded by varied mechanisms for international collaboration.

Even if profound changes are expected in the global context, in terms of the functioning of universities in the post-COVID-19 scenario, surviving institutions will understandably need to be aware of the dynamics of strong international cooperation.

Despite the significant expansion of the national S&T system in recent decades, Brazil still presents a low level of international scientific cooperation, measured according to the number of publications of Brazilian authors in co-authorship with researchers from other countries.

The study that analyzes the publications indexed in the Web of Science from 1980 until 1999 (Leta & Chaimovich, 2002) shows that, although the percentage of publications of Brazilian scientists with colleagues from other countries has grown, due to stagnation in the 1990s, they did not keep up with the explosion in global cooperation.

Despite the recognized importance of scientific cooperation for the development of shared research, the growth of this index has been slower than expected, currently reaching only 47% when one (or more) of the authors work in some institution in the state of São Paulo. Therefore, Brazil, with a percentage of cooperation of only 42%, finds itself at an evident disadvantage if compared to neighboring countries such as Colombia, Chile, Argentina, and Mexico, as well as with Portugal, Spain, and South Africa, and even if compared with countries with a modest scientific production such as Indonesia, Slovakia, Bulgaria, Pakistan and many others (which have more than 45% of cooperation projects). Only the state of São Paulo exceeds 45% of papers with authors from São Paulo and other countries. In Figure 2 Spain is presented on the graph to exemplify the degree of internationalization of a country representative of the European Community.

Even when we analyze this index amongst our universities, we find that only USP, UERJ, UFRJ and UCB have between 41% and 43% of cooperation, and PUCRJ has a slightly higher rate of 48%. It is notable however, that in the medical and biomedical fields, the level of cooperation reaches percentages above 40%, and in various other areas such as Astronomy and Astrophysics, Particle Physics, Biology of Evolution, Ecology, Nuclear Physics, Clinical Neurology, Meteorology & Atmospheric Sciences, Psychiatry, Environmental Studies, Atomic Physical Chemistry, and Geo-

Internacionalização da produção científica estimada pela porcentagem de artigos com autores de mais de um país

Internationalization of scientific production estimated by percentage of articles with authors from more than one country

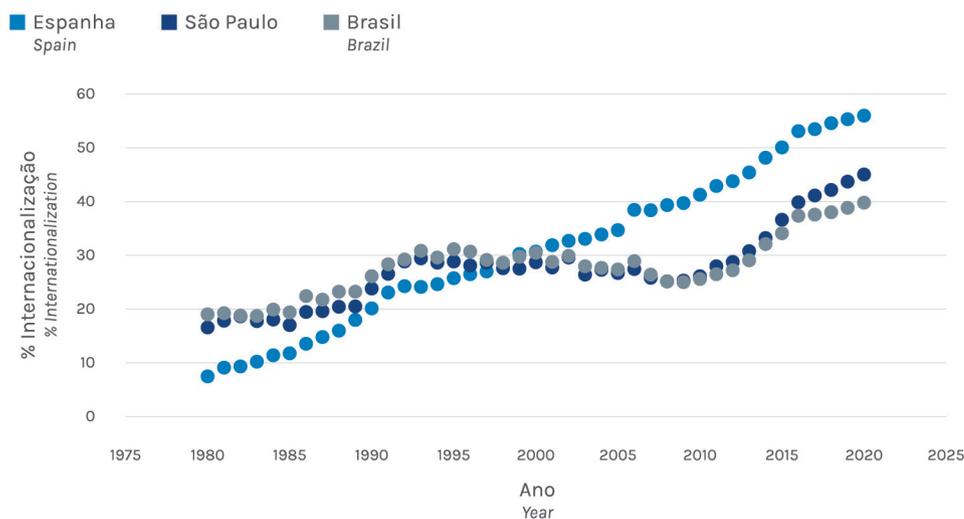


Figura 2. Porcentagem de trabalhos científicos indexados com autores de mais de um país. Dados comparativos de Brasil, Espanha e do estado de São Paulo. Fonte: Dados extraídos de InCites (2022).
 Figure 2. Percentage of scientific papers indexed with authors from more than one country. Comparative data for Brazil, Spain, and São Paulo state. Source: Data obtained from InCites (2022).

sciences the level is above 50%. We can see, however, that important fields of research for the Brazilian scientific context, such as Agrarian and Veterinary Sciences, Computer Science and most social and human sciences do not appear among the 50 most emphasized areas in Brazilian scientific production. These areas present very low levels of international cooperation. This observation is useful as a warning about the need to encourage these areas to adopt a more pragmatic attitude regarding the expansion of measures seeking greater international cooperation. International scientific cooperation shows its importance when we observe the high correlation between the impact factor of publications and the volume of articles resulting from international cooperation. As such, of the 20 countries with the highest levels of impact factors, the average of articles in international co-authorship is 73.4% varying from 52% to 100% of articles published in international cooperation.

The table above draws immediate attention to the urgent need to increase scientific cooperation of our scientists through international partnerships. The initiatives to confront such a demand fall on the academic institutions and require support from funding agencies that should establish a well-defined internationalization strategy.

Considering the features of universities in the globalized context, the presence of institutions at World Class University (WCU) level is a central element for scientific qualification, for technological development, and for guaranteeing the nation's human development index, since WCUs play a fundamental role in the development and competitiveness of the knowledge economy (Altbach & Salmi, 2011).

Considerations for Universities to qualify as WCU

For Brazilian universities to qualify as World Class Universities, the first step is to seek an adequate level of internationalization, which is supported by the existence of a graduate program of excellence. To this end, in addition to the different qualitative characteristics already mentioned, challenges arise at three other levels. Firstly, the issue of governance, including full autonomy, ethical transparency, and responsibility, which together are widespread aspects of World Class Universities, is absent in the large majority of Brazilian universities. Such principles give institutions the power to manage their own future, a necessary condition to achieve planning objectives, which already occurs, for example, with the three state universities of São Paulo state - USP, Unicamp and Unesp -, whose autonomy creates conditions for governance. Secondly, the need to achieve performance centered on basic principles inherent to international stan-

uma atitude mais pragmática em relação às perspectivas de ampliar ações com vistas à cooperação internacional. A cooperação científica internacional mostra sua importância quando se verifica a elevada correlação entre o fator de impacto das publicações e o volume de artigos provenientes da cooperação internacional. Como efeito, nos 20 países com maiores índices do fator de impacto, a média de artigos em co-autoria internacional é de 73,4%, variando de 52% a 100% dos artigos publicados em cooperação internacional.

O quadro mostrado acima desperta imediata atenção para a aguda necessidade de acelerar a cooperação científica de nossos cientistas com parceiros internacionais. As iniciativas para enfrentar tal demanda recaem sobre as instituições acadêmicas e requerem apoio das agências de fomento que deveriam mostrar uma estratégia de internacionalização bem definida.

Considerando as características das universidades no contexto globalizado, a presença de instituições no nível das Universidades de Classe Mundial (WCU na sigla em inglês) constitui elemento central para a qualificação científica, para o desenvolvimento tecnológico e para a garantia crescente do índice de desenvolvimento humano das nações, pois as WCUs exercem importância fundamental no desenvolvimento e na competitividade na economia do conhecimento (Altbach & Salmi, 2011).

Considerações para as universidades se qualificarem como WCU

Para as universidades brasileiras buscarem se qualificar como World Class University, o primeiro passo é a busca por um adequado nível de internacionalização, o que é facilitado pela existência da Pós-graduação de excelência eventualmente existente. Para isso, além das reconhecidas características qualitativas diferenciais acima expostas, surgem desafios em três outros níveis. Primeiro, a questão da governança, aí incluídas a plena autonomia e a transparência e responsabilidade com ética, que juntas são componentes amplamente desfrutados pelas Universidades de Clas-

Para as universidades brasileiras buscarem se qualificar como World Class University, o primeiro passo é a busca por um adequado nível de internacionalização (...)

se Mundial, e ausentes na operação diária da grande maioria das universidades brasileiras. Tais princípios dão às instituições o poder de desenhar o próprio futuro, condição necessária para atingir o planejado objetivo, o que já ocorre, por exemplo, com as três universidades estaduais do estado de São Paulo – USP, Unicamp e Unesp –, cuja autonomia lhes permite tais condições de governança. Segundo, a necessidade de buscar atingir desempenho centrado em outros princípios básicos inerentes à condição de instituição de padrão internacional e que impõe, entre nós, profundas mudanças funcionais tanto na pesquisa como no ensino.

A internacionalização plena das atividades de ensino e pesquisa tem vários componentes a serem considerados para uma gestão atualizada de uma universidade de qualidade internacional. O ensino informativo deve ser substituído por atividades formativas desafiantes e inovadoras. Os currículos, em cada tipo de formação profissional, devem, levando em consideração a realidade local, observar os padrões de currículos internacionais. Considerando o fato de que o inglês é a língua franca de comunicação global, é essencial que desde o início da vida acadêmica se ofereçam a todos os estudantes oportunidades para que possam dominar um mínimo da língua inglesa. Assim, pode se ofertar disciplinas, seminários e outras atividades acadêmicas em inglês e em outras línguas. Convênios que permitam parcerias internacionais para du-

pla titulação possibilitam um aumento substancial da mobilidade internacional de estudantes, professores e corpo técnico-científico. Essas mudanças devem permitir a atração de estudantes e pesquisadores estrangeiros, bem como estimular publicações internacionais de artigos em coautoria. O contato permanente com o setor privado deveria também permitir a oferta de estágios aos estudantes, em larga escala, em empresas.

Em terceiro lugar há de se considerar as novas circunstâncias geradas pela pandemia da covid-19, que impõem novos e profundos desafios para as instituições acadêmicas mundo afora (Witze, 2020). No enfrentamento desses desafios, certamente a cooperação internacional vai impor profundas adaptações no ensino e na pesquisa, mas ao mesmo tempo tornará ainda mais aguda a necessidade da cooperação científica e educacional para as universidades.

O conjunto de dados e considerações aqui levantados faz pressupor que um projeto de internacionalização da universidade brasileira deva ser cuidadosamente montado, tendo como alvo a busca da qualificação paulatina das instituições objetivando alcançar êxito na formatação das nossas primeiras WCUs. Um avanço sobre este grande e inadiável desafio pode ser facilitado pelo envolvimento e inclusão dos Programas de Pós-Graduação (PPG) mais qualificados, que já apresentam um bom grau de internacionalização, e na promoção ao melhor desempenho desses mesmos cursos de Pós-graduação. Vale ressaltar que ações na direção de melhor explorar oportunidades de cooperação internacional devem estar centralizadas no melhor preparo institucional na qualificação de recursos humanos e no mais eficiente desempenho científico da universidade. Este cuidado busca evitar o risco de participação e atuação subserviente na parceria, situação comum na grande maioria dos países menos desenvolvidos, especialmente em certas áreas de pesquisa, e que se caracteriza por

uma cooperação assimétrica e desbalanceada na contribuição científica entre os grupos de pesquisa do lado nacional e do lado internacional. A cooperação desbalanceada mais atrapalha do que ajuda o desenvolvimento das sociedades de tais países (Zanotto et al., 2016). Neste particular, destaque-se a posição favorável do Brasil, em face do seu extraordinário esforço de formação de recursos humanos pela via da Pós-graduação, que oferece oportunidade de maior garantia para a formatação da requerida simetria.

O formato de cooperação internacional aqui enfatizado impõe a adoção de iniciativas muito mais profundas e abrangentes do que as usualmente adotadas no Brasil pelo sistema federal de fomento centrado tão somente na concessão de bolsas de estudo oferecidas na demanda-balcão, e mesmo nos programas tipo Ciência sem Fronteiras ou Programa Institucional de Internacionalização (PrInt/Capes) para formação no exterior. Implica, isto sim, oferecer financiamento substancial a projetos de pesquisa conjuntos entre grupos de pesquisa brasileiros e do exterior na perspectiva de verdadeira cooperação internacional, visando desenvolver a pesquisa colaborativa pelo apoio financeiro específico, promovendo interações científicas e tecnológicas compartilhadas. Isto se torna ainda mais relevante considerando os extraordinários avanços nas tecnologias modernas e suas aplicabilidades, que impõem desde já profundas mudanças nos modelos educacionais mundo afora.

Porém, ao olhar para o estado de São Paulo, o quadro acima descrito tem uma significativa diferença. Ao analisarmos o investimento em pesquisa colaborativa, preferencialmente com instituições parceiras internacionais, observamos que as universidades públicas sediadas em São Paulo se destacam em rankings, publicações, citações e investimento em pesquisa. E que em grande parte esse destaque deve ser atribuído à FAPESP e às estratégias adotadas pela Fundação para estimular a internacionalização.

standard institutions requires the implementation of profound structural changes both for research and teaching.

The complete internationalization of teaching and research activities has various components to be considered for an updated management of a university of international quality. Informative teaching should be substituted by challenging and innovative teaching activities. Curricula for each type of professional training should observe the standards of international curricula, considering simultaneously the local reality. Given that today English is the lingua franca for global communication, it is of utmost importance that all students are offered opportunities to master a basic knowledge of the English language from the start of their academic life. Thus, courses, seminars, and other academic activities in English and in other languages should be offered. Agreements that allow for international partnerships for double degrees make a substantial contribution to the expansion of international exchange of students, professors, and technical-scientific staff. These changes should allow attracting foreign students and researchers, as well as stimulating international publication of co-authored articles. Permanent contact with the private sector should also permit large-scale availability of student's internships in companies.

Thirdly, the new circumstances created by the COVID-19 pandemic, which impose new and profound challenges for academic institutions around the world, must also be considered (Witze, 2020). In confronting these challenges, international cooperation will certainly lead to far reaching adaptations for teaching and research, but at the same time make the need for scientific and educational cooperation even more important for universities.

The data and considerations presented here lead us to believe that an internationalization project for the Brazilian university should be carefully established, having as its aim to gradually improve the institutions, and to achieve success in developing of our first WCUs. A step towards this significant and urgent challenge could be facilitated through the involvement and inclusion of more qualified Graduate Programs (GP) that already present a strong degree of internationalization, and the promotion of better outcomes in such post-graduate courses. Actions seeking to better exploit international cooperation opportunities should be focused on better institutional preparation for the qualification of human resources and on more efficient scientific performance for the university. This would avoid the risk of participating and acting in the partnership in a subservient position, a common situation in most underdeveloped countries, especially observed in certain areas of research.

A subservient position is characterized by an asymmetrical and unbalanced cooperation in scientific contribution between the research groups on the Brazilian and the international sides. Unequal cooperation interferes with, rather than helps, the development of societies of such countries (Zanotto et al., 2016). Brazil has, notably, a favorable position given its extraordinary efforts in training human resources through graduate programs, which offers a stronger guarantee of achieving the desired symmetry.

The format for international cooperation emphasized here requires the adoption of much deeper, far-reaching initiatives than are usually adopted in Brazil by the federal funding system, focused only on the provision of study scholarships offered over the counter, and even in programs such as Science without Borders or the Institutional Internationalization Program (Print/CAPEs) to study abroad. This change implies in offering substantial funding for shared research projects between Brazilian and foreign research groups from a perspective of truly international cooperation, seeking to develop collaborative research through targeted financial support to promote shared scientific and technological interactions. This proposal becomes even more relevant given the extraordinary advances in modern technology and its applicability, which immediately imposed considerable changes in educational models around the world.

In the state of São Paulo, the description above is significantly different. When analyzing the investment in collaborative research, preferably with international partner institutions, we observe that public universities situated in São Paulo stand out in the rankings, publications, citations, and research investment. Part of this emphasis should be attributed to FAPESP, and its strategies formulated to promote internationalization.

THE ROLE OF FAPESP IN INTERNATIONALIZATION

Since its creation in 1962, FAPESP has offered opportunities for researchers from the state of São Paulo to interact with colleagues from Brazil and around the world, thereby encouraging collaborative research.

In the first two decades of effective activity of FAPESP, an important part of the investment in internationalization provided conditions for Brazilian researchers to acquire training abroad. Full PhD's scholarships were offered for academic staff already hired by São Paulo universities who did not hold that degree. These undergraduates came from various USP and Unicamp campuses from Rural Higher Education Institutes in the state of São Paulo. They also came from university campuses situated in different rural areas of São Paulo state, and lastly, since

O PAPEL DA FAPESP NA INTERNACIONALIZAÇÃO

Desde sua implantação em 1962, a FAPESP sempre ofereceu, e continua oferecendo, oportunidades para pesquisadores do estado de São Paulo interagirem estimulando com colegas do Brasil e de todo o mundo, estimulando assim a pesquisa colaborativa.

Nas primeiras duas décadas de efetiva atividade da FAPESP, uma parte importante do investimento em internacionalização foi dedicada a providenciar condições para que pesquisadores brasileiros adquirissem formação no exterior. Bolsas integrais de doutorado foram dedicadas a docentes já contratados pelas Universidades Paulistas que não tinham essa formação. Docentes de várias Unidades da USP e da Unicamp, de Institutos Isolados de Ensino Superior do estado de São Paulo, então unidades universitárias situadas em diferentes pontos do interior paulista, e, desde 1976, da Unesp. A Pós-graduação foi formalmente instalada no Brasil em 1965, porém, a densidade de centros de pesquisa capazes de formar pesquisadores que, conhecendo o ambiente internacional, fossem capazes de dialogar cientificamente na fronteira do conhecimento era muito reduzida. O papel da FAPESP nessas décadas, permitindo a estudantes obter o doutoramento no exterior ou se associar como pós-doutores a grupos de excelência fora do Brasil, foi crucial. A decisão estratégica de aumentar o quadro de pesquisadores com experiência internacional foi tão bem-sucedida que já no começo da década de 1980 o número de grupos internacionalmente competitivos permitiu mudar a estratégia de internacionalização. Hoje, dificilmente a FAPESP financia bolsas de doutorado pleno no exterior, com as exceções necessárias em áreas do conhecimento em que grupos internacionalmente competitivos inexistem no estado de São Paulo.

A Fundação oferece oportunidades de interação com grupos de pesquisa dentro e fora do Brasil para bolsistas e pesquisadores por meio de muitas das linhas regulares de financiamento à pesquisa.

Na FAPESP, a definição de linha regular de pesquisa se refere especialmente a Projetos de Pesquisa Regulares (não mais que dois anos de duração), Temáticos (mais de um pesquisador principal, duração de cinco anos) e Programas Especiais, como BIOTA, BIOEN, E-SCIENCE, entre outros, e os Centros de Pesquisa, Divulgação e Inovação (CEPIDs) (vários pesquisadores principais e financiamento até 11 anos) e os Centros de Pesquisa em Engenharia (CPE) (investimentos conjuntos Empresa/FAPESP por até 11 anos).

Um dos primeiros Programas Especiais da FAPESP, originado, como muitos outros, numa proposta conjunta de cientistas e da Diretoria Científica, foi o Programa de Desenvolvimento da Bioquímica em São Paulo (Bioq-FAPESP), que começou a operar em 1971. A internacionalização do Bioq-FAPESP estava determinada pela participação de cientistas do exterior na análise do programa, na avaliação dos projetos e no acompanhamento do programa. O comitê externo contava com um bioquímico que havia sido agraciado, em 1968, com o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina.

Entre as modalidades da linha regular oferecidas pela FAPESP, destacamos aquelas com foco específico em interação com pesquisadores de instituições no exterior, como, por exemplo, os auxílios à participação em reuniões científicas, organização de reuniões e professor visitante, a bolsa pesquisa no exterior. Há que se destacar também as dezenas de chamadas de propostas lançadas anualmente em parceria com organizações e instituições nacionais e internacionais de pesquisa.

Deve ser acrescentado que a Fundação espera de todos os seus bolsistas um estágio no exterior num grupo de pesquisa que trabalhe em área de relevância para o projeto do bolsista. Acreditando que fronteiras não limitam o conhecimento ou a produção científica, e que quanto mais interação melhores serão os resultados, a FAPESP estimula a colaboração em pesquisa com parceiros no Brasil e no exterior, incentivando a apresentação de projetos ousados e abrangentes, conce-



bidos, escritos e desenvolvidos em conjunto, preferencialmente de longo prazo, internacionalmente competitivos e com objetivos avançados.

Com o estabelecimento de parcerias internacionais, a FAPESP espera que pesquisadores do estado de São Paulo conduzam o maior número possível de projetos com colegas estrangeiros, colocando-os em posições-chave de governança no contexto de seus grupos de pesquisa e possibilitando que os pesquisadores baseados no Brasil tenham protagonismo e liderança nos grandes projetos internacionais. Por exemplo, com a participação de pesquisadores de instituições sediadas no estado de São Paulo em grandes projetos de colaboração internacional tem-se conseguido tal protagonismo.

Nas duas últimas décadas houve um crescimento impressionante da oferta, pela FAPESP, de oportunidades para realização de pesquisas colaborativas com pesquisadores mundo afora. Esse crescimento é resultado de uma política efetiva de internacionalização que começou

mais fortemente em 2005 e que inclui várias estratégias.

A FAPESP, desde 2005, numa clara direção estratégica, começou a estabelecer contatos internacionais com agências nacionais de fomento à pesquisa, bem como fundações privadas dedicadas a investir em pesquisa de forma desinteressada. Ao mesmo tempo, contatos com universidades e institutos de pesquisa começaram a se estabelecer. O propósito deste esforço foi claramente apoiar uma internacionalização da pesquisa paulista que fosse bem além do intercâmbio de pesquisadores, mecanismo que, em função dos bons resultados, segue incorporado aos projetos de internacionalização da FAPESP. Seria longo demais relatar, em qualquer nível de detalhe, o investimento de tempo e esforço que esta internacionalização significou. É preferível resumir os dados do último Relatório da Fundação em 2020 (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2020) que mostra (Figura 3) a lista de acordos de cooperação vigentes em 2020, no qual se pode

1976, from Unesp. Graduate Programs were formally established in Brazil in 1965. However, the density of research centers able to train researchers who, understanding the international environment, were able to scientifically dialogue with the frontiers of knowledge, was small. The role of FAPESP during these decades, allowing students to obtain their PhD's overseas or to be associated as postdocs with groups of excellence outside Brazil, was crucial. The strategic decision to increase the team of researchers with international experience was so successful that in the early 1980's the number of internationally competitive groups allowed for a change in the internationalization strategy of FAPESP. Currently, FAPESP rarely finances full overseas PhD's scholarships, except for areas of knowledge where internationally competitive groups cannot be found in the state of São Paulo.

The Foundation offers opportunities for scholarship holders and researchers to interact with research groups within and outside Brazil by means of established lines of research financing.

In FAPESP, the definition of an established line of research refers especially to Regular Research Projects (no more than two years long), Thematic (more than one main researcher, five-year extent) and Special Programs, such as BIOTA, BIOEN, and E-SCIENCE, among others, and the Centers for Research, Outreach and Innovation (CEPIDs) (various main researchers, and up to 11 years of financing) and the Centers for Research in Engineering (CPE) (joint investment company/FAPESP for up to 11 years of financing).

One of the main Special Programs of FAPESP, which, like many others, is based on a joint proposal from scientists and the Scientific Board, was the Biochemistry Development Program in São Paulo (Bioq-FAPESP), which began to operate in 1971. The internationalization of Bioq-FAPESP was determined by the participation of international scientists in the analysis of the program, in the evaluation of projects, and in monitoring the Program. The external committee included a biochemist who had won, in 1968, a Nobel Prize in Physiology or Medicine.

Among the modalities of established programs offered by FAPESP, we highlight those with a specific focus on interaction with researchers from institutions abroad, which assist in participating in scientific meetings, organizing meetings, and visiting professors, and providing overseas research grants. We note the tens of proposals presented annually in partnership with national and international research institutions and organizations.

FAPESP expects all its scholarship holders to participate in an internship in a research group working in his/her area. Believing that borders do not limit knowledge or scientif-

ic production, and that the more interaction there is the better the results, FAPESP promotes cooperation in research with partnerships in Brazil and overseas. It encourages the proposal of ambitious and far-reaching projects, designed, written, and developed together, and preferably over a longer time-frame, that is both internationally competitive and with innovative goals.

With the establishment of international partnerships, FAPESP expects researchers from the state of São Paulo to develop the greatest possible number of projects with international colleagues, placing them in key positions of governance in their research groups and allowing researchers based in Brazil to play a leadership role in large-scale international projects. Such influence has been achieved with the participation of researchers from institutions in the state of São Paulo in large-scale international collaborations.

In the last two decades the opportunities offered by FAPESP to undertake international collaborative research have grown significantly. This growth is the result of an effective policy of internationalization that began strongly in 2005 and included various strategies.

Since 2005, implementing a clear strategic course of action, FAPESP began to establish international contacts with national research funding bodies, as well as with private foundations dedicated to investing in research in an unbiased manner. Simultaneously, contact with universities and research institutes was established. The purpose of these efforts was clearly to support the internationalization of research in São Paulo, going far beyond the exchange of researchers, a mechanism that, due to good results, continues to include FAPESP internationalization projects. Reporting at any level of detail on the time and effort that this internationalization entailed is beyond our scope here. It is preferable to summarize the data from the 2020 Foundation Report, which shows a detailed list of cooperation agreements ongoing in 2020 (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2020), where we can find (Figure 3) the organizations with which FAPESP formalized agreements.

Notably, in each region the organizations can refer to funding agencies, universities, or research institutes.

As part of FAPESP internationalization policy, the growth in existing funding areas encourages researchers from the state of São Paulo to expand their interaction with colleagues from other countries. Such trends are:

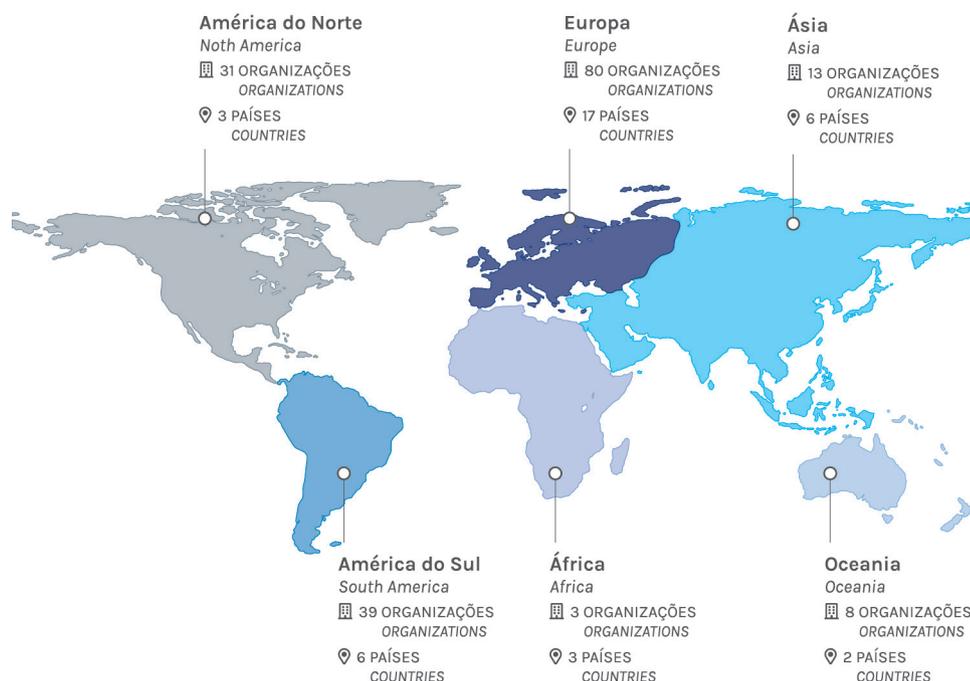


Figura 3. Quantidade de acordos de cooperação firmados entre a FAPESP e instituições nas diversas regiões vigentes em 2020.

Figure 3. Number of cooperation agreements formalized between FAPESP and institutions from diverse regions, ongoing in 2020.

encontrar, em detalhe, as organizações correspondentes com as quais a FAPESP estabeleceu acordo.

Deve-se notar que em cada região as organizações podem se referir a agências de fomento, universidades ou instituições de pesquisa.

Como parte da política de internacionalização da FAPESP, o incremento de linhas de fomento já existentes estimula os pesquisadores do estado de São Paulo a ampliarem sua interação com colegas de outros países. Destacam-se aqui:

1. o aumento do valor da Reserva Técnica nas bolsas de pós-doutorado, doutorado e doutorado direto, mestrado e iniciação científica, facilitando a participação de bolsistas em reuniões científicas internacionais e, conseqüentemente, estimulando o início da experiência internacional do futuro pesquisador;

2. a inclusão dos chamados Benefícios Complementares (BC) em Auxílios Regulares que, como nos Projetos Temáticos, permite ao pesquisador responsável flexibilidade e agilidade para participar de reuniões científicas internacionais ou para convidar colegas de instituições estrangeiras a passarem um pequeno período na instituição paulista;
3. o aumento do valor dos Benefícios Complementares nos Projetos Temáticos, melhorando a possibilidade de interação do Pesquisador Responsável e dos Pesquisadores Principais de cada Projeto Temático com colegas no exterior;
4. a concessão de bolsas de pós-doutorado como item do orçamento de Projetos Temáticos, dando ao pesquisador responsável pelo projeto flexibilidade para a escolha do bolsista, desde que a divulgação dessa oportunidade seja interna-

cional. A Figura 4 mostra o crescimento do número de pesquisadores estrangeiros entre os bolsistas de pós-doutorado da FAPESP.

Outra estratégia importante foi a criação de novas modalidades de fomento como:

1. o programa **Novas Fronteiras**, vigente entre 2005 e 2008, que era um tipo de bolsa no exterior com finalidade de estimular os recém-doutores – com menos de 10 anos de obtenção do título – a realizarem, durante 12 meses, um estágio de pesquisa no exterior;

1. the increase in value of the “Technical Reserve” for postdoc, PhD, MSc, and undergraduate scholarships, which facilitated the participation of scholarship holders in international scientific meetings and, consequently, set the stage for the international experience for future researchers.
 2. the inclusion of the so called “Complementary Benefits” (CB) in “Regular Projects” that, similarly to the Thematic Projects, gives the head researcher flexibility and ease to participate in international scientific meetings or to invite colleagues from foreign institutions to spend a short period working in a São Paulo institution.
 3. the increase in the value of the Complementary Benefits for Thematic Projects, improving the possibility for interaction between the Head Researcher and the Main Researchers for each Thematic Project with colleagues from abroad.
 4. the provision of postdoc’s scholarships as a budgetary item for Thematic Projects, giving the researcher responsible for the project flexibility to choose the scholarship holder, as long as the opening is internationally disclosed. Figure 4 shows the growth in the number of foreign researchers among FAPESP postdoc scholarship holders.
- Another important strategy was the creation of the new funding modalities such as:
1. the **New Frontiers** program, in place between 2005 and 2008, was a kind of overseas scholarship with the aim of encouraging recent doctors - with less than ten years holding the title - to study 12 months abroad.
 2. the **São Paulo School of Advanced Science (ESPCA)**, whose objective is to bring scientists of international renown to spend a week in São Paulo state discussing issues related to the frontiers of knowledge with researchers and students of São Paulo, from other parts of Brazil, and even from other countries.
 3. the **Overseas Research Internship Scholarship (BEPE)** offered to undergraduate, MSc and PhD students, and postdocs, holders of FAPESP scholarship to support their participation in short and medium-term research internships abroad.
 4. the **São Paulo Excellence Chair (SPEC)** program, a Thematic Project, where the main researcher must be an internationally renowned academic that conducts, together with a local colleague, a research project in São Paulo investigating topics on the frontiers of knowledge.

Porcentagem de pós-doutores com graduação fora do Brasil, 2007-2008 e 2017-2018

Percentage of post-doctors with graduation outside Brazil, 2007-2008 and 2017-2018

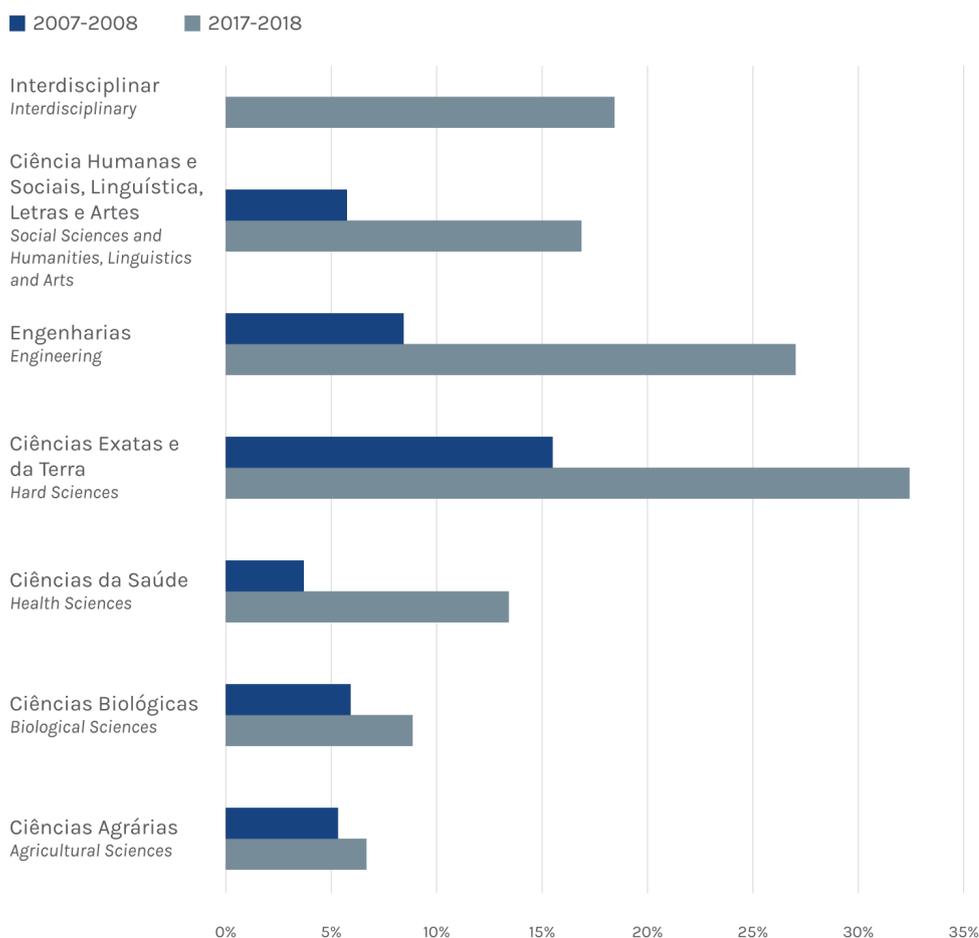


Figura 4. Porcentagem de bolsistas de pós-doutorado da FAPESP com formação no exterior (biênios 2007-2008 e 2017-2018)³.

Figure 4. Percentage of FAPESP post-doctoral scholarship holders with studies abroad (2007-2008 and 2017-2018)³.

³ Dados levantados pelo CPD e Gerência Adjunta da Diretoria Científica da FAPESP, compilados por Carlos Henrique de Brito Cruz.

³ Data presented by the CPD and Adjunct Management of the Scientific Board of FAPESP, compiled by Carlos Henrique de Brito Cruz.

Created in April 2014, as another strategy to encourage international research collaborations, FAPESP established the São Paulo Researchers in International Collaboration (SPRINT) Program aiming to create new research groups based on researcher exchange, possibly including visits and small-scale seminars. The visits should be reciprocal both in terms of number of incoming and outgoing researchers, and in terms of the level of experience and training of these researchers, providing visitors with interaction to get to know the research group of their partners.

SPRINT projects, launched four editions per year, seek a synergy between the researchers involved (from São Paulo and the country of the partner institution), such that, at the end of the two-year period, a joint, long-term research project can be planned and submitted to the respective funding agencies, thereby consolidating a new partnership.

This program was conceived of with the aim of improving the organization of tens of calls for proposals until then launched annually by FAPESP together with each overseas partner institution, mainly a university. Additionally, the four editions per year, on previously defined dates, give researchers from São Paulo the possibility to better plan proposal submissions. Figure 5 shows the evolution of foreign institutions joining SPRINT.

The private sector is also included in FAPESP's internationalization strategy. Besides the strong incentives for collaborative research with companies over the last two decades, an important step was taken in 2012. This involved the establishment of co-financing for long-term projects (up to 10 years) for the development of world class research at the frontiers of knowledge, relevant to or oriented towards application. FAPESP's Engineering Research Centers (CPE) and Applied Research Centers (CPA) (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022c) programs involve a co-financing by a partner company. The partner company should be strongly involved in the definition of focal themes to be addressed, actively participate in research projects, and use the results obtained in the Center. Up to the end of 2020, FAPESP had approved 18 centers, of which 11 were in partnership with foreign companies.

By early 2020, investments approved by partner companies reached 62.5 million USD (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2021). One of the results of these Centers was the significant growth in scientific articles co-authored by research-

2. o programa **Escola São Paulo de Ciência Avançada** (ESPCA), cujo objetivo é trazer ao estado de São Paulo cientistas de renome internacional para passar uma semana discutindo temas da fronteira do conhecimento com pesquisadores e estudantes de doutorado de São Paulo, de outras partes do Brasil e até de outros países;

3. a **Bolsa de Estágio de Pesquisa no Exterior** (BEPE), oferecida a bolsistas da FAPESP de iniciação científica, mestrado, doutorado e pós-doutorado para apoiar sua participação em estágios de pesquisa de curto e médio prazo no exterior; e

4. o programa **São Paulo Excellence Chair** (SPEC), que é, na verdade, um Projeto Temático em que o pesquisador principal deve ser necessariamente um pesquisador do exterior conduzindo, em São Paulo, juntamente com um pesquisador local, um projeto de pesquisa sobre temas de fronteira do conhecimento.

Em abril de 2014, como mais uma estratégia para impulsionar as colaborações internacionais em pesquisa, a FAPESP criou o Programa *São Paulo Researchers in International Collaboration* (SPRINT), visando à criação de novos grupos de pesquisa a partir

da mobilidade de pesquisadores, podendo incluir nas visitas, lá e cá, pequenos seminários. As visitas devem ter reciprocidade tanto de quantidade de pesquisadores que vêm e vão, quanto do nível de experiência e formação desses pesquisadores, e proporcionam aos visitantes que interajam e conheçam os grupos de pesquisa dos respectivos parceiros.

Os projetos SPRINT, selecionados em quatro edições anuais, buscam a sinergia entre os pesquisadores envolvidos (de São Paulo e do país da instituição parceira), de modo que, ao final dos seus dois anos de vigência, concebam e submetam às respectivas agências de fomento um projeto conjunto de pesquisa de longo prazo, consolidando assim a nova parceria.

Esse Programa foi concebido com o objetivo de melhor organizar as dezenas de Chamadas de Propostas até então lançadas anualmente pela FAPESP em conjunto com cada instituição estrangeira parceira, em geral universidades. Além disso, com as quatro edições anuais, em datas definidas *a priori*, dá aos pesquisadores paulistas a possibilidade de melhor planejar a submissão de propostas. Na Figura 5 observa-se

SPRINT

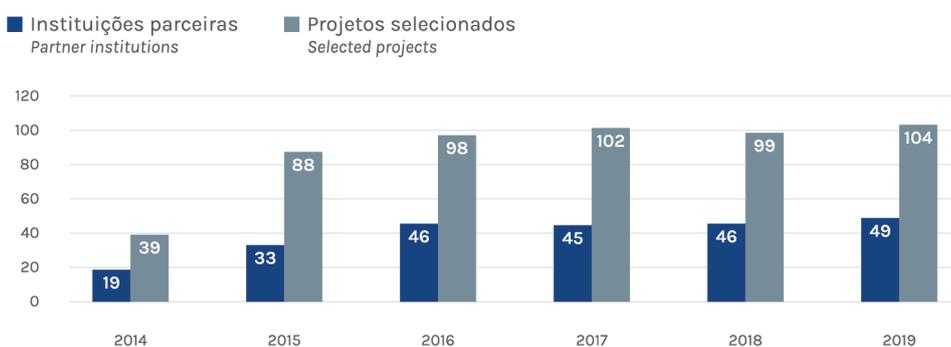


Figura 5. Evolução da adesão ao Programa SPRINT entre 2014 e 2019.

Fonte: Dados extraídos de Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2022b).

Figure 5. Evolution of adherence to SPRINT program between 2014 and 2019.

Source: Data obtained from Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2022b).

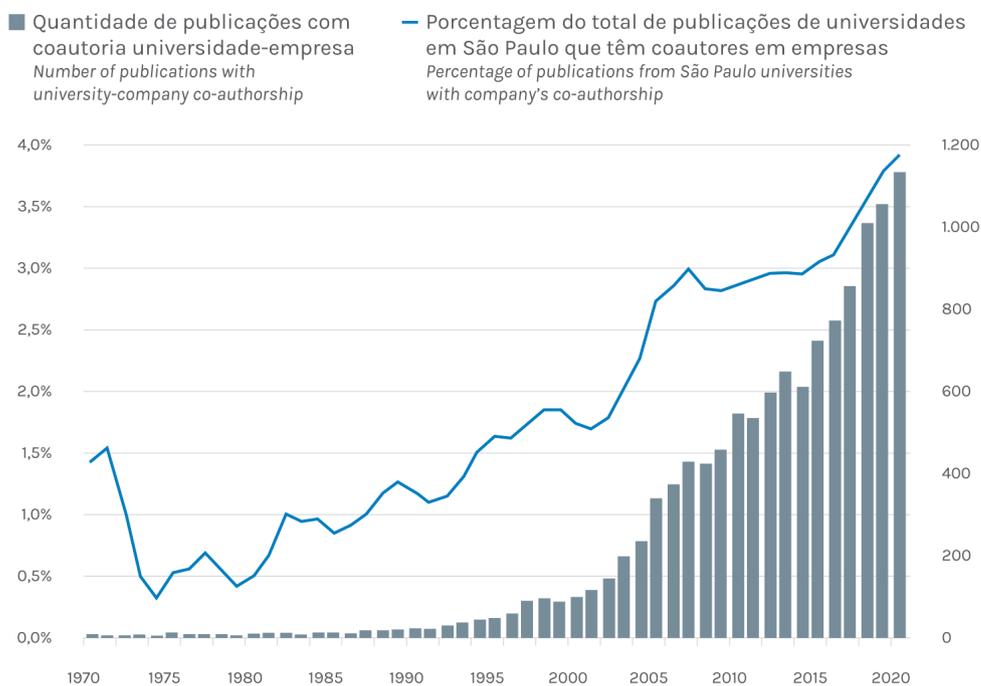


Figura 6. Publicações por pesquisadores do estado de São Paulo em coautoria com pesquisadores de empresas. *Figure 6.* Publications by researchers from São Paulo state in co-authorship with researchers from companies.

a evolução da adesão das instituições estrangeiras ao SPRINT.

O setor privado também está contemplado na estratégia de internacionalização da FAPESP. Além do forte incentivo à pesquisa colaborativa com empresas nas duas últimas décadas, um passo importante foi dado em 2012, permitindo o cofinanciamento de projetos de longo prazo (até 10 anos) para o desenvolvimento de pesquisas de classe mundial na fronteira de conhecimento, fundamental ou orientado para a aplicação. O Programa FAPESP de Centros de Pesquisa em Engenharia (CPE) e Centros de Pesquisa Aplicada (CPA) (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022c) é um programa em que um dos parceiros é uma empresa cofinanciadora da pesquisa e que está fortemente motivada a participar da definição dos temas focais a serem estudados, participando ativamente dos projetos de pesquisa e aplicando os

resultados obtidos. Até o final de 2020, a FAPESP já havia aprovado 18 centros, dos quais 11 em parceria com empresas estrangeiras.

Até o início de 2020, o investimento aprovado por parte das empresas parceiras chegou a cerca de 294 milhões de reais (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2021). Um dos resultados foi o crescimento significativo de artigos científicos escritos em coautoria entre pesquisadores de instituições de ensino superior e de pesquisa do estado de São Paulo e pesquisadores de empresas, inclusive do exterior (Figura 6)⁴. Não sem razão, no estado de São Paulo estão situadas 20 das 72 unidades credenciadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPPI) para o desenvolvi-

ers from higher education and research institutions in the state of São Paulo and researchers from companies, including foreign ones (Figure 6)⁴. Unsurprisingly, 20 of the 72 units accredited by the Brazilian Company for Research and Industrial Innovation (EMBRAPPI) for the development of P&D&I projects on demand by companies are located in Sao Paulo state.

An important mechanism that facilitates policies for research internationalization, supported by FAPESP, was the above-mentioned establishment of diverse **Cooperation Agreements** between the foundation and foreign institutions, be they universities, research funding agencies, large research centers, companies, multinational organizations, or government agencies. Cooperation agreement proposals cannot be reduced to a mere signature on a document without practical consequences. Basically, all agreements imply a call for proposals that involve the elaboration of a project between the parts which, after analysis of the relevance of the scientific research proposal, is proportionally financed according to both parts. Dozens of calls for proposals are launched annually in partnership with national and international organizations and research institutions.

In fact, cooperation agreements are not indispensable for research collaboration, given that experienced researchers consistently deal with spontaneous initiatives, seeking to find partnerships with other countries on their own. Institutional agreements, however, increase the visibility of collaboration opportunities between researchers in the state of São Paulo, in Brazil and in the partner institution's country. Additionally, agreements and respective calls for proposals assist in organizing the demands and, in most cases, guarantee the co-funding of the collaborative research projects selected.

Between 2008 and 2015 the number of cooperation agreements established by FAPESP grew exponentially. Such cooperation included visits from the scientific director and the president of FAPESP to research funding institutions and universities abroad; FAPESP participation in major international events; new programs, such as SPEC and ESPCA, which opened doors for the arrival of experienced researchers from abroad; FAPESP weeks - workshops promoted by FAPESP in diverse countries -, which began in 2012 to celebrate the 50 years of FAPESP; program "Science without Borders", launched by CAPES and CNPq in 2011, which indirectly promoted a series of visits of universities to the Brazilian capital, Brasília, to get to know the program and, following this, went to São Paulo to visit FAPESP, as part of a movement that

⁴ Elsevier, SCOPUS; levantamento especial por Carlos Henrique de Brito Cruz.

⁴ Elsevier, SCOPUS; special survey by Carlos Henrique de Brito Cruz.

energized the establishment of hundreds of new cooperation agreements.

Another movement that strengthened the establishment of agreements was the creation of different forums that brought together leaders of the most important funding agencies in the world, such as Belmont Forum, the Global Alliance for Chronic Diseases (GACD), the Global Research Collaboration for Infectious Disease Preparedness (GloPID-R), Trans-Atlantic Platform (T-AP) and the Global Research Council (GRC). FAPESP was part of those forums and participated in the rotating presidency of GRC during the 2019 to 2020 period, being also one of the vice-chairs in the GloPID-R between 2017 and 2019. The meetings promoted by these forums, in addition to stimulating sharing best practices for funding scientific creativity and for improving peer evaluation processes, also identified research topics that require the necessary international collaboration, such as climate change, global impact pandemics, Strategic Development Goals (SDG), gender issues, sociological understanding of intolerance, and open access to knowledge produced in projects undertaken with public resources, among a series of subjects that will define the future of our planet in following decades.

The process of formalizing these agreements in the Foundation is simple: in general, following each visit, the FAPESP Scientific Board sends a legally well-grounded draft by e-mail to the potential partner. The partner institution analyzes it, adds its institutional information, suggests alterations to make the text meet its own legal requirements, discusses the scientific issues, objectives and possibilities for organizing calls in partnership, budget etc., and both institutions sign the agreement.

Frequently, it is necessary for considerable adjustments to be made to arrive at the final version of the agreement, depending on the characteristics of the partner institution. We highlight that, in numerous cases, the other institution, usually a federal funding agency, needs to find solutions and mechanisms to make the agreement work. This is necessary because, being federal institutions, there is no flexibility or autonomy to establish agreements with regional institutions, as is the case with FAPESP. However, the flexibility of FAPESP in finding solutions for disputes and specificities means that the obstacles to formalizing the agreements are easily overcome.

Obviously, for each new agreement there is an internal process at FAPESP to allow its approval by the Senior Council. The whole process, however, usually takes no longer than 60 days.

Since 2005, FAPESP has formalized nearly four hundred cooperation agreements with multinational organizations, compa-

mento de projetos de P&D&I de demanda de empresas.

Um importante mecanismo facilitador da política de internacionalização da pesquisa apoiada pela FAPESP foi o já mencionado estabelecimento de diversos Acordos de Cooperação entre a Fundação e instituições no exterior, sejam elas universidades, agências de fomento à pesquisa, grandes centros de pesquisa, empresas, organizações multinacionais ou órgãos de governo. As propostas de acordos de cooperação não se resumem a simples assinaturas de documentos sem consequências práticas. Essencialmente, todos os acordos implicam uma chamada de proposta que implica a elaboração de um projeto conjunto entre as partes que, depois de análise de relevância da pesquisa científica proposta, é financiado proporcionalmente por ambas as partes. Dezenas de chamadas de propostas são lançadas anualmente em parceria com organizações e instituições nacionais e internacionais de pesquisa.

De fato, os acordos de cooperação não são indispensáveis para que haja a colaboração em pesquisa, já que pesquisadores experientes quase sempre lideram iniciativas espontâneas, procurando encontrar parceiros em outros países por conta própria. No entanto, os acordos aumentam a visibilidade das oportunidades de colaboração entre pesquisadores no estado de São Paulo, no Brasil e no país da instituição parceira. Além disso, os acordos e respectivas chamadas de propostas auxiliam na organização das demandas e, na maioria dos casos, garantem o cofinanciamento dos projetos de pesquisa colaborativa selecionados.

Um movimento muito interessante entre os anos 2008 e 2015 fez com que a quantidade de acordos de cooperação celebrados pela FAPESP crescesse de modo exponencial. Visitas do diretor científico e do presidente da FAPESP a instituições de fomento à pesquisa e a universidades no exterior; participação da FAPESP em grandes eventos internacionais; os novos programas, como SPEC e ESPCA, que abriram portas para a vinda de pesquisadores seniores do exte-

rior; as FAPESP Weeks – *workshops* promovidos pela FAPESP em diversos países –, que começaram em 2012 em comemoração aos 50 anos da FAPESP; o programa Ciência sem Fronteiras, lançado pela Capes e CNPq em 2011, que indiretamente promoveu um fluxo de visitas de universidades que iam a Brasília para conhecer o referido programa e, em seguida, vinham a São Paulo conhecer a FAPESP, fazem parte do movimento que impulsionou a celebração das centenas de novos acordos de cooperação.

Finalmente, mais um movimento que impulsionou a celebração de acordos foi a criação de diferentes fóruns que reúnem os líderes das mais importantes agências de fomento no mundo, como, entre outros, o *Belmont Forum*, o *Global Alliance for Chronic Diseases* (GACD), o *Global Research Collaboration for Infectious Disease Preparedness* (GloPID-R), *Trans-Atlantic Platform* (T-AP) e o *Global Research Council* (GRC), dos quais a FAPESP faz parte como protagonista, inclusive exercendo a presidência rotativa do GRC no período 2019 a 2020 e uma das *vice-chairs* no GloPID-R entre 2017 e 2019. As reuniões de trabalho promovidas por esses fóruns, além de promoverem o compartilhamento das melhores práticas de fomento à criatividade científica e ao aprimoramento dos processos de avaliação por pares, têm também identificado temas de pesquisa que requerem necessariamente a colaboração internacional, como as mudanças climáticas, as pandemias de impacto global, os *Strategic Development Goals* (SDG), as questões de gênero, a compreensão sociológica da intolerância, o acesso aberto ao conhecimento produzido em projetos realizados com recursos públicos, entre outros numerosos temas que definirão o futuro do nosso planeta nas próximas décadas.

O processo de celebração desses acordos é bastante simples: em geral, após cada visita, a Diretoria Científica da FAPESP envia, por e-mail, uma minuta já bem consolidada do ponto de vista jurídico, e a instituição parceira analisa, inclui seus dados, sugere alterações de modo a adequar o texto às suas próprias exigências

jurídicas, discutem-se temas e objetivos científicos, possibilidades de lançamento de chamadas conjuntas, orçamento etc. e então ambas as partes assinam o acordo.

Muitas vezes, é necessário que sejam feitos ajustes consideráveis para se chegar à versão final do acordo, dependendo das características da instituição parceira. Destacamos que em vários casos as instituições do exterior, em geral agências federais de fomento, têm elas mesmas que encontrar mecanismos e soluções, já que, por serem instituições federais, não têm flexibilidade ou autonomia para firmarem acordos com instituições regionais, como é o caso da FAPESP. Mas a flexibilidade da FAPESP na busca de soluções para divergências e especificidades faz com que os obstáculos para a formalização de acordos sejam facilmente superados.

É claro que há, para cada proposta de novo acordo, uma tramitação interna na FAPESP visando sua aprovação pelo Conselho Superior, mas todo esse processo não leva mais que 60 dias.

Desde 2005, a FAPESP firmou perto de quatro centenas de acordos de cooperação com organizações multinacionais, empresas, instituições de ensino superior e pes-

quisa e agências de fomento no Brasil e em quase 40 países. Em mais de 80% desses acordos, pelo menos uma chamada de propostas foi lançada, tendo projetos selecionados e devidamente contratados.

A Figura 7 mostra a evolução da quantidade de chamadas de propostas (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022d) lançadas com parceiros internacionais, lembrando que (1) a partir de 2014, com a criação do programa SPRINT, todas as chamadas para mobilidade antes lançadas individualmente com cada instituição parceira passaram a ser concentradas nas quatro edições anuais do SPRINT, com uma média de 10 instituições internacionais por edição, como mostrado na Figura 5, e que (2), devido à pandemia, houve, naturalmente, uma redução significativa de chamadas em 2020.

Nesse contexto, a Biblioteca Virtual (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022f) da FAPESP – repositório de todos os projetos aprovados pela Fundação (também em inglês desde 2006) – passou a ser para pesquisadores estrangeiros uma importantíssima ferramenta de busca por possíveis pesquisadores parceiros do estado de São Paulo.

gies, higher education and research institutions, and funding agencies in Brazil and with nearly 40 countries. In more than 80% of these agreements, at least one call for proposals was launched, with projects being selected and duly contracted.

Figure 7 shows the evolution in the number of calls for proposals (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022d) launched with international partners. Observe that (1) as from 2014, with the creation of SPRINT program, all calls for exchange programs previously launched individually with each partner institution were being concentrated in the four annual editions of SPRINT. There was an average of 10 international institutions per edition, as can be seen in Figure 5. Also (2) due to the pandemic, there was obviously a significant decrease in calls in 2020.

In this context, FAPESP Virtual Library (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022f) – a repository for all the projects approved by the Foundation (English version since 2006) – became an extremely important search tool for international researchers looking for possible research partners from the state of São Paulo.

It is also necessary to highlight two other important FAPESP initiatives that have contributed to encouraging the internationalization of research produced in São Paulo: the significant FAPESP programs focused on specific areas and the introduction of the need of international experience of the person requesting research funding as one of the analysis and selection criteria for submitted proposals.

The international experience of the representative researcher always had a certain weight for the analysis and selection process for proposals submitted to FAPESP. However, starting from 2010, this experience became an effective part of the list of selection criteria. In the beginning, it was a criterion for larger projects – Thematic Projects, for example and, over subsequent years, with greater emphasis on Regular Projects. With this policy, FAPESP sought to encourage researchers, especially recent PhD’s, to seek out internship opportunities or some other type of international experience. The Foundation itself contributed by offering the opportunities already mentioned here, such as BEPE and SPRINT, among others.

Another mechanism, different from those previously mentioned, resulted from the implementation of a new support tool for Young Researchers (JP). In presenting their project for JP, the person should demonstrate successful international experience after his/her PhD. This requirement assures that the young PhD has experienced the nature of research abroad, and allows JP to acquire, together with the research experience, ongoing contact with researchers from around

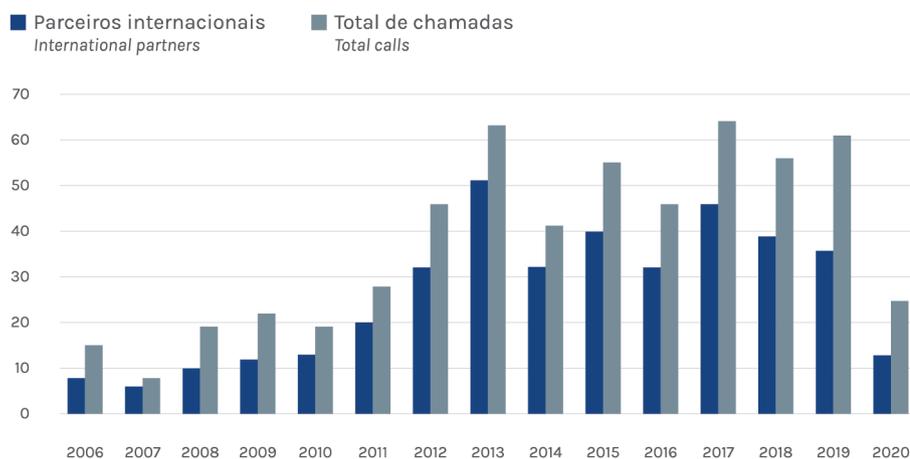


Figura 7. Chamadas de propostas lançadas pela FAPESP em parceria com instituições internacionais.

Figure 7. Calls for proposals launched by FAPESP in partnership with international institutions.

the world. It is worth noting that a postdoc abroad with external financing can become an advantage when evaluating all the projects. One of the requirements for submitting a JP project is the ambition of the scientific proposal. The JP Program can temporarily finance a scholarship, that continues until the JP is hired by an education or research institution. In addition to the scholarship, which the JP receives as long as he/she is not hired, the scholarship guarantees sufficient resources so that the young researcher can build his/her own independent line of research.

Besides the internationalization initiatives presented above, a series of FAPESP Programs that established contact with well-known scientific research centers or researchers abroad as part of their mission, is also noteworthy noting. Amongst them are programs such as Bioenergy Research (BIOEN); Biodiversity Research (BIOTA); International Cooperation for Support for Research into the Brain (CINAPCE); Program for Research in eScience and Data Science (eScience); Climate Change (PFPMCG); Network for Structural Biology in Advanced Topics for Life Sciences (SMOLBNET), which not only are internationally recognized, but also include world-renowned international researchers as partners or members of their management or steering committees. All programs of this modality, as a requirement, must include globally recognized researchers in their management or steering committees. The specific mission of the committees, regardless of the necessary annual meetings, is to discuss with local managers the position of the science developed in relation to the frontier of international knowledge in the program area.

In the limited space available here, it is impossible to highlight the impact of each Program, and as such, we run the risk of making an arbitrary selection. However, we highlight the BIOEN Program as a world leader in Bioenergy, recognized for the density of its scientific production in international collaboration, in the organization of BBEST, the global meeting of Bioenergy, also due to the participation of its local members on the boards of global organizations in the area.

Another program that stands out in the internationalization of science in São Paulo, financed by FAPESP, is that of the Centers for Research Innovation and Outreach (CEPIDs) (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022e). Each CEPID, besides its international participation in the management committee, has an intense exchange of personnel and collaboration projects with research and development entities abroad.

The Centers for Research in Engineering (CPE/CPA), already mentioned in this chapter, in addition to the international elements described for CEPIDs, have a unique characteristic, since financing includes partici-

Ainda é preciso destacar outras duas importantes ações da FAPESP que têm contribuído para estimular a internacionalização da pesquisa produzida em São Paulo: os grandes programas da FAPESP voltados a temas específicos e a introdução de experiência internacional dos pesquisadores proponentes como um dos critérios na análise e seleção das propostas submetidas.

A experiência internacional do pesquisador proponente sempre teve certo destaque no processo de análise e seleção das propostas submetidas à FAPESP. Porém, a partir de 2010, essa experiência passou a ser parte efetiva da relação de critérios de seleção. No início, como critério nos projetos de maior porte – Projetos Temáticos, por exemplo e, ao longo dos anos subsequentes, nos Auxílios Regulares, com cada vez maior ênfase. Com essa atitude, a FAPESP procura induzir os pesquisadores, especialmente os recém-doutores, a buscarem oportunidades de estágio ou algum outro tipo de experiência internacional. A própria Fundação contribui para isso oferecendo oportunidades já descritas aqui, como a BEPE e o SPRINT, entre outras.

Um outro mecanismo, totalmente distinto dos mencionados anteriormente, decorre da implantação de um novo mecanismo de apoio a Jovens Pesquisadores (JP). O proponente a um JP deve demonstrar, ao apresentar o seu projeto, experiência internacional bem-sucedida após o seu doutoramento. Este requisito garante que o proponente tenha vivenciado o ritmo de pesquisa no exterior, bem como permite que durante a duração do projeto o JP já tenha adquirido, além da experiência de pesquisa, contatos permanentes com pesquisadores do mundo. Vale destacar que um pós-doutoramento no exterior com financiamento externo pode se constituir numa vantagem ao se avaliar a totalidade do projeto. É necessário também destacar que um dos requisitos na apresentação do projeto é a ousadia da proposta científica. O Programa JP pode financiar temporariamente uma bolsa, que se estende até o JP ser contratado por uma instituição de ensino ou pesquisa. Além da bolsa, que o JP

somente recebe se não estiver contratado, o auxílio garante recursos suficientes para que o jovem possa montar a sua linha de pesquisa independente.

Em adição às iniciativas de internacionalização apresentadas acima, merece destaque, também, uma série de Programas da FAPESP que tem contato com centros ou pesquisadores destacados no exterior. Dentre eles, programas como Pesquisa em Bioenergia (BIOEN); Pesquisa em Biodiversidade (BIOTA); Cooperação Interinstitucional de Apoio a Pesquisas sobre o Cérebro (CINAPCE); Programa de Pesquisas em eScience e Data Science (eScience); Mudanças Climáticas (PFPMCG) e Rede de Biologia Estrutural em Tópicos Avançados de Ciências da Vida (SMOLBNET) não somente têm destaque internacional como incluem pesquisadores estrangeiros de destaque mundial como parceiros ou membros dos comitês gestores. Todos os programas desta dimensão têm, como requisito, incluir pesquisadores globalmente reconhecidos nos seus comitês gestores. A missão específica dos comitês gestores, além da necessidade de reuniões anuais, é discutir com os gestores locais a posição relativa da ciência desenvolvida em relação à fronteira do conhecimento internacional na área do programa.

Num espaço reduzido é impossível destacar o impacto de cada um dos programas, assim, correndo o risco de uma seleção arbitrária, deve-se apontar que o Programa BIOEN é referência mundial em Bioenergia, reconhecido pela densidade da sua produção científica em colaboração internacional na organização do BBEST, a reunião global de Bioenergia, bem como pela participação de seus membros locais nas Diretivas das organizações mundiais da área.

Outro programa que se destaca na internacionalização da ciência paulista financiado pela FAPESP são os Centros de Pesquisa Inovação e Difusão (CEPIDs) (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022e). Cada CEPID, além da participação internacional no comitê gestor, possui uma intensa troca

Artigos em revistas científicas com autores no estado de São Paulo e autores em países que não o Brasil (% do total do estado)

Publications in scientific journals with authors in the state of São Paulo and co-authors outside Brazil (% of the total for the state)

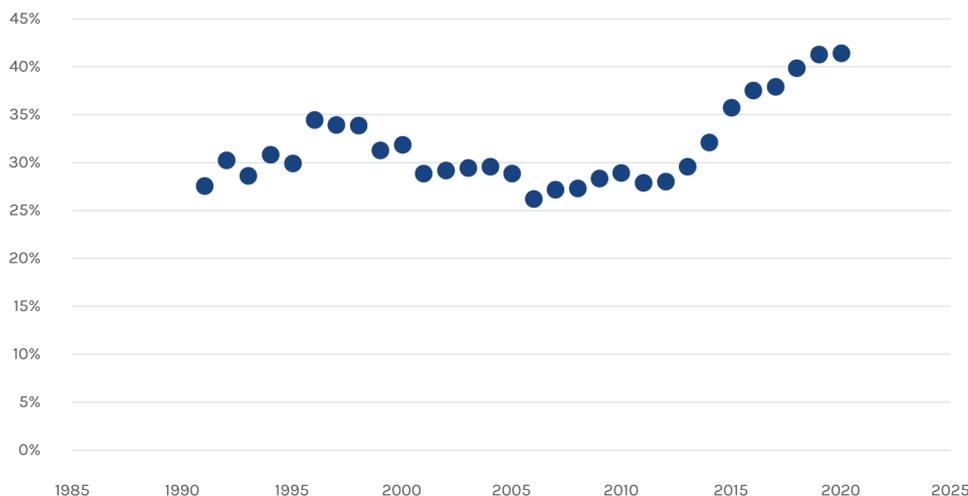


Figura 8. Publicações por pesquisadores de São Paulo em coautoria com parceiros internacionais.

Figure 8. Publications by São Paulo researchers co-authored with international partners.

de pessoal e projetos de colaboração com entidades de pesquisa e desenvolvimento no exterior.

Os Centros de Pesquisa em Engenharia (CPE/CPA), já mencionados neste capítulo, além dos componentes internacionais descritos para os CEPIDs, têm uma característica única, pois o financiamento inclui participação de empresas, que podem ser nacionais ou estrangeiras. Em adição às características de internacionalização descritas para os CEPIDs, os CPEs/CPAs, quando cofinanciados por uma empresa estrangeira, incluem, além de pesquisa e desenvolvimento conjuntos entre os pesquisadores do Brasil e os da empresa no exterior, membros da empresa não somente no comitê gestor, mas também no comitê executivo.

Sempre com ênfase na excelência, as estratégias da FAPESP para colaboração em pesquisa visam, acima de tudo, aumentar o impacto social, econômico e científico da ciência aqui produzida, o

que torna o estado de São Paulo um polo de pesquisa reconhecido internacionalmente. Hoje, a pesquisa realizada em São Paulo é internacionalmente competitiva e capaz de atrair jovens cientistas estrangeiros que podem vir a ser efetivados por instituições de pesquisa locais, bem como pesquisadores seniores que podem vir a trabalhar como pesquisadores principais em parceria com pesquisadores aqui sediados.

Na Figura 8⁵ observa-se o crescimento vigoroso, a partir de 2008, da proporção de artigos publicados por pesquisadores sediados no estado de São Paulo em coautoria com pesquisadores sediados no exterior. Acreditamos que a política de internacionalização da pesquisa da FAPESP contribuiu fortemente para esse avanço.

⁵ Elsevier Scopus, levantamento feito por Carlos Henrique Brito Cruz.

participation by companies, both national and international. Besides the characteristics of internationalization described for CEPIDs, when cofounded by an international company, CPEs/CPAs also include research and development between Brazilian researchers and those from the international company, as well as members of the company not only on the management committee, but also on the executive committee.

Always with an emphasis on excellence, FAPESP strategies for research collaboration seek, first, to increase the social, economic, and scientific impacts of the science produced. This can make the state of São Paulo a hub for internationally recognized research. Nowadays, the research carried out in São Paulo is internationally competitive and able to attract young scientists from other countries who can be employed by local research institutions; as well as senior researchers who can come to work as main researchers in partnership with researchers based in Brazil.

In Figure 8⁵, the vigorous growth, starting from 2008, in the proportion of articles published by researchers located in São Paulo state in co-authorship with researchers overseas is visible. We believe that internationalization policies for FAPESP research strongly contributed to this development.

THE RESULTS OF INTERNATIONALIZATION IN BRAZIL

Considering internationalization implies analyzing the visibility and impact of Brazilian science in the international context (Zanotto et al., 2016).

Evaluating the importance of the work of scientists, research groups, universities and countries is extremely relevant, but it obviously enormously complex, which increases with the size of the group and the diversity of the areas of interest. There is no absolute quantitative parameter – globally accepted – to evaluate the quality of a scientist's work, but there are various relevant indicators, such as: what were the main discoveries of the researcher? What did s/he produce? Some of these criteria could include articles published in the best journals for each area, papers chosen as journal covers and invited review papers, which usually result in invited lectures and plenary sessions in renowned congresses, prizes, a significant volume of funding obtained, editor of scientific reviews, acceptance in scientific academies, participation in the boards of funding agencies and scientific societies, consultancy with companies etc.

A combination of this information could offer a revealing overview of the work and

⁵ Elsevier Scopus, survey undertaken by Carlos Henrique Brito Cruz.

scientific stature of a researcher (Zanotto, 2006). It is obvious that each one of these items also has its own ranking, for example, becoming editor of a journal of a small university is commendable, but it is different from being the editor of *Science*, *Nature*, *Lancet*, *Physical Review Letters*, *Journal of the American Chemical Society*, *Annals of Mathematics*, and other periodicals of similar prestige. While it is possible to obtain such qualitative information to compare the performance of some researchers in the international context, such a practice would be unviable on a large scale, for example, comparing countries.

In this context, there are numerous scientometric indexes, such as the *h-index*; however, they do not offer any direct measure of the quality of the research. In principle, some can show the productivity of an author or group and its visibility and impact. However, it should be noted that most of these indexes increase with the number of articles published and the citations accumulate according to the age of the work. Therefore, it is not possible to compare authors from distinct age groups. Another complicating factor is that these indexes strongly depend on the field of research (Montazerian et al., 2019). Despite such difficulties, and since it is easy to obtain, *h-index* continues to be widely used, frequently without the necessary criteria to distinguish between areas and publication date.

However, scientometrics has evolved significantly. There are already more than one-hundred parameters that supposedly measure the impact of scientific publications. Some of them can (still not entirely satisfactorily) normalize the citations and publications according to the date each article was published and the area of knowledge, for example, FWCI (Zanotto & Carvalho, 2021). These normalizations lead to a significant improvement in such indexes.

One of the best scientometric indexes – Stanford-PLOS composite index, c_i – In October 2020, researchers used a new indicator – probably the most complete one to date –, thus calculating and publishing a ranking that applied a much more inclusive and rigorous metric than the traditional scientometric indexes. This effort included around 160,000 scientists they considered the most influential on the planet, considering the impact of their scientific articles in the research communities in their areas.

The work was carried out by a renowned group of scientometricists from the University of Stanford (EUA) and Elsevier: John Ioannidis, Kevin W. Boyack and Jeroen Baas (2020). In the study from 2020, the 160,000 researchers selected represented around 2% of the more than 7 million researchers analyzed. Ioannidis et al. (2020) computed the production of all the authors with more than five ar-

OS RESULTADOS DA INTERNACIONALIZAÇÃO NO BRASIL

Discorrer sobre os resultados da internacionalização implica analisar a visibilidade e o impacto da ciência brasileira no contexto internacional (Zanotto et al., 2016).

A avaliação da importância da obra de cientistas, grupos de pesquisas, universidades e países é extremamente relevante, mas obviamente envolve enorme complexidade, que aumenta com o tamanho do grupo e com a multiplicidade de áreas de pesquisa. Não há um parâmetro quantitativo absoluto – aceito mundialmente – para avaliar a qualidade da obra de um cientista, mas existem vários indicadores relevantes, tais como: quais foram as principais descobertas do pesquisador? No que resultaram? Por exemplo, artigos publicados nos melhores periódicos de cada área, *papers* escolhidos como capas de revista e *invited review papers*, que geralmente resultam em palestras e plenárias em congressos de primeira linha, prêmios, significativo volume de recursos obtidos de agências de fomento, editoria de periódicos científicos, ingresso em academias de ciência, direção de agências de fomento e sociedades científicas, consultoria a empresas etc.

A combinação dessas informações pode oferecer um panorama revelador sobre a obra e a estatura científica de um pesquisador (Zanotto, 2006). É óbvio que cada um desses itens também tem seus próprios *rankings*, por exemplo, tornar-se editor de uma revista de uma pequena universidade é louvável, mas é bem diferente de ser editor da *Science*, *Nature*, *Lancet*, *Physical Review Letters*, *Journal of the American Chemical Society*, *Annals of Mathematics* e outros periódicos de similar calibre. Enquanto seja possível levantar tais informações qualitativas para comparar o desempenho de alguns pesquisadores no contexto internacional, tal prática seria inviável em larga escala, para, por exemplo, comparar países.

Nesse contexto, há inúmeros índices cientométricos, como o *h-index*, mas eles não oferecem uma medida direta da qualidade da pesquisa. Porém, em princípio, al-

(...) já existe mais de uma centena de parâmetros que supostamente podem mensurar o impacto de publicações científicas, e alguns deles, de alguma forma (ainda não completamente satisfatória), normalizam as citações e publicações de acordo com idade de cada artigo e área do conhecimento, por exemplo, o FWCI.

guns podem revelar a prolificidade, a visibilidade e o impacto de qualquer autor ou grupo. Entretanto, um sério problema é que a maioria desses índices aumenta com o número de artigos publicados e as citações se acumulam com a idade do trabalho; portanto, não é possível comparar autores de faixas etárias distintas. Outro fator complicador é que eles dependem fortemente do campo de pesquisa (Montazerian et al., 2019). Apesar dessas dificuldades, pela facilidade de obtenção o índice *h* continua sendo amplamente empregado, muitas vezes sem os necessários critérios de distinção entre áreas e idades.

Mas a cientometria evoluiu muito; já existe mais de uma centena de parâmetros que supostamente podem mensurar o impacto de publicações científicas, e alguns deles, de alguma forma (ainda não completamente satisfatória), normalizam as citações e publicações de acordo com a idade de cada artigo e a área do conhecimento, por exemplo, o FWCI (Zanotto & Carvalho, 2021). Essas normalizações levaram a uma significativa melhoria desses índices.

Um dos melhores índices cientométricos – The Stanford-PLOS composite index, c_i

Em outubro de 2020, pesquisadores utilizaram um novo indicador – provavelmente o mais completo já desenvolvido –, computaram e publicaram um *ranking* que utiliza uma métrica bem mais abrangente e rigorosa do que os índices cientométricos tradicionais, com cerca de 160.000 cientistas considerados por eles os mais influentes do planeta, levando em conta inclusive o impacto de seus artigos científicos na comunidade de pesquisadores das respectivas áreas.

O trabalho foi realizado por um renomado grupo de cientometristas da Universidade de Stanford (EUA) e da Elsevier: John Ioannidis, Kevin W. Boyack e Jeroen Baas (2020). No trabalho de 2020, os 160.000 pesquisadores selecionados representam cerca de 2% do universo de mais de 7 milhões analisados. Ioannidis et al. (2020) computaram a produção de todos os autores com mais de cinco artigos publicados desde 1960 e indexados pela Scopus. Um trabalho hercúleo que apresenta o mais completo panorama mundial já realizado na área de cientometria.

A fórmula dos *composite indicators*, c_i , considera parâmetros que refletem as publicações desde 1960 e as citações desses trabalhos ao longo de suas carreiras e, portanto, privilegia pesquisadores seniores que acumularam mais artigos e citações. São seis parâmetros normalizados pelos indicadores dos pesquisadores mais citados do planeta em cada subárea do conhecimento, que também levam em conta o número de artigos publicados como único, primeiro ou último autor. Os dados cientométricos desses 160.000 pesquisadores podem ser consultados no site da PLOS, sendo divididos por citações recebidas durante toda a carreira do pesquisador até 2019, ou apenas por citações recebidas em 2019, considerando ou não as autocitações. As autocitações foram excluídas nas estatísticas aqui utilizadas. É importante enfatizar que esse novo indicador cientométrico privilegia autores altamente prolíficos, que acumularam muitas publicações e citações ao longo de suas carreiras; são computados artigos publicados desde 1960. Isto é,

são raros os jovens pesquisadores que aparecem entre os primeiros 160.000.

Mas os próprios autores (Ioannidis et al., 2020) afirmam que “Multiple indicators and their composite may give a more comprehensive picture of impact, although no citation indicator, single or composite, can be expected to select all the best scientists”. Os c_i de mais de 7 milhões de cientistas em 22 áreas do conhecimento e 174 subáreas e áreas descritas nas planilhas de Ioannidis et al. (2020) foram computados e disponibilizados. Com base nessa planilha realizamos uma análise preliminar, apresentada a seguir.

A posição da ciência nacional no ranking Stanford-PLOS

Avaliamos a participação brasileira e do estado de São Paulo nos últimos 20 anos, assim como sua posição em 2019, para obter uma perspectiva da evolução temporal, tomando como base uma amostra de 853 cientistas seniores, atuantes em diversas áreas do conhecimento e que aparecem no *ranking* dos 160.000 (2%) pesquisadores mais visíveis do planeta.

Sabe-se que a contribuição percentual de trabalhos de autores vinculados a instituições nacionais vem crescendo continuamente. Um levantamento recente mostra cerca de 80.000 artigos brasileiros em 2017, 84.000 em 2018, 87.000 em 2019 e 95.000 em 2020 na base Scopus. Atualmente, isso representa cerca de 3,2% (Marques, 2021a) de todos os artigos científicos indexados pela base Scopus e oferece uma medida da produtividade científica do Brasil. Por outro lado, na planilha de Stanford podemos verificar o percentual de autores vinculados a instituições brasileiras e a sua posição relativa que, de certa forma, indica o impacto e a visibilidade da ciência brasileira (sob a ótica do c_i). Passamos, portanto, a apresentar as figuras resultantes de uma análise preliminar das planilhas e a descrevê-las.

Com 853 pesquisadores, o Brasil ficou em 26º lugar no *ranking* de 2019. Mas na análise da carreira completa, com 600 pesquisadores, ficamos em 30º lugar (Figura 9).

articles published since 1960 and indexed by Scopus. It was a Herculean task that presents the most complete global overview ever undertaken in the area of scientometrics.

The formula of the composite indicators considers parameters that reflect the publications since 1960 and the citations of these works throughout their careers, which tends to privilege senior researchers who have accumulated more articles and citations. There are six parameters normalized by indicators for the most cited researchers in the world for each subarea of knowledge. These also consider the number of articles published as the only, lead author, or last author. Scientometric data from these 160,000 researchers can be consulted at the PLOS site, being divided by citations received along the researcher's whole career up to 2019, or only by citations received in 2019, considering or not self-citations. Self-citations were excluded from our statistics. It is important to emphasize that this new scientometric indicator privileges prolific authors, who accumulated many publications and citations throughout their careers; articles published since 1960 are computed. As such, younger researchers amongst the first 160,000 selected are rare.

The authors themselves affirm (Ioannidis et al., 2020) however, that “[...] multiple indicators and their composite may give a more comprehensive picture of impact, although no citation indicator, single or composite, can be expected to select all the best scientists”. The c_i of more than 7 million scientists in 22 areas of study and 174 subareas, and areas presented in the tables of Ioannidis et al. were computed and made available. Based on this table we performed a preliminary analysis which is presented below.

The position of national science in the Stanford-PLOS ranking

We assessed the Brazilian participation and that of the state of São Paulo over the last 20 years, to obtain a perspective of the temporal evolution, taking as our basis a sample of 853 senior scientists, active in diverse areas of knowledge and who appear in the ranking of the 160,000 (2%) most notable researchers on earth.

It is well known that the percentage contribution of work by authors connected with national institutions has been continually growing. A recent survey shows around 80,000 Brazilian articles in 2017, 84,000 in 2018, 87,000 in 2019 and 95,000 in 2020 in the Scopus database. Currently, this represents around 3.2% (Marques, 2021a) of the total scientific articles indexed by Scopus database and offers an average of scientific productivity in Brazil. On the other hand, in the Stanford table, we can observe the percentage of authors connected with Brazilian institutions and their relative position which, in a certain manner, indicates the impact and

visibility of Brazilian science (from the perspective of *c*). As such, we now present the figures resulting from the preliminary analysis of the tables and describe them.

Brazil came 26th in the 2019 ranking with 853 researchers, however, in the analysis of the whole career it was ranked 30th with only 600 researchers (Figure 9).

Therefore, there were only 853 researchers active in Brazilian institutions in the 2019 ranking (Figure 10). While positions vary from 1,000 to 160,000, it should be noted that being listed is already a considerable achievement. In this list, there are 348 scientists active in the state of São Paulo, corresponding to 58% of Brazilian scientists.

We can observe that the impact (scientometric) of Brazilian science rose by four positions in 2019, reaching 26th place. It is still far from the 13th place amongst the most productive countries, but it is already an encouraging result. It is interesting to note that the participation of São Paulo has shown a noticeable increase, from 42% (whole career) to 58% of the Brazilians listed in 2019.

Finally, an analysis of the positions of Nobel prizes (not presented) shows that this ranking really privileges the international visibility of scientist (positive fact), but does not present an obvious correlation with the quality or relevance of the research.

In summary, sixty Brazilians (30th place) were ranked as to their whole career, considering articles published since 1960 and citations since 1996. The 2019 ranking included 853 Brazilian scientists (0.5% of the 160,000), placing Brazil in 26th place, which indicates a recent improvement. Of these 853, only 30 are among the first 20,000. This statistic confirms the results from other metrics, that the visibility of Brazilian science is still not proportional to its productivity (3.2% of global articles, 13th place globally). On the other hand, the change from 30th place (whole career) to 26th place in 2019 indicates a significant improvement for this factor.

The participation of São Paulo presented a marked increase, from 42% (whole career) to 58% in 2019. This growth reflects the notable role of FAPESP.

THE IMPACT OF SCIENCE, INTERNATIONALIZATION AND GLOBAL RELATIONSHIPS

With an increasingly globalized world, the great majority of challenges we face deal with problems common to humanity in general, from pandemics to climate change, as well as attacks on freedom and individual rights. Given this, it is wise to consider that, if we share the most relevant problems for the advancement – or even survival – of humanity, we will also have to share the tools available to overcome these challenges. And among these tools, science plays a pivotal role.

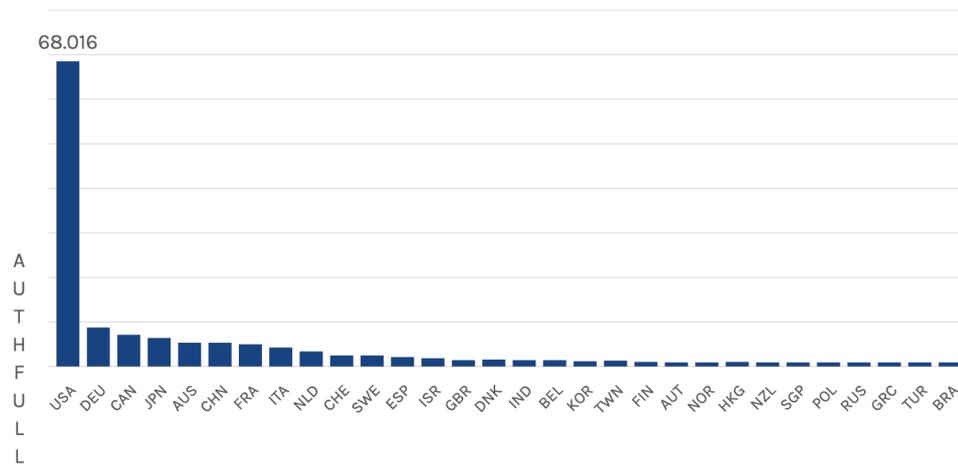


Figura 9. Número de autores de países líderes no ranking (carreira toda). O Brasil aparece em 30^o lugar.

Figure 9. Number of authors from countries leading the ranking (whole career). Brazil is ranked 30th.

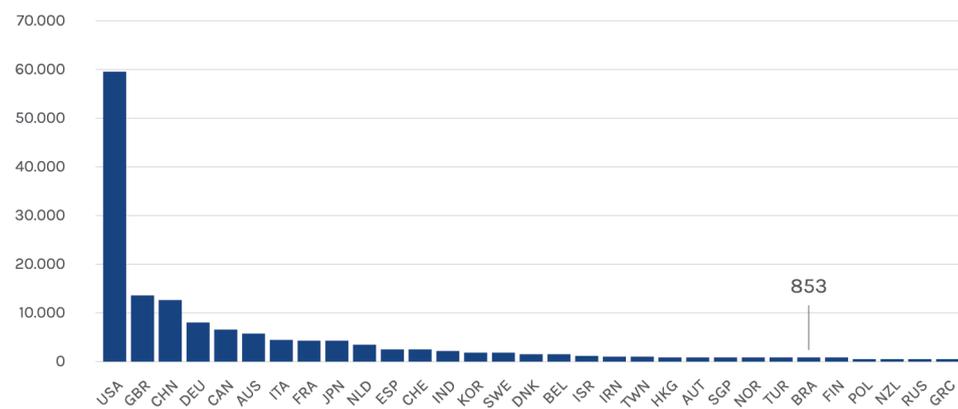


Figura 10. Número de autores de países líderes no ranking em 2019. O Brasil, com 853 pesquisadores, aparece em 26^o lugar.

Figure 10. Number of authors from countries leading the ranking in 2019. Brazil, with 853 researchers is ranked 26th.

Portanto, há apenas 853 pesquisadores atuantes em instituições brasileiras no ranking de 2019 (Figura 10); as posições variam de 1.000 a 160.000, mas estar **listado** já é um feito considerável. Nessa lista, aparecem 348 cientistas atuantes no estado de São Paulo, que correspondem a 58% dos brasileiros.

Observa-se então que o impacto (cientométrico) da ciência brasileira subiu quatro posições em 2019, ficando em 26^o. Ain-

da está longe do 13^o lugar dentre os mais produtivos do planeta, mas já é um resultado animador. É interessante notar que a participação paulista apresentou expressiva subida, de 42% (carreira toda) para 58% dos brasileiros listados em 2019.

Finalmente, uma análise das posições de prêmios Nobel (não apresentada) mostra que este ranking realmente privilegia a visibilidade internacional de cientistas (fator positivo), mas não apresenta uma cor-

relação óbvia com a qualidade e a relevância da pesquisa.

Resumindo, 600 brasileiros (30º lugar) aparecem no *ranking* referente à carreira toda, levando em conta artigos publicados desde 1960 e citados desde 1996. O *ranking* de 2019 inclui 853 cientistas brasileiros (0,5% dos 160.000), colocando o Brasil no 26º lugar, o que indica uma melhora recente. Desses 853, apenas 30 estão entre os 20.000 primeiros. Essa estatística confirma resultados de outras métricas, de que a visibilidade da ciência brasileira ainda não é proporcional à sua produtividade (3,2% dos artigos mundiais, 13ª posição no mundo). Por outro lado, a subida do 30º lugar (carreira toda) para o 26º em 2019 indica significativa melhora nesse quesito.

A participação paulista apresentou expressiva subida, de 42% (carreira toda) para 58% em 2019. Esse crescimento reflete o papel marcante da FAPESP.

O IMPACTO DA CIÊNCIA, A INTERNACIONALIZAÇÃO E AS RELAÇÕES COM O MUNDO

Com o mundo cada vez mais globalizado, a grande maioria dos desafios que temos que enfrentar dizem respeito a problemas comuns a toda a humanidade, das pandemias às mudanças climáticas, passando pelos ataques às liberdades e direitos individuais. Por essa razão, é sensato pensar que, se compartilhamos os problemas mais relevantes para o avanço – ou mesmo sobrevivência – da humanidade, devemos também de compartilhar as ferramentas capazes de ultrapassar esses desafios. E dentre essas ferramentas, a ciência ocupa um papel de destaque.

Em boa medida, a ciência sempre teve esse caráter global incorporado em seu *modus operandi*. Quando se compete pelo ineditismo de uma descoberta científica, isso não envolve apenas os avanços realizados pelos nossos colegas locais, mas requer que avanço semelhante não tenha sido jamais realizado em lugar algum do planeta. No mesmo sentido, a produção científica em um determinado campo

depende cada vez mais da coordenação e junção de esforços feitos em diferentes lugares, por cientistas que não necessariamente se conhecem, cada um solucionando uma pequena parte de um grande e complexo quebra-cabeças. A ciência é, portanto, um empreendimento universal na sua essência, seja ele colaborativo ou não.

A solução efetiva dos desafios que enfrentamos não é somente científica, mas também política, na medida em que não basta que saibamos quais são as respostas, é preciso que se produzam consensos básicos e algum grau de coordenação dos diversos atores envolvidos.

O envolvimento direto da comunidade científica nas grandes questões diplomáticas e políticas internacionais é marcante. Durante a Segunda Guerra Mundial, Einstein, com o apoio de Szilard, teve um papel importante ao escrever ao Presidente Roosevelt, em agosto de 1939, alertando para a possibilidade de cientistas alemães ganharem a corrida para construir uma bomba atômica. Essa carta fez com que Roosevelt criasse um comitê formado por representantes civis e militares para estudar o urânio, o que acabou levando ao estabelecimento do Projeto Manhattan. Diante da ameaça nuclear que surgia com o pós-guerra, durante a Guerra Fria, por iniciativa de Bertrand Russell, foram criadas as *Pugwash Conferences on Science and World Affairs*, que visam “desenvolver e apoiar o uso de políticas científicas baseadas em evidências, com foco em áreas onde os riscos nucleares e de armas de destruição em massa estão presentes” e “[...] promover o desenvolvimento de políticas que sejam cooperativas e voltadas para o futuro [...]” (*Pugwash Conferences on Science and World Affairs*, 2022). O manifesto produzido pela primeira conferência, em 1957, contou com as assinaturas de Einstein, Max Born, Percy Bridgman, Leopold Infeld, Frederic Joliot-Curie, Herman Muller, Linus Pauling, Cecil Powell, Joseph Rotblat e Hideki Yukawa e representou um importante passo na direção de criar salvaguardas à disseminação e mau uso de

Mostly, science always had this global character incorporated into its *modus operandi*. When we pursue a cutting-edge scientific discovery, this not only implies the advances made by our local colleagues, but presupposes that a similar advance has never been made at any other place on the planet. Similarly, scientific production in a specific field increasingly depends on the coordination and conjunction of efforts made in different places, by scientists who do not necessarily know one another, each one solving a small part of a large and complex puzzle. Science, therefore, is a universal undertaking in its essence, whether it is collaborative or not.

However, the effective solution for the challenges that we face is not only scientific, but also political, to the extent that it is not enough for us to know what the answers are, but also that we produce a basic consensus and some degree of coordination regarding the diverse actors involved.

The direct involvement of the scientific community in significant international diplomatic and political issues is notable. During the Second World War, Einstein, supported by Szilard, played an important role in writing to President Roosevelt, in August 1939, warning about the possibility of German scientists winning the race to build an atomic bomb. This letter led to Roosevelt creating a committee composed of civil and military representatives to study uranium, which ended up leading to the establishment of the Manhattan Project. In the face of the nuclear threat that emerged with the post-war era, during the Cold War, Pugwash Conferences on Science and World Affairs were founded on the initiative of Bertrand Russell, seeking to “develop and support the use of scientific politics based on evidence, focused on areas where nuclear risks and from weapons of mass destruction are present” and to “[...] promote the development of policies that would be cooperative and directed towards the future [...]” (*Pugwash Conferences on Science and World Affairs*, 2022). The manifesto produced by the first conference, in 1957, included signatures of Einstein, Max Born, Percy Bridgman, Leopold Infeld, Frederic Joliot-Curie, Herman Muller, Linus Pauling, Cecil Powell, Joseph Rotblat and Hideki Yukawa, and represented an important step in the direction of creating safeguards against the dissemination and poor use of nuclear technology. Consequently, Pugwash “movement” was recognized with a Nobel Peace Prize in 1995.

Each period, however, requires specific strategies and actions, and the current context presents certain novelties that deserve attention. The world today has witnessed the rapid advance of Chinese leadership, not only from a diplomatic, commercial, and geopolitical perspective, but also from a scientific one. The total expenditure on R&D by the United States in 2017 was only 9% higher than the Chinese, while China’s investment with experimen-

tal development, focused on the production of new products or improvement of processes, grew rapidly over recent years and is 23% larger than that of the United States (National Center for Science and Engineering Statistics, 2019). China's participation in the authorship of scientific articles today represents 21% of the global total and its rate of annual growth is 10 times larger than that of the United States, which is ranked second place (Mervis, 2020).

A particularly sensitive area is that of Artificial Intelligence (Machine learning), which has a diverse and transversal field of applications, is revolutionizing various aspects of human activities and has strong consequences, including in defense and sovereignty of nations. China intends to become the world leader in AI by 2030 (China Association for International Science and Technology Cooperation, 2017; O'Meara, 2019), but recent estimates show that this is already happening: China is overtaking the USA in the number of articles published and in the production of high impact articles in AI (Cady & Etzioni, 2019).

Of course, the rise of China as a center of global power will raise the temperature of bilateral relations with the USA, shaping the whole international scenario over the next decades. The two countries will tend to compete in diverse spheres and will seek to tighten their political, cultural and scientific bonds with the rest of the world.

With this understanding, if Brazil wishes to keep up with cutting-edge scientific developments, it is fundamental that it actively seeks the diversified internationalization of its science. More than this, allied with the independent international relations and free of specific ideological biases from one government or another, scientific exchanges can contribute to the construction and consolidation of consensus between nations.

The scientific and technological advances associated with a consistent policy of internationalization become a display window for the country, attracting foreign attention for other aspects of national development. During the Science without Borders Program, for example, Brazil began to be seen in a new way by the international scientific community. Due to the scale and diversity of the program, we became an important alternative for scientific exchanges and partnerships. Therefore, the beneficial effects of internationalization policies could be consolidated. It is important that there is a continuity of C&T policies seeking internationalization, so that the initial steps gain momentum and are seen as a reliable and long-lasting state policy.

Just as science can operate as a driver of national interests for the common good, not adopting its precepts can negatively influence possible alliances with other countries. A remarkable example is public policy associated with climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) reports have played



tecnologias nucleares, a ponto de o “movimento” Pugwash ter sido agraciado com o Prêmio Nobel da Paz em 1995.

Cada época, porém, exige estratégias e ações específicas, e o contexto atual traz algumas novidades que merecem atenção. O mundo hoje tem testemunhado o rápido avanço da liderança chinesa, não apenas sob a ótica diplomática, comercial e geopolítica, mas também científica. O gasto total com P&D dos Estados Unidos em 2017 foi apenas 9% superior ao chinês, enquanto os gastos da China com desenvolvimento experimental, direcionado para a produção de novos produtos ou aprimoramento de processos, cresceram rapidamente nos últimos anos e são 23% superiores aos dos Estados Unidos (National Center for Science and Engineering Statistics, 2019). A participação da China na autoria de artigos científicos representa hoje 21% do total mundial e sua taxa de crescimento anual é 10 vezes maior do que aquela dos Estados Unidos, que ocupam o segundo lugar (Mervis, 2020).

Uma área particularmente sensível é a da Inteligência Artificial (*Machine Learning*), que tem um campo de aplicações diversifi-

cado e transversal, está revolucionando vários aspectos das atividades humanas e tem fortes reflexos, inclusive na defesa e soberania das nações. A China tinha a intenção de liderar o mundo em IA até 2030 (China Association for International Science and Technology Cooperation, 2017; O'Meara, 2019), mas estimativas recentes mostram que isso já está acontecendo: a China está ultrapassando os EUA em número de artigos publicados e na produção de artigos de alto impacto em IA (Cady & Etzioni, 2019).

Certamente, a ascensão da China como centro de gravidade global elevará a temperatura das relações bilaterais com os EUA, moldando todo o cenário internacional nas próximas décadas. Os dois países tenderão a competir em diversas esferas e buscarão estreitar os laços políticos, culturais e científicos com o resto do mundo.

Com essa clareza, caso o Brasil queira acompanhar os desenvolvimentos de fronteira, é fundamental que busque ativamente a internacionalização diversificada de sua ciência. Mais do que isso, aliados a uma política externa independente e livre dos vieses ideológicos específicos desse ou daquele governo, os intercâmbios científi-

cos podem contribuir para a construção e consolidação de consensos entre as nações.

Os avanços científicos e tecnológicos, associados a uma política consistente de internacionalização, tornam-se uma vitrine para o país, atraindo a atenção externa para outros aspectos do desenvolvimento nacional. Durante o Programa Ciência sem Fronteiras, por exemplo, o Brasil passou a ser visto de uma nova maneira pela comunidade científica internacional. Devido à escala e à diversidade do programa, passamos a ser uma alternativa importante para parcerias e intercâmbios científicos. Para que os efeitos benéficos de políticas de internacionalização se consolidem, é importante que haja uma continuidade das políticas de C&T visando à internacionalização, de tal forma que os passos iniciais ganhem momento e sejam vistos como uma política de Estado, confiável e duradoura.

Assim como a ciência pode operar como aglutinador de interesses nacionais para o bem comum, a não adoção de seus preceitos pode influenciar negativamente a possível aliança com outros países. Um exemplo marcante são as políticas públicas associadas às mudanças climáticas. Os relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Changes* (IPCC) têm desempenhado um papel essencial na conscientização desse problema que afeta a todos, inclusive com a participação destacada de lideranças científicas brasileiras na área. Essa área vem aumentando sua relevância em discussões de fóruns intergovernamentais. Desviar-se do caminho apontado pelas evidências científicas e pelo consenso internacional pode ser muito danoso para a imagem externa do país.

Uma região que está diretamente associada às mudanças climáticas é a Antártica, cuja exploração evidencia a importância da inter-relação entre ciência e diplomacia (Berkman et al., 2011). O Tratado da Antártica, assinado em 1959, já estabelecia os princípios de liberdade de investigação científica, cooperação internacional e livre disponibilidade dos dados e resultados das pesquisas. Além de estudos multinacionais diretamente relacionados às mudanças do

clima e à vida marinha, a Antártica abriga hoje projetos de pesquisa básica como o *IceCube Neutrino Observatory*, que detecta sinais da passagem de neutrinos astrofísicos através de mais de 5.000 sensores de luz incrustados na camada de gelo. A colaboração *IceCube* é constituída por 350 pesquisadores de 53 instituições de 12 países.

Em momentos nos quais alguns dos preceitos fundamentais dos avanços civilizatórios são vilipendiados, principalmente através da tentativa de minorar e desacreditar o papel da Ciência, dos valores científicos e do método científico, é essencial encontrarmos caminhos que possam ressaltar o papel da Ciência e da diplomacia científica. É cada vez mais importante os cientistas estarem ao lado dos formuladores de políticas públicas e das políticas externas dando suporte, aconselhamento e apontando caminhos alternativos. Ao mesmo tempo, é preciso incentivar cada vez mais a cooperação científica internacional, promovendo e impulsionando a coesão das propostas para atacar problemas globais.

Promover a livre troca de ideias, utilizando da lógica e da transparência, pode ser a grande arma que a ciência tem a oferecer para a busca de um cenário internacional mais justo, equânime e sem preconceitos de qualquer espécie (The Royal Society, 2010).

É neste panorama que se celebram os 60 anos de experiência da FAPESP. A sua estratégia de internacionalização tem resultado em criação conjunta de cientistas dos mais longínquos lugares do mundo, incluindo os países mais poderosos do planeta, hoje em claro conflito tecnológico. Os programas de internacionalização da FAPESP sempre visam contribuições equilibradas, de ideias, pessoal e recursos entre os parceiros, evitando assim muitos dos potenciais problemas da internacionalização (Zanotto et al., 2016). Claramente as políticas de colaboração e intercâmbio entre cientistas do mundo todo, incluindo nesse esforço os programas de internacionalização da FAPESP, são caminhos para enfrentar as profundas crises que o mundo enfrenta.

an essential role in raising awareness regarding this problem that affects everybody, including the notable role of Brazilian scientific leaders in the area. This field has been expanding its relevance in discussions in intergovernmental forums. Ignoring the way forward highlighted by the scientific evidence and by the international consensus can be very damaging for the international image of Brazil.

A region directly associated with climate change is Antarctica, the exploration of which demonstrates the importance of the interrelationship between science and diplomacy (Berkman et al., 2011). The Antarctic Treaty, signed in 1959, has established the principles of freedom of scientific investigation, international cooperation and free availability of research data and results. Besides multinational studies directly related to climate change and marine life, nowadays, Antarctic is home to fundamental research projects such as the IceCube Neutrino Observatory, which detects signals of the passage of astrophysical neutrinos, using more than 5,000 light sensors set into the ice sheet. The IceCube collaboration is made up of 350 researchers from 53 institutions from 12 countries.

At a time when some of the fundamental precepts of advanced civilizations are being corroded, mainly through the attempt to undermine and question the role of science, scientific values, and the scientific method, it is of utmost importance that we find ways that can highlight the role of science and scientific diplomacy. It is increasingly more important that scientists collaborate with those who formulate public and foreign policies, giving support, advice, and outlining alternative solutions. At the same time, it is necessary to increasingly encourage international scientific cooperation, promoting and motivating the cohesion of the proposals to confront global problems.

Promoting the free exchange of ideas through logic and transparency can be a significant weapon in the hands of science to seek a more equitable international environment, free of all prejudice (The Royal Society, 2010).

It is with this context in mind that we celebrate 60 years of FAPESP's endeavor to improve science. Its internationalization strategies have led to the collaborative training of scientists from the most distant places in the globe, including the currently most powerful countries on the planet, which are clearly in technological conflict. FAPESP's internationalization programs have always sought to balanced contributions, in terms of ideas, personnel, and resources between partners, so as to avoid many of the potential problems of internationalization (Zanotto et al., 2016). Clearly, the policy of collaboration and exchange between scientists from around the globe, including FAPESP's internationalization program effort, are a way to confront the profound crises that the planet faces.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

- Adams, J., Pendlebury, D., Potter, R., & Szomszor, M. (2019). *Multi-authorship and research analytics* (Global Research Report). The Institute for Scientific Information. <http://www.webofsciencegroup.com/isi>.
- Altbach, P. G., & Salmi, J., editors (2011). *The road to academic excellence: the making of world-class research universities*. The World Bank.
- Amaldi, U. (1999, July 15-21). Spin-offs of High Energy Physics to Society. In *International Europhysics Conference-High Energy Physics '99* (pp.1-20). CERN. <https://cds.cern.ch/record/506612/files/506612.pdf>.
- Beaver, R., & Rosen, R. (1978). Studies in scientific collaboration Part I. The professional origins of scientific co-authorship. *Scientometrics*, 1, 65-84.
- Berkman, P. A., Lang, M. A., Walton, D. W. H., & Young, O. R. (Eds.). (2011). *Science Diplomacy: Antarctica, Science, and the Governance of International Spaces*. Smithsonian Institution Scholarly Press. <http://www.atsummit50.org/session/book.html>.
- Cady, F., & Etzioni, O. (2019). *China May Overtake US in AI Research*. Medium. <https://medium.com/ai2-blog/china-to-overtake-us-in-ai-research-8b6b1fe30595>.
- Camporesi, T., Catalano, G., Florio, M., & Giffoni, F. (2017). High-energy physics as a career springboard. *European Journal of Physics*, 38, 025703.
- China Association for International Science and Technology Cooperation. (2017). *Next Generation Artificial Intelligence Development Plan*. Ministry of Science and Technology – MOST, Department of International Cooperation. <http://fi.china-embassy.org/eng/kxjs/P020171025789108009001.pdf>.
- Compact Muon Solenoid – CMS. (2022). <https://cms.cern>.
- Drake, N. (2011). What is the human genome worth? *Nature*. <http://dx.doi.org/10.1038/news.2011.281>.
- Florio, M., Forte, S., & Sirtori, E. (2016). Forecasting the socio-economic impact of the Large Hadron Collider: A cost-benefit analysis to 2025 and beyond. *Technological Forecasting and Social Change*, 112, 38-53. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.03.007>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2020). *Relatório de Atividades 2020*. <https://fapesp.br/relatorio2020>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2021). *Presidente da FAPESP reúne-se com a Comissão de CT&I da Alesp*. <https://agencia.fapesp.br/presidente-da-fapesp-reune-se-com-a-comissao-de-ct-i-da-alesp/36549/>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022a). *Artigo 123 da Constituição Estadual Paulista de 1947*. <https://bv.fapesp.br/linha-do-tempo/212/artigo-123-constituicao-1947/#:~:text=%E2%80%9CArtigo%20123.,Par%C3%A1grafo%20%C3%BAnico>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022b). *SPRINT – São Paulo Researchers in International Collaboration*. www.fapesp.br/sprint.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022c). *Centros de Pesquisa em Engenharia*. <https://fapesp.br/cpe/>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022d). <https://fapesp.br/chamadas/>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, Centro de Documentação e Informação – CDi. (2022e). *Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID)*. <https://bv.fapesp.br/pt/8/centros-de-pesquisa-inovacao-e-difusao-cepid/>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, Documentation and Information Center – CDi. (2022f). <https://bv.fapesp.br/en>.
- Graf, H., & Kalthaus, M. (2018). International research networks: Determinants of country embeddedness. *Research Policy*, 47(7), 1198-1214.
- InCites. (2022). <https://incites.clarivate.com/>.
- Internationalisation of EU Research Organisations. (2019). *Panel for the Future of Science and Technology*. European Parliamentary Research Service.
- Ioannidis, J. P. A., Boyack, K. W., & Baas, J. (2020). Updated science-wide author databases of standardized citation indicators. *PLoS Biology*, 18(10), e3000918. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000918>.
- ITER Organization Headquarters Building – ITER. (2022). <https://www.iter.org>.
- Lecoq, P. (2007). Spin-off from particle detectors in the field of medicine and biology. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 581(1-2), 1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2007.07.020>.
- Legacy Survey of Space and Time – LSST. (2022). *Rubin Observatory*. <https://www.lsst.org>.
- Leta, J., & Chaimovich, H. (2002). Recognition and international collaboration: The Brazilian case. *Scientometrics*, 53(3), 325-335.
- Marques, F. (2021a). Engrenagens do conhecimento: Relatório traz dados originais sobre características da produção científica brasileira. *Pesquisa FAPESP*, 308, 46-49.
- Marques, F. (2021b). Em busca de métricas mais refinadas: Novos indicadores procuram desvendar tendências e estabelecer comparações mais precisas ao avaliar dados quantitativos de produção científica. *Pesquisa FAPESP*, 49-51. https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2021/03/048-051-indicadores_301.pdf.
- Montazerian, M., Zanutto, E. D., & Eckert, H. (2019). A new parameter for (normalized) evaluation of H-index: Countries as a case study. *Scientometrics*, 118, 1065-1078.
- National Center for Science and Engineering Statistics. (2019). The United States Invests More in Applied and Basic Research than Any Other Country but Invests Less in Experimental Development than China. National Center for Science and Engineering Statistics. NSF 20-304. <https://www.nsf.gov/statistics/2020/nsf20304/nsf20304.pdf>.
- National Research Council. (2014). *Strategic Engagement in Global S&T: Opportunities for Defense Research*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18816>.
- O'Meara, S. (2019). Will China lead the world in AI by 2030? *Nature*, 572, 427-428. <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-019-02360-7>.
- Pugwash Conferences on Science and World Affairs. (2022). <https://pugwash.org>.
- São Paulo. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, Secretaria Geral Parlamentar, Departamento de documentação e Informação. (1960). Lei Estadual nº 5.918, de 18 de outubro de 1960. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*.
- São Paulo. (1962). *Decreto nº 40.132, de 23 de maio de 1962. Aprova os Estatutos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo*. Diário Oficial do Estado de São Paulo.
- The Royal Society. (2010). New frontiers in science diplomacy. The Royal Society. <https://royalsociety.org/topics-policy/publications/2010/new-frontiers-science-diplomacy>.
- The Royal Society. (2011). *Knowledge, networks and nations: Global scientific collaboration in the 21st century*. <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/knowledge-networks-nations/report/>.
- Wang, D., & Barabási, A.-L. (2021). *The science of science*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108610834>.
- Witze, A. (2020). Universities will never be the same after the coronavirus crisis. *Nature*, 582, 162-164.
- Wuchty, S., Jones, B. F., & Uzzi, B. (2007). The increasing dominance of teams in production of knowledge. *Science*, 316(5827), 1036-1039. <https://doi.org/10.1126/science.1136099>.
- Zanutto, E. D. (2006). The scientist pyramid. *Scientometrics*, 69(1), 175-181.
- Zanutto, E. D., & Carvalho, V. (2021). Article age- and field-normalized tools to evaluate scientific impact and momentum. *Scientometrics*, 126, 2865-2883.
- Zanutto, S. R., Haefner, C., & Guimarães, J. A. (2016). Unbalanced International collaboration affects adversely the usefulness of countries' output as well as their technological and social impact. *Scientometrics*, 109, 1789-1814.

Capítulo 2

Mudanças climáticas globais: seus impactos e estratégias de mitigação e adaptação

Chapter 2

Global climate change: impacts and mitigation and adaptation strategies

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas provocam fortes impactos no Brasil e no planeta como um todo e é urgente entender melhor como são afetados os ecossistemas brasileiros, a economia, a infraestrutura, as cadeias produtivas, a biodiversidade, a saúde, entre outros aspectos. É fundamental, pois, aumentar a nossa resiliência socioambiental. Para além das suas implicações intrín-

secas, as mudanças climáticas podem ser vistas, também, como oportunidades para importantes transformações socioeconômicas e para aprimoramentos no desenvolvimento tecnológico de todos os setores da sociedade, como a indústria, o agronegócio, o sistema energético, os transportes etc., visando à transição para um modo de vida mais sustentável. Estes esforços devem alinhar preservação da biodiversidade e redução de nossas desigualdades sociais. O Brasil tem condições potenciais de ser competitivo em uma economia de baixo carbono desde que aproveite o potencial de mudar sua matriz energética sem a utilização de combustíveis fósseis, eliminando o desmatamento e diminuindo as emissões de gases de efeito estufa (GEE) do setor agropecuário. Essencial também induzir ações como a restauração ecológica e conservação da biodiversidade em

INTRODUCTION

Climate change generates significant impacts for Brazil and the planet as a whole. Clearly understanding how Brazilian ecosystems, the economy, infrastructure, production chains, biodiversity, and health among other aspects are being affected is urgent. Consequently, increasing our socio-environmental resilience becomes essential. Beyond its intrinsic implications, climate change can also be seen as an opportunity for significant socio-economic transformation and for streamlining technological developments in diverse social sectors, including industry, agribusiness, energy systems, transportation, etc., seeking to transition to a more sustainable way of life. Brazil is in a position to be competitive in a low carbon economy as long as it exploits possibilities for transforming its energy mix without fossil fuel use, eliminating deforestation, and reducing greenhouse gas emissions (GGE) stemming from the farming sector. It is also necessary to encourage measures such as ecological rehabilitation and

autores/authors

Paulo Artaxo¹
Mercedes Bustamante²
David Montenegro Lapola³
Pedro Leite da Silva Dias¹
Gabriela Marques di Giulio¹

¹ Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

² Universidade de Brasília (UnB), Brasil.

³ Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Brasil.

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000002>

 Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.



biodiversity conservation in all Brazilian biomes. This can be achieved through economic growth and a reduction in social inequality.

Notably, climate change is already with us, and it is no longer a perspective for the future. It is driving alterations in rainfall patterns, temperature, coastal and inland water levels, and chemistry, plant phenology, ecosystem functioning, and biodiversity distribution, among other impacts. These changes interact with one another and with multiple social and environmental stressors that can intensify them. However, many of these dimensions of climate change and their interactions need to be better understood through close collaboration between diverse research areas in academia and diverse social sectors, including political leadership, institutional and corporate actors, social groups, communities, and minorities.

The most recent Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) reports show that Brazil is particularly vulnerable to climate change. The warming

todos os biomas brasileiros. Isso pode ser feito com crescimento econômico e redução das desigualdades socioeconômicas.

Importante salientar que a mudança do clima já está hoje entre nós, não é mais uma perspectiva para o futuro. Mudanças climáticas vêm influenciando alterações no regime de chuvas, na temperatura, nível e química de águas costeiras e interiores, mudanças na fenologia das plantas, funcionamento de ecossistemas e distribuição da biodiversidade, entre muitos outros impactos. Essas mudanças interagem entre si e com “múltiplos estressores” sociais e ambientais que podem amplificar seus impactos. Porém, muitas dessas dimensões das mudanças climáticas e suas interações precisam ser mais bem compreendidas a partir da colaboração estreita entre as diversas linhas de pesquisa na academia e múltiplos setores da sociedade,

As mudanças climáticas provocam fortes impactos no Brasil e no planeta como um todo e é urgente entender melhor como são afetados os ecossistemas brasileiros, a economia, a infraestrutura, as cadeias produtivas, a biodiversidade, a saúde, entre outros aspectos.

incluindo lideranças políticas, atores institucionais e empresariais, grupos sociais, comunidades e minorias.

Os últimos relatórios do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) mostram claramente que o Brasil é um país particularmente vulnerável às mudanças climáticas, onde o aquecimento observado nas últimas décadas supera significativamente o aquecimento médio do planeta. Os extremos climáticos observados em todas as regiões do país nos últimos 20 anos, por exemplo, trouxeram à tona a necessidade de soluções para minimizar os problemas socioeconômicos advindos das secas mais fortes e frequentes e de inundações extremas em grandes áreas. O setor agropecuário é também particularmente vulnerável a alterações no regime de chuvas. Quanto e quando chove é fundamental para a produtividade agrícola, o que pode trazer insegurança alimentar ou instabilidade econômica à nossa população. A geração de energia baseada na hidroeletricidade é vulnerável ao regime de chuvas, podendo trazer insegurança energética ao país e, embora tida como uma energia limpa, colabora na emissão de metano para a atmosfera. Temos 8.500 km de áreas costeiras, cobrindo 17 estados e mais de 400 municípios, com várias cidades de grande porte, o que nos torna vulneráveis, ainda, ao aumento do nível do mar e à acidificação de suas águas, que impacta o setor pesqueiro.

A FAPESP, por meio do Programa de Pesquisas em Mudanças Climáticas, realiza um trabalho de coordenação de uma vasta agenda científica voltada a entender os processos associados à mudança do clima e avaliar as suas causas e os seus impactos, fornecendo subsídios científicos para encontrar soluções e apoiar políticas públicas baseadas em evidências científicas e gerar novos conhecimentos. Aumentar a resiliência socioambiental do país a eventos climáticos extremos, às alterações no ciclo hidrológico e demais mudanças climáticas em andamento é fundamental. O programa de biodiversidade (BIOTA) e o programa de bioenergia (BIOEN) também auxiliam nesta agenda científica.

Gerar novos conhecimentos e criar uma massa crítica de pesquisadores nas diversas ciências naturais, de saúde, tecnológicas e sociais, para subsidiar ações que visem à mitigação de emissões e adaptação às mudanças climáticas, além da recuperação dos serviços ecossistêmicos, são fundamentais na melhoria da relação sociedade-meio ambiente. É preciso facilitar o acesso e uso do conhecimento científico gerado, de modo a impulsionar e acelerar as mudanças necessárias, integrando a sociedade nas decisões a serem tomadas.

É, portanto, fundamental auxiliar o país a desenvolver estratégias baseadas em ciência para que o Brasil possa cumprir suas obrigações internacionais (as NDC – *Nationally Determined Contributions*) associadas ao Acordo de Paris e à Agenda 2030. Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU fornecem um guia de como nossa sociedade pode se tornar mais sustentável, justa e resiliente (Figura 1). As mudanças climáticas constituem o ODS 13, mas sem um clima estável e previsível, muitos dos demais ODS podem ser impossíveis de serem atingidos. Muitos dos ODS dependem também de um sistema econômico mais justo e que respeite os limites da exploração do meio ambiente, além de levar em conta a questão da justiça climática. Os mais pobres e mais vulneráveis serão os mais afetados, enquanto os 10% mais ricos do planeta são responsáveis por mais de 50% das emissões atuais de gases de efeito estufa.

O ESTADO ATUAL DAS PESQUISAS EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O forte impacto do nosso sistema socioeconômico no planeta tem levado a comunidade científica a considerar, após o Holoceno, uma nova era geológica: o Antropoceno – em que o homem é um dos principais agentes transformadores de nosso planeta. O crescimento da população humana mundial, que poderá alcançar entre 9 e 10 bilhões de pessoas em 2050, nos coloca frente a um dos maiores desafios do século 21: manter a provisão da qualidade

observada no Brasil ao longo das últimas décadas é significativamente maior do que a média de aquecimento para o planeta. Ao longo dos últimos 20 anos, eventos climáticos extremos relatados em todas as regiões do país têm enfatizado a necessidade de soluções para minimizar os problemas socioeconômicos decorrentes de fortes e frequentes secas e enchentes em grandes áreas. O setor agribusiness também é particularmente vulnerável a alterações nos padrões de chuva e ao aumento de eventos climáticos extremos. Quanto e quando chove é crítico para a produtividade agrícola, afetando a segurança alimentar e a instabilidade econômica para a população brasileira. A geração de energia hidroelétrica é vulnerável a alterações nos padrões de chuva, podendo levar à insegurança energética no Brasil. Além disso, embora seja considerada uma fonte de energia limpa, contribui para as emissões de metano na atmosfera. O Brasil possui 8.500 km de área costeira em 17 estados e mais de 400 municípios, incluindo muitas grandes cidades, tornando-o vulnerável ao aumento do nível do mar e à acidificação das águas, o que impacta o setor pesqueiro.

Através do Programa de Pesquisa em Mudanças Climáticas, a FAPESP coordena uma vasta agenda científica focada em entender os processos associados às mudanças climáticas e avaliar suas causas e impactos. O programa fornece assistência científica para encontrar soluções e embasar políticas públicas baseadas em evidências científicas, bem como para gerar novos conhecimentos. É de extrema importância aumentar a resiliência socioambiental do Brasil a eventos climáticos extremos, às alterações no ciclo hidrológico e a outras mudanças climáticas atualmente em curso. Os programas de biodiversidade (BIOTA) e bioenergia (BIOEN) também apoiam esta agenda científica.

Gerar novos conhecimentos e criar uma massa crítica de pesquisadores em diversas áreas científicas é fundamental para apoiar a adaptação e a mitigação de emissões e a recuperação dos serviços ecossistêmicos e a melhoria da relação sociedade-meio ambiente. É necessário facilitar o acesso e o uso do conhecimento científico gerado para impulsionar e acelerar as mudanças necessárias, integrando a sociedade no processo de tomada de decisões.

Portanto, é crucial ajudar o país a desenvolver estratégias baseadas em ciência para que o Brasil possa cumprir suas obrigações internacionais (tais como as NDC – *Nationally Determined Contributions* – associadas ao Acordo de Paris e à Agenda 2030). O crescimento da população humana mundial, que poderá alcançar entre 9 e 10 bilhões de pessoas em 2050, nos coloca frente a um dos maiores desafios do século 21: manter a provisão da qualidade



Figura 1. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, que são guias para a construção de uma nova sociedade, mais sustentável, justa e resiliente. As mudanças climáticas constituem o ODS 13, mas vários ODS não poderão ser atingidos sem um clima estável e previsível.

Fonte: United Nations (2022). Textos em português traduzidos do inglês.

Figure 1. The 17 Sustainable Development Goals of the UN, grounded in constructing a new, more sustainable, just, and resilient society. SDG 13 deals with climate change, however, numerous other SDGs would be unachievable without a stable, predictable climate.

Source: United Nations (2022). Portuguese texts translated from English.

provide an outline for how our society can become more sustainable, just, and resilient (Figure 1). Climate change is considered by SDG 13. However, many of the other SDGs are impossible to meet without a stable and predictable climate. Many SDGs also depend on a more equitable economic system that respects environmental exploitation limits and takes into account the issue of climate justice. The poorest and most vulnerable are the most affected, while the 10% richest are responsible for more than 50% of current greenhouse gas emissions.

ambiental e possibilitar acesso justo a recursos básicos, como água, alimentos e energia, garantindo a segurança e equidade em um cenário de mudanças climáticas. Nos últimos 50 anos, 14 dos 18 serviços ambientais avaliados entraram em declínio, e seus impactos são distribuídos de maneira socialmente desigual entre e dentro de países (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019). Os serviços ecossistêmicos englobam todos os mate-

riais que consumimos providos pelos ecossistemas, sejam alimentos (frutos, raízes, animais, mel, vegetais), matérias-primas para construção e combustível (madeira, biomassa, óleos de plantas), água potável (qualidade e quantidade) e recursos genéticos, entre outros. O aumento na demanda e a pressão sobre os já escassos recursos naturais serão inevitáveis, com impactos econômicos significativos.

O Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (Fundação



THE CURRENT STATE OF CLIMATE CHANGE RESEARCH

The profound impact of our socio-economic system on the planet has led the scientific community to consider a new geological era following the Holocene: the Anthropocene – wherein man becomes one of the main agents of transformation on the planet. Global human population growth, which could reach between 9 to 10 billion people by 2050, places us face to face with one of the greatest challenges of the 21st century: maintaining environmental quality and facilitating equal access to basic resources – such as food, water and energy – to guarantee safety and equality in the climate change context. Over the last 50 years, 14 of the 18 environmental services evaluated have begun declining, and their impacts are distributed in a socially unequal manner both between and within countries (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019). Ecosystem services include all the materials that we consume provided by ecosystems, such as food (fruits, roots, animals, honey, vegetables), raw materials for construction and fuel (wood, biomass, plant oils), drinkable water (quality and quantity), and genetic resources, amongst others. Increased demand and pressure on already scarce natural resources will inevitably bring significant economic impacts.

FAPESP's Global Climate Change Research Program (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022) has a scientific agenda that seeks to study critical processes for our ecosystems, as well as find solutions that can most effectively implement the 17 SDGs and the Brazilian Paris Agreement commitments. FAPESP Climate Change Program works with FAPESP BIOTA (focused on biodiversity preservation) and BIOEN (focused on bioenergy) programs. FAPESP Climate Change Program has already supported hundreds of projects over 15 years from all knowledge areas. It is important to highlight the relevance of interdisciplinary projects and those associated with economic and social sciences.

Climate change has strong associations with the biodiversity loss that we observe in nearly all terrestrial ecosystems and in the marine environment (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019). Ecosystems' resilience and their ability to respond to change depend mainly on their biodiversity. Alterations observed in precipitation rates and their seasonality, as well as temperature increases, are affecting ecosystem functions. Climate change, for example, can produce discrepancies between

the flowering season and pollinator activity, affecting forestry and cultivation productivity with still unforeseen consequences for biodiversity maintenance and food production. Climate change affects photosynthesis and productivity of ecosystem patterns, modifying hydrological cycles and carbon dynamics. The synergistic effects of land-use changes, including fragmentation and reductions of native vegetation and changes to climate, can increase pest action, thereby diminishing pollinators and requiring mitigation or adaptation measures to guarantee productivity for many food cultivars in Brazil and around the world. Such measures can increase uncertainty and make more expensive the production of a wide range of food crops that depend on pollinators while also limiting their productivity, thereby affecting food security.

Figure 2 shows how strong associations between climate change, human systems, and ecosystem services can be transformed—considering issues of governance, economics, and new technologies, a more resilient, sustainable, and just future can be built, preserving ecosystem services using adequate emissions and adaptation strategies. This process is associated with SDGs, given that we must consider basic population needs (education, health, gender equality, poverty and hunger eradication, clean water, and others) while simultaneously respecting the limited availability of natural resources on our planet.

Nowadays, we can see that in many respects, climate change impacts are rapidly accelerating in Brazil and around the world. In particular, social impacts worsen conditions for more vulnerable populations with less access to basic services such as good quality food, health, energy, housing, and sanitation. Science is a basic tool to outline efficient impact reduction measures, underpinning mitigation strategies to reduce emissions and adaptation actions (World Economic Forum, 2022). Based on ongoing high-quality research, interdisciplinary science is important to this process (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022). The challenges involved in reducing human action impacts on the environment, with a need for sustainable development and social inequality reductions, depend on achieving robust scientific results. However, it is notable that the greater part of detection and attribution for connections between ecosystems and climate change in recent decades has been obtained by analyzing long-term observations in the Northern Hemisphere. A lack of data and research on social and health dimensions of climate

de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022) tem uma agenda científica que visa estudar processos críticos para nossos ecossistemas e também encontrar soluções que possam implementar da melhor maneira possível os 17 ODS e os compromissos brasileiros no Acordo de Paris. O FAPESP Mudanças Climáticas trabalha em conjunto com os programas BIOTA (voltado à preservação da biodiversidade) e BIOEN (voltado à bioenergia) da FAPESP. O Programa FAPESP Mudanças Climáticas já apoiou centenas de projetos ao longo dos últimos 15 anos, em todas as áreas do conhecimento. Importante salientar a relevância dos projetos interdisciplinares e os associados a ciências sociais e econômicas.

As mudanças climáticas têm fortes ligações com a perda da biodiversidade que observamos em praticamente todos os ecossistemas terrestres e no ambiente marinho (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019). A resiliência dos ecossistemas e sua capacidade de reagir a mudanças dependem em grande parte de sua biodiversidade. As alterações observadas na taxa de precipitação e sua sazonalidade e no aumento de temperatura estão afetando o funcionamento dos ecossistemas. Mudanças climáticas podem, por exemplo, levar a desencontros entre a época da floração e a atividade dos polinizadores, afetando a produtividade da floresta e das culturas, com consequências ainda imprevisíveis para a manutenção da biodiversidade e da produção de alimentos. As mudanças climáticas afetam os padrões ecossistêmicos da fotossíntese e da produtividade, podendo modificar os ciclos hidrológicos e a dinâmica do carbono. Os efeitos sinérgicos da mudança do uso da terra, incluindo a fragmentação e redução de vegetação nativa e mudanças do clima, podem aumentar a ação de pragas, reduzindo os polinizadores e exigindo medidas de mitigação ou adaptação para garantir a produtividade de muitas culturas alimentares no Brasil e ao redor do mundo. Essas medidas podem aumentar as incertezas e

As mudanças climáticas têm fortes ligações com a perda da biodiversidade que observamos em praticamente todos os ecossistemas terrestres e no ambiente marinho.

encarecer a produção de uma grande gama de alimentos que dependem de polinizadores, ao mesmo tempo que limitam a produtividade dessas culturas, afetando a segurança alimentar.

A Figura 2 mostra diagramas de como poderemos transformar as fortes associações entre as mudanças climáticas, os sistemas humanos e os serviços ecossistêmicos. Levando em conta as questões de governança, finanças e novas tecnologias poderemos construir um futuro mais resiliente, sustentável e justo, preservando os serviços ecossistêmicos através de estratégias adequadas de adaptação e mitigação de emissões. Este processo está associado aos ODS, já que temos que atender às necessidades básicas da população (educação, saúde, igualdade de gênero, erradicação da pobreza, fome zero, água limpa e outros) e ao mesmo tempo respeitar os limites da disponibilidade dos recursos naturais de nosso planeta.

Hoje podemos ver, em muitos aspectos, que os impactos das mudanças climáticas estão se acelerando rapidamente no Brasil e em nosso planeta. Os impactos sociais, em especial, agravam a condição das populações mais vulneráveis e com menor acesso a serviços básicos como alimentação de qualidade, saúde, energia, habitação e saneamento. A ciência é uma ferramenta básica para que sejam estruturadas medidas eficientes na redução desses impactos, impulsionando ações de mitigação para reduzir emissões e de adaptação (World Economic Forum, 2022). A ciência interdisciplinar, fundamentada na pesquisa de qualidade e continuada, é central nesse processo (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022). Os desafios envolvidos na redução do impacto das ações humanas no ambiente, alinhados à necessidade do desenvolvimento sustentável e da redução de desigualdades sociais, passam pelo desenvolvimento de sólidos resultados científicos. Contudo, é importante salientar que a maior parte da detecção e atribuição acumulada sobre conexões entre ecossistemas e mudanças do clima nas últimas décadas tem sido derivada da análise de observa-

ções de longo prazo no Hemisfério Norte. A carência de dados e de pesquisas sobre as dimensões sociais e de saúde das mudanças climáticas são ainda mais pronunciadas. Séries temporais de dados físicos e de biodiversidade em todos os biomas brasileiros e no Atlântico Sul são necessárias, incluindo dados paleoclimáticos.

Ainda assim, é preciso reconhecer que, no Brasil, a ciência tem avançado a passos largos, mostrando um dinamismo importante em estudos interdisciplinares e transdisciplinares, cujos resultados podem subsidiar políticas públicas, seja para as distintas regiões do país, seja em setores específicos como o de água, produção de alimentos, transporte e geração e consumo de energia.

O Brasil está entre os países que despertam considerável interesse na questão das mudanças climáticas. Por exemplo, a floresta amazônica desempenha papel importante como estoque de carbono e explicita questões urgentes relacionadas ao desmatamento e aos serviços ecossistêmicos. No setor de transporte rodoviário, cabe destacar o papel crítico de biocombustíveis como estratégia de mitigação. Ainda no setor energético, temos uma matriz com forte peso na produção de hidroeletricidade.

O Brasil é signatário do Acordo de Paris e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e sua comunidade científica tem contribuído fortemente com avanços científicos capazes de pautar as esferas das políticas públicas e estratégias de desenvolvimento socioeconômico, além de orientar os tomadores de decisão quanto ao desenvolvimento sustentável do país. As ações de bases científicas para atender os desafios impostos pela alteração climática e ambiental passam pelo estabelecimento de métricas e referências, de forma a contribuir na formulação de estratégias regionais e nacionais de detecção/atribuição, mitigação e adaptação aos seus efeitos adversos.

O Brasil mostra vulnerabilidades importantes nas áreas ambiental e climática. O observado aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos tem impactado sobremaneira nossa população,

change is even more pronounced. Time series for physical and biodiversity data for all Brazilian and South Atlantic biomes are necessary, including paleoclimatic data.

Even so, it is evident that science has made significant progress in Brazil, with inter and transdisciplinary studies presenting noteworthy dynamism. The results of such works can inform public policy, both for specific Brazilian regions and for sectors such as water, food production, transportation, and energy consumption and generation.

Brazil numbers among those countries receiving considerable attention due to the climate change issue. The Amazon Forest, for example, plays a key role as a carbon store and raises urgent questions regarding deforestation and ecosystem services. The crucial role of biofuels in the highway transportation system as a mitigation strategy is also noteworthy. Brazil has an energy mix featuring a strong emphasis on hydroelectric production in the energy sector.

Brazil is a signatory of the Paris Agreement and the Sustainable Development Goals (SDGs). Furthermore, its scientific community has strongly contributed to scientific advances capable of grounding public policy and socio-economic development strategies and guiding decision-making for the sustainable development of Brazil. Scientifically informed measures to deal with challenges generated by environmental and climate alterations rely on the establishment of metrics and references to contribute to the formulation of regional and national strategies of detection/attribution, mitigation, and adaptation to averse climate change outcomes.

Brazil presents significant vulnerabilities in environmental and climatic areas. The increasing frequency of extreme climate events observed has excessively impacted our population, economy, and ecosystem functioning. Extreme climate events affect agricultural production, coastal infrastructure, and hydrological resource availability, among many other outcomes. Particularly in coastal cities, significant population density, infrastructure shortfalls, high pollution levels, degradation of rivers and wetland areas, combined with the negative effects of climate change, such as rising sea levels and occurrence of extreme events, threaten important socio-economic activities that depend on the oceans, such as tourism, fishing, and international commerce.

From climate risk to climate resilient development: climate, ecosystems (including biodiversity) and human society as coupled systems

(a) Main interactions and trends

(b) Options to reduce climate risks and establish resilience

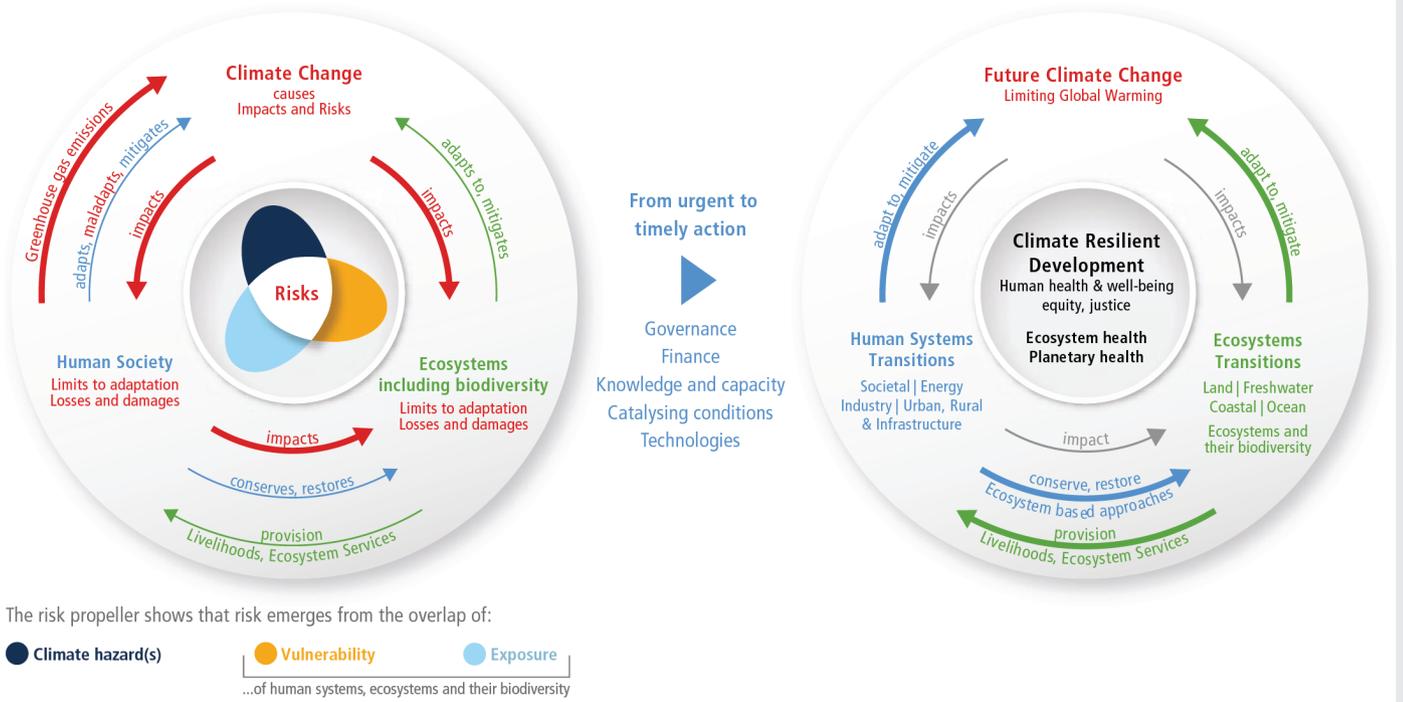


Figura 2. Ilustração das associações entre as mudanças climáticas, os sistemas humanos e os serviços ecossistêmicos, e de como poderemos construir um futuro mais resiliente, sustentável e justo, preservando os serviços ecossistêmicos através de estratégias de adaptação e mitigação. Fonte: IPCC WG2 SPM (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022) (Reprodução de figura e legenda autorizada). Crédito: "Figure SPM.1" (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, p. 8).
 Figure 2. Illustration of associations between climate change, human systems, and ecosystem services, and how we can build a more sustainable, resilient, and just future, preserving ecosystem services via mitigation and adaptation strategies. Source: IPCC WG2 SPM (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022) (Authorized reproduction of figure and legend). Credit: "Figure SPM.1" (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, p. 8).

Figure SPM.1 | This report has a strong focus on the interactions among the coupled systems climate, ecosystems (including their biodiversity) and human society. These interactions are the basis of emerging risks from climate change, ecosystem degradation and biodiversity loss and, at the same time, offer opportunities for the future.
 (a) Human society causes climate change. Climate change, through hazards, exposure and vulnerability generates impacts and risks that can surpass limits to adaptation and result in losses and damages. Human society can adapt to, maladapt and mitigate climate change, ecosystems can adapt and mitigate within limits. Ecosystems and their biodiversity provision livelihoods and ecosystem services. Human society impacts ecosystems and can restore and conserve them.
 (b) Meeting the objectives of climate resilient development thereby supporting human, ecosystem and planetary health, as well as human well-being, requires society and ecosystems to move over (transition) to a more resilient state. The recognition of climate risks can strengthen adaptation and mitigation actions and transitions that reduce risks. Taking action is enabled by governance, finance, knowledge and capacity building, technology and catalysing conditions. Transformation entails system transitions strengthening the resilience of ecosystems and society (Section D). In a) arrow colours represent principle human society interactions (blue), ecosystem (including biodiversity) interactions (green) and the impacts of climate change and human activities, including losses and damages, under continued climate change (red). In b) arrow colours represent human system interactions (blue), ecosystem (including biodiversity) interactions (green) and reduced impacts from climate change and human activities (grey). (1.2, Figure 1.2, Figure TS. 2)

Issues related to land use and cover changes are vital for the research associated with global environmental changes, especially due to accelerated alterations over recent decades with significant environmental and social impacts. Brazilian biomes are distributed in large areas of the country and suffer uncontrolled land-use changes, with negative outcomes for ecosystems and global and regional climates. Growing impacts on the urban environment, tourism, urban mobility, and

a economia e o funcionamento dos ecossistemas. Os eventos climáticos extremos impactam a produção agrícola, a infraestrutura costeira, a disponibilidade de recursos hídricos, entre muitos outros efeitos. Particularmente nas cidades costeiras, a alta densidade populacional, deficiências infraestruturais, altos níveis de poluição, degradação de rios e áreas úmidas, combinados com os efeitos negativos das mu-

danças climáticas, como elevação do nível do mar e ocorrência de eventos extremos, ameaçam importantes atividades socioeconômicas dependentes dos oceanos, como turismo, pesca e comércio internacional. As questões relacionadas com as mudanças nos padrões de uso e cobertura do solo são de interesse central aos estudos relacionados às mudanças ambientais globais, em especial pelo acelerado processo

de alterações das últimas décadas, com fortes impactos ambientais e sociais. Os biomas brasileiros se distribuem em grandes áreas do país, sofrendo com processos desordenados de mudanças no uso do solo, com efeitos deletérios sobre os ecossistemas e o clima regional e global.

Impactos crescentes no ambiente urbano, turismo, mobilidade urbana e transportes são identificados na literatura e necessitam de soluções com base em informações robustas e baseadas em ciência. Com 84% da população brasileira vivendo em cidades, a sustentabilidade urbana é central, particularmente para garantir disponibilidade e acesso a água, energia, alimentos, saneamento, entre outros aspectos essenciais para manutenção da saúde e bem-estar dos indivíduos.

Em 2016, o Brasil ratificou o Acordo de Paris, comprometendo-se a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025, e 43% até 2030, em comparação com emissões verificadas em 2005, e a eliminar o desmatamento ilegal da Amazônia até 2025. O país também se comprometeu a aumentar a participação da bioenergia na sua matriz energética para 18% até 2030, restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas, bem como alcançar uma participação de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030, além de uma redução em 10% no consumo de eletricidade (105 TWh em 2030). São metas que exigirão esforços consideráveis da ciência e da sociedade brasileira. Na COP-26, em Glasgow, em 2021, o Brasil adicionalmente se comprometeu a reduzir suas emissões de metano em 30% até 2030 e a eliminar o desmatamento da Amazônia até 2028.

Portanto, os objetivos para as pesquisas na próxima década devem estar voltados às questões contemporâneas, direcionando a ciência a produzir sólidas evidências científicas e abarcar estratégias que promovam transformações sociais em busca da sustentabilidade com os menores impactos econômicos e ambientais, de forma rápida e eficiente, focada no contexto brasileiro. Devemos responder aos desafios das

mudanças climáticas globais por meio do estímulo à geração do conhecimento para a consolidação de respostas práticas em todos os setores da sociedade brasileira.

DESAFIOS EM SETORES ESTRATÉGICOS

Algumas áreas de pesquisa requerem ações mais urgentes ou podem ser consideradas prioritárias por uma série de razões, que serão elencadas ao longo deste documento. A construção de uma sociedade minimamente sustentável vai requerer grandes esforços da sociedade, em todos os setores. Geração e consumo de energia, produção de alimentos, transportes, habitação, questões urbanas, funcionamento de ecossistemas são somente alguns destes tópicos prioritários.

Política energética para um desenvolvimento sustentável

Os desafios científicos e tecnológicos para reduzir emissões e manter o aquecimento global máximo em 1,5 a 2 graus Celsius, como estabelecido pelos países signatários do Acordo de Paris, implicam grandes transformações nos sistemas sociais, nas questões territoriais e de uso do solo, energia, infraestrutura e política industrial. O Brasil tem importantes vantagens estratégicas na área de energia, pois uma parcela significativa da sua matriz energética vem de fontes renováveis, como hidroeletricidade e biocombustíveis, e possui grande potencial de utilização das energias eólica (*onshore* e *offshore*) e solar, além de fontes marinhas como as ondas, marés e gradientes térmicos. Incorporar esse potencial no atual sistema energético nacional requer desenvolvimento de novos modelos de geração, distribuição e tarifação de energia, e incentivos para que o uso de energia renovável seja ampliado, em especial para a eólica e a solar. Novas oportunidades de criação de empregos, novos negócios e novas cadeias de suprimento com novas tecnologias poderão surgir. Ao mesmo tempo e na direção oposta há interesse crescente na incorporação de novas parcelas de combustíveis fósseis, especial-

transportation are identified in the literature and require solutions based on robust information grounded in science. With 84% of the Brazilian population living in cities, urban sustainability is key, particularly to guarantee availability and access to water, energy, food, and sanitation, among other aspects crucial to maintaining the health and well-being of individuals.

In 2016, Brazil ratified the Paris Agreement, committing to a 37% reduction in greenhouse gas emissions by 2025 and 43% by 2030, compared to 2005 levels. It also agreed to eliminate illegal deforestation in the Amazon by 2025. Brazil also committed to increasing the share of bioenergy in its energy mix to 18% by 2030, restoring and reforesting 12 million hectares of forest, and achieving a 45% participation of renewable energy in its energy mix by 2030. Furthermore, it committed to a 10% reduction in electricity consumption by 2030 (105 TWh in 2030). These goals will require considerable effort from Brazilian science and society. At COP-26, in Glasgow, in November 2021, Brazil also committed to a 30% reduction in methane emissions by 2030 and to eliminating deforestation of the Amazon by 2028.

Therefore, research objectives for the following decade should be focused on current issues, guiding science to rapidly and efficiently produce solid scientific evidence and adopt strategies. This can promote social transformation focused on the Brazilian context seeking sustainability alongside minimal economic and environmental impacts. We should respond to global climate change challenges by encouraging knowledge generation to underpin practical responses for all sectors of Brazilian society.

CHALLENGES FOR STRATEGIC SECTORS

Specific research areas require more urgent action or can be considered priorities for several reasons, which will be presented throughout this chapter. Creating a minimally sustainable society requires significant effort from all social sectors. Energy generation and consumption, food production, transportation, housing, urban issues, and ecosystem functioning are only some of these priority areas.

Energy policy for sustainable development

The scientific and technological challenges involved in reducing emissions and keeping maximum global warming to 1.5 to 2 degrees

Celsius, as established by the signatory countries for the Paris Agreement, imply significant transformations of social systems and territorial issues such as land use, energy, infrastructure, and industrial policy. Brazil has important structural advantages in the energy area since a significant portion of its energy mix comes from renewable sources, such as hydroelectricity and biofuels, and shows great potential for the use of wind (onshore and offshore) and solar energies, as well as marine sources such as wave, tidal and thermal gradients. Incorporating this potential into the current national energy system requires developing new energy generation, distribution, and pricing models and incentives for increased renewable energy use, especially for wind and solar. New job creation opportunities will emerge with new technologies, businesses, and supply chains. At the same time and in the opposite direction, there is growing interest in incorporating new fossil fuel resources, especially natural gas and petroleum, from pre-salt exploration. The apparent contradiction between evolving to renewable energy and expanding pre-salt exploration can be solved through strategies of using natural gas as a transition fuel, allowing the gradual insertion of large intermittent energy blocks, and the opportunity for CO₂ storage and subsequent use. IPCC scenarios to keep global warming to 1.5 °C are nearly all associated with advanced biomass using strategies for energy production and simultaneous carbon storage. These are the so-called BECCS strategies (bioenergy with carbon capture and storage) in which Brazil and especially São Paulo could be leaders. Efforts are necessary to improve our understanding of the impact of energy policy and technological changes in terms of greater resilience for the Brazilian economy and at the same time, reducing national greenhouse gas emissions. FAPESP Climate Change Program works in partnership with BIOEN on these important issues since biofuel use is one of Brazil's strategic pathways.

Understanding natural processes and environmental and climate modeling Science has made significant progress in understanding the processes that regulate our planet's climate on all temporal and spatial scales (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021). Modeling the terrestrial climate system is essential both to estimate climatic and environmental conditions at their multiple scales of spatiotemporal variability and as a tool for optimizing climate change adaptation measures in Brazil. Important

mente de gás natural e petróleo oriundos da exploração do pré-sal. A aparente contradição entre a evolução para as energias renováveis e a exploração do pré-sal pode ser resolvida através de estratégias de utilização do gás natural como combustível de transição, possibilitando a inserção gradativa de grandes blocos de energia intermitente, além da oportunidade de armazenamento de CO₂ e/ou sua posterior utilização. Os cenários do IPCC para restringir o aquecimento global a 1,5 °C são praticamente todos indissociáveis de estratégias avançadas de utilização de biomassa para a produção de energia e, ao mesmo tempo, armazenamento de carbono, a chamada estratégia BECCS (*bioenergy with carbon capture and storage*), na qual o Brasil, e São Paulo em especial, pode ser um protagonista. São necessários esforços para melhor compreensão dos impactos de mudanças em tecnologias e políticas energéticas no que se refere à maior resiliência da economia brasileira e, ao mesmo tempo, reduzir as emissões nacionais dos gases de efeito estufa. O Programa FAPESP de Mudanças Climáticas trabalha em parceria com o BIOEN nesta importante questão, pois o uso de biocombustíveis é um dos caminhos estratégicos para o Brasil.

A compreensão dos processos naturais e seu modelamento ambiental e climático

A Ciência fez progressos notáveis no entendimento de processos que regulam o clima de nosso planeta em todas as escalas temporais e espaciais (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021). A modelagem do sistema climático terrestre é essencial tanto para estimar as condições climáticas e ambientais em suas diversas escalas de variabilidade espaço-temporal, quanto como ferramenta de aperfeiçoamento das ações de adaptação às mudanças climáticas no Brasil. Importantes setores socioeconômicos nacionais têm forte dependência da informação meteorológica e climática, como os da agropecuária, saúde pública, geração de energia, transportes, infraestrutura, entre outros. O planejamento e a operação nes-

Os desafios científicos e tecnológicos para reduzir emissões e manter o aquecimento global máximo em 1,5 a 2 graus Celsius, como estabelecido pelos países signatários do Acordo de Paris, implicam grandes transformações nos sistemas sociais, nas questões territoriais e de uso do solo, energia, infraestrutura e política industrial.



national socio-economic sectors, such as farming, public health, energy generation, transportation, and infrastructure, are strongly dependent on climate and meteorological data. Planning and operating these sectors are particularly sensitive to climatic and meteorological predictability on short to medium-range timeframes, including seasonal, interannual and decadal scales. Given the increase in extreme climate events and socio-economic dependency on climate, robust data for atmospheric predictability and oceans at the smallest temporal scales will be increasingly important.

Given that climate change adaptation measures are undertaken through high-investment structural initiatives, for example, increasing hydropower availability, improving atmospheric forecasting increases information quality and thereby reduces risk margins for decision making. Environmental modeling is an essential tool for studying how ecosystems react to climate change and identifying key processes for ecosystem preservation. As a research goal, we should encourage investigations that focus on reducing climate forecasting uncertainties at distinct temporal scales by: (a) improving numerical weather and climate models, and (b) using analysis techniques applying models and large volumes of data, and based on the use of artificial intelligence, neural networks, complex networks and other resources. This will reduce the bias of models based on physical principles and produce better estimates of uncertainties attributed to climate forecasts and projections. Another very important use of analysis techniques for large volumes of data involves attributing causes, and these strategically contribute to streamlined decision-making in Brazil. The particular characteristics of tropical climates are not always well represented in global climate models.

Rainfall is a great uncertainty for weather and climate forecasting models, notably in the case of large floods and inundations. Deep clouds usually produce rainfall in tropical regions with a large volume of ice in the upper part. However, the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA) has shown that there are significant rainfall contributions coming from hot clouds (top below 5,000 m) in the stratiform shape with shallow connective (that is, clouds that do not form ice in the upper part). The IPCC models and those from the main weather and climate forecasting centers (including the European

Center for Medium-Range Weather Forecasting - ECMWF, viewed as the most precise center for global forecasting) underestimate the rainfall from warm clouds. The lack of rainfall from warm clouds led to the organization of observational studies and modeling of convection in the Amazon (GoAmazon and CHUVA, both with significant participation from FAPESP between 2014 and 2020). We learn from LBA, GoAmazon, and ACRIDICON-CHUVA experiments that the structure of clouds that form in the Amazon is highly influenced by biogenic emissions coming from the Amazonian biota. These gases, particularly terpenes and isoprene, form large condensation nuclei, which drive the high efficiency of stratiform clouds and shallow convective clouds (without ice). These effects have still to be incorporated into the climate and weather forecasting models. However, much research still remains to be done so that these effects can be captured more realistically and more robustly reproducing the remote impact of rainfall in the Amazon and the effects of global warming on rainfall patterns. It is also necessary to encourage further research regarding the coupling of clouds and surface processes (heat exchange, humidity, gases, and momentum) and the radiative effects of clouds since rainfall is an extremely complex process that involves all these mechanisms.

Another aspect of climate modeling for the Amazon still requiring investigation regards biases in IPCC models for positioning the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) in the Atlantic. Usually, models tend to place ITCZ further to the south of the observed position, or even a double band of ITCZ, which is unrealistic. This problem seems to stem from an inability of models to adequately reproduce the oceanic circulations in the equatorial region of the Atlantic and demands further study. Another important aspect in modeling for ITCZ is the validation of the models based on numerous studies undertaken (mainly over the last 10-15 years) regarding ITCZ evolution in the Atlantic and rainfall in the Amazon and in Central Brazil. These studies make evident a problem with the models, which must be eliminated to reduce uncertainties for the future climate of the Amazon under the influence of global warming.

Further research of the dipole precipitation phenomenon induced by vegetation cover changes in the Amazon, which appears in multiple numerical simulations for deforestation effects, is also recommended.

ses setores são particularmente sensíveis à previsibilidade meteorológica e climática, desde a escala de curto e médio prazos, até a sazonal, interanual e decenal. Diante do aumento de eventos climáticos extremos e da dependência socioeconômica ao clima, a qualidade da informação da previsibilidade atmosférica e dos oceanos nas menores escalas temporais será cada vez mais importante.

Conforme as ações de adaptação às mudanças climáticas são implementadas por medidas estruturais de alto investimento financeiro, por exemplo, na ampliação da oferta hídrico-energética, o aperfeiçoamento da previsão das condições atmosféricas eleva a qualidade da informação com redução da margem de risco na tomada de decisão. A modelagem ambiental é ferramenta essencial para estudar como os ecossistemas reagem às mudanças climáticas e identificar processos-chave para a preservação dos ecossistemas. Como meta de pesquisa, devemos fomentar investigações que foquem na redução da incerteza da previsibilidade climática em distintas escalas temporais com: (a) o aprimoramento de modelos numéricos de tempo e clima e (b) o uso de técnicas de análise de resultados de modelos e grandes volumes de dados, por exemplo, a partir do uso de inteligência artificial, redes neurais, redes complexas e outras, de modo a reduzir o viés dos modelos baseados em princípios físicos, e levando a uma melhor estimativa das incertezas atribuídas às previsões e projeções climáticas. Outro uso muito importante das técnicas de análise de grandes volumes de dados refere-se ao tema da atribuição de causas. Dessa forma, contribui-se estrategicamente para o aperfeiçoamento na tomada de decisões no Brasil. O clima tropical tem características próprias nem sempre bem representadas em modelos climáticos globais.

A chuva é a grande incerteza dos modelos de previsão de tempo e clima, especificamente no caso das grandes acumulações ligadas a enchentes e alagamentos. Chuva na região tropical é em geral predominantemente produzida por nuvens profundas com alta quantidade de gelo na parte superior.

Entretanto, o experimento LBA (Experimento de Larga Escala na Biosfera-Atmosfera na Amazônia) mostrou que há expressiva contribuição de chuva oriunda de nuvens quentes (topo abaixo de 5.000 m) na forma estratiforme e convectiva rasa (ou seja, nuvens que não formam gelo na parte superior). Os modelos do IPCC e dos principais centros de previsão de tempo e clima (incluindo o *European Center for Medium Range Weather Forecasting* – ECMWF, tido como o centro de maior acerto nas previsões globais) subestimam a precipitação oriunda de nuvens quentes. A falta de chuva oriunda de nuvens quentes levou à organização de estudos observacionais e de modelagem da convecção na Amazônia (experimentos GoAmazon e CHUVA, ambos com forte participação da FAPESP entre 2014 e 2020). O que aprendemos com os experimentos LBA, GoAmazon e CHUVA é que a estrutura das nuvens que se formam na Amazônia é altamente influenciada pelas emissões biogênicas oriundas da biota amazônica. Esses gases, notadamente terpenos e isoprenos, formam núcleos de condensação de grande tamanho que promovem a alta eficiência das nuvens estratiformes e das nuvens convectivas rasas (sem gelo). Esses efeitos ainda não estão devidamente incorporados nos modelos climáticos e de previsão de tempo. Entretanto, muita pesquisa ainda é necessária para que esses efeitos sejam bem capturados de forma mais realista e reproduzam de forma mais robusta o impacto remoto das chuvas na Amazônia e os efeitos do aquecimento global no regime de chuvas. Também é preciso estimular mais estudos sobre o acoplamento das nuvens com os processos de superfície (trocas de calor, umidade, gases e momentum) e os efeitos radiativos das nuvens, pois a chuva é um processo extremamente complexo que envolve todos esses mecanismos.

Outro aspecto da modelagem climática na Amazônia que precisa ser mais bem explorado é a questão do viés dos modelos do IPCC com relação ao posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Atlântico. Os modelos em geral

tendem a colocar a ZCIT mais ao sul da posição observada, ou mesmo uma banda dupla da ZCIT, o que não é realista. Esse problema parece ter origem na inabilidade dos modelos em reproduzir adequadamente as circulações oceânicas na região equatorial do Atlântico e precisa ser mais bem estudado. No tema da ZCIT, outro aspecto importante na modelagem é a validação dos modelos com base nos numerosos estudos que foram realizados (principalmente nos últimos 10-15 anos) sobre a evolução da ZCIT no Atlântico e as chuvas na Amazônia e Brasil Central. Nesses estudos fica evidente que existe um problema com os modelos que precisa ser eliminado para que possamos reduzir as incertezas com relação ao clima futuro da Amazônia sob a influência do aquecimento global.

Recomenda-se também que seja mais bem estudado o fenômeno do dipolo da precipitação induzido pelas mudanças da cobertura vegetal na Amazônia, que aparece em muitas simulações numéricas sobre os efeitos do desmatamento. A grande maioria dos modelos concorda que haja redução de precipitação na Amazônia com a redução da cobertura florestal e que o papel do armazenamento de água na floresta é importante para reduzir o impacto da variabilidade natural do clima na Amazônia e regiões vizinhas (incluindo, por exemplo, a região Sudeste do Brasil). Entretanto, muitos estudos indicam que há aumento, na média de longo prazo, em regiões vizinhas, porém com grande incerteza na localização do máximo (pode ser ao sul da Amazônia, sudeste e leste). Essas pesquisas são fundamentais para que seja diminuída a incerteza nas projeções do IPCC com relação aos efeitos remotos nas regiões vizinhas da Amazônia.

As atividades humanas e emissões de poluentes atingem diretamente a qualidade do ar, com seus fortes impactos na saúde da população. Emissões associadas a queimadas e às diversas atividades de transporte e das indústrias alteram a composição físico-química do ar e afetam o balanço de radiação tanto na atmosfera como na superfície terrestre, afetando a vida

em geral e os ecossistemas em particular. A alteração do balanço de radiação pelos aerossóis atmosféricos tem impacto também na formação de chuvas e, portanto, uma visão integrada de previsão ambiental deve ser buscada.

As tarefas nesta área vão na direção de aperfeiçoamento dos modelos numéricos de tempo e clima, por meio do avanço da representação de processos em modelos físicos e estatísticos, nas suas distintas frequências e escalas de manifestação. Em especial, é preciso buscar a melhor previsão dos eventos meteorológicos extremos em diferentes escalas espaciais e temporais e tendências de mudanças para minimizar seus impactos socioeconômicos. Temos também que aprimorar a utilização de grandes conjuntos de informações de dados instrumentais e de registros meteorológicos/geológicos/oceanográficos do sistema terrestre natural (incluindo os registros paleoambientais), desde escalas de tempo a mais longo prazo, bem como de alta frequência no contexto da ciência dos dados e dos métodos de inteligência artificial e aprendizado de máquinas. Isso possibilitará conhecer novos padrões do clima e de episódios históricos do sistema climático, como meio de amparar o aperfeiçoamento de modelos meteorológicos e climáticos.

O Brasil precisa melhorar o monitoramento ambiental e climático contínuo com coleta de dados e estudos dos principais biomas do Brasil, integrando modelagem ambiental e observação direta. A modelagem para cada bioma deve ser desenvolvida levando-se em conta todas as escalas temporais e espaciais. Temos também que disponibilizar resultados dos modelos climáticos aos tomadores de decisão, cientistas de várias áreas e ao público em geral, com a criação de plataformas de fácil acesso aos resultados dos modelos.

A modelagem do Sistema Terrestre envolve a dinâmica entre sistemas naturais e humanos, considerando questões ambientais e sociais das mudanças climáticas globais, incluindo impactos econômicos, sustentabilidade, vulnerabilidade

The overwhelming majority of models agree that rainfall reductions in the Amazon occur with forest cover reductions and that the role of water storage in the forest is important to minimize the impact of natural climate variability on the Amazon and neighboring regions (including southeastern Brazil). However, many studies indicate that there is a medium to a long-term increase in neighboring regions, but with significant uncertainty for the localization of the maximum (possibly in the southern, southeastern, or western Amazon). These studies are key to minimizing uncertainty in IPCC forecasts regarding remote effects on neighboring Amazon regions.

Human activities and pollution emissions directly affect air quality, significantly impacting population health. Emissions associated with fires and diverse human transportation and industrial activities alter the physical-chemical air composition and affect radiation levels both in the atmosphere and on the earth's surface, affecting life in general and ecosystems in particular. Alterations to radiation balance from atmospheric aerosols also impact rain formation. Therefore, an integrated environmental forecasting perspective should be sought.

The tasks in this area involve improving quantitative weather and climate models and applying advances in the representation of processes in physical and statistical models in their specific frequencies and scales of manifestation. It is especially necessary to improve forecasting of extreme meteorological events at different spatial and temporal scales and change tendencies to minimize their socio-economic impacts. It is also important to streamline the use of large instrumental data sets and of meteorological/geological/oceanographic records of the natural terrestrial system (including paleoenvironmental records). This would involve the longest-range scales and the highest frequency in the context of data science and artificial intelligence methods and learning machines. This will allow us to understand new climate patterns and historical episodes of the climate system as a way to assist the improvement of meteorological and climate models.

Brazil needs to improve ongoing environmental and climate monitoring with data collection and studies of the main Brazilian biomes, integrating environmental modeling and direct observation. Modeling for each biome should be developed taking into account all temporal and spatial scales. We also have to make

climate modeling results available for decision-makers, scientists from various areas, and to the general public through the creation of easily accessible platforms containing model results.

Modeling terrestrial systems involves a dynamic between natural and human systems, considering environmental and social issues related to global climate change, including economic impacts, sustainability, vulnerability, and risk. This is done to present diagnoses and formulate future scenarios for socioenvironmental interactions and responses in the physical environment. This perspective seeks to integrate and organize territorial aspects (agriculture, biodiversity conservation units, urban areas, indigenous areas) with sustainable ecosystem use for biodiversity preservation. The issue of attributing extreme climate events to climate change is also a research area that can help society reduce climate change impacts.

Biodiversity and ecosystem functioning
Ecosystem functioning has been strongly affected by human action and climate change, not only by those at the global level but also at regional and even local levels. However, uncertainties persist regarding the detection and attribution of climate change effects on our tropical ecosystems due to a scarcity of historical data, and long-term monitoring. In tropical forests, increased biomass production accelerated tree life cycles, and altered species abundance and distribution are among the changes related to physiological effects from elevated atmospheric CO₂, which can be measured via soil nutrient availability. In the cerrado and other biomes, our understanding of climate change effects are limited. In the oceans, our understanding is even more limited due to the contingencies of research in this environment. However, we must extend our understanding of the generality of such patterns and of the potential impact on ecosystem processes and their consequences for biota. Predictive distribution models and phylogeographic studies indicated a general reduction in species distribution ranges for any future warming scenario, and extinction risk models show unprecedented species biodiversity losses, even for the mildest warming scenarios (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019). In the marine environment, water warming has stimulated species and fishing stock migration to higher latitudes.



e riscos, elaborando diagnósticos, assim como construção de cenários futuros das interações socioambientais e respostas no ambiente físico. Esta ação visa integrar e organizar elementos territoriais (agricultura, unidades de conservação da biodiversidade, áreas urbanas, áreas indígenas) com o uso sustentável dos ecossistemas, preservando a biodiversidade. A questão da atribuição dos eventos climáticos extremos à mudança do clima também é uma área de pesquisa que pode auxiliar a sociedade a reduzir os impactos da mudança climática.



Biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas

O funcionamento de nossos ecossistemas tem sido fortemente afetado pelas ações humanas e mudanças climáticas, não somente aquelas de nível global, mas também as regionais e até mesmo as locais. Entretanto, ainda há incertezas quanto à detecção e atribuição dos efeitos das mudanças climáticas nos ecossistemas tropicais devido à escassez de dados históricos, monitoramentos de longo prazo e à falta de estudos de caráter experimental ou de manipulação climática nos ecossistemas. Nas florestas tropicais, o aumento da produção de biomassa, aceleração do ciclo de vida das árvores, alterações na distribuição e abundância de espécies estão entre as mudanças relacionadas ao efeito fisiológico da elevação de CO₂ atmosférico, que podem ser mediadas pela disponibilidade de nutrientes nos solos. Nos cerrados,

Considering the synergistic effects of land use changes, deforestation, and high-level fragmentation and degradation of most Brazilian biomes, the vulnerability of our biota and ecosystems increases exponentially, threatening biodiversity and associated ecosystem services. Emission impacts from forest fires on ecosystems and population health are strong, for example, increasing the number of hospitalizations and deaths in the neighboring areas/regions. By exposing ecosystem services to significant risk, these climate change scenarios especially affect agricultural and fishing productivity, energy production, river transport, and, finally, human well-being.

Therefore, to improve our detection and attribution of climate change effects on Brazilian biodiversity and ecosystems, we must better understand related ecosystem services and anticipate responses to future warming scenarios. Thus, we must plan and propose adaptation and mitigation measures and remediation procedures. This must be done at three organizational levels: species, ecosystem, and biome or ecoregion, as well as via different institutional and land ownership arrangements, such as indigenous areas, protected areas, private land, etc. Research goals for the area could focus on interactions between climate, biodiversity, and socio-economic development in the following topics: 1) Long-term monitoring systems for detection of tendencies and alterations in biota and their attribution to climate change; 2) *In situ* experiments for manipulation of climate variables on Brazilian ecosystems; 3) Modelling of species responses to ecosystems under climate change; 4) Identification of effects of extreme events on biota; 5) Ecological restoration and assisted regeneration; 6) Cascade effects from climate change impacts on ecosystem services provided by Brazilian ecosystems.

Land use changes and agricultural activities

Two areas that drive greenhouse gas emissions in Brazil are changes to land use and farming. Competition between forest preservation and food and biofuel production is discussed in detail in the special IPCC report about climate change and land (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). With its strong agribusiness and high deforestation rates in the Amazon and Cerrado, Brazil is at the heart of this issue. Climate is a signifi-

cant factor in agricultural productivity. Due to altered rainfall patterns and increased temperatures, we face potential agricultural productivity losses.

The consequences for the management and profit of agricultural properties depend on combinations of cumulative adaptations (precision agriculture, remote sensing, etc.), systemic adaptation (soil and water conservation, genetic diversity, etc.), and transformative adaptations (complex agricultural systems, agroecology, agroforests, etc.). There are beneficial and negative effects in all cases, requiring comparative studies at various scales. One of the challenges is developing more efficient and resilient agriculture drastically reducing further expansion over native vegetation areas, such as the Amazon and Cerrado, while simultaneously reducing emissions. Initiatives for nitrous oxide (N₂O) and methane (CH₄) emission reductions in the farming sector are crucial.

Work in this area should include interdisciplinary research, highlighting aspects of the holistic search for balance concerning agricultural production and environmental conservation. For small producers, climate change impacts can represent a question of survival. In contrast, impacts for large-scale producers mean economic losses that can affect the whole Brazilian socio-economic system. These two situations require different approaches from a research/investigation perspective. The MapBiomass system for Brazilian soil covering is an excellent example of the effort to make science about soil use more transparent and easily accessible for the whole national territory.

We need to maintain high Brazilian agricultural productivity in a changing climate. This includes evaluating resilience, plasticity, and coexistence capacity between native ecosystems and forestry and farming production systems. Research should seek: 1) New technologies (including genetic improvement), and agricultural improvements, taking into account dynamics related to the water-soil-atmosphere continuum, including resilience of critical zones; 2) Development of advanced support systems for decision-making, including weather, climate, and quantitative environmental modeling, advanced information platforms, and integration of biophysical with socio-economic modeling; 3) Advanced implementation methods for new technologies seeking increases in farming productivity with better production and land management practices, and

O funcionamento de nossos ecossistemas tem sido fortemente afetado pelas ações humanas e mudanças climáticas, não somente aquelas de nível global, mas também as regionais e até mesmo as locais.

campos e outros biomas, nosso entendimento dos efeitos das mudanças do clima é ainda mais limitado. Nos oceanos, nosso conhecimento é ainda mais restrito em decorrência das especificidades dos estudos nesse ambiente. Entretanto, precisamos estender nosso conhecimento da generalidade de tais padrões e do potencial impacto nos processos ecossistêmicos e suas consequências para a biota. Modelos de distribuição preditiva e estudos filogeográficos indicam redução geral nas faixas de distribuição de espécies para qualquer cenário futuro de aquecimento, e os modelos de risco de extinção mostram uma perda sem precedentes de biodiversidade de espécies, mesmo para os cenários mais amenos de aquecimento (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2019). No ambiente marinho, o aquecimento da água tem promovido a migração de espécies e estoques pesqueiros para maiores latitudes.

Considerando os efeitos sinérgicos da mudança do uso do solo, do desmatamento e o elevado grau de fragmentação e degradação da maior parte dos biomas brasileiros, a vulnerabilidade da nossa biota e ecossistemas aumenta exponencialmente, ameaçando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos associados. Os impactos das emissões de queimadas sobre o ecossistema e a saúde da população são

fortes, por exemplo aumentando o número de hospitalizações e óbitos em área/regiões circunvizinhas. Os cenários de mudança climática, ao exporem a um grande risco os serviços ecossistêmicos, afetam especialmente a produção agrícola e a pesca, a produção de energia, o transporte fluvial e, em última instância, o bem-estar humano.

Portanto, para melhorar nossa detecção e atribuição dos efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade e ecossistemas brasileiros, temos que entender melhor os serviços ecossistêmicos relacionados e antever respostas a cenários futuros de aquecimento, prevendo e sugerindo medidas de mitigação e adaptação e procedimentos de remediação. Isso deve ser feito em três níveis organizacionais: espécies, ecossistemas e biomas ou ecorregiões, além de diferentes arranjos institucionais e de propriedade, tais como áreas indígenas, áreas protegidas, áreas privadas etc. As metas de pesquisas nesta área poderiam focar nas interações entre clima, biodiversidade e desenvolvimento socioeconômico, nos seguintes tópicos: 1) Sistemas de monitoramento de longo prazo para a detecção de tendências e alterações na biota e sua atribuição às mudanças climáticas; 2) Experimentos *in situ* de manipulação de variáveis climáticas nos ecossistemas do país; 3) Modelagem de respostas de espécies dos ecossistemas às mudanças climáticas;

4) Detecção de efeitos de eventos extremos na biota; 5) Restauração ecológica e regeneração assistida; 6) Efeitos-cascata dos impactos das mudanças climáticas sobre os serviços ecossistêmicos fornecidos pelos ecossistemas do país.

Mudanças de uso do solo e agropecuária

Dois dos setores que lideram as emissões de gases de efeito estufa no Brasil são a mudança de uso do solo e a agropecuária. A competição entre a preservação de florestas e a produção de alimentos e biocombustíveis é discutida em detalhes no relatório especial do IPCC sobre mudança climática e terra (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). O Brasil, com um forte agronegócio e taxas altas de desmatamento da Amazônia e Cerrado, está no centro desta questão. O clima é um fator significativo na produtividade agrícola. Temos um potencial de perdas de produtividade agrícola devido às alterações no regime de chuvas e aumento de temperatura.

As implicações para o manejo e renda de propriedades agrícolas dependem de combinações de adaptações incrementais (agricultura de precisão, sensoriamento remoto etc.), adaptação sistêmica (conservação de solo e água, diversidade genética etc.) e adaptações transformativas (sistemas agrícolas complexos, agroecologia, agroflorestal etc.). Em todos os casos, efeitos benéficos ou deletérios podem existir, o que requer estudos comparativos em várias escalas. Um dos desafios é desenvolver uma agricultura mais eficiente e resiliente, reduzindo drasticamente novas expansões sobre áreas de vegetação nativa, como a Amazônia e o Cerrado, e ao mesmo tempo, reduzir as emissões. Ações para a redução das emissões do óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) no setor agropecuário são centrais.

O trabalho nesta área deve contemplar pesquisas interdisciplinares, ressaltando os aspectos da busca integrada do equilíbrio em relação à produção agropecuária e conservação ambiental. Por exemplo, para os pequenos produtores esses impactos das mudanças climáticas podem represen-

tar uma questão de sobrevivência, enquanto para os grandes produtores os impactos reverterão em perdas econômicas que reverberam pelo sistema socioeconômico do país. Essas duas situações demandam olhares diferentes de pesquisa/investigação. O sistema MapBiomas de mapeamento da cobertura do solo de nosso país é um excelente exemplo de esforços em tornar transparente e com fácil acesso à ciência das mudanças do uso do solo para todo o território nacional

De qualquer modo, temos que manter a alta produtividade agrícola brasileira em um clima em mudança. Isso inclui avaliação da resiliência, da plasticidade e da capacidade de coexistência entre ecossistemas nativos e sistemas de produção agropecuários e florestais. As pesquisas devem buscar: 1) Novas tecnologias (incluindo melhoramento genético), aprimorando a agricultura, levando em conta as dinâmicas relacionadas ao contínuo água-solo-atmosfera, incluindo resiliência das zonas críticas; 2) Desenvolvimento de sistemas avançados de apoio à tomada de decisão, incluindo modelagem numérica de tempo, clima e ambiental, plataformas avançadas de informação, e integração da modelagem biofísica aos modelos socioeconômicos; 3) Métodos avançados de implementação de novas tecnologias visando o incremento da produtividade agropecuária com melhores práticas de manejo do solo e da produção, e agricultura de baixo carbono; 4) Analisar a evolução dos padrões de uso do solo, incluindo padrões de desmatamento e verificação do cumprimento das NDC do Acordo de Paris; 5) Pesquisas sobre os impactos na agricultura, incluindo perspectivas em paisagens multifuncionais, voltadas a soluções sustentáveis para o setor de produção agropecuária.

O papel estratégico das cidades frente às mudanças climáticas

Um conjunto expressivo de estudos evidencia o papel estratégico das cidades frente às mudanças climáticas, em particular porque os ambientes urbanos: (i) são responsáveis por altas fontes de emissão de gases

low-carbon agriculture; 4) Analyze the evolution of land use patterns, including deforestation and verify the fulfillment of Paris Agreement NDCs; 5) Research into the impact of agriculture, including approaches for multifunctional landscapes, focused on sustainable solutions for the farming production sector.

The strategic role of cities and climate change

A significant set of studies shows the strategic role of cities in confronting climate change, particularly given that urban environments: (i) are significant sources of greenhouse gas emissions; (ii) can drive paradigm shifts in terms of production and management processes for urban spaces; (iii) constitute an ideal meeting point to experiment with new technologies and solutions focused on diverse issues of the present day; and (iv) are important to developing and carrying out curtailment strategies associated with climate mitigation and adaptation.

Brazil is an urban society, with around 84% of its population living in cities in 2022. Many of these cities are concentrated in areas highly susceptible to the most severe impacts of climate change, such as elevated average sea levels (in coastal cities) and extreme rainfall and temperature events. Recent episodes associated with these events show that alterations in the distribution, intensity, and geographical frequency of risks related to meteorological conditions threaten to exceed the capacity of Brazilian cities to deal with losses and recover from impacts. These impacts tend to exacerbate risks commonly found in Brazilian cities, and deficiencies in the capacity of local governments to deal with infrastructure deficits and provision of basic essential services, aggravating conditions of vulnerability for specific social groups and communities. Therefore, mitigation and adaptation strategies for urban centers should consider impacts such as livability, thermal comfort, health, mobility, and urban planning. Small to medium cities have an important role in mediating between rural populations and large urban centers.

Land use and anthropogenic emissions of gases and particles in urban areas alter the local climate. This issue is even more critical due to the rapid growth of urban areas and disorganized urbanization processes, which usually characterize most Brazilian cities. Even given their particularities, municipalities adopt urban legislation far from the needs of

urban dynamics and creation of urban space and are characterized by the disorganization of specific policies such as those related to environmental preservation and quality and housing. This hampers the integrated development of urban space, making updating and adaptation processes slow and complex. Socio-spatial segregation is another notable characteristic, especially in large urban centers. Flooding episodes and heat island effects, both associated with a reduction in green areas and the historic expansion of urban areas, aggravated in recent decades by climate change, make these events increasingly frequent.

The literature shows that unplanned and unregulated urban sprawl has enormous medium and long-term costs for society. The consequences of neglect of green and blue infrastructure (vegetation covering and water resources) that transform the urban climate tend to intensify recurrent episodes of severe flooding, heatwaves, and poor air quality, leading to serious harm to the quality of life and well-being of individuals. In São Paulo, for example, there is a pattern of urban warming (heat island) of around 3°C as an annual average. Many urban areas have 2 to 3-degree heat islands. These temperature conditions increase the frequency of situations outside the comfort limit aggravated by heat waves and extreme rainfall episodes during summer.

The number of people vulnerable to the effects of heatwaves and extreme rains increased significantly in Brazil and around the world. Air pollution in large cities caused by vehicles and industrial emissions generates impacts on the population's health. The reduction of greenhouse gas emissions would also reduce atmospheric pollutants in urban areas in a synergistic effect with global warming. Significant changes to urban mobility, such as intermodal trips, low-emissions bus corridors, extensive public transport systems, electric vehicles, vehicle sharing etc., are necessary. Priority measures for urban areas could include actions in: 1) Urban mobility solutions for medium and large-sized cities, seeking to reduce GGE emissions and atmospheric pollutants to protect population health; 2) Information to update the Strategic Urban Guidelines, laws for land use and occupation and construction codes focused on sustainable and more resilient cities; 3) Intelligent, integrated systems that bring together urban infrastructure, climate, energy use, transportation, building, food distribution logistics, and goods; 4) Water

de efeito estufa; (ii) podem dar impulso às mudanças de paradigmas em relação aos processos de produção e gestão do espaço urbano; (iii) constituem-se em lócus ideal de experimentação de novas tecnologias e soluções direcionadas a diversas questões da atualidade; e (iv) são importantes na elaboração e condução de estratégias de enfrentamento associadas à mitigação e adaptação climática.

O Brasil é uma sociedade urbana com cerca de 84% da população vivendo nas cidades em 2022. Muitas delas concentram áreas altamente suscetíveis aos impactos mais severos das alterações climáticas, como elevação do nível médio do mar (em cidades costeiras) e eventos extremos de precipitação e temperatura. Episódios recentes relacionados a esses eventos evidenciam que as alterações na distribuição, intensidade e frequência geográfica dos riscos relacionados às condições meteorológicas ameaçam exceder a capacidade das cidades brasileiras de absorver perdas e recuperar-se dos impactos. Esses impactos tendem a exacerbar os riscos comumente existentes nas cidades brasileiras, bem como as inadequações na capacidade dos governos locais para tratar dos déficits na infraestrutura e no oferecimento de serviços básicos necessários, agravando as condições de vulnerabilidade de determinados grupos sociais e comunidades. Assim, as estratégias de mitigação e adaptação nos centros urbanos devem considerar aspectos como habitabilidade, conforto térmico, saúde, mobilidade e planejamento urbano. As pequenas e médias cidades têm importante papel nesta questão por intermediarem populações rurais e os grandes centros.

Nas áreas urbanas, o uso do solo e as emissões antropogênicas de gases e partículas alteram o clima local. Esse entendimento é ainda mais crítico considerando o crescimento rápido dos assentamentos urbanos e o próprio processo de urbanização desordenada que caracteriza, em geral, a maioria das cidades brasileiras. Ainda que apresentem suas especificidades, em comum os municípios são marcados por uma legislação urbanística ainda

muito descolada das dinâmicas urbanas e da produção do espaço urbano, e pela dearticulação de políticas setoriais, como as relacionadas à preservação e qualidade ambiental e habitacional, o que dificulta a qualificação integrada do espaço urbano, tornando o processo de atualização e/ou adaptação complexo e lento. A segregação socioespacial também é outra característica marcante, sobretudo nos grandes centros urbanos. Somam-se a esses problemas, os episódios de alagamento e efeitos da ilha de calor, ambos associados à redução das áreas verdes e à expansão histórica das áreas urbanizadas, agravados nas últimas décadas pelas mudanças do clima, tornando esses eventos cada vez mais frequentes.

A literatura tem endossado que a dispersão urbana não planejada e não regulada tem enormes custos para a sociedade a médio e longo prazo. As consequências do descaso com a infraestrutura verde e azul (cobertura vegetal e recursos hídricos), que modulam o clima urbano, tendem a agravar episódios recorrentes de inundações e alagamentos severos, ondas de calor e baixa qualidade do ar, trazendo sérios danos à qualidade de vida e bem-estar dos indivíduos. Em São Paulo, por exemplo, há um padrão de aquecimento urbano (ilha de calor) de cerca de 3 °C na média anual. Muitas áreas urbanas têm ilhas de calor de 2 a 3 graus. Essas condições de temperatura aumentam a ocorrência de condições fora do limiar de conforto, agravadas pelos episódios de onda de calor e chuvas extremas no verão.

O número de pessoas vulneráveis às consequências das ondas de calor e chuvas extremas aumentou significativamente no Brasil e no planeta como um todo. A poluição do ar nas grandes cidades pela frota veicular e emissões industriais trazem impactos à saúde da população. A redução de emissões de gases de efeito estufa também reduziria os níveis de poluentes atmosféricos em áreas urbanas, em efeito sinérgico com o aquecimento global. São necessárias, assim, mudanças profundas na mobilidade urbana, como viagens intermodais, corredores de ônibus de baixa



security in large urban areas with water use and reuse, and quality water supply; 5) Air pollution reductions in large urban centers, particularly gases and particles that act on the climate, such as ozone, methane, volatile organic compounds (VOCs), aerosols, black carbon and others; 6) Urban ecology research to evaluate how global warming affects populations, and health and well-being of people and undertake surveys of the environmental services provided by urban biota; 7) Management processes developed for urban and industrial solid and liquid waste in large cities.

Climate change impacts on human health

Brazil has complex and heterogeneous regions, with diversified temporal and spatial distribution for certain diseases and significant social, cultural, ecological, and climate diversity that directly affects the individual and collective resilience of populations exposed to climate change. Health impacts resulting from global climate alterations depend on the general health of exposed populations, which depend, in turn, on social determinants for health, such as universal health care, socio-environmental governance, public policy, and the state of the 'country's development model. Tropical climates and ecosystem alterations favor pathogen development. Additionally, issues related to food insecurity stemming from climate change are challenges that impact individual health.

Brazil has a wide range of wild animals that host multiple different microorganisms. Many of these are considered etiological agents for diseases, both in animals and humans. As part of the transmission cycle of numerous parasites, human health is intimately connected with the health of wild animals. Environmental alterations, including climate change and biodiversity loss, are decisive factors for the emergence of diseases originating in wild animals. The incidence of infectious diseases usually increases at higher temperatures. Preserved ecosystems in equilibrium have an important role in controlling zoonotic infections and diseases transmitted by vectors.

An estimated 60% of diseases circulate between animals and humans (zoonoses), 72% of which are caused by pathogens of wild origin. It is widely understood that virus diversity (including coronavirus), bacteria, and other pathogenic agents follow the same spatial distribution as

plant and animal diversity, making Brazil the largest repository for these living beings. Global environmental changes directly affect the advance of pathogens and generate impacts on public health and fauna conservation. Among these are the etiological agents for malaria, yellow fever, tuberculosis, toxoplasmosis, leptospirosis, hemorrhagic fevers, rabies, brucellosis, Chagas disease, diseases caused by the oropouche virus, Mayaro, Ebola, and the SARS-CoV-2 coronavirus, among many others. Arboviral diseases, such as dengue, zika, chikungunya, and yellow fever are the main threats of global climate change to public health. Impacts from fungi are also observed, with mycoses reported for tropical climates being described in temperate climates. The impact of heat is also present in the greater proliferation and growth of insect larvae that are vectors for viral diseases that cause hemorrhagic fevers. Higher temperatures favor fungal development, affecting health and food security during food storage and transportation. These pathogenic agents, among others, provoke significant socio-economic and health impacts and are a growing source of scientific interest.

The burning of biomass due to deforestation and agricultural practices means that air pollution levels in remote areas generate significant effects on public health in the region, with the aggravation of respiratory diseases, mainly for children, the elderly, and those with prior conditions. This increases the risk of hospitalization and mortality from respiratory disease in the region, aggravating a context already characterized by a lack of access to health care services.

The concept "One World, One Health" of the World Health Organization (WHO) includes human, animal, and environmental health policies. Its aim is to expand understanding and actions to confront the challenges of epidemic and epizootic prevention and maintain ecosystem integrity to benefit humans and the biodiversity that supports them. The COVID-19 pandemic caused by the coronavirus SARS-CoV-2 demonstrated the relevance of this approach. The most urgent measures regarding this issue include: 1) Investigating climate change impacts on diseases transmitted by vectors and on the interface between viruses and bacteria restricted to natural ecosystems and their possible dissemination in human societies; 2) Investigating the propagation of diseases such as malaria, dengue, chikungunya, yellow fever and cholera,

emissão, sistemas de transporte de massa extensos, veículos elétricos, compartilhamento de veículos etc. As ações prioritárias para as áreas urbanas poderiam contemplar ações em: 1) Soluções para a mobilidade urbana nas grandes e médias cidades, visando reduzir emissões de GEE e de poluentes atmosféricos, protegendo a saúde da população; 2) Conhecimentos para atualização dos Planos Diretores Estratégicos Urbanos, leis de uso e ocupação do solo e códigos de obras focados em cidades sustentáveis e mais resilientes; 3) Sistemas inteligentes integrados que conciliam na infraestrutura das cidades o clima, o uso de energia, transporte, edificações, logística de distribuição de alimentos e bens; 4) Segurança hídrica nos grandes centros urbanos, com uso e reúso da água, além do fornecimento de água com qualidade; 5) Redução da poluição do ar nos grandes centros urbanos, em particular os gases e partículas que têm atuação climática, como ozônio, metano, compostos orgânicos voláteis (COVs), aerossóis, *black carbon* e outros; 6) Pesquisas em ecologia urbana para avaliar como o aquecimento global afeta a população, a saúde e o bem-estar das pessoas e avançar no levantamento dos serviços ambientais fornecidos pela biota urbana; 7) Desenvolver processos de gestão de resíduos sólidos e líquidos urbanos e industriais nas grandes cidades.

Impactos das mudanças climáticas na saúde

O Brasil apresenta uma complexa heterogeneidade nas suas regiões, com diversificada distribuição espacial e temporal de determinadas doenças e grande diversidade social, cultural, ecológica e climática que interferem diretamente na resiliência individual e coletiva das populações expostas às mudanças climáticas. Os impactos na saúde resultantes das alterações climáticas globais dependerão do estado geral de saúde das populações expostas que, por sua vez, depende de condições dos determinantes sociais da saúde, como a cobertura de saúde universal, a governança socioambiental, políticas públicas e os rumos

O Brasil apresenta uma complexa heterogeneidade nas suas regiões, com diversificada distribuição espacial e temporal de determinadas doenças e grande diversidade social, cultural, ecológica e climática que interferem diretamente na resiliência individual e coletiva das populações expostas às mudanças climáticas.

do modelo de desenvolvimento do país. O clima tropical e as alterações ecossistêmicas favorecem o desenvolvimento de patógenos. Além disso, questões relacionadas à insegurança alimentar devidas às mudanças climáticas são desafios que têm importantes impactos na saúde dos indivíduos.

O Brasil apresenta grande diversidade de animais silvestres que, por sua vez, hospedam múltiplos e diferentes microrganismos, muitos destes considerados agentes etiológicos de doenças, tanto para os animais quanto para o homem. Como parte do ciclo de transmissão de inúmeros parasitos, a saúde humana está intimamente ligada à saúde dos animais silvestres. As alterações ambientais, incluindo as mudanças climáticas e a perda da biodiversidade, são fatores determinantes para a emergência de doenças oriundas de animais silvestres. Em geral, doenças infecciosas crescem em incidência com maiores temperaturas. Os ecossistemas preservados e em equilíbrio têm um papel importante para a dinâmica e controle de doenças zoonóticas e infecções transmitidas por vetores.

Estima-se que mais de 60% das doenças infecciosas circulem entre animais e humanos (zoonoses), e que 72% destas sejam causadas por patógenos com origem na vida silvestre. É já de amplo conhecimento que a diversidade de vírus (incluindo coronavírus), bactérias e outros agentes patógenos segue o mesmo padrão espacial da diversidade de plantas e animais, o que faz do Brasil o maior repositório desses seres vivos. As mudanças ambientais globais têm consequências diretas para o avanço dos patógenos que geram impactos tanto para a saúde pública quanto para a conservação de fauna. Dentre eles, podem ser apontados os agentes etiológicos da malária, febre amarela, tuberculose, toxoplasmose, leptospirose, febres hemorrágicas, raiva, brucelose, doença de Chagas, das doenças causadas pelos vírus oropouche, Mayaro, ebola, e os coronavírus SARS-CoV-2, dentre tantos outros. As doenças arbovirais, como dengue, zika, chikungunya e febre amarela, são as princi-

pais ameaças das mudanças globais à saúde pública. São também observados impactos de fungos, com micoses descritas em climas tropicais, passando a ser descritas em climas temperados. Temos também o impacto do calor na maior proliferação e crescimento de larvas de insetos vetores de doenças virais que causam febres hemorrágicas. A maior temperatura favorece o desenvolvimento de fungos que afetam tanto a saúde quanto a segurança alimentar, no armazenamento e transporte de alimentos. Esses agentes patogênicos, entre outros, provocam impactos importantes na saúde e socioeconomia, e são fonte crescente de interesse científico.

A queima de biomassa decorrente do desmatamento e de práticas agrícolas fazem com que os níveis de poluição do ar em áreas remotas tragam significativos efeitos para a saúde pública da região, com agravamento das doenças respiratórias, principalmente para crianças, idosos e aqueles com enfermidades pregressas, o que aumenta o risco de hospitalização e mortalidade por doenças respiratórias na região, agravando o cenário devido à falta de acesso aos serviços de saúde.

O conceito *One World, One Health* da Organização Mundial da Saúde (OMS) integra políticas de saúde humana, animal e ambiental. Tem o objetivo de ampliar a visão e as ações para o enfrentamento dos desafios da prevenção de epidemias e epizootias e da manutenção da integridade ecossistêmica em benefício humano e da biodiversidade que os suportam. A pandemia de covid-19 causada pelo coronavírus SARS-CoV-2 mostrou a relevância dessa abordagem. As ações prioritárias nessa temática poderiam incluir: 1) Investigações sobre os impactos das mudanças climáticas em doenças transmitidas por vetores e na interface entre vírus e bactérias constrictas nos ecossistemas naturais e sua possível disseminação em nossa sociedade; 2) Investigar a propagação de doenças como malária, dengue, chikungunya, febre amarela e cólera e sua possível associação com mudanças climáticas e aspectos socioeconômicos; 3)

and its possible association with climate change and socio-economic aspects; 3) Investigating health impacts of urban air pollution, particularly carbon monoxide, ozone, nitrogen oxides, ultrafine particles and aerosols; 4) Investigating the impact of emissions from fires associated with deforestation in the Amazon and Cerrado on population health; 5) Investigating the role of extreme climate events such as heatwaves reduction of water availability on mortality and morbidity, prioritizing the most vulnerable groups such as the elderly, children and pregnant women; 6) Investigating water pollution and its impacts on the population and monitoring the implementation of basic sanitation measures to improve water quality in urban areas and areas with intense agriculture and pesticide use.

Socio-economic impacts of climate change

Social and economic dimensions are transversal across all areas affected by climate change. These dimensions represent a range of basic and applied studies of significant relevance to society. While substantial advances have been made in multiscale and integrated research of relations between social and economic processes and climate change, these efforts still represent a relatively small fraction of the research on the issue. The importance of these dimensions for public policy requires a marked evolution in the conceptual and analytic models, in the development of collaborative and participative research, and in their use to assist with public policy. Low-carbon-emission economic models can create employment, and mitigation policies should consider the effect on job creation for less qualified, more vulnerable individuals. It is important to consider the decision-making process for necessary investments, carbon pricing, and choice of options that promote GGE reductions in processes, products, and services. Analyzing processes of territorial strengthening for organized communities in biodiversity production at multiple scales contributes to mitigation. The issue of food security in climate change is also key to social dimensions.

The socio-economic impact of mitigation and adaptation can be significant, especially in developing nations such as Brazil. The role of the private sector in working with academia and legislators to minimize the cost of large transformations is necessary for all areas, such

as energy, construction, transportation, and others. The role of the private sector is essential to developing a low-carbon economy. Priority areas interrelated with the respective issues are proposed to advance research regarding climate changes social and economic dimensions.

Therefore, it is necessary to 1) improve projections of direct and indirect economic impacts resulting from different climate change scenarios in different productive sectors, including social impacts of specific future trajectories and mitigation and adaptation strategies; 2) have a greater understanding of the economic contribution of nature and ecosystem service conservation aiming to minimize climate change impacts for society; 3) create innovation opportunities in the economy for biodiversity, studying potential bioeconomy strategies; 4) develop circular economic models for different economic sectors; 5) understand impacts from predatory and sustainable land use to draft development guidelines to strengthen mitigation policies; 6) create opportunities and synergies to align mitigation and adaptation measures to combat poverty and inequality; 7) work with the concept of “climate justice”, developing strategies that minimize the impacts on less advantaged populations.

Example of a critical ecosystem in rapid transformation: the Amazon
The Amazon is a strategic region for the planet and Brazil (The Amazon we Want, 2021). It is the world's largest tropical forest, with an approximate area of 5.5 million km², 60% of which is Brazilian territory. Its river basin is the largest river system in the world, distributed between Brazil, Bolivia, Colombia, Ecuador, French Guiana, Guyana, Peru, Suriname, and Venezuela. It houses immense biodiversity, with the greater part located in Brazil, representing the largest biome in the country. It plays a fundamental role in providing environmental products and services in the carbon cycle for climate regulation. It is the largest carbon reservoir on any continent, with around 120 billion tons of carbon in the ecosystem, which is equivalent to 10 years of fossil fuel burning. It provides essential ecosystem services for Brazilian society and economy. It has a vast traditional and first people's population, possessing resources of inestimable value such as knowledge, language, and culture of the first peoples and traditional communities. Despite its importance, the ecosystem is being rapidly destroyed by deforestation and climate

Investigar os impactos na saúde da poluição do ar urbana, em particular monóxido de carbono, ozônio, óxidos de nitrogênio e partículas ultrafinas de aerossóis; 4) Investigar o impacto de emissões de queimadas associadas ao desmatamento na Amazônia e Cerrado na saúde da população; 5) Investigar o papel de eventos climáticos extremos como ondas de calor e redução de disponibilidade hídrica na mortalidade e morbidade, com prioridade para grupos mais vulneráveis como idosos, crianças e gestantes; 6) Investigar a poluição hídrica e seus impactos na população e monitorar a implementação de ações de saneamento básico na melhora da qualidade da água em áreas urbanas e em áreas com agricultura intensiva e uso de agrotóxicos.

Impactos socioeconômicos das mudanças climáticas

As dimensões sociais e econômicas são transversais em todas as áreas impactadas pelas mudanças climáticas. Estas dimensões representam um universo de pesquisas básicas e aplicadas de grande relevância para a sociedade. Enquanto avanços significativos têm sido feitos na análise integrada e multiescalar das relações entre processos sociais e econômicos e mudanças climáticas, estes esforços ainda representam uma fração relativamente pequena das pesquisas dedicadas ao tema. A importância destas dimensões para políticas públicas demanda um salto significativo no avanço de modelos conceituais e analíticos, no desenvolvimento de pesquisas colaborativas e participativas e nas suas aplicações como subsídios em políticas públicas. Modelos econômicos de baixa emissão de carbono podem ser geradores de emprego, e as políticas de mitigação não podem deixar de considerar o efeito da geração de empregos para pessoas menos qualificadas e mais vulneráveis. Importante considerar no processo de tomada de decisão os investimentos necessários, a precificação do carbono e a escolha das opções que promovam a redução das emissões de GEE

nos processos, produtos e serviços. Analisar processos de fortalecimento territorial de comunidades organizadas na produção da biodiversidade em diversas escalas contribui para a mitigação. A questão da segurança alimentar em um clima em mudança também é chave nas dimensões sociais.

O impacto socioeconômico da mitigação e adaptação pode ser muito grande, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil. É fundamental o papel do setor privado trabalhando com a academia e legisladores para minimizar o custo das grandes transformações necessárias em todas as áreas, como energia, edificações, transporte e outras. A atuação do setor privado é essencial no desenvolvimento de uma economia de baixo carbono. Áreas prioritárias inter-relacionadas com respectivos temas ilustrativos são propostas para avançar as pesquisas sobre as dimensões sociais e econômicas das mudanças climáticas.

Neste sentido, é importante: 1) aprimorar projeções sobre impacto econômico direto e indireto de diferentes cenários de mudanças climáticas em diferentes setores produtivos, incluindo impactos sociais de distintas trajetórias futuras e estratégias de mitigação e adaptação; 2) ter uma maior compreensão da contribuição econômica da conservação da natureza e dos serviços ecossistêmicos visando minimizar impactos de mudanças climáticas para a sociedade; 3) criar oportunidades de inovações na economia da biodiversidade, estudando potenciais estratégias de bioeconomia; 4) desenvolver modelos de economia circular para diferentes setores econômicos; 5) conhecer os impactos territoriais predatórios e os impactos territoriais sustentáveis para orientar políticas de desenvolvimento no sentido de fortalecer as políticas de mitigação; 6) Criar oportunidades e sinergias para alinhar medidas de mitigação e adaptação ao combate à pobreza e desigualdade; 7) trabalhar com o conceito de “justiça climática”, desenvolvendo estratégias que minimizem os impactos na população menos favorecida.

Exemplo de um ecossistema crítico em rápida transformação: Amazônia

A Amazônia é uma região estratégica para o planeta e para o Brasil (The Amazon we Want, 2021). Contempla a maior floresta tropical do mundo, com uma área aproximada de 5,5 milhões de km², dos quais 60% estão em território brasileiro; sua bacia hidrográfica é o maior sistema fluvial global, distribuído entre Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana Francesa, Guiana, Peru, Suriname e Venezuela; hospeda uma gigantesca biodiversidade, sendo a maior parte localizada no Brasil, representando o maior bioma do país. Desenha papel fundamental na provisão de produtos e serviços ambientais no ciclo do carbono e na regulação do clima. É o maior reservatório de carbono em regiões continentais, contendo cerca de 120 bilhões de toneladas de carbono, ou o equivalente a 10 anos de toda a queima de combustíveis fósseis. Presta serviços ecossistêmicos essenciais para a sociedade e a economia brasileira. Tem uma vasta população tradicional e indígena, detentora de ativos de valores inestimáveis como conhecimento, língua e cultura dos povos indígenas e comunidades tradicionais.

Apesar de sua importância, o ecossistema está sendo destruído rapidamente, através do desmatamento e do impacto das mudanças climáticas no ecossistema. O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), por meio do sistema de monitoramento do desmatamento amazônico, observou em 2021 a conversão de mais de 13.000 km² de florestas. As emissões de dióxido de carbono e metano associadas ao desmatamento e queimadas evidenciam o processo destrutivo recente sobre a Amazônia. Como resultado desse processo, o ciclo hidrológico está sendo alterado em vastas áreas. Por outro lado, algumas regiões da Amazônia tiveram aumento expressivo de temperatura (maior que 2,2 °C), redução da precipitação (cerca de 20%) e aumento dos fenômenos climáticos extremos como grandes secas e inundações. Como resultado, temos observado uma degradação pronunciada na floresta,

com perda de carbono e biomassa. A Figura 3 mostra as interações entre as emissões do desmatamento e seus impactos no aquecimento global, bem como o aquecimento global que impacta no estoque de carbono da Amazônia.

Pesquisas de grande escala, como o experimento LBA, permitiram avanços importantes no conhecimento dos ecossistemas e das relações natureza-sociedade-economia na Amazônia. Essas pesquisas medem o impacto das ações humanas, a exemplo do avanço do desmatamento, bem como mostram o enorme potencial da biodiversidade da região e sua contribuição essencial para o clima regional e global. É consenso hoje que a preservação da floresta é fundamental para a sustentabilidade do planeta. O bioma amazônico é rico em diversidade cultural, linguística, biológica e geológica, e investimentos em ciência, tecnologia e inovação, em pesquisas básicas e aplicadas são estratégicos para a sua compreensão e sua sustentabilidade.

No entanto, apesar de ser caracterizada como a região que hospeda a maior biodiversidade natural do país, o seu desenvolvimento socioeconômico em torno de atividades relacionadas à floresta ainda não alcançou escala de projeção em todo o seu potencial. Há um gigantesco desafio no âmbito da regularização fundiária, e faltam planos concretos de crescimento econômico inclusivo e sustentável.

É necessária a formulação de uma estratégia de transição econômica sustentável através da sociobiodiversidade. Esta formulação envolve questões territoriais, ligadas a questões fundiárias no ambiente rural e urbano. É importante também desenvolver cadeias de valor e sociobiodiversidade que mudem as atuais práticas e modelos econômicos atuais para um novo conjunto de iniciativas econômicas baseadas na floresta em pé. Esta nova economia deve ser estruturada na proteção e uso sustentável dos recursos naturais, rompendo com o atual modelo de desenvolvimento predatório. E a questão da disponibilização de soluções energéticas para o desenvolvimen-

change impacts. The National Institute for Space Research (INPE), via the Amazon deforestation monitoring system, observed the conversion of more than 13,000km² in 2021. The carbon dioxide and methane emissions associated with deforestation and burning exemplify the recent destructive processes in the Amazon. As a result, the hydrological cycle is being altered over vast areas. On the other hand, some Amazonian regions showed significant temperature increases (higher than 2.2 °C), reduced rainfall (around 20% less), and more frequent extreme climate events with intense droughts and flooding. As a result, notable forest degradation has been observed, with carbon and biomass loss. Figure 3 shows the interactions between emissions from deforestation and its impacts on global warming and global warming, which in turn impacts the Amazon carbon stock.

Large-scale research, such as the LBA experiment, provides important advances in understanding ecosystems and nature-economy-society relationships in the Amazon. These studies measure the impact of human action, such as the expansion of deforestation, and show the enormous potential of the region's biodiversity and its essential contribution to regional and global climate. It is a consensus today that preserving the Amazon rainforest is fundamental for planetary sustainability. The Amazon biome is rich in cultural, linguistic, biological, and geological diversity, and investments in science, technology, and innovation, in both basic and applied research, are strategies for its understanding and sustainability.

However, despite being described as the region with the greatest natural biodiversity in Brazil, its socio-economic development in relation to activities related to the forest has still not achieved a scale of projection proportional to its potential. There is an enormous challenge regarding land regulation and a lack of concrete plans for inclusive and sustainable economic growth.

Drafting a sustainable economic transition strategy through sociobiodiversity is necessary. This formulation involves territorial questions related to land issues in rural and urban environments. It is also important to develop value chains and sociobiodiversity that change current practices and economic models for new economic initiatives based on forest conservation. This new economy should be structured for the protection and sustainable use of natural resources, halting the current predatory development

model. The availability of energy solutions for regional development is also critical, given the low solar energy incidence on the surface, because of the high cloud cover, and the low wind speed on the surface of the Amazon rainforest. Diesel-powered electric generators are still widely used in the Amazon.

MITIGATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS

According to the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021), global greenhouse gas emissions should fall by 7.6% per year from 2021 to 2030 to avoid the possibility of climate collapse, stabilizing global warming at 1.5°C. As a signatory nation to the Paris Agreement, Brazil has a commitment to end its net greenhouse gas emissions by 2050 and reduce emissions by 37% by 2025 and 43% by 2030, in comparison with 2005 levels. Our commitments in the Brazilian NDC and those signed in the COP-6 in Glasgow include:

- Increase the use of alternative energy sources;
- Increase the proportion of sustainable bioenergy in the Brazilian energy mix to 18% by 2030;
- Use clean technologies in industry;
- Improve transportation infrastructure;
- Restore and reforest up to 12 million hectares;
- Reduce carbon emissions by 50% by 2030;
- Reduce methane emissions by 30% by 2030;
- Be carbon neutral by 2050;
- Stop deforestation of the Amazon by 2028.

We are far from even minimally achieving our international commitments for a number of reasons. Figure 4 shows the most up-to-date evaluation of Brazilian greenhouse gas emissions according to the SEEG system (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa, 2022). We can observe that in 2019 deforestation accounted for 44% of our emissions, while other sectors accounted for: farming (38%); energy (19%); industrial processes (5%); and waste (4%). Notably, land-use changes and farming, which are connected, are responsible for 72% of our emissions.

The greater part of Brazilian climate commitments still requires effective public policy based on science. This will demand significant effort from society, in the construction of a more sustainable economy, with solutions that will be developed in Brazil.

In the IPCC emissions scenarios that limit the temperature increase to 1.5 or

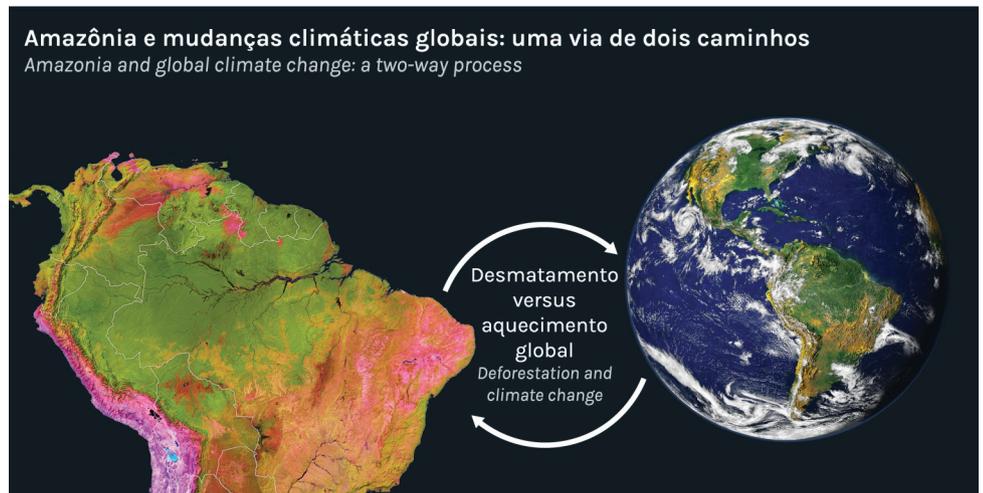


Figura 3. Interações entre as emissões do desmatamento e seus impactos no aquecimento global, e como o aquecimento global impacta no ecossistema amazônico.

Fonte das fotos: NASA (National Aeronautics and Space Administration, 1997, 2018).

Figura criada pelos autores.

Figure 3. Interactions between deforestation emissions and their impacts on global warming, and how global warming affects the Amazon ecosystem.

Photos source: NASA (National Aeronautics and Space Administration, 1997, 2018).

Figure created by the authors.

to regional é também crítica, já que a incidência de energia solar na superfície é baixa, por causa da alta nebulosidade, e a velocidade do vento também é baixa na superfície da floresta Amazônica. Geradores elétricos movidos a diesel são ainda uma constante na Amazônia.

A MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Segundo o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021), as emissões globais de gases de efeito estufa devem cair 7,6% ao ano de 2021 a 2030 para afastar a chance de colapso climático, estabilizando o aquecimento global em 1,5°C. O Brasil, como nação signatária do acordo de Paris, tem o compromisso de zerar suas emissões líquidas de gases de efeito estufa em 2050, além de reduzir as emissões em 37% até 2025, em 43% até 2030, em comparação com emissões de 2005. Nossos compromissos na NDC

brasileira e os assinados na COP-6 em Glasgow incluem:

- Aumentar o uso de fontes alternativas de energia;
- Aumentar a participação de bioenergias sustentáveis na matriz energética brasileira para 18% até 2030;
- Utilizar tecnologias limpas nas indústrias;
- Melhorar a infraestrutura dos transportes;
- Restaurar e reflorestar até 12 milhões de hectares;
- Reduzir em 50% as emissões de carbono até 2030;
- Reduzir as emissões de metano em 30% até 2030;
- Ser neutro em emissões de carbono até 2050;
- Zerar o desmatamento da Amazônia até 2028.

Estamos muito longe de conseguir cumprir minimamente nossos compromissos internacionais, por uma série de razões. A Figura 4 mostra a avaliação mais atual das emissões de gases de efeito estufa brasileiras, de acordo com o sistema SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa, 2022). Observamos que, em 2019, o desmatamento responde por 44% de nossas emissões, enquanto os demais setores ficam com: agropecuária 28%; energia 19%; processos industriais 5%; e resíduos 4%. Importante salientar que mudança de uso de solo e agropecuária, que estão ligados, são responsáveis por 72% de nossas emissões.

A maior parte dos compromissos climáticos brasileiros ainda necessita de políticas públicas efetivas e baseadas em Ciência. Não exigirão grandes esforços da sociedade, na construção de uma economia mais sustentável, com soluções que terão de ser desenvolvidas em nosso país.

Nos cenários de emissões do IPCC que limitam o aumento de temperatura em 1,5 ou 2 °C está prevista a necessidade de remover carbono já emitido para a atmosfera. Um aspecto importante é que a Ciência ainda vai ter que desenvolver métodos eficientes de remoção de CO₂ da atmosfere-

ra, através de processos conhecidos como “Carbon Capture Utilization and Storage – CCUS”. Entre esses processos temos “CO₂ Direct Air Capture”, “BECCS – Bioenergy with Carbon Capture and Storage”, captura e armazenamento de carbono no solo e na vegetação, e outras tecnologias ainda a serem desenvolvidas. O conhecimento científico para transformar a economia que temos hoje em uma economia de baixo carbono também terá que ser desenvolvido em muitos setores industriais e de serviços. Esforços de pesquisas nessas áreas serão estratégicos para atingir cenários de emissões que possam limitar o aumento da temperatura global em 2 °C.

O DESAFIO DA ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Adaptação é compreendida como processos de ajustamento para antecipar impactos adversos das mudanças climáticas que resultam na redução da vulnerabilidade. Se nos sistemas ecológicos adaptação inclui ajustes autônomos em processos ecológicos e evolucionários, nos sistemas humanos adaptação pode ser antecipatória ou reativa, incremental ou transformativa (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021, 2022). No contexto das mudanças climáticas, esforços de adaptação podem gerar vários benefícios adicionais, como melhoria da produtividade agrícola, inovação, saúde e bem-estar, segurança alimentar, conservação da biodiversidade, bem como redução de riscos e danos. Por outro lado, ações de “má-adaptação” (*maladaptation*) podem ampliar vulnerabilidades e riscos, exacerbando iniquidades já existentes.

Capacidade adaptativa é o potencial de um sistema (como uma cidade, por exemplo) de mudar para um estado mais desejável frente aos impactos e riscos das mudanças climáticas. Estudos focados em adaptação climática mostram que os processos adaptativos, sobretudo nos sistemas urbanos, são estreitamente dependentes da disposição dos atores (particularmente dos atores institucionais nos níveis subnacionais e locais) de empreenderem medidas

2 °C, there is still a need to remove already emitted carbon from the atmosphere. An important aspect is that science still has to develop efficient CO₂ removal methods through processes known as “Carbon Capture Utilization and Storage-CCUS”. Among these processes are “CO₂ Direct Air Capture”, “BECCS – Bioenergy with Carbon Capture and Storage” carbon capture and storage in soil and vegetation, and other technologies still to be developed. The scientific knowledge currently available to transform our economy today into a low-carbon economy will also have to be further developed in many industrial and service sectors. Strategic research in these areas will aim to achieve emissions scenarios that limit the global average temperature increase to 2 °C.

THE CHALLENGE OF CLIMATE CHANGE ADAPTATION

Adaptation is understood as an adjustment process to anticipate adverse impacts from climate change, thereby generating reduced vulnerability. If adaptation in ecological systems involves autonomous adjustments in ecological and evolutionary processes, adaptation in human systems can be gradual or transformative, anticipatory or reactive (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021, 2022). In the climate change context, adaptation efforts can generate additional benefits, such as improved agricultural productivity, innovation, health and well-being, food security, biodiversity conservation, and risk and harm minimization. On the other hand, maladaptation can intensify risk and vulnerability, exacerbating existing inequality.

Adaptive capacity is a system’s potential (such as a city, for example) to change to a more desirable state in the face of impacts and risks from climate change. Studies focused on climate adaptation show that adaptive processes, especially in urban systems, are closely dependent on the willingness of actors (especially institutional ones at local and sub-national levels) to carry out adaptive measures, on the capacity to implement and appropriately provide resources, and to organize conditions that can facilitate or impede consolidation of initiatives. Climate adaptation initiatives tend to be more easily implemented and organized when we seek synergies with policies, resources, and other existing measures, including actions to encourage sustainability, quality of life, and improved infrastructure.

Brazil is particularly vulnerable to climate change due to its tropical location, its socio-

economic structure strongly dependent on rainfall patterns, its urban deficiencies, and its enormous social inequalities. Brazil's climate adaptation plan (CAP), launched in 2016, seeks to guide management and reduction initiatives for risks stemming from medium and long-range adverse effects of climate change in the social, economic, and environmental fields. However, until the present day, long-term planning focused on climate adaptation has still not gained traction in Brazil. Among the reasons for this delay are the complexity involved in adaptation, economic, institutional, and political limitations, especially in cities, relationships of interdependence between climate change dynamics and urban planning, and political questions. This interdependence has been decisive in delaying and hampering the necessary adjustment processes. Recently, the Ministry for Science, Technology, and Innovation (MCTI) launched the Adapt Brazil platform, which suggests a series of public policies to be implemented (Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças Climáticas, 2022).

Although improved levels of income, education, health, and other socio-economic indicators – the so-called generic capacities – are important to reduce vulnerability to climate change overall, considering the set of specific risks that climate alterations represent for cities (flooding, droughts, sea-level rise, heat islands), there is also an urgent need to look at specific capacities necessary to overcome and recover from these stressors, including mapping risk areas, early warning systems and planning to deal with natural disasters. Understanding how these capacities combine and affect different cities in terms of size, socio-economic indicators, and infrastructure is fundamental to supporting them in preparing for and responding to and adapting to climate change.

The lack of useful data and information that can assist in the management, planning, and governance is frequently identified as one of the main barriers to advance adaptation to climate change, translated into paralysis and inaction at the decision-making level. Therefore, promoting greater involvement by information users (institutional actors, for example) in the production and circulation of knowledge is as important as the capacity to produce techno-scientific information that is easily converted into strategies, policies, and adaptation actions. One of the main challenges for scientific knowledge production is to

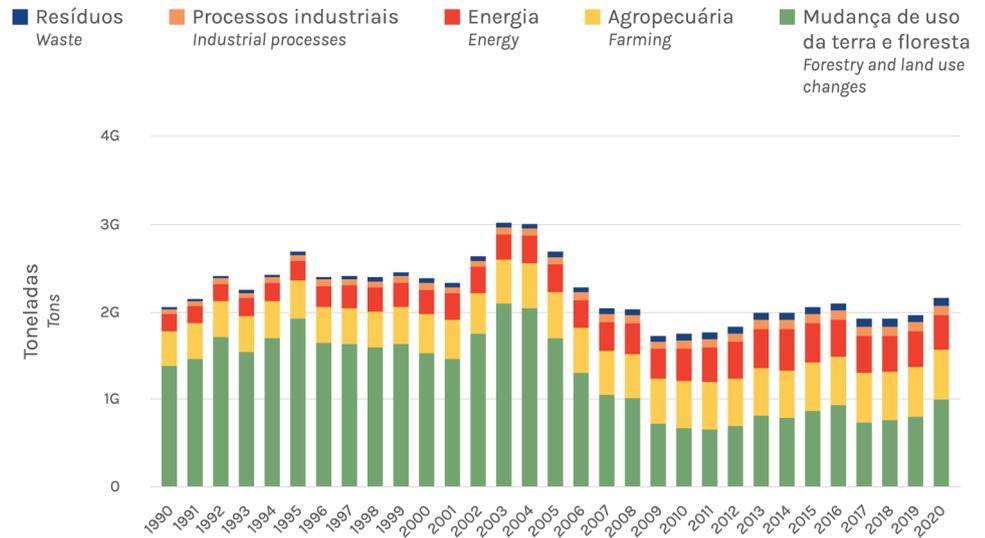


Figura 4. Emissões de gases de efeito estufa do Brasil, de 1990 a 2020 por setor econômico. Nota-se o crescente impacto das emissões da agropecuária e do desmatamento na Amazônia. As emissões energéticas dobraram de 1990 a 2020. Fonte: SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa, 2022).

Figure 4. Greenhouse gas emissions in Brazil from 1990 to 2020 by economic sector. The growing impact of emissions from farming and deforestation in the Amazon is notable. Energy emissions doubled from 1990 to 2020. Source: SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa, 2022).

adaptativas, da capacidade de implementar e disponibilizar recursos de maneira apropriada, e do arranjo de condições que podem facilitar ou dificultar a consolidação de iniciativas. As ações de adaptação climática tendem a ser mais facilmente implementadas e organizadas quando buscam sinergias com políticas, recursos e outras medidas já existentes, incluindo ações visando à sustentabilidade, qualidade de vida e melhoria de infraestrutura.

O Brasil é um país particularmente vulnerável às mudanças climáticas por sua localização tropical, por sua estrutura socioeconômica fortemente dependente do regime de chuvas e pelas inadequações urbanísticas e enormes iniquidades sociais. O Brasil tem um plano de adaptação climática (PNA), lançado em 2016, que visa orientar iniciativas para gestão e redução dos riscos provenientes dos efeitos adversos das mudanças

climáticas no médio e no longo prazo, nas dimensões social, econômica e ambiental. Todavia, até o momento, um planejamento de longo prazo voltado à adaptação climática ainda não ganhou projeção no país como um todo. Entre as razões para esse atraso estão a própria complexidade envolvida na adaptação, as limitações econômicas, institucionais e políticas e, em particular nas cidades, as relações de interdependência entre mudanças do clima, dinâmicas do planejamento urbano e questões políticas. Essa interdependência tem sido determinante para atrasar e dificultar os processos de ajustamento necessários. Recentemente, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) lançou a plataforma Adapta Brasil, que sugere uma série de políticas públicas a serem implementadas (Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças Climáticas, 2022).

Embora melhorias nos níveis de renda, educação, saúde e outros indicadores socioeconômicos – as chamadas capacidades genéricas – sejam importantes para reduzir a vulnerabilidade às mudanças do clima em geral, considerando o conjunto de riscos específicos que as alterações climáticas representam em particular para as cidades (por exemplo, inundações, secas, aumento do nível do mar, ilhas de calor), há também necessidade urgente de considerar as capacidades específicas necessárias para superar e se recuperar desses estressores, incluindo, por exemplo, mapeamento de áreas de risco, sistemas de alerta precoce e planejamento de enfrentamento a desastres naturais. Compreender como essas capacidades se combinam e afetam diferentes cidades – em termos de tamanho, indicadores socioeconômicos e infraestrutura – é fundamental para apoiá-las na preparação, resposta e adaptação às mudanças climáticas.

A falta de dados e informações úteis e utilizáveis que possam ser mobilizados para subsidiar gestão, planejamento e governança é frequentemente identificada como uma das principais barreiras para o avanço da adaptação às mudanças climáticas, traduzindo-se em paralisia e inação por parte dos tomadores de decisão. Nesse contex-

to, tão importante quanto a capacidade de produzir informação técnico-científica que seja facilmente convertida em estratégias, políticas e ações de adaptação é promover maior envolvimento dos usuários da informação (os atores institucionais, por exemplo) na produção e circulação do conhecimento. Assim, um dos desafios centrais na produção de conhecimento científico reside justamente no desenvolvimento e aplicação de indicadores e análises espaciais para avaliar o desempenho de jurisdições e organizações (como municípios, por exemplo) diante de fenômenos complexos que não são diretamente mensuráveis, como adaptação climática e capacidade adaptativa. A produção e disponibilização desses dados, que incluam métricas robustas e possam ser atualizados periodicamente e que estejam conectados às especificidades da realidade brasileira, considerando um conjunto de variáveis que refletem na capacidade adaptativa, podem impulsionar ações e políticas públicas de adaptação.

Considerando que os governos, embora cumpram papel importante no planejamento efetivo de adaptação, não são capazes sozinhos de resolver a crise climática, dada sua complexidade e multidimensionalidade, e entendendo que adaptação requer parcerias, alianças estratégicas e outras formas de colaboração entre diferentes setores e organizações, as pesquisas também devem buscar compreender melhor as respostas sociais e individuais às mudanças climáticas. Análises sobre como os indivíduos conceituam e respondem às mudanças climáticas e seus possíveis impactos em suas vidas e bem-estar e sobre múltiplos fatores que moldam reações, respostas e antecipações individuais e coletivas às mudanças climáticas e suas incertezas são importantes. Assim como estudos sobre iniciativas de adaptação *bottom-up* envolvendo diferentes setores, como grupos privados, movimentos sociais, coletivos, incluindo análises sobre o potencial de respostas sinérgicas que poderiam moldar caminhos alternativos para o avanço da resiliência climática nas cidades brasileiras.

develop and apply indicators and spatial analyses to evaluate the effectiveness of jurisdictions and organizations (such as municipalities) in dealing with not directly measurable phenomena, such as climate adaptation and adaptive capacity. The production and provision of this data, including periodically updated and reliable metrics, are connected to Brazil's particular context, considering a set of variables that reflect the adaptive capacity, and can drive adaptation actions and public policy.

Although they fulfill an important role in effective adaptation planning, governments alone are unable to resolve the climate crisis given its complexity and multidimensionality. Adaptation requires partnerships, strategic alliances, and other forms of collaboration between different sectors and organizations. As such, research efforts should also seek better to understand social and individual responses to climate change. Analyses regarding how individuals understand and respond to climate change and its possible impacts on their lives and well-being are important, as are analyses of the numerous factors that shape individual and collective reactions, responses, and expectations regarding climate change and its uncertainties. Bottom-up adaptation initiatives involving different sectors, private groups, social movements, and collectives are also relevant. This includes an analysis of the potential for synergistic responses that could shape alternative pathways to advance climate resilience in Brazilian cities.

Finally, an important question has arisen for studies into adaptation: which social, political, economic, and cultural variables and configurations facilitate and/or hamper the potential for change towards a more desirable state in dealing with potential impacts and risks from climate change? Research regarding this subject should include empirical analyses about interventions that align urban planning and climate adaptation; examples of “no regrets” and win-win measures with actions adopted to respond to risks associated with climate alterations and drive the transition towards sustainability; and variables that influence governance, development, and inequality and how they show themselves in adaptive capacities of cities. Research regarding the best adaptation strategies is crucial since they usually involve local and regional solutions.

There are also the so-called “climate geoengineering” proposals, which involve deliberately modifying the climate, potentially seeking to reduce global warming impacts.

These techniques involve: 1) injecting aerosol particles into the stratosphere; 2) putting soluble iron into the oceans to increase CO₂ capture; 3) increasing cloud cover; 4) altering the surface albedo through the use of vegetation; 5) placing mirrors in space to reflect solar radiation, among other potential strategies. Studies undertaken through in situ means and modeling show that none of these strategies work adequately, and many of them have undesirable collateral effects. The main finding of these studies is that the best way to deal with global climate change is via emissions reductions.

THE CONSTRUCTION OF A SUSTAINABLE CLIMATE FUTURE

There is a pressing need to construct new development pathways. This could, however, represent a significant process of social adjustment, including that of the global economic system. Numerous international reports highlight the need to formulate a new development model. Figure 5 illustrates the various existing potential pathways, starting from the present-day throughout this century, which could lead to constructing a new, more resilient, sustainable, and socially just society. We do not have much time left to guarantee our future since climate change is rapidly intensifying.

A central question for contemporary and future science is how to process and analyze all this information from different sources and scales, that is, how to deal with the large volume of data from “Big Data” processes. The progressive digitalization of modern society allows us to acquire a large amount of data and information. Methodologies and tools are necessary for the process, analysis, sharing and modeling of such information. This effort provides greater access to information and knowledge to optimize natural, human, and economic resources and evaluate the impacts of the strategies adopted and their possible correction. The effectiveness of emission mitigation solutions and better climate change adaptation strategies is also dependent on data processing and model development for forecasting and simulation. Ever faster responses in the face of extreme meteorological events depend on this information. FAPESP argues that all scientific data collected by funded projects should be in the public domain, rapidly available on easily accessible platforms for any user, following a policy of open data availability. The publication

Finalmente, uma importante questão tem sido colocada para os estudos sobre adaptação: que variáveis e configurações sociais, políticas, econômicas e culturais facilitam e/ou dificultam o potencial de mudar para um estado mais desejável frente aos impactos e riscos às mudanças climáticas? Pesquisas nesta temática devem incluir análises empíricas sobre: intervenções que alinham planejamento urbano e adaptação climática; exemplos de medidas *no regrets* e *win-win* com ações adotadas para responder aos riscos associados às alterações climáticas e impulsionar a transição para sustentabilidade; e variáveis que influenciam governança, desenvolvimento e desigualdade e como estas refletem na capacidade adaptativa das cidades. Pesquisas sobre as melhores estratégias de adaptação são essenciais, pois estas, em geral, envolvem soluções locais ou regionais.

Existem propostas na linha chamada de “geoengenharia climática”, que envolvem modificar propositadamente o clima, potencialmente visando reduzir o impacto do aquecimento global. Estas técnicas envolvem: 1) injetar partículas de aerossóis na estratosfera; 2) jogar ferro solúvel nos oceanos para aumentar a captura de CO₂; 3) aumentar a cobertura de nuvens; 4) alterar o albedo da vegetação; 5) colocar espelhos no espaço refletindo a radiação solar, entre outras potenciais estratégias. Estudos feitos por medidas *in situ* e modelagem mostram que nenhuma dessas estratégias funciona adequadamente, e muitas têm efeitos colaterais indesejáveis. A conclusão principal desses estudos é que a melhor maneira de lidar com mudanças climáticas globais é através da redução de emissões.

A CONSTRUÇÃO DE UM FUTURO CLIMÁTICO SUSTENTÁVEL

Hoje é evidente a necessidade da construção de uma nova rota de desenvolvimento, que poderá ser um grande processo de redirecionamento de nossa sociedade, incluindo o sistema econômico global. Inúmeros relatórios internacionais apontam para a necessidade da construção de um no-

Hoje é evidente a necessidade da construção de uma nova rota de desenvolvimento, que poderá ser um grande processo de redirecionamento de nossa sociedade, incluindo o sistema econômico global.

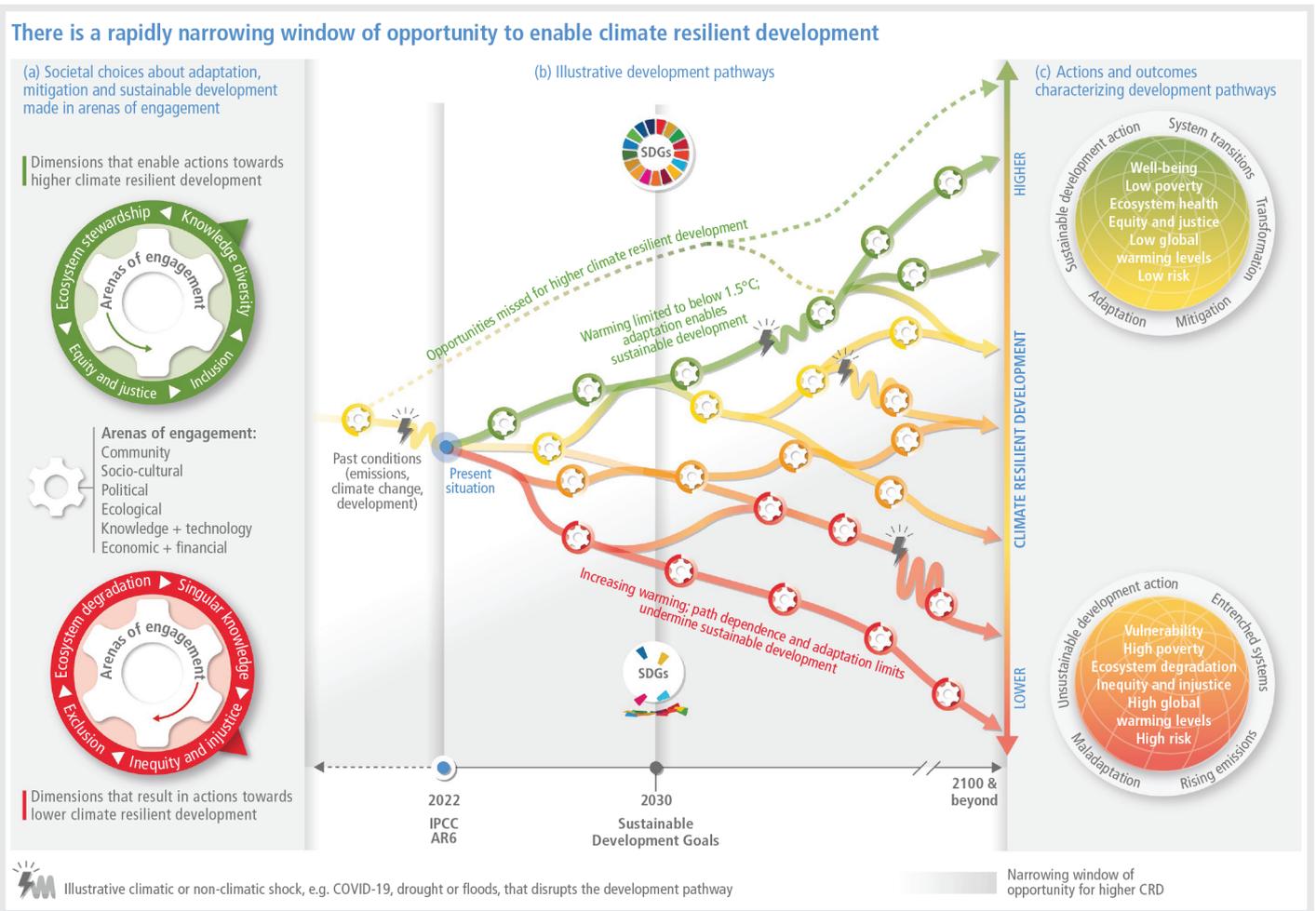


Figura 5. Diagrama evidencia a urgência das ações de mitigação e adaptação visando à construção de uma sociedade resiliente, e as várias trajetórias ao longo deste caminho. Fonte: IPCC WG2 SPM (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022) (Reprodução de figura e legenda autorizada). Crédito: "Figure SPM.5" (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, p. 32).

Figure 5. The diagram shows the urgency of adaptation and mitigation actions, seeking to construct a resilient society, with various trajectories along the way. Source: IPCC WG2 SPM (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022) (Authorized reproduction of figure and legend). Credit: "Figure SPM.5" (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, p. 32).

Figure SPM.5 | Climate resilient development (CRD) is the process of implementing greenhouse gas mitigation and adaptation measures to support sustainable development. This figure builds on Figure SPM.9 in AR5 WGII (depicting climate resilient pathways) by describing how CRD pathways are the result of cumulative societal choices and actions within multiple arenas.

Panel (a) Societal choices towards higher CRD (green cog) or lower CRD (red cog) result from interacting decisions and actions by diverse government, private sector and civil society actors, in the context of climate risks, adaptation limits and development gaps. These actors engage with adaptation, mitigation and development actions in political, economic and financial, ecological, socio-cultural, knowledge and technology, and community arenas from local to international levels. Opportunities for climate resilient development are not equitably distributed around the world.

Panel (b) Cumulatively, societal choices, which are made continuously, shift global development pathways towards higher (green) or lower (red) climate resilient development. Past conditions (past emissions, climate change and development) have already eliminated some development pathways towards higher CRD (dashed green line).

Panel (c) Higher CRD is characterised by outcomes that advance sustainable development for all. Climate resilient development is progressively harder to achieve with global warming levels beyond 1.5°C. Inadequate progress towards the Sustainable Development Goals (SDGs) by 2030 reduces climate resilient development prospects. There is a narrowing window of opportunity to shift pathways towards more climate resilient development futures as reflected by the adaptation limits and increasing climate risks, considering the remaining carbon budgets. (Figure SPM.2, Figure SPM.3) (Figure TS.14b, 2.6, 3.6, 7.2, 7.3, 7.4, 8.3, 8.4, 8.5, 16.4, 16.5, 17.3, 17.4, 17.5, 18.1, 18.2, 18.3, 18.4, Box 18.1, Figure 18.1, Figure 18.2, Figure 18.3, CCB COVID, CCB GENDER, CCB HEALTH, CCB INDIG, CCB SLR, WGI AR6 Table SPM.1, WGI AR6 Table SPM.2, SR1.5 Figure SPM.1)

vo modelo de desenvolvimento. A Figura 5 ilustra os vários caminhos potenciais que temos, a partir de hoje ao longo deste século, que podem levar à construção de uma

nova sociedade mais resiliente, sustentável e justa socialmente. Não temos muito tempo, pois as mudanças climáticas estão se agravando rapidamente.

of results in open access journals for their ample dissemination is also important. Outlining strategies to adequately inform society about Climate Change is

also important. Scientific outreach and citizen science are effective recognized strategies that should be encouraged, implemented, and improved. Outreach and public information campaigns about global warming, as well as illustrating, showing data patterns and tendencies, explaining their effects, discussing incorrect information in the media, and releasing research results are goals of this agenda. This strategy also implies support for citizen science platforms and education tools for science and knowledge.

These proposals are aligned with global and national sustainability measures. Their lines of action include the 2030 Agenda objectives for sustainable development. They are underpinned by global studies, such as numerous IPCC reports and measures proposed by IPBES, focusing on transformative actions for our society. Proposals outlined in the new urban agenda (UN-Habitat) and discussions from forums such as COP (The United Nations Climate Change Conference), and WHO One World, One Health program, among others, were also considered. Our auxiliary task is to help the country develop strategies based on science so that Brazil meets its international commitments (NDC) based on the Paris Agreement. Assistance in formulating public policy based on science at all levels (municipal, state, national and global) is a fundamental goal. These activities will demand great scientific effort from academia in partnership with various social sectors. Adaptation to climate change in diverse regions of Brazil will also require science to consider the needs of our society.

Brazil has notable strategic advantages to confront these challenges. However, it also has significant vulnerabilities due to its vast coastal area, vulnerability to sea-level rise, and its tropical location strongly affected by increasing global temperatures. The predictions for diminished rainfall over the Brazilian territory, particularly in the northeast, central Brazil, and the Amazon, should be reasons for concern. Our economy based on farming production may not have the same productivity in the scenario of reduced rainfall over the coming decades, and our cities are not prepared for the increase of extreme climate events.

These are only some of the important issues that Brazil will face, and solutions based on well-grounded science will have a greater chance of guaranteeing a sustainable trajectory for our country.

Uma questão essencial da ciência contemporânea e futura é como processar e analisar toda essa informação de diferentes fontes e escalas, ou seja, como lidar com o grande volume de dados através do processo denominado “Big Data”. A progressiva digitalização da sociedade moderna possibilita a aquisição de grande quantidade de dados e informações. São necessárias metodologias e ferramentas para processamento, análise, compartilhamento e modelagem. Esse esforço possibilita não só maior acesso à informação e conhecimento para otimizar recursos naturais, humanos e econômicos como também para avaliar os impactos das estratégias adotadas e sua eventual correção. A efetividade de soluções de mitigação de emissões e melhores estratégias de adaptação às mudanças climáticas é também dependente do processamento de dados e desenvolvimento de modelos de predição e/ou simulação. Respostas cada vez mais rápidas frente a eventos meteorológicos extremos dependem dessas informações. Vale salientar que a FAPESP apoia que todos os dados científicos coletados pelos projetos financiados sejam de domínio público, disponibilizados rapidamente em plataformas de fácil acesso a qualquer usuário, dentro de uma política aberta de disponibilização de dados. É importante também a publicação de resultados em revistas de acesso aberto para ampla disseminação dos resultados.

Importante também destacar o delineamento de estratégias para informar adequadamente a sociedade sobre as Mudanças Climáticas. A divulgação científica e a ciência cidadã são estratégias efetivas e já reconhecidas, que devem ser incentivadas, implementadas e aperfeiçoadas. Divulgar e informar o público sobre o aquecimento global, definir, ilustrar, mostrar as tendências e padrões de dados, explicar os seus efeitos, discutir as informações imprecisas na mídia e divulgar os resultados das pesquisas são prerrogativas desta agenda. Nesta estratégia está o apoio às plataformas para a ciência cidadã, ferramentas de educação para a ciência e o conhecimento.

Estas propostas estão alinhadas com as ações globais e nacionais de sustentabilidade. Suas linhas de ação contemplam os objetivos da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável e são balizadas por estudos globais, como os diversos relatórios do IPCC, as ações propostas pelo IPBES, focando nas ações transformativas de nossa sociedade. Foram considerados também preceitos descritos na nova agenda urbana (UN Habitat) e discussões de fóruns como as COP – Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima e o programa One World, One Health da OMS, entre outros. Temos como tarefa auxiliar o país a desenvolver estratégias baseadas em ciência para que o Brasil cumpra suas obrigações internacionais (as NDC) associadas ao Acordo de Paris. O auxílio na formulação de políticas públicas baseadas em ciência em todos os níveis (municipal, estadual, nacional e global) é tarefa fundamental. Estas atividades exigirão grande esforço científico da academia em parceria com os vários setores da sociedade. A adaptação às mudanças climáticas nas diversas regiões do nosso país também irá requerer ciência olhando para as necessidades da sociedade.

Nosso país tem notáveis vantagens estratégicas para enfrentar estes desafios. Mas também tem vulnerabilidades importantes, pela sua vasta área costeira, vulnerável ao aumento do nível do mar, e pela sua localização tropical, fortemente afetada pelo aumento global de temperatura. As previsões de redução nas precipitações sobre o território brasileiro, particularmente no Nordeste, Brasil central e Amazônia, devem ser motivo de preocupação. Nossa economia baseada na produção agropecuária pode não ter a mesma produtividade em um cenário de redução de chuvas ao longo das próximas décadas. E nossas cidades não estão preparadas para o aumento dos eventos climáticos extremos.

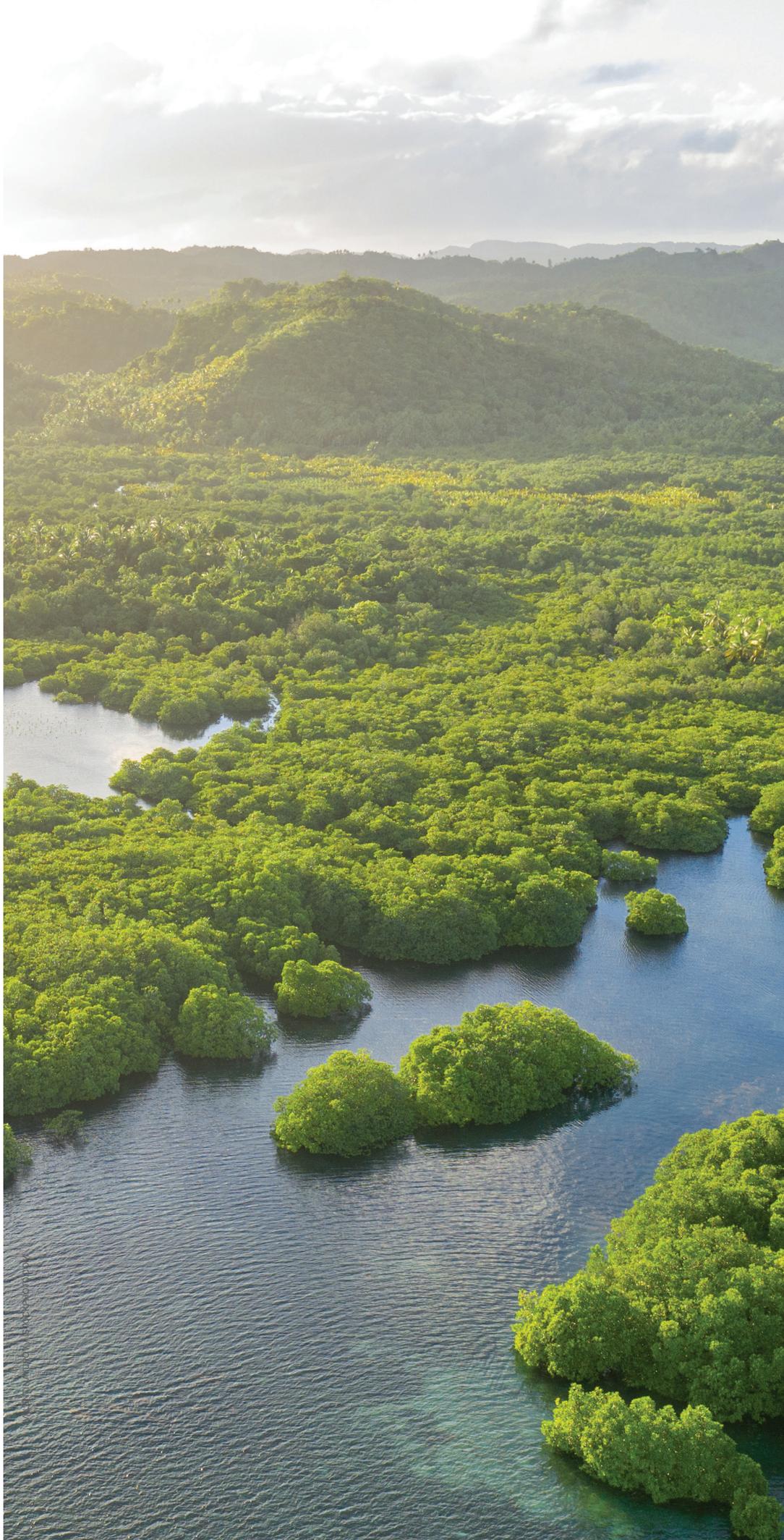
Estas são somente algumas das importantes questões que o Brasil terá que enfrentar, e soluções baseadas em ciência sólida certamente têm mais chances de garantir uma trajetória sustentável a nosso país.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022). *Programa FAPESP de Mudanças Climáticas*. <https://fapesp.br/pfpmcg/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2019). *IPCC SRCCL 2019 - Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/srccl/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2021). IPCC AR6 WG1 2021. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, Working Group II, Pörtner, H.-O., Roberts, D. C., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Lösschke, S., Möller, V., & Okem A. (Eds.). (2022). Summary for Policymakers. In H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In Press.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – IPBES. (2019). Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES. <https://ipbes.net/>.
- National Aeronautics and Space Administration – NASA. (1997). Earth - The Blue Marble. Earth Observatory, NASA. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/565/earth-the-blue-marble>.
- National Aeronautics and Space Administration – NASA. (2018). Mapping the Amazon. Earth Observatory, NASA. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145649/mapping-the-amazon>.
- Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa – SEEG. (2022). <https://seeg.eco.br/>.
- Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças Climáticas – AdaptaBrasil MCTI. (2022). <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/>.
- The Amazon We Want. (2021). *Science Panel for the Amazon. Executive Summary of the Amazon Assessment Report 2021* (48 p.). The Amazon we Want. United Nations Sustainable Development Solutions Network. <https://www.theamazonwewant.org/>.
- World Economic Forum – WEF. (2022). *The Global Risks Report 2022* (17th ed., 117 p.). WEF. <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2022>.

ALGUNS LINKS NA WEB QUE SÃO ÚTEIS PARA OS VÁRIOS ASPECTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS/SOME HELPFUL WEB LINKS FOR VARIOUS CLIMATE CHANGE ASPECTS

- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2022). *Acordo de Paris*. <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>.
- Brazilian Biodiversity Platform and Ecosystem Services – BPBES. (2022). <https://www.bpbes.net.br/en/>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022). *Plano Científico do Programa FAPESP de Mudanças Climáticas*. <https://fapesp.br/14884/plano-cientifico-mudancas-climaticas-2020-2030>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2014). *IPCCAR5 Synthesis Report 2014*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5 °C. Special Report*. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- International Energy Agency – IEA. (2017). *Energy Technology Perspectives 2017: Catalyzing Energy Technology Transformations*. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>.
- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS. (2022). <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.
- Observatório do Clima. (2022). <https://www.oc.eco.br/en/>.
- Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC. (2022). <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/>.
- The Lancet. (2022). *Global Burden of Diseases*. <https://www.thelancet.com/gbd>.
- UN Environment. (2019). *UNEP Global Environment Outlook 6 Report*. <https://www.unenvironment.org/resources/global-environment-outlook-6>.



Capítulo 3

Biodiversidade terrestre e marinha: conservação, uso e desenvolvimento sustentável

Chapter 3

Terrestrial and marine biodiversity: conservation, use, and sustainable development

A BIODIVERSIDADE E OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito de Biodiversidade inclui a variabilidade entre os organismos vivos, sejam eles plantas, animais ou microrganismos. Também inclui a variabilidade de todos os ambientes – terrestres, marinhos e de água doce –, bem como a variabilidade de ecossistemas e dos complexos ecológicos dos quais fazem parte. Resumindo: a biodiver-

sidade se refere à vida no Planeta Terra. E esse conceito inclui, também, a espécie humana e a utilização que fazemos, há muitos séculos, de outras espécies para alimento, proteção, cura de doenças e embelezamento.

Além disso, qualquer espécie possui, em si, uma variabilidade genética em constante mudança e evolução. Essa variabilidade permite que as espécies interajam entre si e com o meio ambiente em que vivem. A definição mais completa de biodiversidade inclui, além dos aspectos apontados anteriormente, todas as possibilidades de interações entre os seres vivos e entre esses e o ambiente, bem como as adaptações às mudanças ambientais. Essa relação vem sendo denominada pela ciência de plasticidade fenotípica, ou seja, a capacidade de uma espécie ou população de se adaptar a um ambiente mais quente (como o que temos caminhado para, como resultado do

autores/authors

Carlos Alfredo Joly¹
Alexander Turra²
Helder Lima de Queiroz³
Jean Paul Metzger¹
Lucas Buruaem Moreira⁴
Vanderlan S. Bolzani⁵
Vera Maria Fonseca de Almeida e Val⁶

¹Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Brasil.

²Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

³Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Brasil.

⁴Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), Brasil.

⁵Universidade Estadual Paulista (Unesp), Brasil.

⁶Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Brasil.

BIODIVERSITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

The concept of biodiversity includes variability among living organisms, whether they are plants, animals, or microorganisms. It also includes the variability of environments – terrestrial, marine and freshwater, as well as ecosystem variability and the ecological complexes of which they are part. In brief, biodiversity refers to life on Planet Earth. And this concept also includes the human species and the use we have made, for many centuries, of other species for food, protection, medicines, and decoration.

Moreover, any species has, within itself, a genetic variability that is constantly changing and evolving. This variability allows species to interact with each other and with the environment they live in. Besides the aspects already highlighted, the most complete definition of biodiversity includes all possible interactions among living beings, and between them and their environment, as well as adaptations to environmental changes. This re-

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000003>

 Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.



lation has been labelled by science phenotypic plasticity, that is, for example, the capacity of a species or population to adapt to a hotter environment (toward which we are heading as a result of global warming) or to more rarefied air (that occurs naturally at higher altitudes). The genetic machinery guarantees this capacity of adaptation to enable species to “cope” with environmental challenges, particularly those caused by human beings.

Unlike the environmental changes that occurred over millions of years, when life appeared on the planet and evolved up to the present day, the environmental changes caused by humans, since the dawn of the industrial age, have been occurring at record speed. These changes are hindering the adaptations of many species, which suffer from, for example, loss of habitat due to deforestation; intoxication from industrial waste that ends up accumulating in soil, water, and air; the increase in temperature on the planet; and the decrease in the amount of dissolved oxygen in the water due to pollution.

aquecimento global) ou em ar mais rarefeito (como ocorre naturalmente em grandes altitudes). A maquinaria genética define essa capacidade de adaptação para “enfrentar” tais desafios ambientais, particularmente aqueles causados pelo ser humano.

Diferentemente das mudanças ambientais que ocorreram ao longo de milhões de anos, quando houve o aparecimento da vida no planeta e sua evolução até os dias de hoje, as mudanças ambientais causadas pelo ser humano desde o aparecimento da era industrial vêm ocorrendo em velocidade recorde, dificultando a adaptação de muitas espécies, que sofrem com, por exemplo, perdas de habitats pelo desmatamento, intoxicação com dejetos industriais que acabam se acumulando no solo, na água e no ar, o aumento da temperatura no planeta e a queda da quantidade de oxigênio dissolvido na água por causa da poluição.

O conceito de Biodiversidade inclui a variabilidade entre os organismos vivos, sejam eles plantas, animais ou microrganismos. Também inclui a variabilidade de todos os ambientes – terrestres, marinhos e de água doce –, bem como a variabilidade de ecossistemas e dos complexos ecológicos dos quais fazem parte.

O conceito de desenvolvimento sustentável¹ foi criado procurando equilibrar as questões econômicas, sociais e ambientais do mundo contemporâneo. Ele engloba uma agenda ampla e complexa, na qual a biodiversidade é peça fundamental, não apenas por ser uma de suas metas centrais, mas, especialmente, por afetar e ser afetado pelas outras dimensões da sustentabilidade, sejam elas relacionadas à agricultura, à fome, ao bem-estar e saúde da população, à regulação do clima ou à provisão da água, por exemplo.

A Agenda para o Desenvolvimento Sustentável de 2030 e seus 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) têm, portanto, o objetivo de atender às necessidades das pessoas e da natureza (United Nations, 2015b). A Figura 1 mostra a biosfera como a base de todos os ODS, na visão integrada do desenvolvimento social, econômico e ecológico.

Em uma primeira avaliação, o tema biodiversidade está ligado mais diretamente aos ODS 14 – Vida na água (e suas 10 metas) e ODS 15 – Vida terrestre (e suas 12 metas). O primeiro ponto a ser discutido é a interdependência entre estes dois objetivos.

Mas, em um país megadiverso, que apesar do modelo econômico predatório de continuamente converter vegetação nativa em monoculturas ou áreas de criação, que ainda mantém 66,3% de sua área recoberta por vegetação nativa (MapBiomas, 2022), é imperativo aprofundar e enriquecer as relações dos ODS 14 e 15 com os demais ODS.

Levando em consideração os ODS 14 e 15 tratados diretamente neste capítulo, é consenso dos autores que, estando na base do “bolo de casamento” (Figura 1), a biodiversidade, tanto terrestre como aquática, incluindo marinha e de água doce, está intimamente relacionada com todos os demais ODS (Figura 2). Optou-se, neste capítulo, por uma análise focada na biodiversidade terrestre e marinha e na sua conservação, uso e desenvolvimento sustentável.

The concept of sustainable development¹ was created in an attempt to balance economic, social, and environmental issues of the contemporary world. It encompasses a broad and complex agenda, in which biodiversity is a fundamental part, not only because it is one of its central elements, but most of all because it affects and is affected by other dimensions of sustainability. These dimensions could be related to agriculture, hunger, population well-being, and health, climate regulation, and water availability, for instance.

The 2030 Sustainable Development Agenda and its 17 Sustainable Development Goals (SDGs) aim to meet the needs of people and nature (United Nations, 2015b). Figure 1 shows the biosphere as the foundation of all SDGs, within a holistic vision of social, ecological, and economic development.

At first glance, biodiversity is more directly connected with SDG 14 – Life in the Water (and its 10 goals) and SDG 15 – Life on Land (and its 12 goals). The first point to discuss is the interdependence between these two goals.

Brazil is a megadiverse country, and despite its predatory economic model that continually converts native vegetation into monocultures or livestock breeding areas, still maintains 66.3% of its area covered with native vegetation (MapBiomas, 2022). As such, it is imperative to deepen and enrich the relationships between SDGs 14 and 15 with the other SDGs.

Regarding SDGs 14 and 15, which are directly considered in this chapter, authors agree that both terrestrial and aquatic (including marine and freshwater) biodiversity, being at the base of the “wedding cake” (Figure 1), is intimately related to all other SDGs (Figure 2).

In this chapter, we have opted for an analysis focused on terrestrial and marine biodiversity and its conservation, and sustainable use.

To exemplify the close relationship between biodiversity and the other SDGs, we will present some evidence of its relationship with the themes of SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture), SDG 3 (Health and Well-being), SDG 6 (Clean Water and Sanitation), SDG 7 (Clean and Affordable Energy), SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), SDG 12 (Sustainable Production and Consumption), and SDG 13 (Action Against Global Climate Change).

¹ Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.

¹ Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the capacity of futures generations to meet their own needs.



Figura 1. O “bolo de casamento” mostra a biosfera como a base de todos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Fonte: Azote Images, Stockholm Resilience Centre (2014), Universidade de Estocolmo (licença original CC BY 4.0, adaptado para usar ícones em português com texto em inglês).

Figure 1. “The Wedding cake” shows the biosphere as the foundation of economies and societies and as the basis of all SDGs. Source: Azote Images, Stockholm Resilience Centre (2014), Stockholm University (original license CC BY 4.0, adapted to use icons with Portuguese text along with English texts).

Firstly, however, to highlight the complexity of biodiversity and how it is studied, we will discuss some considerations about Brazilian biodiversity and the biodiversity research carried out in Brazil. Given that this book celebrates 60 years

Para exemplificar a íntima relação entre a biodiversidade e os demais ODS, apresentaremos algumas evidências de sua relação com os temas dos ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 3 (Saúde e

Bem-Estar), ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 12 (Consumo e Produ-

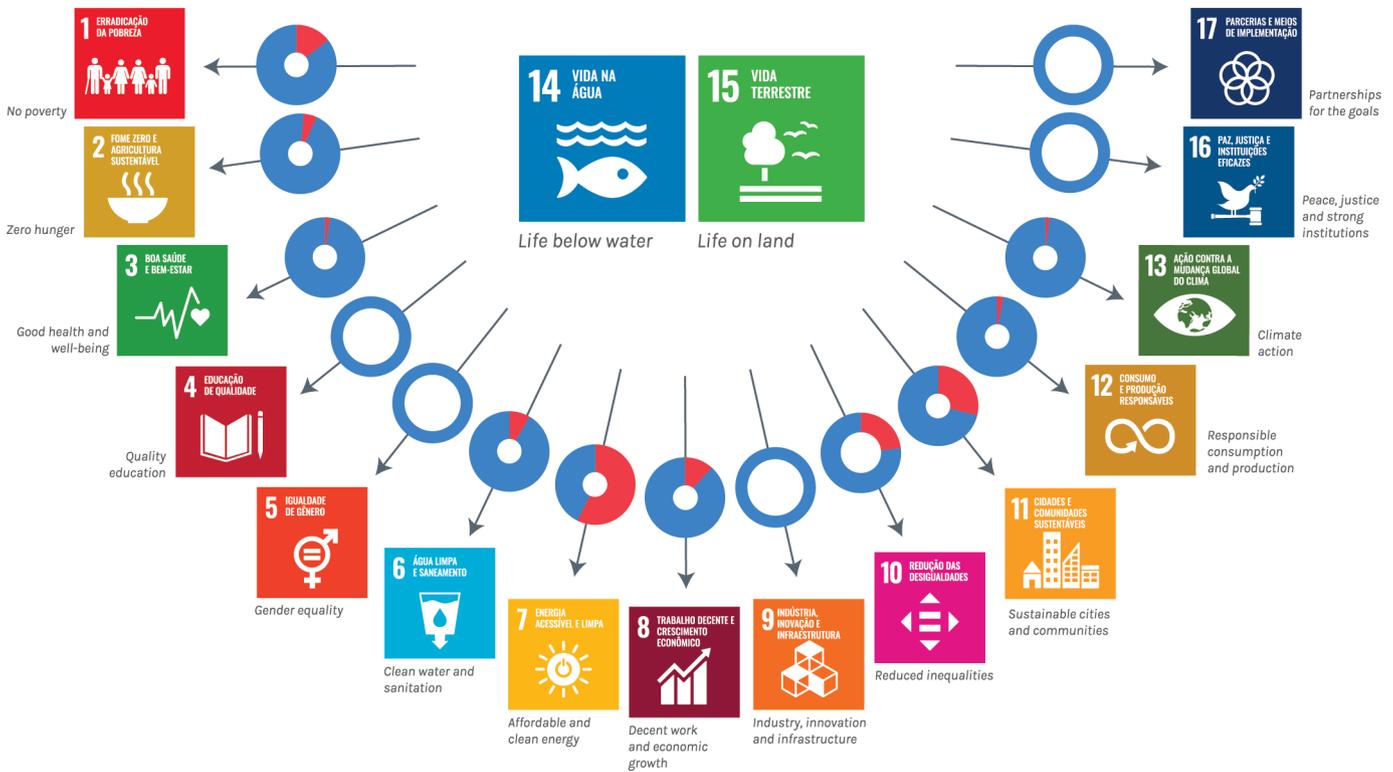


Figura 2. Contribuição da Vida na Água e Vida na Terra (ODS 14 e 15) para os demais ODS. Os dados são o resultado de uma compilação sistemática do atual estado do conhecimento sobre as interações entre os ODS, em termos de cobenefícios (azul) e trade-offs (vermelho). A compilação é baseada em um total de 65 avaliações globais (relatórios da ONU e avaliações científicas internacionais), assim como em 112 artigos científicos publicados desde 2015 com referência explícita aos ODS. Os “donuts” magros mostram ou lacunas no conhecimento, ou interações mais fracas. Fonte: “Figure 2” por Obrecht et al., 2021 (licença original CC BY 4.0, adaptado para usar ícones em português com texto em inglês).
Figure 2. Contribution of Life below Water and of Life on Land (SDGs 14 and 15) to other SDGs. The data is the result of a systematic compilation of the current state of knowledge about interactions among the SDGs, in terms of co-benefits (blue) and trade-offs (red). The compilation is based on a total of 65 global assessments (UN reports and international scientific assessments), as well as 112 scientific articles published since 2015 with explicit reference to the SDGs. The slim donuts show either gaps in knowledge or weaker interactions. Source: “Figure 2” by Obrecht et al., 2021 (original license CC BY 4.0, adapted to use icons with Portuguese text along with English texts).

ção Sustentável) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).

Antes disso, porém, para ilustrarmos a complexidade da biodiversidade e como ela vem sendo estudada, apresentaremos algumas considerações a respeito da biodiversidade brasileira e sobre a pesquisa em biodiversidade realizada no Brasil. Considerando que este livro homenageia os 60 anos da Fundação de Amparo à Pesquisa

do Estado de São Paulo (FAPESP), daremos especial destaque à pesquisa em biodiversidade por ela financiada.

A BIODIVERSIDADE BRASILEIRA

Brasil: país megadiverso

O Brasil é o país com a maior biodiversidade no mundo.

of the São Paulo State Research Foundation (FAPESP), we will give special attention to biodiversity research it has funded.

BRAZILIAN BIODIVERSITY

Brazil: a megadiverse country
 Brazil is the country with the greatest biodiversity in the world.

Currently, knowledge about the numbers of existing species in the world is restricted to a few groups of organisms,

such as flowering plants (angiosperms), vertebrate animals, and some groups of invertebrates (especially bees, butterflies, and mollusks). Even so, these numbers are continually being changed, as the discovery of new species for science is constant and, unfortunately, some losses of known species that have gone extinct are being computed

This dynamic observed in the numbers of species of the best-known groups of organisms occurs especially in megadiverse² countries like Brazil and where existing biodiversity research is still limited. Rich and relatively under-researched environments, such as the Amazon, still have amazing rates of description of new species of vertebrates and higher plants, for example (Valsecchi et al., 2017).

For the other organism groups, knowledge is fairly incomplete, especially for those that live in difficult to access environments such as the deep sea (Mora et al., 2011) or at high altitudes. It is estimated that there are around 11 million species in the world, including organisms known and unknown by science³ (see Table 1).

To compare biodiversity between countries, an index based on large, well-documented groups is used (as previously stated, plants, terrestrial and aquatic vertebrates and some invertebrates) is used. In each group, the total known species together with the proportion of species exclusive to the country (called endemic species⁴) are included. In each group, the total known species are considered, together with the

² Megadiverse countries are a group of 17 countries, mainly in tropical regions, that are home to the majority of species on the planet (Canhos et al., 2015).

³ Although it may appear a simply speculative exercise, there are various established ways to estimate the magnitude of unknown biodiversity. The two most common ways are: 1. Analyze rates of description of new species within each group (Mora et al., 2011). For those organisms where the rate is declining (for example, fish), we can statistically predict when the rate of observation of new species should end. This indicates the expected number of species for the group. 2. Regions whose flora and fauna are precisely described can be used as reference (such as Great Britain and Holland). Based on the proportions of each organism group in these countries, one extrapolates (by rule of three) these proportions to the whole world or to other countries. The greatest uncertainty is due to groups of small animals, such as mites, the soil macrofauna, or that associated with marine sediments, for example.

⁴ Endemic species are those whose distribution is restricted to a specific area, which can be, for instance, a country, a biome, a water basin or a mountain peak. (Canhos et al., 2015).

Considerando-se estes grupos, o Brasil lidera o ranqueamento dos países megadiversos, seguido por Indonésia e Colômbia.

Atualmente, o conhecimento sobre o número de espécies existentes no mundo restringe-se a alguns grupos de organismos, como as plantas com flores (angiospermas), os animais vertebrados e alguns grupos de invertebrados (especialmente abelhas, borboletas e moluscos). Ainda assim, estes números estão continuamente sendo alterados, pois a descoberta de novas espécies para a ciência é constante e, infelizmente, algumas perdas referentes a espécies conhecidas que foram extintas vêm sendo computadas.

Esta dinâmica que se observa nos números de espécies dos grupos de organismos mais conhecidos ocorre, em especial, nos países megadiversos², como o Brasil, e naqueles em que as pesquisas existentes sobre biodiversidade ainda são limitadas. Ambientes ricos e relativamente pouco investigados, como a Amazônia, ainda apresentam surpreendentes taxas de descrição de novas espécies de vertebrados e plantas superiores, por exemplo (Valsecchi et al., 2017).

Para os demais grupos de organismos, o conhecimento é bastante incompleto, em especial para aqueles que vivem em ambientes de difícil acesso, como o mar profundo (Mora et al., 2011) e as grandes altitudes. Estima-se que, no mundo, entre organismos conhecidos e desconhecidos para a

ciência³, há cerca de 11 milhões de espécies (veja a Tabela 1).

Para comparar a biodiversidade entre países, é utilizado um índice baseado em grandes grupos bem documentados (como dito anteriormente, as plantas, vertebrados terrestres, aquáticos e alguns invertebrados). Em cada grupo, considera-se o total de espécies conhecidas, junto com a proporção de espécies exclusivas do país (chamadas de espécies endêmicas⁴).

Considerando-se estes grupos, o Brasil lidera o ranqueamento dos países megadiversos, seguido por Indonésia e Colômbia. O inventário oficial brasileiro de plantas vasculares (musgos, samambaias e plantas

³ Embora possa parecer um exercício de pura especulação, há várias maneiras consolidadas para estimar a dimensão da diversidade desconhecida. Duas das maneiras mais utilizadas são: 1. Pode-se analisar as taxas de descrição de novas espécies dentro de cada grupo (Mora et al., 2011). Naqueles organismos em que essa taxa venha decrescendo (por exemplo, peixes), pode-se prever estatisticamente quando a taxa de descrição de novas espécies deve zerar. Isso indica o número esperado de espécies para o grupo. 2. Pode-se usar como referência regiões cuja fauna e flora estão extensamente descritas (como a Grã-Bretanha e a Holanda). Com base nas proporções de cada grupo de organismo nesses países, extrapola-se (por regra de três) essas proporções para o mundo inteiro ou para outros países. A maior incerteza se deve a grupos de pequenos animais, como ácaros, a macrofauna de solo ou aquela associada a sedimentos marinhos, por exemplo.

⁴ Espécies endêmicas são aquelas cuja distribuição se restringe a uma área determinada, que pode ser, por exemplo, um país, um bioma, uma bacia hidrográfica ou o pico de uma montanha (Canhos et al., 2015).

² Os países megadiversos são um grupo de 17 países, na sua maioria da região tropical, que abrigam a maioria das espécies do planeta (Canhos et al., 2015).

Tabela 1. Número de espécies descritas no mundo e número total de espécies estimadas (descritas e desconhecidas) por grupo taxonômico (Lewinsohn, 2020).

Table 1. Number of species described globally and total number of estimated species (known and unknown) by taxonomic group (Lewinsohn, 2020).

Grupos Groups	Espécies descritas (milhares) Described species (thousand)	Total estimado (milhares) Total estimated (thousand)
Vírus Virus	2,9 2.9	400 400
Bactérias Bacteria	10,4 10.4	1.000 1,000
Fungos Fungi	146,2 146.2	611 611
Algas Algae	44,0 44.0	200 200
Protozoários Protozoa	8,1 8.1	1.000 1,000
Musgos e samambaias Mosses and ferns		
Plantas com sementes Plants with seeds		
Plantas total Total Plants	366,4 366.4	390 390
Moluscos Mollusks	65,4 65.4	200 200
Insetos Insects	913,7 913.7	5.000 5,000
Aranhas e ácaros Spiders and mites	71,4 71.4	600 600
Crustáceos Crustaceans	39,9 39.9	150 150
Outros invertebrados Other Invertebrates	175,8 175.8	806 806
Peixes Fish	33,9 33.9	40 40
Anfíbios Amphibians	8,2 8.2	15 15
Répteis Reptiles	10,2 10.2	11 11
Aves Birds	10,4 10.4	11 11
Mamíferos Mammals	5,9 5.9	6 6
Outros cordados Other chordates	3,2 3.2	4 4
Animais total Total animals	1.270,8 1,270.8	7.770 7,770
TOTAL TOTAL	1.920,4 1,920.4	11.371 11,371

com sementes) é hoje de 37.700 espécies, ou 11% das espécies de plantas conhecidas no mundo. Nenhum outro país se aproxima dessa diversidade de plantas. A Colômbia

e o México detêm cerca de 7% da flora mundial cada um. O Brasil tem, também, o maior número de espécies de mamíferos (722, 11,3% do total mundial conhecido),

proportion of species unique to the country (called endemic species).

Considering these groups, Brazil leads the ranking of megadiverse countries, followed by Indonesia and Colombia. The official Brazilian inventory of vascular plants (mosses, ferns and seed plants) is currently 37,700 species, or 11% of plant species known worldwide. No other country in the world comes close to this plant diversity. Colombia and Mexico have about 7% of the world's flora each. Brazil also has the largest number of mammal species (722, 11.3% of known global total), birds (1,924, 17.2% of global total) and freshwater fish (3,467, 23.2% of global total), among other groups of organisms (Joly et al., 2019) (Table 2).

Other countries stand out for the number or proportion of endemic species. For instance, Australia has the largest total diversity of reptiles (1,153 species, 11% of global total), of which more than 80% are endemic to the country. In Madagascar, 99% of the 176 Cicindelidae beetles are endemic.

It is more difficult to define national limits in the sea. Colombia, Mexico and Central American countries have coastal areas facing both onto the Atlantic Ocean, including the megadiverse Caribbean Sea, and the Pacific. Therefore, it is possible that these countries have a greater marine diversity than Brazil.

Even nowadays, Brazil has large extensions of relatively preserved biomes, and many of these areas have never been explored by scientists. The main role of scientific research in the definition of conservation areas is part of goal 14.5 of SDG 14:14.5 <https://sdg-tracker.org/oceans> "By 2020, conserve at least 10 per cent of coastal and marine areas, consistent with national and international law and based on the best available scientific information" (United Nations, 2015c, p. 24).

Due to its size, the Amazon is the Brazilian biome with the largest number of species. The megadiversity present in both terrestrial and aquatic Amazonian environments is far from being fully known, and with each scientific expedition more species appear that have never been identified before. Until the present moment, science has observed 183 animal species threatened with extinction in the region, 122 of which being endemic, and 86 threatened plant species.

The Amazon accounts for around 61% of the national territory, with circa 27 million inhabitants and immense social and cultural diversity surrounded by a mosaic of ecosystems that range from Lowland Tropical Humid Forest to Dry and Season-

al Savannah, including Mangrove vegetation and Altitude Fields. Conservation of ecosystem diversity is outlined in the first goal of SDG 15: “By 2020, ensure the conservation, restoration and sustainable use of terrestrial and inland freshwater ecosystems and their services, in particular forests, wetlands, mountains and drylands, in line with obligations under international agreements” (United Nations, 2015c, p. 24).

Of the 305 indigenous peoples living in Brazil, approximately 190 are partially or totally within the limits of the Amazon, where there are still 442 Quilombola communities (42% of the recognized communities in Brazil) and around 2 million people (only considering Amazonas and Pará states) living in wetlands. This population undertakes small scale activities, such as fishing, agriculture and raising animals. Integrating these populations into environmental conservation efforts is directly related to goal 15.9 of SDG 15: “by 2020, integrate ecosystems and biodiversity values into national and local planning, development processes and poverty reduction strategies, and accounting system” (United Nations, 2015c, p. 25).

In addition to ecosystem⁵ services that the Amazon Forest provides with its biochemical and hydrological cycles, it has also an important role in protecting the continental aquatic environment. The different Amazon landscapes provide shelter for reproduction, aquatic temperature maintenance, in particular the small streams and creeks not subjected to flooding. The formation of floodplains in clear water rivers (such as the Solimões River) and of igapós (forests flooded by black water rivers, such as the Rio Negro, for instance) provides necessary food and shelter for species preservation, including fish and other aquatic vertebrates. The floodplain areas are also considered nurseries, because it is where freshwater fish reproduce, and eggs and larvae grow until they leave upstream to migrate in search of food and, when adults, they can conclude another life cycle by reproducing. Besides, specialized fish such as cichlid (acarás) nest and care for their young on river margins, where they find food and protection provided by vegetation.

Many animals that live in freshwater take advantage of this diversity of landscapes, inhabiting forests from terra firme to shallow water rivers, and provide the continuity of these landscapes by dispers-

Tabela 2. Estimativa do número de espécies de plantas vasculares e de vertebrados terrestres nos biomas brasileiros (Lewinsohn, 2020).

Table 2. Estimated number of species of vascular plants and terrestrial vertebrates in Brazilian biomes (Lewinsohn, 2020).

	Amazônia Amazon	Mata Atlântica Atlantic Forest	Cerrado	Caatinga Caatinga	Pampa	Pantanal Wetlands	Total
Extensão (1.000 km²) Area (1,000 km ²)	4.200	1.300	2.000	912,5	176,5	150,3	
	4,200	1,300	2,000	912.5	176.5	150.3	
Flora vascular Vascular flora							
Número de espécies Number of species	12.354	16.146	12.070	3.150	2.215	1.577	37.734
	12,354	16,146	12,070	3,150	2,215	1,577	37,734
% Flora % Flora	32,7	42,8	32,0	8,3	5,9	4,2	
	32.7	42.8	32.0	8.3	5.9	4.2	
% Espécies endêmicas para o bioma % Endemic species for the biome	16,2	46,6	34,9	23,7	3,5	3,0	
	16.2	46.6	34.9	23.7	3.5	3.0	
Vertebrados terrestres Terrestrial vertebrates	2.233	1.855	1.440	819	736	--	--
	2,233	1,855	1,440	819	736	--	--

aves (1.924, 17,2% do mundo) e peixes de água doce (3.467, 23,2% do mundo), entre outros grupos de organismos (Joly et al., 2019) (Tabela 2).

Outros países se destacam no número ou na proporção de espécies endêmicas. Por exemplo, para os répteis, a Austrália tem a maior diversidade total (1.153 espécies, 11% do mundo), das quais mais de 80% são endêmicas naquele país. Em Madagascar, 99% das 176 espécies de besouros cicindelídeos são endêmicas.

No mar há uma maior dificuldade de delimitar os limites nacionais. Colômbia, México e países da América Central possuem áreas costeiras tanto de frente para o Oceano Atlântico, incluindo o megadiverso mar do Caribe, como para o Pacífico. Com isso, esses países têm potencialmente maior diversidade marinha que o Brasil.

O Brasil tem, ainda hoje, grandes extensões de biomas relativamente conservados, e muitas dessas áreas nunca foram exploradas por cientistas. O papel central da pesquisa científica na definição de áreas de conservação é parte da Meta 14:5 do

ODS 14: “Até 2020, conservar pelo menos 10% das zonas costeiras e marinhas, de acordo com a legislação nacional e internacional, e com base na melhor informação científica disponível” (United Nations, 2015c, p. 24). Por isso podemos afirmar com segurança que a pesquisa futura só tenderá a destacar ainda mais o Brasil na biodiversidade do planeta.

A Amazônia é o Bioma brasileiro que abriga o maior número de espécies, em função de seu tamanho. A megadiversidade existente tanto no ambiente terrestre como no ambiente aquático amazônico está longe de ser conhecida totalmente e, a cada expedição científica, aparecem mais espécies nunca antes identificadas. No momento, a ciência já identificou que a região apresenta 183 espécies de animais ameaçadas de extinção, sendo 122 endêmicas, e 86 espécies de plantas ameaçadas.

A Amazônia soma cerca de 61% do território nacional, com cerca de 27 milhões de habitantes e imensa diversidade social e cultural envolta pelo mosaico de ecossistemas que incluem desde Floresta Tro-

⁵ Ecosystem services are the benefits that human obtain from nature, derived directly or indirectly from ecosystem functioning.

pical Úmida de Terras Baixas a Savana Seca e Estépica, passando pela vegetação de Mangue e os Campos de Altitude. A conservação da diversidade de ecossistemas está prevista na primeira meta do ODS 15: “Até 2020, assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços, em especial florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais” (United Nations, 2015c, p. 24).

Dos 305 povos indígenas que vivem no Brasil, aproximadamente 190 estão parcial ou totalmente dentro dos limites da Amazônia, onde estão ainda 442 comunidades quilombolas (42% das comunidades reconhecidas no Brasil) e cerca de 2 milhões de pessoas (apenas considerando os estados do Amazonas e Pará) vivendo em áreas úmidas. Essa população desenvolve atividades em pequena escala, como pesca, agricultura e criação de animais. Integrar essas populações aos esforços de conservação ambiental se relaciona diretamente à Meta 15.9 do ODS 15: “Até 2020, integrar os valores dos ecossistemas e da biodiversidade ao planejamento nacional e local, nos processos de desenvolvimento, nas estratégias de redução da pobreza e nos sistemas de contas” (United Nations, 2015c, p. 25).

Além dos serviços ecossistêmicos⁵ que a floresta amazônica proporciona com seus ciclos hidrológico e biogeoquímico, ela tem um papel importante na proteção do ambiente aquático continental. As diferentes paisagens amazônicas proporcionam abrigos para reprodução, manutenção da temperatura aquática, em particular em pequenos riachos e ribeirões em florestas não sujeitas à inundação. A formação de várzeas em rios de águas claras (como o rio Solimões) e de igapós (que são as florestas inundadas por rios de água preta, como o rio Negro, por exemplo) promovem abrigos importantes para a preservação das espécies,

fornecendo abrigo e alimento para peixes e outros vertebrados aquáticos. As áreas de várzea são, ainda, consideradas berçários, pois peixes de água doce se reproduzem no rio, e ovos e larvas são levados para as áreas de várzea onde crescem até partirem rio acima para migração em busca de alimento para, quando adultos, fecharem mais um ciclo de vida e se reproduzirem. Além disso, peixes especializados como os ciclídeos (acarás) formam seus ninhos e cuidam de suas proles nas margens dos rios, onde encontram alimento e proteção oferecidos pela vegetação.

Muitos animais que vivem na água doce se valem dessa diversidade de paisagens, habitando desde florestas de terra firme até rios de águas baixas, e proporcionam a continuidade dessas paisagens dispersando diferentes espécies de árvores cujos frutos são seu alimento. Um dos melhores exemplos que podemos citar são as espécies frugívoras como o tambaqui, que se alimentam de frutos das florestas inundadas durante períodos de cheia e carregam suas sementes para outros locais quando as águas baixam. Em todas as bacias pertencentes às florestas tropicais, em particular a floresta amazônica, animais aquáticos são agentes de dispersão e reciclagem de alimentos.

Outro exemplo de interdependência ocorre na transição da floresta de terra firme para as áreas de vegetação aberta que ocorrem em Roraima (conhecidas como lavrados). Nessas áreas, a vegetação vai sofrendo modificações e proporcionando a ocorrência de espécies de peixes mais adaptadas à vegetação aberta, em geral peixes pequenos ornamentais. Tais espécies são objeto de comércio intenso e fonte de renda para as comunidades ribeirinhas locais.

O lavrado é, em si, um ambiente favorável a vegetações rasteiras, modificando a paisagem e proporcionando a transição para as áreas de planalto ao norte da região amazônica (conhecidas como escudos das Guianas), onde ocorrem as nascentes dos rios. Nas cabeceiras dos rios, a diversidade de peixes é pequena e, conforme os rios de primeira ordem vão se unindo com rios de

ing different species of trees whose fruits they feed on. One of the best examples we can cite are frugivorous species such as the tambaqui, which feed on the fruits of flooded forests during flood periods and carry their seeds to other locations when the waters recede. In all basins belonging to tropical forests, in particular the Amazon basin, aquatic animals are agents of dispersal and food recycling.

Another example of interdependence occurs in the transition between terra firme forests and open vegetation areas that occur in Roraima (known as lavrado). In these areas, vegetation undergoes alterations, allowing the presence of fish species more adapted to open vegetation, usually small ornamental fish. Such species are object of intense trade and are an income source for local riverside communities.

The lavrado is, in itself, a favorable environment for lowland savannah like vegetation, modifying the landscape and providing the transition to the plateau areas in the north of the Amazon region (known as the Guianas shields), where the springs of some tributaries of the Amazon are.

In river headwaters, fish diversity is low. As the first-order rivers meet second- and third-order ones, and the altitude drops, fish diversity increases, until arriving to the main rivers, where the Amazon Basin, home to the greatest freshwater fish diversity in the world, is formed. Maintaining and preserving these characteristics are actions that ensure environmental conservation. They also maintain the sustainable use of biodiversity, both in the forest and in the hydrological basin. These aspects are in line with Target 15.5 of SDG 15: “Take urgent and significant action to reduce the degradation of natural habitats, halt the loss of biodiversity and, by 2020, protect and prevent the extinction of threatened species.” (United Nations, 2015c, p. 25).

The strong interdependence between terrestrial and marine biodiversity manifests itself at different levels of organization, from species to ecosystems. Even understanding the contact between the continent and the sea as a transition, for example the brackish waters, some species take advantage of these different environments in their life strategies.

The Atlantic Forest has landscapes that exemplify this interdependence between continental and marine biodiversity. The Atlantic Forest extends from sea level up to 2,800 meters of altitude, including Semideciduous and Deciduous, Dense Ombrophilous, and Open and Mixed forests, in addition to Altitude Fields, Restingas and Mangroves. About 20 different indige-

⁵ Serviços Ecossistêmicos são benefícios que o ser humano obtém da natureza, derivados, direta ou indiretamente, do funcionamento dos ecossistemas.

nous people, Quilombolas, and traditional coastal populations live in this Biome for centuries. These inhabitants are holders of cultural and ecological understanding of many of the 20 thousand plant species (40% of them endemic), including 65% of Neotropical bamboo species, mammals (15% endemic), 936 birds (16%), 306 reptiles (31%), 516 amphibians (63%) and approximately 350 freshwater fish (38% endemic) (Marques & Grelle, 2021).

Mangroves stand out amid the diverse ecosystems that make up the Atlantic Forest. These occur in estuaries that transition between forests and the sea and are examples of regions considered nurseries - fish that migrate to reproduce in waters more favorable to larval development are a typical example of this. Thus, these areas are preferential candidates for conservation and should be prioritized in environmental restoration programs.

Brazil has one of the largest mangrove areas in the world: from Cape Orange in Amapá, in the estuary of the Amazon River, to the municipality of Laguna in Santa Catarina. Currently, mangroves cover a total surface area of more than 10,000 km², most of it along the northern coast of Brazil. Mangroves constitute a unique ecosystem for the preservation of crustaceans and fish of dietary importance, providing food security for local populations (Caiçaras, Quilombolas and Indigenous People) as well as a source of income due to their commercial value. Currently, mangroves support more than 1 million people, mainly because they provide a nursery for 70% of the commercial fish stocks.

Besides efforts to maintain these food and income production environments, measures to preserve aquatic transition environments are connected to efforts to preserve the landscape as a whole, as well as landscape diversity. The vegetation surrounding these environments serves as shelter and is vital to prevent erosion of rivers. Frequent erosion processes can result in a change in the amount of nutrients present in the water, as well as in the loss of habitats for several animal species. It is necessary to understand that vegetation is of great importance for both aquatic and terrestrial life.

As stated earlier, understanding that the terrestrial environment is important for marine species, just as the marine environment is important for some terrestrial species, is crucial. Seabirds, such as boobies (*Sula leucogaster*) and frigatebirds (*Fregata magnificens*) depend on the terrestrial environment (especially remote islands) for nesting. Migratory birds, such as semipalmated plover (*Charadri-*

segunda e terceira ordem, e diminuindo em altitude, a diversidade de espécies vai aumentando, até chegar nos rios principais, nos quais se forma a Bacia Amazônica, detentora da maior diversidade de peixes de água doce do mundo. Manter e conservar tais características são ações que asseguram a conservação ambiental. Assim como manter o uso sustentável da biodiversidade, tanto da floresta como da bacia hidrológica. Aspectos que estão em consonância com a Meta 15.5 do ODS 15: “Tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, deter a perda de biodiversidade e, até 2020, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas” (United Nations, 2015c, p. 25).

A forte interdependência entre a biodiversidade terrestre e marinha se manifesta em diferentes níveis de organização, das espécies aos ecossistemas. Mesmo compreendendo o contato entre o continente e o mar como uma transição, por exemplo de águas salobras, algumas espécies se valem desses diferentes ambientes em suas estratégias de vida. A Mata Atlântica possui paisagens que exemplificam essa interdependência entre a biodiversidade continental e a marinha.

A Mata Atlântica estende-se do nível do mar até 2.800 metros de altitude, englobando as Florestas Semidecidual e Decidual, as Ombrófilas Densas, abertas e mistas, além dos Campos de Altitude, Restingas e Manguezais. No Bioma vivem quilombolas, populações costeiras tradicionais e cerca de 20 povos indígenas que possuem o domínio cultural e ecológico de várias das 20 mil espécies de plantas (40% delas endêmicas), incluindo 65% das espécies de bambus neotropicais, de mamíferos (15% endêmicas), 936 aves (16%), 306 répteis (31%), 516 anfíbios (63%) e 350 peixes de água doce (38% endêmicas) (Marques & Grelle, 2021).

Dentre os diversos ecossistemas que compõem a Mata Atlântica, destacam-se os manguezais. Estes ocorrem nos estuários de transição da floresta para o mar e são exemplos de regiões consideradas berçários – peixes que migram para se reprodu-

zirem em águas mais favoráveis ao desenvolvimento larval são um exemplo típico. Isso demonstra que essas áreas são candidatas preferenciais à conservação e devem ser priorizadas em programas de restauração ambiental.

O Brasil tem uma das maiores extensões de manguezais do mundo: desde o Cabo Orange no Amapá, na região da foz do rio Amazonas, até o município de Laguna em Santa Catarina. Hoje em dia, os manguezais ocupam uma superfície total de mais de 10.000 km², grande parte da Costa Noroeste Brasileira. Manguezais constituem um ecossistema singular na preservação de crustáceos e peixes de importância alimentar, provendo segurança alimentar para as populações caiçaras, bem como gerando uma fonte de renda por seu valor comercial. Atualmente, os manguezais sustentam mais de 1 milhão de pessoas, especialmente por serem berçário de 70% dos recursos pesqueiros de interesse comercial.

Além dos esforços para manter esses ambientes produtores de alimento e renda, o esforço em preservar ambientes aquáticos de transição está ligado ao esforço de preservar a paisagem como um todo e a diversidade de paisagens. A vegetação no entorno desses ambientes serve de abrigo e é primordial na prevenção de erosão nos rios. A grande incidência de processos erosivos pode resultar em uma alteração da quantidade de nutrientes presentes nas águas e, conseqüentemente, na perda de habitats para variadas espécies animais. É preciso compreender que a vegetação é de grande importância tanto para a vida terrestre como para vida aquática.

Como já dito anteriormente, é importante compreender que o ambiente terrestre é importante para espécies marinhas, assim como o ambiente marinho é importante para algumas espécies terrestres. As aves marinhas, como atobás (*Sula leucogaster*) e fragatas (*Fregata magnificens*) dependem do ambiente terrestre (especialmente ilhas remotas) para fazerem seus ninhos. Aves migratórias, como a batuá-de-bando (*Charadrius semipalmatus*) e o maçarico-rasteirinho (*Calidris pusilla*) utilizam praias e ambientes



us semipalmatus) and the semipalmated sandpiper (*Calidris pusilla*) use beaches, estuary and mangrove environments as feeding and resting areas. Marine turtles use areas of beaches far from the sea, as nesting areas. On the other hand, some marine invertebrate species have semi-terrestrial life habits, such as the Atlantic ghost crab (*Ocypode quadrata*), which sporadically constructs burrows in Restinga areas. The destruction of mangroves, erosion of beaches, and human occupation of islands are examples of environmental alterations that threaten these species.

The transition between marine and terrestrial environments is largely driven by water movement and tides. Although winds are relevant in some areas, since they bring sediment and nutrients from the sea (in the form of spray) to the continent, this flow is mainly controlled by water moving through the watershed and reaching the sea. More than a unidirectional flow, this phenomenon highlights the water cycle that is driven by the marine environment, which has a strong influence on the regulation of rainfall in continental areas.

It is important to note that part of the organic matter and nutrients that maintain biogeochemical processes and the flow of matter and energy in marine ecosystems, depend on terrestrial sources, especially vegetated areas. The plant biomass that decomposes in the soil and/or in water bodies flows into the sea, where it supports the primary production carried out by different types of organisms, from microscopic phytoplankton algae to leafy mangrove trees.

This land-sea connection expands into the sea, creating ecological corridors that sustain not only marine biodiversity, but also fishing activities. The high production of estuarine areas provides abundant food for the for the early life stages of different marine species. In addition to the protection provided by mangroves, estuaries are highly important areas for marine species reproduction and growth. For instance, the biodiversity of the Abrolhos Bank in southern Bahia, which is one of the most important areas of Brazilian marine biodiversity, depends on this connection with estuaries and mangroves, but also with the connection with other intermediary environments. In these locations, fish of commercial interest, such as robalos (*Centropomus* spp.) and mullet (*Mugil* spp.) find an important environment to complete their life cycle, without which fishing would be compromised.

The importance of conserving this land-sea relationship is evidenced in Tar-

get 14.2 of SDG 14: “By 2020, sustainably manage and protect marine and coastal ecosystems to avoid significant adverse impacts, including by strengthening their resilience, and take action for their restoration, in order to ensure healthy and productive oceans” (United Nations, 2015c, p. 23).

The added economic value of Brazilian biodiversity

These substances, formed by complex metabolic pathways, are responsible for the regulation of several functions for the interactions between organisms such as: resistance against pests and diseases, attraction of pollinators, and interaction with symbiotic microorganisms, vital gears for the maintenance of terrestrial and marine biodiversity.

These natural products that accumulate in all plant species and other terrestrial, marine and aquatic organisms, can provide a wide variety of high-complexity structural models such as polyketides, lignoids, flavonoids, coumarins, anthraquinones, alkaloids, terpenoids, etc. (Figure 3).

From the beginning of civilization, human culture has been deeply influenced by biodiversity, especially by plant species. The recognition of plants as sources of food, medicines, embellishment, religious rituals, food supplements or fuel, has always stimulated human curiosity, driven by the constant search for survival and improvement of life throughout the process of human development. As a result, today we have valuable records of many plants with a variety of useful applications, discovered from only a small fraction of species already chemically and pharmacologically studied.

We believe that, from a total of around 250,000 species estimated to occur on planet earth, more or less 100,000 have secondary metabolites, various of which remain to be studied for their molecular structure, biological activity and pharmacological properties. These numbers show the enormous potential of our rich biodiversity, still little studied in its pharmacological potential, representing, therefore, a natural laboratory for discoveries of new models of drugs, pigments, essential oils, aromas and fragrances. These numbers show the enormous potential of our rich biodiversity, still little studied in its pharmacological potential, representing, therefore, a natural laboratory for discoveries of new models of drugs, pigments, essential oils, aromas and fragrances.

Over recent decades, the history of drug discovery has witnessed unprecedented development based on natural prod-

estuarinos e de manguezal como área de alimentação e descanso. Já as tartarugas marinhas usam as porções das praias que ficam fora da área de alcance do mar como área para seus ninhos. Por outro lado, algumas espécies de invertebrados marinhos possuem hábitos de vida semiterrestre, como o caranguejo-fantasma (*Ocypode quadrate*), que esporadicamente constrói tocas em áreas de restinga. A destruição de manguezais, a erosão de praias ou a ocupação humana em ilhas são exemplos de alterações ambientais que ameaçam essas espécies.

A transição entre os ambientes terrestre e marinho se dá, em grande parte, pelo movimento das águas e pelas marés. Embora o vento possa ser relevante em alguns locais, para trazer sedimento e nutrientes do continente para o mar e água na forma de borrifos para terra, esse fluxo é predominantemente regido pela água que flui pelas bacias hidrográficas e que chega ao mar. Mais que um fluxo unidirecional, esse fenômeno evidencia o ciclo da água, que é propulsionado pelo ambiente marinho, que tem forte influência na regulação do volume de chuvas nas áreas continentais.

É importante destacar que parte da matéria orgânica e dos nutrientes que sustentam os processos biogeoquímicos e o fluxo de matéria e energia nos ecossistemas marinhos depende de fontes terrestres, especialmente das áreas vegetadas. A biomassa vegetal que se decompõe no solo e/ou nos corpos d'água flui para o mar, onde sustenta a produção primária realizada por diferentes tipos de organismos, desde algas microscópicas do fitoplâncton até árvores frondosas do manguezal.

Essa conexão terra-mar expande-se mar adentro, criando corredores ecológicos que sustentam não só a biodiversidade marinha mas também a atividade pesqueira. A alta produção das áreas estuarinas oferece alimento abundante para as fases de vida iniciais de diferentes espécies marinhas. Somando-se à proteção dada pelos manguezais, os estuários correspondem a locais de altíssima relevância para a reprodução e crescimento de espécies marinhas. Por exemplo, a biodiversidade do Banco dos

A transição entre os ambientes terrestre e marinho se dá, em grande parte, pelo movimento das águas e pelas marés.

Abrolhos, no sul da Bahia, que representa uma das mais importantes áreas para a biodiversidade marinha brasileira, depende dessa conexão com os estuários e manguezais, mas também com outros ambientes intermediários. Peixes de interesse comercial, como robalos (*Centropomus* spp.) e tainhas (*Mugil* spp.) têm, nessas localidades, um importante ambiente para completar seu ciclo de vida, sem o qual a pesca estaria comprometida.

A importância da conservação dessa relação terra-mar é evidenciada na Meta 14.2 do ODS 14: “Até 2020, gerir de forma sustentável e proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos, inclusive por meio do reforço da sua capacidade de resiliência, e tomar medidas para a sua restauração, a fim de assegurar oceanos saudáveis e produtivos” (United Nations, 2015c, p. 23).

O valor econômico agregado da biodiversidade brasileira

A biodiversidade terrestre, vista pelo aspecto de sua variedade e complexidade molecular, é uma fonte riquíssima de metabólitos secundários, também conhecidos como produtos naturais. Essas substâncias, formadas por vias metabólicas complexas, são responsáveis pela regulação de diversas funções para as interações entre organismos como: resistência contra pragas e doenças, atração de polinizadores e interação com microrganismos simbióticos, engrenagem vital para a manutenção da biodiversidade terrestre e marinha.

Esses produtos naturais acumulados em todas as espécies de plantas e de outros organismos terrestres, marinhos e aquáticos

tives of natural products. These data highlight the importance of natural products as “hits”⁶ and “leads”⁷ for drugs. Even with the reduction of drug discovery programs based on natural products in large multinational pharmaceutical companies, they remain an important source of novel molecular models in the development of new therapeutic targets.

Brazilian biodiversity is a storehouse of unique molecular data, and the destruction of Brazilian biomes means the loss of hundreds of natural products. These lost species are vital not only for the ecosys-

O hábito humano de recorrer às virtudes curativas de certos vegetais é uma das manifestações mais antigas que o ser humano encontrou para aliviar o sofrimento físico causado por inúmeras doenças. A Figura 4 mostra um panorama de alguns produtos naturais utilizados como fármacos. Esses produtos mudaram a saúde humana no planeta e proporcionaram um avanço incalculável da ciência de plantas. Dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) demonstram que o uso da medici-

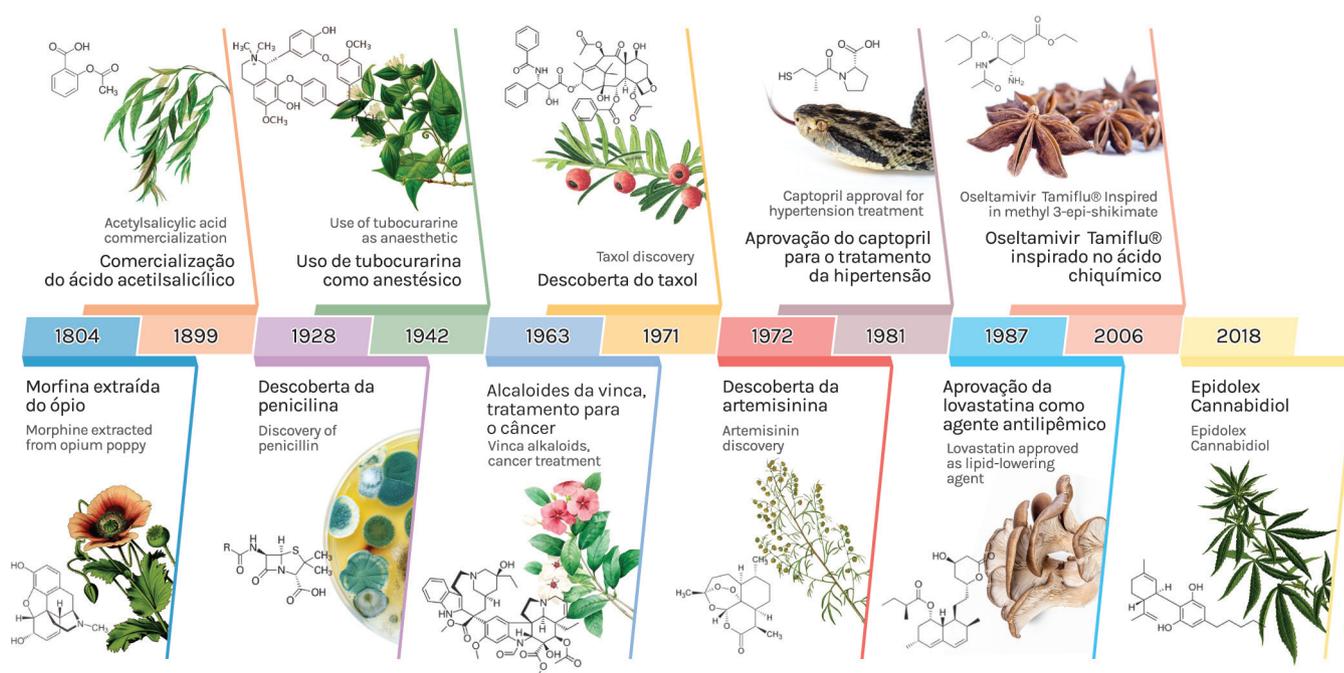


Figura 4. Alguns exemplos de produtos naturais consagrados mundialmente como medicamentos para o tratamento de várias doenças. Fonte: “Figure 1” por Valli & Bolzani, 2019, CC BY (adaptado para renovar estilo, imagens e para incluir o Epidolex Cannabidiol).

Figure 4. Some examples of natural products globally used as medicines for the treatment of various diseases. Source: “Figure 1” by Valli & Bolzani, 2019, CC BY (adapted to renew style, images and to include Epidolex Cannabidiol).

⁶ Hit is a compound/molecule with a known/identified structure that has an activity in a biological assay below a given value (Piccirillo & Amaral, 2018).

⁷ Lead is a compound (or a series of compounds) with activity and selectivity proven through biological assays, that fulfill some important criteria for the development of a drug, such as, originality, accessibility, and possibility to be patented (Piccirillo & Amaral, 2018).

na tradicional vem crescendo mundialmente, chegando a 80% da população mundial (World Health Organization, 2020). Newman & Cragg (2020) publicaram, até o presente momento, cinco revisões no *Journal of Natural Products* sobre produtos naturais identificados em todo o mundo nos últimos 40 anos, que são utilizados como agentes terapêuticos aprovados para uso humano. Na última revisão, entre os fármacos lançados no mercado, 1.881 são produtos naturais, produtos de síntese inspirados em produtos naturais ou derivados sintéticos de produtos naturais. Estes dados são testemunhos da importância dos produtos naturais como “hits”⁶ e “leads”⁷ de fármacos e, mesmo diante da redução dos programas de descoberta de medicamentos baseados em produtos naturais nas grandes empresas farmacêuticas multinacionais, eles continuam sendo uma fonte de modelos moleculares inéditos e importante no desenvolvimento de novos alvos terapêuticos.

A biodiversidade brasileira constitui uma biblioteca de dados moleculares única, e a destruição dos biomas brasileiros significa a perda de centenas de produtos naturais. Essas espécies perdidas não são apenas essenciais ao equilíbrio desses ecossistemas, mas, também, espécies ricas em substâncias de alto valor agregado que serão perdidas. Por exemplo, da espécie *Endopleura uchi* (Humiriaceae), conhecida como Uxi, foi isolada a bergenina (Magalhães et al., 2007), substância com propriedade anti-inflamatória, que teve sua estrutura química sintetizada e hoje é produzida por grandes laboratórios multinacionais. Apenas 1 miligrama do produto sintético custa mais de 1.000 dólares, valor maior que 1 grama de ouro.

⁶ Hit é um composto/molécula com estrutura identificada/conhecida que possui uma atividade, em um ensaio biológico, abaixo de determinado valor (Piccirillo & Amaral, 2018).

⁷ Lead é um composto (ou uma série de compostos) com atividade e seletividade comprovada através de ensaios biológicos, que preenchem alguns critérios importantes para desenvolvimento de um fármaco, como originalidade, acessibilidade e possibilidade de ser patenteado (Piccirillo & Amaral, 2018).

A riqueza da biodiversidade brasileira não condiz com os poucos exemplos de fármacos de origem natural desenvolvidos no país, como o anti-inflamatório tópico desenvolvido a partir da *Cordia verbenaceae* (a erva-baleeira) (Fernandes et al. 2007), o ansiolítico desenvolvido a partir do maracujá-azedo (*Passiflora incarnata*) (Marchart et al., 2003) e a pomada cicatrizante desenvolvida a partir do barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) (Minatel et al., 2010). Além disso, proliferam no país apenas os fitoterápicos que usam na forma bruta partes das plantas.

O ESTUDO DA BIODIVERSIDADE BRASILEIRA E A FAPESP

Desde o grupo inicial de pesquisadores que planejou a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), tivemos uma intensa participação de pesquisadores que atuavam em áreas hoje abrangidas pela biodiversidade. Destacam-se, entre eles: Paulo Emílio Vanzolini (1961 a 1967, e novamente de 1977 a 1979, e de 1986 a 1993), que auxiliou até mesmo na redação da lei que viria a criar a FAPESP e, depois, integrar o 1º Conselho Superior da Fundação; Crodowaldo Pavan (1961 a 1963), também membro do 1º Conselho Superior, e Warwick Estevam Kerr, primeiro diretor-científico da FAPESP (1962 a 1964). Consequentemente, a área recebe atenção desde as primeiras concessões de financiamentos de projetos de pesquisa.

A FAPESP aprovou, em 1962 (seu primeiro ano de funcionamento), a possibilidade de apoio financeiro a projetos de pesquisa por meio de duas modalidades: as Iniciativas e os Programas Especiais. As propostas das Iniciativas (hoje chamadas de Auxílios à Pesquisa) e dos Programas Especiais (hoje chamados de Projetos Temáticos) partiam da própria Fundação, geralmente com base em recomendações de pesquisadores, eram analisadas pela Diretoria Científica e depois submetidas ao Conselho Técnico Administrativo e ao Conselho Superior.

Dois dos primeiros Programas Especiais focavam em aspectos da biodiversidade:

tem balance, but are also rich in substances of high added value that will be lost.

For example, from the species *Endopleura uchi* (Humiriaceae), known as Uxi, a substance with anti-inflammatory properties, bergenin, was isolated (Magalhães et al., 2007). This substance had its chemical structure synthesized and nowadays is produced by large multinational laboratories. Just 1 milligram of the synthetic product costs more than a 1,000 dollars, more than 1 gram of gold.

The richness of Brazilian biodiversity is not reflected in the small number of drugs of natural origin developed in Brazil. These include the topical anti-inflammatory developed from *Cordia Verbenaceae* (black or wild sage) (Fernandes et al., 2007), the anxiolytic developed from purple passionflower (*Passiflora incarnata*) (Marchart et al., 2003) and the healing ointment developed from barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) (Minatel et al., 2010). Beyond these, only herbal medicines, phytotherapies, that use unprocessed plant parts have proliferated in Brazil.

FAPESP AND THE STUDY OF BRAZILIAN BIODIVERSITY

Since the initial group of researchers that planned the São Paulo State Research Foundation (FAPESP), we have had an intense participation of researchers who worked in areas now covered by biodiversity. Among them we highlight Paulo Emílio Vanzolini (Board Member 1961 to 1967, and again from 1977 to 1979, and from 1986 to 1993), who helped to draft the law that created FAPESP, and was subsequently part of the 1st Superior Council of the Foundation; Crodowaldo Pavan (1961 to 1963), also a member of the 1st Superior Council, and Warwick Estevam Kerr, first scientific director of FAPESP (1962 to 1964). Consequently, the area has received attention since the first grants of funding for research projects.

FAPESP approved, in 1962 (its first year of operation), the possibility of financial support to research projects through two modalities: Initiatives and Special Programs. The proposals for Initiatives (today called Auxílios à Pesquisa) and Special Programs (today called Projetos Temáticos) came from the Foundation itself, generally based on researchers' recommendations. These proposals were then analyzed by the Scientific Board and then submitted to the Technical Administrative Council and to the Superior Council.

Not surprisingly two of the first Special Programs focused on aspects of biodiversity:

a) The Center for Comparative Histology for Brazilian Wild Mammals, proposed by

the Department of Histology and Embryology of The School of Medicine of São Paulo (USP), with the participation of the Departments of Histology of the Faculty of Veterinary Medicine, Odontology, Philosophy, Sciences and Letters.

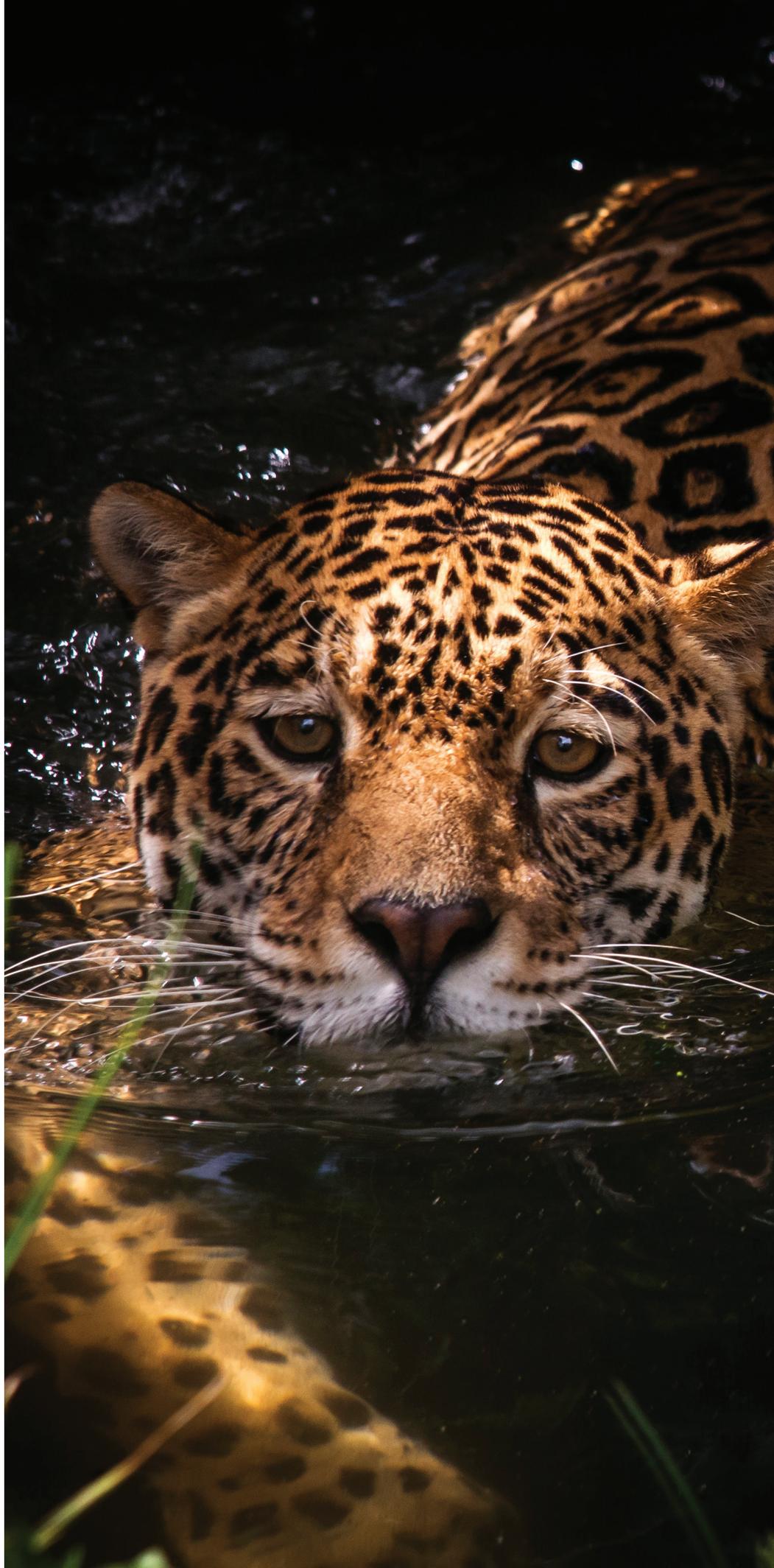
b) Studies about the plant on *Stevia rebaudiana* Bert. 1905 (Asteraceae), including the Institute of Botany, the Agricultural Institute of Campinas and Ribeirão Preto Faculty of Medicine, São Paulo Faculty of Medicine, Luiz de Queiroz Superior School of Agriculture and the Faculty of Pharmacy and Biochemistry of USP.

At the end of the 1960s, FAPESP lead the development of field studies, both to better understand the Brazilian biodiversity and to improve the cartographic bases through the scientific interpretation of the landscape, with the formation of the collection of aerial photos and the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) Map Locality Index. The Permanent Expedition to the Amazon Project, developed in partnership with the National Institute for Amazonian Research (INPA), the Emilio Goeldi Museum of Pará (MPEG) and Harvard University until 1987, resulted, for example, in a significant increase in the collection of specimens in all these institutions, especially in the Museum of Zoology at USP.

In 1967, to facilitate the exploration of the extremely important aquatic environments of the Amazon, FAPESP funded the construction of two boats in Oriximiná, Pará: the Lindolpho Guimarães, 11.5 meter long, and the Garbe, 18 meters long, were used by researchers from São Paulo, Rio de Janeiro, Belém, Manaus and the United States in scientific expeditions to unexplored regions of the Amazon. At the conclusion of the project the boats were donated to National Institute of Amazonian Research (INPA).

The Ecological Coastal Centers Project, resulted amongst other products, led to the final definition of the Network of Coastal Centers associated with São Paulo University: the Southern Center in Cananeia, the São Sebastião Center (currently CEBIMAR) and the Northern Center in Ubatuba.

Still in the 1960s, within the scope of biodiversity research, we highlight FAPESP's support for the creation of the Laboratory of Chemistry of Natural Products (IQ-USP), under the supervision of Otto Richard Gottlieb and Paschoal Senise. A Laboratory which also had the support of the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the Brazilian Innovation Agency (FINEP), through the Program of Support to Scientific and Technological Development. Since the beginning of its activities, the laboratory maintained an intense collaboration with INPA, Emilio Goeldi Museum (MPEG), and the Federal Universities



- a) Centro de Histologia Comparada de Mamíferos Silvestres Brasileiros, proposto pelo Departamento de Histologia e Embriologia da Faculdade de Medicina de São Paulo (USP), com participação dos Departamentos de Histologia das Faculdades de Medicina Veterinária, Odontologia e Filosofia, Ciências e Letras;
- b) Estudos sobre a planta *Stevia rebaudiana* Bert. 1905 (Asteraceae), integrando Instituto de Botânica, Instituto Agrônomico de Campinas, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Faculdade de Medicina de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e Faculdade de Farmácia e Bioquímica da USP.

No final da década de 1960, a FAPESP liderava o treinamento de estudos de campo, tanto para melhor conhecer a biodiversidade brasileira como para aprimorar as bases cartográficas através da interpretação científica da paisagem, com a formação do acervo de fotos aéreas e o Índice de Localidades do Mapa do IBGE. O *Projeto Expedição Permanente à Amazônia*, desenvolvido em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e a Universidade Harvard até 1987, resultou, por exemplo, em um significativo aumento do acervo de espécimes em todas essas instituições, especialmente no Museu de Zoologia da USP.

Para permitir a exploração também dos importantíssimos ambientes aquáticos da região amazônica, a FAPESP apoiou, em 1967, a construção de dois barcos em Oriziminá, no Pará: o *Lindolpho Guimarães*, de 11,5 metros de comprimento, e o *Garbe*, com 18 metros. Os barcos foram usados por pesquisadores de São Paulo, Rio de Janeiro, Belém, Manaus e dos Estados Unidos em viagens científicas a regiões inexploradas da Amazônia. Terminado o projeto, os barcos foram doados ao INPA.

Já o Projeto *Bases Ecológicas do Litoral* resultou, entre outros produtos, na definição final da Rede de Bases Litorâneas associadas à Universidade de São Paulo: a Base Sul em Cananeia, a Base de São Sebastião (hoje CEBIMAR) e a Base Norte em Ubatuba.

Ainda na década de 1960, no âmbito da pesquisa em biodiversidade, destaca-se o apoio à criação do Laboratório de Química de Produtos Naturais (IQ-USP), sob a supervisão de Otto Richard Gottlieb e Paschoal Senise, que contou também com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), através do Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Desde o início das atividades, o laboratório manteve intensa colaboração com o INPA, Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), Universidades Federais do Ceará, Paraíba, Alagoas, Minas Gerais e a Rural do Rio de Janeiro. Entre a sua criação e 2001, este laboratório já havia formado 44 mestres e 78 doutores.

Em 1978, a FAPESP aprovou o *Projeto Especial Tipologia de Represas do Estado de São Paulo*, coordenado por José Galizia Tundisi, que estudou 52 reservatórios paulistas do ponto de vista limnológico. Este projeto, que pode ser considerado o pioneiro da limnologia moderna no Brasil, ampliou o conhecimento sobre os mecanismos de funcionamento de represas, aprimorou a metodologia para comparação de reservatórios e enriqueceu as coleções de organismos aquáticos mantidos em institutos de pesquisa.

Pela primeira vez em estudos da biodiversidade, formou-se uma rede de pesquisadores a partir do *Projeto Temático Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo* (a partir de 1995), inicialmente coordenado pelo Prof. Hermógenes de Freitas Leitão Filho. De forma inédita, este projeto reuniu todos os botânicos especialistas em fanerógamas do estado de São Paulo, que somaram esforços de pesquisa. Isto foi possível graças à padronização de parâmetros, tanto para avaliar o acervo já depositado em herbários como para coletas complementares planejadas de forma metódica, conforme um estudo prévio que identificou o esforço de coleta já realizado em cada região do estado. Infelizmente, o Projeto não adotou o uso de GPS para as amostragens, o que impede a incorporação dos dados em sistemas como o Global Biodiversity Infor-

of Ceará, Paraíba, Minas Gerais and Rio de Janeiro Rural University. Since its creation until 2001, this laboratory trained 44 master's and 78 doctoral students.

In 1978, FAPESP approved the Special Project for Dam Typology of São Paulo State, coordinated by José Galizia Tundisi, which studied 52 water reserves of São Paulo state from a limnological point of view. This project, considered a pioneering effort in modern Brazilian limnology, increased the understanding of dam functioning mechanisms, improving the methodology to compare reservoirs, and improved collections of aquatic organisms kept at research institutes.

For the first time in biodiversity studies, a network of researchers was formed based on the Phanerogamic Flora Thematic Project of São Paulo State (starting in 1995), initially coordinated by Prof. Hermógenes de Freitas Leitão Filho. In an unprecedented way, this project brought together all botanists specialized in phanerogams in the state of São Paulo, who joined its research efforts. This was possible thanks to the standardization of parameters, both when evaluating collection already deposited in herbaria, and for methodically planned complementary collections. It was based on a prior study that identified the collection effort already carried out in each region of the state. Unfortunately, the project did not use GPS for sampling, which hampered the inclusion of data in systems, such as the Global Biodiversity Information Facility (Global Biodiversity Information Facility, 2022).

The project outcomes are associated with the series of books entitled *Phanerogamic Flora of São Paulo State*, thus comprising eight volumes published formerly known, covering about 50% of the 195 families, 1,776 genera and 7,305 known native species of the São Paulo state.

In 1999, FAPESP revolutionized the study of Brazilian biodiversity creating the Research Program in Characterization, Conservation and Sustainable Use of Biodiversity of São Paulo State, BIOTA/FAPESP (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022a). This program sought to understand, map and analyze biodiversity in São Paulo state, including fauna, flora and microorganisms. Additionally, it evaluated possibilities for sustainable use of plants, animals and microorganisms containing molecules with economic potential, and helped to formulate conservation policies.

The highly innovative program, named Virtual Institute of Biodiversity, was the first biodiversity research program in Bra-

zil to use the internet to organize and bring together researchers. It also standardized the inclusion of GPS based information of the sampling site, and adopted the Darwin Core (Biodiversity Information Standards, 2022) as a data standard.

Due to the excellent performance throughout its first 10 years, FAPESP renewed funding for BIOTA/FAPESP program in 2009, until the end of the United Nations Decade on Biodiversity (2011-2020). In this renewal, the Program's Goals and Strategies Plan was updated, expanding its scope to the entire Brazilian territory and changing its name to Research Program in Characterization, Conservation, Restoration and Sustainable use of Biodiversity, highlighting the need to include restoration as a strategy to conserve Brazilian biodiversity. The renewal aimed to extend and further improve returns on a coordinated investment in research, combining biodiversity research, personnel training, bioprospecting and impact on public policy. In this renewal, the Program's Goals and Strategies Plan (Joly et al., 2009) was updated, expanding its scope to the whole Brazilian territory and changing its name to Research Program in Characterization, Conservation, Restoration and Sustainable Use of Biodiversity, thereby demonstrating the need to include restoration as a strategy to preserve Brazilian biodiversity.

Figure 5 numerically summarizes the results of the BIOTA/FAPESP Program throughout its 20 years of existence. Notably, in terms of contributions to the improvement of public policies, 18 legal instruments specifically indicate that they were formulated "[...] with support from the [BIOTA] program" (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022b, Políticas para a Natureza).

Currently, the Steering Committee of the Program is finalizing the Strategic BIOTA/FAPESP Program Plan for the 2020-2030 period (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022c). This coincides with the United Nations Decade of Restoration and Decade of Ocean Science.

Another decision by FAPESP with significant importance for biodiversity research was the establishment of International Cooperation and Exchange Agreements. Since the first scientific exchange agreement, signed by the British Council in 1985, FAPESP ratified hundreds of partnerships with funding agencies and institutions on all continents. These agreements allowed for the internationalization of biodiversity research and gave greater visibility on the

mation Facility (Global Biodiversity Information Facility, 2022).

O principal produto do projeto é a série de livros *Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo*, com oito volumes publicados até o momento, que abrangem cerca de 50% das 195 famílias, 1.776 gêneros e 7.305 espécies nativas conhecidas do estado de São Paulo.

Em 1999, a FAPESP revolucionou o estudo da biodiversidade brasileira criando o Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo, o Programa BIOTA-FAPESP (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022a), com o objetivo de conhecer, mapear e analisar a biodiversidade do estado de São Paulo, incluindo a fauna, a flora e os microrganismos. Além disso, também avaliar as possibilidades de exploração sustentável de plantas ou de animais com moléculas de potencial econômico e subsidiar a formulação de políticas de conservação.

Altamente inovador, por ser o primeiro programa brasileiro de pesquisas em biodiversidade a utilizar a internet como forma de organização e integração de pesquisadores, e por padronizar a inserção de dados de local da coleta obtidos com GPS, bem como adotar o Darwin Core (Biodiversity Information Standards, 2022) como padrão de dados, o Programa foi denominado Instituto Virtual da Biodiversidade.

Em função do excelente desempenho nos primeiros 10 anos de existência, em 2009, a FAPESP renovou o apoio ao Programa BIOTA/FAPESP até o fim da Década da Biodiversidade das Nações Unidas (2011-2020). A renovação teve como objetivo prolongar e melhorar ainda mais o retorno de um investimento coordenado em pesquisa, combinando pesquisa de biodiversidade, treinamento de pessoal, bioprospecção e impacto nas políticas públicas. Nesta renovação, o Plano de Metas e Estratégias (Joly et al., 2009) do Programa foi atualizado, ampliando seu escopo para todo o território brasileiro e mudando seu nome para Programa de Pesquisas em

Em 1999, a FAPESP revolucionou o estudo da biodiversidade brasileira criando o Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade do Estado de São Paulo, o Programa BIOTA-FAPESP (...)

Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, evidenciando a necessidade de incluir a restauração como estratégia para conservar a biodiversidade brasileira.

A Figura 5 sumariza numericamente os resultados do Programa BIOTA/FAPESP em 20 anos de existência. Destacando-se que, em termos de contribuições ao aperfeiçoamento de políticas públicas, 18 instrumentos legais mencionam especificamente que foram construídos “[...] com suporte do programa [BIOTA]” (Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022b, Políticas para Natureza).

Atualmente, a Coordenação do Programa está finalizando seu Plano Estratégico do Programa BIOTA/FAPESP para o período 2020-2030 (Programa de Pesquisas

international stage to the quality of research carried out in Brazil. Undoubtedly, this contributed to Brazilian researchers gaining importance in organizations such as the Convention on Biological Diversity/CBD and the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services/IPBES. Another example is the creation of the Brazilian Biodiversity and Ecosystem Services Platform/BPBES (Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, 2022).

Initially, support for scientific exchanges with foreign countries assumed three main forms: doctoral and post-doctoral scholarships, presentation of research in scientific meetings and visiting professors. But it quickly moved to the phase of multinational teams and joint project financing. Every year, the BIOTA Program has joint calls with the National Science Foundation/US, National Environmental Resources Council/UK and the Netherlands Organization for Scientific Research/Netherlands.

EXPANDING UNDERSTANDING OF THE RELATIONSHIP BETWEEN BIODIVERSITY AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Throughout the text, some of the most obvious relationships between biodiversity, ecosystem services and Sustainable Development Goals have been highlighted. In this section, some examples of this relationship that may not seem so obvious will be explored, showing how biodiversity and ecosystem services permeate all other 15 SDGs.

The 2030 Sustainable Development Agenda outlines an ambitious set of combined goals and objectives to confront a series of global social challenges. Biodiversity and ecosystems feature prominently in many of the Sustainable Development Goals (SDGs) and associated targets. They contribute directly to human well-being and to development priorities.

Biodiversity is at the heart of many economic activities. In global terms, nearly half the human population depends directly on natural resources for their subsistence, and many of the most vulnerable people depend directly on biodiversity to satisfy their daily subsistence needs.

The post-2020 (Convention on Biological Diversity, 2022), global biodiversity framework, currently under discussion by the Biological Diversity Convention, establishes a set of priorities for actions to reverse the biodiversity crisis. This framework and

Impacto científico e formação de recursos humanos *Scientific impact and human resources development*



Figura 5. Recursos investidos, publicação de trabalhos científicos e formação de recursos humanos pelo Programa BIOTA/FAPESP de 1999 a 2020. Fonte: Pesquisa FAPESP por Marcos Pivetta, Edição 296, 2020 (adaptado com autorização, licença original CC BY-NC-ND 2.0, fontes originais: Carlos Joly, Simone Vieira e BV FAPESP).
Figure 5. Resources invested, publication of scientific papers and human resources training of BIOTA/FAPESP Program from 1999 to 2020. Source: Pesquisa FAPESP by Marcos Pivetta, Ed 296, 2020 (adapted with authorization, original license CC BY-NC-ND 2.0, original sources: Carlos Joly, Simone Vieira and BV FAPESP).

the SDGs are mutually supportive and reinforcing, given that the implementation of one contributes to the achievement of the other. In this section, we will consider some of the relationships between biodiversity, strongly related to SDGs 14 and 15, and other SDGs.

Biodiversity and fighting hunger (related to SDG 2) - see chapter 4 (Franco et al.) Biodiversity is literally the root of strategies to fight hunger. Not because we feed on biodiversity, or on part of it, although this would already be sufficient to understand its importance. It is because the relationship between biodiversity and the fight against hunger presupposes important benefits that biodiversity provides for people, however discreet. One example is the importance of pollinators, especially bees, for plant biodiversity, particularly for agricultural cultivars such as coffee and soybeans (Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, 2019). The relevance of biodiversity for agriculture also includes biological control, a strategy for combatting pests that directly exploits the maintenance of conserved environments. It also involves the use of ecological relationships (for instance, hyperparasitism) and of specific organisms (for instance, wasps) reproduced in laboratories.

Biodiversity is a source of genetic variability for improvement or maintenance of cultivars or animals raised for consumption, as in farming and aquaculture (farming of aquatic organisms). Extraction activities, such as collecting fruits and seeds in the Amazon, or artisanal fishing along the Brazilian coast, also depend on the structure and functioning of natural systems and the maintenance of fish species.

Biotechnology is another example of the benefits provided by biodiversity: natural products derived from microorganisms (ex.: bacteria and fungi), and terrestrial and marine plants and animals, are prospected and analyzed with the aim of producing bioactive compounds for different types of applications, including in the food industry, as already noted.

Among the systemic effects of biodiversity is its role in climate regulation, especially rainfall patterns, that are important for agriculture, for example. This reveals the dependence of much of the agriculture in the Midwest, Southeast, and South of Brazil on rainfall originating in the Amazon rainforest. Vegetation contributes to absorption of rain water into the soil and its remobilization into the atmosphere through the evapotranspiration process. This moisture forms what have come to be known as aerial rivers that leave the Amazon region and fall in

em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade, 2022c), coincidindo com a Década da Restauração e a Década dos Oceanos da ONU.

Outra decisão da FAPESP de enorme importância para a pesquisa em biodiversidade foi o estabelecimento de Acordos Internacionais de cooperação e intercâmbio. Desde o primeiro acordo de intercâmbio científico, assinado com o Conselho Britânico em 1985, a FAPESP celebrou centenas de parcerias com Agências de Fomento e instituições de todos os continentes.

A existência desses acordos permitiu a internacionalização da pesquisa em biodiversidade e deu visibilidade à qualidade da pesquisa desenvolvida por brasileiros no cenário internacional. Isso, sem dúvida, contribuiu para que pesquisadores brasileiros assumissem o protagonismo em organizações como a Convenção da Diversidade Biológica/CDB e a Plataforma Intergovernamental de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos/IPBES. Outro exemplo é a criação da Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos/BP-BES (2022).

Inicialmente, o apoio ao intercâmbio científico com o exterior assumiu três formas principais: bolsas de estudo para doutorado e pós-doutorado, apresentação de trabalhos em reuniões científicas e vinda de professores visitantes. Mas, rapidamente, passou para a fase de equipes multinacionais e ao financiamento conjunto de projetos. Anualmente, o Programa BIOTA tem chamadas conjuntas com a National Science Foundation/US, National Environmental Resources Council/UK e Netherlands Organization for Scientific Research/Países Baixos.

AMPLIANDO O OLHAR SOBRE AS RELAÇÕES ENTRE BIODIVERSIDADE E OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Ao longo do texto fomos destacando algumas das relações mais óbvias entre a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

Mas, rapidamente, passou para a fase de equipes multinacionais e ao financiamento conjunto de projetos.

Neste item vamos explorar alguns exemplos dessa relação que podem não parecer tão óbvios, demonstrando como de fato biodiversidade e serviços ecossistêmicos permeiam todos os demais 15 ODS.

A Agenda para o Desenvolvimento Sustentável de 2030 estabelece uma ambiciosa estrutura de objetivos e metas indivisíveis para enfrentar uma série de desafios sociais globais. Biodiversidade e ecossistemas se destacam em muitos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e metas associadas. Eles contribuem diretamente para o bem-estar humano e para as prioridades de desenvolvimento.

A biodiversidade está no centro de muitas atividades econômicas. Em termos globais, quase metade da população humana é diretamente dependente dos recursos naturais para sua subsistência, e muitas das pessoas mais vulneráveis dependem diretamente de biodiversidade para satisfazer suas necessidades diárias de subsistência.

O marco global da biodiversidade pós-2020 (Convention on Biological Diversity, 2022), atualmente em discussão pela Convenção sobre Diversidade Biológica, estabelece um conjunto de prioridades de ações para reverter a crise da biodiversidade. Este marco e os ODS se apoiam e reforçam mutuamente, uma vez que a implementação de um contribui para a realização do outro. Nesta seção abordaremos algumas das relações entre a biodiversidade, fortemente relacionadas aos ODS 14 e 15, e os demais ODS.

Biodiversidade e o combate à fome (relacionado ao ODS 2) – vide capítulo 4 Franco et al.

A biodiversidade é, literalmente, a raiz das estratégias de combate à fome. Não porque nos alimentamos da biodiversidade, ou de parte dela, embora isso já fosse suficiente para compreendermos sua importância. Mas porque a relação entre a biodiversidade e o combate à fome pressupõe importantes benefícios que ela presta para as pessoas, ainda que de forma muito discreta. Um exemplo é a importância dos polinizadores, em especial as abelhas, pa-

ra a biodiversidade vegetal, mas, especialmente, para cultivos agrícolas como soja e café (Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, 2019). A relevância da biodiversidade para a agricultura também considera o controle biológico, estratégia de combate de pragas que se beneficia diretamente da manutenção de espaços conservados, mas também do uso de relações ecológicas (por exemplo, o hiperparasitismo) e de organismos específicos (por exemplo, as vespas) reproduzidos em laboratório.

A biodiversidade é fonte de variabilidade genética para melhoramento, ou mesmo manutenção, de cultivares ou de animais criados para o consumo, como na pecuária e na aquicultura (cultivo de organismos aquáticos). A realização de atividades extrativistas, como a coleta de frutos e sementes na Amazônia ou a pesca artesanal ao longo da costa brasileira, também depende da estrutura e do funcionamento dos sistemas naturais e da manutenção das espécies pesqueiras.

A biotecnologia é outro exemplo de benefício provido pela biodiversidade: produtos naturais derivados de microrganismos (como bactérias e fungos), plantas e animais terrestres e marinhos são prospectados e analisados na perspectiva de produção de compostos bioativos para diferentes tipos de aplicações, incluindo a indústria alimentícia, como já comentado neste texto.

Dentre os efeitos sistêmicos da biodiversidade está seu papel de regular o clima, em especial os padrões de chuva, que são importantes para a agricultura, por exemplo. Revela-se, aqui, a dependência de boa parte da agricultura do Centro-oeste, Sudeste e Sul do Brasil das chuvas que se originam a partir da Floresta Amazônica. A vegetação contribui para a absorção da água da chuva pelo solo e, depois, por meio do processo de evapotranspiração, sua remobilização para a atmosfera. Essa umidade forma o que tem sido chamado de rios aéreos que saem da região amazônica e precipitam nas regiões Centro-oeste, Sudeste e Sul do país.

central eastern, southeastern and southern regions of Brazil.

Whether in the examples above, or in several others that can be cited, the contribution of biodiversity to combatting hunger strongly depends on its conservation. Biodiversity conservation depends on confronting what threatens it, which vary from place to place and from system to system. Examples include pollution of the oceans, deforestation, and global warming.

Goals 14.4, 14.6 and 14.b b (United Nations, 2015c) dialogue with the need to modify the way fishing is done, considering:

14.4 By 2020, effectively regulate harvesting and end overfishing, illegal, unreported and unregulated fishing and destructive fishing practices and implement science-based management plans, in order to restore fish stocks in the shortest time feasible, at least to levels that can produce maximum sustainable yield as determined by their biological characteristics.

14.6 By 2020, prohibit certain forms of fisheries subsidies which contribute to overcapacity and overfishing, eliminate subsidies that contribute to illegal, unreported and unregulated fishing and refrain from introducing new such subsidies, recognizing that appropriate and effective special and differential treatment for developing and least developed countries should be an integral part of the World Trade Organization fisheries subsidies negotiation, and

14.b Provide access for small-scale artisanal fishers to marine resources and markets.

Biodiversity and basic sanitation (related to SDGs 2, 3, 6 and 7)

In Brazil, basic sanitation is defined by the Federal Constitution and regulated by Law no 11.445, January 5, 2007 (Brasil, 2007), as a set of public services, infrastructure and facilities for drinking water supply, sanitary sewage, urban cleaning and solid waste management. The new legal framework of basic sanitation established in 2020 (Law no 14.026, July 15 2020 (Brasil, 2020) defines the responsibilities of the system and set goals to ensure these services to the entire population.

The most recent data from IBGE National Survey of Basic Sanitation (PNSB) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017), indicates that around 85% of residences are serviced by the general water supply network, while only 68% are connected to the sewage network. While the role of inadequate settlements for dwellings and informal housing needs to be debated, the deficient levels of basic sanitation in Brazil are undeniable, directly

affecting water use for consumption and food production (combatting hunger, responsible production and consumption, SDGs 2 and 7, respectively).

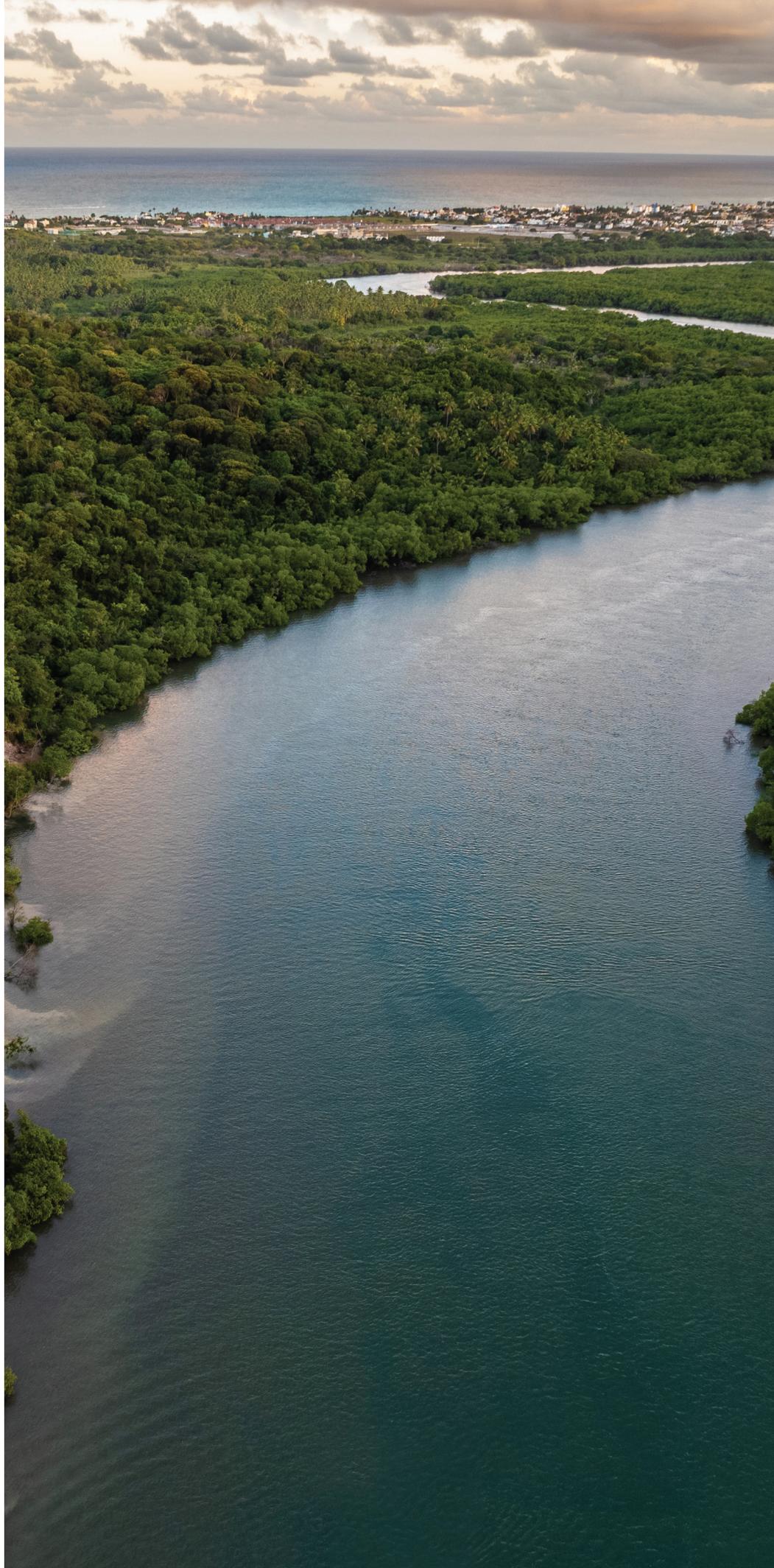
At the same time, diarrhea, bacterial dysentery, hepatitis, cholera and leptospirosis, which also compromise health and well-being (SDG 3), are among the main diseases associated with poor sanitation.

The inefficiency and inadequacy of the collection and treatment systems for sewage and solid waste leads to diverse types of anthropogenic materials, from pathogens to chemical substances, which are dumped into terrestrial and aquatic environments. This produces negative biodiversity outcomes (SDGs 14 and 15), affecting not only human health, but also the health of ecosystems.

As previously mentioned, a predatory economic model based on the production of consumable goods is an important vector for technological development of new materials and products for several applications, thereby driving the production and consumption cycle. An example of this is the problem of plastic waste, which includes from nanoplastics particles (between 1nm to 1 μ m in size) up to macroplastics (above 200 mm in size). These are now considered omnipresent materials, being detected in all environmental compartments and levels of biological organization (MacLeod et al., 2021). Recently, microplastic fibers were detected in amphipod tissues (small crustaceans without a shell) collected in the Mariana Trench, at a depth of more than 10 thousand meters, in one of the deepest parts of the ocean (Jamieson et al., 2019)

The accumulation of plastics in the oceans, such as the Pacific Garbage Island, has led to colonization by microbial communities specific to this waste. These communities are defined as plastisphere (Zettler et al., 2013), and constitute new habitats in the marine environment. Similarly surprising are the microplastic fragments detected in human placentas, also evidencing the transfer of these waste through trophic relationships (Ragusa et al., 2021), as has already been demonstrated for heavy metals such as mercury.

Chemical pollution is also an emerging global problem associated with basic sanitation. The database of the American Chemical Society (CAS Databases, 2022) alone has more than 260 million records (CAS number), compiled since the first period of industrialization. Of this total, about 350,000 substances are currently marketed (Wang et al., 2020) and can therefore be considered potential contaminants, as wastewater and waste treatment systems differ in efficiency, making the pollution problem even more complex.



Seja pelos exemplos acima, ou por diversos outros que podem ser citados, o papel da biodiversidade em contribuir para o combate à fome depende profundamente de sua conservação. E a conservação da biodiversidade depende do combate às suas ameaças que variam de local para local, de sistema para sistema. Como exemplos é possível citar a poluição dos oceanos, o desmatamento ou o aquecimento global.

As metas 14.4, 14.6 e 14.b (United Nations, 2015c) dialogam com a necessidade de modificar a forma como a pesca vem sendo feita, considerando:

- 14.4 Até 2020, efetivamente regular a coleta e acabar com a sobrepesca ilegal, não reportada e não regulamentada, e as práticas de pesca destrutivas. Implementar planos de gestão com base científica para restaurar populações de peixes no menor tempo possível, pelo menos a níveis que possam produzir rendimento máximo sustentável, como determinado por suas características biológicas;
- 14.6 Até 2020, proibir certas formas de subsídios à pesca que contribuem para a sobrecapacidade e a sobrepesca. Eliminar os subsídios que contribuíam para a pesca ilegal, não reportada e não regulamentada, e abster-se de introduzir novos subsídios como estes, reconhecendo que o tratamento especial e diferenciado adequado e eficaz para os países em desenvolvimento e os países relativamente menos desenvolvidos deve ser parte integrante da negociação sobre subsídios à pesca da Organização Mundial do Comércio; e
- 14.b Proporcionar o acesso dos pescadores artesanais de pequena escala aos recursos marinhos e aos mercados.

Biodiversidade e saneamento básico (relacionado aos ODS 2, 3, 6 e 7)

No Brasil, o saneamento básico é definido pela Constituição Federal e regulamentado pela Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007), como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações

de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. O novo marco legal do saneamento básico promulgado em 2020 (Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020) (Brasil, 2020) define as atribuições do sistema e estabelece metas para garantia desses serviços a toda a população.

Dados mais recentes da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE (PNSB) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017) indicam que cerca de 85% dos domicílios são atendidos pela rede geral de abastecimento de água, enquanto apenas 68% dos domicílios apresentam esgotamento sanitário. Embora os dados possam ser discutidos em função da existência de aglomerados subnormais de habitação e ocupações irregulares, é indiscutível a situação deficitária do Brasil em relação ao saneamento básico, impactando diretamente os usos da água para o consumo e produção de alimentos (combate à fome, consumo e produção responsável, ODS 2 e 7, respectivamente).

Por outro lado, diarreia, disenteria bacteriana, hepatite, cólera e leptospirose figuram entre as principais doenças associadas à falta de saneamento, comprometendo também a saúde e o bem-estar (ODS 3).

Já a combinação da ineficiência com a insuficiência do sistema na coleta e tratamento de esgoto e resíduos sólidos resulta no lançamento dos mais diversos materiais antropogênicos no ambiente terrestre e aquático, desde patógenos a substâncias químicas, produzindo, assim, efeitos sobre a biodiversidade (ODS 14 e 15), afetando não apenas a saúde humana, como também a saúde dos ecossistemas.

Conforme já mencionado, o modelo econômico predatório com base na produção de bens de consumo é um vetor relevante no desenvolvimento de tecnologias para novos materiais e produtos das mais variadas aplicações, pressionando, assim, o ciclo da produção e consumo. Um exemplo disso é a problemática dos resíduos plásticos, que incluem desde partículas nanoplásticas (de tamanho entre 1 nm até 1 µm) até macroplásticas (tamanho acima de 200 mm)

Once in the environment, these chemicals can be available to all levels of organization of the biological spectrum. They produce toxic effects from the simplest to the most complex forms of life, ranging from organisms to effects on whole communities, thus compromising the structure and functioning of ecosystems. As a result, pollution becomes one of the main factors in the loss of biodiversity, along with climate change, habitat suppression, overfishing, and land use and occupation.

Therefore, the guarantee of an efficient and comprehensive sanitation system, as advocated in the new Brazilian legal framework, is essential to meet the targets proposed by the SDGs for biodiversity conservation.

Biodiversity and the generation of affordable and clean energy (related to SDG 7)

Affordable and clean energy is a crucial element for the transition to a low carbon economy, a context in which biodiversity also plays an important role. Among these roles is the generation of renewable and clean energy, which finds in the ocean a wealth of possibilities, such as wind, wave and tidal, thermal gradients and salinity.

The High-Level Panel for a Sustainable Ocean Economy proposes a resignification of the relationship between the ocean and society within the context of climate change. This includes three pillars: effective protection of nature, sustainable production, and equitable prosperity. This vision is associated with climate change mitigation and adaptation measures. For example, it is estimated that 40 times more renewable energy can be generated from the ocean by 2050, with the potential to contribute to a 20% cut in greenhouse gases emitted into the atmosphere. This is necessary to keep the temperature increase of the planet within the range of 1.5 °C, as established in the Paris Agreement (United Nations, 2015a)

Biodiversity, sustainable consumption and production (related to SDG 12)

Intensive and inadequate patterns of biodiversity use are one of the main factors that lead to the socioenvironmental crisis in which humanity currently finds itself. The responsibility for this situation does not rest solely on the shoulders of multinational corporations or large conglomerates. Production patterns based on extraction or transformation of natural resources (be they biological or mineral) have always been mostly unsustainable. However, given that the scale of exploitation based on extraction was relatively small until a few centuries ago, its levels of unsustainability did not pro-

duce a large impact on the resilience of ecosystems or on the recovery of natural landscapes. It was only when this scale expanded greatly that such impacts began to show themselves and to threaten the survival of our own species.

In the same way that small and large agents of extraction and transformation of natural resources contribute to the unsustainability of our pattern of use, consumers also share responsibility, since consumption far beyond the needs of survival fuels a cycle that leads to the exhaustion of available resources. Thus, it is no surprise that one of the main SDGs (SDG 12 - Responsible Consumption and Production) addresses the urgent need for measures that are capable of adjusting production and consumption patterns to sustainable levels within a short, and perhaps overly ambitious, timeframe.

Until the beginning of the next decade (2030), humanity must achieve a sustainable management and efficient use of natural resources (Goal 12.2). At the same time, it must reduce food waste, along its production and supply chains (Goal 12.3), cutting waste production and implementing reduction, recycling and reuse initiatives (RRR) (Goal 12.5). It is necessary for both public (Goal 12.7) and private sectors, especially large companies (Goal 12.6), to commit to such initiatives. There are doubts about our ability to achieve these goals by the year 2020, just as we have not tried to implement efficient ways to manage chemicals and waste that impact the environment (Target 12.4). At least in theory, all countries should develop and implement national plans for sustainable production and consumption, adjusting their development strategies (Goal 12.1) and widely informing their citizens regarding these issues (Goal 12.8⁸).

Evidently, the challenges to achieve all of these goals are enormous, even if they are intrinsically connected with the goals of other SDGs already considered. In most countries, including Brazil, there are no efficient mechanisms of socio-environmental governance through which it is feasible to promote a strong behavioral change that implies not only the modification of production and consumption patterns, but also the modification of wealth accumulation patterns and the benefits that result from them. Social, political and economic resistance is immense. However, impor-

te são considerados materiais onipresentes, sendo detectados em todos os compartimentos ambientais e níveis de organização biológica (MacLeod et al., 2021). Recentemente, fibras de microplástico foram detectadas em tecidos de anfípodos (pequenos crustáceos sem carapaça) coletados na Fossa das Marianas, a mais de 10 mil metros de profundidade, num dos locais mais profundos dos oceanos (Jamieson et al., 2019).

O acúmulo de plásticos nos oceanos, como a ilha de lixo do Pacífico, tem promovido a colonização de comunidades microbianas específicas a esses resíduos. Essas comunidades são definidas como plastisfera (Zettler et al., 2013), constituindo novos habitats no ambiente marinho. Similarmente surpreendente são os fragmentos de microplásticos detectados na placenta humana, evidenciando, também, a transferência desses resíduos através das relações tróficas (Ragusa et al., 2021), assim como já demonstrado para metais pesados, como o mercúrio.

A poluição por substâncias químicas também é um problema global emergente associado ao saneamento básico. Apenas a base de dados da Sociedade Americana de Química (CAS Databases, 2022) apresenta mais de 260 milhões de registros (CAS number), compilados desde o primeiro período de industrialização. Desse total, cerca de 350.000 substâncias são comercializadas atualmente (Wang et al., 2020) e podem ser consideradas, portanto, potenciais contaminantes, visto que os sistemas de tratamento de esgoto e resíduos diferem em termos de eficiência, o que torna ainda mais complexo o problema da poluição. Uma vez no ambiente, essas substâncias químicas podem estar disponíveis a todos os níveis de organização do espectro biológico, produzindo efeitos tóxicos desde as formas de vida mais simples até as mais complexas, atingindo desde organismos até efeitos em comunidades, comprometendo, assim, a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas. Com isso, a poluição se torna um dos principais fatores de perda de biodiversidade, ao lado das

(...) é indiscutível a situação deficitária do Brasil em relação ao saneamento básico, impactando diretamente os usos da água para o consumo e produção de alimentos (combate à fome, consumo e produção responsável, ODS 2 e 7, respectivamente).

mudanças climáticas, supressão de habitats, sobrepesca e uso e ocupação do solo

Portanto, a garantia de um sistema de saneamento eficiente e abrangente, como preconizado no novo marco legal brasileiro, é essencial para irmos ao encontro das metas propostas pelos ODS para a conservação da biodiversidade.

Biodiversidade e a geração de energia acessível e limpa (relacionado ao ODS 7)

Energia acessível e limpa é um elemento central para a transição para uma economia de baixo carbono, contexto no qual a biodiversidade também tem um papel importante. Dentre esses papéis, destaca-se a geração de energia renovável e limpa, que encontra no oceano um manancial de possibilidades, como a energia eólica, de ondas e marés, de gradientes térmicos e de salinidade.

O Painel de Alto Nível para a Economia Sustentável do Oceano propõe uma ressignificação da relação do oceano com a sociedade dentro do contexto das mudanças do clima, integrando três pilares: proteção efetiva da natureza, produção sustentável e prosperidade equitativa. Essa visão está associada às medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Por exemplo, estima-se que seja possível produzir 40 vezes mais energia renovável a partir do oceano

⁸ "Goal 12.8 - By 2030, ensure that people everywhere have the relevant information and awareness for sustainable development and lifestyles in harmony with nature." (United Nations, 2015c, p. 23).

ano até 2050, com potencial de contribuir com 20% da redução de gases de efeito estufa na atmosfera, necessária para manter o aumento de temperatura do planeta dentro do limite de 1,5 °C, conforme estabelece o Acordo de Paris (United Nations, 2015a).

Biodiversidade, consumo e produção sustentáveis (relacionado ao ODS 12)

O intenso e inadequado padrão de uso da biodiversidade é um dos principais fatores que nos levaram a este cenário de crise socioambiental em que se encontra a humanidade neste momento. E a responsabilidade por este padrão não está repousada apenas nos ombros das empresas multinacionais e grandes conglomerados. Os padrões de produção a partir da extração ou da transformação de recursos naturais (sejam eles biológicos ou minerais) sempre foram majoritariamente insustentáveis. Todavia, como a escala de exploração a partir da extração era relativamente pequena até poucos séculos atrás, os seus níveis de insustentabilidade não chegaram a exercer um impacto muito sensível na capacidade de resiliência dos ecossistemas e de recuperação das paisagens naturais. Somente quando esta escala se expandiu bastante é que tais impactos começaram a se mostrar e, como vemos, a ameaçar a sobrevivência de nossa própria espécie.

Do mesmo modo que pequenos e grandes agentes de extração e de transformação dos recursos naturais contribuem para a insustentabilidade do nosso padrão de uso, os consumidores também partilham de tal responsabilidade, na medida em que o consumo para muito além das necessidades de sobrevivência alimentam um ciclo que leva à exaustão dos recursos disponíveis. Deste modo, não é surpresa que um dos principais ODS (o 12, Consumo e Produção Responsáveis) trate da necessidade urgente de medidas que sejam capazes de ajustar os padrões de produção e consumo a níveis sustentáveis num prazo exíguo, e talvez demasiadamente ambicioso.

Até o início da próxima década (2030), a humanidade precisa alcançar um modo sustentável de gestão e uso eficiente dos

tant experiences are becoming increasingly known all over the world, including in Brazil, where governance systems are more effective, as well as the capacity to control production patterns. These examples are present especially when modes of governance are decentralized, when production and consumption scales are not too big, and when the various linkages in value chains can be monitored and held accountable over time.

The systems of extraction and processing of biological resources that are under the responsibility of more participatory and decentralized modes of governance have demonstrated encouraging degrees of success. These modes of governance include producers, local communities, consumers, and other social actors and interest groups, which are always legitimized as agents capable of making decisions, establishing forms of control, and sharing benefits more equitably along the chains.

Examples of this more responsible and sustainable use of biodiversity have been consolidated in various parts of the country, whether with examples of community management of fishing resources in the Amazon; or the extraction of non-timber forest resources by traditional populations in the Northeastern Caatinga or Cerrado; or in the adoption and implementation of community-based tourism in all our Biomes. There are numerous successful examples. Nearly all of these are small or medium scale experiences, which, even so, had an important impact on the resilience of the ecosystems in which they are inserted. The implementation of sustainable consumption and production patterns is essential to guarantee the conservation of biodiversity and natural and urban environments. At the same time, it is also a key factor to help control the climate, in achieving food and energy security for the planet, and to guarantee healthier conditions for human populations.

Biodiversity and climate regulation (related to SDG 13)

As previously noted, it is important to have a clear understanding that oceans, atmosphere and continents interact in an intense and dynamic way. For instance, it is possible to highlight the gas and heat exchanges between the ocean and the atmosphere. The dissolution of carbon dioxide in the ocean reduces the greenhouse effect caused by its significant increase in the atmosphere due to human activity. The ocean's role in warming the atmosphere in equatorial regions, and forming

clouds, allows the regulation of rainfall on the planet, including the formation of extreme events such as hurricanes.

However, this relationship also involves climate change impacts on biodiversity. According to the summary of the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, the main effects of climate change include alterations to relative sea level, flooding, erosion of beaches, heat waves and changes in temperature, salinity, pH, and oxygen dissolved in sea water. These changes have varying consequences on biodiversity and on the benefits generated by nature for people, including socio-economic activities. As an example, sea level rise and flooding leads to losses of assets such as public and private properties, infrastructure (roads), and tourism spaces such as beaches. On the other hand, the erosion of beaches, associated with the narrowing of the coastline, will bring enormous losses to important economic and subsistence activities, such as tourism and fishing. The migration of fish species towards the poles weakens fishermen with low mobility. The compromise of coral reefs by the combined effect of seawater warming and pollution jeopardizes the recovery of fish stocks and tourism.

Understanding the natural phenomena and processes and improving the ability to predict the impacts of climate change in order to mitigate its socioeconomic effects is, therefore, strategic and urgent, as recommended by the latest report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2022) and by the National Plan for Adaptation to Climate Change.

Because of the relationship between biodiversity and climate, nature-based solutions have an important potential for implementing climate change mitigation and adaptation measures. One of these benefits is related to carbon capture and storage. Thus, an important climate change adaptation strategy is to ensure that the carbon stored in biodiversity is maintained or enhanced, which leads to the need to maintain the quality and functioning of vegetated environments. As such, the protection of forested areas and the restoration of degraded areas must be promoted (ex.: Goals 14.1, 14.2, 14.5, 15.1, 15.2, 15.3, 15.4 and 15.5). Similarly, the more effective establishment and management of protected areas should be sought, identifying and combatting threats to biodiversity that undermine the environment in the face of climate change. Healthy environments can accommodate the impacts

recursos naturais (Meta 12.2), mas também reduzir o desperdício de alimentos ao longo de suas cadeias de produção e abastecimento (Meta 12.3), reduzir a produção de resíduos e implementar ações de redução, reciclagem e reúso (RRR) (Meta 12.5). Tanto o setor público (Meta 12.7) quanto o privado, em especial as grandes empresas (Meta 12.6), precisam se comprometer neste sentido. Há dúvidas sobre a nossa capacidade de alcançar estas metas, do mesmo modo que não conseguimos implementar formas eficientes de manejar produtos químicos e resíduos que impactam o meio ambiente até o ano de 2020 (Meta 12.4). Ao menos em tese, todos os países deveriam desenvolver e implementar planos nacionais para produção e consumo sustentáveis, ajustando suas estratégias de desenvolvimento (Meta 12.1) e informando amplamente suas populações a respeito destas questões (Meta 12.8⁸).

Como se pode perceber, os desafios para alcançar todas estas metas são enormes, ainda que elas estejam tão intrinsecamente ligadas às metas de outros ODS já discutidos aqui. Na maior parte dos países, incluindo o Brasil, inexistem mecanismos eficientes de governança socioambiental através dos quais seja factível promover uma forte mudança comportamental que implique não apenas na modificação dos padrões de produção e consumo, como também nos padrões de acumulação de riquezas e benefícios que decorrem daqueles. As resistências sociais, políticas e econômicas são gigantescas. Todavia, são cada vez mais conhecidas experiências importantes em todo o mundo, inclusive no Brasil, nas quais os sistemas de governança são mais efetivos, bem como a capacidade de controle sobre os padrões de produção. Estas experiências se desenvolvem especialmente quando os modos de governança são descentralizados, quando a escala de produção

e consumo não são muito grandes e quando os diversos elos das cadeias de valor podem ser monitorados e responsabilizados ao longo do tempo.

Os sistemas de extração e beneficiamento de recursos biológicos que estão sob a responsabilidade de modos de governança mais participativos e descentralizados vêm demonstrando graus animadores de sucesso. Estes modos de governança incluem produtores, comunidades locais, consumidores e demais atores sociais e grupos de interesse, sempre legitimados como agentes capazes de tomar decisões, efetivar formas de controle e partilhar os benefícios de forma mais equânime ao longo das cadeias. Exemplos desta forma mais responsável e sustentável de uso da biodiversidade vem sendo consolidados em várias partes do país, seja com exemplos de manejo comunitário de recursos pesqueiros na Amazônia, seja na extração de recursos florestais não madeireiros por populações tradicionais na Caatinga nordestina ou no Cerrado, seja na adoção de implementação de turismo de base comunitária em todos os nossos Biomas. São inúmeros os exemplos bem-sucedidos. Quase todas estas são experiências de escala pequena ou média, mas que, ainda assim, foram capazes de exercer importante impacto na resiliência dos ecossistemas em que estão inseridas.

Se, por um lado, a implementação de padrões de produção e consumo sustentáveis é essencial para garantir a conservação da biodiversidade e dos ambientes naturais e urbanos, por outro lado é um dos fatores-chave para ajudar no controle climático, no alcance da segurança alimentar e energética do planeta, e na garantia de condições mais saudáveis para as populações humanas.

Biodiversidade e a regulação do clima (relacionado ao ODS 13)

Como já comentado anteriormente, é fundamental que tenhamos uma clara compreensão de que oceano, atmosfera e continentes interagem de forma intensa e dinâmica. Como exemplo, é possível apontar as trocas de calor e gases entre oceano e atmosfera.

⁸ “Meta 12.8 – Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza” (United Nations, 2015c, p. 23).

A dissolução do gás carbônico no oceano reduz o efeito estufa causado pelo seu aumento significativo na atmosfera em função das atividades humanas. O papel do oceano em aquecer a atmosfera nas regiões equatoriais, e formar nuvens, permite a regulação das chuvas no planeta, incluindo a formação de eventos extremos como furacões.

Mas essa relação também envolve os impactos causados pelas mudanças climáticas na biodiversidade. Segundo o Sumário do Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, os principais efeitos das mudanças climáticas compreendem a alteração do nível relativo do mar, inundações, erosão das praias, ondas de calor e alterações na temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido na água do mar. Essas alterações possuem consequências variadas sobre a biodiversidade e sobre os benefícios gerados pela natureza para as pessoas, incluindo as atividades socioeconômicas.

Como exemplo, o aumento do nível do mar e as inundações geram perdas de ativos, como propriedades públicas e privadas, infraestrutura (estradas) e espaços para turismo, como as praias. Por outro lado, a erosão de praias, associada ao estreitamento da linha de costa, trará enormes prejuízos para importantes atividades econômicas e de subsistência, como o turismo e a pesca. Já a migração de estoques de pescado em direção aos polos fragiliza pescadores de baixa mobilidade. O comprometimento dos recifes de coral pelo efeito conjunto do aquecimento da água do mar e da poluição compromete a recuperação de estoques pesqueiros e o turismo.

Compreender os fenômenos e os processos naturais e aprimorar a capacidade de previsão dos impactos das mudanças climáticas de forma a atenuar seus efeitos socioeconômicos é, portanto, estratégico e urgente, como preconizado pelo último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022) e pelo Plano Nacional de Adaptação às Mudanças do Clima.

Em função da relação entre a biodiversidade e o clima, soluções baseadas na natureza têm um importante potencial para implementação de medidas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Um desses benefícios diz respeito ao sequestro e estocagem de carbono. Assim, uma importante estratégia de adaptação às mudanças do clima é garantir que o carbono estocado na biodiversidade seja mantido ou ampliado, o que leva à necessidade da manutenção da qualidade e do funcionamento de ambientes vegetados. Portanto, deve-se promover a proteção de áreas florestais e a recuperação de áreas degradadas (ex. Metas 14.1, 14.2, 14.5, 15.1, 15.2, 15.3, 15.4 e 15.5). De forma semelhante, uma melhor efetividade na criação e gestão de Áreas Protegidas deve ser buscada, identificando e combatendo as ameaças à biodiversidade que fragilizam o ambiente frente às mudanças climáticas. Ambientes saudáveis podem acomodar os impactos das alterações no clima, em especial eventos climáticos extremos. Assim, melhorar a saúde ambiental (ou reduzir suas comorbidades) é uma importante estratégia de adaptação que pode promover múltiplos benefícios ambientais, sociais e econômicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Está cada vez mais evidente a interdependência entre o bem-estar e a saúde humana e a qualidade do ambiente em que vivemos, sendo esse o foco de novas linhas de pesquisa, como a da “saúde planetária” e da “saúde única”. Nesse âmbito, um ambiente mais saudável e biodiverso tem maior potencial de prover serviços ecossistêmicos que beneficiem as pessoas, sejam estes bens materiais (como madeira, água, frutos, fibras, etc.), serviços de regulação (como os climáticos, hídricos, de polinização ou controle de pragas, entre outros), ou culturais/recreacionais. Viver em “equilíbrio com a natureza” significa respeitar os outros seres vivos e conviver de forma harmônica e sinérgica com as outras espécies e nosso planeta.

of climate change, especially extreme climate events. Therefore, improving environmental health (or reducing its comorbidities) is an important adaptation strategy that can lead to multiple social, economic, and environmental benefits.

FINAL CONSIDERATIONS

The interdependence between human well-being and health and the quality of the environment we live in is increasingly clear. Therefore, this is the focus of new lines of research including “planetary health” and “one health”. In this context, a healthier, more biodiverse environment has a greater potential to provide ecosystem services that benefit people, whether through material resources (such as wood, water, fruit, fiber, etc.), regulation services (such as climate, water, pollination or pest control, among others), or cultural/recreational. Living in “harmony with nature” means respecting other living beings and harmoniously and synergistically co-existing with other species on our planet.

Given that biodiversity underpins a wide range of ecosystem services that benefit us, biodiversity should be understood as an asset for sustainable development and for our well-being, and not just something to be conserved and separated from (or from the interferences of) human society.

“Win-win” situations, in which both the environment and people are benefited, should be the rule, not the exception. More biodiverse agricultural landscapes are more resilient to pests, and more productive and less expensive to maintain. Coastal regions that maintain their interface ecosystems (such as Mangroves and Restingas) are more protected from the effects of floodings and support more diverse and abundant fish populations, thereby benefiting fishing activities. Cities with ample green and blue infrastructure are more resilient to climate change and benefit the health of their populations in many ways. Clearly, biodiversity is part of the solutions for sustainable development, and not just an end in itself.

The inclusion of biodiversity in public policies focused on socioenvironmental resilience and sustainability should be a priority. To this end, it is necessary to consider cross-cutting policies, beyond the “environmental”, to adequately deal with the “socio environmental” dimension. This does not mean no longer conserving biodiversity for its intrinsic value, creating and maintaining protected areas (for ex-

ample), but that we must expand our horizons of action, looking in greater detail at interactions between biodiversity and different dimensions of sustainability: climate, water, food, energy, or health.

These cross-cutting public policies mean that biodiversity should not only be the object of interest of environmental agencies, but something that must be inserted in agriculture, fishing, health, climate, and water policies, as well as in urban planning directives, agroecological zoning, and coastal planning, among others. These transversal and inclusive policies need to be thought out by interdisciplinary teams, including different ministries or secretaries, in participatory processes that promote the engagement of the population most directly affected, or potentially benefited.

In practice, the process is complex, because it involves multiple, frequently conflicting interests. This requires political decisions that theoretically should seek consensus and the general well-being of the population. The relevant point, however, is that there are many synergies to be exploited, given that actions promoting greater biodiversity also increase climate resilience, enhance water security, make our landscapes productive and our cities more sustainable. These actions are based predominately on good land planning, which means maintaining a minimum of native vegetation coverage (~30%) in productive areas and preserving the more sensitive areas (for instance, steeper slopes, riverbank areas, ecotones). Use should only be intensified in favorable areas, balancing demand or exploitation according to the supply capacity of landscapes.

In this context, Brazil has a privileged role on the global stage, since it still maintains nearly two thirds of its native vegetation, contains extensive biodiversity, has great potential for clean energy generation (solar, wind or based on biomass), has ample water resources and a favorable climate for productive and diversified agriculture. Thus, there are many possibilities to conserve biodiversity and take advantage of this important asset to promote sustainability in its multiple dimensions. This allows us to move towards a transformed economy, generating wealth in harmony with native vegetation and its biodiversity, rather than to its detriment.

Considerando que a biodiversidade potencializa uma ampla gama de serviços ecossistêmicos que nos beneficia, a biodiversidade deveria ser entendida como um ativo para o desenvolvimento sustentável e para o nosso bem-estar, e não apenas algo a ser conservado e apartado do convívio (ou das interferências) da sociedade.

Situações de “ganha-ganha”, em que tanto a ambiente quanto as pessoas são beneficiadas, deveriam ser a regra, e não a exceção: paisagens agrícolas mais biodiversas são mais resilientes a pragas, mais produtivas e menos custosas de serem mantidas; regiões costeiras que mantêm seus ecossistemas de interface (como os manguezais e as restingas) estão mais protegidos dos efeitos das ressacas e sustentam populações de peixes mais diversas e abundantes, beneficiando a atividade pesqueira; cidades com ampla infraestrutura verde e azul são mais resilientes às mudanças climáticas e beneficiam de diversas formas a saúde de suas populações. Nitidamente, a biodiversidade é parte das soluções para o desenvolvimento sustentável, e não apenas um fim por si só.

A inserção da biodiversidade em políticas públicas voltadas para a sustentabilidade e resiliência socioambiental deveria ser uma prioridade. Para tanto, é necessário pensar em políticas transversais, para além do “ambiental”, para de fato lidar com o “socioambiental”. Isso não significa deixar de conservar a biodiversidade por seu valor intrínseco, criando e mantendo unidades de conservação (por exemplo), mas, sim, expandir os horizontes de ação, olhando com mais detalhes as interações da biodiversidade com as diferentes dimensões da sustentabilidade: climática, hídrica, alimentar, energética ou de saúde.

Essas políticas públicas transversais significam que a biodiversidade não deveria ser apenas objeto de interesse dos órgãos ambientais, mas sim algo que deve estar inserido nas políticas de agricultura, pesca, saúde, clima, água, assim como nos pla-

nos diretores urbanos, nos zoneamentos agroecológicos, no planejamento costeiro, entre outros. Essas políticas transversais e inclusivas precisam ser pensadas por equipes interdisciplinares, abrangendo diferentes ministérios ou secretarias, em processos participativos, que promovam o engajamento da população mais diretamente afetada, ou potencialmente beneficiada.

Na prática, o processo é complexo, pois envolve múltiplos interesses, muitas vezes conflituosos. Isso requer decisões políticas que, teoricamente, deveriam buscar o consenso e o bem-estar geral da população. O relevante, no entanto, é que existem muitas sinergias a serem exploradas, dado que ações que promovem maior biodiversidade são também as mesmas que aumentam nossa resiliência climática, ampliam nossa segurança hídrica, tornam nossas paisagens produtivas e nossas cidades mais sustentáveis. Essas ações estão baseadas, em grande parte, num bom planejamento territorial, o que significa manter uma cobertura mínima de vegetação nativa (~30%) em áreas produtivas, preservar as áreas mais sensíveis (por exemplo, encostas mais íngremes, áreas ribeirinhas, ecótonos), intensificar o uso apenas em áreas propícias e equilibrar a demanda, ou o uso, à capacidade de oferta das paisagens.

Neste contexto, o Brasil tem um papel privilegiado no cenário mundial, pois ainda preserva praticamente dois terços de sua vegetação nativa, contém uma altíssima biodiversidade, tem grande potencial de geração de energia limpa (solar, eólica ou baseada em biomassa), amplos recursos hídricos e clima propício para uma agricultura produtiva e diversificada. Há, assim, muitas possibilidades de manter a biodiversidade e de se aproveitar desse importante ativo para promover a sustentabilidade nas suas múltiplas dimensões, além de caminhar para uma nova economia, gerando riquezas a partir da vegetação nativa e de sua biodiversidade, e não em detrimento dela.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

- Biodiversity Information Standards. (2022). *Darwin Core*. <https://dwc.tdwg.org/>.
- Brasil. (2007, 05 de janeiro). Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- Brasil. (2020, 15 de julho). Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.
- Canhos, D. A. L., Sousa-Baena, M. S., de Souza, S., Maia, L. C., Stehmann, J. R., Canhos, V. P., De Giovanni, R., Bonacelli, M. B. M., Los, W., & Townsend Peterson, A. (2015). The importance of biodiversity E-infrastructure for megadiverse countries. *PLoS Biology*, 13(7), e1002204. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.1002204>.
- CAS Databases. (2022). <https://www.cas.org/support/documentation/cas-databases>.
- Convention on Biological Diversity. (2022). *Post-2020 Global Biodiversity Framework*. <https://www.cbd.int/article/draft-1-global-biodiversity-framework>.
- Fernandes, E. S., Passos, G. F., Medeiros, R., Cunha, F. M., Ferreira, J., Campos, M. M., Pianowski, L. F., & Calixto, J. B. (2007). Anti-inflammatory effects of compounds alpha-humulene and (-)-trans-caryophyllene isolated from the essential oil of *Cordia verbenacea*. *European Journal of Pharmacology*, 569, 228-236.
- Global Biodiversity Information Facility. (2022). <https://www.gbif.org>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change—IPCC. (2022). *IPCC Sixth Assessment Report (AR6)*. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística—IBGE. (2017). PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=destaques>.
- Jamieson, A. J., Brooks, L. S. R., Reid, W. D. K., Piernney, S. B., Narayanaswamy, B. E., & Linley, T. D. (2019). Microplastics and synthetic particles ingested by deep-sea amphipods in six of the deepest marine ecosystems on Earth. *Royal Society Open Science*, 6, 180667. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.180667>.
- Joly, C. A., Haddad, C. F. B., Verdade, L. M., Oliveira, M. C., & Bolzani, V. S. (2009). Science plan & strategies for the next decade. BIOTA/FAPESP. <https://www.biota.org.br/wp-content/uploads/2021/08/BIOTA-10-DRAFT-Science-Plan-.pdf>.
- Joly, C. A., Scarano, F. R., Bustamante, M., Gadda, T. M. C., Metzger, J. P., Seixas, C. S., Ometto, J. P. H. B., Pires, A. P. F., Boesing, A. L., Sousa, F. D. R., Quintão, J. M. B., Gonçalves, L. R., Padgurschi, M. P. C., Aquino, M. F. S., Castro, P. F. D., & Santos, I. L. (2019). Brazilian assessment on biodiversity and ecosystem services: Summary for policy makers. *Biota Neotropica*, 19, e20190865. <http://dx.doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0865>.
- Lewinsohn, T. (2020). A biodiversidade explicada em 8 pontos. NEXO Políticas Públicas. <https://pp.nexojornal.com.br/perguntas-que-a-ciencia-ja-respondeu/2020/A-biodiversidade-explicada-em-8-pontos>.
- MacLeod, M., Arp, H. P. H., Tekman, M. B., & Jahnke, A. (2021). The global threat from plastic pollution. *Science*, 373, 61-65.
- Magalhães, L. A. M., Lima, M. P., Marinho, H. A., & Ferreira, A. G. (2007). Identificação de bergenina e carotenóides no fruto de uchi (*Endopleura uchi*, Humiriaceae). *Acta Amazonica*, 37(3), 447-450.
- MapBiomias. (2022). <https://mapbiomas.org>.
- Marchart, E., Krenn, L., & Kopp, B. (2003). Quantification of the flavonoid glycosides in *Passiflora incarnata* by capillary electrophoresis. *Planta Medica*, 69(5), 452-456.
- Marques, M. C. M., & Grelle, C. E. V. (2021). *The Atlantic Forest*. Springer International Publishing.
- Minatel, D. G., Pereira, A. M. S., Chiaratti, T. M., Pasqualin, L., Oliveira, J. C. N., Couto, L. B., Lia, R. C. C., Cintra, J. M., Bezzon, M. F. A., & Franca, S. C. (2010). Clinical study for the validation of the efficacy of ointment containing barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville) on healing of decubitus ulcers. *Revista Brasileira de Medicina*, 67, 250-256.
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B., & Worm, B. (2011). How many species are there on earth and in the ocean? *PLoS Biology*, 9, e1001127. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>.
- Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2020). Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/1981 to 09/2019. *Journal of Natural Products*, 83(3), 770-803.
- Nugroho, L. H., & Verpoorte, R. (2004). Secondary metabolism in tobacco. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 68, 105-125.
- Obrecht, A., Pham-Truffert, M., Spehn, E., Payne, D., Bremond, A., Altermatt, F., Fischer, M., Passarello, C., Moersberger, H., Schelske, O., Guntern, J., Prescott, G. W., & Geschke, J. (2021). Achieving the SDGs with biodiversity (Vol. 16, No. 1, 12 p.). Switzerland: Swiss Academies Factsheet.
- Piccirillo, E., & Amaral, A. T. A. (2018). Busca virtual de compostos bioativos: Conceitos e aplicações. *Química Nova*, 41(6). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170210>.
- Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. (2019). Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil. https://www.bpbes.net.br/wp-content/uploads/2019/03/BPBES_CompletoPolinizacao-2.pdf.
- Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. (2022). <https://www.bpbes.net.br/>.
- Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade—BIOTA/FAPESP. (2022a). <https://www.biota.org.br>.
- Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade—BIOTA/FAPESP. (2022b). <https://revistapesquisa.fapesp.br/politicas-para-a-natureza/>.
- Programa de Pesquisas em Caracterização, Conservação, Restauração e Uso Sustentável da Biodiversidade—BIOTA-FAPESP. (2022c). Plano estratégico de ação do programa BIOTA/FAPESP. FAPESP.
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021). Placentata: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>.
- Stockholm Resilience Centre. (2014). *Sustainable development goals: The SDGs wedding cake*. <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-how-food-connects-all-the-sdgs.html>.
- United Nations. (2015a). The Paris Agreement. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>.

- United Nations. (2015b). *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. A/RES/70/1*. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>.
- United Nations. (2015c). *Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015*. <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/pdf/N1529189.pdf?OpenElement>.
- Valli, M., & Bolzani, V. S. (2019). Natural products: perspectives and challenges for use of Brazilian plant species in the bioeconomy. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(Suppl. 3), e20190208.
- Valsecchi, J., Marmontel, M., Franco, C. L. B., Cavalcante, D. P., Cobra, I. V. D., Lima, I. J., Lanna, J. M., Ferreira, M. T. M., Nassar, P. M., Botero-Arias, R., & Monteiro, V. (2017). *Atualização e composição da lista – Novas Espécies de Vertebrados e Plantas na Amazônia 2014-2015*. Ed. Iniciativa Amazônia Viva da Rede/WWF/IDSM.
- Wang, Z., Walker, G. W., Muir, D. C. G., & Nagatani-Yoshida, K. (2020). Toward a global understanding of chemical pollution: A first comprehensive analysis of national and regional chemical inventories. *Environmental Science & Technology*, 54(5), 2575-2584.
- World Health Organization. (2020). <https://www.who.int/initiatives/who-global-centre-for-traditional-medicine>.
- Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the “Plastisphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science & Technology*, 47(13), 7137-7146.

Capítulo 4

Desafios da segurança alimentar global e equilíbrio ambiental

Chapter 4

Challenges for global food security and environmental balance

INTRODUÇÃO

O conceito de Segurança Alimentar é dinâmico, usado para indicar diferentes situações e tem passado por atualizações constantes para refletir diferentes pensamentos políticos. O termo surgiu nos anos 1970, quando a World Food Conference de 1974 definiu segurança alimentar como a garantia de disponibilidade e

estabilidade de preço de alimentos básicos. Em 1983, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) adicionou a essa definição o componente de acessibilidade física e econômica aos alimentos básicos, estabelecendo o equilíbrio entre demanda e fornecimento. Em 1986, incorporou-se uma distinção entre insegurança alimentar crônica, associada à pobreza e baixa renda, e insegurança alimentar transitória, causada por desastres naturais, colapsos econômicos ou conflitos. Na World Food Summit de 1996, a natureza multidimensional da segurança alimentar foi reconhecida, incluindo acesso, disponibilidade, valor nutricional, utilização e estabilidade dos alimentos na definição. Mais recentemente, a Organização Mundial da Saúde (OMS) incluiu o aspecto social e o conceito de sustentabilidade, ou seja:

INTRODUCTION

The concept of Food Security is dynamic, used to point out different situations, being constantly updated to reflect different political perspectives. The term emerged in the 1970s, when the 1974 World Food Conference defined food security as ensuring the availability and price stability for basic foods, both nationally and internationally. In 1983, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) added to this definition the component of physical and economic accessibility to basic food, establishing a balance between demand and supply. In 1986, a distinction was made between chronic food insecurity, associated with poverty and low income, and transient food insecurity - caused by natural disasters, economic collapses, or conflicts. At the 1996 World Food Summit, the multidimensional nature of food security was recognized, and included access, availability, nutritional value, use and stability of food in the definition. Recently, the

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000004>

 Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

autores/authors

Bernadette Dora Gombossy de Melo Franco¹
Elíbio Leopoldo Rech Filho²
Roberto Rodrigues³
Marcos Heil Costa⁴
Lucas William Mendes¹

¹ Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

² Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Embrapa), Brasil.

³ Fundação Getúlio Vargas (FGV), Brasil.

⁴ Universidade Federal de Viçosa (UFV), Brasil.





World Health Organization (WHO) included the social aspect and the concept of sustainability, which is:

Food security exists when all people, at all times, have physical, social, and economic access to sufficient, safe, and nutritious food which meets their dietary needs and food preferences for an active and healthy life. Household food security is the application of this concept to the family level, with individuals within households as the focus of concern (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002, Official Concepts of Food Security).

At the beginning of the 21st century, the United Nations (UN), whose main objective is the defense of global peace and prosperity, released a study showing

Segurança alimentar é a condição em que a população tem acesso físico, contínuo e econômico a alimentos seguros, em quantidades adequadas para atender suas preferências alimentares e as necessidades nutricionais para uma vida ativa e saudável, tendo como bases práticas alimentares promotoras de saúde, que respeitem a diversidade cultural e que sejam social, econômica e ambientalmente sustentáveis (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002, Official Concepts of Food Security).

No início do século XXI, a Organização das Nações Unidas (ONU), cujo objetivo precípua é a defesa da paz e prosperidade mundial, divulgou um estudo mostrando que o grande desafio para o novo século seria garantir segurança alimentar para uma população crescente em todo o

mundo, sem prejudicar os recursos naturais existentes. Ainda segundo a ONU, a população mundial deverá aumentar em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, atingindo 9,7 bilhões de habitantes em 2050, estimando-se que a produção global de alimentos deverá aumentar em 60% a 70%, ou até 100% a 110%, segundo alguns autores, como Tilman et al. (2011). Para atender a essa demanda, o aumento na produção agrícola deverá ocorrer em áreas onde as condições climáticas são mais adversas e a qualidade do solo e a disponibilidade de água são limitadas. É evidente que, se o modelo de desenvolvimento agropecuário a ser seguido continuar como o atual, ameaças à disponibilidade de água, energia e outros recursos críticos deverão surgir, com comprometimento da biodiversidade e do provimento de serviços ecossistêmicos, ou seja, dos



benefícios gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais. O setor produtivo de alimentos tem dado importantes contribuições à agenda ambiental, como redução da emissão de gases de efeito estufa através de investimentos em pesquisa e inovação, uso racional dos recursos naturais e estímulo à adoção de práticas sustentáveis, bem como ações rumo a uma economia de baixo carbono, baseada em transição energética, mercado de carbono, economia circular e conservação florestal (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 2021). Falhas em qualquer destes elementos significam riscos reais de intensificar crises econômicas, ecológicas e sociais, gerando um potencial de emergências humanitárias em escala global, o que comprova que alimentar quase 10 bilhões de pessoas de forma adequada e sustentável é, sem dúvida, o maior desafio que a humanidade enfrenta atualmente. Portanto, um novo modelo de produção e consumo de alimentos é essencial para a paz e prosperidade global.

O tema segurança alimentar não tem sido priorizado, em função de que a oferta global

de alimentos pode ser considerada adequada, creditando-se a persistência da fome e pobreza, falta de renda, desigualdades sociais e deficiências estruturais nas políticas públicas para acesso aos alimentos. Entretanto, a recente pandemia de covid-19 teve um papel importante no aumento da preocupação com a segurança alimentar e sustentabilidade em nível global, evidenciando que nem todos os países são capazes de garantir segurança alimentar aos seus habitantes. O protecionismo no mercado de alimentos em alguns países decorrente da pandemia afetou as regras do comércio agrícola internacional. Assim, a pandemia deixou explícito que segurança alimentar é um importante elemento para a manutenção da estabilidade política e social no planeta.

A garantia da segurança alimentar em nível global depende do aproveitamento adequado dos avanços científicos e tecnológicos na agricultura e da redução de perdas e desperdício, com hábitos alimentares mais saudáveis, manutenção do equilíbrio ambiental e sustentabilidade, de forma integrada (Figura 1).

As últimas estatísticas globais indicam que a produção global de culturas agrícolas

that the greatest challenge for the next century would be to ensure food security for a growing global population, without harming existing natural resources. Still, according to the UN, global population will increase by 2 billion people over the next thirty years, reaching 9.7 billion inhabitants by 2050. It is estimated that global food production will increase by 60% to 70%, or even 100% to 110% according to some authors, such as Tilman et al. (2011). To meet this demand, growth in agricultural production must take place in areas where climatic conditions are less favorable and soil quality and water availability are limited. The current model for agricultural development poses threats to water and energy availability as well as to other vital resources, harming biodiversity and the provision of ecosystem services, that is, the benefits generated by ecosystems to maintain, restore and improve environmental conditions. The food production sector has made significant contributions to the environmental agenda, such as a reduction in greenhouse gas emissions by means of investment in research and innovation, rational use of natural resources and encouragement of sustainable practices. Additionally, measures seeking a low-carbon economy, based on energy transition, carbon market, circular economy and forest conservation have also been adopted (Associação Brasileira da Indústria de Alimentos, 2021). Failure in any one of these aspects implies actual risks of intensifying economic, ecological, and social crises, leading to potential humanitarian emergencies on a global scale, which proves that feeding nearly 10 billion people in an adequate and sustainable way is, without a doubt, the biggest challenge currently faced by humankind. Therefore, a new food production and consumption model is crucial for global peace and prosperity.

Since global food supply is possibly considered adequate, the issue of food security has not been prioritized, with ongoing hunger being attributed to poverty, lack of income, social inequality and structural shortcomings of public policies for access to food. However, the recent COVID-19 pandemic played an important role in increasing concerns regarding food security and sustainability at a global level, highlighting that not all countries are capable of ensuring food security for their citizens. Because of the pandemic, protectionism in the food market in some countries has affected the rules of international agricultural trade. Thus, the pan-

UM PLANETA MENOS PREVISÍVEL

A LESS PREDICTABLE PLANET

- Quantidade e qualidade limitada e decrescente dos recursos naturais
Limited and decreasing amount and quality of natural resources
- Eventos climáticos extremos cada vez mais instáveis
Increasingly unstable and extreme weather events
- Diminuição da biodiversidade
Decreasing biodiversity
- Aumento da virulência de micro-organismos e parasitas e da resistência a antimicrobianos
Increasing virulence of microorganism and parasites, and increased antimicrobial resistance
- Aumento da demanda do consumidor por credenciais ambientais e sociais
Increasing consumer demand for environmental and social credentials

SAÚDE EM MENTE

HEALTH ON THE MIND

- Envelhecimento da população
Aging population
- Aumento das doenças crônicas
Rise in chronic illness
- Aumento da consciência social sobre saúde e bem-estar
Increasing social awareness for improved health and wellbeing
- Aumento da demanda por alimentos que visam resultados holísticos (corpo + mente) de saúde e bem-estar
Increasing demand for food products that target holistic (mind + body) health and wellbeing outcomes

CADEIAS MAIS INTELIGENTES DE ALIMENTOS

SMARTER FOOD CHAINS

- Demanda global crescente por alimentos
Rising global food demand
- Preocupações com a segurança alimentar
Food security concerns
- Ascensão de big data e data analysis
Rise of big data and data analysis
- Aumento da conectividade digital e uso de soluções de e-commerce
Increasing digital connectedness and use of e-commerce solutions
- Cadeias de valor verticalmente integradas, descentralizadas, não lineares e mais ágeis
Vertically integrated, decentralised, non-linear and more agile value chains

UM ÚNICO MUNDO

ONE WORLD

- Cadeias de valor cada vez mais conectadas
Increasingly connected global value chains
- Maior exposição a alimentos e bebidas de outros locais e culturas
Greater exposure to foods and beverages from other regions and cultures
- Maior concorrência internacional
Greater international competition
- Mais riscos de biossegurança
Increased biosecurity risks
- Maior suscetibilidade a problemas de abastecimento
Greater susceptibility to supply shocks

CONSUMIDORES MAIS EXIGENTES

CHOOSEY CUSTOMERS

- Classe média asiática crescente e mais rica
Rising wealth and Asian middle class
- Urbanização
Urbanisation
- Aumento da demanda por conveniência, consumo fora do lar e novas experiências com alimentos
Greater demand for convenience, out-of-home consumption, food-based experiences and customised offerings
- Aumento da demanda por informações sobre origem e declarações precisas do vendedor
Increasing demand for provenance information and accurate vendor claims
- Consumidores mais dispostos a mudanças
Greater consumer willingness to switch

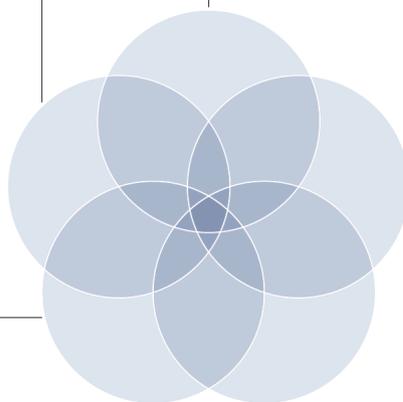


Figura 1. Principais motivadores e impactos das tendências globais em alimentos e agricultura.

Fonte: Esta “Figura 1” é derivada de “Fig. 2” por Cole et al. (2018), originalmente publicada sob a licença CC BY 4.0 com indicação de “Adaptada de Hajkowicz & Eady (2015); CSIRO Futures (2017)”. Esta “Figura 1” é licenciada sob CC BY 4.0.

Figure 1. Main drivers and impacts of global tendencies in food and agriculture

Source: This “Figure 1” is a derivative of “Fig. 2” by Cole et al. (2018), originally published under CC BY 4.0 with the following note: “Adapted from Hajkowicz & Eady (2015); CSIRO Futures (2017)”. This “Figure 1” is licensed under CC BY 4.0.

cresceu 53% entre 2000 e 2019 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Nesse mesmo período, a produção de óleos vegetais cresceu 118%, e a produção de carne aumentou 44%. Enquanto isso, a quantidade de pessoas subnutridas ou desnutridas subiu em 160 milhões entre 2014 e 2020, a obesidade aumentou em todos os continentes, e o índice global de preços de alimentos mais que dobrou entre 2000 e 2020. Combinados, esses números indicam um aumento da demanda maior que o da oferta, e uma crescente má distribuição dos alimentos no mundo.

Por outro lado, a sustentabilidade tornou-se um ponto essencial nos seus três pilares: o social, o econômico e o ambiental (Figura 2). A ênfase no pilar ambiental vem aumentando fortemente nas últimas décadas, transformando-se em uma demanda global, sobretudo entre os jovens.

Tanto segurança alimentar quanto sustentabilidade na produção de alimentos são assuntos relacionados à agropecuária, prioritariamente à agropecuária tropical, na América Latina, na África subsaariana

e nos países do Sul da Ásia. Nesse cinturão tropical do planeta ainda existe área suficiente a ser incorporada aos sistemas produtivos e muito potencial para o aumento da produtividade com a introdução de novas tecnologias. Entretanto, a incorporação de novas áreas ao sistema produtivo normalmente está associada ao desmatamento e à emissão de gases de efeito estufa, não se configurando como uma atividade sustentável no longo prazo. Embora alguns autores considerem que as tendências de longo prazo de aumento da produtividade agrícola sejam insuficientes para dobrar a produção agrícola global até 2050 (Ray et al., 2013), esse argumento desconsidera uma importante característica da agricultura tropical: a capacidade de produzir duas ou, em alguns casos, até três safras ao ano.

A descarbonização, as mudanças climáticas e os recorrentes eventos extremos ligados ao clima (secas, geadas, furacões) são temas frequentes em debates internacionais, tais como a Conferência do Clima 2021 (COP 26), em Glasgow, Escócia, onde foi reafirmado que as soluções pa-

demio made clear that food security is an important aspect for political and social stability on the planet.

Ensuring food security globally depends on the adequate use of technological and scientific advances in agriculture and on a reduction of loss and waste, by adopting healthier eating habits and maintaining an environmental balance and sustainability in an integrated manner (Figure 1).

The latest global statistics indicate that global production of agricultural cultivars has increased by 53% between 2000 and 2019 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). During this same period, vegetable oil production grew 118%, and meat production increased by 44%. Meanwhile, the number of malnourished or undernourished people increased by 160 million people between 2014 and 2020, while obesity increased on all continents, and the global food price index more than doubled between 2000 and 2020. Combined, these numbers indicate an increase in demand above supply, and a growing maldistribution of food in the world.

On the other hand, sustainability has become a crucial aspect for the three pillars: social, environmental, and economic (Figure 2). The emphasis on the environmental pillar has significantly increased over recent decades, becoming a global demand, especially among young people.

Both food security and sustainable food production are issues related to agriculture, primarily tropical agriculture, in Latin America, sub-Saharan Africa and South Asian countries. In this tropical belt of the planet, there is still enough area to be incorporated into productive systems, and a great potential to increase productivity with the use of new technologies. However, given that the incorporation of new areas into the productive system is usually associated with deforestation and greenhouse gas emissions, it is unsustainable in the long-term. Although some authors consider that long-term trends towards increased agricultural productivity are insufficient to double global agricultural production by 2050 (Ray et al., 2013), this argument ignores an important characteristic of tropical agriculture: the capacity to produce two, and in some cases, up to three crops per year.

Decarbonization, climate change, and recurrent extreme events associated with climate (droughts, frosts, hurricanes) are frequent topics in international debates, such as the 2021 Climate Conference (COP 26), in Glasgow, Scotland. At this confer-

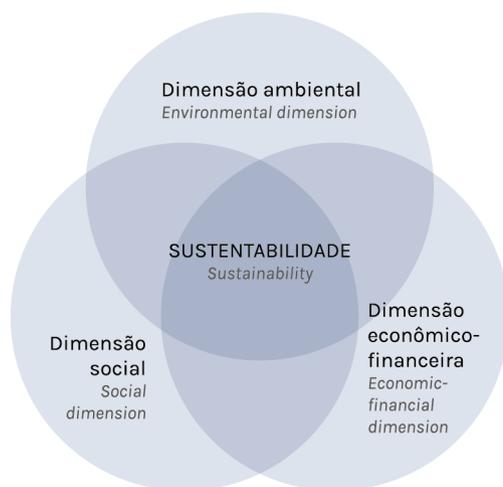


Figura 2. Diagrama de Venn, indicando a integração dos três pilares da sustentabilidade. Fonte: Sustentabilidade Coletiva (2015). Elaborado por: Pinto et al. (2016). *Figure 2.* Venn diagram, indicating the integration of the three sustainability pillars. Source: Sustentabilidade Coletiva (2015). Created by: Pinto et al. (2016).

ence, it was reaffirmed that the solutions for the climate problem rely on sustainable development, on the search for neutralizing emissions from economic activities, on increasing adaptation capacities, on reducing risks, and on giving up unsustainable production and consumption patterns. It was evident that to effectively confront climate change we depend on a new governance model, given that the measures adopted up to now and agreed to among countries have not achieved satisfactory results.

The new development model for food production in tropical agriculture must be highly intensive, with two or more highly productive crops per year, with effective environmental protection, economic sustainability throughout the production chain, better quality of life for rural inhabitants, and strict control of resources such as water and energy. Reductions in waste and losses in the production chain should also positively impact food security.

Environmental balance actions should focus on restoring and preserving natural resources, and on the sustainable use of Brazil's environmental wealth. Similarly, generating new businesses and adding value to the food production chain is necessary to help reduce rural poverty and social inequality. Other factors that can contribute to change the current situation are making technology more accessible for less privileged sectors of society and offering technical assistance and qualified education (Buainain et al., 2020).

To strengthen food security and environmental sustainability, it is necessary to integrate food production and packing systems. Solutions for waste along the production chain and for waste before and after consumption - which impact the environment due to improper disposal and destination in landfills - must be found. This objective can be achieved through coordinated efforts in environmental education and through the development of innovative products and packaging, technologies to reuse solid organic waste for biogas production, innovative recycling processes for plastic and other packaging materials, as well as other innovative steps to manage and promote a circular economy. Therefore, the development of new foods - reusing residual ingredients that otherwise would be aimed at disposal - and the development and implementation of innovative food production technologies, with a view to increase the nutritional value, safety, and shelf life of foods, are important factors to protect the

(...) com efetiva proteção ao meio ambiente, sustentabilidade econômica da cadeia de produção, melhoria da qualidade de vida do homem do campo e rígido controle do uso de recursos como água e energia.

ra o problema climático passam pelo desenvolvimento sustentável, pela busca da neutralidade de emissões no conjunto das atividades econômicas, pelo aumento na capacidade de adaptação, pela redução de riscos e pelo abandono de padrões insustentáveis de produção e consumo. Ficou evidenciado que o enfrentamento real das mudanças climáticas depende de um novo modelo de governança, visto que as medidas de consenso entre países adotadas até o momento não alcançaram resultados satisfatórios.

O novo modelo de desenvolvimento da produção de alimentos para a agricultura tropical deverá ser altamente intensivo, com duas ou mais safras ao ano e alta produtividade, com efetiva proteção ao meio ambiente, sustentabilidade econômica da cadeia de produção, melhoria da qualidade de vida do homem do campo e rígido controle do uso de recursos como água e energia. A redução do desperdício e das perdas na cadeia produtiva também deverão impactar positivamente a segurança alimentar.

Quanto ao equilíbrio ambiental, é importante direcionar ações para a recuperação dos recursos naturais, a preservação e a utilização sustentável da riqueza ambiental do país. Da mesma forma, é preciso estimular a geração de novos negócios e a agregação de valor à cadeia produtiva

de alimentos para auxiliar na redução da pobreza rural e das desigualdades sociais. Outros fatores que também podem contribuir para mudança do cenário atual são a disponibilização de tecnologias para segmentos menos privilegiados, a oferta de assistência técnica e a educação de qualidade (Buainain et al., 2020).

Em prol da segurança alimentar aliada à sustentabilidade ambiental, é necessária a integração dos sistemas produtivos de alimentos e embalagens, com foco em soluções para as perdas ao longo da cadeia produtiva e para os resíduos pré e pós-consumo, que impactam o meio ambiente pelo descarte inadequado e destinação aos aterros sanitários. Esse objetivo pode ser alcançado por forte atuação em educação ambiental e pelo desenvolvimento de produtos e embalagens inovadores, de tecnologias para aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos para a produção de biogás, de processos inovadores para a reciclagem de plásticos e outros materiais de embalagem e outras ações inovadoras para a gestão e promoção da economia circular. Nesse contexto, o design de novos alimentos, com aproveitamento de ingredientes residuais que teriam como destino o descarte e o desenvolvimento e emprego de tecnologias inovadoras de produção de alimentos objetivando o au-

mento de sua saudabilidade, segurança e vida útil podem ser elementos importantes para a proteção do meio ambiente e para contribuição no combate à insegurança alimentar em nível global.

O BRASIL NO CENÁRIO INTERNACIONAL

O Brasil, com a tecnologia tropical sustentável existente, tem uma grande responsabilidade no cenário da segurança alimentar global. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), em conjunto com a FAO, realizou estudos, ratificados posteriormente pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), que indicaram que a oferta de alimentos no período de 2017 a 2027 precisa crescer 20% em todo o mundo para que não

falte alimento para ninguém (Organization for Economic Co-operation and Development & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017, 2021). Segundo esses estudos, o Brasil será o país que mais deverá aumentar a oferta de alimentos para o mundo, estimada em 41% (Figura 3).

Segundo essas instituições, três razões explicam essa capacidade do Brasil em aumentar a oferta de alimentos para o mundo: tecnologia tropical sustentável, área disponível e mão de obra capacitada em todos os elos das cadeias produtivas. Dessas três razões, há que se considerar com cuidado a questão da área disponível para expansão da agropecuária. O fato de existir área disponível para expansão da agropecuária no país não significa que a política nacional de expansão da

environment and to help combat food insecurity around the world.

BRAZIL IN THE INTERNATIONAL CONTEXT

With its existing sustainable tropical technology, Brazil plays a significant role in the context of global food security. The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and FAO undertook studies that were subsequently ratified by the United States Department of Agriculture (USDA). They show that, from 2017 to 2027, food supply must increase by 20% globally to avoid food shortages (Organization for Economic Co-operation and Development - OECD, & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017, 2021). According to these studies, Brazil is the country that should increase the most its food supply to the world, by an estimated 41% (Figure 3).

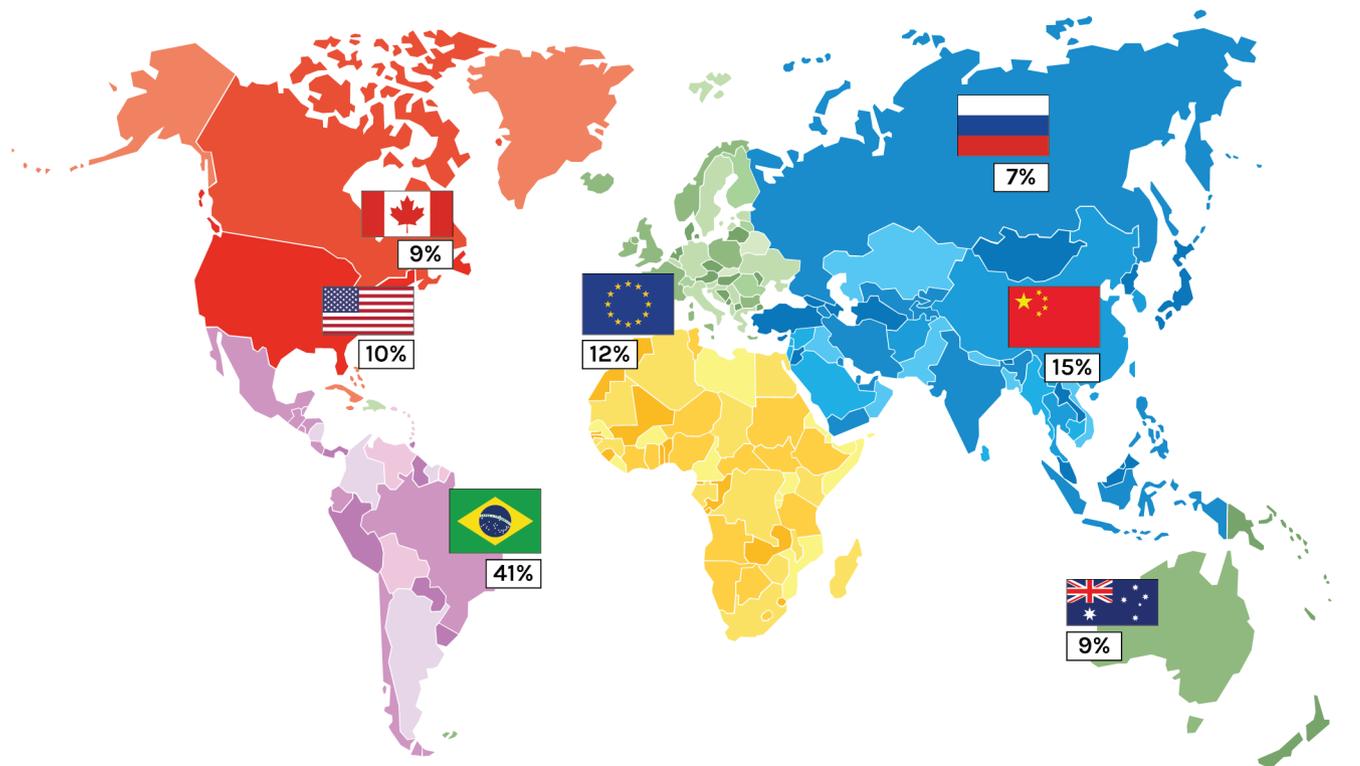


Figura 3. Projeção da produção de alimentos até 2026/27. Fonte: United States Department of Agriculture (2017). Elaborado por: FGV Agro. Figure 3. Projection of food production until 2026/27. Source: United States Department of Agriculture (2017). Created by: FGV Agro.

According to these institutions, three reasons explain Brazil's capacity to increase food supply to the world: sustainable tropical technology, available area, and skilled labor along the entire production chain. Of these three reasons, the issue of available area for expanding farming must be carefully considered. The availability of area to expand farming in Brazil does not mean that national policies for growth of production should be based on an expansion of agricultural frontiers.

It is worth mentioning that if the productivity per hectare in Brazil were the same as that of 1990, 96 million additional hectares would be necessary to harvest the crop of 2021, besides the 69 million hectares currently available, with harvests that occur twice or even three times a year. The increase of productivity is also being observed with permanent and semipermanent cultivars, such as with coffee, fruticulture, and sugarcane, which reduces the demand for new areas, the same being true for animal protein. Since 1990, bovine meat production grew 108%, while the pasture area was reduced. The production of pork increased

produção deva ser baseada em expansão da fronteira agrícola.

Interessante notar que se a produtividade por hectare atual no Brasil fosse igual à de 1990, seriam necessários 96 milhões de hectares adicionais para colher a safra de 2021, além dos 69 milhões de hectares existentes, com colheitas que, em boa parte, ocorrem duas vezes por ano e até três. O aumento de produtividade vem sendo observado também nas culturas permanentes ou semipermanentes, como é caso de café, fruticultura e cana-de-açúcar, reduzindo a demanda por áreas novas, o mesmo valendo também para proteína animal. Desde 1990, a produção de carne bovina cresceu 108%, enquanto a área das pastagens diminuiu. Também a produção de carne suína aumentou 305%, e a de frango, 501% nesse período.

Novas tecnologias sustentáveis continuam chegando, como é o caso da ABC - Agricultura com Baixa Emissão de Car-

bono, com seus programas especiais, com destaque para a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, extraordinário redutor de demanda por áreas novas de plantio, que podem ser replicados em todos os países tropicais do globo. A agricultura 4.0 já é uma realidade, combinando automação, robótica, internet das coisas, inteligência artificial, aprendizado de máquina e hiperconectividade, elevando o agronegócio a novos patamares de eficiência e atraindo para o campo jovens bem preparados para assumir procedimentos de gestão moderna e eficiente.

Quanto à disponibilidade de área agricultável, um trabalho realizado pela Embrapa mostra que todas as plantas cultivadas no país (lavouras e florestas plantadas) ocupam apenas 9% do território nacional, enquanto as pastagens ocupam outros 21,2% (Figura 4).

Com todos esses fatos, o agronegócio brasileiro tem se tornado um fator cen-

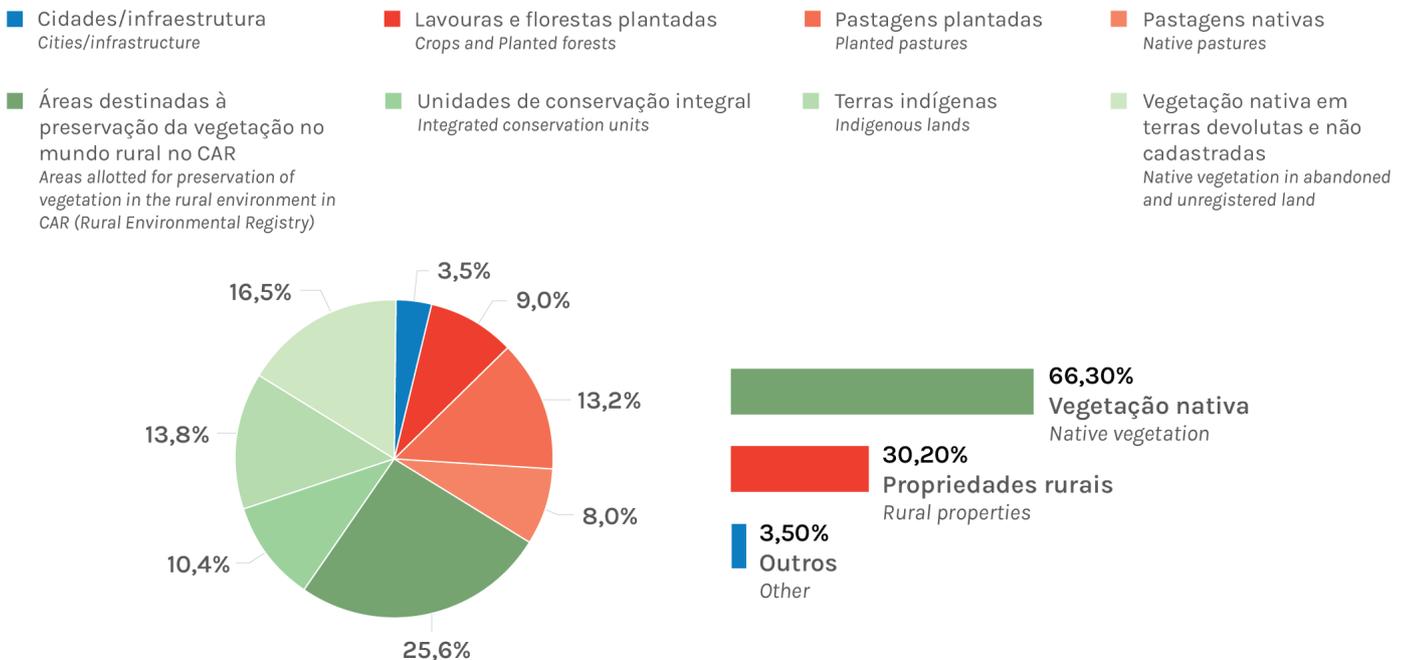
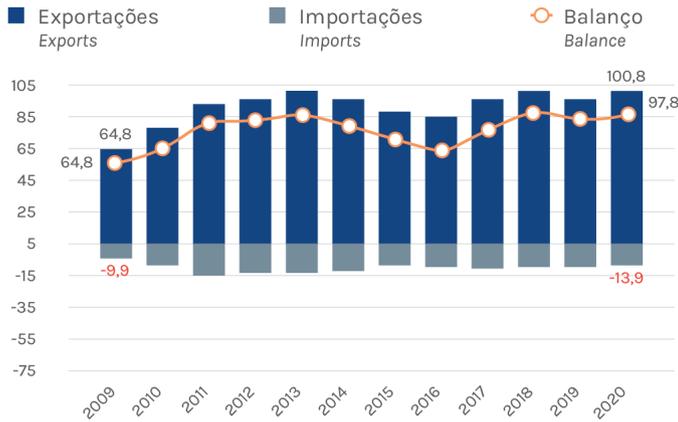


Figura 4. Ocupação e uso das terras no Brasil.
 Fonte: GITE/EMBRAPA - Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (2017). Elaborado por: FGV Agro.
 Figure 4. Land use and occupation in Brazil.
 Source: GITE/EMBRAPA - Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (2017). Created by: FGV Agro.

Balança comercial do agronegócio
Agribusiness trade balance



Saldo comercial brasileiro
Brazilian trade balance

(US\$ BILHÕES)

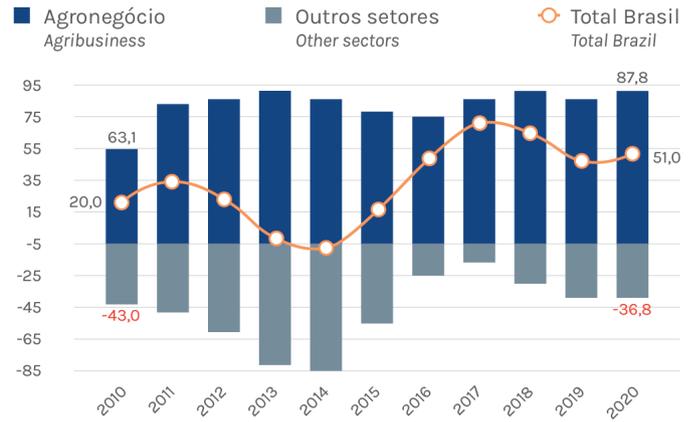
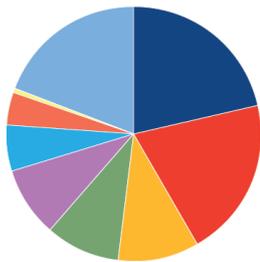


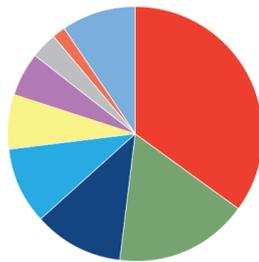
Figura 5. Desempenho do comércio exterior brasileiro.
Fonte: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Elaborado por: FGV Agro.
Figure 5. Performance of Brazilian international trade.
Source: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Created by: FGV Agro.

2000 (US\$ 20,6 BI)



- Produtos Florestais - 21,5%
Forestry products
- Complexo Soja - 20,4%
Soybean complex
- Couros e Peleteria - 10,5%
Leather and hides
- Carnes - 9,5%
Meat
- Café - 8,7%
Coffee
- Complexo Sucroalcooleiro - 6,0%
Sugar-alcohol complex
- Fumo e Produtos - 4,1%
Tobacco and products
- Cereais - 0,3%
Cereals
- Demais - 19,2%

2020 (US\$ 100,8 BI)



- Complexo Soja - 35,0%
Soybean complex
- Carnes - 17,0%
Meats
- Produtos Florestais - 11,3%
Forestry products
- Complexo Sucroalcooleiro - 9,9%
Sugar-alcohol complex
- Cereais, Farinhas e Preparações - 6,8%
Cereals, flours and preparations
- Café - 5,5%
Coffee
- Fibras e Produtos Têxteis - 3,5%
Fibers and textile products
- Fumo e seus Produtos - 1,6%
Tobacco and its products
- Demais - 9,3%

Figura 6. Exportações do agronegócio em 2000 e 2020: produtos.
Fonte: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Elaborado por: FGV Agro.
Figure 6. Agribusiness exports in 2000 and 2020: products.
Source: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Created by: FGV Agro.

305%, and the production of chicken increased 501% during this period.

New sustainable technologies continue to be developed, as is the case with Low Emissions Agriculture (LEA), with its specialized programs, particularly Crop-Livestock-Forest Integration, which reduces the demand for expansion of cultivation areas, and can be reproduced in all tropical countries around the world. Agriculture 4.0 is already a reality, combining automation, robotics, the Internet of Things, artificial intelligence, machine learning and hyperconnectivity. It raises agribusiness to new levels of efficiency and attracts to the field well-trained young professionals to adopt modern and efficient management procedures.

Regarding the availability of arable land, a study by Embrapa shows that all plants cultivated in Brazil (crops and planted forests) occupy only 9% of the national territory, while pasture occupies 21.2% (Figure 4).

Combining all these factors, agribusiness has become a key factor for economic growth in Brazil. In 2020, it accounted for 27% of the national GDP, representing 20% of Brazilian jobs, and a considerable proportion of the trade balance (Figure 5).

Exports have also consistently grown (Figure 6), with an increasing diversification of destinations (Figure 7), including emerging and developing countries,

mainly in Asia, and with great emphasis on China.

As noted above, Brazil is playing its part as a major global food supplier. Thus, three questions arise: 1. Is it possible to increase Brazilian food exports by 40% in 10 years? 2. Will this increase take place? 3. Can this increase occur in a sustainable way?

The first question is answered affirmatively because conditions that favor success continue up to the present moment. They include both domestic (sustainable tropical technology, area available, and skilled labor force) and external (mainly market demand) factors. The second and third questions are not answered so easily and will be discussed in the following subsections.

Will Brazilian food production increase by 40% over the next decade?

There may only be a positive response if there is a clear strategy, with public policies established together with private sector production chains to deal with recurring challenges.

One of these challenges is related to logistics and infrastructure. From the 1970s onward, rural activities were no longer coastal and migrated to the Centro-oeste, where the Cerrado was tamed using technical innovations created by the Agronomical Institute of Campinas (IAC) which were competently expanded by Embrapa. While producers set off towards the agricultural frontier with courage and determination, the necessary infrastructure was neglected. A large investment will be necessary through public-private partnerships (PPP), that will only occur depending on legal assurances that offer confidence in the return on investments.

The second challenge is to establish a consistent income policy, and a rural insurance that keeps up with Brazilian agrobusiness. Brazilian rural insurance, created by law in 2003, covers less than 10% of the current Brazilian arable land due to budgetary shortfalls at all levels of cultivation. Automatic rural credit depends on rural insurance working adequately, since private banks will be more interested in financing insured rural producers. This will free public banks from having to fulfill this role, given that financing productive chains and productive activities in rural areas is increasingly problematic.

The third challenge is related to the robustness of international trade policy, in search of bi- or multilateral agreements, such as those with the European Union or Mercosur, which can create new markets,

tral para o crescimento da economia. Em 2020, ele representou 27% do PIB nacional, mantendo 20% dos empregos do país e respondendo por uma parcela relevante do saldo comercial (Figura 5).

Também, as exportações têm crescido sistematicamente (Figura 6), com a crescente diversificação de destinos (Figura 7), incluindo países emergentes e em desenvolvimento, principalmente na Ásia, com grande destaque para a China.

Conforme exposto, o Brasil vem cumprindo seu papel de grande supridor mundial de alimentos. Surgem então três perguntas: 1. É possível aumentar em 40% a exportação brasileira de alimentos em 10 anos? 2. Esse aumento vai de fato ocorrer?

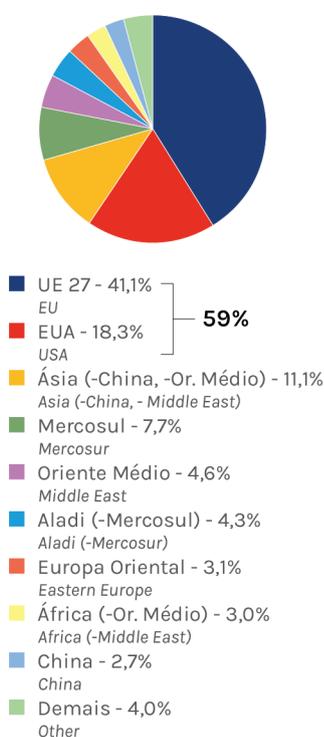
3. É possível que esse aumento ocorra de forma sustentável?

A primeira pergunta tem resposta positiva porque os fatores favoráveis para o êxito até o momento persistem, incluindo fatores internos (tecnologia tropical sustentável, área disponível e mão de obra capacitada) e externos (mercado demandante, principalmente). Já a segunda e terceira perguntas não têm respostas fáceis e serão discutidas nas subseções a seguir.

A produção brasileira de alimentos vai de fato aumentar em 40% na próxima década?

A resposta só será positiva se houver uma estratégia clara, com políticas públicas es-

2000 (US\$ 20,6 BI)



2020 (US\$ 100,8 BI)

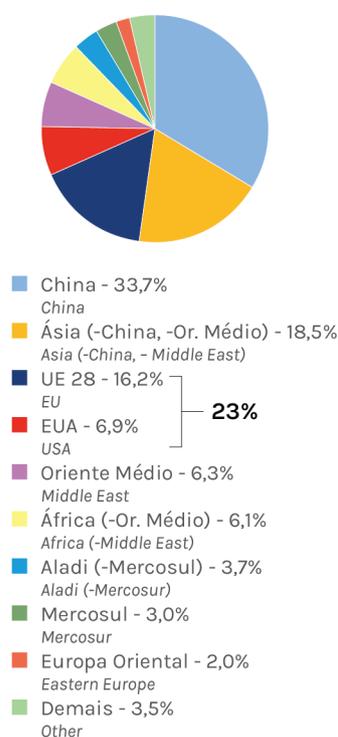


Figura 7. Exportações do agronegócio em 2000 e 2020: destinos.

Fonte: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022).

Elaborado por: FGV Agro.

Figure 7. Agribusiness exports in 2000 and 2020: destinations.

Source: Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária (2022). Created by: FGV Agro.

tabelecidas em conjunto com as cadeias produtivas do setor privado, contemplando os desafios recorrentes.

Um dos desafios tem relação com infraestrutura e logística. A partir dos anos 1970, a atividade rural deixou de ser costeira e migrou para o centro-oeste, onde o Cerrado foi domado pelas inovações técnicas criadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e ampliadas pela Embrapa com grande competência. Enquanto os produtores se deslocaram para a fronteira agrícola com coragem e determinação, a infraestrutura necessária ficou para trás. Será preciso muito investimento através de parcerias público-privadas (PPP), que só acontecerão se houver segurança jurídica que traga confiança no retorno a investimentos.

O segundo desafio é o estabelecimento de uma política de renda consistente, com o seguro rural funcionando à altura do agro brasileiro. O seguro rural brasileiro, criado por lei em 2003, cobre menos de 10% da área agricultada brasileira atual porque faltam recursos orçamentários em todos os planos de safra. O crédito rural automático depende do seguro rural funcionando corretamente, pois haverá maior interesse dos bancos privados em financiar o produtor rural seguro, desobrigando os bancos públicos de seu compromisso, sendo cada dia mais difícil o financiamento da atividade produtiva no campo e nas cadeias produtivas.

O terceiro desafio está relacionado com a robustez da política comercial diplomática, na busca de acordos bi ou multilaterais, tais como os com a União Europeia e Mercosul, que resultem em novos mercados, sobretudo com países com muitos consumidores. Sem novos mercados, o aumento da produção é temerário e não justificado.

O quarto desafio é a necessidade de tecnologia. Se é verdade que o Brasil tem a melhor tecnologia tropical sustentável, também é verdade que os avanços precisam ser permanentes, pois o processo é dinâmico. Uma nação sem ciência e tecnologia está fadada ao fracasso. Nesse contexto, é absolutamente fundamental e urgente re-

construir o Sistema Brasileiro de Pesquisa Agropecuária, sob a liderança da Embrapa, com a participação das entidades estaduais de pesquisa, universidades e até mesmo do setor privado interessado no desenvolvimento do país.

Um quinto desafio está diretamente relacionado com a sustentabilidade, sobretudo no que diz respeito à defesa sanitária, rastreabilidade, certificação e descarbonização. As empresas do agronegócio brasileiro precisarão adotar os princípios ESG (ambiental, social e governança) e terão que desenvolver as métricas e metas brasileiras quanto à pegada de carbono para discutir com os concorrentes em bases científicas irretorquíveis.

Outro ponto essencial é a necessidade de melhor organização dos produtores rurais, sobretudo através do cooperativismo fortalecido e respeitado. Quase 75% dos produtores brasileiros, em especial os pequenos, estão fora do mercado, sem acesso a tecnologias e mecanismos de gestão que lhes permitam avançar economicamente. Há outras questões importantes, como a modernização de legislações obsoletas. Há ainda uma questão fundamental, ligada à imagem interna e externa do agro brasileiro, constantemente manchada por ilegalidades inaceitáveis como os desmatamentos ilegais, sobretudo na Amazônia, os incêndios criminosos por todo o país, a grilagem de terras, o descumprimento de contratos, o garimpo em terras indígenas ou públicas e um sem-número de outras delinquências que precisam ser rigorosamente fiscalizadas e seus infratores punidos com rigor.

É possível que esse aumento ocorra de forma sustentável?

As exigências de aumento de produção para satisfazer a segurança alimentar global e as restrições de sustentabilidade ambiental, econômica e social colocam o setor agrícola em um restrito espaço de operação seguro: ao mesmo tempo em que a produtividade agrícola e dos rendimentos de culturas deve aumentar, a atividade agrícola (global) deve reduzir ao máximo suas emissões de CO₂ para evitar mudanças

especialmente em países com muitos consumidores. Sem novos mercados, o crescimento na produção é reckess and unreasonable.

The fourth challenge is the need for technology. If it is true that Brazil has the best sustainable tropical technology, it is also true that these improvements must be permanent, since we are dealing with a dynamic process. A nation without science and technology is destined to failure. Therefore, it is essential and urgent to reconstruct the Brazilian System of Agricultural Research, under the leadership of Embrapa, with the participation of state research organizations, universities and even private sector actors interested in the Brazilian development.

A fifth challenge is related to sustainability, especially in terms of sanitary guarantees, traceability, certification, and decarbonization. Brazilian agribusiness companies will need to adopt ESG (environmental, social, and governance) principles and will have to develop Brazilian metrics and goals regarding carbon footprint, to engage with competitors based on solid scientific findings.

Another vital point is the need for improved organization of rural producers, especially through strengthened and consistent cooperativism. Almost 75% of Brazilian producers, particularly smaller ones, are outside the market, with no access to technology or management mechanisms that could allow them to grow economically. There are other important issues, including the modernization of obsolete legislation. There is another fundamental question, associated with the domestic and international image of Brazilian agriculture, constantly tainted by unacceptable illegalities, such as illegal deforestation - especially in the Amazon - criminal forest fires throughout the country, illegal occupation of land, breach of contract, unauthorized mining (garimpo) on indigenous or public land, and innumerable infractions that need to be strictly monitored, and the offenders punished with severity.

Can this growth take place in a sustainable way?

The need for growth of productivity to meet global food security goals and environmental, economic, and social sustainability targets places the agricultural sector in a limited space for a secure operation. While agricultural productivity and outputs of crops need to grow, global agricultural activity should reduce its CO₂ emissions as much as possible to

avoid severe climate change, and simultaneously prepare itself for the effects of climate change that are occurring and may intensify over the coming decades. The economic and social sustainability of agribusiness, including generation of permanent employment, improved quality of life, and human development, according to the Sustainable Development Goals (SDG) proposed by the United Nations, must also be considered.

A key concept related to increased productivity is sustainable intensification, frequently associated with an intensive use of technology and agricultural inputs, including fertilizers, agrochemicals, and, in the case of irrigated agriculture, water resources. However, the excessive and indiscriminate use of these products, added to intensive practices, leads to food contamination, soil erosion, leaching, occurrence of pathogens, and greenhouse gas emissions with significant impacts on human health and food security. These problems can only be solved by adopting conservation practices applied by farmers who adapt to these challenges and develop their crops according to land topography, rainfall, soil type, cultivar type, and vegetation coverage, as well as to land use systems and different technologies. With improvements in scientific research and technological development, Brazil has the potential to quickly innovate tropical agriculture technology.

For decades, extending the agricultural frontier was one of the main ways to increase Brazilian agricultural production. However, this has led to deforestation and consequent greenhouse gas emissions (Leite et al., 2020), and keeping such practice contributes to intensify the climate change. Therefore, one of the challenges for Brazilian agriculture is to increase production without expanding the agricultural frontier. This requires a revolution in how we think about agriculture in Brazil: from agrarian science courses to farmers, from production chains to research institutes. Actually, this paradigm shift began slowly in 1985, when Brazilian agricultural production started to increase due to intensification rather than expansion (Dias et al., 2016). Studies by Strassburg et al. (2014) show that a mere enhance in the efficiency of Brazilian pastures -from the current 33% to 50% - by means of an adequate management to make them more productive, would increase Brazilian meat and grain production. This would allow Brazil to meet the entire global food demand, without a need

climáticas severas e, ao mesmo tempo, estar preparada para os efeitos das mudanças climáticas que já estão ocorrendo e podem se intensificar nas próximas décadas. Isso sem esquecer a sustentabilidade econômica do negócio agrícola e a sustentabilidade social, com geração de empregos estáveis, melhorias da qualidade de vida e desenvolvimento humano, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pelas Nações Unidas.

Um conceito-chave relacionado ao aumento da produtividade é a intensificação sustentável, muitas vezes associada ao uso intensivo de tecnologia e de insumos agrícolas, incluindo fertilizantes, agroquímicos e, no caso da agricultura irrigada, de recursos hídricos. Porém, o uso excessivo e indiscriminado desses produtos em conjunto com práticas intensivas resulta na contaminação de alimentos, erosão do solo, lixiviação, favorecimento de patógenos e emissão de gases do efeito estufa que, juntos, têm um impacto significativo na saúde humana e na segurança alimentar. Esses problemas só podem ser resolvidos com a adoção de práticas de conservação utilizadas por agricultores que se adaptam aos desafios e se desenvolvem em função da topografia da terra, precipitação, tipo de solo, tipo de cultura e cobertura vegetal, sistema de uso da terra e diferentes tecnologias. Com o avanço das pesquisas científicas e o desenvolvimento tecnológico, o Brasil tem potencial de inovar a tecnologia da agricultura tropical mais rapidamente.

Por décadas, expandir a fronteira agrícola foi uma das principais formas de aumentar a produção agropecuária brasileira, mas isso implicou desmatamento e a consequente emissão de gases de efeito estufa (Leite et al., 2020), e continuar com essa prática contribui para intensificar as mudanças climáticas. Assim, um dos desafios da agropecuária brasileira é expandir a sua produção sem aumentar a sua fronteira agrícola, o que implica uma revolução na maneira de se pensar a agropecuária no Brasil, dos cursos de Ciências Agrárias aos fazendeiros, da cadeia produtiva aos órgãos de pesquisa. Essa mudança de paradigma,

As exigências de aumento de produção para satisfazer a segurança alimentar global e as restrições de sustentabilidade ambiental, econômica e social colocam o setor agrícola em um restrito espaço de operação seguro (...)

na verdade, teve início lentamente em 1985, quando a produção brasileira começou a aumentar mais devido à intensificação do que devido à extensificação (Dias et al., 2016). Estudos de Strassburg et al. (2014) indicam que um mero incremento da eficiência das pastagens brasileiras dos atuais 33% para 50%, por meio do manejo adequado para se tornarem mais produtivas, permitiria um aumento da produção brasileira de carne e grãos, de modo a satisfazer toda a demanda global por alimentos, sem a necessidade de expansão das terras agrícolas. Essas áreas de baixa eficiência são principalmente pastagens degradadas, terrenos com alta declividade ou áreas abertas com fogo, que nunca foram preparadas para mecanização nem calcareadas.

Outra característica importante para a agropecuária brasileira é o clima adequado. De maneira geral, tem-se um clima no qual raramente ocorre congelamento e a agricultura é viável desde que haja chuvas suficientes e regulares. No sul do Brasil, as chuvas são bem distribuídas durante o ano, porém irregulares de ano para ano, apresentando chuvas intensas em anos de ocorrência do fenômeno El Niño e longos veranicos em anos do fenômeno de La Niña, condições que podem levar a perdas de safra. A tendência climática para as próximas décadas é a intensificação desse modo de variabilidade interanual do clima, que aumentará o risco agrícola na Região Sul.

Por outro lado, Sudeste, Cerrado, sul da Amazônia e MATOPIBA (região formada por áreas majoritariamente de Cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) são caracterizados por um clima mais quente, com uma estação chuvosa longa e bem definida, com a vantagem de ser menos sujeita à estiagem do que a Região Sul. Isso torna a produtividade nessas regiões muito mais regular de ano para ano. Em algumas dessas regiões, em particular em MATOPIBA e no sul da Amazônia, a agricultura evoluiu para um sistema altamente intensivo, com duas safras plantadas na estação chuvosa, o que requer uma estação chuvosa com duração superior a

200 dias. De forma um tanto preocupante, a principal mudança climática esperada para essas regiões é o alongamento da estação seca e a diminuição da estação chuvosa (Fu et al., 2013), o que aumentaria o risco climático da agricultura nessas regiões (Pires et al., 2016), ampliando a degradação existente num futuro já incerto. Um estudo recente (Rattis et al., 2021) indica que o aquecimento e redução das chuvas nas últimas décadas já tirou 28% das terras agrícolas atuais na Amazônia e MATOPIBA de seu espaço climático ideal, projetando que 51% da agricultura nestas regiões sairá desse espaço climático até 2030, e 74% até 2060.

Uma técnica que permite aumentar a segurança da produção de duas safras, e eventualmente viabilizar uma terceira safra anual, é a irrigação, prática que reduz a exposição dos agricultores a riscos de curto prazo, enquanto fortalece a sua resiliência, desenvolvendo a sua capacidade de adaptação e prosperidade face a tensões a longo prazo. O Brasil ainda é um país que, apesar de contar com 25% dos recursos hídricos globais, paradoxalmente ainda irriga muito pouco (6 M ha, ou menos que a área irrigada combinada nos estados do Nebraska e Califórnia, nos Estados Unidos – 6,7 M ha). Uma das principais razões para o pouco uso da irrigação no Brasil é o pouco conhecimento sobre os recursos hídricos regionais. A rede de monitoramento de recursos hídricos superficiais brasileira é rarefeita e a de recursos hídricos subterrâneos está a duas ordens de grandeza de padrões europeus ou americanos (1 centésimo do que deveria ser).

O plantio de múltiplas safras ao ano, seja de sequeiro ou irrigado, traz benefícios ambientais, reduzindo a pressão para o desmatamento de novas áreas e a incidência de pragas; traz também benefícios sociais, ao manter o corpo de trabalhadores rurais empregados durante todo o ano ao invés de apenas durante a safra; também gera outros tipos de benefícios ao aumentar a arrecadação de impostos cobrados sobre o óleo diesel e o consumo de energia elétrica; e, finalmente, contribui para aumentar a renda do agricultor pelo aumento de receita por unidade de área e diversificação da renda.

to expand its agricultural frontier. These low-efficiency areas are mainly degraded pastures, steep terrains, or areas cleared using fire, that have never been prepared for mechanization, nor limed.

Another important characteristic of the Brazilian agriculture is the proper climate. In general, we deal with a climate where freezing rarely occurs and, as long as there is sufficient and regular rainfall, agriculture is viable. In southern Brazil, rainfall is evenly distributed throughout the year. However, irregularities do happen, with intense rainfall during years when the El Niño phenomenon occur and long summers during years when La Niña occur, which can lead to crop losses. Climate tendencies over the coming decades are towards an intensification of this form of interannual climate variability, which will increase agricultural risks in the southern region.

On the other hand, the southeast, the Cerrado, the south of Amazon, and MATOPIBA region (formed predominately by Cerrado in Maranhão, Tocantins, Piauí, and Bahia states) are characterized by a hotter climate, with a longer, well-defined rainy season, and has the advantage of being less subject to droughts than the southern region. This makes the productivity in these regions much more dependable every year. In some of these regions, particularly in MATOPIBA and in the southern Amazon, agriculture has evolved into a highly intensive system, with two crops planted during the rainy season, which requires a rainy season longer than 200 days. The major concern is that the main climate change expected for these regions is an increase in the dry season and a shortening of the rainy season (Fu et al., 2013). This would increase climate change risks for agriculture in these regions (Pires et al., 2016), extending existing degradation into an already uncertain future. According to recent study (Rattis et al., 2021), warming and rainfall reductions over recent decades have already moved 28% of current agricultural lands in the Amazon and MATOPIBA out of their ideal climate space, and it is expected that 51% of agricultural land in these regions will be out of this ideal climate space by 2030, and 74%, by 2060.

A technique that provides increased reliability for the production of two and occasionally three crops per year, is irrigation. This practice reduces the exposure of farmers to short-term risks, while strengthens their resilience and develops their capacity for adaptation and prosperity in face of long-term challenges. Brazil is a coun-

try that, despite having 25% of the global water resources, paradoxically still uses little irrigation (6 M ha, or less than the combined area irrigated in Nebraska and California, in the United States – 6.7 M ha). One of the main reasons for the limited use of irrigation in Brazil is the limited knowledge of regional water resources. The network for monitoring Brazilian surface water resources is scarce, and the one on groundwater resources is insignificant if compared to European or American standards (one hundredth of what it should be).

The cultivation of multiple crops per year, whether dryland (sequeiro) or irrigated, provides environmental benefits, reducing the pressure for deforestation of new areas, and the incidence of pests. It also provides social benefits by maintaining rural workers employed throughout the year instead of only during harvest times. Other types of positive outcomes include increased collection of taxes levied on diesel fuel and energy consumption. Finally, it generates income growth for farmers due to increased revenue per area and through a diversified income.

In the southern Amazon and MATOPIBA, agriculture transitioned from single to double crops at a rate that increased from around 3,000 km² year⁻¹ in 2003 to more than 30,000 km² year⁻¹ in 2014 (Rattis et al., 2021). At the same time, in all locations where a double crop was tried, a transition back to a single crop was adopted at least once during the study period. This process of de-intensification increased from ~3,000 km² year⁻¹ in 2003 to ~10,000 km² year⁻¹ in 2012, followed by a rapid subsequent increase. These results show that the probability of agricultural areas going from an expected double crop to a single crop (or fallow) has increased over time (Rattis et al., 2021), which reflects a still underdeveloped technology.

The low carbon content of Brazilian soils also needs to be considered and enhancing their carbon content would be beneficial for all. Soil with greater carbon content is more permeable, retains more water, reduces risks associated with long droughts and obviously captures carbon, which would otherwise return to the atmosphere as CO₂. Increasing carbon content in the soil would also adapt agriculture to climate extremes, as well as mitigate climate change. As such, it is necessary to map carbon in the soil, identify priority regions to be reclaimed, and research reclamation strategies for soils that may work

No sul da Amazônia e no MATOPIBA, a agricultura fez a transição de safras simples para duplas a uma taxa que aumentou de cerca de 3.000 km² ano⁻¹ em 2003 para mais de 30.000 km² ano⁻¹ em 2014 (Rattis et al., 2021). Ao mesmo tempo, em todos os locais onde se tentou o cultivo duplo foi feita a transição de volta para o cultivo único pelo menos uma vez durante o período de estudo. Este processo de desintensificação aumentou de ~3.000 km² ano⁻¹ em 2003 para ~10.000 km² ano⁻¹ em 2012, seguido por um rápido aumento depois disso. Esses resultados mostram que a probabilidade de áreas agrícolas passarem do desejado cultivo duplo para cultivo simples (ou pousio) tem aumentado ao longo do tempo (Rattis et al., 2021), indicando uma tecnologia ainda não completamente madura.

Há também que se considerar que os solos brasileiros são muito pobres em carbono. Aumentar o teor de carbono dos nossos solos seria uma estratégia em que todos seriam beneficiados: solos com mais carbono são mais permeáveis, retêm mais água, reduzem o risco associado a longas estiagens e, obviamente, imobilizam carbono, que de outra forma voltaria para a atmosfera na forma de CO₂. Aumentar o teor de carbono nos solos, ao mesmo tempo, adapta a agricultura aos extremos do clima, assim como pode mitigar as mudanças climáticas. Assim, faz-se necessário mapear o carbono nos solos, identificar regiões prioritárias para recuperação e pesquisar estratégias de recuperação e conservação de solos que funcionem em grande escala, para orientar políticas públicas que possam ser desenhadas para esse fim.

Por fim, o aproveitamento de recursos naturais, incluindo práticas tradicionais conservacionistas, manejo do solo e a manutenção da biodiversidade do solo, são propostos como a abordagem mais eficaz para melhorar a produtividade agrícola e a qualidade dos alimentos de forma sustentável, o que também pode promover resultados ambientais e sociais positivos. Com essas estratégias implantadas, o Brasil conseguirá certamente se transformar no

campeão mundial da segurança alimentar sustentável e, por conseguinte, será o campeão mundial da paz, visto não haver paz enquanto houver fome.

EFEITOS DA CIÊNCIA NAS POLÍTICAS PÚBLICAS NACIONAIS EM RELAÇÃO À GARANTIA DA SEGURANÇA ALIMENTAR E EQUILÍBRIO AMBIENTAL

Investimento em ciência é chave para reduzir a fome, melhorar a segurança alimentar nos países e garantir o equilíbrio ambiental global. Na década de 1960, o Brasil era importador de alimentos, até de carne de frango, e atualmente é o maior exportador desse tipo de carne do mundo. O Brasil tem investido em ciência e pesquisa, proporcionando um crescimento enorme da produtividade, sendo a criação da Embrapa um ótimo exemplo. Paralelamente, os órgãos públicos de pesquisa, incluindo as universidades e os institutos de pesquisa, contribuem com conhecimento para aplicação em políticas públicas relacionadas com garantia da segurança alimentar e ambiental e com as inovações tecnológicas necessárias para o aumento da competitividade do país no cenário internacional.

Seguem alguns exemplos em que a Ciência pode contribuir para as políticas públicas nacionais em relação à garantia da segurança alimentar e equilíbrio ambiental.

Espaço seguro de operação

A agricultura tropical do futuro deve satisfazer diversas condições: (a) prover segurança alimentar; (b) ser climaticamente inteligente (estar adaptada às mudanças climáticas e não contribuir para o aquecimento global); (c) ser sustentável, nos seus aspectos ambientais, econômicos e sociais. Cada uma dessas condições impõe restrições, por exemplo, produção mínima, emissões máximas de gases de efeito estufa, e as diferentes métricas de sustentabilidade.

A satisfação de todas essas restrições cria um espaço seguro de operação para o setor agropecuário. A determinação desse espaço seguro é uma definição política com base científica (Figura 8). Por outro lado, a deter-

minação do estado atual da agricultura nacional e, em última análise, das agriculturas estaduais e municipais, requer um monitoramento permanente de todas as métricas associadas, para identificar a localização nesse espaço de operação, qual direção deve ser seguida, e quais políticas públicas devem ser implementadas para garantir a operação dentro do espaço seguro.

O exemplo da Figura 8 é extremamente simplificado, pois inclui apenas duas restrições. Para maior garantia, dezenas de métricas relacionadas às diferentes vertentes da sustentabilidade devem ser incluídas na determinação do espaço seguro de operação. Algumas dessas métricas já são rotineiramente medidas pelo IBGE ou outros órgãos governamentais. Por exemplo, a produção agrícola (Figura 8a) é medida anualmente em nível municipal desde 1974. Já as emissões de gases de efeito estufa (Figura 8b) são estimadas anualmente desde 1990, mas apenas para o território nacional, não existindo números sistemáticos por estado, município ou por cultura. Outras métricas de desenvolvimento social, como o IDH, são calculadas anualmente em nível nacional desde 1991, e em nível municipal (IDH-M) a cada censo populacional (~10-12 anos).

A comunidade científica deve discutir, juntamente com os governos e a sociedade civil organizada, quais critérios devem ser utilizados para definir o espaço seguro de operação (Figura 8c) da agricultura brasileira, e passar a medir esses critérios, para que políticas públicas possam direcionar a agricultura brasileira em direção ao espaço seguro, único caminho que irá garantir produção de alimentos e sustentabilidade da agricultura.

Monitoramento de recursos hídricos

Até a criação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997), os recursos hídricos no Brasil eram monitorados principalmente visando a geração de energia hidroelétrica, primeiro através do DNAEE (Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica) e depois da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Com a posterior criação da Agência Nacional das Águas (ANA), novos pontos de monitoramento foram instalados em áreas sem potencial de geração de energia elétrica, mas com potenciais problemas de conflitos de recursos hídricos. Os dados dessas novas estações, apesar de ainda serem compostas por séries relativamente curtas (< 20 anos), já retratam com muito mais clareza a realidade dos recursos hídricos brasileiros. Com relação ao monitoramento das águas subterrâneas, a rede de monitoramento precisa crescer entre 10 e 100 vezes o tamanho atual para atingir os padrões europeus ou americanos, para termos uma melhor compreensão de quanto temos de recursos hídricos e o quanto pode ser explorado. Governos estaduais, que são responsáveis pelas outorgas e licenciamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos, de maneira geral não têm informações para tomada de decisão, e terminam optando pela precaução, negando a outorga e o uso desses recursos.

Uma política pública que resultasse num grande esforço de monitoramento de recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, se pagaria facilmente com o ganho de receita, empregos e arrecadação de impostos que a agricultura irrigada propiciaria.

Embora a montagem e operação de redes de monitoramento não sejam atribuições de instituições de pesquisa ou de fomento à pesquisa, os pesquisadores das áreas de hidrologia e hidrogeologia teriam, após a expansão da rede, uma gigantesca demanda de pesquisa para entender melhor a disponibilidade de recursos hídricos para irrigação no Brasil, e ajudar o governo federal e os governos estaduais nas suas atividades de gestão de recursos hídricos, e permitir a expansão sustentável da agricultura irrigada no Brasil.

Por outro lado, irrigação é uma atividade que, além de consumir muita água, também consome muita energia. Grandes investimentos em irrigação podem levar à competição por água e energia entre produtores e áreas urbanas (Lathuillière et al., 2016) e exacerbar os conflitos sobre esses recursos

in a large scale, in order to guide public policies to be formulated for this purpose.

Finally, the use of natural resources, including traditional conservationist practices, land management, and maintenance of soil biodiversity are proposed as the most effective approach to improve agricultural productivity and food quality, which can also produce positive social and environmental outcomes. By implementing these strategies, Brazil will certainly become a world leader in sustainable food security and, therefore, a world peace champion, given that there is no peace as long as there is hunger.

EFFECTS OF SCIENCE ON NATIONAL PUBLIC POLICY RELATED TO ENSURING FOOD SECURITY AND ENVIRONMENTAL BALANCE

Investing in science is vital to reduce hunger, to enhance food security of countries, and to ensure global environmental balance. In the 1960s, Brazil was an importer of foods, including poultry meat, and nowadays, it is the largest exporter of this type of meat in the world. Brazil has invested in science and research, providing an enormous growth in productivity. The creation of Embrapa is an excellent example of this. At the same time, public research agencies, including universities and research institutes, contribute with knowledge to be applied in public policies related to assurance of food and environmental security, and with the technological innovations necessary to increase Brazilian competitiveness in the international landscape.

Some examples where science can contribute to national public policy related to ensuring food security and environmental equilibrium are as follows:

Safe operation space

Future tropical agriculture needs to satisfy several requirements: (a) promote food security; (b) be climatically intelligent (be adapted to climate change and not contribute to global warming); (c) be sustainable, in its environmental, economic, and social dimensions. Each of these conditions impose restrictions, for instance, minimum production, maximum level of greenhouse gas emissions, and different sustainability metrics.

Satisfying all these restrictions creates a safe operation space for the agricultural sector. Determining this safe space is a political definition based on science (Figure 8). On the other hand, the determination of the current state of national

agriculture, and ultimately, of municipal and state agricultures, requires a permanent monitoring of all associated metrics, for identification of the location in this operation space, and which direction should be taken, and which public policies should be implemented to maintain operation within the safe space.

The example in Figure 8 is extremely simplified since it includes only two restrictions. For greater precision, numerous metrics related to different features of sustainability should be included when determining the safe operation space. Some of these metrics are constantly measured by IBGE and other governmental agencies. For instance, agricultural production (Figure 8a) is measured annually at a municipal level since 1974. Greenhouse gas emissions (Figure 8b) are estimated annually since 1990, but only for the Brazilian territory and no systematic data is available by state, municipality, or cultivar. Other social development metrics, such as Human Development Index (HDI), are calculated every year at national level since 1991, and at municipal level (HDI-M) in each population census (~10-12 years).

The scientific community should discuss with governments and the organized civil society which criteria should be used to define the safe operation space for Brazilian agriculture and start measuring these criteria so that public policies can guide Brazilian agriculture towards this safe space. This is the only way to guarantee both food production and sustainable agriculture.

Water resources monitoring

Prior to the creation of the National Policy for Water Resources (Law no 9,443, January, 8 1997), water resources in Brazil were mainly monitored for hydroelectric energy production, firstly by the National Department of Water and Electric Energy (DNAEE) and then by the National Agency for Electric Energy (ANEEL).

With the subsequent creation of the National Water Agency (ANA), new monitoring stations were installed in areas without potential for electric energy generation, but with potential for conflicts of water resources. The data from these new stations, despite still representing relatively short time span (20 years), clearly show the reality of the Brazilian water resources. In relation to groundwater monitoring, the monitoring network needs to grow 10 to 100 times to achieve European or American standards, and thus provide a better understanding of the extent of our water

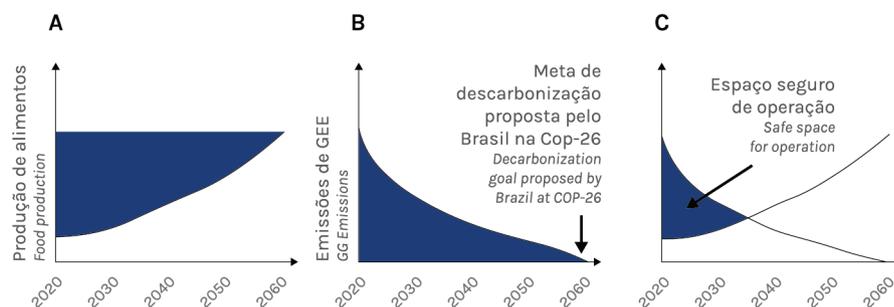


Figura 8. Exemplo hipotético das restrições do setor agropecuário: (a) produção mínima de alimentos para satisfazer a demanda mundial; (b) metas máximas de emissões de gases de efeito estufa; (c) interseção entre as duas restrições, indicando o espaço seguro de operação. Fonte: Os autores.

Figure 8. Hypothetical example of restrictions for the agricultural sector: (a) minimum food production to satisfy global demand; (b) upper limits for greenhouse gas emissions; (c) intersection between these two restrictions, indicating the safe operation space. Source: The authors.

mal administrados (Dobrovolski & Rattis, 2015). O cenário é ainda mais complexo se considerarmos a precária infraestrutura de distribuição de energia nas fronteiras agrícolas e a incerta disponibilidade de energia na época seca no Brasil. Boa parte desses desafios pode ser resolvida com a autogeração de energia pelos irrigantes. Um cálculo simples usando dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017) e tecnologias disponíveis no mercado indica que 100 ha de área irrigada podem ser providos com energia elétrica gerada por apenas 0,3 a 0,7 ha de placas fotovoltaicas. Entretanto, ainda existem desafios tecnológicos a serem vencidos, como o armazenamento de energia gerada durante o dia ou o armazenamento de água com alta pressão para não exigir bombeamento e pressurização da água durante o período noturno.

Interface entre Ciência e Educação Universitária

A educação universitária no Brasil se rege pelo princípio da indissociabilidade entre o ensino, a pesquisa e a extensão (Bra-



resources and how much of it can be exploited. State governments, which are responsible for permits and environmental licensing of groundwater resources, usually lack the necessary information for decision making, and end up opting for being precautionary, thus denying the permits and the use of the resources.

Public policies that result in a general effort to monitor water resources, both surface and groundwater, will easily pay off through gains in revenue, employment, and taxes collected, that irrigated agriculture would provide.

Although setting up and operating these monitoring networks are not the responsibility of research institutions or research funding agencies, after expanding the network, hydrology and hydrogeology researchers would have a huge demand for research to better understand water resource availability for irrigation in Brazil. They could also assist the federal and state governments in their water resource management activities, and allow for the sustainable expansion of irrigated agriculture in Brazil.

On the other hand, irrigation is an activity that, besides consuming large amounts of water, consumes a lot of energy. Large investments in irrigation can increase the competition for water and energy between producers and urban areas (Lathuillière et al., 2016), and exacerbate conflicts regarding poorly managed resources (Dobrovolski & Rattis, 2015). The situation is even more complex if we consider the precarious energy distribution infrastructure along agricultural frontiers and the irregular energy supply during dry seasons in Brazil. A significant part of these challenges can be solved by irrigators producing their own energy. A simple calculation using data from the Brazilian Atlas of Solar Energy (Pereira et al., 2017), and the technology currently available on the market, shows that 0.3 to 0.7 ha of photovoltaic panels are sufficient to produce enough energy for 100 ha of irrigated land. However, there are still technological challenges to be overcome, such as storage of energy produced during the day or storage of water at high pressure to eliminate the need to pump or pressurize water at night.

Interface between Science and University Education

The Brazilian university education is underpinned by the principle of the inseparability of teaching, research and extension (Brasil, 1988). This means that universities

are not only large schools where classes are taught and professionals are trained. They also generate new knowledge, through scientific research and transfer this knowledge to society. This can involve training new university professors and researchers, but also updating curricula for their undergraduate and graduate courses, or extension activities, such as lectures, minicourses, training etc.

Despite the transparency of this principle in the Brazilian Carta Magna, the inseparability still does not work optimally in the Brazilian education system. Particularly in terms of Low-Carbon Agriculture, despite the fact that we have had a state policy for 10 years, recently extended for another 10 years through the ABC+ plan, and the urgency of this issue, we still do not have a textbook on carbon-neutral agriculture in Brazil. This subject is briefly mentioned within one of the disciplines of the agrarian sciences courses.

IDENTIFICATION OF GAPS AND PRIORITY RESEARCH TOPICS FOR BRAZIL

The global food scenario is disorganized: while one in ten people is malnourished, one in four is overweight. Besides, more than one third of the global population cannot afford a healthy diet. The global food supply is frequently interrupted by unpredictable natural phenomena, such as floods and droughts, as well as wars and pandemics etc. The planet is also suffering: the food sector is responsible for 30% of greenhouse gas emissions, and the expansion of arable areas and pastures accounts for two thirds of the loss of forest areas, mainly in tropical countries. Inadequate agricultural practices degrade the soil, pollute water, reduce water availability, and damage biodiversity.

These facts indicate that the global food system needs substantial overhaul, on public and institutional policies, as well as on social, corporate and technological fronts. Science plays a key role in ensuring that these changes are integrated, and collectively deliver the best results. The task is challenging, since "food science" is multidisciplinary, and involves agriculture, health, engineering, environmental and climate science, economics, political sciences, psychology, and digital sciences.

A recent UN study (UN Food Systems Summit 2021) listed seven priorities for science and technology research to eliminate hunger and protect the planet (von Braun et al., 2021):

sil, 1988). Isso implica que as universidades não são apenas grandes escolas onde aulas são ministradas e se formam profissionais. As universidades também devem gerar conhecimento novo, através da pesquisa científica, e transmitir esse conhecimento à sociedade, seja através da formação de novos professores universitários e pesquisadores, mas também através da atualização curricular dos seus cursos de graduação e pós-graduação, e também por meio de atividades de extensão tais como palestras, minicursos, treinamentos etc.

Apesar da clareza desse princípio na Carta Magna brasileira, a indissociabilidade ainda não funciona de maneira ideal no sistema educacional brasileiro. No caso particular da Agricultura de Baixo Carbono, apesar de já termos uma política de Estado há 10 anos, recentemente estendida por mais 10 anos por meio do plano ABC+, e da urgência dessa questão, ainda não temos um livro-texto sobre a agricultura carbono-neutro no Brasil, e o assunto é normalmente mencionado brevemente dentro de uma das disciplinas dos cursos de Ciências Agrárias.

IDENTIFICAÇÃO DE LACUNAS E TEMAS DE PESQUISA PRIORITÁRIOS PARA O BRASIL

O panorama mundial dos alimentos está em desarranjo: uma em cada dez pessoas é desnutrida, enquanto uma em cada quatro tem sobrepeso. Mais de um terço da população mundial não pode pagar por uma dieta saudável. O fornecimento global de alimentos é frequentemente interrompido por fenômenos erráticos da natureza, como enchentes e secas, além de guerras, pandemias etc. O planeta sofre também: o setor de alimentos é responsável por 30% dos gases de efeito estufa, e a expansão das áreas cultiváveis e pastos responde por dois terços da perda de áreas de florestas, principalmente nos países tropicais. Práticas agrícolas incorretas degradam o solo, poluem e reduzem a disponibilidade de água e prejudicam a biodiversidade.

Esses fatos indicam que o sistema alimentar global precisa de uma reformulação substancial nas políticas públicas e ins-

O panorama mundial dos alimentos está em desarranjo: uma em cada dez pessoas é desnutrida, enquanto uma em cada quatro tem sobrepeso. Mais de um terço da população mundial não pode pagar por uma dieta saudável.

tucionais, bem como nas frentes sociais, empresariais e tecnológicas. A ciência exerce um papel importante para garantir que essas mudanças sejam integradas e entreguem coletivamente os melhores resultados. A tarefa é desafiadora, pois a “ciência dos alimentos” é multidisciplinar, envolvendo agricultura, saúde, engenharia, ciência ambiental e do clima, economia, ciência política, psicologia e ciência digital.

Em estudo recente da ONU (UN Food Systems Summit 2021), foram listadas sete prioridades de pesquisa científica e tecnológica para eliminar a fome e proteger o planeta (von Braun et al., 2021):

1. Erradicação da fome e dietas mais saudáveis. Para atingir esse objetivo é necessário investir em pesquisas que resultem em aumento na produtividade de alimentos de forma sustentável, reduzindo o desperdício e as perdas nas cadeias de valor, com uso de tecnologias apropriadas como energia solar e baterias que tornem o processamento e conservação dos alimentos mais acessíveis, novas formas de embalagem usando materiais reciclados, revestimentos com nanomateriais e filmes comestíveis para manter os alimentos frescos por mais tempo. Políticas públicas para fortificação de alimentos e estímulo ao consumo de dietas saudáveis são igualmente importantes, por meio de rotulagem educacional dos alimentos, educação e taxa extra de alimentos não saudáveis;
2. Diminuição das vulnerabilidades das cadeias de produção de alimentos. Quanto mais globais, dinâmicos e complexos são os sistemas alimentares, mais expostos estão a novos riscos. Os cientistas precisam melhorar a forma como entendem, analisam, monitoram e comunicam essas vulnerabilidades;
3. Proteção da igualdade e direitos. A pobreza e desigualdades associadas a gênero, etnia e idade restringem o acesso de muitas pessoas a alimentos saudáveis. Os cientistas das áreas social e econômica precisam encontrar caminhos para solucionar arranjos desiguais e injustos so-

bre terra, crédito e trabalho, considerando ainda os direitos das mulheres e jovens;

4. Impulso à biociência. Os cientistas precisam encontrar maneiras de restaurar a saúde do solo e melhorar a eficiência das colheitas, safras e recarbonização do solo e da biosfera. É necessário desenvolver fontes alternativas de proteínas saudáveis, tais como as derivadas de plantas e insetos, bem como técnicas de melhoramento de plantas que capturem nitrogênio do ar para reduzir a necessidade de fertilizantes e melhorar o teor de nutrientes. A produtividade, qualidade e resistência das safras devem ser melhoradas com uso da engenharia genética e biotecnologia. O desenvolvimento de variedades resistentes a condições ambientais adversas pode incrementar a produção agrícola e recuperar áreas degradadas, com mais financiamento à pesquisa para a identificação de espécies resistentes a estresses abióticos e candidatas aptas a melhoramento das espécies domesticadas;
5. Proteção dos recursos naturais existentes. São necessárias ferramentas para auxiliar no uso racional e manejo sustentável do solo, da água e da biodiversidade. Dispositivos digitais e sensoriamento remoto podem rastrear concentrações de carbono e outros nutrientes no solo. Os sistemas de inteligência artificial e drones permitem que os agricultores identifiquem áreas que necessitem de irrigação, fertilização ou proteção contra pragas. Micro-organismos do solo podem ser aproveitados para melhorar a estrutura do solo, o armazenamento de carbono e os rendimentos. A biodiversidade necessita ser protegida, as variedades de sementes devem ser preservadas, e seus fenótipos e genótipos explorados no contexto das mudanças climáticas e nutrição. O conhecimento da composição nutricional de alimentos vegetais oriundos da biodiversidade é necessário para o direcionamento de programas de exploração sustentável destes recursos. A organização de cadeias de produção sustentáveis de produtos de alto va-

1. *Eradication of hunger and promotion of healthier diets. To achieve this goal, it is necessary to invest in research that leads to enhanced sustainable food production and reduces waste and loss throughout value chains. Appropriate technology must also be used, such as solar energy and batteries that make food processing and preservation more affordable, new forms of packaging using recycled materials, coatings of nanomaterials and edible films to keep food fresher for longer. Public policies for food fortification and for encouraging the adoption of a healthier diet, through informative food labelling, education, and extra taxes for unhealthy foods, are also important;*
2. *Reduction of vulnerability of food production chains. The more globalized, dynamic, and complex food systems are, the more exposed they are to new risks. Scientists need to improve how they understand, analyze, monitor, and communicate these vulnerabilities;*
3. *Protection of equality and rights. Poverty and inequalities associated with gender, ethnicity and age restrict the access to healthy food for many people. Scientists from social and economic areas need to find ways to solve unequal and unjust arrangements for land, credit, and employment, as well as to consider the rights of women and young people;*
4. *Boost of bioscience. Scientists need to find ways to restore soil health and improve the efficiency of harvests, crops and recarbonization of the soil and the biosphere. It is necessary to develop alternative sources of healthy proteins, such as those derived from plants and insects, as well as techniques to improve breeding techniques of plants that capture nitrogen from the air to reduce the need for fertilizers and increase nutrient content. Productivity, quality, and resistance of crops should be enhanced using genetic engineering and biotechnology. The development of varieties resistant to adverse environmental conditions can increase agricultural production and recover degraded areas, with more funding for research, aiming to identify species resistant to abiotic stresses as well as viable candidates for improving domesticated species;*
5. *Protection of existing natural resources. Tools to facilitate the rational use and sustainable management of soil, water and biodiversity are necessary. Digital devices and remote sensing technolo-*

gies can track carbon concentrations and other nutrients in the soil. Artificial intelligence systems and drones allow farmers to identify areas that require irrigation, fertilization, or protection against pests. Microorganisms in the soil can be exploited to enhance soil structure, carbon storage, and yield. Biodiversity must be protected, seed varieties should be preserved, and their phenotypes and genotypes investigated as to climate change and nutrition. Knowledge about the nutritional composition of plant foods derived from biodiversity is necessary to guide programs for sustainable use of these resources. The organization of sustainable production chains for underexploited high nutritional value products can increase accessibility to healthier food sources;

6. Sustainable aquatic food. Fish, crustaceans, and aquatic plants, such as algae, have much to provide from a nutritional and environmental standpoint, and should be better exploited in the food security context. Resources from oceans, coastal waters and freshwater should be sustainably used and their biodiversity duly protected;
7. Use of digital technology. Robots, sensors, and artificial intelligence are increasingly more common on farms, helping to harvest crops and milk cows, for instance. Sensors can monitor the origin and quality of ingredients and products throughout the food processing chain to minimize losses and ensure food security. To expand the use of technology, there is a need to reduce costs and increase offer.

For Brazil to maintain its leading position in global agricultural production, so as to help mitigate difficulties associated with food security and environmental protection, ongoing investments in science and technology must be made. Science needs to respond to global challenges, so that disruptive approaches do not irreversibly impact humankind.

To feed a growing population, and simultaneously protect the health of the planet, agriculture in the future will have to look beyond the maximization of productivity and arable land. It is necessary to seek truly disruptive approaches, such as growing vegetables on buildings, and tomatoes at sea, which is already done in some countries; or protein laboratories that produce synthetic meat. Encouraging of dissemination of greenhouses in medium to large sized cities, with intensive use of technology, can lead to an in-

lor nutricional, mas pouco explorados, pode ampliar a acessibilidade a uma alimentação mais saudável;

6. Alimentos aquáticos sustentáveis. Peixes, crustáceos e plantas aquáticas, como as algas, têm muito a oferecer do ponto de vista nutricional e ambiental e devem ser mais bem explorados no contexto da segurança alimentar. Recursos vindos de oceanos, águas costeiras e água doce devem ser explorados de forma sustentável e protegidos quanto à biodiversidade;
7. Aproveitamento da tecnologia digital. Robôs, sensores e inteligência artificial são cada vez mais usados em fazendas: para colher safras e ordenhar vacas, por exemplo. Os sensores podem monitorar a origem e a qualidade dos ingredientes e produtos ao longo da cadeia de processamento de alimentos para reduzir perdas e garantir a segurança alimentar. Para ampliar o seu uso, há necessidade de reduzir seu custo e aumentar a oferta.

Para manter a vanguarda brasileira na produção agropecuária mundial, de modo que possa contribuir na mitigação das dificuldades relacionadas com a segurança alimentar e a proteção do meio ambiente, é necessário investimento permanente nas áreas de ciência e tecnologia. Há necessidade de a Ciência responder aos desafios globais, para que abordagens disruptivas não impactem a humanidade de forma irreversível.

Para nutrir uma população crescente e, ao mesmo tempo, proteger a saúde do planeta, a agricultura de amanhã precisará olhar além da maximização da produ-

tividade e das terras cultiváveis. É necessário buscar abordagens verdadeiramente disruptivas, tais como cultivo de hortaliças em edifícios e tomates no mar, já existente em alguns países, ou laboratórios de proteína que produzem carne sintética. O incentivo à disseminação de estufas em cidades de médio e grande porte, com uso intensivo de tecnologia, pode levar a incremento de produção, especialmente de frutas e hortaliças, redução de gastos logísticos, acesso a alimentos seguros e com qualidade nutricional, fazendo com que o espaço urbano se some de forma significativa ao espaço agrícola.

É necessário explorar as relações entre circularidade, biodiversidade, produção de alimentos e saúde. Inovações emergentes, tais como ferramentas para mensuração do progresso técnico e social, em parceria com o governo, ONGs, investidores e todas as partes interessadas são indispensáveis para o estabelecimento de uma direção rumo ao futuro em sinergia com todos os envolvidos.

Para atender aos desafios descritos, um aspecto de grande relevância é a necessidade de investimento na formação de recursos humanos qualificados, com apoio dos cursos profissionalizantes, ao nível de graduação e pós-graduação.

AÇÕES PARA FORTALECIMENTO DO SETOR NO PAÍS E SEU IMPACTO SOBRE O CENÁRIO CIENTÍFICO BRASILEIRO

As oportunidades e desafios para ações de PD&I em agricultura e segurança alimentar incluem:

É necessário explorar as relações entre circularidade, biodiversidade, produção de alimentos e saúde.

- a) Desenvolvimento de pesquisas e reforma curricular visando expandir a produção agropecuária sem aumentar a fronteira agrícola, o que implica uma revolução na maneira de se pensar a agropecuária. Os cursos de Ciências Agrárias devem avançar no seu conteúdo, pensando não apenas nos fazendeiros, mas nas cadeias produtivas e nos órgãos de pesquisa. No entanto, é preciso que os cursos também avancem no conteúdo para esta nova agricultura sustentável do futuro, para superar os rumos da ciência antiga, que não mais atende às necessidades atuais e futuras;
- b) Priorização de pesquisas para desvendar a dinâmica no uso do solo, principalmente o que faz a intensificação em algumas regiões ocorrer mais rapidamente do que em outras, de modo que os resultados dessas pesquisas possam orientar políticas para facilitar a intensificação da agropecuária;
- c) Desenvolvimento de novas variedades genéticas de plantas cultivadas, para encurtar o seu ciclo e manter ou aumentar a sua produtividade, de modo que duas safras possam continuar a ser viáveis numa estação chuvosa mais curta. O fracasso em desenvolver essas variedades pode levar ao abandono do sistema de dupla safra nessas regiões, com forte pressão sobre a extensificação da fronteira agrícola e sobre a segurança alimentar global;
- d) Mapeamento do carbono nos solos para identificar regiões prioritárias para recuperação e pesquisar estratégias de recuperação e conservação de solos que funcionem em grande escala. Há que se considerar que os solos brasileiros são muito pobres em carbono, assim, aumentar o teor de carbono dos nossos solos é uma estratégia com a qual todos ganhariam: solos com mais carbono são mais permeáveis, retêm mais água, reduzem o risco associado a longas estiagens e, obviamente, imobilizam carbono, que de outra forma voltaria para a atmosfera na forma de CO₂. Aumentar o teor de carbono nos solos, ao mesmo

crease in production, especially for fruits and vegetables, reduction of logistical expenses and access to safe and nutritional food, so that the urban space adds significantly to the agricultural space.

It is necessary to exploit the relationships among circularity, biodiversity, food production, and health. Emerging innovations, such as tools for measuring technical and social progress, in partnership with governments, NGOs, investors, and all stakeholders, is vital to establish a pathway toward the future, in synergy with all those involved.

To meet the challenges outlined, a particularly relevant point is the need for investment in training qualified human resources, supported by professional courses, at undergraduate and graduate levels.

STEPS TO STRENGTHEN THE SECTOR IN BRAZIL AND THEIR IMPACT ON THE BRAZILIAN SCIENTIFIC CONTEXT

Opportunities and challenges for RD&I initiatives for agriculture and food security include:

- a) Development of research, and curricular reforms to increase agricultural production without expanding the agricultural frontier, which requires a revolution in our way of thinking agriculture and cattle raising. Agrarian Science courses should further improve their contents, thinking not only about farmers, but also about production chains and research agencies. However, it is also necessary for courses to improve the content for this new sustainable agriculture of the future, to overcome outdated perspectives of an ancient science that no longer meets current and future needs;
- b) Prioritization of research focused on elucidating dynamics of land use, mainly what makes intensification occur more quickly in some regions than in others, so that results of these studies guide policies to facilitate intensification of agriculture;
- c) Development of new genetic varieties of cultivated plants, to shorten their life-cycle and maintain or increase their productivity, so that two crops will remain viable during a shorter rainy season. Failure to develop these varieties could lead to the abandonment of the double harvesting system in these regions, leading to significant pressure on the expansion of the agricultural frontier, and on global food security;
- d) Mapping of carbon in the soil to identify priority regions for reclamation and

searching of soil recovery and conservation strategies that work at large scales. Brazilian soils are very poor in carbon, so that increasing the carbon content of our soils is a strategy that everyone would benefit from: soils with more carbon are more permeable, retain more water, reduce the risks associated with long droughts and, obviously, capture more carbon, which otherwise would return to the atmosphere as CO₂. Increasing carbon levels in the soil can both adapt agriculture to climate extremes and help to mitigate climate changes;

- e) Use of natural biodiversity, including macrofauna and flora and microorganisms, to promote the growth and health of agricultural cultivars, as well as to protect against biotic and abiotic stresses deriving from climate change. In this context, an approach at three distinct levels is suggested to engage with the biological dimension of production systems in future research that includes soil, plants, and the associated microbiome.

The transformation of Brazilian agriculture depends not only on scientific research and technological development. The improvement of economic aspects relies on infrastructure investments mainly in Cerrado and Amazonian biomes. Encouraging the modernization of agricultural defense, enhancing rural extension, and implementing adequate risk management and access to credit are also necessary. These are the instruments that, along with an efficient management of agricultural processes, promote production growth through productivity gains.

Continued support from funding bodies, particularly FAPESP, for food security and environment areas has been vital to the development of basic or applied research at the frontiers of knowledge, thus contributing to solving problems and innovating through transference of technology. It has also encouraged educational initiatives and dissemination of knowledge to students and professionals and to the general public, as has been discussed in detail in chapter one of this publication.

FAPESP's funding strategies for short and long-term research to advance knowledge and to train human resources for science and technology - providing scholarships for graduate, post-graduate and post-doctoral students and researchers -, both in Brazil and overseas, have been vital and noteworthy. Joint calls for pro-



tempo, adapta a agricultura aos extremos do clima e pode mitigar as mudanças climáticas;

- e) Aproveitamento da biodiversidade natural, incluindo macrofauna e flora e micro-organismos, para a promoção de crescimento e saúde de cultivos agrícolas, como também proteger contra estresses bióticos e abióticos provenientes das mudanças climáticas. Nesse contexto, uma abordagem em três diferentes níveis é sugerida para abranger a dimensão biológica dos sistemas de produção em pesquisas futuras, que inclua o solo, a planta e o microbioma associado.

A transformação da agropecuária brasileira depende não apenas de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico. A melhoria dos aspectos econômicos depende de investimentos em infraestrutura, principalmente nos biomas Cerrado e Amazônia. É necessário ainda promover a modernização da defesa agropecuária, o aprimoramento da extensão rural, a adequada gestão de risco e o acesso ao crédito. São esses instrumentos que, ao lado de uma gestão eficiente dos processos agrícolas, promovem o crescimento da produção por meio de ganhos de produtividade.

O apoio continuado das agências de fomento, particularmente da FAPESP, à área de segurança alimentar e meio ambiente tem sido crucial para o desenvolvimento de pesquisa na fronteira do conhecimento, fundamental ou aplicada, contribuindo para a solução de problemas e inovação por meio de transferência de tecnologia, além de estimular atividades educacionais e de difusão do conhecimento a estudantes e profissionais e para o público em geral, conforme ricamente discutido no capítulo 1 desta publicação.

As estratégias de fomento da FAPESP para pesquisa para o avanço do conhecimento a curto e longo prazos e para a formação de recursos humanos para ciência e tecnologia através da concessão de bolsas para estudantes de graduação e pós-graduação, pós-doutorandos e pesquisadores, no país e no exterior,

têm sido fundamentais e merecedoras de destaque. Os editais conjuntos lançados com instituições de ensino superior e pesquisa, no Brasil e no exterior, para cofinanciamentos têm ampliado a cooperação internacional em pesquisa. O programa Pesquisa em Temas Estratégicos, que visa estimular a formação de grupos de pesquisa sobre temas que promovem o desenvolvimento do estado de São Paulo e do país, incluindo o apoio à modernização dos Institutos de Pesquisa paulistas, abriga projetos de grande envergadura para o setor de alimentos e ambiente. No contexto deste capítulo, multi e transdisciplinar em sua essência, vale destacar o apoio para o Centro de Pesquisa para Alimentos (Food Research Center – FoRC), um dos CEPIDs (Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão) apoiados pela FAPESP, sediado na USP, e para os grandes projetos BIOTA-FAPESP, BIOEN e PPFMCG (Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais). Os objetivos do BIOTA-FAPESP são mapear, catalogar e caracterizar a biodiversidade do estado de São Paulo e definir mecanismos de conservação, restauração e avaliação. O programa PPFMCG engloba projetos de pesquisa que auxiliem na tomada de decisões sobre os impactos do aquecimento global na economia e na sociedade brasileira. Em um edital recente, para criação de Centros de Ciência para o Desenvolvimento (também denominado Núcleos de Pesquisa Orientada a Problemas – NPOP), foram aprovados vários núcleos relacionados à temática alimentos-ambiente, como a Plataforma Biotecnológica Integrada de Ingredientes Saudáveis, liderada pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos, Pescado para a Saúde, liderada pelo Instituto Oceanográfico da USP, BIOTA Síntese (Núcleo de Análise e Síntese de Soluções Baseadas na Natureza), do IEA/USP, e Estratégias biotecnológicas e genômicas para qualidade, produtividade e manejo sustentável de citros, café e cana-de-açúcar no estado de São Paulo, do Instituto Agrônomo.

posals launched with higher education and research institutions in Brazil and overseas, offering co-financing, have expanded international cooperation on research. The Research in Strategic Topics program aims to encourage the formation of research groups for areas that promote the development of São Paulo state and Brazil. This includes supporting the modernization of Research Institutes in São Paulo state and hosting important projects for the environmental and food sectors. In the context of this multi- and transdisciplinary chapter, support for the Food Research Center (FoRC), one of the Centers for Research, Innovation and Dissemination (CEPIDs) supported by FAPESP, based at USP, and for the large BIOTA-FAPESP, BIOEN and Research for Global Climate Change (PPFMCG) programs, are significant. The objectives of BIOTA-FAPESP are to map, catalogue, and characterize biodiversity of São Paulo state and determine conservation, restoration, and assessment mechanisms. PPFMCG program includes research projects that assist with decision making regarding global warming impacts on the economy and on the Brazilian society. In a recent call for the creation of Science for Development Centers (also named Centers for Research Focused on Problems – NPOP), numerous centers associated with food-environment issues were approved, as the Integrated Biotechnology Platform for Healthy Ingredients, led by the Institute of Food Technology; Fish for Health, led by the Oceanographic Institute of USP; BIOTA Synthesis (Center for Analysis and Synthesis of Solutions Based on Nature) of Institute of Advanced Studies of USP; and Biotechnological and Genomic Strategies for Quality, Productivity and Sustainable Management of Citrus, Coffee and Sugarcane in São Paulo state, of the Agronomy Institute.

Other strategic projects for this topic are the eScience and Data Science projects, which aim to support the consolidation of research groups involved with investigation on algorithms, computer modelling, and data infrastructure with groups of scientists active in other areas of knowledge: from Biology to Social Sciences. The FAPESP program that supports the Modernization of State Research Institutes, which receive support for research and scholarships, complements resources coming from other sources, and provides an improvement of quality, such as for the Institute of Food Technology,

in Campinas, and the Institute of Botany, in São Paulo. Support for research infrastructure including acquisition of equipment for shared use within the scientific community, archives for public access libraries (Faplivros), repair of equipment, museum maintenance, information repository centers, documents and biological collections, and funding allocated for unplanned expenses in research projects are vital resources for effective research development. Rednesp, funded and managed by FAPESP, connects dozens of education and research institutions in São Paulo state with each other and with foreign institutions, based on cooperation with consortia and international academic networks.

FAPESP's established funding activities are also crucial for human resources training, providing scholarships for undergraduate and graduate students, in Brazil and abroad, as well as for research that promotes the development of knowledge in the short and long-terms. The group of research programs aimed at collaboration between companies and universities or research institutions, and on encouraging the development of technological innovation in São Paulo state are noteworthy. These include Research in Partnership for Innovation and Technology (PITE) and Innovative Research in Small Enterprise (PIPE), which have spearheaded numerous initiatives in the food-environment area.

DEMONSTRATION OF THE COHERENCE OF THE PROPOSED ACTIONS WITH UN SDGS

With less than 10 years to go until the 2030 deadline to achieve the UN Sustainable Development Goals (SDGs), governments must intensify their efforts to meet the environmental and global food security targets (Organization for Economic Co-operation and Development & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Ensuring food security and a healthy diet for a growing global population will continue to be a challenge. Global demand for agricultural commodities –, including for use as food, animal feed, biofuels, and industrial supplies – should grow by 1.2% per year over the next decade, a slower yearly rate than in the previous decade.

The new model for food production development for tropical agriculture should be a high-intensity production, with two or more crops per year, high productiv-

Outros projetos estratégicos para a temática em questão são os projetos eScience e Data Science, que objetivam apoiar a integração de grupos de pesquisa envolvidos com investigações sobre algoritmos, modelagem computacional e infraestrutura de dados com grupos de cientistas envolvidos em outras áreas do conhecimento, da Biologia às Ciências Sociais. O programa FAPESP de apoio para Modernização dos Institutos Estaduais de Pesquisa, que recebem auxílios à pesquisa e bolsas, complementa recursos vindos de outras fontes e confere um salto de qualidade, como aconteceu com o Instituto de Tecnologia de Alimentos, em Campinas, e com o Instituto de Botânica, em São Paulo. O apoio à infraestrutura de pesquisa, através da aquisição de equipamentos para uso compartilhado pela comunidade científica e acervos para bibliotecas de acesso público (Faplivros), reparo de equipamentos e manutenção de museus, centros depositários de informações, documentos e coleções biológicas e reservas técnicas para despesas não previstas nos projetos de pesquisa, são benesses indispensáveis para o bom andamento das pesquisas. A Rednesp, financiada e gerenciada pela FAPESP, conecta dezenas de instituições de educação e pesquisa do estado de São Paulo, entre elas e com o exterior, a partir da cooperação com consórcios e redes acadêmicas internacionais.

Cruciais também são as atividades convencionais de fomento da FAPESP, para formação de recursos humanos, pela concessão de bolsas para estudantes de graduação e pós-graduação, no país e no exterior, e para pesquisa que promova o avanço do conhecimento a curto e longo prazos. Merece destaque o conjunto de programas de pesquisa voltados à colaboração entre empresas e universidades ou institutos de pesquisa e ao estímulo ao desenvolvimento da inovação tecnológica no estado de São Paulo, como PITE (Pesquisa em Parceria para Inovação Tecnológica) e PIPE (Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas), que têm contemplado várias iniciativas na área de alimentos-ambiente.

É necessário ainda promover a modernização da defesa agropecuária, o aprimoramento da extensão rural, a adequada gestão de risco e o acesso ao crédito.

DEMONSTRAÇÃO DA COERÊNCIA DAS AÇÕES PROPOSTAS COM OS ODS/ONU

Faltando menos de 10 anos até o prazo de 2030 para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS), os governos precisam intensificar seus esforços para cumprir as metas ambientais e de segurança alimentar global (Organization for Economic Co-operation and Development & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Garantir a segurança alimentar e dietas saudáveis para uma crescente população global continuará sendo um desafio. A demanda global por commodities agrícolas – inclusive para uso como alimentos, rações, biocombustível e insumos industriais – deve crescer 1,2% ao ano na próxima década, a uma taxa anual mais lenta do que na década anterior.

O novo modelo de desenvolvimento da produção de alimentos para a agricultura tropical deverá ser um modelo altamente intensivo de produção, com duas ou mais safras ao ano, alta produtividade, efetiva proteção ao meio ambiente, sustentabilidade econômica da cadeia de produção, melhoria da qualidade de vida do homem do campo e um estrito controle sobre o uso de recursos como água e energia, com forte produção de energia renovável em nível de fazenda. Esse modelo atende diretamente aos seguintes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU:

- ODS 2. Fome zero e agricultura sustentável. Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Este é o objetivo central das ações propostas: permitir que o Brasil contribua para a segurança alimentar global, ao mesmo tempo em que transforma a sua agricultura em sustentável, de modo que a capacidade das próximas gerações em produzir alimentos não seja prejudicada;
- ODS 8. Trabalho decente e crescimento econômico. Promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho digno para todos. A produção intensiva, com várias safras anuais, promove

o trabalho contínuo no campo, transformando trabalhadores safristas em celetistas, promovendo renda contínua e seguridade social;

- ODS 13. Ação contra a mudança global do clima. Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos. Este é outro objetivo principal das ações propostas. Transformar a agricultura brasileira em carbono neutra, com zero desmatamento, recuperação de áreas degradadas de baixa produtividade e sequestro de carbono no solo;
- ODS 15. Vida terrestre. Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade. Também incluída na proposta, na forma de desmatamento zero, a recuperação de recursos naturais, a preservação e a utilização sustentável da riqueza ambiental do país.

VISÃO PARA O FUTURO

O Brasil é uma região de megabiodiversidade. O agronegócio ocupa percentagem significativa da matriz econômica (PIB) para a geração de riqueza e renda e a sinergia da conservação e a utilização sustentável da biodiversidade, que inclui os recursos hídricos, disponibilidade de água, recursos genéticos, conservação do solo, estabilidade climática, reciclagem de nutrientes, entre outros fatores físicos e químicos, são essenciais para o contínuo sucesso do agronegócio.

A estrutura agrícola brasileira dos diferentes segmentos de renda agrícola e sua correlação indicam a urgente necessidade e oportunidade para estabelecer uma nova configuração e equalização visando a intensificação sustentável da produção de alimentos, conservação da biodiversidade e efetiva redução da desigualdade. A desigualdade no país só será reduzida se houver tecnologia combinada com saúde humana, educação de alta qualidade, se-

ity, effective environmental protection, economic sustainability of the production chain, enhanced quality of life of rural residents, and strict control of the use of water and energy resources, with widespread production of renewable energy at the farm level. This model directly meets the directives of the following UN Sustainable Development Goals:

- SDG 2. Zero hunger and sustainable agriculture. Eradicate hunger, achieve food security, improve nutrition, and promote sustainable agriculture. This is the main objective of the proposed actions: allow Brazil to contribute to global food security, while making its agriculture sustainable, so that the capacity for food production of future generations is not harmed;
- SDG 8. Decent work and economic growth. Promote inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment, and decent work for all. Intensive production, with numerous crops per year, promotes continuous work in the field, transforming seasonal workers into CLT (Consolidation of Work Laws, instrument that regulates work and employment in Brazil) workers, promoting continuous income and social security;
- SDG 13. Action against global climate change. Adopt urgent measures to combat climate change and its impacts. This is another main objective of the actions proposed: make Brazilian agriculture a carbon neutral activity, with zero deforestation, recovery of low-productivity degraded areas, and implementation of carbon capture in the soil;
- SDG 15. Life on land. Protect, restore, and promote the sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, stop and reverse land degradation, and halt biodiversity loss. Also included in the proposal, in the form of zero deforestation, are the restoration of natural resources, the preservation and sustainable use of the country's environmental wealth.

VISION FOR THE FUTURE

Brazil is a mega-biodiversity region. Agribusiness occupies a significant percentage of its economic matrix (GDP) for wealth and income generation. The synergy of conservation and sustainable use of biodiversity, which includes water resources, water availability, genetic resources, soil conservation, climate

stability, and nutrient recycling, among other physical and chemical factors, are vital for the continued success of agribusiness.

The Brazilian agricultural structure of the different segments of agricultural income and their correlation indicates an urgent need and opportunity to establish a new configuration and balance, aiming at sustainable intensification of food production, biodiversity conservation and effective reduction of inequalities. Inequality in the country will only be reduced if there is technology combined with human health, high quality education, food security, environment, and market added value (Figure 9).

General support mechanisms should include: enhanced operational synergies between the north-southeast-west in the country; long-term funded bottom-up science and technology consortia; active networking tools; education, training, and schools with well trained teachers; dissemination of knowledge; high-risk support programs; innovative and emerging research topics, with clear objectives, definitions and deliverables; intensification of multi and interdisciplinary scientific and technological research; significant involvement by the next generation of young researchers; intensification of technological and scientific research for peaceful purposes and for the public good; establishment of research consortia that work collaboratively, from the laboratory to the market; encouraging knowledge exchange; new cooperative research and new communication strategies.

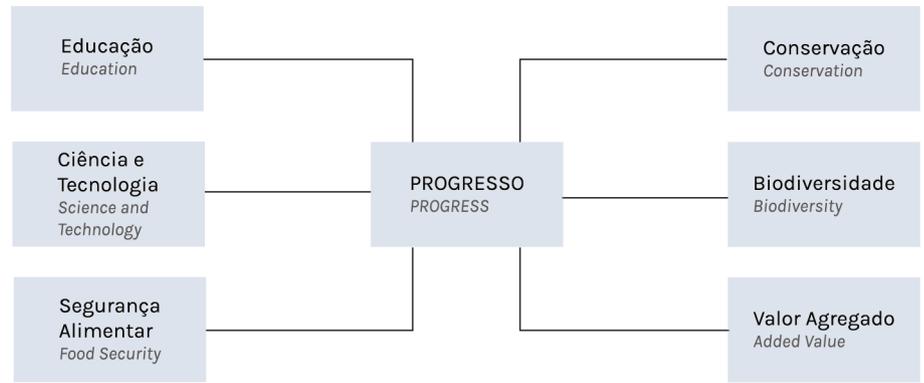


Figura 9. Equalização de componentes para o desenvolvimento progressivo.

Fonte: Os autores.

Figure 9. Balance of components for progressive development.

Source: The authors.

segurança alimentar, meio ambiente e valor agregado de mercado (Figura 9).

Os mecanismos gerais de apoio incluem: aumento das sinergias operacionais entre o norte-sudeste-oeste no país; consórcios de ciência e tecnologia ascendentes financiados a longo prazo; ferramentas ativas de rede; educação, treinamento, escolas com professores preparados; disseminação de conhecimento; programas de apoio de alto risco; temas de pesquisa inovadores e emergentes, com objetivos claros, defini-

ções e entregas; intensificação da pesquisa científica e tecnológica multidisciplinar e interdisciplinar; significativo envolvimento da próxima geração de jovens pesquisadores; intensificação de pesquisa científica e tecnológica para fins pacíficos e do interesse público; estabelecimento de consórcios de pesquisa que operem conjuntamente, do laboratório ao mercado; promoção do intercâmbio de conhecimento; nova pesquisa conjunta e novas estratégias de comunicação.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

Associação Brasileira da Indústria de Alimentos – ABIA. (2021). Indústria lança site trilingue para mostrar ações de sustentabilidade adotadas pelo setor produtivo do país. ABIA. <https://www.abia.org.br/noticias/industria-lanca-site-trilingue-para-mostrar-acoes-de-sustentabilidade-adotadas-pelo-setor-produtivo-do-pais>.

Brasil. (1988). Constituição Federal de 1988 (Artigo 207). Diário Oficial da República Federativa do Brasil. <https://www.jusbrasil.com.br/topicos/10650167/artigo-207-da-constituicao-federal-de-1988>.

Buainain, A. M., Favareto, A., Contini, E., Chaves, F. T., Henz, G. P., Garcia, J. R., Damiani, O., Vieira

Junior, P. A., Grundling, R. D. P., & Nogueira, V. G. C. (2020). Desafios para a agricultura nos biomas brasileiros (69 p.). EMBRAPA. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125300/desafios-para-agricultura-nos-biomas-brasileiros>.

Cole, M. B., Augustin, M. A., Robertson, M. J., & Manners, J. M. (2018). The science of food security. *Science of Food*, 2, 14. <https://doi.org/10.1038/s41538-018-0021-9>.

Dias, L. C. P., Pimenta, F. M., Santos, A. B., Costa, M. H., & Ladle, R. J. (2016). Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian

agriculture. *Global Change Biology*, 22(8), 2887-2903. <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.13314>.

Dobrovolski, R., & Rattis, L. (2015). Water collapse in Brazil: The danger of relying on what you neglect. *Natureza & Conservação: Brazilian Journal of Nature Conservation*, 13, 80-83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.03.006>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2002). Chapter 2. Food security: concepts and measurement. FAO. <https://www.fao.org/3/y4671e/y4671e06.htm#fn21>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2021). World Food and Agriculture

- Statistical Yearbook 2021. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>.
- Fu, R., Yin, L., Li, W., Arias, P. A., Dickinson, R. E., Huang, L., Chakraborty, S., Fernandes, K., Liebmann, B., Fisher, R., & Myneni, R. B. (2013). Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(45), 18110-18115. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1302584110>.
- Grupo de Inteligência Territorial Estratégica – GITE. (2017). Empresa Brasileira de Pecuária e Agricultura – Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/>.
- Lathuillière, M. J., Coe, M. T., & Johnson, M. S. (2016). A review of green- and blue-water resources and their trade-offs for future agricultural production in the Amazon Basin: What could irrigated agriculture mean for Amazonia? *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 2179-2194. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-20-2179-2016>.
- Leite, V. P., Debone, D., & Miraglia, S. G. E. K. (2020). Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo: Análise do setor de transportes e impactos na saúde. *VITTALLE - Revista de Ciências da Saúde*, 32(3), 143-153. <https://doi.org/10.14295/vittalle.v32i3.12220>.
- Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária – MAPA. Agrostat - Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. (2022). Indicadores Gerais Agrostat. MAPA. <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>.
- Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD, & Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2017). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-en.
- Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD, & Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2021). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L., Rütther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., & Souza, J. G. (2017). *Atlas Brasileiro de Energia Solar* (2. ed., 80 p.). INPE. <http://doi.org/10.34024/978851700089>.
- Pinto, C. S., Bidarte, M. V. D., Silinske, J., & Cipolat, C. (2016). Pegada ecológica: Uma análise com alunos de graduação da Universidade Federal do Pampa, Campus Sant'Ana do Livramento. *Revista Espacios*, 37(25), E-3.
- Pires, G. F., Abrahão, G. M., Brumatti, L. M., Oliveira, L. J. C., Costa, M. H., Liddicoat, S., Kato, E., & Ladle, R. J. (2016). Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228-229, 286-298. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.005>.
- Rattis, L., Brando, P. M., Macedo, M. N., Spera, S. A., Castanho, A. D. A., Marques, E. Q., Costa, N. Q., Silverio, D. V., & Coe, M. T. (2021). Climatic limit for agriculture in Brazil. *Nature Climate Change*, 11, 1098-1104. <http://dx.doi.org/10.1038/s41558-021-01214-3>.
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLoS One*, 8(6), e66428. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0066428>.
- Strassburg, B. B. N., Latawiec, A. E., Barioni, L. G., Nobre, C. A., da Silva, V. P., Valentim, J. F., Vianna, M., & Assad, E. D. (2014). When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change*, 28, 84-97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.001>.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(50), 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>.
- United States Department of Agriculture – USDA. (2017). Agricultural Projections to 2026. Long-term Projections Report No. OCE-2017-1. USDA. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=82538>.
- von Braun, J., Afsana, K., Fresco, L. O., & Hassan, M. (2021). Food systems: Seven priorities to end hunger and protect the planet. *Nature*, 597, 28-30. <http://dx.doi.org/10.1038/d41586-021-02331-x>.



Capítulo 5

Computação: ciência, engenharia e arte

Chapter 5

Computing: science, engineering and art

CONTEXTUALIZAÇÃO

Este capítulo se concentra em alguns dos muitos temas de pesquisa em Computação e como ela influencia e é influenciada por todos os demais domínios do conhecimento. Ele explora a interação entre três eixos essenciais – dados, algoritmos e hardware. A execução de algoritmos gera dados; a análise de dados induz à criação

de modelos e algoritmos; e dados e algoritmos são usados para criar especificações executáveis de hardware, em um ciclo em constante evolução. Esta evolução está cada vez mais sujeita aos aspectos éticos da Computação – se os artefatos computacionais influenciam todos os aspectos de nossas vidas, precisamos especificar e interagir com tais artefatos de maneira responsável.

Ao mesmo tempo que a pesquisa em Computação acelera e permite pesquisas em outras áreas, novas descobertas em outros domínios também contribuem para o avanço da pesquisa e desenvolvimento da Computação. A cada nova descoberta, este círculo virtuoso permite avançar o conhecimento que temos sobre nós mesmos e o mundo que nos cerca. Algoritmos e dados permitem que cientistas conheçam mais sobre todos os seres vivos – biologia, fisiologia, cognição, interações, evolução.

autores/authors

Claudia Maria Bauzer Medeiros¹
André Carlos Ponce de Leon Ferreira de Carvalho²
Helder Takashi Imoto Nakaya³
João Marcos Travassos Romano¹
Marcelo Knörich Zuffo²
Virgílio Augusto Fernandes Almeida⁴

¹ Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Brasil.

² Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

³ Hospital Israelita Albert Einstein, Brasil.

⁴ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Brasil.

NIRCam Filters

F090W

F110W

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000005>

 Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

CONTEXT

This chapter focuses on some of the many research topics in Computing¹ and how it influences and is influenced by all other domains of knowledge. It explores the interaction between three central dimensions – data, algorithms and hardware. The execution of algorithms produces data; the analysis of data leads to the creation of models and algorithms; and data and algorithms are used to create executable specifications of hardware, in a constant cycle of evolution. This evolution is increasingly subjected to the ethical dimensions of Computing – if the computational artifacts influence all aspects of our lives, we must define and interact with such artifacts in a responsible way.

At the same time that research in Computing accelerates and facilitates research in other areas, new discoveries in other domains also contribute to advances in Computing research and development.

¹ This chapter uses the term “Computing” with a capital “C” to encompass all research, development and innovation in Computer Science and Engineering.



2 LIGHT-YEARS

37N F200W F470N F335M F444W

With each new discovery, this virtuous cycle allows a better understanding of ourselves and of the world around us. Algorithms and data enable scientists to learn more about all living beings – biology, physiology, cognition, interactions, evolution. And (though not exclusively) for humans, this also involves studying sociological and psychological aspects and what drives and moves us.

INTRODUCTION – COMPUTING FROM THE MICRO TO THE MACRO, FROM THE SIMPLE TO THE COMPLEX

The title of this chapter was inspired by the classic text “The Art of Computer Programming” (Knuth, 1998), which all computer scientists know. Written in the 1960s, and expanded over several editions, it analyzes a large number of algorithms, formally proving the complexity of their specifications (in terms of execution time and storage space), discussing their implementation and comparing them with “art”. In fact, not only is Computer Science a science; its practice involves art.

E, principalmente para humanos, aspectos sociológicos, psicológicos e, até mesmo, o que nos move e comove.

INTRODUÇÃO – A COMPUTAÇÃO DO MICRO AO MACRO, DO SIMPLES AO COMPLEXO

O título deste capítulo foi inspirado pelo texto clássico “The Art of Computer Programming” (Knuth, 1998), que todo cientista da computação conhece. Escrito nos anos 1960, e ampliado ao longo de várias edições, analisa um grande número de algoritmos, provando formalmente a complexidade da sua especificação (em termos de tempo de execução e espaço de armazenamento), discutindo sua implementação e comparando-os com “arte”. E sim, Computação é muita ciência, e fazê-la exige arte.

A pesquisa e desenvolvimento em Computação acarretam avanços científicos, tec-

E sim, Computação
é muita ciência, e
fazê-la exige arte.

nológicos, socioeconômicos e culturais, influenciando e contribuindo para o avanço do conhecimento em pesquisas que vão desde outros universos (astronomia) ao interior do ser humano (microbiologia), chegando ao centro da terra (vulcanologia, geologia). Permitem reconstituir o passado (arqueologia, paleontologia) e projetar visões de futuro. Envolvem não apenas a especificação de algoritmos e o desenvolvimento de software, mas também a criação, projeto e construção de novos equipamentos e sistemas computacionais para atender às necessidades de captura e processamento de dados e, assim, entender o mundo que nos cerca.

Do micro ao macro, encontramos software embarcado – de telescópios a microscópios, na construção de supercomputadores até telefones celulares e microssores, interligados ou não, isoladamente ou participando de redes mundiais. Onde quer que se olhe, o que quer que se use, sistemas computacionais são criados e desenvolvidos com ciência e arte, baseando-se em dados e algoritmos. E a construção de quaisquer equipamentos exige engenharia, que é planejada e dirigida por dados e algoritmos.

O trabalho conjunto de pesquisadores em Computação e em todos os outros domínios do conhecimento é denominado de “eScience”. O termo abrange tanto pesquisas “dirigidas pelos dados” quanto “dirigidas pelo processamento”. A primeira é aquela em que a coleta e o processamento de grandes volumes de dados permitem descobrir novos fatos. A pesquisa “dirigida pelo processamento” é aquela que demanda grande poder computacional para, por exemplo, simulações executadas em grandes conjuntos de processadores paralelos, chegando a envolver milhões de horas de processamento – como, por exemplo, em estudos de dinâmica dos fluidos. No primeiro tipo, a ênfase são os algoritmos e os dados usados como entrada, sempre em grande volume, para permitir inferências e tomadas de decisão. No segundo tipo, o diferencial é a necessidade de poder computacional, principalmente para simulações. Alguns tipos de situação envolvem tanto pesquisas dirigidas pelos dados quanto pelo

Research and development in Computing involve technological, scientific, socioeconomic and cultural advances, influencing and contributing to the development of knowledge in research that ranges from other universes (astronomy) to the interior of human beings (microbiology), and reaching the center of the earth (vulcanology, geology). They allow us to reconstruct the past (archaeology, paleontology) and project visions of the future. And they involve not only specifying algorithms and developing software but also the creation, design and construction of new computational equipment and systems to meet the demands of data capture and processing and, thus, understand the world around us.

Embedded software is found from the micro to the macro – from telescopes to microscopes, in building supercomputers, cell phones and microsensors, interconnected or not, isolated from or participating in global networks. Wherever we look, whatever we use, computational systems are created and developed with science and art, based in data and algorithms. And the construction of any equipment requires engineering that is planned and guided by data and algorithms.

The joint work of researchers in Computing and any other domain of knowledge is named “eScience”. The term includes both research “driven by data” and “driven by processing”. The former relies on the collection and processing of large volumes of data to enable the discovery of new facts. Research “driven by processing” requires significant computational power, for instance, for simulations performed with large sets of parallel processors, possibly involving millions of processing hours – for instance, in studies of fluid dynamics. In the first type, the emphasis is on algorithms and the data used as input, always in large volumes, to allow inferences and decision making. In the latter, the specificity is the need for computing power, mainly for simulations. Some situations involve both data-driven and processing driven research – for instance, in biodiversity studies (see chapter 3) or climate change (see chapter 2).

From this perspective, “data” are static, that is, cannot be executed, while “algorithms” specify the logic of processing – whether for data analysis or to run models defined, for instance, by mathematical equations. The difference between data and algorithms is becoming increasingly subtle – data processing can generate more data, but can also produce models; and the processing of an algorithm can generate “static” data, but also new algorithms (as in Artificial Intelligence).

If we thus consider that algorithms can extract new correlations, facts and models based on data, and that data processing can generate new algorithms, the difference between data and algorithms, although persisting, becomes increasingly

tenuous. Regardless of these differences, data and algorithms are at the foundation of advances obtained in Computing. How do they interact and what are the challenges faced to develop research in this area? What are the current developments for new types of hardware that integrate this data-algorithms symbiosis? Figure 1 summarizes this scenario. This chapter gives a brief overview of some of these challenges, exemplifying them based on problems in a few specific domains, while also highlighting their human, social and economic impacts, and the ethical dilemmas they might pose.

BIG DATA, SMALL DATA AND THE DATA LIFE CYCLE

To understand the future of Computing, we introduce two concepts - “big data” and the “data life cycle”. The notion of

processamento – por exemplo, em estudos de biodiversidade (como no capítulo 3) ou mudanças climáticas (como no capítulo 2).

Nessa conceitualização, “dados” são estáticos, isto é, não podem ser executados, enquanto “algoritmos” especificam a lógica de algum processamento – quer para análise de dados, quer para executar modelos que são definidos, por exemplo, por equações matemáticas. A diferença entre dados e algoritmos está ficando cada vez mais sutil – o processamento de dados pode gerar mais dados, mas também gerar modelos; e o processamento de algoritmos pode gerar dados “estáticos”, mas também novos algoritmos (como em Inteligência Artificial).

Se pensarmos, agora, que algoritmos podem extrair novas correlações, fatos e modelos a partir dos dados, e que o processamento dos dados pode gerar novos algoritmos, a diferença entre dados e algoritmos fica cada vez mais tênue, embora persista. Independente dessas diferenças, dados e algoritmos estão na base de todos os avanços obtidos em Computação. Como é que eles interagem, e quais os desafios enfrentados para desenvolver pesquisa nessa área? E que direções existem para novos tipos de hardware que comportem esta simbiose entre dados e algoritmos? A Figura 1 ilustra este cenário sinteticamente. Este capítulo dá uma breve visão sobre

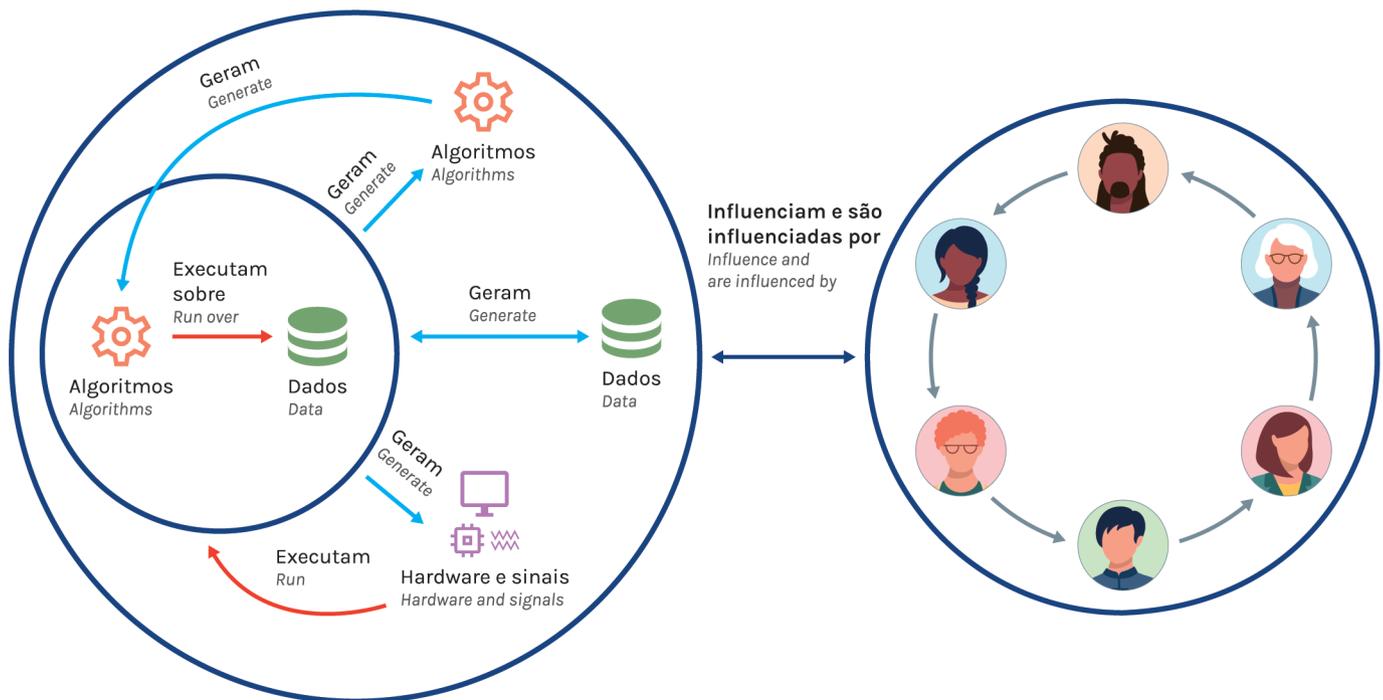


Figura 1. Conceitos abordados no capítulo – algoritmos e dados geram novos dados, algoritmos e hardware, em ciclos virtuosos. O hardware é necessário para a execução. Dados e algoritmos gerados podem ser usados para aprimorar dados e algoritmos. E pessoas, isoladamente ou em conjunto, influenciam e interagem com algoritmos, dados e hardware, e por eles são influenciadas. Crédito: Concepção artística: autores. Ícones das pessoas: © Mashot/Istockphoto.com.
 Figure 1. Concepts considered in the chapter – algorithms and data generate new data, algorithms and hardware in virtuous cycles. Hardware is necessary for execution. The data and algorithms generated, in turn, can be used to improve data and algorithms. People, separately or together, influence and interact with algorithms, data and hardware, and are influenced by them. Credit: Artistic conception by authors. People icons: © Mashot/Istockphoto.com.

alguns desses desafios, exemplificando-os a partir de problemas em alguns domínios específicos, ressaltando também o seu impacto humano, social e econômico – e os dilemas éticos que podem acarretar.

BIG DATA, SMALL DATA E O CICLO DE VIDA DOS DADOS

Para entender os caminhos futuros da Computação, é necessário introduzir dois conceitos adicionais – “big data” e o que é um “ciclo de vida de dados”. A noção de “big data” (termo associado a grande volume) vem sendo disseminada e adotada pelo grande público como sendo a base necessária para grandes descobertas, com a conhecida referência de que dados são o novo petróleo (*The Economist*, 2017). Para melhor entender esta questão, é preciso separar o “big”, que qualifica o volume dos dados, dos desafios de pesquisa associados ao trabalho com dados.

Um “grande volume de dados” (tradução frequente de “big data”) pode ser definido como um conjunto tão grande que técnicas computacionais padrão não são suficientes para processá-lo. Mas à medida que surgem novos algoritmos e hardware mais poderoso, o “grande volume” de cinco anos atrás deixa de sê-lo. Fato é que vivemos num mundo permeado por dados gerados por todo tipo de dispositivo e por nós mesmos (por exemplo, nas redes sociais). E que, graças a esta grande variedade de dados, algoritmos podem realizar deduções e inferências que seriam impossíveis sem os dados como base. Pode-se dizer, assim, que a Inteligência Artificial adquiriu a relevância que hoje tem porque agora conseguimos gerar, armazenar e processar grandes quantidades de dados, e continuamos a desenvolver novos algoritmos e novos computadores que permitam tal processamento.

É comum também ouvir falar nos “V” associados a “big data” – inicialmente três Vs: *Velocidade, Volume, Variedade* (Laney, 2001). O Volume é a essência da definição, como visto acima. Velocidade significa que, se o volume é grande, há problemas

na velocidade do processamento (exigindo novos algoritmos e hardware para melhor desempenho) e na transmissão (também exigindo algoritmos sofisticados para, por exemplo, compactação ou seleção do que se deve transmitir). Finalmente, Variedade significa heterogeneidade – de tipos, de fontes, de formatos.

Só que a heterogeneidade de dados depende do seu volume. Consideremos, por exemplo, uma foto de um ser vivo, que precisa ter metadados associados detalhando como, quando e onde foi obtida, e seu nome científico. A foto e sua descrição são tipos de dados totalmente diferentes que, para serem processados em conjunto, exigem tratamento especial, ou seja, são representantes de “small data” (em termos de volume e exigências computacionais), onde já temos variedade. Também há heterogeneidade se quisermos combinar conjuntos um pouco maiores e mais variados de dados (por exemplo, os vários tipos de dados necessários para um levantamento sobre violência, como no capítulo 7, ou para estudos em produção de alimentos, como os do capítulo 4). Muitos desses estudos não exigem hardware sofisticado ou algoritmos avançados. No entanto, são caracterizados por uma grande heterogeneidade de dados. Assim, o terceiro “V” do “big data” não é exclusivo de grandes volumes. Já o reverso é verdadeiro – grandes volumes de dados heterogêneos exigem algoritmos sofisticados –, ou seja, a variedade é exacerbada pelo volume. Analogamente, outros “V” comumente associados a “big data” são inerentes a problemas de dados (por exemplo, “Veracidade”, sinônimo de qualidade; “Valor” e a subjetividade da avaliação do valor), que são ampliados à medida que o volume aumenta.

Para entender os conceitos associados a dados, e seu papel em descobertas científicas, é preciso também entender o “ciclo de vida dos dados”, que cobre as etapas de coleta, limpeza (ou curadoria), análise, armazenamento e arquivamento. Como diz o nome, o ciclo de vida indica que dados “nascem” (quando são coletados) e podem eventualmente

“big data” (a term associated with large volumes) is spreading and being adopted by the general public as the necessary basis for significant discoveries, with the well-known citation that data are the new oil (*The Economist*, 2017). To better understand this question, we must separate the “big”, that qualifies the volume of data, from the research challenges involved in working with “data”.

“Big data” can be loosely defined as a set of data so large that standard computational techniques are insufficient to process it. However, with the emergence of new algorithms and more powerful hardware, what was considered a “large volume” five years ago is nowadays no longer so. We live in a world permeated by data generated by all sorts of devices and by ourselves (for example, in social networks). Thanks to this large variety of data, algorithms can perform deductions and inferences that would be impossible without data as a basis. We can affirm that Artificial Intelligence has acquired the relevance it has nowadays because large amounts of data can now be generated, stored and processed, and new algorithms and new computers that allow such processing continue to be developed.

It is also usual to associate “big data” with the so-called “V”s – initially three Vs: Velocity, Volume, Variety (Laney, 2001). Volume is the essence of the definition, as already mentioned. Velocity means that, the bigger the volume, the greater the problems in processing speed (requiring new algorithms and hardware to improve performance) and in data transfer (also demanding sophisticated algorithms, for example, for compaction or selection of what needs to be transmitted). Finally, Variety means heterogeneity – of types, sources, and formats.

However, the heterogeneity of data is independent from its volume. Let us consider, for instance, a photo of a living being, that requires associated metadata detailing how, when and where it was taken, and the scientific name of the photo’s subject. A photo and its description are totally different types of data; to be processed together, they require special treatment. They are representatives of “small data” (in terms of volume and computational requirements), but where we already have variety. Heterogeneity also appears if we intend to combine slightly larger, more variable data sets (for example, the various sorts of data necessary for a study on violence, as in chapter 7, or about food production, as in chapter 4). Many of these studies do not require sophisticated hardware or advanced algorithms. However, they are characterized by highly heterogeneous data. Therefore, the third “V” of “big data” is not exclusive to large volumes. Conversely, the opposite is true – large volumes of heterogeneous data require sophisticated algorithms – that is, variety is exacerbated by vol-

ume. Analogously, other “V”s frequently associated with “big data” are inherent to problems with data per se (for example, “Veracity”, synonymous with quality; or “Value” and the subjectivity of the assessment of value), which are increased as volume also increases.

To understand the concepts associated with data, and their role in scientific discovery, it is also necessary to understand the “data life cycle”, which encompasses the steps of collection (also called capture), cleaning (or curating), analysis, storage and archiving. As the name implies, “life cycle” means that data “are born” (when they are collected) and can eventually “die” (when they are deleted, destroyed or forgotten – for instance, when the physical substrate is destroyed or information about where they are stored is lost). Many computer scientists also consider that data “die” when they are no longer used, although they continue to exist in storage.

Each of these steps has well defined phases, whose treatment varies according to the domain of knowledge, data provenance, the aims for data use and possible users. For example, collection can be manual (observations, questionnaires), automatic (using equipment or sensors), or a mix of both, always focused on some purpose for which data are being collected. Curation tends to be one of the most expensive lifecycle stages, since it must guarantee quality and reliability for future use. It nearly always requires validation by domain experts. Storage and archiving require documentation associated with the data – the so called “metadata” – that describe each data set according to, for instance, collection instruments, curation algorithms, the context in which the data are collected and preprocessed, and even the conditions for use. Metadata are adopted worldwide to index datasets, facilitating their search and retrieval. Archival work presupposes long-term storage, using special techniques for organization and preservation (for example, according to reproduction protocols that avoid “digital decay” in which storage is corrupted over time and the data become illegible). All life cycle stages directly influence the quality of the results obtained when processing data sets – sophisticated algorithms are useless if the data lack the quality necessary for its intended application. Notably, the notion of quality is always subjective, being associated with their fitness for use.

There is no absolute quality as a property intrinsic to data. This takes us to the next section, which considers algorithms, particularly those connected with Artificial Intelligence, and how the combination data + algorithms is the basis for decision making. Thus, as we will see, data quality is also linked to their relevance for the solution of a problem.

“morrer” (quando são apagados, destruídos ou esquecidos – por exemplo, quando é destruído o meio físico ou perdida informação sobre onde estão armazenados). Muitos cientistas da computação às vezes consideram que dados “morreram” quando não são mais usados, embora existam armazenados.

Cada uma dessas etapas tem passos bem definidos, em que o tratamento varia de acordo com o domínio do conhecimento, a proveniência, os objetivos do uso dos dados e os usuários possíveis. Assim, por exemplo, a coleta pode ser manual (observações, questionários), automática (usando equipamentos ou sensores), ou um misto de ambas, sempre dirigida por alguma necessidade de uso. A curadoria costuma ser uma das etapas mais caras do ciclo de vida, pois visa garantir a qualidade e confiabilidade para futuros usos. Quase sempre exige validação por especialistas de domínio. Armazenamento e arquivamento pressupõem que há documentação associada aos dados – os chamados “metadados” – que descreve cada conjunto de dados conforme, por exemplo, os instrumentos de coleta, os algoritmos de curadoria, o contexto em que os dados foram coletados e pré-processados, e até mesmo condições para seu uso. Metadados são adotados mundialmente para a indexação de conjuntos de dados, facilitando sua busca e recuperação. A palavra “arquivamento” pressupõe armazenamento duradouro, usando técnicas especiais de organização e preservação (por exemplo, segundo protocolos de cópia para evitar o “decaimento digital”, em que o meio de armazenamento é corrompido com o tempo e torna os dados ilegíveis). Todas as etapas do ciclo de vida influenciam diretamente a qualidade dos resultados obtidos ao processar conjuntos de dados – de nada adianta algoritmos sofisticados se os dados não têm a qualidade desejada para o que se deseja. Notar, aqui, que a noção de qualidade é sempre subjetiva, sendo associada à adequação para o uso (*fitness for use*).

Não existe qualidade absoluta de dados. Isto nos leva à próxima seção, que discu-

te algoritmos, em particular ligados à Inteligência Artificial, e como a combinação dados + algoritmos é a base de tomadas de decisão. Nesse sentido, como veremos, a qualidade dos dados também inclui sua relevância para a solução de um problema.

ALGORITMOS

As duas seções anteriores estabeleceram a base para esta seção, abordando o cenário global no qual a Computação se insere, e os dados nos quais vivemos imersos e que cada vez mais provêm informações sobre tudo e todos. Esta seção aborda questões de Inteligência Artificial, que é resultado da junção “algoritmos + dados”. Exemplos de algoritmos e dados no nível externo – cidades inteligentes – são seguidos por exemplos ligados à alimentação, educação, saúde e meio ambiente, descendo ao nível biológico interno (Bioinformática), e finalizando a seção com considerações sobre o que está por trás da geração dos dados – os sinais. A ênfase desta seção é em soluções associadas à Inteligência Artificial (IA), mas há uma infinidade de algoritmos e soluções computacionais que não precisam de IA para obter resultados importantes.

Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina

O termo “Inteligência Artificial” foi proposto e definido em 1955 por John McCarthy como “A ciência e engenharia de fazer máquinas inteligentes” (McCarthy et al., 2006). Após um período de estagnação nos anos 1990, aparece agora como base para apoio à decisão e descobertas em vários domínios, impulsionada pela capacidade de produção de “big data”, a evolução no hardware e o desenvolvimento de novos algoritmos que permitem processar esses dados de forma “similar” à inteligência humana.

É uma área de pesquisa dentro da Ciência da Computação, englobando um vasto corpo de conhecimento, que agrega novos temas tão rapidamente que é difícil acompanhá-la por completo. Quando mencionada, provoca diferentes reações, como medo, esperança, desejo, repulsa, curiosidade e indiferença.



ALGORITHMS

The two previous sections set the basis for this section, considering the global context in which Computing takes place, and the data we live immersed in, which increasingly provide information about everything and everyone. This section considers some issues in Artificial Intelligence (AI), which is itself the result of the combination “algorithms + data”. In what follows, examples of algorithms and data at the external level – smart cities – are followed by examples related to food, education, health, the environment, and descending to the internal biological level (Bioinformatics). The section concludes with considerations about what underpins data generation and processing – the signals. The emphasis of this section is on solutions associated with AI, but there is an infinity of algorithms and computational solutions that do not require AI to obtain valuable results.

Artificial Intelligence and Machine Learning

The term “Artificial Intelligence” was proposed and defined in 1955 by John McCarthy as “the science and engineering of making intelligent machines” (McCarthy et al., 2006). Following a period of stagnation in the 1990s, it is currently the basis for decisions and discoveries in various domains, driven by the production of “big data”, transformations in hardware, and the development of new algorithms that allow processing these data in a manner “similar” to that of human intelligence.

AI is a research area within Computer Science that includes a vast body of knowledge, and has integrated new topics so quickly that it is difficult to remain fully up to date with it. When AI is mentioned, different reactions are observed, such as fear, hope, desire, repulsion, curiosity and indifference. One of these topics, “Machine Learning”, erroneously understood by many as synonymous with Artificial Intelligence, is currently its most visible facet.

“Machine Learning” (ML) is a subfield of Artificial Intelligence that studies, proposes and uses algorithms that are able to learn based on data, which in turn represent past experiences in a specific situation or domain. The learning process is based on knowledge from various domains, mainly from computing and statistics. This strong connection with computing and statistics contributed to the formation of a new knowledge domain, Data Science, in which Machine Learning plays a key role. An important event occurs in the first decade of the 21st century, when the first significant results for learning based on the so called deep learning appeared. Deep learning structures are being increasingly adopted in AI, but until that decade they were little used due to their high computational complexity.

Usually, the result of the learning process in ML is the induction or construction of a model that discovers patterns present in the data. Depending on the task for which the model is being built, it can perform different functions, the most common being to assign a class or category to each new example. To illustrate how this occurs, a Machine Learning algorithm can be applied to a set of purchases made using a credit card (called transactions in Computer Science). Each object in this set is made up of information related to the purchase (for instance, day, hour, price, place), and a class previously defined by an expert (fraud or not fraud). On being applied to the data, the algorithm constructs a model that learns “fraud/not fraud” from the data. If it learns well, the model can then be used to classify new transactions. How can it learn well? This depends on the data quality, on the expert’s knowledge, and on the adequacy of the algorithm developed to construct the model. Without these three components (quality, knowledge and adequacy), it is not possible to guarantee the relevance of the learning result.

Due to this capacity to construct models from data, Machine Learning algorithms are being used with increased frequency and scope. Many of these applications would not be imagined by most of us. They include determining the ideal temperature for preparing your espresso, composing music, writing poems, brewing healthier and tastier beer, translating speech and texts from one language to another, defining the news that will be posted on a social networking app, selecting students for university courses and employees for companies. Additional examples include defining the price to sell a house, recommending films, books, music and dishes, designing new fragrances for perfumes, proposing play strategies for various sports, identifying deforestation areas, detecting spam or controlling a vehicle’s shock absorbers.

Algorithms and data for living better – smart cities

The main objective of many products and services that use models produced by Machine Learning algorithms is to improve quality of life, as well as to provide better preservation, recovery and risk reduction for flora and fauna. The consequence are smart, sustainable environments, of which perhaps one of the most well-known examples are the so-called “smart cities” (Rjab & Mellouli, 2019).

But what is a smart city? A document published in 2014 by the International Telecommunications Union (ITU), the United Nations (UN) agency for information and communication technologies (ICT), already mentioned more than a hundred definitions thereof. The definition adopted by ITU is: “A smart sustainable city is an innovative city that uses ICTs and other means

Um destes temas, “Aprendizado de Máquina”, por muitos erroneamente usado como sinônimo da inteligência artificial, é atualmente sua face mais visível.

O “Aprendizado de Máquina” é uma subárea da Inteligência Artificial que estuda, propõe e utiliza algoritmos capazes de aprender a partir de dados, que por sua vez representam experiências passadas em alguma situação ou domínio. Para isso, utiliza conhecimento de várias áreas, principalmente da computação e da estatística. Esta forte relação com a computação e a estatística contribuiu para a formação de uma nova área de conhecimento, a Ciência de Dados, na qual o Aprendizado de Máquina exerce um papel-chave. Um marco importante ocorre na primeira década do século 21, com os primeiros resultados impactantes de aprendizado baseado em estruturas ditas profundas (*Deep Learning*), cada vez mais disseminadas em IA, e até então pouco utilizadas devido à sua alta complexidade computacional.

Em geral, o resultado do processo de aprendizado é a *indução* ou *construção de um modelo*, que descobre padrões presentes nos dados. Dependendo da tarefa para a qual o modelo está sendo construído, ele pode exercer diferentes funções, sendo a mais comum a de atribuir uma classe ou categoria a cada novo exemplo. Para ilustrar como isso ocorre, um algoritmo de Aprendizado de Máquina pode ser aplicado a um conjunto de compras feitas utilizando um cartão de crédito (chamadas de transações em Computação). Cada objeto neste conjunto é formado por informações relacionadas à compra (por exemplo, dia, hora, valor, local), e uma classe previamente definida por um especialista (fraude ou não fraude). Ao ser aplicado aos dados, o algoritmo constrói um modelo que aprende “fraude/não fraude” com os dados. Se tiver aprendido bem, o modelo pode ser usado para classificar novas transações. Como pode aprender bem? Depende da qualidade dos dados, do conhecimento do especialista e da adequação do algoritmo desenvolvido para construir o modelo. Sem esses três componentes (qualidade, conhecimento e

O “Aprendizado de Máquina” é uma subárea da Inteligência Artificial que estuda, propõe e utiliza algoritmos capazes de aprender a partir de dados, que por sua vez representam experiências passadas em alguma situação ou domínio.

adequação), não há nenhuma garantia do valor do resultado do aprendizado.

Por conta dessa capacidade de construir modelos a partir de dados, algoritmos de Aprendizado de Máquina são utilizados com frequência e abrangência cada vez maiores. Muitas das aplicações não passariam pela cabeça da maioria de nós, como definir a melhor temperatura de preparação de seu café expresso, compor músicas, escrever poemas, preparar cervejas mais saudáveis e saborosas, traduzir fala e textos entre idiomas, definir as notícias que serão apresentadas em um aplicativo de redes sociais, selecionar alunos para cursos universitários e funcionários para empresas, definir o valor de uma casa que será posta à venda, recomendar filmes, livros, músicas e pratos, desenvolver novas fragrâncias para perfumes, estratégias de jogo para vários esportes, identificar áreas de desmatamento, detectar spams nos emails recebidos ou controlar o funcionamento dos amortecedores de veículos.

Algoritmos e dados para vivermos melhor – cidades inteligentes

Muitos dos produtos e serviços que utilizam modelos gerados por algoritmos de Aprendizado de Máquina têm como objetivo principal a melhoria da qualidade de vida das pessoas, além da melhor preservação, recuperação e redução de riscos à fauna e à flora, dando origem a ambientes inteligentes e sustentáveis. Provavelmente, o exemplo mais conhecido de tais ambientes é o que se denomina hoje de cidades inteligentes (*smart cities*) (Rjab & Mellouli, 2019).

Mas o que é uma cidade inteligente? Um documento publicado em 2014 pela União Internacional de Telecomunicações (ITU – International Telecommunication Union), agência da Organização das Nações Unidas (ONU) para tecnologias de informação e comunicação (TICs), já mencionava mais de uma centena de definições. A definição adotada pela ITU é a de que “[...] a cidade inteligente e sustentável é uma cidade inovadora que usa TICs e outros meios para melhorar a qualidade de vida, a eficiência da operação de serviços urbanos e a com-

petitividade, garantindo que atenda às necessidades das gerações presentes e futuras com respeito aos aspectos econômicos, sociais, ambientais e culturais” (International Telecommunication Union, 2014, p. 13).

Cidades inteligentes não são necessariamente cidades baseadas em Inteligência Artificial, mas sim cidades que buscam soluções naturalmente inteligentes, provenientes de seres humanos, para prestar um melhor serviço à sua população. Soluções naturalmente inteligentes são aquelas baseadas em evidências, que dão suporte a uma melhor tomada de decisão pelos gestores. Evidências são obtidas de dados, e big data têm um papel importante por disponibilizarem um volume suficiente de evidências. Contribuíram para o desenvolvimento da área de cidades inteligentes três fatos observados por volta de 2008 (Townsend, 2013).

O primeiro fato foi uma virada no perfil populacional, quando a população urbana ultrapassou a população rural (com a previsão de chegar a 80% em 2100). Com isto, crescem também os problemas e a demanda por soluções, que incluem a oferta de melhores serviços públicos. A rápida urbanização provoca esgotamento e deterioração dos recursos de infraestrutura, com congestionamentos de trânsito, maior poluição ambiental, crescimento do subemprego e do desemprego e declínio econômico. A busca por soluções para esses problemas, que resultem em uma melhor qualidade de vida e um desenvolvimento sustentável, está por trás do conceito de cidades inteligentes.

O segundo fato foi que o número de pessoas conectadas à internet por redes sem fio superou o de pessoas conectadas por redes cabeadas, em paralelo ao aumento considerável do uso da telefonia celular. O terceiro acontecimento foi a transformação da internet das pessoas (IoP – *Internet of People*), em que o número de pessoas conectadas à internet superava o de dispositivos, passando à internet das coisas IoT (*Internet of Things*), em que a situação se inverte e mais coisas do que pessoas estão conectadas à internet. Agora caminhamos para a IoE (*Inter-*

to improve quality of life, efficiency of urban operation and services, and competitiveness, while ensuring that it meets the needs of present and future generations with respect to economic, social and environmental aspects” (International Telecommunication Union, 2014, p. 13).

Smart cities are not necessarily based on Artificial Intelligence, but rather are cities that naturally seek intelligent solutions originating with human beings to offer a better service to their populations. Naturally smart solutions are those based on evidence, and that underpin better decision making by leaders. Evidence is obtained through data, and big data play an important role due to making a sufficient volume of evidence available. Three facts observed around 2008 have contributed to the development of smart cities (Townsend, 2013).

The first was a change in population profile, when the world’s urban population surpassed the rural one (and this proportion is expected to reach 80% by 2100). Given this, the problems and demands for solutions have also grown, including the provision of better public services. Rapid urbanization provokes wearing out and deterioration of infrastructure, with traffic congestion, greater environmental pollution, increased subemployment and unemployment, and economic decline. The search for solutions to these problems, which result in better quality of life and sustainable development, is crucial for the idea of smart cities.

The second fact was that the number of people connected to the internet by wireless networks exceeded the number of individuals connected via cable networks, together with the considerable increase in mobile phone use. The third event was the movement from the Internet of People (IoP) – in which the number of people connected to the internet is greater than the number of devices – to the Internet of Things (IoT), where this situation is inverted and more things than people are connected to the internet. Currently, we are heading toward the Internet of Everything (IoE). It is estimated that, by 2025, the proportion between the number of things and the number of people connected to the internet will be close to 10 to 1.

For cities to be able to analyze the data generated, in search of evidence that provides assistance for better decision making, there is a need for computational tools capable of finding patterns and extracting knowledge. The tools that best manage this situation are those based on AI, mainly on models generated by Machine Learning algorithms.

The transformation of a city into a smart city is a medium to long-term process. Various activities are necessary, repeatedly covering the whole data lifecycle, to make sure it works. Data capture and analysis will support analyses for decision making on which activities to undertake for this

transformation. These activities should be monitored using new data collection processes, which should include the perception of the population about the changes underway. With each repetition of the life cycle, new decisions can be made.

As seen in the previous section of this chapter, the data collection stage requires the definition of which data to collect, and how. Countless studies propose indicators to guide data collection for smart cities, seeking to allow the analysis of how smart a city is and provide assistance to define goals and “deliverable” products, as well as of the progress throughout the transformation. To this end, such indicators should be simple and easily measurable, with an elevated level of independence from the context.

Other studies also propose assessment indicators for projects to transform cities into smart cities, in terms of viability, expected impact and risks. Such indicators also need to consider the progress achieved during the transformation and compare that progress with the strategic goals and objectives.

One of the studies about indicators was performed by the United for Smart Sustainable Cities (U4SSC) committee, coordinated by three UN agencies: International Telecommunication Union (ITU), The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), one of the five regional commissions of the social and economic council of the UN, and the UN-Habitat agency dedicated to promoting more socially and environmentally sustainable cities. Researchers from various countries, including Brazil, take part in these committees (International Telecommunication Union, 2014).

The U4SSC report proposes 91 key performance indicators organized into three topics or dimensions: economy, environment, and society and culture. These indicators include, among other aspects: open data availability, drinking water quality, sanitation, research and development expenditure, unemployment rate, air quality, environmental protected areas, school enrolment, life expectancy and pedestrian infrastructure. A platform was developed to assess the level of maturity of cities using these indicators.

This platform, in turn, inspired the development of a national platform for the Chamber of Cities 4.0 in Brazil (Câmara das Cidades 4.0). It was the outcome of an initiative of the Ministry of Science, Technology and Innovation (MCTI in Portuguese) and of the Ministry of Regional Development (MDR in Portuguese), in partnership with The Renato Archer Center for Information Technology (Centro de Tecnologia e Informação Renato Archer) and the National Education and Research Network (RNP - Rede Nacional de Ensino e Pesquisa) (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021). The Brazilian platform has 114 indicators and includes

net of Everything). Estima-se que até 2025 a proporção entre o número de coisas e o número de pessoas conectadas à internet estará próxima de 10 para 1.

Para que as cidades possam analisar os dados gerados, buscando evidências que deem suporte a uma melhor tomada de decisão, são necessárias ferramentas computacionais capazes de encontrar padrões e extrair conhecimento. As ferramentas que melhor conseguem fazer isso são aquelas baseadas em Inteligência Artificial, principalmente em modelos gerados por algoritmos de Aprendizado de Máquina.

A transformação de uma cidade em uma cidade inteligente é um processo de médio a longo prazo. Para que funcione, são necessárias várias atividades, cobrindo todo o ciclo de vida dos dados, repetidamente. Coleta e análise de dados irão instrumentar as análises para tomada de decisão sobre atividades a serem realizadas. Estas atividades devem ser monitoradas por meio de novas coletas, que irão incluir a percepção da população sobre as mudanças ocorridas. A cada repetição do ciclo de vida, novas decisões poderão ser tomadas.

Como visto na seção anterior deste capítulo, a etapa de coleta de dados exige a definição de quais dados coletar e como. Há vários estudos propondo indicadores para guiar a coleta de dados para cidades inteligentes, visando permitir a análise de quão inteligente é a cidade e prover subsídios para a definição de metas e produtos “entregáveis”, bem como do progresso ao longo da transformação. Para isso, devem ser simples, facilmente mensuráveis, com um elevado grau de independência do contexto.

Outros estudos propõem também indicadores para avaliar projetos de transformação de cidades em cidades inteligentes, com relação à viabilidade, impacto esperado e riscos, informando o progresso obtido ao longo da transformação e comparando o progresso com as metas e os objetivos estratégicos.

Um dos estudos sobre indicadores foi realizado pelo comitê Unidos para Cidades Inteligentes e Sustentáveis (U4SSC, *United for Smart Sustainable Cities*), coordena-

do por três agências da ONU: ITU, Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (UNECE, *The United Nations Economic Commission for Europe*), uma das cinco comissões regionais do conselho econômico e social da ONU, e ONU-Habitat: agência da ONU dedicada à promoção de cidades mais sociais e ambientalmente sustentáveis. Participam destes comitês pesquisadores de vários países, inclusive do Brasil (International Telecommunication Union, 2014).

O relatório do comitê propõe 91 indicadores-chave de desempenho, organizados em três temas ou eixos: economia, meio ambiente, sociedade e cultura. Estes indicadores, incluem, dentre outros: disponibilidade de dados abertos, água potável e saneamento, investimento em pesquisa e desenvolvimento, taxa de desemprego, poluição do ar, áreas naturais protegidas, matriculados nas escolas, expectativa de vida e infraestrutura para pedestres. Uma plataforma foi desenvolvida para a avaliação do nível de maturidade de cidades por meio destes indicadores.

Esta plataforma serviu de inspiração para o desenvolvimento no Brasil de uma plataforma nacional pela Câmara das Cidades 4.0, fruto de uma iniciativa do MCTI (Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações) e do MDR (Ministério do Desenvolvimento Regional), em parceria com o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer e a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021). A plataforma nacional, que possui 114 indicadores, inclui um quarto eixo, que avalia as capacidades institucionais de gestão municipal. Este quarto eixo tem indicadores como planejamento da estrutura urbana e de tecnologia da informação e comunicação, serviços públicos on-line, integração e interoperabilidade de serviços e digitalização das bases de dados.

Saúde e agropecuária – dados, algoritmos e dispositivos computacionais

Saúde e agropecuária estão intimamente ligadas, sendo exemplos de áreas de apli-

cação em que algoritmos, dados e novos dispositivos estão trazendo avanços importantes. A agricultura é uma atividade estratégica em todo o mundo, que cada vez mais exige decisões confiáveis, customizadas para os produtos animais ou vegetais, realizadas tanto em curto como em médio e longo prazos e desenvolvidas para escalas temporais e espaciais distintas (local, regional, nacional e mesmo global). Nesse contexto, o uso de algoritmos de IA vem se mostrando eficaz em diferentes tarefas, por exemplo, predição de rendimento de culturas ou detecção automática de pragas. Algoritmos e dados precisam ser específicos para cada solução.

Em paralelo, o desenvolvimento de novos sensores vem tornando a coleta de dados mais precisa e customizada a cada local. Isto está diretamente ligado ao conceito de agricultura de precisão, que utiliza sensores que podem estar em satélites ou embarcados em equipamentos rurais, até redes de sensores sem fio, para coleta e monitoramento. Longe de se limitar a espécies vegetais, o uso de sensores e algoritmos também está crescendo em relação a animais (por exemplo, para aumentar o seu conforto, detectar doenças, monitorar ingestão de alimentos e até mesmo planejar o abate). Sensores, dados e algoritmos se estendem à piscicultura, hidroponia e outras atividades em agropecuária.

Se a Computação é essencial para o ciclo de vida da produção de alimentos, também se tornou fundamental para o ciclo de vida humano. O processo saúde-doença é resultante da integração sistêmica entre aspectos biológicos, genéticos, sociais e ambientais, reunindo desafios transdisciplinares cada vez mais complexos e interconectados. Mais do que a consequência de um agente externo específico, hoje compreendemos que as doenças estão intrinsecamente conectadas com a maneira como somos e vivemos, enquanto seres sociais e biológicos. O prestador de saúde e o paciente podem se beneficiar de soluções computacionais, muitas das quais envolvendo Inteligência Artificial, tanto pelo aumento da acurácia dos diagnósticos

como pela predição de agravos à saúde e implantação de estratégias que reduzam a carga de trabalho dos profissionais e os custos envolvidos.

Um exemplo é o enfrentamento da mortalidade materna e de outras questões associadas à saúde da mulher, em que a grande maioria dos óbitos é evitável e decorre de demoras no processo de oferta de um cuidado adequado. Dados e algoritmos cada vez mais contribuem para facilitar a adoção de recomendações de diretrizes e reforçar a adesão às práticas clínicas. Com efeito, ferramentas de apoio à decisão clínica podem combinar as informações de saúde de um indivíduo com o conhecimento e os protocolos clínicos do profissional de saúde para ajudar a tomada de decisões de diagnóstico e tratamento. Em outro exemplo, as afecções oncológicas são altamente prevalentes, porém tratáveis se identificadas precocemente, com desafios na abordagem e tratamento distintos para cada tipo de câncer. Uma linha de pesquisa usando IA diz respeito ao uso de redes neurais convolucionais em imagens de cortes histológicos de biópsias de tecidos, visando ajudar a definir as necessidades de métodos de diagnósticos de neoplasias de todo tipo.

Bioinformática - algoritmos, dados e o interior dos seres vivos

A maneira como estudamos as ciências da vida está mudando. O método científico tradicional baseado em descobertas e experimentação dominou até recentemente o modo como cientistas tentam entender a vida. A maioria destes cientistas foi treinada por um método reducionista que partia da ideia de que sistemas complexos ou fenômenos biológicos podiam ser entendidos pela análise de seus componentes mais simples. De acordo com Francis Crick (1966) (citado por Van Regenmortel, 2004, p. 1016): “O objetivo final do movimento moderno da biologia é explicar toda a biologia em termos da física e da química”. Imaginava-se que, para entender como o corpo humano funcionava, precisaríamos entender primeiro o que cada órgão faz, depois cada tecido, cada célula, cada

a fourth dimension, that assesses institutional capacity for municipal management. This fourth area has indicators such as urban planning structure, and information and communication technologies, on-line public services, integration and interoperability of services and digitalization of databases.

Health and agriculture - data, algorithms and computing devices
Health and agriculture are intimately connected, being examples of areas where algorithms, data and new devices are producing important advances. Agriculture is a strategic activity worldwide, which increasingly demands reliable decision making, tailored to animals or plants, performed both over the short and long terms, and developed for specific temporal and spatial scales (local, regional, national and even global). In this context, AI algorithms have been effective for various tasks, including the prediction of crop productivity or the automatic detection of pests. Algorithms and data need to be specific to each solution.

At the same time, the development of new sensors makes data collection more precise and tailored to each location. This is directly connected to the idea of precision agriculture, which uses sensors installed aboard satellites or in farming equipment, or even networks of wireless sensors, for data collection and monitoring. Far from being limited to plant species, the use of sensors and algorithms is also growing for all kinds of livestock (for instance, to increase their comfort, detect diseases, monitor food consumption and even plan their slaughter). Sensors, data and algorithms have expanded to fish farming, hydroponics and other farming activities.

If Computing is crucial for the food production life cycle, it has also become vital for the human life cycle. The health-disease process results from the systemic integration between biological, social and environmental aspects, combining increasingly complex and interrelated transdisciplinary challenges. Nowadays, we understand that disease, more than the consequence of a specific external agent, is intrinsically connected with how we behave and live, as social and biological beings. Health care professionals and patients can benefit from computing solutions, many of which involve Artificial Intelligence. Benefits come both through the increased accuracy of diagnoses and the prediction of risk factors for health and implementation of strategies to reduce the work load of professionals and costs involved.

An example is combatting maternal mortality, and other issues related to women's health, where the vast majority of deaths are avoidable, and result from delays in the provision of adequate care. Data and

algorithms increasingly contribute to facilitating the adoption of guideline recommendations and reinforcing adherence to clinical practices. As such, clinical decision support tools can combine an individual's health information with clinical protocols and knowledge of the health care professional to assist decision making for diagnosis and treatment. Yet another example concerns oncological diseases; while highly prevalent, they are often treatable when identified at an early stage, though still posing challenges in terms of identification and treatment of distinct types of cancer. An associated line of research using AI involves using convolutional neural networks to process images of histological samples of tissue biopsies, aiming to assist in the determination of methodological requirements for diagnosis of all sorts of neoplasms.

Bioinformatics - algorithms, data and the interior of living beings

The way we study Life Sciences is changing. Until recently, the traditional scientific method based on discovery and experimentation dominated the way scientists tried to understand life. The majority of these scientists was trained using a reductionist method based on the idea that complex systems or biological phenomena can be understood through analysis of their simpler components. According to Francis Crick (1966) (as cited in Van Regenmortel, 2004, p. 1016): "The ultimate aim of the modern movement in biology is to explain all biology in terms of physics and chemistry" (Van Regenmortel, 2004). Thus, to understand how the human body worked, we would first of all need to understand what each organ was responsible for, then each tissue, each cell, each molecule and finally each atom (until only mathematics and philosophy remained).

With all the advances in cellular biology and after the discovery of the DNA structure in 1953, we gradually entered the era of molecular biology. The central dogma of that era was that the flow of genetic information started in DNA, was transmitted (transcribed) in a messenger RNA molecule, and then translated into a protein. With the discovery of reverse transcription, ribozymes, riboswitches, chromatin modifications, RNA edition and splicing, microRNA and transcription interference, the central dogma of molecular biology was radically revised. It became clear that cells were operated by very complex regulatory mechanisms.

In 1990, the Human Genome Project was initiated with the aim of sequencing our entire DNA. This ambitious project was equivalent to the Apollo project, which took humans to the moon. It involved the development of new technologies, the sequencing of model organisms, extensive training, discussion of social and ethical implications, and obviously, it led to the

molécula e cada átomo (até restar apenas a matemática e a filosofia).

Com todos os avanços da biologia celular e após a descoberta da estrutura do DNA em 1953, entramos gradualmente para a era da biologia molecular. O dogma central daquela época era que o fluxo da informação genética começava no DNA, era transmitida (transcrita) em uma molécula de RNA mensageiro, que depois era traduzida em uma proteína. Com a descoberta da transcrição reversa, ribozimas, *riboswitches*, modificações da cromatina, edição e *splicing* de RNAs, microRNAs e interferência transcricional, o dogma central da biologia molecular caiu por terra. Ficou claro que as células eram operadas por mecanismos muito complexos de regulação.

Em 1990, o projeto Genoma Humano foi iniciado com o objetivo de sequenciar todas as bases de nucleotídeos de nosso DNA. Este ambicioso projeto era equivalente ao projeto Apollo que levou o homem à Lua e envolveria o desenvolvimento de novas tecnologias, sequenciamento de organismos-modelo, treinamento de pessoal, discussão das implicações éticas e sociais e, claro, culminando no desenvolvimento da Bioinformática. Após o sequenciamento do genoma da bactéria *E. coli* (que tem cerca de 4.700 genes codificadores de proteína), de leveduras (~5.800 genes) e da drosófila (~14.000 genes), foi feita uma aposta entre os cientistas sobre quantos genes codificadores de proteína deveriam existir no genoma humano. As apostas eram muito variáveis, indo de alguns milhares até 1 milhão de genes. "Ora, se uma mosca-da-fruta possui cerca de 14.000 genes, nós, no auge da evolução, deveríamos ter no mínimo 100.000 genes", era o que muitos pensavam. Com o fim do rascunho do genoma humano em 2001, ficou claro que tínhamos cerca de 25.000 genes codificadores de proteína – muito menos do que o arroz (>50.000 genes). Então, como explicar a complexidade biológica de um ser humano em relação a uma drosófila? Com a descoberta de RNAs não codificadores (tanto microRNAs quanto longos), da epigenética e de outros mecanismos de

Se a Computação é essencial para o ciclo de vida da produção de alimentos, também se tornou fundamental para o ciclo de vida humano.

regulação, ficou mais claro que a complexidade biológica não é explicada pelo número de componentes (genes codificadores de proteína) e sim como eles são finamente regulados.

Graças a revoluções em diversas áreas como a robótica, a nanotecnologia, a óptica e a internet foi possível avançar no desenvolvimento de tecnologias de larga escala aplicadas à biologia molecular. Para se ter uma ideia, o projeto Genoma Humano levou 14 anos e 2,7 bilhões de dólares para revelar as 3,2 bilhões de bases do nosso DNA. Em 2022 é possível sequenciar um genoma humano em poucos dias e por alguns milhares de dólares. Essa revolução genômica nos permitiu mergulhar em projetos grandiosos, como o projeto dos 1.000 Genomas, seguido pelo de 100.000 Genomas e agora o de 1 milhão+ de Genomas. Também embarcamos em projetos que tentam fazer o metagenoma do planeta Terra, assim como obter o perfil transcricional de todos os trilhões de células humanas.

Por meio destas tecnologias de larga escala que envolvem *microarrays*, espectrometria de massa, NMR (ressonância magnética nuclear), dentre outras, tornamo-nos capazes de identificar os principais componentes dos sistemas biológicos. Para cada conjunto destes componentes foi criado um termo com sufixo “oma”. O Genoma representa o conjunto de genes (*loci*) e a própria sequência de cromatina. Transcritoma representa o conjunto de transcritos (ou moléculas de RNA), e Proteoma, o conjunto de proteínas. Metaboloma, Lipidoma e Glicoma representam os conjuntos, respectivamente, de metabólitos, lipídios e carboidratos das células. Outros “omas” foram surgindo que representam conjuntos mais especializados de componentes ou interações biológicas (secretoma, kinoma, interactoma, miRnome, etc.).

Esses avanços só foram possíveis graças à Bioinformática e à Biologia Computacional. Ambos são campos multidisciplinares que envolvem áreas como biologia, estatística, matemática e ciência da computação. A Bioinformática aplica os princípios das ciências de informação e computação

para criar as ferramentas necessárias para analisar, interpretar e processar os milhares de dados biológicos oriundos de observações ou experimentos científicos. Já a Biologia Computacional utiliza essas ferramentas para criar modelos matemáticos e computacionais que ajudam a entender o funcionamento da vida. Apesar de serem complementares e muitas vezes consideradas equivalentes, a Bioinformática e a Biologia Computacional são abordagens distintas.

As aplicações da Bioinformática e Biologia Computacional permeiam todas as áreas das Ciências da Vida. Biotecnologia, descoberta de fármacos, medicina de precisão, terapia gênica, biologia sintética, epidemiologia genômica e modelagem molecular são apenas algumas destas aplicações. E as implicações são igualmente diversas. Tratamentos e diagnósticos para doenças variadas podem ser decididos baseados em análises que usam técnicas computacionais: de reconhecimento de imagens médicas até análise de transcrito ou de mutações de tumores. A Bioinformática também é essencial para inúmeros projetos de pesquisa básica em Computação, pois utiliza algoritmos de Aprendizado de Máquina, métodos de visualização e software relacionado a análises de larga escala.

Técnicas modernas de edição de genomas são fundamentais para manipulação genética de organismos e de experimentação funcional dos genes. Muitas destas técnicas utilizam o sistema CRISPR (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*), que rendeu o prêmio Nobel de 2020 para as pesquisadoras Emmanuelle Charpentier e Jennifer Doudna. Este sofisticado sistema usa uma endonuclease (Cas9 e agora outras Cas) para clivar regiões específicas do DNA e a inserção de um novo trecho de DNA. O local a ser editado é determinado por uma molécula de RNA (*guide RNA*). Diversas técnicas de Bioinformática permitem o desenho destas moléculas de RNA, avaliam seus efeitos *in vitro* e *in vivo* e podem inclusive prever combinações de genes a serem editados para maximizar seus efeitos.

development of Bioinformatics. After sequencing the genome of *E. coli* bacteria (which has around 4,700 protein coding genes), the genome of yeast (~5,800 genes) and the genome of *Drosophila* (~14,000 genes), scientists made a bet regarding how many protein coding genes the human genome would have. The bets were highly variable, ranging from few thousands up to 1 million genes. Many scientists assumed: “If a fruit fly has around 14,000 genes, we, at the peak of evolution, should have at least 100,000 genes”. With the conclusion of the mapping of the human genome in 2001, it became clear that our species had around 25,000 protein coding genes – much less than rice (>50,000). How could the biological complexity of a human being as compared with *Drosophila* be explained? With the discovery of non-coding RNAs (both microRNAs and long non-coding RNAs), of epigenetics and of other regulatory mechanisms, it became clear that biological complexity is not explained by the number of components (protein coding genes) but by how they are finely regulated.

Thanks to revolutions in different areas such as robotics, nanotechnology, optics and the internet, it was possible to advance the development of large-scale technology applied to molecular biology. While the Human Genome Project took 14 years and 2.7 billion dollars to uncover the 3.2 billion bases of our DNA, in 2022, it is possible to sequence a human genome in a few days paying just a few thousand dollars. This genomic revolution allowed us to start enormous projects, such as the 1,000 genomes project, followed by 100,000 genomes and now 1 million+ genomes. We are also undertaking projects that try to map the metagenome of the whole planet, as well as obtaining the transcription profile of the trillions of human cells.

Through these large-scale technologies that involve microarrays, mass spectrometry, and nuclear magnetic resonance imaging (NMRI) among others, we can identify the main components of biological systems. For each set of these components a term with the suffix “ome” was created. The Genoma represents the set of genes (*loci*) and the chromatin sequence itself. Transcriptome represents the set of transcripts (or RNA molecules), and proteome is the set of proteins. Metabolome, Lipidome and Glycome represent, respectively, the sets of metabolites, lipids and carbohydrates of cells. Other “omes” that represent more specialized sets of biological components or interactions (secretome, kinome, interactome, miRnome etc.) have been suggested.

These advances were only possible thanks to bioinformatics and computational biology. These are multidisciplinary fields that involve areas such as biology, statistics, mathematics and computer science. Bioinformatics applies the principles of computer and information sci-

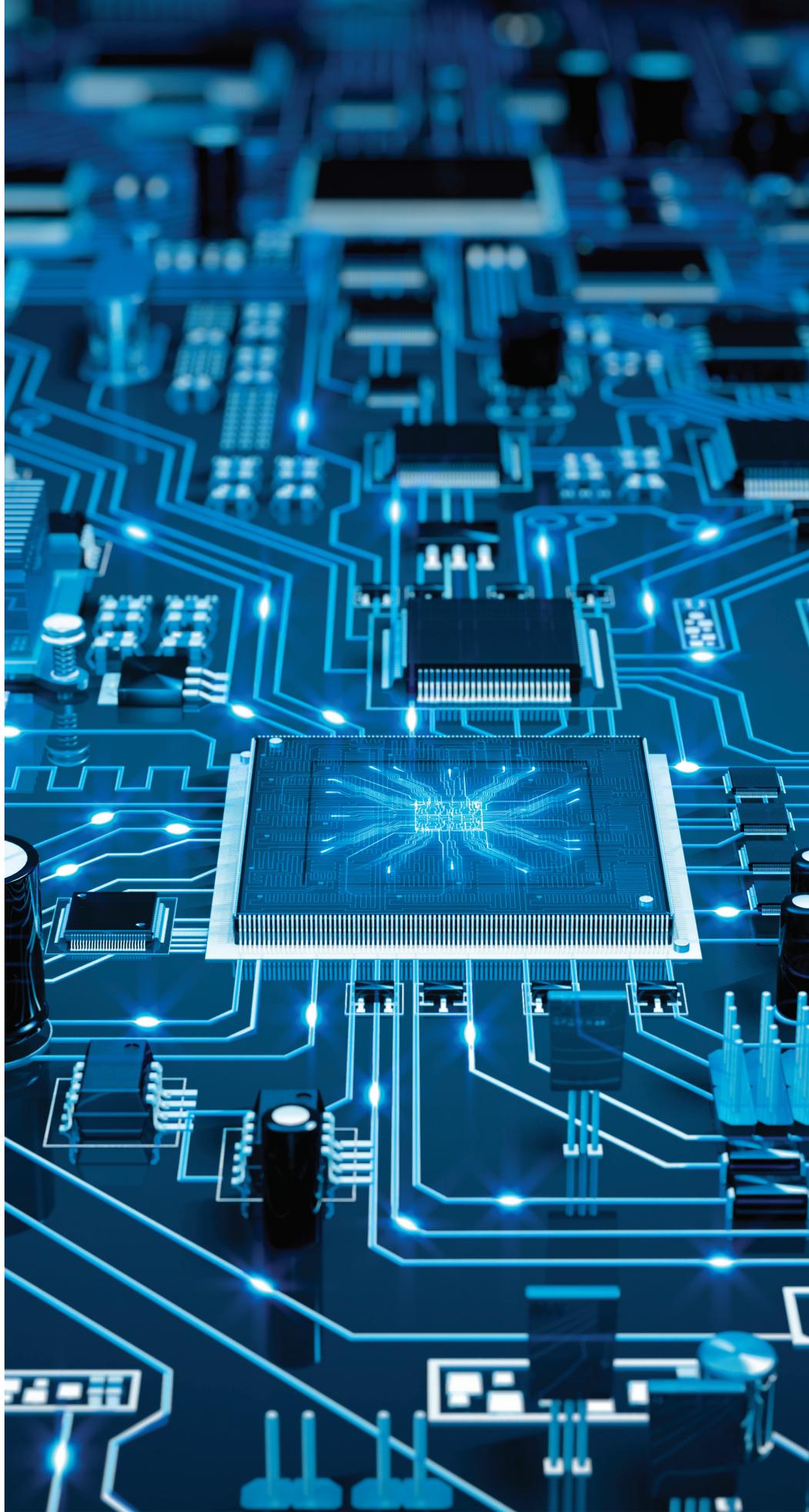
ence to create the tools necessary for analyzing, interpreting and processing the thousands of biological data produced by observation or scientific experiments. Computational biology uses these tools to create mathematical and computational models that help us understand how life works. Despite being complementary and frequently equivalent, Bioinformatics and Computational Biology are different approaches.

Applications of Bioinformatics and Computational Biology permeate all areas of life sciences. Biotechnology, discovery of drugs, precision medicine, gene therapies, synthetic biology, genomic epidemiology and molecular modelling are only some of these applications. The implications equally have a wide range. Treatments and diagnoses for various diseases can be established based on analyses using computational techniques: from recognizing medical images to analyzing transcriptome or tumoral mutations. Bioinformatics is also crucial for several research projects in Computer Science, since it uses Machine Learning algorithms, visualization methods and software related to large-scale data analysis.

Modern gene editing techniques are fundamental for genetic manipulation of organisms and functional experimentation on genes. Many of these techniques use the Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR) system, with which researchers Emmanuelle Charpentier and Jennifer Doudna won the Nobel Prize in 2020. This sophisticated system uses an endonuclease (Cas9 and now other Cas) to cleave specific regions of DNA and insert a new length of DNA. The site to be edited is determined by an RNA molecule (guide RNA). Several Bioinformatics techniques allow the identification of these RNA molecules, assessing their effects *in vitro* and *in vivo* and can even predict gene combinations to be edited to maximize their effects.

Research topics related to Bioinformatics in Brazil range from basic to applied sciences. Frequently, the same methodological approach can be used. For instance, the same comparative genomics (which compares genomes using sequences alignment) can be used to study the evolution of microorganisms (basic science) and to monitor the emergence of viral variants and genomic monitoring (applied science). Machine Learning techniques can be used to process millions of medical texts and extract the relationships between genes, drugs and diseases (basic science) and identify molecular markers whose levels predict the outcome of a disease (applied science). Other examples are related to the analysis of molecular structure, development of drugs and vaccines and the creation of computational tools for molecular data and single cells.

In the near future, it will be difficult to imagine a Life Sciences laboratory that



Os temas de pesquisa relacionados à Bioinformática no Brasil cobrem da ciência básica à aplicada. Muitas vezes, a mesma abordagem metodológica pode ser utilizada. Por exemplo, a mesma genômica comparativa (que compara genomas usando alinhamento de sequências) pode ser usada para estudar a evolução de microrganismos (ciência básica) e para monitorar o surgimento de variantes virais e vigilância genômica (ciência aplicada). Técnicas de Aprendizado de Máquina podem ser usadas para processar milhões de textos médicos e extrair as relações entre genes, fármacos e doenças (ciência básica) e identificar marcadores moleculares cujos níveis predizem o desfecho de uma doença (ciência aplicada). Outros exemplos estão relacionados à análise da estrutura de moléculas, desenvolvimento de fármacos e vacinas e criação de ferramentas computacionais para dados moleculares de células únicas.

Em um futuro próximo, será difícil imaginar um laboratório de Ciências da Vida que não use a Bioinformática em sua pesquisa. Com a constante evolução das tecnologias moleculares, a quantidade de dados gerada por um único laboratório só irá aumentar. Analisar mudanças moleculares ao nível de célula única e de forma espacial e temporal já é uma realidade, assim como determinar a estrutura tridimensional de uma proteína apenas usando sua sequência de aminoácidos (Google's AlphaFold AI). Com estas ferramentas criadas pela Bioinformática, os cientistas poderão tentar entender a vida.

Por trás dos dados e algoritmos - sinais e otimização

Até agora, esta seção se dedicou a questões associadas a seres vivos (cidades, saúde, agropecuária, bioinformática). Descendo ao nível físico, dados digitais são sinais. As técnicas modernas de processamento de sinais formam um campo do conhecimento bastante vasto, cujas bases foram bem estabelecidas entre os anos 1930 e 1950. Seus resultados, por sua vez, apresentam forte sinergia com várias áreas da Computação.

Esta seção comenta brevemente tais fatos e mostra como a ciência de dados e o Aprendizado de Máquina atuam no processamento de sinais.

Dentre os problemas computacionalmente mais desafiadores em processamento de sinais destacou-se, a partir de meados da década de 1980, o de Separação Cega de Fontes (*BSS – Blind Source Separation*). Ao longo dos anos, a área de BSS recebeu vários aportes até ganhar um arcabouço formal no contexto mais geral de análise de variáveis latentes (*LVA – Latent Variable Analysis*), fortemente relacionado a métodos de decomposição de sinais, tais como a análise por componentes principais (*PCA – Principal Component Analysis*), por componentes independentes (*ICA – Independent Component Analysis*) e por componentes esparsas (*SCA – Sparse Component Analysis*), dentre outros.

Criados no contexto de sinais, os algoritmos associados são ferramentas fundamentais em ciência de dados, nas aplicações em que os dados disponíveis são ruidosos, incompletos ou escassos. Em tais casos, uma das soluções é pré-processamento por meio de estratégias de decomposição para detecção e remoção de ruído, imputação de características ausentes e expansão do conjunto de dados. Estes métodos contribuem ainda como alternativa para a redução de dimensionalidade de dados, fazendo com que a representação obtida retenha as propriedades mais relevantes dos dados originais.

O surgimento de big data e as dificuldades para seu processamento fizeram com que as tomadas de decisão fossem baseadas em modelos, dando origem aos métodos clássicos de apoio à decisão multicritério (*MCDA – Multiple Criteria Decision Analysis*) (Figueira et al., 2005), um ramo da pesquisa operacional que permite resolver problemas de ordenamento, classificação ou seleção de alternativas (Roy, 1985). Nesse contexto, torna-se possível aplicar também ao problema de MCDA o arcabouço teórico de LVA, por meio da hipótese de que o conjunto de dados observados é composto por uma mistura de critérios latentes. As-

does not use Bioinformatics. With the constant evolution of molecular technologies, the amount of data produced by a single laboratory will only increase. Spatially and temporally analyzing molecular changes at the level of a single cell is already a reality, as well as determining the three-dimensional structure of a protein just using exclusively its amino acids sequence (Google's AlphaFold AI). With these tools created by Bioinformatics, scientists can try to understand life.

Beneath data and algorithms - Signals and optimization

Until now, this section has focused on issues associated with living beings (cities, health, agriculture, bioinformatics). If we descend to the purely physical level, digital data are signals. The modern techniques for signal processing are a fairly vast field of knowledge, whose foundations were well established between the 1930s and 1950s. Their results, in turn, presented a strong connection with various areas in Computing. This section briefly considers such factors and shows how data science and Machine Learning can be used in signal processing.

Since the middle of the 1980s, Blind Source Separation (BSS) stands out as one of the most challenging signal processing computational problems. Over the years, the field of BSS has profited from various contributions, until a formal framework was developed in the more general context of latent variable analysis (LVA). LVA, in turn, is strongly related to signal decomposition methods, such as principal component analysis (PCA), independent component analysis (ICA) and sparse component analysis (SCA), among others.

Created to help solve problems in signal processing, the associated algorithms have become basic tools for data science, in applications where the available data are noisy, incomplete or scarce. In such cases, solutions include pre-processing using decomposition strategies for detection and removal of noise, imputation of absent characteristics, and expansion of the data set. These methods are also used as alternatives to reduce data dimensionality, while ensuring that the reduced representation obtained retains the most relevant properties of the original data.

The emergence of big data and the difficulties in processing such data introduced model-based decision making, leading to classical decision support methods of Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA) (Figueira et al., 2005), a branch of operations research that helps solve problems of ordering, classifying or selecting alternatives (Roy, 1985). In this context, it also became possible to apply the LVA theoretical framework, under the hypothesis that the observed data set is constituted by a mixture of latent criteria. Therefore, Machine Learning methods applied to the

analysis of latent variables can be similarly applied to an emblematic problem in signal processing, namely BSS, as well as to the classic optimization problem of decision support systems. We now proceed to further detail these two applications.

The connections between BSS and Machine Learning

As previously noted, the most common approaches in BSS, such as PCA, ICA and SCA, emerge from the broader context of signal decomposition, being used in tasks such as dimensionality reduction and data visualization. In analysis by sparse components, for instance, we take advantage of the fact that the sources to be estimated are constituted by an elevated number of null elements. This allows us to deal with the problem in which the dimensionality of the available data is smaller than that of the sources.

Finally, various recent studies also considered the use of deep learning networks to solve the BSS problem. Such techniques are adequate for cases in which there is a large number of sources, as for instance related to investigation of cerebral activity through the analysis of biological signals. BSS algorithms are also used in bioengineering for signal decomposition in high-density surface electromyography. However, most classical separation methods present limited performance due to the non-stationary character of the signals and the low latency for on-line applications. Such limitations can be mitigated using deep learning techniques.

Machine Learning for multiple criteria optimization

MCDAs require analysis of multiple criteria that may conflict with one another. Methods to support decision making are being developed to reduce subjectivity, and to aid in the selection of alternatives. From a high level point of view, we can say that the structure of an MCDA problem involves defining the goal and identifying the agents, the alternatives and the criteria involved in the choice. This results in the creation of a decision matrix to which some aggregation method is applied to rank alternatives.

Aggregation is a crucial step in MCDA, in which information about different criteria is processed and combined, producing values to be associated with each alternative. Here, it is possible to see with greater clarity the frontier between the classical methods, in which the estimation is based on models assumed a priori by the decision maker and the methods guided by data, in which Machine Learning plays an important role.

sim, métodos de Aprendizado de Máquina, aplicados à análise de variáveis latentes, adequam-se de forma semelhante a um problema emblemático em processamento de sinais, como o de BSS, e ao caso clássico de otimização, que são os sistemas de apoio à decisão. A seguir detalhamos um pouco mais essas duas aplicações.

As conexões entre BSS e Aprendizado de Máquina

Conforme comentado acima, as abordagens mais utilizadas em BSS, tais como PCA, ICA e SCA, decorrem do contexto mais amplo de decomposição de sinais, sendo empregadas em tarefas como redução de dimensionalidade e visualização de dados. Por exemplo, em análise por componentes esparsas, explora-se o fato de que as fontes a serem estimadas são compostas de um número elevado de elementos nulos. Isto permite tratar o problema em que a dimensão dos dados disponíveis é menor do que a de fontes.

Finalmente, vários trabalhos recentes consideraram ainda o uso de redes profundas para resolver o problema de BSS. Tais técnicas adequam-se a casos de um grande número de fontes, como as relacionadas à atividade cerebral em análise de sinais biológicos. Também em bioengenharia, empregam-se algoritmos de BSS na decomposição dos sinais de eletromiografia de superfície em alta densidade. Entretanto, os métodos mais clássicos de separação apresentam desempenho limitado em virtude da característica não estacionária dos sinais e da baixa latência para aplicações on-line. Tais limitações podem vir a ser mitigadas por meio de técnicas de aprendizado profundo.

Aprendizado de Máquina em otimização multicritério

Em problemas MCDA, existem múltiplos critérios que devem ser considerados, os quais podem ser conflitantes entre si. Métodos de apoio à tomada de decisão vêm sendo desenvolvidos de modo a diminuir a subjetividade e auxiliar na seleção das alternativas. De forma resumida, podemos dizer que a estrutura de um proble-

Em um futuro próximo, será difícil imaginar um laboratório de Ciências da Vida que não use a Bioinformática em sua pesquisa.

ma MCDA consiste em definir o objetivo e identificar os agentes, as alternativas e os critérios envolvidos na escolha. Com isso, cria-se uma matriz de decisão à qual se aplica algum método de agregação para ordenar as alternativas.

A agregação é a etapa fundamental em MCDA, na qual informações sobre os diferentes critérios são processadas e combinadas, gerando valores a serem associados a cada alternativa. Neste ponto aparece de forma mais clara a fronteira entre os métodos clássicos, nos quais a estimativa é baseada em modelos assumidos *a priori* pelo decisor e os métodos orientados por dados, nos quais o Aprendizado de Máquina passa a exercer um papel importante.

NOVOS TIPOS DE HARDWARE E TECNOLOGIAS EXPONENCIAIS

Num capítulo sobre Computação, não podemos deixar de mencionar as plataformas computacionais, que normalmente chamamos de hardware. Computadores primitivos antes do século 20 eram implementados utilizando sistemas mecânicos. A partir do século 19 começamos a implementá-los com a eletrônica, inicialmente com válvulas termoiônicas; a partir da invenção do transistor em 1947, uma nova ferramenta surgiu para implementar computadores de grande complexidade: a microeletrônica.

A Computação vem evoluindo em ciclos interativos cada vez mais velozes entre dados, algoritmos e hardware. Desde o sistema binário de Leibniz, passando por Charles Babbage, chamado “pai da computação”, Ada Lovelace, a primeira programadora, nos anos 1840, com programação baseada na máquina de Babbage, Turing, que formalizou a noção de algoritmos e de computação na primeira metade do século 20, e finalmente a convergência para a máquina de Von Neumann, que consolidou a arquitetura de computadores utilizada até hoje. A invenção do transistor (trans-resistor) com tecnologia bipolar em 1947 por Bardeen, Shockley e Brattain, e Prêmio Nobel de Física em 1956, foi um passo importante

NEW KINDS OF HARDWARE AND EXPONENTIAL TECHNOLOGIES

In a chapter on Computing, we must mention computational platforms, usually called hardware. Primitive computers, before the 20th century, were implemented using mechanical systems. From the 19th century on, they began to be implemented with electronics, initially with thermionic valves. Beginning with the invention of the transistor in 1947, a new tool emerged to build high complexity computers: microelectronics.

Computing is evolving through increasingly fast interactive cycles intertwining data, algorithms and hardware. We can say it all began with Leibniz's binary system, followed by Charles Babbage, the so-called “father of the modern computer”, and Ada Lovelace, the first computer programmer, in the 1840s, whose programs were based on the Babbage machine. Then, almost 100 years later came Turing, who formalized the idea of algorithms and computation in the first half of the 20th century, finally converging towards the Von Neumann architecture, which consolidated the computer architecture adopted until today. The invention of the transistor (trans-resistor) with bipolar technology, in 1947, by Bardeen, Shockley and Brattain - and their ensuing Nobel Prize for Physics in 1956 - was an important step in establishing complex computational machines, making it possible to produce smaller, more complex computers. Also from a historical perspective, the formalization of modern signal processing techniques and of linear filtering became a well-established field of investigation, mainly between the 1930s and 1950s (see section ‘Beneath data and algorithms - Data and Optimization’ this chapter).

The intrinsic and robust association between Boolean algebra and transistor behavior as a binary switch was quickly noted. This allowed the construction of increasingly complex, robust and miniaturized computers starting from the 1950s. During the 1960s, there appeared the first interactive computer programs for Computer Aided Design (CAD), allowing humans to use computers to design more advanced computers. From this moment onward, exponential behavior from computing/electronics was observed, culminating in the article by Gordon Moore (Moore, 1965) that states the famous “Moore's law”. This “law” is a statement of an empirical observation that the complexity of integrated circuits doubles every 18 months. Associated with complexity, two other parameters for Moore's law are relevant: computers' physical dimensions and energy consumption.

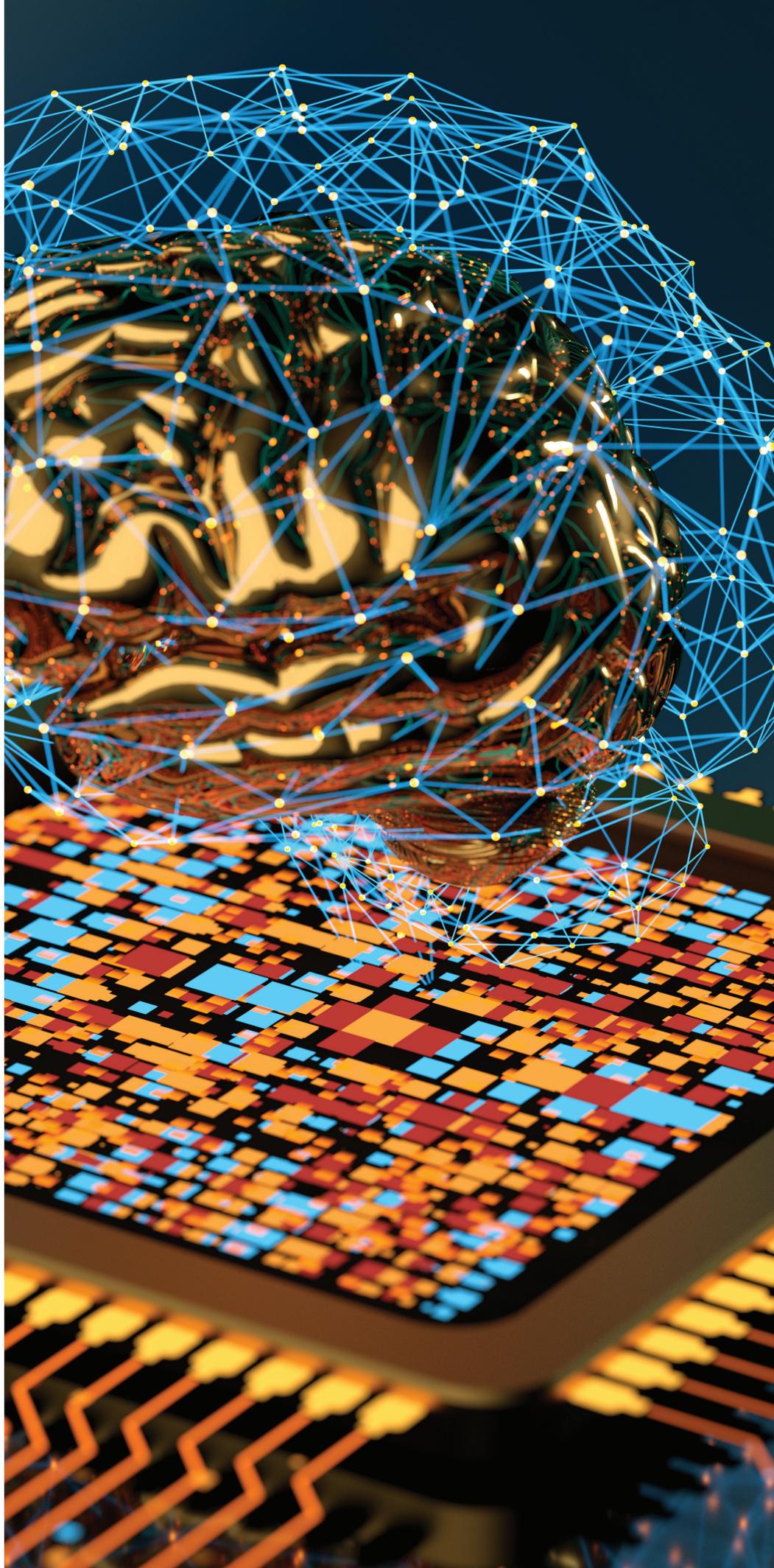
Moore's law has persisted for more than 50 years, and probably will continue to do so for decades to come. Nowadays, new microprocessors are specified through programming languages. That is, the mi-

croprocessor is described as a computer program, which is then compiled into silicon, through a microelectronics manufacturing process. Physical computational machines are compiled from code that describes them and are subsequently synthesized for fabrication. In other words, hardware began to be built from algorithms and data.

Another way to interpret Moore's law is to consider the complexity and dimensions of a computer to be constant. From this point of view, this virtuous cycle of Moore's law is allowing the construction of a wide range of cheaper, increasingly complex, miniaturized computers with lower energy consumption. For instance, the current human population is of approximately 7.5 billion individuals. Suppose that each person has at this moment a smartphone device with 2 Gbytes of RAM, four 64-bit processors and 64 Gbytes of local storage. Assuming an operating system that could manage this distributed meta computer, there would currently be available 15 Exabytes (10^{18}) of volatile memory, 30 billion CPUs and 480 Exabytes of storage. We know, however, that the number of computational resources currently available is much greater, since our meta computer does not include computers integrated into all sorts of objects (such as cars, refrigerators, airplanes or satellites), nor computers available in data or super-computing centers (and associated High-Performance Computing). Certainly, by the 2030s, humanity will be able to construct machines with a capacity of Zettabytes (10^{21}), and, by 2040, of Yottabytes (10^{24}), if Moore's law persists.

The exponential availability of computers and democratized access to programming occurs simultaneously with the mass dissemination of programming throughout the world. At the exact moment this chapter is being read, tens of millions of people are specifying algorithms, programming computers and designing integrated circuits using software. The evolution of programming techniques over recent decades has also been notable and changed the way humans symbolically represent reality through mathematical models.

With the consolidation of Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS) technology, the last 50 years have witnessed significant progress in microelectronics-based computer architecture design. This technology allows the implementation of transistors and other electronic structures based on superimposed layers of conductors (metals), insulators (silicon oxide) and enriched semiconductors (normally silicon enriched with boron and phosphorous). CMOS has made possible the integration of microprocessors, memories and other computational systems for Very Large Scale Integration (VLSI) chips. Currently, more than 99% of microprocessors are implemented with CMOS. Microprocessor integrated circuits built



para a concretização de máquinas computacionais complexas, viabilizando computadores menores e mais complexos. Ainda numa perspectiva histórica, a formalização das técnicas modernas de processamento de sinais e de filtragem linear tornou-se um campo bem estabelecido do conhecimento, principalmente entre as décadas de 1930 e 1950 (ver seção “Por trás dos dados e algoritmos – Sinais e otimização”).

Rapidamente constatou-se a associação intrínseca e robusta entre a álgebra booleana e o comportamento do transistor como chave binária, permitindo a partir da década de 1950 a construção de computadores transistorizados cada vez mais complexos, robustos e miniaturizados. Na década de 1960, surgiram os primeiros programas de computador interativos para projeto auxiliado por computador (CAD – *Computer Aided Design*), permitindo que humanos usassem os computadores para projetar computadores mais avançados. A partir deste momento observa-se um comportamento exponencial da computação/eletrônica, culminando no artigo de Gordon Moore (Moore, 1965), que propõe a famosa “lei de Moore”. Esta “lei” é uma constatação empírica de que a complexidade da eletrônica/computação dobra a cada 18 meses. Associados à complexidade, pode-se considerar dois outros parâmetros à lei de Moore: a dimensão física e o consumo de energia dos computadores.

A lei de Moore persiste há mais de 50 anos, e provavelmente vai perdurar por mais décadas. Hoje, novos microprocessadores são descritos por linguagens de programação, ou seja, o microprocessador é descrito como um programa de computador, que depois é compilado para o silício, considerando um processo de fabricação de microeletrônica. Máquinas computacionais físicas são compiladas a partir de código que as descreve e posteriormente sintetizadas para fabricação. Em outras palavras, o hardware passou a ser criado a partir de algoritmos e dados.

Uma outra forma de interpretar a lei de Moore é considerar a complexidade e dimensão de um computador constantes; sob este ponto de vista, pode-se construir

computadores mais baratos e com menor consumo de energia. Este ciclo virtuoso da lei de Moore vem permitindo a construção de todo um amplo espectro de computadores cada vez mais complexos, miniaturizados e com menor consumo de energia. Para exemplificar, a humanidade hoje possui aproximadamente 7,5 bilhões de humanos. Suponhamos que cada humano possui, neste instante, um aparelho celular modelo smartphone com 2 Gbytes de RAM, 4 núcleos de processamento de 64 bits e 64 Gbytes de armazenamento local. Imaginando, por hipótese, um sistema operacional para gerenciar este metacomputador distribuído, teríamos à disposição hoje 15 Exabytes (10^{18}) de memória volátil, 30 bilhões de CPUs e 480 Exabytes de memória de armazenamento. Sabemos, no entanto, que este número de recursos computacionais disponíveis atualmente é muito maior, pois não estamos contabilizando os computadores embarcados em todo tipo de objeto (como carros, geladeiras, aviões ou satélites), nem tampouco computadores disponibilizados em supercentros de dados ou de processamento (e a associada *High Performance Computing*, a computação de alto desempenho). Certamente até a década de 2030 a humanidade será capaz de construir máquinas com capacidade de Zettabytes (10^{21}), e em 2040, Yottabytes (10^{24}), se a lei de Moore perdurar.

A oferta exponencial de computadores e o acesso democratizado à programação ocorreram de forma concomitante com a disseminação massiva da programação pelo mundo – neste exato momento em que este capítulo está sendo lido, dezenas de milhões de humanos estão especificando algoritmos, programando computadores e projetando circuitos integrados usando software. A evolução das técnicas de programação nas últimas décadas foi também expressiva e mudou a forma como até então os humanos representam simbolicamente a realidade a partir de modelos matemáticos.

Nos últimos 50 anos, as técnicas de projeto de computadores pela microeletrônica tiveram avanços significativos, com a consolidação da tecnologia CMOS (*Com-*

in 2021 use tens to hundreds of millions of CMOS transistors in which the smallest physical dimension is of the order of 2 nanometers. Just for comparison, the COVID-19 coronavirus measures between 50 and 140 nanometers.

This vast dissemination of computers in and beyond our planet (on satellites and spaceships) has created new computational dimensions, among them cyberphysics, an emerging branch of Computing, where computation (cyber) strongly interweaves with the real world (physics). Cyberphysical systems include virtually all the computational topics considered in this chapter, in strong interaction with physical systems.

Promising, new technologies are emerging to implement computers. These include photonics, in which photons are used instead of electrons; spintronics, which explores the quantum behavior of electron magnetic orientation (spin), and more recently, quantum computers have begun to be implemented. Currently, the existence of humans without computers is unimaginable. Computing is present in nearly every domain of human life and, in a few years, humanity will probably have trillions of interconnected computers.

Computational tasks in the future will essentially depend on the human ability to model, program and synthesize more and more computers in a sustainable and ethical manner. Basically, these abstraction, modelling and synthesis cycles define computing as a form of “procedural epistemology” (Fry, 1985).

HUMAN, SOCIAL AND ECONOMIC IMPACTS

Until now, we have seen examples of how digital technologies are crucial to understand the past and build the future. An article in Nature (Sachs et al., 2019) discusses which transformations the signatory countries of the Paris Agreement should consider to achieve the 17 Sustainable Development Goals (SDGs). These transformations will require complementary initiatives from governments, civil society, the private sector, universities and various other sectors. The article proposes six transformations as fundamental blocks to attain these objectives. (1) education, gender and inequality; (2) health, well-being and demographics; (3) decarbonized energy and sustainable industry; (4) sustainable food, land, water and oceans; (5) sustainable cities and communities; and (6) digital revolution for sustainable development.

The digital revolution for sustainable development includes AI and other digital technologies, such as the Internet of things (IoT), robotics, blockchain and others. These are technologies whose impacts are felt in nearly all sectors of the economy, including precision agriculture, autonomous vehicles, e-commerce, electronic payments, negotiation strategies,

social networks, automated diagnoses, telemedicine, on-line learning, electronic governance, electronic voting and science and technology themselves. The potential benefits of digital technologies are numerous. They can bring innovation, efficiency, competitiveness and cost reduction to society and the economy, as well as make public services more transparent, accessible and efficient.

In one of his declarations, the UN Secretary-General emphasized that following the “tragedy and danger” of the pandemic, sustainable development goals were more important than ever to put the world back on the right track. In his message, Guterres outlined ten urgent priorities for the future (United Nations, 2021). Among these priorities was the need to make use of the opportunities offered by digital technologies and, at the same time, protect against their growing dangers.

Many are the benefits, but also countless the possibilities of negative impacts from the accelerated digitalization of society, including economic, political and social effects. The absence of adequate public policy can increase digital exclusion, in which part of the global population does not have access to the benefits that come with digital technologies. Maybe the most feared risk from the advance of AI would be losing jobs, especially for less qualified workers. The Nobel Prize winner in economic sciences, Joseph Stiglitz, outlined a pessimistic scenario for developing nations, such as Brazil (Korinek & Stiglitz, 2021). The following reasons underpin Stiglitz’s position. The potential of AI to save labor will have a greater impact on countries with labor intensive production and exportation sectors. The potential of AI to save natural resources should impact countries that export natural resources, while benefiting importing countries. The concentration of power tends to increase in the few companies and countries that dominate AI technologies, the so-called “big techs”, leading to greater economic inequality. Other threats from the digital advance include invasion of privacy by governments or companies, discrimination based on personal data, digital propagation of hate speech, and discrimination and misinformation through social media platforms and services, allowing political manipulation and generating polarization and conflict in various regions and countries. The concentration of control over society is not necessarily in the hands of the state - neither in developed countries, nor in developing ones, as in the Brazilian case. The financial system and big technology companies hold detailed information about all of us, highlighting the need for society to expand the discussion about data regulation and its limits.

Given the accelerated advance of digitalization of society, with its benefits and threats, an important issue arises: what is

plementary Metal–Oxide–Semiconductor). Esta tecnologia permite a implementação de transistores e outras estruturas eletrônicas a partir da sobreposição de camadas de condutores (metais), isolantes (óxido de silício) e semicondutores enriquecidos (normalmente silício enriquecido com boro e fósforo). A CMOS viabilizou a integração de microprocessadores, memórias e outros sistemas computacionais em ultra escala VLSI (*Very Large Scale Integration*). Atualmente, mais de 99% dos microprocessadores são implementados em CMOS. Circuitos integrados de microprocessadores implementados em 2021 utilizam dezenas a centenas de milhões de transistores CMOS em que a menor dimensão física é da ordem de 2 nanômetros; para se ter uma ideia dimensional, o vírus da covid-19 mede entre 50 e 140 nanômetros.

Esta vasta disseminação de computadores no nosso planeta e fora dele (em satélites e naves espaciais) tem criado novas dimensões computacionais, dentre elas a ciberfísica, um ramo emergente da Computação, em que a computação (ciber) começa a se entrelaçar fortemente com o mundo real (física). Sistemas ciberfísicos englobam praticamente todos os temas computacionais abordados neste artigo em forte interação com sistemas físicos.

Novas tecnologias promissoras estão surgindo para implementar computadores, como a fotônica, em que utilizamos fótons em vez de elétrons, a spintrônica, que explora o comportamento quântico da orientação magnética (spin) do elétron, e mais recentemente computadores quânticos começam a ser implementados. Atualmente não conseguimos imaginar a humanidade sem a existência de computadores. A computação se manifesta em praticamente todos os domínios da vida humana; provavelmente, em poucos anos, a humanidade alcançará o número de trilhões de computadores interconectados.

A computação no futuro dependerá essencialmente da capacidade humana de modelar, programar e sintetizar mais e mais computadores de forma sustentável e ética. Essencialmente estes ciclos de

Esta vasta disseminação de computadores no nosso planeta e fora dele (em satélites e naves espaciais) tem criado novas dimensões computacionais, dentre elas a ciberfísica, um ramo emergente da Computação (...)

abstração, modelagem e síntese definem a computação como uma forma de “epistemologia procedural” (Fry, 1985).

IMPACTOS HUMANOS, SOCIAIS E ECONÔMICOS

Vimos até agora exemplos de como as tecnologias digitais são um eixo fundamental para entender o passado e na construção do futuro. Um artigo da revista *Nature* (Sachs et al., 2019) discute quais transformações os países signatários do Acordo de Paris devem considerar para atingir as metas acordadas para os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). São transformações que irão exigir iniciativas complementares de governos, sociedade civil, empresas, universidades e vários outros setores. O artigo propõe seis transformações como blocos fundamentais para realização dos objetivos. (1) educação, gênero e desigualdade; (2) saúde, bem-estar e demografia; (3) descarbonização de energia e indústria sustentável; (4) alimentos, terras, água e oceanos sustentáveis; (5) cidades e comunidades sustentáveis; e (6) revolução digital para o desenvolvimento sustentável.

A revolução digital para o desenvolvimento sustentável inclui inteligência artificial (IA) e outras tecnologias digitais, como internet das coisas (IoT), robótica, *blockchain* e outras. São tecnologias com impacto em quase todos os setores da economia, incluindo agricultura de precisão, veículos autônomos, *e-commerce*, pagamentos eletrônicos, estratégias de negociação, redes sociais, diagnósticos automatizados, telemedicina, aprendizagem on-line, governança eletrônica, votação eletrônica e a própria ciência e tecnologia. Os potenciais benefícios das tecnologias digitais são múltiplos. Elas podem trazer inovação, eficiência, competitividade e redução de custos para a sociedade e a economia. Podem tornar os serviços públicos mais transparentes, disponíveis e eficientes.

Em uma de suas declarações, o secretário-geral da ONU enfatizou que depois da “tragédia e perigo” da pandemia, os objetivos do desenvolvimento sustentável são

mais importantes do que nunca para colocar o mundo no caminho certo. Em sua mensagem, o secretário-geral delineou dez prioridades urgentes para o futuro (United Nations, 2021). Dentre elas, está a necessidade de se aproveitar as oportunidades das tecnologias digitais e, ao mesmo tempo, se proteger contra seus perigos crescentes.

Os benefícios são incontáveis, mas são muitas, também, as possibilidades de impacto negativo da acelerada digitalização da sociedade. Impactos econômicos, políticos e sociais. A ausência de políticas públicas adequadas pode ampliar a exclusão digital, em que parte da população global não tem acesso aos benefícios trazidos pelas tecnologias digitais. Talvez o risco mais temido do avanço da IA seja a perda de empregos, especialmente para trabalhadores menos qualificados. O prêmio Nobel de Economia Joseph Stiglitz traçou um cenário pessimista para os países em desenvolvimento, como o Brasil (Korinek & Stiglitz, 2021). São as seguintes razões que reforçam essa posição de Stiglitz. O potencial da IA para economizar mão de obra terá maior impacto em países com setores de produção e exportação intensivos em mão de obra. O potencial de IA para economizar recursos naturais deverá causar impacto para os países exportadores de recursos naturais, mas com benefícios para os importadores. A concentração de poder tende a aumentar nas poucas empresas e nos países que dominam as tecnologias de IA, as chamadas “big tech”, levando a uma maior desigualdade econômica. Outras ameaças do avanço digital incluem invasão de privacidade por governos ou empresas, discriminação com base em dados pessoais, propagação digital de discursos de ódio, discriminação e desinformação por meio das plataformas de mídias sociais e serviços, possibilitando manipulações políticas e gerando polarização e conflitos em várias regiões e países. A concentração do poder de controle sobre a sociedade não está necessariamente nas mãos do Estado – nem nos países desenvolvidos, nem nos países em desenvolvimento, como o caso brasileiro. O sistema financeiro e as grandes empresas de tecno-

the role of Computer Science in times when the digital is present in nearly all aspects of contemporary life. Today’s citizens interact multiple times a day with numerous platforms such as Google, YouTube, Spotify, Twitter and others. The modern individual shops on Amazon, participates in the LinkedIn professional community, uses Uber or Waze for transport, or Tinder to look for romantic relationships. These services are important and practical for users who sufficiently trust the algorithms, many of them AI algorithms that control the logic of the apps, to the point of delegating to them the choice of preferences, curricula, means of transport and affective relationships. The Chinese government, for example, has created projects that give their citizens a “social ranking”, in which the algorithm classifies a citizen as a desirable worker, a reliable tenant, a valuable client – or as a fraudster, unreliable or unproductive person (Kostka, 2019). As a consequence, social benefits and resources are assigned according to that score. The replacement of humans by algorithms or the use of algorithms for making decisions regarding citizens should evidently undergo ample scrutiny by society. There are numerous issues, including the transparency of algorithms and the reasons for the delegation of decisions to an automated system instead of to humans. They also include the social impacts of automation and the meaning of individual and collective decision-making processes, which could suffer from dehumanization. The analysis of the attribution of responsibility to automated systems is also pertinent. It is precisely in the context of the need to understand algorithmic decision-making systems that Computer Science can and should also make a contribution.

High risk decisions based on algorithmic systems are on one hand characterized by efficiency and speed that can accelerate currently extremely slow processes, as those of the Brazilian justice system, for instance. On the other hand, such automatic decisions can have unintended consequences, caused by complex and opaque algorithms, and/or biased or non-diverse data. Such effects can be harmful, mainly to more vulnerable groups. Research in Computing can contribute to minimize errors and undesired consequences of AI algorithms, as well as to identify problems with social and political impacts.

An article by Abebe et al. (2020) maps four structural forms in which Computer Science can contribute to identify social problems resulting from advances in AI and in algorithmic processes for decision making. These are usually complex and opaque processes, whose transparency and responsibility cannot in the majority of cases be grasped nor understood by society. This issue is particularly important in the Brazilian context, where the transition to a digitalized so-

ciety takes place rapidly and within a still underdeveloped legal framework. The article identifies functions in which Computing research can focus to identify social impacts and their risks: diagnosis, formalization, refutation and synecdoche. These functions can be adapted and expanded to show how Computing has the potential to contribute to the identification of social impacts resulting from the digitalization of society.

Diagnosis of social problems manifested in sociotechnical systems
Computing can contribute to diagnosing social problems resulting from sociotechnical systems, such as digital platforms. The term “sociotechnical” refers to ways in which social actors and technological artifacts become intertwined as parts of unified systems – instead of discrete entities (Suchman et al., 1999). An article by Harvard professor Latanya Sweeney (Sweeney, 2013) shows that technology can lead to discriminatory outcomes, but can also stop undesired discrimination. Sweeney shows, using Google search mechanisms, that search for people whose names indicate that they might be black are more likely to associate them with advertisements that suggest criminal records, which does not occur with names that indicate white people. She collected evidence analyzing more than 2,000 names searched for that suggest race for this empirical study, which confirmed the initial hypothesis of racism. The article shows how Computing can be used to diagnose social problems - racism in this case. Her paper points out that the main steps that can be taken in empirical studies to identify discriminatory algorithms are: (1) identify the groups affected; (2) specify the scope of interventions to be assessed; (3) determine the feeling and the action of the intervention; and (4) verify the occurrence of adverse impacts.

Refutation
Computing can contribute to understanding the limits of digital interventions and policies based on them. The goal of the American government’s Extreme Vetting Initiative was to carry out automated predictions about the possibility of an immigrant “intending to commit” terrorism or other crimes in the future. Various sectors of civil society, including a group of computer scientists, opposed this initiative of the Department of Homeland Security (DHS) affirming that it was not only discriminatory, but also technically unfeasible (Duarte, 2017).

No computational method can provide reliable or objective assessment of the characteristics the program sought to quantify. Very likely, the proposed system would be imprecise and biased. Scientists refuted the idea of the project, recommending that the government reconsider its implementation.

logia possuem informações detalhadas sobre todos nós, indicando para a sociedade a necessidade de ampliar a discussão sobre regulamentação de dados e seus limites.

Frente ao avanço acelerado da digitalização da sociedade, com seus benefícios e ameaças, emerge uma questão importante: qual o papel da Ciência da Computação nestes tempos em que o digital está presente em todos aspectos da vida contemporânea. O cidadão dos tempos atuais interage várias vezes ao dia com inúmeras plataformas como Google, YouTube, Spotify, Twitter e outras. O indivíduo contemporâneo faz compras na Amazon, participa da comunidade profissional do LinkedIn, usa o Uber ou Waze para transporte ou recorre ao Tinder para a busca de relacionamentos amorosos. Estes serviços são importantes e práticos para os usuários, que confiam o suficiente nos algoritmos, muitos deles algoritmos de IA, que regem a lógica destes aplicativos, a ponto de delegar-lhes gostos, currículos, meio de transporte e preferências afetivas. O governo chinês, por exemplo, trabalha com projetos para atribuir aos seus cidadãos uma “pontuação social”, em que um algoritmo classifica os cidadãos como um funcionário desejável, inquilino confiável, cliente valioso – ou um caloteiro, esquivo ou improdutivo (Kostka, 2019). Como consequência, benefícios e recursos sociais estarão associados a essa pontuação. A substituição de humanos por algoritmos ou o uso de algoritmos para decisões sobre os cidadãos devem necessariamente passar por amplas discussões na sociedade. As questões são várias. Incluem a transparência dos algoritmos e as razões para a delegação de decisões a um sistema automatizado em vez de humano. Incluem também os impactos sociais da automação e o significado dos processos decisórios individuais e coletivos, que poderiam estar sendo desumanizados e a definição de responsabilidades dos sistemas automatizados. E é justamente no contexto da necessidade de entender os sistemas de decisão algorítmica que a Ciência da Computação pode e deve também dar sua contribuição.

Decisões de alto risco baseadas em sistemas algorítmicos têm por um lado a característica da eficiência e da rapidez, que podem acelerar processos hoje extremamente lentos, por exemplo, os processos na justiça brasileira. Por outro lado, tais decisões automáticas podem ter efeitos não esperados, em inglês “*unintended consequences*”, causados por algoritmos complexos e opacos e/ou por dados enviados ou pouco diversos. Tais efeitos podem ser danosos, principalmente a grupos mais vulneráveis da sociedade. A pesquisa em Computação pode tanto contribuir para minimizar erros e consequências não desejadas de algoritmos de IA, como também atuar na identificação de problemas com impacto social e político.

Um artigo de Abebe et al. (2020) mapeia quatro formas estruturais em que a Ciência da Computação pode contribuir para identificar problemas sociais decorrentes do avanço da IA e dos processos algorítmicos de tomada de decisão. São em geral processos complexos e opacos, cuja transparência e responsabilidade estão na maior parte dos casos fora do alcance e compreensão da sociedade. Essa questão é particularmente importante no contexto brasileiro, onde a transição para uma sociedade digitalizada ocorre rapidamente e com um arcabouço legal ainda pouco desenvolvido. O artigo articula funções que a pesquisa em Computação pode focalizar na busca da identificação de impactos sociais e seus riscos: diagnóstico, formalização, refutação e sinédoque. Essas funções podem ser adaptadas e expandidas para mostrar como a Computação tem o potencial para contribuir na identificação de impactos sociais decorrentes da digitalização da sociedade.

Diagnóstico de problemas sociais manifestados em sistemas sociotécnicos
A Computação pode contribuir para diagnosticar problemas sociais decorrentes dos sistemas sociotécnicos, como as plataformas digitais. O termo “sociotécnico” refere-se a formas pelas quais atores sociais e artefatos tecnológicos tornam-se entrelaçados como parte de sistemas

unificados – em vez de discretos (Suchman et al., 1999). Um artigo da professora de Harvard Latanya Sweeney (Sweeney, 2013) mostra que a tecnologia pode promover resultados discriminatórios, mas também que a tecnologia pode impedir a discriminação indesejada. A professora mostra, usando buscas do Google, que pessoas cujos nomes indicam que podem ser negras têm mais probabilidade de serem alvos de anúncios que sugerem um registro criminal, algo que não ocorre com nomes que indicam pessoas brancas. Ela coletou evidências analisando mais de 2.000 nomes que sugerem raça para o estudo empírico, que confirmou a hipótese inicial de racismo. O artigo mostra como a Computação pode ser usada para diagnosticar problemas sociais, racismo no caso do artigo. Destaca que os passos principais que podem ser seguidos em estudos empíricos para identificação de algoritmos que discriminam são: (1) identificar os grupos afetados; (2) especificar o escopo das intervenções a serem avaliadas; (3) determinar o sentimento e a ação da intervenção; e (4) verificar a ocorrência de impacto adverso.

Refutação

A Computação pode contribuir para a compreensão dos limites de intervenções digitais e de políticas baseadas nelas. O projeto “Extreme Vetting Initiative” do governo americano tinha como objetivo fazer previsões automatizadas sobre a possibilidade de um imigrante “pretender cometer” terrorismo ou outro crime no futuro. Vários setores da sociedade civil, incluindo um grupo de cientistas da computação, se colocaram contrários à iniciativa do Departamento de Segurança Interna (DHS), afirmando que iniciativa não era apenas discriminatória, mas também tecnicamente inviável (Duarte, 2017).

Nenhum método computacional pode fornecer avaliações confiáveis ou objetivas das características que o programa procurava medir. Muito provavelmente, o sistema proposto seria impreciso e tendencioso. Os cientistas refutaram a ideia

do projeto, recomendando ao governo reconsiderar o projeto.

Formalização

A Computação requer a especificação explícita das entradas, saídas e objetivos dos algoritmos para poder compreender os impactos humanos e sociais de decisões algorítmicas. Um estudo publicado por Obermeyer e colegas (Obermeyer et al., 2019) relata a análise das saídas e entradas de um algoritmo que prevê o risco de saúde e influencia o tratamento de milhões de pessoas. O estudo mostra que o algoritmo usa o custo do atendimento como um substituto (i.e., “proxy”) para as necessidades de tratamento de saúde. Para pacientes negros e pacientes brancos internados com o mesmo nível de risco, o algoritmo atribui um orçamento menor para o tratamento dos pacientes negros, com consequente impacto para a saúde desses pacientes. O artigo mostra que um algoritmo amplamente utilizado nos serviços de saúde afetou milhões de pacientes, exibindo claramente um viés racial significativo.

Deteção de questões sociais

A Computação pode evidenciar e trazer para o primeiro plano problemas sociais e políticos decorrentes da digitalização da sociedade. Um artigo publicado por pesquisadores brasileiros (Resende et al., 2019) analisa a disseminação de informações dentro do WhatsApp, com foco em grupos de orientação política, publicamente acessíveis por meio de imagens coletadas e compartilhadas durante dois eventos marcantes no Brasil: a greve nacional de caminhoneiros e a campanha presidencial brasileira. Em ambos os casos, o estudo identifica a presença de desinformação nas imagens compartilhadas. Esse trabalho teve o papel de detector de questões políticas e sociais, que foram a distribuição de imagens falsas em situações críticas para a democracia brasileira. O estudo tornou-se uma importante referência para estabelecimento de regulamentações eleitorais (Tribunal Superior Eleitoral, 2020).

Formalização

Computing requires the explicit specification of inputs, outputs and objectives of algorithms to understand the human and social impacts of algorithmic decisions. A study published by Obermeyer and colleagues (Obermeyer et al., 2019) reports the analysis of outputs and inputs of an algorithm that predicts health risks, and influences the treatment of millions of people. The study shows that the algorithm uses the cost of the treatment as a proxy for the health care needs of the patient. For black and white patients hospitalized with the same risk level, the algorithm assigns a lower budget for the treatment of black patients, with consequent impacts on the health of these patients. The article shows that an algorithm widely used in health care services affected millions of patients, clearly demonstrating a significant racial bias.

Detection of social issues

Computing can show and bring to the foreground social and political problems resulting from the digitalization of society. An article published by Brazilian researchers (Resende et al., 2019) analyzes the dissemination of information via WhatsApp, focused on politically oriented groups, publicly accessible through images collected and shared during two notable events in Brazil: the national truckers’ strike and the Brazilian presidential campaign. In both cases, the study identified the presence of misinformation in the images shared. This study was able to detect political and social issues of the distribution of fake images during critical situations for the Brazilian democracy. The study became an important reference for the establishment of electoral regulations (Tribunal Superior Eleitoral, 2020).

DATA AND ALGORITHM ETHICS – A NEW FIELD OF KNOWLEDGE

The concerns just discussed raise important ethical issues. The notion of ethics in developing computational systems (both software and hardware) is well established, but became critical with the so-called “data deluge” and the consequent rebirth of AI algorithms. One of the first codes of ethics for Computer Science, dating from 1992, was proposed by the Association for Computing Machinery (ACM), the USA computer society (ACM Committee on Professional Ethics, 1992). This was followed by proposals from other scientific societies in the area. Among them, it is worth mentioning the 2013 code of the Brazilian Computer Society, whose ethics committee dates from the same period. The current ACM code, approved in 2018, has a clause that reflects present concerns with responsible practices for data use (and collection), and for the creation of algorithms and programs - “[...] 3.7 Recognize and take special care of sys-

tems that become integrated into the infrastructure of society.” (ACM Committee on Professional Ethics, 2018).

The terms “data ethics” and “algorithm ethics” are usually considered in two moments. The first category investigates activities associated with the data life cycle, including concerns about how to avoid discrimination or distortion in data collection that leads to biased decisions and algorithms – as mentioned in the previous section. Ethics for the specification and implementation of algorithms refers to issues that, when executing an algorithm, produce discrimination, cause physical or moral harm, invade the privacy of people, or propagate fake news, among others. These issues are at the heart of specific graduate courses and research centers dedicated to studying these aspects, always involving collaboration among philosophers, humanists and computer scientists, such as at the Big Data Institute (Big Data Institute, 2017) at Oxford University.

As this chapter shows, the borders between data and algorithms are increasingly tenuous, in particular in AI, where data induce the models that in turn produce more data. Ethics associated with data and algorithms (O’Neil, 2016), combined with the recent popularization of Machine Learning algorithms, have increased concerns about AI-generated models, thereby originating a research area named “responsible artificial intelligence”.

Responsible AI includes all aspects that should be observed during the data life cycle as well as the models themselves, which should be ethical and equitable, and not embed any form of prejudice, while also being transparent. In numerous situations, many of the irresponsible or anti-ethical behaviors of models are due to the patterns that exist in the data set used to generate them. In order for AI to have a positive impact on our lives, it should follow the premises that guide its use in this direction. This is reflected in the UNESCO recommendations on ethics in AI, approved in November 2021 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2021).

As seen throughout this chapter, algorithmic systems bring multiple benefits. However, given the accelerated expansion of services operated by algorithms, there is a growing concern in society about the adoption of algorithms in sensitive areas, such as health care services (Muller et al., 2021), predictive policing, facial identification, and allocation of social benefit concessions, among others. Given that there is no going back from the advances of digitalization, it is important to create mechanisms to prevent the adverse consequences of algorithmic systems. Such mechanisms rely on public policy and the regulation of algorithmic systems, especially AI systems. Computing has a vital role in these new times of digitalized societies; research and development in Com-

ÉTICA NO USO DE DADOS E ALGORITMOS – UM NOVO RAMO DO CONHECIMENTO

Essas preocupações levam a questões éticas importantes. A noção de ética no desenvolvimento de sistemas computacionais (tanto software quanto hardware) é antiga, mas se tornou premente com o chamado “dilúvio de dados” e o consequente renascimento dos algoritmos de IA. Um dos primeiros códigos de ética em Computação, datando de 1992, foi proposto pela ACM (Association of Computing Machinery), a sociedade americana de Computação (ACM Committee on Professional Ethics, 1992), sendo seguido por propostas de outras sociedades científicas na área. Vale destacar o código de 2013 da Sociedade Brasileira de Computação, cuja Comissão de Ética data da mesma época. O código atual da ACM, aprovado em 2018, tem uma cláusula que reflete a preocupação contemporânea com práticas responsáveis no uso (e coleta) de dados, e na criação de algoritmos e programas – “[...] 3.7 Reconheça e atente especialmente para sistemas que sejam integrados à infraestrutura da sociedade” (ACM Committee on Professional Ethics, 2018).

Os termos “ética no uso de dados” (*data ethics*) e “ética dos algoritmos” são em geral tratados em dois momentos. O primeiro estuda as atividades associadas ao ciclo de vida dos dados, inclusive com preocupações sobre como evitar introduzir discriminação ou distorções na coleta de dados que induzam a algoritmos e decisões preconceituosas – como as mencionadas na seção anterior. Já a ética na especificação e implementação de algoritmos se refere a questões que, quando da execução dos algoritmos, produzam discriminação, causem danos físicos ou morais, invadam a privacidade das pessoas, propaguem notícias falsas (*fake news*), dentre outros. Essas questões estão na origem de disciplinas de pós-graduação específicas e de centros de pesquisa dedicados ao estudo dessas questões, sempre envolvendo colaboração de filósofos, humanistas e cientistas da computação, como no Big Data Institute (2017) da Universidade de Oxford.

A Computação pode evidenciar e trazer para o primeiro plano problemas sociais e políticos decorrentes da digitalização da sociedade.

Como visto neste capítulo, a fronteira entre dados e algoritmos está cada vez mais tênue, principalmente em IA, em que os dados induzem os modelos, que irão produzir mais dados. A ética associada a dados e algoritmos (O’Neil, 2016), combinada com a popularização recente dos algoritmos de Aprendizado de Máquina, vem aumentando a preocupação com os modelos gerados por IA, que originou uma área de pesquisa denominada “inteligência artificial responsável”.

A IA responsável cobre tanto os aspectos que devem ser observados durante o ciclo de vida dos dados, quanto os próprios modelos, que devem ser éticos e justos, não embutir qualquer forma de preconceito e ser transparentes. Em várias situações, muitos dos comportamentos irresponsáveis, ou antiéticos, dos modelos se devem a padrões existentes no conjunto de dados utilizados para gerá-los. Para que a IA tenha um impacto positivo na nossa vida, ela deve seguir premissas que guiem o seu uso nesta direção. Isto se reflete nas recomendações da UNESCO sobre a ética em IA, aprovadas em novembro de 2021 (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2021).

Os benefícios dos sistemas algorítmicos são múltiplos, como visto ao longo deste capítulo. Entretanto, dada a acelerada expansão de serviços operados por algoritmos, há uma crescente preocupação na sociedade com a adoção de algoritmos em áreas sensíveis, como serviços de saúde (Muller et al., 2021), policiamento preditivo, identificação facial, concessão de benefícios sociais, dentre outros. Dado que o avanço da digitalização não tem retorno, é importante criar mecanismos para prevenir as consequências adversas dos sistemas algorítmicos. Tais mecanismos passam por políticas públicas e pela regulamentação de sistemas algorítmicos, em especial os sistemas de IA. A Computação tem um papel fundamental nesses novos tempos de sociedades digitalizadas. A pesquisa e o desenvolvimento da Computação serão chave para criar conhecimento e tecnologias que permitam aumentar a trans-

parência e a responsabilização dos processos algorítmicos, contribuindo para criar serviços mais justos, menos discriminatórios e mais confiáveis.

A FAPESP E O FINANCIAMENTO À PESQUISA, DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

A FAPESP há décadas vem financiando pesquisas em todos os ramos da Computação. O fascículo 3 da série FAPESP 60 anos (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022) tem uma extensa apresentação de vários desses avanços. Foi pioneira no apoio à criação de infraestrutura computacional – por exemplo, financiando um dos primeiros computadores instalados em universidades brasileiras no início dos anos 1960, ou seu papel desde 1988 na criação e consolidação da internet no Brasil, dentre muitos outros.

Da mesma forma, financiou e continua financiando projetos inovadores, centros de pesquisa centrados em IA ou dedicados à Engenharia e Ciência Computacional. O programa em eScience e Data Science, criado em 2013, é uma das iniciativas que reconhece a ubiquidade da pesquisa em Computação em praticamente todos os outros domínios do conhecimento. Para dados, destaca-se a criação em 2020 de um dos maiores repositórios de dados abertos sobre covid da América do Sul, o “COVID-19 DataSharing/BR”, cujos dados são acessados por dezenas de países em milhares de downloads, gerando trabalhos de pesquisa mas também ajudando o desenvolvimento de produtos que o usam para treinar algoritmos de IA. A seguir destacamos alguns aspectos do apoio FAPESP associados às aplicações tratadas na seção sobre Algoritmos, que trata de pesquisas em IA e em Bioinformática.

Assim como a Bioinformática deslanchou no mundo por causa de projetos de sequenciamento de genomas, o mesmo ocorreu no Brasil (Setubal, 2004), graças à FAPESP. Um destes projetos que foi vital para criar uma infraestrutura computacional sofisticada e realizar análises comple-

puting are key to creating knowledge and technologies that allow increased transparency and assess the responsibility of algorithmic processes, thereby contributing to create more equitable, less discriminatory and more reliable services.

FAPESP AND THE FUNDING OF RESEARCH, DEVELOPMENT AND INNOVATION IN COMPUTING

For decades, FAPESP has been financing research in all areas of Computing. Volume 3 of the FAPESP 60 years series (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022) has an extensive presentation of several such advances. Among many other initiatives, it was a pioneer in supporting the creation of computational infrastructure in the country – for instance, funding one of the first computers installed in a Brazilian university at the beginning of the 1960s, or its role, since 1988, in creating and consolidating the internet in Brazil.

Similarly, it funded and continues to fund innovative projects, as well as research centers focusing on AI or dedicated to Computational Science and Engineering. Its eScience and Data Science program, created in 2013, is one of the initiatives that recognizes the importance of Computing research in virtually all domains of knowledge. Regarding data, it is worthwhile mentioning the creation of one of the largest COVID-related open data repositories in South America, “COVID-19 DataSharing/BR” – whose data are accessed by tens of countries in thousands of downloads, not only for research, but also helping to develop products that are used to train AI algorithms. We will now highlight some aspects of FAPESP’s support associated with applications considered in the section on Algorithms, for AI and Bioinformatics.

Just as Bioinformatics research expanded throughout the world due to genome sequencing projects, the same occurred in Brazil (Setubal, 2004), thanks to FAPESP. One of the research projects that was vital to the creation of a sophisticated computational infrastructure and complex analyses was the genome project for bacteria *Xylella fastidiosa*, that was conducted between 1997 and 2000. Other projects that helped to sequence the genome for the parasite *Schistosoma mansoni*, or that sequenced cancer samples, were also important to create Bioinformatics groups in Brazil. Many of these groups were part of a virtual genomics institute created by FAPESP named Organization for Nucleotide Sequencing and Analysis (ONSA). The ONSA² acronym was coined as a word play with the acronym of the Institute for Genomic Research (TI-

² ONSA phonetically reproduces the word for ‘jaguar’ in Portuguese (onça – a native animal of the *Panthera* genus) just, as ‘TIGR’ is similar to ‘tiger’ (another animal of genus *Panthera*).

GR) founded in 1992 to sequence various genomes, including the human genome. Since then, several Bioinformatics laboratories sprang up in Brazil, as well as graduate programs focused on this research field. There is even a Brazilian Association for Bioinformatics and Computational Biology (AC3C) whose aim is to promote teaching and research in these areas, with courses and scientific events.

FAPESP has also given significant support to Brazilian AI research, particularly through financing Brazilian research centers, such as the joint FAPESP-IBM call for proposals at the beginning of 2019, which selected the C4AI (Center for Artificial Intelligence) center. The call at the end of the same year jointly with the MCTI Ministry and CGI.br (the Brazilian Internet Steering Committee) also provided funding for up to eight centers of applied AI research to investigate problems in areas such as Health, Agriculture, Industry and Smart Cities; in this latter call, four centers were selected, covering a variety of these topics in different combinations. In 2021, another call was announced, to fund two additional AI centers, considering topics related to information and cybersecurity, and AI in the broader sense. The variety of topics covered by the selected centers shows the growing importance of AI in a wide range of domains of knowledge and the recognition of the phenomenon by FAPESP.

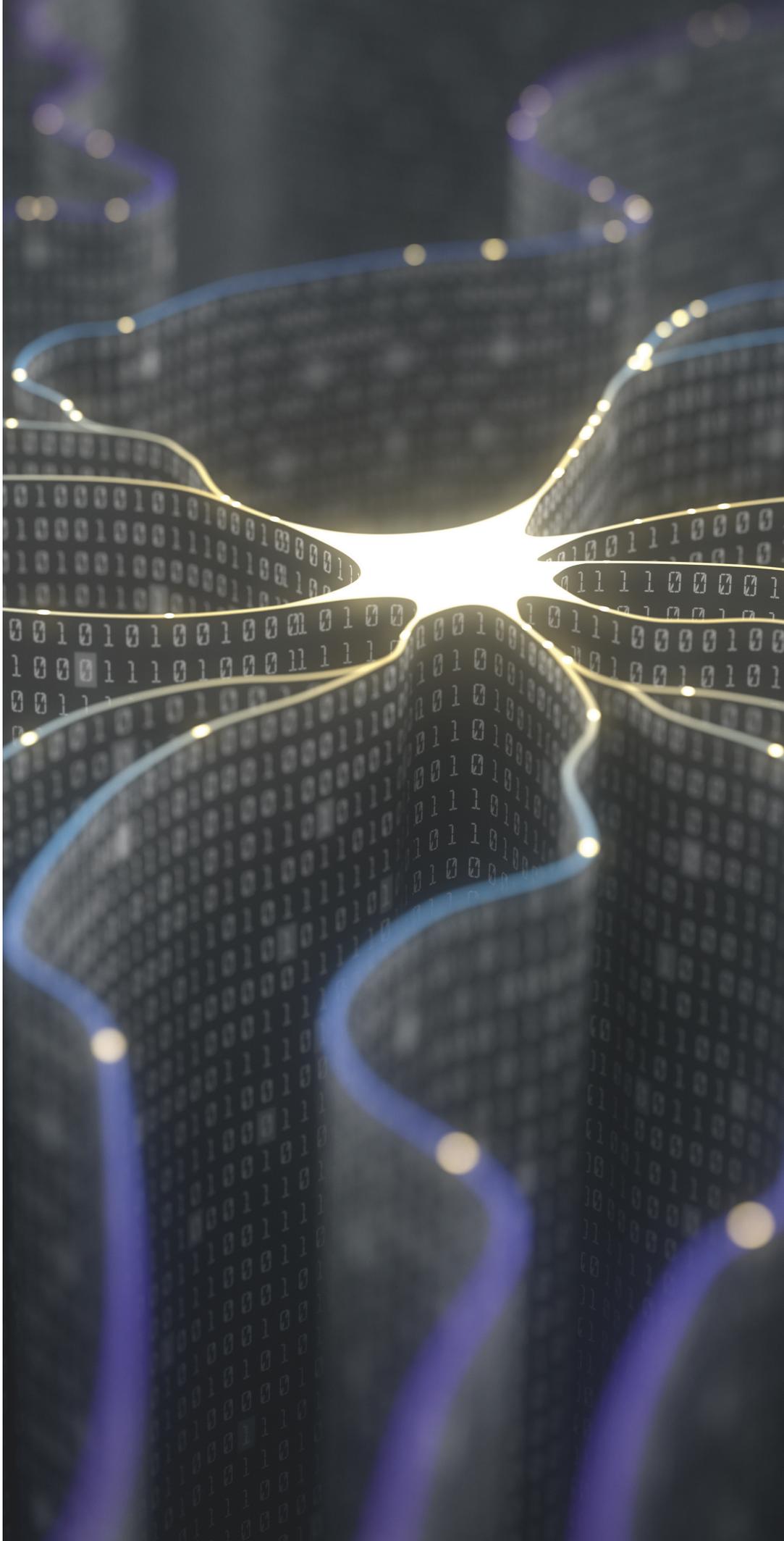
was foi o projeto genoma da bactéria *Xylella fastidiosa*, realizado entre os anos de 1997 e 2000. Outros projetos que ajudaram a sequenciar o genoma do parasita *Schistosoma mansoni* ou que sequenciaram amostras de câncer também foram importantes para criar grupos especializados em Bioinformática no Brasil. Muitos desses grupos fizeram parte de um instituto virtual de genômica criado pela FAPESP e denominado Rede ONSA (Organização para Sequenciamento e Análise de Nucleotídeos, na sigla em inglês). ONSA inclusive brincava com a sigla do *Institute for Genomic Research* (TIGR) fundado em 1992 para o sequenciamento de diversos genomas, incluindo o humano. Desde então, vários laboratórios de Bioinformática surgiram no Brasil, assim como diversos programas de pós-graduação voltados para esta área. Existe até uma Associação Brasileira de Bioinformática e Biologia Computacional (AB3C), cujo objetivo é promover o ensino e a pesquisa de Bioinformática e Biologia Computacional, com cursos e eventos científicos.

A FAPESP também tem prestado um grande apoio às pesquisas brasileiras em IA, particularmente no financiamento a centros brasileiros de pesquisa, por exemplo, por meio da chamada de propostas no início de 2019, junto com a IBM, que selecionou a proposta do C4AI (Centro de Inteligência Artificial). Destaca-se também a chamada, no final do mesmo ano, para financiamento, junto com o MCTI e o CGI.br (Comitê Gestor da Internet no Brasil), de até oito centros de pesquisa aplicada em IA nos temas Saúde, Agricultura, Indústria e Cidades Inteligentes, sendo selecionados quatro centros cobrindo uma variedade desses temas, em diferentes combinações. Em 2021, foi lançada a segunda chamada, para o financiamento de dois centros, nos temas Segurança da Informação e Segurança Cibernética e IA em sentido amplo. A variedade de temas dos centros selecionados mostra a presença crescente da IA nos mais variados domínios do conhecimento e o reconhecimento que a FAPESP tem do fenômeno.

REFERÊNCIAS/REFERENCES

- Abebe, R., Barocas, S., Kleinberg, J., Levy, K., Raghavan, M., & Robinson, D. G. (2020). Roles for computing in social change. In Association for Computing Machinery (Ed.), *Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAT* '20)* (pp. 1-9). Association for Computing Machinery. <https://arxiv.org/pdf/1912.04883.pdf>.
- ACM Committee on Professional Ethics. (1992). *1992 ACM Code of Ethics and Professional Conduct*. <https://ethics.acm.org/code-of-ethics/previous-versions/1992-acm-code/>.
- ACM Committee on Professional Ethics. (2018). *ACM Code of Ethics and Professional Conduct*. <https://ethics.acm.org/>.
- Big Data Institute. (2017). <https://www.bdi.ox.ac.uk/study/cdt/ethics>.
- Duarte, N. (2017). *Automated "extreme vetting" won't work and will be discriminatory*. Center for Democracy & Technology. <https://cdt.org/insights/automated-extreme-vetting-wont-work-and-will-be-discriminatory/>.
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrogott, M. (2005). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. (Springer's International Series). Springer-Verlag.
- Fry, C. (1985). Structure and interpretation of computer programs. *Computer Music Journal*, 9(3), 81-84.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022). *Pioneirismo digital*. In *FAPESP 60 anos – Ciência, Cultura e Desenvolvimento* (Vol. 3). FAPESP. <https://60anos.fapesp.br/livro/>.
- International Telecommunication Union. (2014). *Smart sustainable cities: An analysis of definitions*. United Nations (Focus Group Technical Report).
- International Telecommunication Union (ITU-T), Focus Group on Smart Sustainable Cities (FG-SSC).
- Knuth, D. (1998). *The Art of Computer Programming* (3 vol.), Addison-Wesley.
- Korinek, A., & Stiglitz, J. (2021). *Artificial intelligence, globalization, and strategies for economic development* (Working Paper 28453). National Bureau of Economic Research. <http://www.nber.org/papers/w28453>.
- Kostka, G. (2019). *China's social credit systems and public opinion: explaining high levels of approval*. *New Media & Society*, 21(7), 1565-1593. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1461444419826402>.
- Laney, D. (2001). *3D data management: controlling data volume, velocity and variety*. META Group Research Note. <https://www.bibsonomy.org/bibtex/742811cb00b303261f79a98e9b80bf49>.
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI Magazine*, 27(4), 12-14. <http://dx.doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904>.
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. (2021). A plataforma. <https://cidadesinteligentes.hmg.apps.kloud.rnp.br/sobre>.
- Moore, G. (1965). Cramming more components onto integrated circuits. *Electronics*, 38(8), pp 114 ff. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4785860>.
- Muller, H., Mayrhofer, M. T., Van Veen, E. B., & Holzinger, A. (2021). The ten commandments of ethical medical AI. *Computer*, 54(7), 119-123.
- O'Neil, C. (2016). *Weapons of math destruction: how big data increases inequality and threatens democracy*. Penguin.
- Obermeyer, Z., Powers, B., Vogeli, C., & Mullainathan, S. (2019). Dissecting racial bias in an algorithm

- used to manage the health of populations. *Science*, 366(6464), 447-453.
- Resende, G., Melo, P., Sousa, H., Messias, J., Vanconcelos, M., Almeida, J. M., & Benevenuto, F. (2019). (Mis)Information dissemination in whatsapp: Gathering, analyzing and countermeasures. In *The World Wide Web Conference, WWW '19* (pp. 818-828). Association for Computing Machinery.
- Rjab, A. B., & Mellouli, S. (2019). Artificial intelligence in smart cities: Systematic literature network analysis. In *Proceedings of the 12th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, ICEGOV 2019* (pp. 259-269). Association for Computing Machinery.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. *Economica*.
- Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., & Rockström, J. (2019). Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. *Nature Sustain*, 2, 805-814. <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-019-0352-9>.
- Setubal, J. C. (2004). Bioinformática. In L. Mir (Ed.), *Genômica* (pp. 105-118). Editora Atheneu.
- Suchman, L., Blomberg, J., Orr, J., & Trigg, R. (1999). Reconstructing technologies as social practice. *The American Behavioral Scientist*, 43(3), 392-408.
- Sweeney, L. (2013). Discrimination in Online Ad Delivery: Google ads, black names and white names, racial discrimination, and click advertising. *Queue*, 11(3), 10-29. <http://dx.doi.org/10.1145/2460276.2460278>.
- The Economist. (2017, May). *The world's most valuable resource is no longer oil, but data*. <https://www.economist.com/leaders/2017/05/06/the-world-s-most-valuable-resource-is-no-longer-oil-but-data>.
- Townsend, A. M. (2013). *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia*. W. W. Norton & Company.
- Tribunal Superior Eleitoral. (2020). TSE assina parceria com Facebook Brasil e WhatsApp Inc. para combate à desinformação nas Eleições 2020. <https://www.tse.jus.br/imprensa/noticias-tse/2020/Setembro/tse-assina-parceria-com-facebook-brasil-e-whatsapp-inc-para-combate-a-desinformacao-nas-eleicoes-2020>.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. In *General Conference* (pp. 1-30). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378931?posInSet=25&queryId=f4082765-2fif-4710-a706-047db14472d1-draft-data-297>.
- United Nations. (2021). *Secretary-General's remarks to Member States on Priorities for 2021*. <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2021-01-28/secretary-generals-remarks-member-states-priorities-for-2021-bilingual-delivered-scroll-down-for-all-english-version>.
- Van Regenmortel, M. H. V. (2004). Reductionism and complexity in molecular biology. Scientists now have the tools to unravel biological and overcome the limitations of reductionism. *EMBO Reports*, 5(11), 1016-1020. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.740028>.



Capítulo 6

Saúde humana e os desafios globais das doenças crônicas e infecciosas

Chapter 6

Human health and the global challenges of chronic and infectious diseases

SAÚDE E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Garantir o direito à saúde e vida saudável, bem como promover o bem-estar para todas as pessoas, em quaisquer idades, são alicerces do desenvolvimento social e econômico das nações. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são um apelo global à ação indispensável para acabar com a pobreza e fome; reduzir as desi-

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000006>

 Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

gualdades; oferecer educação de qualidade; investir em infraestrutura; proteger o meio ambiente e clima; bem como garantir que as pessoas possam desfrutar de paz e prosperidade em todos os lugares (United Nations, 2022a).

Ao todo, são 17 ODS, interconectados com 169 metas. Esses objetivos compreendem os principais desafios sociais, econômicos e ambientais que devem ser enfrentados para que seja cumprida a Agenda 2030. O ODS 3 (Saúde e Bem-estar) dialoga com vários ODS, incluindo, entre suas metas, o enfrentamento das doenças crônicas e infecciosas (Figura 1).

Sem saúde, não há vida saudável, digna e produtiva que possibilite a geração de renda, emprego e o crescimento econômico sustentável. Embora seja alta prioridade investir em saúde pública em um país com tantas desigualdades como o Brasil, os gastos do governo com saúde estão muito

HEALTH AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGs)

Ensuring the right to health and a healthy life, as well as promoting well-being for all people at all ages, is a foundation for the social and economic development of nations. The Sustainable Development Goals (SDGs) are an indispensable global call to action to end poverty and hunger, reduce inequalities, provide quality education, invest in infrastructure, protect the environment and climate, and ensure that all people enjoy peace and prosperity (United Nations, 2022a).

There are 17 SDGs and 169 associated targets. These objectives comprise the main social, economic, and environmental challenges that must be faced to fulfill the 2030 Agenda. SDG 3 (Good Health and Well-being) is associated with several other SDGs and includes the fight against chronic and infectious diseases among its goals (Figure 1).

Without health, there is no healthy, dignified, and productive life to enable in-

autores/authors

Adriano D. Andricopulo¹
Ester Cerdeira Sabino¹
Mayana Zatz¹
Juliana Quero Reimão²
Marcia C. Castro³

¹ Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

² Faculdade de Medicina de Jundiaí (FMJ), Brasil.

³ Universidade Harvard, Estados Unidos.





come generation, employment creation, and sustainable economic growth. While investing in public health is a high priority in a country with as many inequalities as Brazil, government spending on health is far below average compared with that of the 43 countries (38 members and 5 strategic partners) of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD).

In 2021, Brazil spent 3.93% of its gross domestic product (GDP) on health, while the United States, Germany, and France spent 15.95%, 11.02% and 10.34%, respectively (Our World in Data, 2022).

As the largest economy in Latin America, Brazil spends, in percentage, less than other countries in South America, such as Colombia (7.07%), Argentina (5.95%), and Chile (5.83%), and even less than some countries in Central America, such as Costa Rica (5.98%). A 2021 map of public expenditures in relation to GDP percentage shows Brazil in a disreputable position among OECD countries (Figure 2).

abaixo da média quando comparados aos dos 43 países (membros e parceiros estratégicos) da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

Em 2021, as despesas do governo brasileiro com saúde corresponderam a 3,93% do Produto Interno Bruto (PIB) do país, enquanto Estados Unidos, Alemanha e França, por exemplo, realizaram gastos de 15,95%, 11,02% e 10,34% de seus PIBs, respectivamente (Our World in Data, 2022).

Maior economia da América Latina, o Brasil gasta, em termos percentuais, menos que outros países da parte sul do continente, como Colômbia (7,07% do PIB), Argentina (5,95%) e Chile (5,83%) – e até que alguns da América Central, como a Costa Rica (5,98%). Um mapa de 2021 das despesas públicas em relação ao PIB mostra o Brasil em posição nada honrosa entre os países da OCDE (Figura 2).

Garantir o direito à saúde e vida saudável, bem como promover o bem-estar para todas as pessoas, em quaisquer idades, são alicerces do desenvolvimento social e econômico das nações.

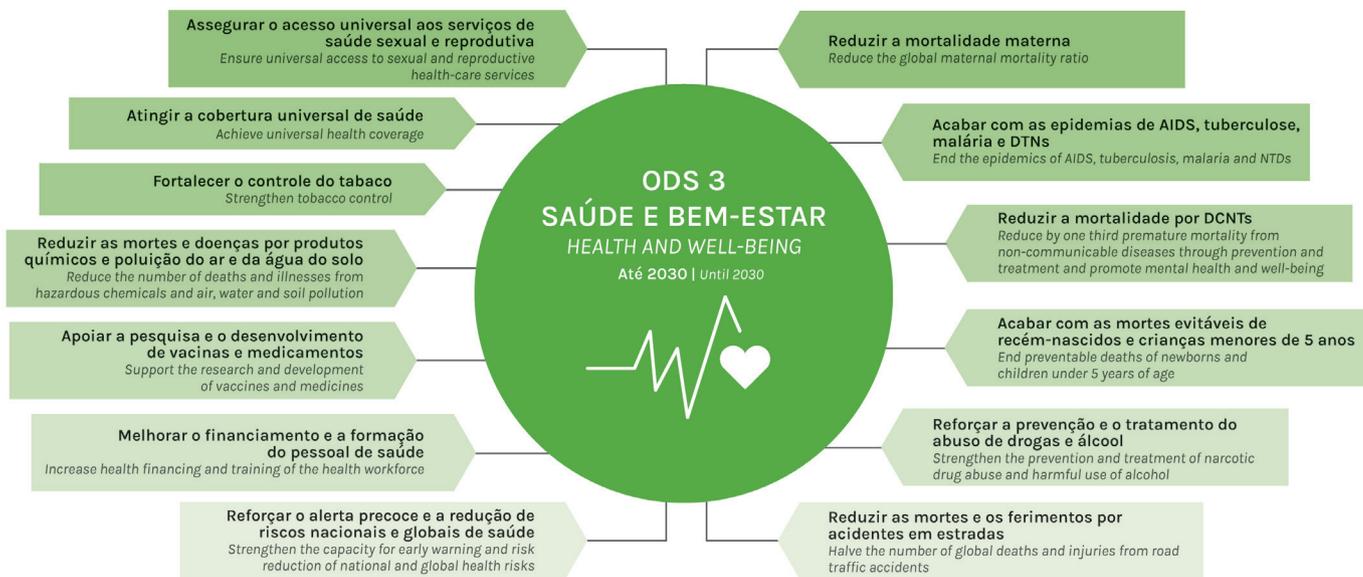


Figura 1. O ODS 3 busca assegurar uma vida saudável e promover a saúde e o bem-estar para todas as pessoas, em todos os lugares; entre suas principais metas, está a de acabar com as epidemias de AIDS, tuberculose, malária e doenças tropicais negligenciadas, bem como reduzir em um terço a mortalidade prematura por doenças não transmissíveis. Fonte: Os autores.

Figure 1. SDG 3 seeks to ensure healthy lives and promote the health and well-being of all people. Its main targets include ending the epidemics of AIDS, tuberculosis, malaria and neglected tropical diseases, as well as reducing premature mortality from noncommunicable diseases by one-third. Source: The authors.

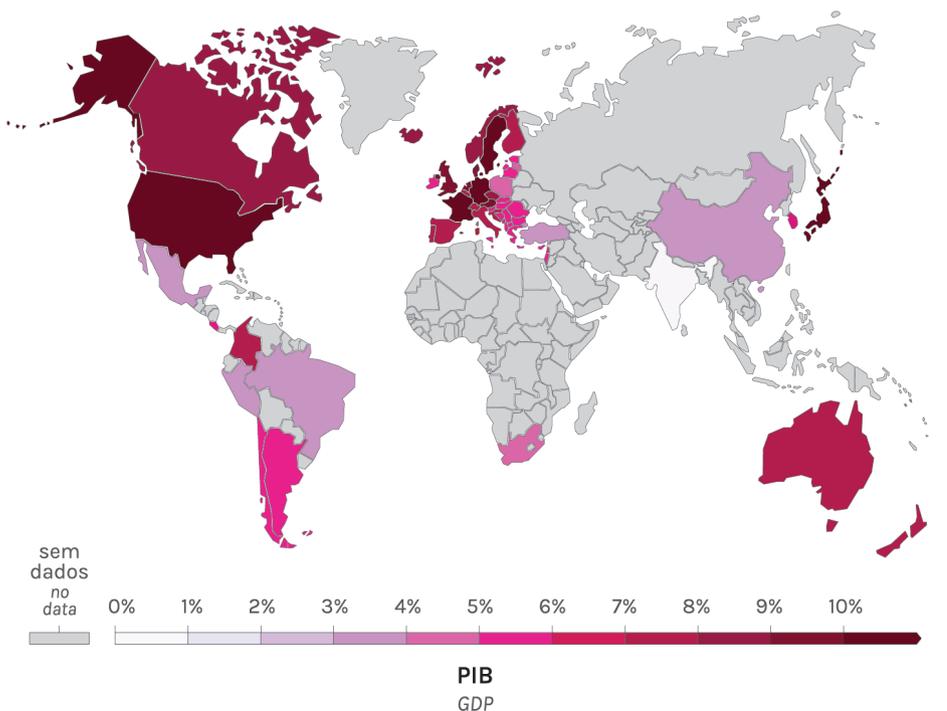


Figura 2. Despesas públicas em relação ao percentual do PIB dos países membros e parceiros da OCDE, em 2021 – os países sem dados não fazem parte da OCDE.

Fonte: Preparada pelos autores com base em dados da OMS (Global Health Observatory) extraídos do Our World in Data (World Health Organization, 2022b).

Figure 2. Public expenditure as a percentage of GDP of OECD member and partner countries in 2021. Countries without data are not part of the OECD. Source: Elaborated by the authors based on data by GHO (Global Health Observatory) extracted from Our World in Data (World Health Organization, 2022b).

Family health spending in Brazil in 2019 is also in the opposite direction compared with that of other OECD countries. According to data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), Brazil spent 5.8% of its GDP on family health, while the average GDP percentage spent by OECD members was 2.3. These data show that the Brazilian population is poorly served by public health, which leads to more expenses associated with medicines and services in the private network.

It is essential that this scenario change quickly, with an increase in public health funding and strengthening of the Unified Health System (SUS), so the financial and life quality of Brazilian families can be improved. Otherwise, at the current pace, Brazil will hardly fulfill the SDG 3 targets that it has committed, together with 192 other countries, to the United Nations Organization (UN).

DEMOGRAPHIC CONTEXT

Demographic transition is characterized by the passage from high to low levels of mortality and fertility. In Brazil, this transition began with the sustained drop in mortality levels as of the 1930s and

1940s, when life expectancy at birth exceeded 40 years.

From the 1950s to the 1970s, the transition in mortality was accompanied by a decline in fertility. The total fertility rate (TFR), which was 6.3 children in 1960, dropped to 4.3 in 1980 and progressively declined until reaching levels below replacement in 2010 (Simões, 2016).

The infant mortality rate (IMR) dropped from 162 (per 1,000 live births) in 1930 to 15.6 in 2010. Life expectancy at birth (45.5 years in 1945) should have reached 76.8 years in 2020 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021), but the high mortality caused by the COVID-19 pandemic led to a decline in this expectation, with greater losses observed in the northern region of the country (Castro et al., 2021).

As a result of changes in mortality and fertility rates, the age structure of the Brazilian population has become older (Figure 3). In 1970, for every 100 adults aged 25-64 years, there were 176.1 young people up to 24 years of age. By 2015, the latter number had dropped to 74.2, i.e., less than half.

It is worth noting that the population has become more urbanized, from 36.2% in 1950 to 84.4% in 2010. However, this urban growth occurred in a disorderly manner, with precarious infrastructure regarding drinking water supply, sewage treatment, street cleaning, and garbage collection. From 1985 to 2020, informal urban growth represented, for example, 52% of urban expansion in Belém, 48% in Manaus, 24% in São Paulo, and 10% in Rio de Janeiro (MapBiomas, 2022). This scenario favors the transmission and spread of infectious diseases.

Population changes have occurred in all regions and among different socioeconomic groups. Brazil is a country marked by inequalities that are reflected in health indicators and create an adverse context portrayed by the conceptual model of social determinants of health. Therefore, it is essential to understand that certain population groups and geographic areas are more vulnerable to diseases to create social policies that reduce inequalities and improve the population's health conditions.

EPIDEMIOLOGICAL TRANSITION

The epidemiological transition is characterized by a progressive reduction in the number of deaths due to infectious diseases and an increase in mortality from chronic noncommunicable diseases (NCDs). The epidemiological pattern of

As despesas das famílias com saúde no Brasil, em 2019, também estão na contra-mão quando comparadas às de outros países da OCDE. O Brasil gastou 5,8% de seu PIB, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto a média despendida pelos membros da OCDE foi de 2,3%. Esses dados mostram que a população brasileira está mal atendida pela saúde pública, o que a leva a mais despesas com medicamentos e serviços na rede particular.

É fundamental uma célere mudança desse cenário, com o aumento do financiamento público da saúde e fortalecimento do Sistema Único de Saúde (SUS), para melhorar a qualidade tanto de vida quanto financeira das famílias brasileiras. Caso contrário, no ritmo atual, o Brasil, dificilmente, alcançará as metas do ODS 3, com as quais ele e mais 192 países se comprometeram com a ONU.

CONTEXTO DEMOGRÁFICO

A transição demográfica é caracterizada pela passagem de altos para baixos níveis de

mortalidade e fecundidade. No Brasil, essa transição se iniciou com a queda sustentada dos níveis de mortalidade a partir da década de 1930 e da seguinte, quando a expectativa de vida ao nascer superou os 40 anos.

Da década de 1950 à de 1970, a transição da mortalidade foi acompanhada pela queda da fecundidade. A taxa de fecundidade total (TFT), que era de 6,3 filhos em 1960, caiu para 4,3 em 1980, apresentando quedas progressivas até atingir, em 2010, níveis abaixo da reposição (Simões, 2016).

A taxa de mortalidade infantil (TMI) se reduziu de 162 (por 1 mil nascidos vivos), em 1930, para 15,6, em 2010. A expectativa de vida ao nascer (em 1945, de 45,5 anos) deveria chegar a 76,8 anos, em 2020 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021). Mas a alta mortalidade causada pela pandemia de covid-19 levou a declínio dessa expectativa, com perdas maiores observadas na região Norte (Castro et al., 2021).

Como resultado das alterações nas taxas de mortalidade e fecundidade, a estrutura etária da população envelheceu (Figura 3). Em 1970, para cada 100 adultos entre 25 e 64 anos de idade, havia 176,1 jovens com

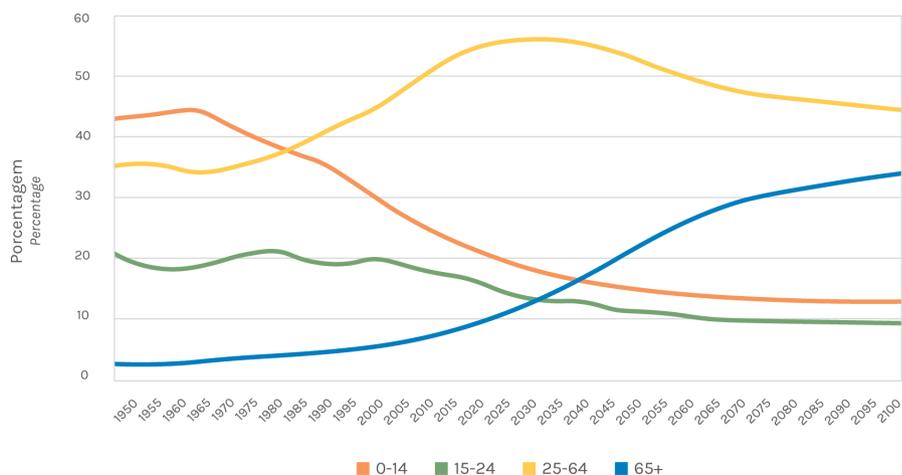


Figura 3. Distribuição percentual de grupos etários na população brasileira; a partir de 2022, os valores são projetados.

Fonte: United Nations (2022b).

Figure 3. Percentage distribution of age groups in the

Brazilian population - values are projected as of 2022.

Source: United Nations (2022b).

até 24 anos. Em 2015, este último número havia caído para 74,2 – ou seja, menos da metade.

Vale destacar que a população se tornou mais urbanizada: de 36,2%, em 1950, para 84,4%, em 2010. Mas esse crescimento urbano se deu de forma desordenada, com infraestrutura precária em relação ao abastecimento de água potável, tratamento de esgoto, à limpeza e coleta de lixo. De 1985 a 2020, o crescimento urbano informal representou, por exemplo, 52% da expansão urbana em Belém; 48%, em Manaus; 24%, na cidade de São Paulo; e 10%, na cidade do Rio de Janeiro (MapBiomias, 2022). Esse cenário cria condições favoráveis à transmissão e propagação de doenças infecciosas.

As mudanças populacionais ocorreram em todas as regiões e entre diversos grupos socioeconômicos. Mas o Brasil é um país marcado por desigualdades que se refletem nos indicadores de saúde e criam contexto adverso retratado pelo modelo conceitual de determinantes sociais de saúde. Portanto, entender que certos grupos populacionais e áreas geográficas apresentam maior vulnerabilidade a doenças é fundamental para criar políticas sociais que reduzam desigualdades e melhorem as condições de saúde da população.

TRANSIÇÃO EPIDEMIOLÓGICA

A transição epidemiológica é caracterizada pela progressiva redução das mortes por doenças infecciosas e pelo aumento da mortalidade por doenças crônicas não transmissíveis (DCNTs). O padrão epidemiológico de carga de doenças no Brasil se alterou, acompanhando as mudanças populacionais resultantes tanto das transições demográficas e epidemiológicas quanto do padrão de crescimento desigual.

A proporção de mortes totais decorrentes de doenças infecciosas e parasitárias – a qual representava quase 46% dos óbitos em 1930 – caiu para menos de 5% no fim do século passado. A incidência e prevalência dessas doenças persistem por causa dos lentos avanços sanitários, de novos

desafios – a emergência de doenças, como Zika, chikungunya e covid-19 – e perigosos retrocessos – por exemplo, a reemergência de doenças que haviam sido eliminadas (sarampo).

Apesar das contribuições do SUS para a redução da mortalidade e melhoria do acesso à saúde (Castro et al. 2019), as desigualdades relacionadas a serviços básicos e hospitalares, bem como à distribuição regional de profissionais de saúde, persistem em níveis expressivos. Os gastos públicos escassos em saúde e as disparidades de renda da população se refletem nos indicadores de saúde, caracterizando padrão regional e social de vulnerabilidade.

As doenças cardiovasculares são a principal causa de morte no mundo – inclusive no Brasil (Figura 4). Apesar do grave quadro, os principais fatores de risco têm piorado, como sobrepeso, obesidade e sedentarismo. As mortes violentas são a principal causa de morte prematura de homens com menos de 30 anos de idade, afetando desproporcionalmente pobres, pretos e pardos.

Já a violência contra mulheres tem aumentado no Brasil. Em 2020, os feminicídios corresponderam a 35% dos assassinatos de mulheres – 82% desse total (35%) foram cometidos ou por companheiro, ou ex-companheiro. A desigualdade também é marcante nesse tipo de homicídio: 62% dos feminicídios e 71% dos demais assassinatos de mulheres foram de pretas e pardas (Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2021).

Em relação à saúde mental, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que o Brasil seja o quinto país em prevalência de distúrbios depressivos (6% da população) e o primeiro em prevalência de ansiedade (9% da população).

Esse panorama se agravou na pandemia de covid-19 (Vitorino et al., 2021; World Health Organization, 2017), por causa de fatores como isolamento social, desemprego, redução de renda e traumas psicológicos. Atualmente, o Brasil enfrenta um cenário complexo, em que, simultaneamente, atuam doenças não transmissíveis, doenças infecciosas, causas externas e saúde mental.

disease burden in Brazil has changed, following population changes resulting from both demographic and epidemiological transitions and uneven growth patterns.

The percentage of deaths caused by infectious and parasitic diseases, which represented almost 46% of deaths in 1930, dropped to less than 5% at the end of the last century. The incidence and prevalence of these diseases persist because of slow health advances; new challenges, including the emergence of diseases such as Zika, chikungunya, and COVID-19; and dangerous setbacks, such as the re-emergence of diseases that have been eliminated, e.g., measles.

Despite the contributions of SUS to reducing mortality and improving access to health (Castro et al., 2019), inequalities related to basic and hospital services, as well as the regional distribution of health professionals, persist at significant levels. Scarce public spending on health and disparities in the population's income are reflected in health indicators, characterizing a regional and social pattern of vulnerability.

Cardiovascular diseases are the leading cause of death worldwide, including in Brazil (Figure 4). Despite being serious conditions, their main risk factors, such as overweight, obesity and sedentary lifestyle, have worsened. Violent deaths are the leading cause of premature death for men under 30 years of age, disproportionately affecting the poor, black and brown populations.

Violence against women has increased in Brazil. In 2020, femicides accounted for 35% of the murders of women; 82% of them (35%) were committed either by a partner or ex-partner. Inequality is also striking in this type of homicide: 62% of femicides and 71% of other murders involved black and brown women (Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2021).

Regarding mental health, the World Health Organization (WHO) estimates that Brazil ranks fifth according to depressive disorder prevalence (6% of the population) and first in anxiety prevalence (9% of the population).

This scenario worsened during the COVID-19 pandemic (Vitorino et al., 2021; World Health Organization, 2017) because of factors such as social distancing, unemployment, reduced income, and psychological trauma. Currently, Brazil faces a complex scenario where noncommunicable diseases, infectious diseases, external causes, and mental health disorders arise simultaneously.

SCIENCE AND PUBLIC HEALTH POLICIES

In Brazil, the lack of coordination and of a state agenda has limited the scope of public, economic, and health policies. The COVID-19 pandemic established a new reality in various scenarios of society and, consequently, in relation to the priority agendas of public debate. Issues related to health have grown in relevance, and the Brazilian population recognizes today, more than ever, that investments in science are indispensable to promote, recover, and maintain their health.

It is important for scientific, technological, and innovative research in health to include new knowledge and technologies aimed at strengthening SUS. In 2018, the Department of Science and Technology (DECIT) of the Secretariat of Science, Technology, Innovation and Strategic Inputs (SCTIE), together with the other technical areas of the Ministry of Health (MS), prepared the Health Research Priority Agenda for the Ministry of Health (AP-PMS) (Brasil, 2018).

With 172 lines of research distributed in 14 thematic axes, this document sought to align health priorities with scientific, technological, and innovative research activities to direct investments in strategic research topics for SUS.

The 14 thematic axes are: 1) environment, work, and health; 2) pharmaceutical assistance; 3) postmerger evaluation; 4) health technology development and innovation; 5) chronic noncommunicable diseases; 6) communicable diseases; 7) health economics and management; 8) work management and health education; 9) health programs and policies; 10) women's health; 11) health of the black population and traditional communities; 12) health of older people; 13) indigenous health; and 14) maternal and child health.

Most of the thematic axes address immediate issues and needs without considering the demands arising from the current and future development of science. It is up to research funding agencies and foundations to look more comprehensively at the needs of the public system regarding innovations and scientific advances in health. It is necessary to create an agenda of research topics that fills current gaps and, at the same time, strengthens the country's competitiveness so that it meets future demands and challenges.

Taxa de mortalidade por idade por doenças cardiovasculares em 2020

Age-standardized mortality rate of cardiovascular diseases in 2020

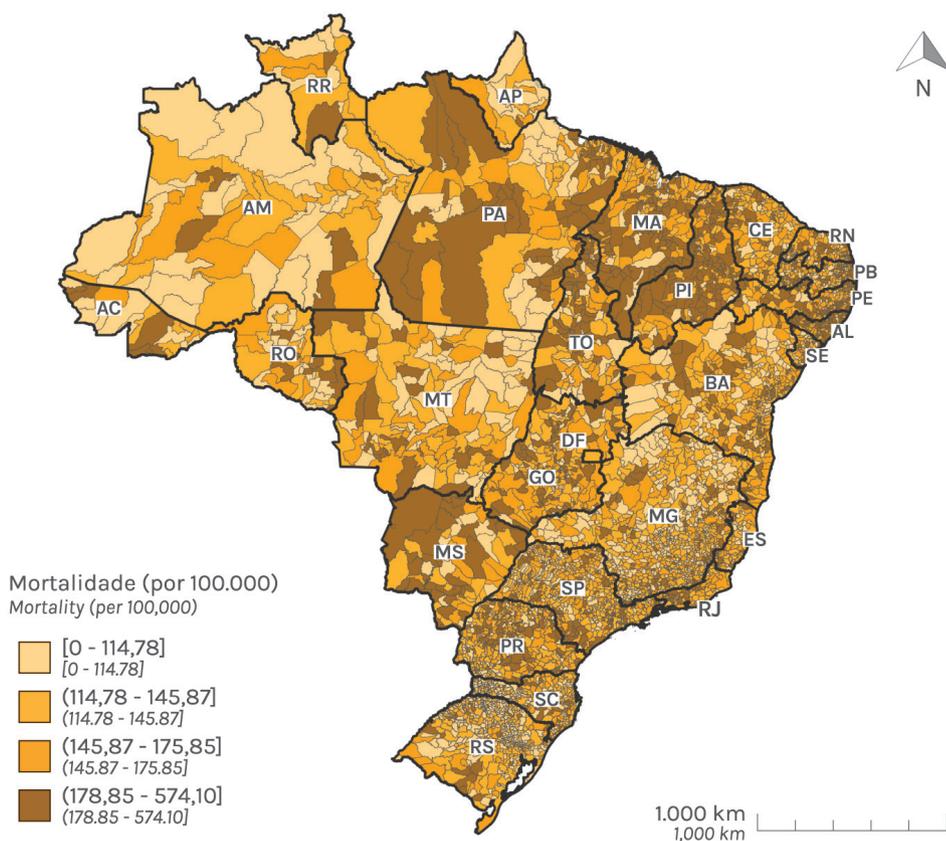


Figura 4. Mortalidade por doenças cardiovasculares por idade.

Fonte: Óbitos extraídos do Open DataSUS (2022), taxas calculadas com base nas estimativas populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020).

Figure 4. Mortality from cardiovascular diseases by age.

Source: Deaths extracted from the Open DataSUS (2022), rates calculated based on the population estimates by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020).

CIÊNCIA E POLÍTICAS PÚBLICAS DE SAÚDE

No Brasil, a falta de articulação e de uma agenda de Estado tem limitado o alcance das políticas públicas, econômicas e de saúde. A pandemia de covid-19 estabeleceu uma nova realidade em vários cenários da sociedade e, conseqüentemente, em relação às pautas prioritárias do debate público. As questões relacionadas à saúde cresceram em relevância, e a população brasileira

reconhece hoje, mais do que nunca, que os investimentos em ciência são indispensáveis à promoção, recuperação e conservação da saúde da população.

A pesquisa científica, tecnológica e inovadora em saúde é essencial à inclusão de novos conhecimentos e tecnologias para o fortalecimento do SUS. Em 2018, o Departamento de Ciência e Tecnologia (Decit), da Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação

e Insumos Estratégicos em Saúde (SCTIE), em conjunto com as demais áreas técnicas do Ministério da Saúde (MS), elaborou a Agenda de Prioridades de Pesquisa do Ministério da Saúde (APPMS) (Brasil, 2018).

Com 172 linhas de pesquisa, distribuídas em 14 eixos temáticos, esse documento buscou alinhar as prioridades de saúde com as atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação, para direcionar os investimentos em temas de pesquisas estratégicas para o SUS.

Os 14 eixos temáticos definidos incluem: 1) ambiente, trabalho e saúde; 2) assistência farmacêutica; 3) avaliação pós-incorporação; 4) desenvolvimento de tecnologias e inovação em saúde; 5) doenças crônicas não transmissíveis; 6) doenças transmissíveis; 7) economia e gestão em saúde; 8) gestão do trabalho e gestão em saúde; 9) programas e políticas em saúde; 10) saúde da mulher; 11) saúde da população negra e das comunidades tradicionais; 12) saúde do idoso; 13) saúde indígena; e 14) saúde materno-infantil.

Em sua maioria, os eixos temáticos atendem às questões e necessidades imediatas, sem atenção às demandas decorrentes do desenvolvimento atual e futuro da ciência. Cabe às agências e fundações de fomento à pesquisa reservarem um olhar profundo para as necessidades do sistema público em relação às inovações e aos avanços científicos em saúde. É preciso criar agenda de temas de pesquisa que preencha as lacunas atuais e, ao mesmo tempo, fortaleça a competitividade do país, para que este atenda às demandas e aos desafios futuros.

MEDICAMENTOS E VACINAS PARA DOENÇAS INFECCIOSAS

Causadas por vírus e micro-organismos, como bactérias, protozoários e fungos, as doenças infecciosas (malária, dengue, tuberculose, febre amarela, doença de Chagas, leishmaniose, Zika, sarampo, caxumba, HPV, hanseníase, hepatites A, B, C, D e E, leptospirose etc.) geram incapacidade, sofrimento, mortes e perdas econômicas.

O acesso limitado à água limpa, ao saneamento, à limpeza e coleta de lixo contribui para a propagação das doenças infecciosas e perpetuação do ciclo de pobreza, desigualdade e subdesenvolvimento das áreas endêmicas.

Outro elemento preocupante é a queda nos níveis de cobertura vacinal da população brasileira, os quais vêm se distanciando do patamar de 95% preconizado pelo Ministério da Saúde. Em 2021, só 59% dos brasileiros foram imunizados, enquanto os índices de imunização foram de 67% e 73%, respectivamente, em 2020 e 2019 (Instituto Oswaldo Cruz, 2022).

A febre amarela vitimou milhares de brasileiros nos últimos anos, causando centenas de mortes, em decorrência da baixa cobertura vacinal. Em relação à gripe, a situação é semelhante: o aumento de casos e mortes, apesar das campanhas anuais de vacinação. Só nos primeiros dois meses de 2022, a gripe matou mais de 1,7 mil brasileiros.

A poliomielite – cuja última notificação no país foi em 1989 – tem gerado apreensão das autoridades sanitárias em relação a possível retorno da doença, por causa dos baixos índices de vacinação. Em 2021, menos de 70% do público-alvo estavam com as doses em dia.

A situação com o sarampo não é diferente. O sucesso das campanhas de vacinação e o registro dos últimos casos da doença em 2015 levaram o país a receber a certificação da eliminação do vírus em 2016. Mas, em 2018, foram confirmados 10.346 casos e, no ano seguinte – depois de período de franca circulação do vírus em vários estados –, o país perdeu o reconhecimento de país livre do vírus do sarampo (Brasil, 2021).

É preciso novos tratamentos e vacinas para várias doenças infecciosas que são entrave ao desenvolvimento humano e econômico no mundo. Para o Brasil, são de especial interesse as doenças tropicais negligenciadas (DTNs), que, segundo a OMS, atingem mais de 1 bilhão de pessoas em regiões tropicais e subtropicais de 150 países (Martins-Melo et al., 2016).

MEDICINES AND VACCINES FOR INFECTIOUS DISEASES

Caused by viruses and microorganisms, such as bacteria, protozoa and fungi, infectious diseases (e.g., malaria, dengue, tuberculosis, yellow fever, Chagas disease, leishmaniasis, Zika, measles, mumps, HPV, leprosy, hepatitis A, B, C, D and E, leptospirosis) result in disability, suffering, death, and economic losses.

Limited access to clean water, sanitation, and garbage collection contributes to the spread of infectious diseases and perpetuation of the cycle of poverty, inequality, and underdevelopment in endemic areas.

Another concerning issue is the decreased levels of vaccination coverage of the Brazilian population, which has been moving away from the level of 95% recommended by the MS. In 2021, only 59% of Brazilians were immunized, while immunization rates were 67 and 73%, respectively, in 2020 and 2019 (Instituto Oswaldo Cruz, 2022).

Yellow fever has killed thousands of Brazilians in recent years, causing hundreds of deaths due to low vaccination coverage. Regarding influenza, the situation is similar: the number of cases and deaths has increased despite annual vaccination campaigns. In the first two months of 2022 alone, the flu killed more than 1,700 Brazilians.

Poliomyelitis, which last appeared in the country in 1989, has generated concern by health authorities regarding the possible return of this disease based on low vaccination rates. In 2021, less than 70% of the target population were up to date on their vaccination.

For measles, the situation is not different. The success of the vaccination campaigns and the registration of the last cases of the disease in 2015 led the country to receive certification for the elimination of this virus in 2016. However, in 2018, 10,346 cases were confirmed, and in the following year, after a period of free circulation of the virus in several states, Brazil lost its status as a measles-free country (Brasil, 2021).

New treatments and vaccines are needed to prevent and treat several infectious diseases that are an obstacle to human and economic development worldwide. For Brazil, neglected tropical diseases (NTDs) are of special interest. According to the WHO, NTDs affect over 1 billion people in the tropical and subtropical regions of 150 countries (Martins-Melo et al., 2016).

Responsible for approximately 11% of the global disease burden, NTDs comprise a group of 20 diseases, namely, Chagas disease, leishmaniasis, leprosy, dengue and chikungunya, schistosomiasis, rabies, trachoma, onchocerciasis, African trypanosomiasis, lymphatic filariasis, Buruli ulcer, echinococcosis, foodborne trematodiasis, geo-helminthiasis, snakebite poisoning, mycetoma and chromoblastomycosis, teniasis and cysticercosis, yaws, ectoparasitosis, and dracunculiasis.

NTDs have profound socioeconomic consequences (Mitra & Mawson, 2017) and cause alarming morbidity, expressed by an indicator called Disability-Adjusted Life Years (DALYs), which measures the years of healthy life lost by a person who has contracted a disease (morbidity and mortality).

It is estimated that NTDs collectively cause 26 million DALYs worldwide (Mitra & Mawson, 2017; Anderson, 2021). Due to the high mobility of the world population, some of these diseases have generated concern in countries in North America, Europe, Asia, and the Pacific Islands. The graphs in Figure 5 show the number of reported cases per year by region in Brazil for some of these diseases.

Most priority topics related to axis 6 of the APPMS refer to NTDs (Brasil, 2018). Targets 3.2, 3.3, 3.8, 3.b, 3.c and 3.d of UN SDG 3 (Good Health and Well-being) are also directly or indirectly associated with NTDs (United Nations, 2022).

In 2012, the WHO launched its first NTD plan, called the 2012-2020 Road Map for Neglected Tropical Diseases, with ambitious global targets aimed at preventing, controlling, and eradicating many of these diseases (World Health Organization, 2012). Despite the advances and progress made, some of the goals were not achieved until 2020. In 2021, a new plan for NTDs (2021-2030 A Road Map for Neglected Tropical Diseases) was announced by the WHO (World Health Organization, 2021), expanding global strategic goals and actions until 2030.

The search for new drugs and therapeutic alternatives is considered a priority by the WHO, but global investments in research and development (R&D) are insufficient, which reflects a disturbing lack of innovation. Products registered for NTDs in recent years correspond to repositioned drugs, biologics, and new formulations. These products include miltefosine, approved in 2014 by the US Food and Drug Administration (FDA) and used to treat leishmaniasis; moxidectin, approved in 2018 by the FDA to treat onchocerciasis;

Responsáveis por cerca de 11% da carga global de doenças, as DTNs compreendem um grupo de 20 doenças, a saber: doença de Chagas; leishmaniose; hanseníase; dengue e chikungunya; esquistossomose; raiva; tracoma; oncocercose; tripanossomíase africana; filariose linfática; úlcera de Buruli; equinococose; trematodíases de origem alimentar; geo-helminthíases; envenenamento ofídico; micetoma e cromoblastomycose; teníase e cisticercose; boubá; ectoparasitoses; dracunculíase.

As DTNs têm profundas consequências socioeconômicas (Mitra & Mawson, 2017) e provocam alarmante morbidade, expressa por indicador denominado Anos de vida perdidos ajustados por incapacidade (DALY, *Disability-Adjusted Life Years*), que, como o nome indica, mede os anos de vida saudáveis perdidos por uma pessoa que contraiu uma doença (morbidade e mortalidade).

Estima-se que as DTNs, coletivamente, causaram 26 milhões de DALYs no mundo (Mitra & Mawson, 2017; Anderson, 2021). Por causa da intensa mobilidade da população mundial, algumas dessas doenças têm gerado preocupação em países da América do Norte, Europa, Ásia e Oceania. A Figura 5 mostra graficamente o número de casos notificados por ano e a região do Brasil para algumas dessas doenças.

Grande parte dos temas prioritários relacionados ao eixo 6 da APPMS do MS se refere às DTNs (Brasil, 2018). As metas 3.2, 3.3, 3.8, 3.b, 3.c e 3.d do ODS 3 (Saúde e Bem-estar), da ONU, também estão direta ou indiretamente associadas às DTNs (United Nations, 2022).

Em 2012, a OMS lançou seu primeiro plano para DTNs, denominado *2012-2020 Road Map for Neglected Tropical Diseases*, com metas globais ambiciosas que visavam à prevenção, ao controle, à eliminação e erradicação de muitas dessas doenças (World Health Organization, 2012). Apesar dos avanços e progressos obtidos, parte das metas não foi alcançada até 2020. Em 2021, um novo plano para as DTNs (*2021-2030 A Road Map for Neglected Tropical Diseases*) (World Health Organization, 2021) foi anunciado

Para o Brasil, são de especial interesse as doenças tropicais negligenciadas (DTNs), que, segundo a OMS, atingem mais de 1 bilhão de pessoas em regiões tropicais e subtropicais de 150 países.

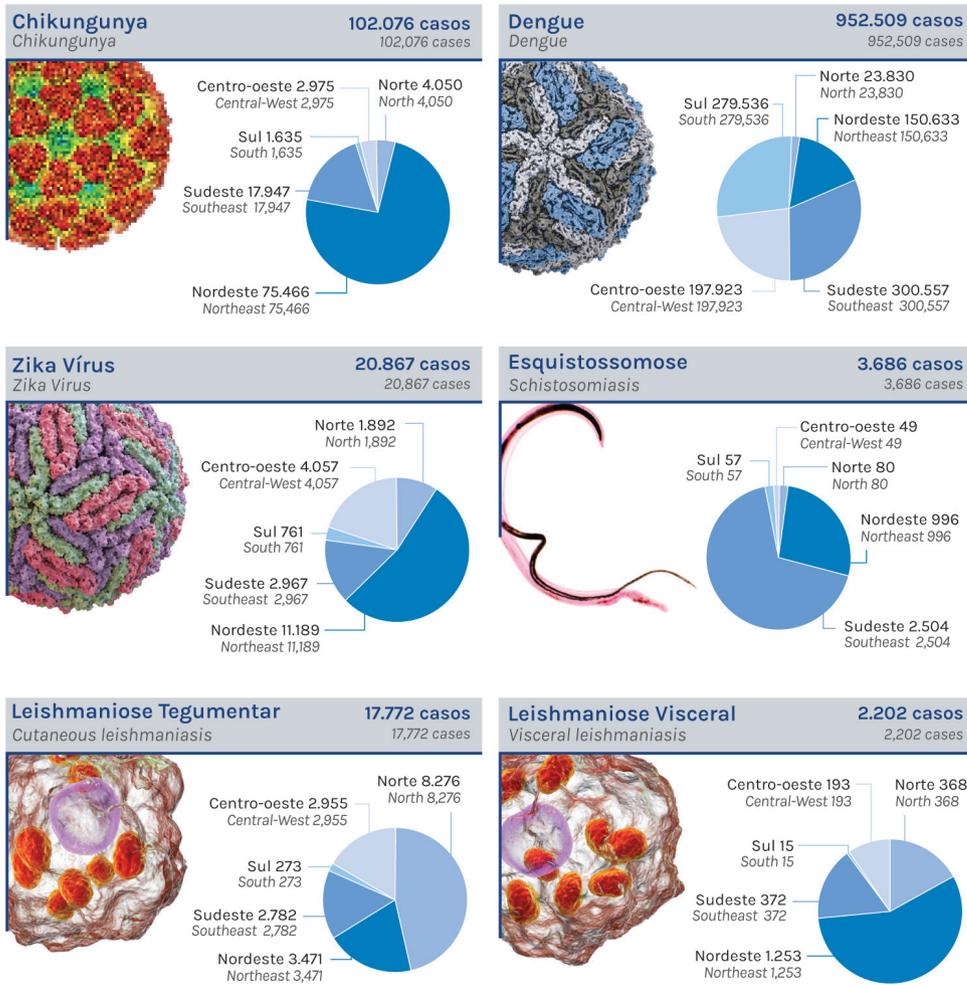


Figura 5. Número de casos registrados por região do Brasil e por ano de algumas das DTNs – chikungunya: incluídos todos os registros notificados – dados de 2020, atualizados em 23/07/2021; dengue: casos prováveis, exceto aqueles descartados – dados de 2020, atualizados em 23/07/2021; Zika: incluídos todos os registros notificados – dados de 2020, atualizados em 27/01/2022; esquistossomose: casos confirmados por Ano 1º Sintoma – dados de 2017, atualizados em 30/01/2019, sujeitos à revisão; leishmaniose tegumentar: casos confirmados – dados de 2020, atualizados em 08/10/2021; leishmaniose visceral: casos confirmados – dados de 2020, atualizados em 08/10/2021. Fonte: Dados coletados do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (Sinan Net), Ministério da Saúde (MS)/Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS). Casos em que o estado não foi informado constam no total de casos; porém não estão identificados por região. DataSUS (2022). **Figure 5.** Number of cases registered by region of Brazil and year of some of the NTDs: chikungunya, including all notified records - 2020 data, updated on 07/23/2021; dengue, probable cases, except those discarded - 2020 data, updated on 07/23/2021; Zika, all notified records included - 2020 data, updated 01/27/2022; schistosomiasis, confirmed cases by Year 1 Symptom - 2017 data, updated on 01/30/2019, subject to review; cutaneous leishmaniasis, confirmed cases - 2020 data, updated on 10/08/2021; visceral leishmaniasis, confirmed cases - 2020 data, updated 10/08/2021. Source: Data collected from the Notifiable Diseases Information System (Sinan Net), Ministry of Health (MS)/Secretariat of Health Surveillance (SVS). Cases in which the state was not informed are included in the total number of cases, but are not identified by region. DataSUS (2022).

pediatric benznidazole, approved by the FDA to treat Chagas disease; fexinidazole, approved by the FDA in 2021 to treat African trypanosomiasis (Figure 6); and three biological products against cholera and rabies.

Controlling NTDs without vaccines remains a challenge, but the recent successful example of COVID-19 brings hope for the development of a new generation of immunizers for other infectious agents, taking advantage of emerging technologies such as messenger RNA (mRNA).

However, the inability of the human host to generate protective immunity to reinfection by some infectious diseases indicates that control can only be achieved with the repeated treatment of individuals, depending on the infection, transmission intensity, and life expectancy of the pathogen in the human host.

Interest in NTD control is not limited to country ministries of health. It includes major international pharmaceutical companies that, following the London Declaration on NTDs (2012), have been donating drugs to control various infections in low- and middle-income countries. The endless cycle of mass drug administration, when there is no interruption of transmission, highlights the urgent need for other interventions.

To achieve the targets established in UN SDG 3 and the WHO 2021-2030 A Road Map (World Health Organization, 2021), NTDs must be brought under control. In this sense, endemic countries must include resources in their national health budgets to finance the fight against these diseases. In addition, this funding must be maintained on an ongoing basis until elimination or eradication targets are reached and infected people are treated with safe and effective drugs.

DRUGS AND VACCINES FOR CHRONIC DISEASES

Chronic NCDs are the main cause of mortality worldwide. According to the WHO, cardiovascular diseases (17.9 million deaths), including heart attack and stroke, cancer (9.3 million), respiratory diseases (4.1 million), and diabetes (1.5 million), are responsible for 71% of all deaths caused by NCDs worldwide.

Together, NCDs take approximately 41 million lives each year. Of these deaths, over 15 million are premature deaths (before age 70), and 85% of these deaths occur in low- and middle-income countries.

Demographic, epidemiological, and nutritional transition processes contribute to increasing the prevalence of NCDs and put a strain on public and private health systems. In countries with few health resources, the exorbitant costs of these diseases, including long and expensive treatments, force millions of people into poverty and stifle development. This outlook threatens progress toward the UN's 2030 Agenda, which includes a target to reduce premature deaths caused by NCDs by one-third by 2030.

Tobacco use, alcohol abuse, physical inactivity, and unhealthy diets increase the risk of death from NCDs. Metabolic alterations (overweight/obesity, high blood pressure, hyperglycemia, and hyperlipidemia) also contribute to this.

Factors such as population growth and aging will worsen the situation in the coming decades, making primary health care (PHC) actions, such as prevention and reduction of risk factors, as well as early detection, increasingly essential against NCDs.

To mitigate the impact of NCDs on the population and society, a more comprehensive and economically viable approach is needed, with the collaboration of various sectors (e.g., health, management, resources, education, planning). The WHO Toolkit document for Developing a Multi-

pela OMS, ampliando metas e ações estratégicas globais até 2030.

A busca por novos medicamentos e alternativas terapêuticas é considerada prioritária pela OMS, mas os investimentos globais em pesquisa e desenvolvimento (P&D) são insuficientes, o que reflete inquietante falta de inovação. Os produtos registrados para as DTNs nos últimos anos correspondem a medicamentos reposicionados, biológicos e novas formulações. São estes: a miltefosina, aprovada em 2014 pela Administração de Alimentos e Medicamentos (FDA, *Food and Drug Administration*), dos Estados Unidos, e usada no tratamento das leishmanioses; a moxidectina, aprovada em 2018 pela FDA para o tratamento da oncocercose; o benzonidazol pediátrico, aprovado pela FDA para o tratamento da doença de Chagas; e o fexinidazol, aprovado pela FDA em 2021 para o tratamento da tripanossomíase africana (Figura 6); e três produtos biológicos contra cólera e raiva.

O controle das DTNs sem vacinas continua sendo um desafio, mas o recente exemplo de sucesso da covid-19 traz espe-

ranças em relação ao desenvolvimento de nova geração de imunizantes para outros agentes infecciosos, aproveitando as tecnologias emergentes, como o RNA mensageiro (mRNA).

Mas a incapacidade do hospedeiro humano de gerar imunidade protetora à reinfeção por algumas doenças infecciosas indica que o controle só poderá ser alcançado com o tratamento repetido dos indivíduos, segundo a infecção, intensidade de transmissão e expectativa de vida do patógeno no hospedeiro humano.

O interesse no controle das DTNs não se limita aos ministérios da saúde dos países. Ele inclui grandes empresas farmacêuticas internacionais que, após a Declaração de Londres para DTNs (2012), têm doado medicamentos para o controle de diversas infecções em países de baixa e média renda. O interminável ciclo de administração em massa de medicamentos – quando não há interrupção da transmissão – evidencia a necessidade urgente de outras intervenções.

Para atingir as metas estipuladas no ODS 3, da ONU, e no *2021-2030 A Road Map*, da OMS (World Health Organization, 2021), as

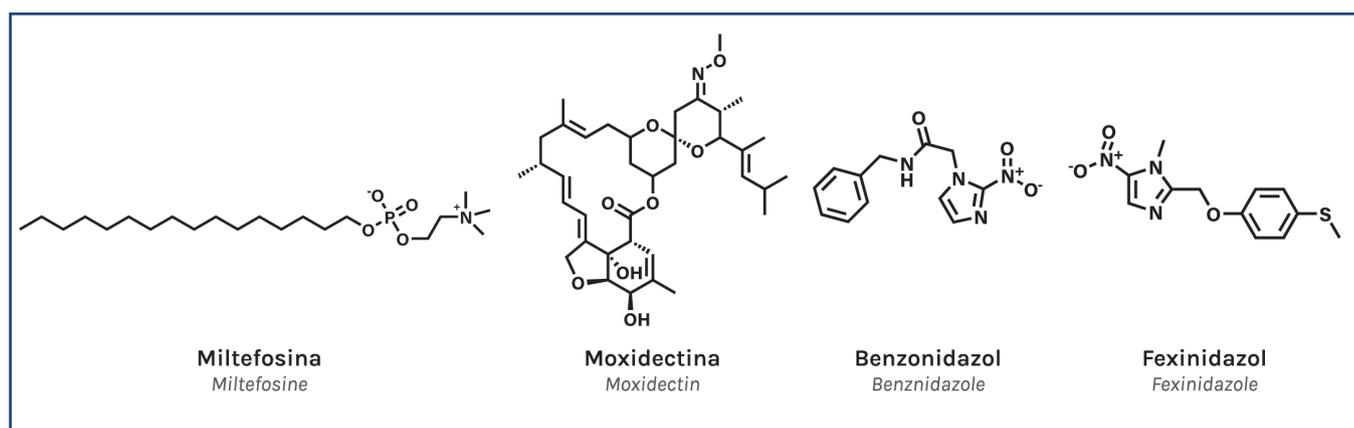


Figura 6. Medicamentos usados no tratamento de DTNs; nenhuma nova entidade química (medicamento inovador) foi aprovada para qualquer das DTNs neste século. Fonte: Os autores.

Figure 6. Drugs used to treat NTDs; no new chemical entity (innovative drug) has been approved for any of the NTDs in this century. Source: The authors.

DTNs devem ser controladas. Nesse sentido, faz-se necessário que os países endêmicos incluam em seus orçamentos nacionais de saúde recursos para financiar o combate a essas doenças. Além disso, é preciso que esse financiamento se mantenha de forma contínua, até que as metas de eliminação ou erradicação sejam atingidas, e os infectados tratados com medicamentos seguros e eficazes.

MEDICAMENTOS E VACINAS PARA DOENÇAS CRÔNICAS

As doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) são as principais causas de mortalidade no mundo. Segundo a OMS, doenças cardiovasculares (17,9 milhões mortes) – principalmente, ataque cardíaco e acidente vascular cerebral –, câncer (9,3 milhões), doenças respiratórias (4,1 milhões) e diabetes (1,5 milhão) são responsáveis por 71% de todas as mortes causadas por DCNTs no mundo.

Juntas, as DCNTs ceifam, a cada ano, cerca de 41 milhões de vidas. Desse total, mais de 15 milhões são mortes prematuras (antes dos 70 anos de idade) – 85% dessas mortes ocorrem em países de baixa e média renda.

Os processos de transição demográfica, epidemiológica e nutricional contribuem para o aumento da prevalência das DCNTs e sobrecarregam os sistemas de saúde públicos e privados. Em países com poucos recursos em saúde, os custos exorbitantes dessas doenças – incluindo tratamentos longos e caros – forçam milhões de pessoas à pobreza e sufocam o desenvolvimento. Esse panorama ameaça o progresso em direção à Agenda 2030 da ONU, que inclui a meta de reduzir as mortes prematuras por DCNTs em um terço até 2030.

O uso de tabaco, consumo abusivo de álcool, inatividade física e dietas pouco saudáveis aumentam os riscos de morte por DCNTs. Também contribuem para isso as alterações metabólicas (sobrepeso/obesidade, pressão arterial elevada, hiperglicemia e hiperlipidemia).

Fatores como o aumento e envelhecimento populacional irão agravar a situa-

ção nas próximas décadas, tornando ações de atenção primária à saúde – como prevenção e redução dos fatores de risco, bem como detecção precoce – cada vez mais imprescindíveis contra as DCNTs.

Para atenuar o impacto das DCNTs na população e sociedade, é preciso abordagem mais abrangente e economicamente viável, com colaboração de vários setores (saúde, gestão, recursos, educação, planejamento etc.). O documento da OMS *Toolkit for Developing a Multisectoral Action Plan for Noncommunicable Diseases: Overview* (2022) é um guia para desenvolver, implementar e avaliar um plano de ação multissetorial para prevenção e controle das DCNTs (World Health Organization, 2022a).

Esse guia se destina a auxiliar gestores de políticas e programas de saúde pública a alcançar metas globais e nacionais de DCNTs e a Agenda 2030. O *Plano de Ações Estratégicas para o Enfrentamento das Doenças Crônicas e Agravos Não Transmissíveis no Brasil, 2021-2030* (Plano de DANT), do Ministério da Saúde, apresenta diretrizes para a prevenção dos fatores de risco e promoção da saúde da população.

Mas os desafios são imensos em relação ao fortalecimento de políticas e programas intersetoriais; à organização de serviços em rede; à produção de informações direcionadas à tomada de decisão baseada em evidências; e à inovação em gestão, pesquisa e serviços de saúde.

Porém, as necessidades urgentes por novos tratamentos não encontram respostas imediatas. A intrincada interação entre saúde e DCNTs torna as pesquisas por inovações terapêuticas complexas e longas. Métodos tradicionais e modernos, como as triagens fenotípicas e o planejamento baseado em estruturas de alvos moleculares e compostos bioativos, continuarão a exercer papel fundamental no desenvolvimento de novos fármacos.

Mas o avanço de pesquisas – incluindo genoma individual, microbioma, metaboloma, estado imunológico e fatores ambientais – poderá levar ao desenvolvimento de modelos precoces e personalizados, com base na integração de perfis moleculares

sectoral Action Plan for Noncommunicable Diseases: Overview (2022) is a guide for developing, implementing, and evaluating a multisectoral action plan to prevent and control NCDs (World Health Organization, 2022a).

This guide is intended to help public health policy and program managers achieve global and national NCD targets and the 2030 Agenda. The Strategic Action Plan to Combat Chronic and Noncommunicable Diseases in Brazil, 2021-2030 (DANT Plan), of the MS presents guidelines to prevent risk factors and improve the population's health.

Nevertheless, the challenges are immense regarding strengthening cross-sectoral policies and programs, the organization of network services, the production of information aimed at evidence-based decision-making, and innovation in management, research, and health services.

However, there are no immediate solutions regarding the urgent need for new treatments. The intricate interaction between health and NCDs makes the search for therapeutic innovations complex and lengthy. Traditional and modern methods, such as phenotypic screening and planning based on molecular targets and bioactive compounds, will continue to play a fundamental role in the development of new drugs.

Nonetheless, advancing research, including individual genome, microbiome, metabolome, immune status, and environmental factors, could lead to the development of early and personalized models based on the integration of molecular profiles and biomarkers aimed at the search for new therapeutic targets and drugs.

The great evolution achieved with vaccines against COVID-19 provides new perspectives on the development of immunizations for NCDs, cancer (e.g., lung, breast, prostate, ovary, pancreas, colorectal, liver), type 2 diabetes, cardiac insufficiency, and cystic fibrosis.

MICROBIAL RESISTANCE AND THE FUTURE OF ANTIBIOTICS

Microbial resistance occurs when antiviral, antibiotic, antifungal, and antiparasitic drugs become ineffective in fighting infections caused by viruses and microorganisms, such as bacteria, fungi, and protozoa.

Antibiotics have revolutionized the treatment of fatal infectious diseases, but one of the great challenges of public

health is to combat their indiscriminate and excessive use, which has led to the emergence of resistant strains of bacteria and superbugs endowed with different mechanisms of drug inhibition.

For decades, new antibiotics from natural sources, such as microorganisms, have been created to compensate for the emergence of resistant strains, but the source was depleted, and this cycle was interrupted. The present and future are threatened by the accelerated spread of resistance and the lack of R&D projects for new antibiotics.

Initiatives have been encouraging global actions for the development of new drugs, namely, Combating Antibiotic-Resistant Bacteria (CARB-X), Global Antibiotic Research and Development Partnership (GARDP), and Replenishing and Enabling the Pipeline for Anti-Infective Resistance (REPAIR).

Antibiotic resistance has caused increased morbidity, mortality and health care costs because of the need for more expensive drugs and prolonged hospital stays. According to the WHO, the unnecessary use of antimicrobials is estimated in 50% of cases, potentiated not only by factors such as the low availability of diagnostic tests to distinguish between bacterial and viral infections but also by the (mistaken) idea that antibiotics are useful to treat common colds.

To address this problem, it is necessary to coordinate actions such as continuing education in health; proper use and prescription of medications; training of health professionals; providing access to quality health consultations and services; combating self-medication, abusive use, and illegal sale of these drugs; and ensuring compliance with legislation on the use and dispensing of antibiotics.

In this context, it is also worth noting the importance of both innovation and more investment aimed at the R&D of narrow-spectrum antibiotics, bacteriophages, monoclonal antibodies, and vaccines, as well as achieving more accurate diagnoses.

BIODIVERSITY AND NEW DRUGS

Most drugs approved (67%) for use in humans are either natural products or semi-synthetic and synthetic derivatives of natural compounds (Newman & Cragg, 2020).

Examples of these drugs include morphine, a powerful analgesic drug obtained from opium; acetylsalicylic acid, derived from salicylic acid obtained from willow

e biomarcadores voltada para a busca por novos alvos terapêuticos e medicamentos.

A grande evolução alcançada com as vacinas contra a covid-19 abre novas perspectivas de desenvolvimento de imunizantes para DCNTs; câncer (pulmão, mama, próstata, ovário, pâncreas, colorretal, fígado etc.); diabetes tipo 2; insuficiência cardíaca; e fibrose cística.

RESISTÊNCIA MICROBIANA E O FUTURO DOS ANTIBIÓTICOS

A resistência microbiana ocorre quando medicamentos, como antivirais, antibióticos, antifúngicos e antiparasitários, se tornam ineficazes no combate a infecções causadas por vírus e micro-organismos, como bactérias, fungos e protozoários.

Os antibióticos revolucionaram o tratamento de doenças infecciosas fatais. Mas um dos grandes desafios da saúde pública é combater seu uso indiscriminado e excessivo, o qual tem levado ao surgimento de cepas de bactérias resistentes e superbactérias, dotadas com diversos mecanismos de inibição aos medicamentos.

Por décadas, novos antibióticos de fontes naturais, como micro-organismos, surgiram para compensar o aparecimento de cepas resistentes, mas a fonte foi se esgotando, e esse ciclo foi interrompido. O presente e futuro estão ameaçados pela disseminação acelerada da resistência e a falta de projetos de P&D de novos antibióticos.

Iniciativas vêm incentivando ações globais para o desenvolvimento de novos medicamentos. Por exemplo, Combate às Bactérias Resistentes a Antibióticos (CARB-X, *Combating Antibiotic-Resistant Bacteria*); Parceria Global para Pesquisa & Desenvolvimento em Antibióticos (GARDP, *The Global Antibiotic Research and Development Partnership*); e Abastecimento e Habilitação do Duto de Resistência Anti-infecciosa (REPAIR, *Replenishing and Enabling the Pipeline for Anti-Infective Resistance*).

A resistência a antibióticos tem causado aumento da morbimortalidade e dos custos de assistência médica por causa da necessidade de medicamentos mais caros e inter-

nações hospitalares prolongadas. Segundo a OMS, o uso desnecessário de antimicrobianos é estimado em 50% dos casos, potencializado não só por fatores como pouca disponibilidade de exames diagnósticos para distinguir entre infecções bacterianas e virais, mas também pela ideia (equivocada) de que os antibióticos são úteis para o tratamento de gripes comuns.

Para enfrentar esse problema, é preciso coordenar ações, como educação continuada em saúde; uso e prescrição adequados de medicamentos; capacitação de profissionais de saúde; acesso a consultas e serviços de saúde de qualidade; combate à automedicação, ao uso abusivo e à venda ilegal desses medicamentos; cumprimento da legislação sobre uso e dispensação de antibióticos etc.

Nesse sentido, vale destacar também a importância tanto da inovação quanto de mais investimentos voltados para P&D de antibióticos de espectro estreito, bacteriófagos, anticorpos monoclonais, vacinas e diagnósticos mais precisos.

BIODIVERSIDADE E NOVOS MEDICAMENTOS

A maioria dos medicamentos aprovados (67%) para uso em humanos são ou produtos naturais, ou derivados semissintéticos e sintéticos inspirados em compostos extraídos da natureza (Newman & Cragg, 2020).

Exemplos desses medicamentos: a morfina, poderoso fármaco analgésico obtido do ópio; o ácido acetilsalicílico, derivado do ácido salicílico obtido da casca do salgueiro e usado como anti-inflamatório, antipirético e analgésico; a penicilina, antibiótico produzido por fungos do gênero *Penicillium*, que salvou milhões de vidas até hoje; a anfotericina B, antifúngico isolado de *Streptomyces nodosus*; a ciclosporina, imunossupressor isolado do fungo *Tolypocladium inflatum*; o captopril, desenvolvido a partir de peptídeo isolado da jararaca brasileira (*Bothrops jararaca*) e usado no tratamento da hipertensão; o paclitaxel (Taxol), quimioterápico extraído da cas-



bark and used as an anti-inflammatory, antipyretic and analgesic; penicillin, an antibiotic produced by fungi of the *Penicillium* genus that has saved millions of lives to date; amphotericin B, an antifungal isolated from *Streptomyces nodosus*; cyclosporine, an immunosuppressant isolated from the fungus *Tolypocladium inflatum*; captopril, developed from a peptide isolated from the Brazilian venomous snake jararaca (*Bothrops jararaca*) and used to treat hypertension; paclitaxel (Taxol), a chemotherapeutic drug extracted from the bark of the Pacific yew and used in the therapy of ovarian, breast and lung cancer; and atorvastatin, a synthetic cholesterol reducer originating from the fungi *Penicillium citrinum* and *Aspergillus terreus*.

These and many others are notable examples of drugs obtained from nature or developed from natural products (Figure 7). Acheflan, an anti-inflammatory drug for topical use, was obtained from the essential oil of *Cordia verbenacea* A.L. DC. (black sage) and is an example of an herbal medicine developed in Brazil.

Brazil has extraordinary biodiversity, which favors the development of high value-added products such as state-of-the-art cosmetics and innovative medicines.

The Legal Framework for Biodiversity has helped facilitate access to genetic heritage, stimulating the development of new drugs, but the Brazilian pharmaceutical industry remains oblivious to the therapeutic innovations developed at the headquarters of multinational corporations in other countries. Despite having 15-20% of the Earth's biodiversity, Brazil has not yet been able to take advantage of the immeasurable unexplored diversity of chemical substances of natural origin (plants and microorganisms).

The inexpressive national share in the world market for innovative medicines is not up to the standard of a country that is the sixth largest pharmaceutical market in the world. In Brazil, the low investments in R&D in the sector, which do not even reach 1% of the global amount, reflect the low innovative profile of the national pharmaceutical companies and the insipid role played by the state in promoting innovation and development in this sector.

To reverse this situation, a profound change in the relationship between the national pharmaceutical companies and the state-of-the-art university research centers is necessary such that obstacles in the scientific and technological R&D structures can be overcome, thus encouraging collaboration with highly

innovative startups. The state must assume the role of inductor of R&D activities focused on innovation.

DIAGNOSTIC TESTS, SUPPLIES, AND DRUGS
Laboratory tests are fundamental in public health and contribute to decision-making at SUS, especially in PHC, where early diagnosis provides patients a greater chance of cure with the help of adequate pharmacotherapy.

Despite the advances achieved in basic and translational research, producing diagnostic tests independently has faced significant difficulty. The identification of new biomarkers is complex and depends on multidisciplinary research environments.

The lack of technological innovation and investment in R&D hinders the development of diagnostic tests and remote laboratory tests (Point-of-Care Test-

ca do teixo-do-pacífico e usado na terapia do câncer de ovário, mama e pulmão; e a atorvastatina, redutor de colesterol sintético inspirado em produtos naturais produzidos pelos fungos *Penicillium citrinum* e *Aspergillus terreus*.

Esses e tantos outros são exemplos notáveis de fármacos obtidos da natureza ou desenvolvidos a partir de produtos naturais (Figura 7). O Acheflan, anti-inflamatório de uso tópico obtido do óleo essencial das folhas de *Cordia verbenacea* DC (erva-baleeira), é exemplo de medicamento fitoterápico desenvolvido no Brasil.

O Brasil é um país com extraordinária biodiversidade, o que favorece o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado, como cosméticos de última geração e medicamentos inovadores.

O Marco da Biodiversidade reduziu a burocracia de acesso ao patrimônio genético, estimulando as pesquisas e o desenvolvimento de novos fármacos. Mas a indústria farmacêutica brasileira permanece alheia às inovações terapêuticas desenvolvidas nas matrizes das multinacionais de outros países. Mesmo tendo de 15% a 20% da biodiversidade do planeta, o Brasil ainda não foi capaz de aproveitar o imensurável universo inexplorado de substâncias químicas de origem natural (plantas e micro-organismos).

A inexpressiva participação nacional no mercado mundial de medicamentos inovadores não está à altura de um país que é o sexto maior mercado farmacêutico do mundo. No Brasil, os baixos investimentos em P&D do setor – que não alcançam nem

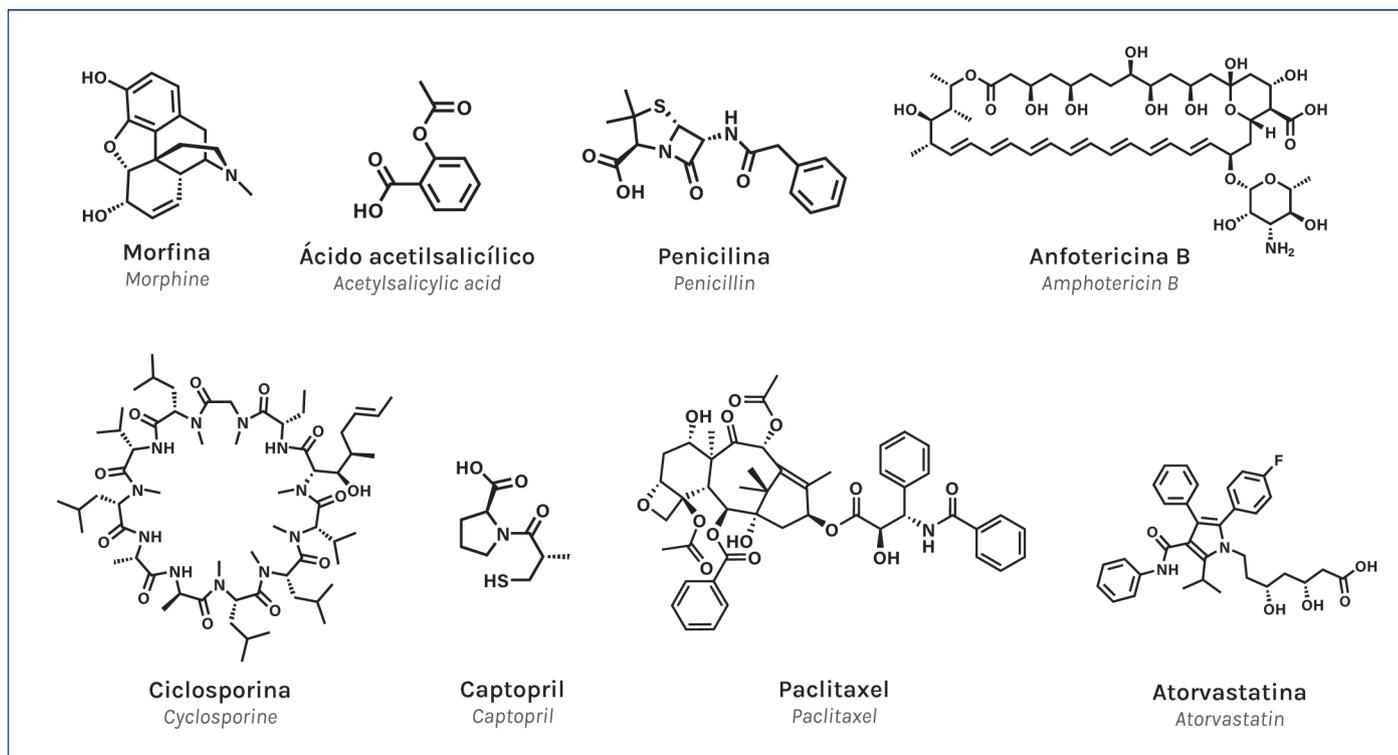


Figura 7. Fármacos obtidos da natureza ou inspirados em produtos naturais.

Fonte: Os autores.

Figure 7. Drugs obtained from nature or inspired from natural products.

Source: The authors.

1% do volume do cenário global – refletem o baixo perfil inovador das indústrias farmacêuticas nacionais e o papel insípido do Estado na promoção da inovação e do desenvolvimento do setor.

Para reverter essa situação, é preciso mudança profunda das relações entre as indústrias farmacêuticas e os centros de pesquisa de excelência das universidades, para que possam ser superados obstáculos das estruturas científicas e tecnológicas de P&D, incentivando, assim, a colaboração com *startups* altamente inovadoras. É importante que o Estado assuma o papel de indutor das atividades de P&D voltadas para a inovação.

TESTES-DIAGNÓSTICOS, INSUMOS E MEDICAMENTOS

Testes laboratoriais são fundamentais em saúde pública e contribuem para a tomada de decisões no SUS – principalmente, na atenção primária, em que o diagnóstico precoce possibilita ao paciente chance maior de cura com o auxílio da farmacoterapia adequada.

Apesar dos avanços alcançados em pesquisa básica e translacional, existem enormes dificuldades para produzir testes diagnósticos de forma independente. A identificação de novos biomarcadores é complexa e depende de ambientes de pesquisa multidisciplinares.

A falta de inovação tecnológica e investimentos em P&D dificulta o desenvolvimento de testes diagnósticos e testes laboratoriais remotos (PoCT, *Point-of-Care Testing*) que possam ser usados para o diagnóstico rápido de pacientes em áreas remotas ou na atenção primária. O alto custo das tecnologias externas compromete seu acesso ao SUS, da atenção básica à terciária.

Portanto, é preciso melhorar a infraestrutura da pesquisa e qualificar a mão de obra, para não só reduzir o caminho entre a bancada e a produção em grande escala de novos produtos farmacêuticos, mas também promover sua incorporação à prática clínica do país.

A pandemia deixou clara a dependência nacional em relação à importação de produtos e insumos farmacêuticos ativos (IFA) para a produção de medicamento e vacinas. Reverter esse quadro é questão estratégica que exige tanto investimentos em pesquisa básica e aplicada quanto estímulos ao desenvolvimento da química fina e biotecnologia ligados a políticas industriais capazes de responder aos grandes desafios do setor.

Para dar impulso à produção de IFAs e assegurar o acesso da população, ao menor custo possível, a medicamentos seguros e eficazes, é necessário promover mudanças estruturais no setor. Além dos avanços científico-tecnológicos, demanda especial atenção a capacidade produtiva, para que se reduza a dependência brasileira de cadeias de produção internacionais de baixo custo.

Outro desafio é incentivar empresas/*startups* que possam contribuir para o fortalecimento da inovação em saúde no país – em especial, o do SUS.

Para tornar as políticas de ciência e inovação mais assertivas e eficientes, é fundamental entender não só as iniciativas de desenvolvimento de tecnologias e produtos, mas também o direcionamento do fomento à pesquisa em saúde feita pelo MS, em seu Programa Pesquisa para o SUS (PPSUS).

INFORMAÇÃO EM SAÚDE, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E CIÊNCIA DE DADOS

A área de saúde vem passando por transformações profundas em razão dos avanços tecnológicos proporcionados pela ciência de dados e inteligência artificial (IA). O Brasil poderia ocupar liderança nessa área estratégica, caso os dados do SUS estivessem organizados e acessíveis para análise.

Nos últimos 30 anos, o MS desenvolveu uma série de sistemas para controlar seus processos, mas eles não se comunicam entre si, e os pesquisadores têm acesso limitado aos dados. O desenvolvimento de ferramentas e sistemas que possibilitem analisar essas informações auxiliaria o aprimoramento de diagnósticos por meio do cruzamento de dados clínico-laboratoriais e epidemiológicos.

ing, PoCT) that can be used for the rapid diagnosis of patients in remote areas or PHC. The high cost of external technologies compromises their access to SUS, from primary to tertiary care.

Therefore, it is necessary to improve the research infrastructure and qualify the workforce not only to shorten the path between the bench and the large-scale production of new pharmaceuticals, but also to incorporate them into the country's clinical practice.

The pandemic clearly revealed the national dependence on imported products and active pharmaceutical ingredients (APIs) to produce medicines and vaccines. Reversing this situation is a strategic issue that requires both investments in basic and applied research and incentives to develop fine chemicals and biotechnology linked to industrial policies capable of responding to the great challenges of the sector.

To boost the production of APIs and ensure the population's access to safe and effective medicines at the lowest possible cost, it is necessary to promote structural changes in the sector. In addition to scientific-technological advances, special attention should be given to the productive capacity to decrease Brazil's dependence on low-cost international production chains.

Another challenge is to encourage companies/startups that can contribute to strengthening innovation in health care in the country, particularly in SUS.

To make science and innovation policies more assertive and efficient, it is essential to understand not only the initiatives to develop technologies and products but also the direction of the promotion of health research conducted by the MS in its Research Program for SUS (Programa Pesquisa para o SUS - PPSUS).

HEALTH INFORMATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DATA SCIENCE

The health care area has been undergoing profound transformations resulting from technological advances provided by data science and artificial intelligence (AI). Brazil could take the lead in this strategic area if SUS data were organized and accessible for analysis.

Over the past 30 years, the MS has developed several systems to control its processes; however, they do not communicate with each other, and researchers have limited access to data. The development of tools and systems that enable

analysis of this information would help improve diagnoses through the combination of clinical, laboratory and epidemiological data.

The lack of data integration and organization, combined with the lack of familiarity of scientists and developers with health care processes, is a barrier to be overcome. Certifying the quality and reliability of information to implement AI is another obstacle.

Health innovation policies need to prioritize the development of operational systems that facilitate each stage of care in SUS, from process control to data transfer and visualization, such that telemedicine and remote consultations can be conducted. Instruments that allow the monitoring of chronic or tertiary care patients in their homes or close to them are needed.

The structuring of operating systems at SUS would make Brazil a world reference for AI in health. It is also essential to implement health education strategies at SUS, as well as their evaluation, as detailed in axis 8 of the APPMS (Brasil, 2018).

The combination of these actions, with special attention to data science, health surveillance, and community care, should be encouraged to improve the quality of life of the Brazilian population. Improvement of specialized training and a better distribution of professionals in the national territory are equally important (Girardi et al., 2016).

However, AI is also present in the R&D process for new drugs. Tools for the generation of 3D protein structures and predictive models of properties, as well as for the application of drug design methods based on target and ligand structures, have provided important scientific and technological advances in the development of clinical candidates.

GENETIC DATA AND PRECISION MEDICINE

Large-scale sequencing is a reality capable of transforming the diagnosis and prevention of genetic diseases, as well as the risk classification of polygenic conditions, and may extend to personalized medicine provided by pharmacogenetics.

The impact on cancer therapy could be significant, as the diagnosis of this disease at an early stage increases the patient's chances of survival. Liquid biopsy is being used in cancer staging and can be employed in the screening of healthy people and in the follow-up of tumor evolution (Kristensen et al., 2022). This technology requires only a simple blood test,

A falta de integração e organização dos dados, aliada à pouca familiaridade dos cientistas e desenvolvedores com os processos de cuidados de saúde, é barreira a ser superada. Outro obstáculo a ser vencido é a certificação da qualidade e confiabilidade das informações para a implementação da IA.

As políticas de inovação em saúde precisam priorizar o desenvolvimento de sistemas operacionais que facilitem cada etapa do atendimento no SUS, desde o controle de processos até a transferência e visualização de dados, para que a telemedicina e as consultas a distância possam ser feitas. Instrumentos que permitam monitorar – em suas residências ou na proximidade delas – pacientes crônicos ou da atenção terciária se fazem necessários.

A estruturação de sistemas operacionais no SUS faria do Brasil referência mundial de IA em saúde. É ainda fundamental a implantação de estratégias de educação em saúde no SUS, bem como sua avaliação – item previsto no eixo 8 da APPMS (Brasil, 2018).

A articulação dessas ações – com especial atenção à ciência de dados, vigilância em saúde e atenção comunitária – deve ser estimulada, para proporcionar melhorias na qualidade de vida da população brasileira. O aprimoramento do treinamento especializado e uma melhor distribuição dos profissionais no território nacional são igualmente importantes (Girardi et al., 2016).

Por outro lado, a IA também está presente no processo de P&D de novos fármacos. Ferramentas para a geração de estruturas 3D de proteínas e modelos preditivos de propriedades, bem como para a aplicação de métodos de planejamento de fármacos baseado em estruturas de alvos e ligantes, têm proporcionado avanços científicos e tecnológicos importantes no desenvolvimento de candidatos clínicos.

DADOS GENÉTICOS E MEDICINA DE PRECISÃO

O sequenciamento em larga escala é realidade capaz de transformar o diagnóstico e a prevenção de doenças genéticas, bem

como a classificação de riscos de quadros poligênicos, podendo se estender à medicina personalizada proporcionada pela farmacogenética.

O impacto na terapia do câncer poderá ser significativo, pois o diagnóstico da doença em fase inicial aumenta muito as chances de sobrevivência. A biópsia líquida já vem sendo usada no estadiamento de tumores e poderá ser empregada na triagem de pessoas saudáveis e no acompanhamento da evolução do câncer (Kristensen et al., 2022). Essa tecnologia requer apenas um simples exame de sangue – o que torna o procedimento mais rápido e seguro –, mas os altos custos e a falta de acessibilidade são fatores consideravelmente limitantes.

O sequenciamento tanto de tumores quanto metástases possibilitará detectar antígenos neoformados e levar ao desenvolvimento de vacinas de mRNA. A análise de dados genéticos e epigenéticos da população brasileira, associada a desfechos clínicos, é um grande aliado da medicina da precisão, a qual contribui para o tratamento mais assertivo e direcionado de vários tipos de tumores.

VACINAS E IMUNOBOLÓGICOS

As vacinas salvam vidas e são essenciais na prevenção e no controle de doenças, salvaguardando a saúde das pessoas em todas as faixas etárias e grupos populacionais.

No Brasil, o Calendário Básico de Vacinação, definido pelo Programa Nacional de Imunizações (PNI), conta com 19 vacinas prioritárias, distribuídas gratuitamente pelo MS, por meio da rede pública de saúde.

Apesar de o SUS oferecer um conjunto fundamental de vacinas, nem todas as doenças graves evitáveis são cobertas pelos imunizantes disponíveis na rede pública. O calendário da Sociedade Brasileira de Imunizações (SBIIm) norteia as recomendações de vacinação da rede privada, na qual as vacinas são frequentemente mais completas e previnem número maior de infecções causadas por bactérias e vírus.

Mas o alto custo dessas vacinas, em grande parte produzidas por fabricantes inter-

nacionais, impossibilita o acesso da maioria da população a elas. Exemplo recente é o da vacina Shingrix contra o herpes-zóster, cujo esquema vacinal consiste em duas doses com intervalo de dois meses entre as aplicações. Disponível só na rede privada, o custo por dose pode chegar a R\$ 1 mil.

O Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos (Bio-Manguinhos), da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), é responsável pelo desenvolvimento tecnológico e pela produção de vacinas essenciais do Calendário Básico de Imunização, do Ministério da Saúde. As vacinas produzidas são: DTP; *Haemophilus influenzae* tipo B; febre amarela; *Haemophilus influenzae* B; meningite A e C; pneumocócica 10-valente; covid-19; poliomielite (1, 2, 3; e 1, 3); rotavírus humano; tetravalente viral; e tríplice viral (sarampo, caxumba e rubéola).

O Bio-Manguinhos também produz biofármacos, como a adalimumabe; alfaepoetina; alfainterferona 2b; alfataliglicerase; betainterferona 1a; infliximabe; etanercepte; somatropina; rituximabe; trastuzumabe; golimumabe; além de reativos para diagnóstico (testes moleculares, testes rápidos, ensaios parasitológicos e ensaios sorológicos).

Vale destacar que esse instituto – maior laboratório farmacêutico oficial vinculado ao MS – produz medicamentos (moléculas pequenas) essenciais para o país, como antibióticos, anti-hipertensivos, anti-infecciosos, antidiabéticos, anti-inflamatórios, analgésicos, antimaláricos e antirretrovirais (AIDS e hepatites virais).

O Instituto Butantan – outra referência nacional na produção de imunobiológicos – produz 65% das vacinas distribuídas, pelo SUS, de forma gratuita, à população, bem como a totalidade das vacinas contra o vírus influenza usadas na Campanha Nacional de Vacinação contra a gripe.

As vacinas produzidas para o PNI incluem a vacina influenza sazonal trivalente; vacina adsorvida hepatite A; vacina adsorvida hepatite B; vacina papilomavírus humano 6, 11, 16 e 18; vacina contra a raiva; vacina tríplice bacteriana (DTP adulto e infantil; e DTPa/acelular).

O Butantan tem longo histórico de sucesso na produção de diversos tipos de soros contra toxinas de animais peçonhentos e micro-organismos, como os soros antiostracópico, antiescorpiônico, antitetânico, antitubulínico AB e antirrábico.

Desde o início da pandemia, o mundo assistiu a grande evolução científica e tecnológica no desenvolvimento de imunizantes contra a covid-19. A rapidez no surgimento de vacinas eficazes e seguras superou as expectativas, reacendendo esperanças em relação à investigação de imunizantes para outras doenças.

O cenário internacional indica grande demanda futura por novas vacinas, a partir de diferentes tipos de tecnologias (vacinas inativadas, fragmentadas, vírus atenuados, mRNA, DNA, vetores virais). Segundo a OMS, só para a covid-19, existem 170 novas vacinas em desenvolvimento clínico e outras 198 em fase pré-clínica, totalizando mais de 700 triagens.

Estima-se ainda que estão atualmente em desenvolvimento cerca de 140 vacinas de mRNA: 76% em fase pré-clínica, e 24% em fase clínica (Chaudhary et al., 2021; Kumar et al., 2022). Estas últimas incluem vacinas contra doenças infecciosas (Zika vírus, chikungunya, malária, influenza A e B, ebola, raiva, citomegalovírus, HIV, vírus sincicial respiratório, SARS-CoV-2) e contra vários tipos de câncer (mama, ovário, colorretal, cervical, pulmão, fígado, pâncreas, próstata, tumores sólidos, melanomas e neoplasias do sistema digestivo).

O Brasil precisa investir tanto em P&D quanto na criação de centros especializados na produção de vacinas. É fundamental estar na fronteira do conhecimento no que tange a novas tecnologias, para que o país tenha acesso rápido às inovações para a proteção de sua população.

O FUTURO DA MEDICINA

As últimas décadas viram feitos impressionantes nas áreas da medicina e biologia. Alguns desses marcos: a clonagem da ovelha Dolly, em 1996; o sequenciamento do genoma humano, em 2003; a descoberta

which makes the procedure faster and safer, but the high costs and lack of accessibility limit its widespread use.

Sequencing of both tumors and metastases will allow detection of newly formed antigens and lead to the development of mRNA vaccines. The analysis of genetic and epigenetic data of the Brazilian population, associated with clinical outcomes, is an important aspect of precision medicine, which contributes to more assertive and targeted treatment of various types of tumors.

VACCINES AND IMMUNOBIOLOGICALS

Vaccines save lives and are essential to prevent and control diseases, safeguarding the health of all population groups.

In Brazil, the Basic Vaccination Calendar, defined by the National Immunization Program (Programa Nacional de Imunizações - PNI), has 19 priority vaccines, which are distributed free of charge by the MS through the public health network.

Although SUS offers a fundamental set of vaccines, not all preventable serious diseases are covered by the immunizations available in the public health network. The calendar of the Brazilian Society of Immunizations (Sociedade Brasileira de Imunizações - SBIIm) guides the vaccination recommendations of the private health network, in which vaccines are often more complete and prevent a larger number of infections caused by bacteria and viruses.

However, the high cost of these vaccines, produced by international manufacturers, prevents most of the population from having access to them. A recent example is the Shingrix vaccine against herpes zoster, whose schedule consists of two doses with an interval of two months between applications. Available only in the private health network, the cost per dose can reach BRL 1,000.00.

The Immunobiological Technology Institute (Bio-Manguinhos), Oswaldo Cruz Foundation (Fiocruz), is responsible for the technological development and production of essential vaccines for the Basic Immunization Calendar of the MS. Bio-Manguinhos produces the following vaccines: DTP (diphtheria, tetanus, and pertussis), *Haemophilus influenzae* type B, yellow fever, *Haemophilus influenzae* B, meningitis A and C, 10-valent pneumococcal, COVID-19, poliomyelitis (1, 2, 3, and 1, 3), human rotavirus, viral tetravalent, and MMR (measles, mumps, and rubella).

Bio-Manguinhos also produces biopharmaceuticals such as adalimumab, epoetin alfa, interferon alfa 2b, alpha-taliglycerase, beta interferon 1a, infliximab, etanercept, somatropin, rituximab, trastuzumab,

and golimumab, in addition to diagnostic reagents (e.g., molecular tests, rapid tests, parasitological assays, and serological assays).

It is worth noting that this institute, the largest official pharmaceutical laboratory linked to the MS, produces medicines (small molecules) that are essential for the country, such as antibiotic, antihypertensive, anti-infective, antidiabetic, anti-inflammatory, analgesic, antimalarial and antiretroviral (AIDS and viral hepatitis) drugs.

The Butantan Institute, another national reference in the production of immunobiologicals, produces 65% of the vaccines distributed by SUS, free of charge, to the population, as well as all the vaccines against the influenza virus used in the National Influenza Vaccination Campaign.

Vaccines produced for PNI include those against trivalent seasonal influenza, adsorbed hepatitis A, adsorbed hepatitis B, human papillomavirus 6, 11, 16 and 18, rabies, and triple bacterial (adult and child DTP and DTPa/acellular).

Butantan has a long history of success in the production of different types of serum against toxins from venomous animals and microorganisms, such as anti-bothropic, anti-scorpion, antitetanus, anti-botulinum AB, and anti-rabies sera.

Since the pandemic started, the world has witnessed great scientific and technological evolution in the development of immunizations against COVID-19. The speed in the emergence of effective and safe vaccines exceeded expectations, rekindling hopes regarding the investigation of immunizations for other diseases.

The international scenario indicates great future demand for new vaccines using different types of technologies (inactivated vaccines, fragmented vaccines, attenuated viruses, mRNA, DNA, viral vectors). According to the WHO, for COVID-19 alone, there are 170 new vaccines under clinical development and another 198 in the pre-clinical phase, totaling more than 700 trials.

It is further estimated that approximately 140 mRNA vaccines are currently being developed, 76% in the preclinical stage and 24% in the clinical stage (Chaudhary et al., 2021; Kumar et al., 2022). The latter include vaccines against infectious diseases (Zika virus, chikungunya, malaria, influenza A and B, Ebola, rabies, cytomegalovirus, HIV, respiratory syncytial virus, SARS-CoV-2) and various types of cancer (breast, ovarian, colorectal, cervical, lung, liver, pancreas, prostate, solid tumors, melanoma and gastrointestinal neoplasm).

Brazil needs to invest in both R&D and the creation of centers specialized in vaccine production. It is essential to be at the

de células-tronco pluripotentes induzidas (IPS), em 2007; a tecnologia de edição de genes, em 2012. Com base nesse cenário, o que se pode esperar do futuro da medicina?

A tecnologia de IPS possibilita reprogramar uma célula diferenciada e produzir, a partir dela, diferentes linhagens celulares, tornando possível investigar o porquê de pacientes portadores da mesma mutação poderem apresentar quadros clínicos distintos.

Com isso, diferentes estratégias de terapia celular ou milhares de candidatos a fármacos podem ser testados em linhagens celulares, reduzindo consideravelmente o uso de animais e tempo até as triagens clínicas. Por exemplo, a partir de células IPS de pacientes com esclerose lateral amiotrófica (ELA) tipo 8 (ELA8) – forma hereditária do quadro identificada no Brasil (Nishimura et al., 2004) – foram derivados neurônios e verificada diminuição na expressão da proteína VAP-B (Mítne-Neto et al., 2011).

A descoberta de que o defeito causado pela mutação da ELA8 era comum a outras formas dessa doença ressaltou a importância de estudar doenças raras. Além disso, desvendar os mecanismos de proteção de pessoas com mais de 70 anos portadoras dessa mutação, mas com quadros leves, abrirá perspectivas para novos tratamentos. A covid-19 é um exemplo de variabilidade clínica, com casos que vão de muito leves ou assintomáticas até graves ou letais. Estudos genômicos e imunológicos mostraram que essa grande variabilidade pode estar associada à expressão de células NK (ou *natural killers*) (Castelli et al., 2021).

Nonagenários e centenários infectados pelo SARS-CoV-2 que se curaram ou permaneceram assintomáticos são também de grande interesse para a produção de linhagens celulares (alvéolos, neurônios, musculares, endoteliais etc.) a partir de células IPS. Isso permitiria comparar as células dessas linhagens com amostras de indivíduos que tiveram formas graves da covid-19.

As células IPS possibilitarão regenerar órgãos com base no uso das células do próprio paciente, que impediria o risco de

Desde o início da pandemia, o mundo assistiu a grande evolução científica e tecnológica no desenvolvimento de imunizantes contra a covid-19. A rapidez no surgimento de vacinas eficazes e seguras superou as expectativas, reacendendo esperanças em relação à investigação de imunizantes para outras doenças.

rejeição. A Figura 8 ilustra essa tecnologia – no caso, um fígado de rato ‘descelularizado’ e seu arcabouço (agora, sem células) ‘recelularizado’ com células humanas derivadas de IPS. Essa mesma estratégia está sendo testada com impressoras 3D (Goullart et al., 2019).

O sequenciamento do primeiro genoma humano levou 13 anos, ao custo de US\$ 3 bilhões. Atualmente, o mesmo processo leva horas e custa menos de US\$ 1 mil. Esse avanço impulsionou a capacidade de diagnóstico de doenças genéticas, reforçando a importância da medicina personalizada (ou de precisão).

A medicina será preditiva, preventiva, personalizada e participativa – daí, ser conhecida pela sigla P4. Os custos cada vez menores de sequenciamento induziram o surgimento de plataformas de diagnóstico de 20 mil genes responsáveis por cer-

ca de 7 mil doenças genéticas. A prevenção de cerca de 2 mil doenças genéticas de herança autossômica recessiva poderá ser feita por meio de testes genéticos em casais em idade reprodutiva, antes mesmo da concepção.

Os testes genéticos serão essenciais na medicina de precisão/personalizada, incluindo a farmacogenômica segundo o perfil genético e metabólico de cada paciente. Estudos de coortes de pacientes com certas patologias (por exemplo, hipertensão) permitirão o desenvolvimento de estimativas de riscos poligênicos (PRS, *polygenic risk scores*), ou seja, o de uma pessoa desenvolver determinada patologia em idade mais avançada, o que possibilitaria a prevenção.

A longevidade saudável tem atraído interesse tanto pela investigação do perfil genômico de centenários quanto pela dependência das variantes genômicas protetoras

frontier of knowledge regarding new technologies so the country has quick access to innovations to protect its population.

THE FUTURE OF MEDICINE

Remarkable achievements in the fields of medicine and biology have been made in the past few decades. Some of these milestones include the cloning of Dolly the sheep in 1996; human genome sequencing in 2003; the discovery of induced pluripotent stem cells (iPSCs) in 2007; and gene editing technology in 2012. From this scenario, what can we expect for the future of medicine?

With IPS technology, it is possible to reprogram a differentiated cell and produce different cell lines from it, enabling the investigation of why patients with the same mutation can present different clinical conditions.

With this technology, different cell therapy strategies or thousands of drug candidates can be tested in cell lines, reducing animal use and clinical trial time. For example, from IPS cells from patients with amyotrophic lateral sclerosis (ALS) type 8 (ALS8), a hereditary form of the condition identified in Brazil (Nishimura et al., 2004), neurons were derived, and a decrease in VAP-B protein expression was observed (Mitne-Neto et al., 2011).

The discovery that the defect caused by the ALS8 mutation was common among other forms of this disease underscored the importance of studying rare diseases. In addition, elucidating the protection mechanisms of people aged >70 years who carry this mutation, but with mild conditions, will provide perspectives for new treatments.

COVID-19 is an example of clinical variability, with cases ranging from mild or asymptomatic to severe or lethal. Genomic and immunological studies have shown that this wide variability may be associated with the expression of NK cells (or natural killers) (Castelli et al., 2021).

Nonagenarians and centenarians infected with SARS-CoV-2 who were cured or remained asymptomatic are also of great interest as sources for the production of cell lines (e.g., alveolar, neuronal, muscular, endothelial) from IPS cells. This would enable comparison between cells from these strains and samples from individuals who had severe forms of COVID-19.

iPSC cells will enable organ regeneration based on the use of the patient's own cells, which would prevent the risk of rejection. Figure 8 illustrates this technology; in this case, a ‘decellularized’ mouse liver and its

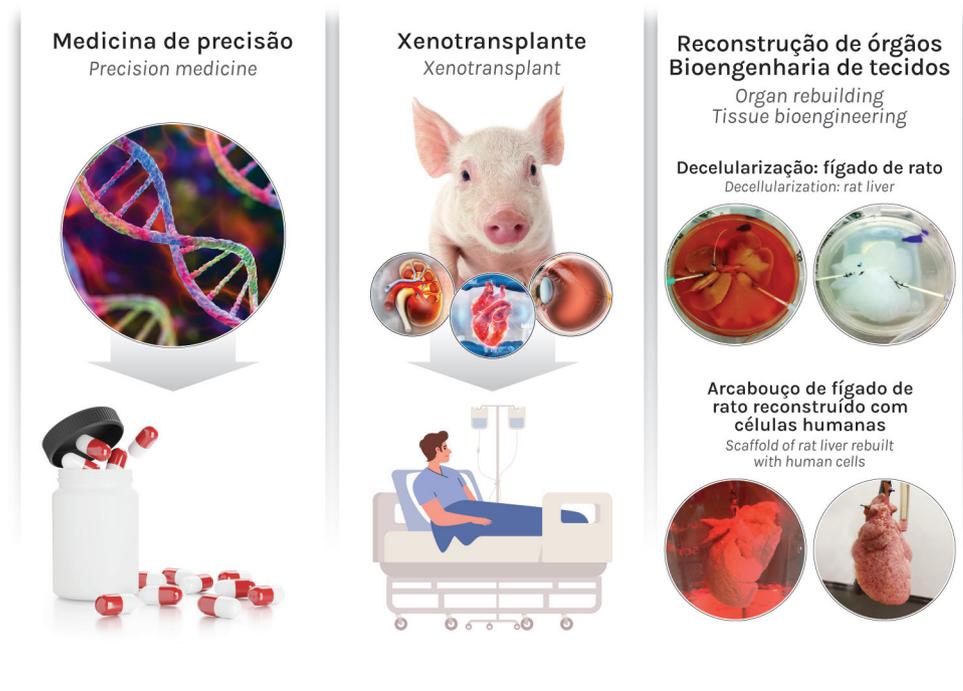


Figura 8. Medicina do futuro, personalizada e regenerativa: xenotransplantes e bioengenharia de tecidos e órgãos. Fonte: Os autores.

Figure 8. Medicine of the future, personalized and regenerative: xenotransplantation and tissue and organ bioengineering. Source: The authors.

(now cell-free) scaffold are 'recellularized' with IPS-derived human cells. This same strategy is being tested using 3D printers (Goulart et al., 2019).

The sequencing of the first human genome took 13 years, at a cost of USD 3 billion. Currently, the same process takes hours and costs less than USD 1,000.00. This advance has boosted the ability to diagnose genetic diseases, reinforcing the importance of personalized (or precision) medicine.

Medicine will be predictive, preventive, personalized, and participatory; hence, it is known by the acronym P4. The declining costs of sequencing have led to the emergence of diagnostic platforms for 20,000 genes responsible for approximately 7,000 genetic diseases. Prevention of approximately 2,000 genetic diseases of autosomal recessive inheritance can be achieved through genetic tests in couples of reproductive age even before conception.

Genetic testing will be essential in precision/personalized medicine, including pharmacogenomics according to the genetic and metabolic profile of each patient. Cohort studies of patients with certain pathologies (e.g., hypertension) will allow the development of polygenic risk scores (PRSs), that is, a person developing a certain pathology at an older age, thus enabling prevention.

Healthy longevity has attracted interest both in the investigation of the genomic profile of centenarians and in the dependence on protective genomic variants linked to the conservation of the cognitive and functional capacity of older people. The integration of the genomic profile with functional studies of different lineages (e.g., neurons, muscle cells, endothelial cells) derived from reprogrammed stem cells may contribute to understanding longevity.

The ability to alter genes using CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) technology is expected to transform the treatment of genetic diseases such as sickle cell anemia and thalassemia, as well as some forms of cancer. However, ethical questions remain, particularly in relation to gene editing in embryos and altering genes for less important phenotypic traits.

Gene editing has also brought new perspectives for organ transplantation between different species, i.e., xenotransplantation. Despite the similarity between porcine and human organs, the transplant would cause acute rejection. However, the new CRISPR-Cas9 (associated protein 9) techniques allow the editing/silencing of the porcine genes responsible for acute rejection.

ligadas à conservação da capacidade cognitiva e funcional de idosos. A integração do perfil genômico com estudos funcionais de diferentes linhagens (neurônios, células musculares, endoteliais etc.) derivadas de células-tronco reprogramadas poderá contribuir para a compreensão da longevidade.

A possibilidade de alterar genes com a tecnologia de CRISPR (sigla, em inglês, para Conjunto de Repetições Palindrômicas Curtas Regularmente Espaçadas) deverá transformar o tratamento de doenças genéticas, como anemia falciforme e talassemia, bem como de algumas formas de câncer. Porém, questões éticas permanecem em debate – principalmente, em relação à edição gênica em embriões e à alteração de genes para características fenotípicas de menor importância.

A edição gênica trouxe ainda novas perspectivas para o transplante de órgãos entre diferentes espécies, o chamado xenotransplante. Apesar da semelhança dos órgãos entre suínos e humanos, o transplante causaria rejeição aguda. Mas as novas técnicas de CRISPR-Cas9 (proteína 9 associada) permitem editar/silenciar os genes suínos responsáveis pela rejeição aguda.

A CRISPR-Cas9, aliada à clonagem reprodutiva, permitirá a criação de suínos com genes editados, cujos órgãos poderiam ser transplantados para humanos. No final de 2021, cientistas transplantaram rins de suínos com genes modificados para pacientes com morte cerebral, e os órgãos funcionaram por até 72 horas sem rejeição aguda.

No início de 2022, foi feito o primeiro transplante de coração de um suíno para um paciente humano, o qual sobreviveu 60 dias – cerca de três vezes mais tempo que o primeiro paciente transplantado com coração de doador humano, em 1967.

O PAPEL DA FAPESP

O apoio da FAPESP às universidades paulistas e aos institutos de pesquisa do estado tem sido fundamental para o estabelecimento de estruturas sólidas de excelência em pesquisa de vanguarda; para a formação de estudantes e profissionais alta-

mente qualificados em todas as áreas do conhecimento; e para a geração de resultados expressivos para a sociedade paulista e brasileira.

Ao longo de sua trajetória, a FAPESP investiu fortemente na criação de programas inovadores de pesquisa que permitiram a produção de conhecimento de alto nível internacional na área da saúde. A pandemia de covid-19 reativou o respeito público pela ciência em todo o mundo. Hoje, a sociedade valoriza cada vez mais o conhecimento científico, a pesquisa e os investimentos feitos em ciência, tecnologia e inovação.

A FAPESP, uma vez mais na vanguarda da ciência, apoiou e incentivou pesquisas e o desenvolvimento de novas tecnologias voltadas ao combate da covid-19. Estas e outras iniciativas da fundação relacionadas à doença e ao SARS-CoV-2 estão reunidas no *site* Ciência e tecnologia para o combate à covid-19 (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022).

Os investimentos de longo prazo da FAPESP têm contribuído de maneira decisiva para a elevação e consolidação da pesquisa científica e tecnológica no estado de São Paulo – pesquisa que é reconhecida internacionalmente pela qualidade e pelo impacto.

Entre as iniciativas mais importantes e inovadoras da FAPESP, estão os Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPIDs), estabelecidos em 1998, a partir da criação de 10 desses centros por período de até 11 anos.

Os CEPIDs foram estruturados com base em três pilares fundamentais: i) pesquisa de excelência internacional em temas estratégicos para a sociedade; ii) inovação para a transferência de conhecimento e tecnologia para o setor produtivo, setor público e terceiro setor; iii) difusão para gerar maior engajamento do grande público e interação com a sociedade, para melhor compreensão da ciência e de suas implicações na tomada de decisões para o bem comum.

Em seu segundo ciclo – iniciado em 2013 e caminhando agora para seu fim –, as pesquisas de 17 CEPIDs têm como foco os seguintes temas: estudos da metrópole; biodiversidade e fármacos; alimentos; ciências matemáticas aplicadas à indústria; doen-



Os investimentos de longo prazo da FAPESP têm contribuído de maneira decisiva para a elevação e consolidação da pesquisa científica e tecnológica no estado de São Paulo – pesquisa que é reconhecida internacionalmente pela qualidade e pelo impacto.

ças inflamatórias; engenharia e ciências computacionais; obesidade e comorbidades; processos redox em biomedicina; toxinas, resposta imune e sinalização celular; materiais funcionais; genoma humano e células-tronco; educação e inovação em vidros; difusão em neuromatemática; óptica e fotônica; terapia celular; neurociências e neurotecnologia; e estudos da violência.

Novas chamadas estão previstas ou já em andamento para a constituição de 18 novos CEPIDs, em seis períodos entre 2021 e 2026, para três grandes áreas do conhecimento: ciências da saúde, biológicas, agronomia e veterinária; ciências humanas e sociais, arquitetura e urbanismo, economia e administração; ciências exatas e da terra e engenharias.

CRISPR-Cas9, combined with reproductive cloning, will allow the creation of gene-edited pigs whose organs could be transplanted into humans. In late 2021, scientists transplanted genetically modified pig kidneys into brain-dead patients, and the organs functioned for up to 72 h without acute rejection.

In early 2022, the first heart transplant was performed from a pig to a human patient who survived 60 days, which is approximately three times longer than the first patient transplanted with a human donor heart in 1967.

THE ROLE OF FAPESP

The support provided by the São Paulo Research Foundation (FAPESP) to the universities and research institutes in the state of São Paulo has been critical for establishing solid structures of excellence in cutting-edge research, training highly qualified students and professionals in all areas of knowledge, and generating expressive results for society in the state and Brazil.

Throughout its trajectory, FAPESP has invested heavily in the creation of innovative research programs that have allowed the production of high-level international knowledge in the health area. The COVID-19 pandemic has reactivated public respect for science around the world. Today, society increasingly values scientific knowledge, research, and investments made in science, technology, and innovation.

FAPESP, once again at the forefront of science, supported and encouraged R&D of new technologies aimed at combating COVID-19. These and other initiatives of the foundation related to the disease and SARS-CoV-2 are provided on the website Science and Technology in the fight against COVID-19 (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2022).

FAPESP's long-term investments have contributed to the elevation and consolidation of scientific and technological research in the state of São Paulo, namely, research that is internationally recognized for its quality and impact.

Among FAPESP's most important and innovative initiatives are the Research, Innovation and Diffusion Centers (Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão - CEPIDs), established in 1998, after the creation of 10 of these centers for a period of up to 11 years.

The CEPIDs were structured based on three fundamental pillars: i) research of international excellence in strategic themes for society; ii) innovation for the transfer of knowledge and technology to the productive, public, and third sectors; and iii) dissemination to generate greater public en-

agement and interaction with society for a better understanding of science and its implications for decision-making for the common good.

In its second cycle, which began in 2013 and is now coming to an end, the research on 17 CEPIDs focused on the following topics: studies of the metropolis; biodiversity and pharmaceuticals; foods; mathematical sciences applied to industry; inflammatory diseases; engineering and computer science; obesity and comorbidities; redox processes in biomedicine; toxins, immune response, and cell signaling; functional materials; human genome and stem cells; education and innovation in glass; diffusion in neuromathematics; optics and photonics; cell therapy; neurosciences and neurotechnology; and studies of violence.

New public calls are planned or already underway for the constitution of 18 new CEPIDs in six periods between 2021 and 2026 for three major areas of knowledge: health, biological, agronomical and veterinary sciences; human and social sciences, architecture and urbanism, economics and administration; and exact and earth sciences and engineering.

The Young Investigator Grant (JP) is another of FAPESP's research incentive programs worth mentioning. With a maximum duration of 60 months, it is intended to support innovative research projects under the responsibility of young scientists in the process of professional affirmation who, even without an employment relationship with the research institution, can receive this type of grant.

Implemented more than 20 years ago, this successful program was responsible for the creation of research groups in the most varied topics of knowledge, enabling the establishment of researchers and the development of scientific careers of national and international prominence in their areas.

It is worth highlighting two initiatives among FAPESP's set of differentiated actions for the development of successful careers among new generations of researchers: i) Initial Project, which supports research projects based on audacious ideas from researchers with less than eight years of employment with research institutions in the state of São Paulo; and ii) Projeto Geração, with a similar purpose, but aimed at researchers who have had their degree for less than 11 years and their PhD for less than six years.

International cooperation agreements have been signed between FAPESP and funding agencies, research institutions, and foreign companies, for example, seed funding agreements for the exchange of re-

Entre outros programas de incentivo à pesquisa da FAPESP que merecem destaque, está o Auxílio à Pesquisa Jovem Pesquisador (JP). Com duração máxima de 60 meses, ele se destina a apoiar projetos de pesquisa inovadores sob a responsabilidade de jovens cientistas em fase de afirmação profissional que, mesmo sem vínculo empregatício com a instituição de pesquisa, podem receber esse tipo de bolsa.

Implantado há mais de 20 anos, esse programa exitoso foi responsável pela criação de grupos de pesquisa nos mais variados temas do conhecimento, possibilitando o estabelecimento de pesquisadores e desenvolvimento de carreiras científicas de destaque nacional e internacional em suas áreas.

Vale destacar duas iniciativas entre o conjunto de ações diferenciadas da FAPESP para o desenvolvimento de carreiras de sucesso entre novas gerações de pesquisadores: i) Projeto Inicial, que apoia projetos de pesquisa baseados em ideias audaciosas de pesquisadores com menos de oito anos de vínculo empregatício com instituições de pesquisa do estado de São Paulo; ii) Projeto Geração, com finalidade semelhante, mas é voltado a pesquisadores com graduação finalizada há menos de 11 anos e título de doutor obtido há menos de 6 anos.

Convênios e acordos de cooperação internacional têm sido firmados entre a FAPESP e agências de fomento, instituições de pesquisa e empresas estrangeiras. Por exemplo, acordos com financiamento inicial para intercâmbio de pesquisadores e estudantes, bem como para pequenos seminários; financiamento pleno de projetos de pesquisa selecionados em conjunto pela FAPESP e por agência ou empresa parceira.

Os Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs), espalhados pelo país e conduzidos pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), têm tido importante apoio da FAPESP na ampliação dos recursos federais investidos nos institutos sediados no estado de São Paulo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Grande parte da produção científica e tecnológica de pesquisadores paulistas é financiada pela FAPESP. Mas, diferentemente de países desenvolvidos, que têm aumentado o volume de investimentos em ciência nos últimos anos em relação ao tamanho de suas economias e seus PIBs, o Brasil tem visto investimentos públicos federais para a pesquisa cada vez mais baixos. Uma das consequências disso é tornar ainda mais desigual o financiamento à ciência quando se compara o estado de São Paulo às demais unidades federativas.

Neste momento, os escassos investimentos das agências de fomento à pesquisa – CNPq, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) – não estão em harmonia nem com o tamanho e a relevância do Brasil, nem com as ambições que o país deveria ter em relação à ciência e tecnologia.

Considerando as desigualdades do Brasil e os enormes desafios de saúde pública, o modelo FAPESP precisaria ser reproduzido em outros estados. Mas há barreiras enormes para isso, pois as Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs) não têm geralmente recursos para a promoção sustentável de pesquisas científicas e tecnológicas em seus respectivos estados.

O atual cenário tem levado pesquisadores de ponta a saírem do país, em busca de melhores oportunidades no exterior. A “fuga de cérebros” (Escobar, 2017) sem perspectiva de retorno é um grande obstáculo que, se não superado, em breve, terá consequências graves para o futuro da ciência brasileira.

Para finalizar este capítulo, são destacadas áreas que merecem especial atenção no que diz respeito a investimentos em pesquisa em saúde, tanto no âmbito nacional quanto estadual – neste último, da FAPESP, principalmente. Ressalta-se também a contribuição de cada uma das áreas para o cumprimento dos ODS e Agenda 2030 no Brasil (Quadro 1).

Quadro 1. Áreas prioritárias para investimentos em pesquisa em saúde.

Epidemiologia e Ciências Sociais
<ul style="list-style-type: none"> ● Identificação de grupos e áreas vulneráveis a diferentes agravos, considerando os determinantes sociais de saúde por uma perspectiva multidisciplinar. ● Criação de estudos de coorte para o acompanhamento de doenças ao longo do ciclo de vida. ● Estratificação de risco de doenças infecciosas e crônicas a fim de fornecer subsídios para a otimização de políticas públicas, levando em conta recursos financeiros disponíveis. ● Modelos preditivos de arboviroses. ● Custo econômico das doenças tropicais negligenciadas. ● Buscar novas iniciativas para reduzir a incidência das DCNTs. ● Resistência aos antibióticos. ● Medicina de precisão e personalizada. ● Envelhecimento populacional, longevidade e futura carga de doenças. ● Estratégias de comunicação em saúde.
Ciência Básica e Aplicada
<ul style="list-style-type: none"> ● Testes-diagnósticos para doenças infecciosas. ● Programas translacionais de P&D de novos fármacos para doenças infecciosas, com especial atenção às DTNs. ● Testes-diagnósticos para doenças genéticas. ● Novas abordagens e tratamentos para as DCNTs. ● Produção de IFAs e produtos químicos tecnológicos. ● Desenvolvimento e produção de vacinas em grande escala. ● Uso sustentável da biodiversidade brasileira para o desenvolvimento de cosméticos e medicamentos. ● Edição gênica, novos tratamentos e xenotransplante.
Sistemas de Saúde
<ul style="list-style-type: none"> ● Telemedicina para otimização da atenção primária. ● Novas formas de engajamento de agentes comunitários de saúde para melhoria da vigilância. ● Desenvolvimento de plataformas para implantação de vigilância genômica de base epidemiológica. ● Sistemas de informação, tecnologia de dados e inteligência artificial em saúde pública.

Chart 1. Priority areas for investment in health research.

Epidemiology and Social Sciences
<ul style="list-style-type: none"> ● Identification of groups and areas vulnerable to different diseases, considering the social determinants of health from a multidisciplinary perspective. ● Creation of cohort studies to monitor diseases throughout the life cycle. ● Risk stratification of infectious and chronic diseases to provide subsidies for the optimization of public policies, considering available financial resources. ● Predictive models of arboviruses. ● Economic cost of neglected tropical diseases. ● Search of new initiatives to reduce the incidence of NCDs. ● Antibiotic resistance. ● Precision and personalized medicine. ● Population aging, longevity, and future disease burden. ● Health communication strategies.
Basic and Applied Science
<ul style="list-style-type: none"> ● Diagnostic tests for infectious diseases. ● Translational R&D programs for new drugs for infectious diseases, with special attention to NTDs. ● Diagnostic tests for genetic diseases. ● New approaches and treatments for NCDs. ● Production of APIs and technological chemicals. ● Large-scale vaccine development and production. ● Sustainable use of Brazilian biodiversity to develop cosmetics and medicines. ● Gene editing, new treatments, and xenotransplantation.
Health Systems
<ul style="list-style-type: none"> ● Telemedicine for PHC optimization. ● New ways of engaging community health workers to improve surveillance. ● Development of platforms to implement epidemiological-based genomic surveillance. ● Information systems, data technology, and artificial intelligence in public health.

searchers and students and for small seminars, as well as full funding of research projects selected jointly by FAPESP and a partner agency or company.

The National Institutes of Science and Technology (INCT) – spread across the country and led by the Ministry of Science, Technology, and Innovation (MCTI) through the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) – have received important support from FAPESP in expanding federal resources invested in institutes based in the state of São Paulo.

FINAL CONSIDERATIONS

A large part of the scientific and technological production of researchers from the state of São Paulo is financed by FAPESP. However, unlike developed countries that have increased the volume of investments in science in recent years in relation to the size of their economies and GDPs, Brazil has seen increasingly lower federal public investments in research. One of the consequences of this is to make science funding even more unequal when comparing the state of São Paulo with other federative units.

At this time, the scarce investments of research funding agencies, CNPq, Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), and Financier of Studies and Projects (FINEP), are not in harmony with the size and relevance of Brazil, nor with the ambitions that the country should have in relation to science and technology.

Considering Brazil's inequalities and enormous public health challenges, the FAPESP model would need to be replicated in other states. However, there are large barriers to this, as the Research Support Foundations (FAPs) do not have the resources for the sustainable promotion of scientific and technological research in their respective states.

The current scenario has led leading researchers to leave the country in search of better opportunities abroad. The “brain drain” (Escobar, 2017) with no prospect of return is a major obstacle that, if not overcome, will soon have serious consequences for the future of Brazilian science.

In conclusion, in this chapter, we highlight areas that deserve special attention with regard to investments in research in the health area, both at the national and state levels (in the latter, mainly from FAPESP). The contribution of each of the areas to the fulfillment of the SDGs and Agenda 2030 in Brazil is also highlighted (Chart 1).

REFERÊNCIAS/REFERENCES

- Anderson, R. M. (2021). An urgent need: Vaccines for neglected tropical diseases. *The Lancet. Infectious Diseases*, 21(12), 1621-1623. [http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099\(21\)00260-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099(21)00260-7).
- Brasil. Ministério da Saúde. (2018). *Agenda de Prioridades de Pesquisa do Ministério da Saúde (APPMS)* (27 p). Ministério da Saúde. https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/agenda_prioridades_pesquisa_ms.pdf.
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. (2021, Março). Vigilância epidemiológica do sarampo no Brasil – semanas epidemiológicas 1 a 9 de 2021. *Boletim Epidemiológico*, 52(12), 1-15. https://www.gov.br/sau/pt-br/centrais-de-contenido/publicacoes/boletins/epidemiologicos/edicoes/2021/boletim_epidemiologico_svs_12.pdf.
- Castelli, E., de Castro, M. V., Naslavsky, M. S., Scliar, M. O., Silva, N. S. B., Andrade, H. S., Souza, A. S., Pereira, R. N., Castro, C. F. B., Mendes-Junior, C. T., Meyer, D., Nunes, K., Matos, L. R. B., Silva, M. V. R., Wang, J. Y. T., Esposito, J., Coria, V. R., Bortolin, R. H., Hirata, M. H., Magawa, J. Y., Cunha-Neto, E., Coelho, V., Santos, K. S., Marin, M. L. C., Kalil, J., Mitne-Neto, M., Maciel, R. M. B., Passos-Bueno, M. R., & Zatz, M. (2021). Variants Associated With Symptomatic Versus Asymptomatic SARS-CoV-2 Infection in Highly Exposed Individuals. *Frontiers in Immunology*, 12, 742881. <http://dx.doi.org/10.3389/fimmu.2021.742881>.
- Castro, M. C., Massuda, A., Almeida, G., Menezes-Filho, N. A., Andrade, M. V., de Souza Noronha, K. V. M., Rocha, R., Macinko, J., Hone, T., Tasca, R., Giovanella, L., Malik, A. M., Werneck, H., Fachini, L. A., & Atun, R. (2019). Brazilian Unified Health System: The first 30 years and prospects for the future. *Lancet*, 394(10195), 345-356. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31243-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31243-7).
- Castro, M. C., Gurzenda, S., Turra, C. M., Kim, S., Andrasfay, T., & Goldman, N. (2021). Reduction in life expectancy in Brazil after COVID-19. *Nature Medicine*, 27(9), 1629-1635. <http://dx.doi.org/10.1038/s41591-021-01437-z>. PMID:34188224.
- Chaudhary, N., Weissman, D., & Whitehead, K. A. (2021). Author Correction: mRNA vaccines for infectious diseases: principles, delivery and clinical translation. *Nature Reviews Drug Discovery*, 20, 880. <http://dx.doi.org/10.1038/s41573-021-00321-2>.
- DataSUS. Ministério da Saúde. (2022). <http://tabnet.datasus.gov.br/>
- Escobar, H. (2017, January 23). Facing 'doomsday' scenario, scientists consider fleeing Brazil. *Science*. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aal0642>.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. (2022). *Covid-19 research webinars*. <https://covid19.fapesp.br>
- Fórum Brasileiro de Segurança Pública. (2021). *Anuário Brasileiro de Segurança Pública 2021*. Fórum Brasileiro de Segurança Pública.
- Girardi, S. N., Stralen, A. C., Cella, J. N., Wan Der Maas, L., Carvalho, C. L., & Faria, E. O. (2016). Impacto do Programa Mais Médicos na redução da escassez de médicos em atenção primária à saúde. *Ciencia & Saude Coletiva*, 21(9), 2675-2684.
- Goulart, E., de Caires-Junior, L. C., Telles-Silva, K. A., Araujo, B. H. S., Rocco, S. A., Sforca, M., de Sousa, I. L., Kobayashi, G. S., Musso, C. M., Assoni, A. F., Oliveira, D., Caldini, E., Raia, S., Lelkes, P. I., & Zatz, M. (2019). 3D bioprinting of liver spheroids derived from human induced pluripotent stem cells sustain liver function and viability in vitro. *Biofabrication*, 12(1), 015010. <http://dx.doi.org/10.1088/1758-5090/ab4a30>. PMID: 31577996.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2020). Projeções de população. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Diretoria de Pesquisas – DPE, Coordenação de População e Indicadores Sociais – COPIS. (2021). População. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>.
- Instituto Oswaldo Cruz. Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz. (2022, 29 de Agosto). *Cobertura vacinal no Brasil está em índices alarmantes*. IOC/Fiocruz. <https://portal.fiocruz.br/noticia/cobertura-vacinal-no-brasil-esta-em-indices-alarmantes#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20do,da%20Sa%C3%BAde%20%C3%A9%20de%2095%25>.
- Kristensen, L. S., Jakobsen, T., Hager, H., & Kjems, J. (2022). The emerging roles of circRNAs in cancer and oncology. *Nature Reviews. Clinical Oncology*, 19(3), 188-206. <http://dx.doi.org/10.1038/s41571-021-00585-y>.
- Kumar, A., Blum, J., Thanh Le, T., Havelange, N., Magini, D., & Yoon, I. K. (2022). The mRNA vaccine development landscape for infectious diseases. *Nature Reviews Drug Discovery*, 21, 333-334. <http://dx.doi.org/10.1038/d41573-022-00035-z>.
- MapBiomias. (2022). Área urbanizada nos últimos 36 anos – Destaques do mapeamento anual das áreas urbanizadas no Brasil entre 1985 a 2020 (Coleção 6). MapBiomias. https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomias_Infra_Urbana_Novembro_2021_04112021_OK.pdf.
- Martins-Melo, F. R., Ramos Jr., A. N., Alencar, C. H., & Heukelbach, J. (2016). Mortality from neglected tropical diseases in Brazil, 2000-2011. *Bulletin of the World Health Organization*, 94(2), 103-110. <http://dx.doi.org/10.2471/BLT.15.152363>.
- Mitne-Neto, M., Machado-Costa, M., Marchetto, M. C., Bengtson, M. H., Joazeiro, C. A., Tsuda, H., Bellen, H. J., Silva, H. C., Oliveira, A. S., Lazar, M., Muotri, A. R., & Zatz, M. (2011). Downregulation of VAPB expression in motor neurons derived from induced pluripotent stem cells of ALS8 patients. *Human Molecular Genetics*, 20(18), 3642-3652. <http://dx.doi.org/10.1093/hmg/ddr284>.
- Mitra, A. K., & Mawson, A. R. (2017). Neglected tropical diseases: epidemiology and global burden. *Trop Med Infect Dis*, 2(3), 36. <http://dx.doi.org/10.3390/tropicalmed2030036>. PMID:30270893.
- Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2020). Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 01/1981 to 09/2019. *Journal of Natural Products*, 83, 770-803.
- Nishimura, A. L., Mitne-Neto, M., Silva, H. C., Richieri-Costa, A., Middleton, S., Cascio, D., Kok, F., Oliveira, J. R., Gillingwater, T., Webb, J., Skehel, P., & Zatz, M. (2004). A mutation in the vesicle-trafficking protein VAPB causes late-onset spinal muscular atrophy and amyotrophic lateral sclerosis. *American Journal of Human Genetics*, 75(5), 822-831. <http://dx.doi.org/10.1086/425287>.
- Open DataSUS. Ministério da Saúde. (2022). *Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM)*. <https://opendatasus.saude.gov.br/dataset/sim-2020-2021>.
- Our World in Data. (2022). *Government health expenditure as a share of GDP, 1991 to 2021*. <https://ourworldindata.org/grapher/public-health-expenditure-share-gdp-owid?time=1991.latest>.
- Simões, C. C. S. (2016). Breve histórico do processo demográfico. In A. H. de Figueiredo (Org.), *Brasil: Uma visão geográfica e ambiental no início do século XXI* (pp. 40-74). IBGE.
- United Nations – UN. (2022a). Sustainable development goals. <https://sdgs.un.org/goals>.
- United Nations – UN. (2022b). World population prospects 2022. <https://population.un.org/wpp/>.
- Vitorino, L. M., Yoshinari Jr., G. H., Gonzaga, G., Dias, I. F., Pereira, J. P. L., Ribeiro, I. M. G., França, A. B., Al-Zaben, F., Koenig, H. G., & Trzesniak, C. (2021). Factors associated with mental health and quality of life during the COVID-19 pandemic in Brazil. *BJPsych Open*, 7(3), e103.
- World Health Organization – WHO. (2012). *Accelerating work to overcome the global impact of neglected tropical diseases. a roadmap for implementation*. WHO. https://unitingtocombatntds.org/wp-content/uploads/2017/11/who_ntd_roadmap.pdf.
- World Health Organization – WHO. (2017). *Depression and other common mental disorders: Global health estimates*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254610/WHO-MSD-MER-2017.2-eng.pdf>.
- World Health Organization – WHO. (2021). *Ending the neglect to attain the Sustainable Development Goals: A road map for neglected tropical diseases 2021-2030*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240010352>.
- World Health Organization – WHO. (2022a). *Toolkit for developing a multisectoral action plan for noncommunicable diseases: Overview*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240043596>.
- World Health Organization – WHO. (2022b). *Our World in Data 2022*. <https://www.who.int/data/gho>.

Capítulo 7

Violência e radicalização

Chapter 7

Violence and radicalization

O propósito deste capítulo é situar, caracterizar e identificar possíveis explicações para a persistência da violência, em suas mais distintas modalidades, como problema social recorrente e desafio à consolidação da sociedade democrática e à promoção dos direitos humanos no Brasil, inclusive assegurando direitos fundamentais, entre os quais o direito universal à vida, e estimulando o recurso ao diálogo

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-27-4.1000007>

 Exceto onde indicado de outra forma, este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado.

Except where indicated otherwise, this is an Open Access chapter distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

e aos meios institucionais legítimos de resolução de conflitos.

O capítulo focaliza os acontecimentos violentos com repercussão pública, desde a transição da ditadura militar e civil-empresarial em direção à redemocratização, até a recente crise da democracia liberal com suas tendências à radicalização política. O quanto essas tendências recentes afetam o cenário da violência e das graves violações de direitos humanos ainda é cedo para responder, mesmo que o capítulo possa indicar algumas hipóteses a serem exploradas em estudos subsequentes.

O capítulo está orientado de acordo com três eixos analíticos: (1) *a dinâmica da violência na sociedade brasileira*, o que compreende a consideração da natureza dos conflitos que convergem para soluções violentas, os atores envolvidos na produção dos acontecimentos, as instituições sociais e políticas

autores/authors

Sérgio Adorno¹
Maria Hermínia Tavares de Almeida²
Renato Janine Ribeiro¹
Marcos Severino Nobre³
Roberto Kant de Lima⁴
Joana da Costa Martins Monteiro⁵

¹ Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

² Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (CEBRAP), Brasil.

³ Centro Brasileiro de Análise e Planejamento (CEBRAP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Brasil.

⁴ Universidade Federal Fluminense (UFF), Brasil.

⁵ Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas (EBAPE), Fundação Getúlio Vargas (FGV), Brasil.

In this chapter, we seek to contextualize, describe, and identify explanations for the persistence of violence, in its most diverse forms, as a recurrent social problem and a barrier to establishing a democratic society in Brazil and promoting human rights. This involves guaranteeing fundamental rights, including the universal right to life, and encouraging the use of dialogue and legitimate institutional means for conflict resolution.

This chapter focuses on violent events with public consequences, starting from the transition from the military, civil-business dictatorship to democratization and continuing until the recent crisis of liberal democracies, with a tendency towards political radicalization. It is still too early to tell how these recent tendencies affect the scenario of violence and serious violation of human rights, even though this chapter indicates some hypotheses for further investigation.

This chapter is structured according to three analytic axes: (1) the dynamic of violence in Brazilian society, which considers the nature of conflicts with violent out-



comes, the actors involved in producing these events, the social and political institutions that intervene in these situations, the ways and means employed in violent outcomes of social and interpersonal conflicts, and the set of values and beliefs that circulate around their protagonists and influence these outcomes; (2) the State and the control of public order, which involves an investigation of the practices of public institutions, including extraofficial and extrajudicial practices, used to curb violence. From this perspective, three main issues are considered, namely, the legitimate state monopoly over the means of violence, the judicial management of conflict, and the design of public security policies; (3) violence and the political system. The forms of violence regulation are not simply restricted to the fields of security and criminal justice. They belong to a field of political disputes where different actors and agencies with conflicting interests intervene, including different civil society movements, currents of public opinion, social actors such as the media and social networks, opinion makers, in-

tervenientes nesses cenários, os modos e meios empregados nos desfechos violentos dos conflitos sociais e interpessoais, assim como o universo de valores e crenças que gravitam em torno de seus protagonistas e influenciam esses desfechos; (2) *o Estado e o controle da ordem pública*, que contempla uma abordagem das práticas institucionais estatais, inclusive extraoficiais e extrajudiciais, de contenção da violência. Sob este enfoque, abordam-se três questões principais, que são o monopólio estatal legítimo da violência, a administração judicial de conflitos e a formulação de políticas públicas de segurança; e (3) *a violência e o sistema político*. As formas de regulação da violência não se restringem *tout court* ao campo da segurança e da justiça penal. Pertencem a um campo de disputas políticas no qual intervêm diferentes atores e agências, com seus inte-

resses em conflito, distintos movimentos organizados da sociedade civil, correntes de opinião pública, poderes sociais, inclusive mídias e redes sociais, formadores de opinião, poderes institucionais, sobretudo nas esferas legislativa e executiva, políticos profissionais. É nesse domínio que se deixam entrever as mediações entre a crise da democracia liberal no Brasil, as tendências recentes da radicalização política e o cenário de violência que vem se configurando não apenas no mundo do crime, mas também e sobretudo no domínio dos protestos políticos e das ameaças às liberdades civis e públicas.

BREVE PANORAMA DA VIOLÊNCIA NO CENÁRIO GLOBAL

Sem a intenção de ser exaustiva, esta introdução contempla breves considerações a

respeito do conceito de violência. Trata-se de um conceito polissêmico que conheceu diferentes formulações e, como tal, ocupou atenção de filósofos, historiadores, cientistas sociais e escritores sob as mais variadas perspectivas. A despeito de suas singularidades históricas, o conceito diz respeito a modalidades de ação social que se valem intencionalmente da ameaça ou do emprego de força física considerada ilegítima. Compreendem ações desencadeadas por poder arbitrário e ilegal contra pessoas, grupos sociais ou comunidades, resultando em sofrimento, limitações às liberdades civis e públicas, privações de direitos, danos à integridade física, moral, psíquica. Esse conceito também contempla persuasão simbólica (violência simbólica^{1,2}).

Sob esta perspectiva, o conceito compreende não apenas fatos, mas também representações sociais, entre as quais imagens e narrativas que lhe são subjacentes. A par da violência física, suas motivações ocorrem no domínio de um universo simbólico constituído de valores preservados por grupos sociais ou em comunidades determinadas, no interior do qual circulam narrativas sobre os acontecimentos, imagens sobre os protagonistas, preconceitos, explicações causais baseadas no senso comum. A aplicação do conceito requer considerar contextos históricos, assim como determinações de tempo e espaço que constituem territórios favoráveis à ocorrência

de acontecimentos violentos (Arendt, 1973; Collins, 2009).

Embora a violência no mundo contemporâneo comporte diferentes modalidades de ação com alcanças variáveis – locais, regionais, nacionais e globais –, o marco temporal para situá-las no tempo e no espaço modernos é, de acordo com o magistral estudo de Norbert Elias ([1939] 1993), o processo civilizatório ocidental que se consolidou inicialmente na Europa a partir de fins do século XVIII e se irradiou mundo afora nos séculos seguintes. Outros estudos históricos indicam que a violência fatal conheceu, a partir de 1850, tendência decrescente a despeito das guerras (Chesnais, 1981). No entanto, o emprego da violência como recurso de poder nas lutas sociais e políticas permaneceu intenso, manifestando-se, sobretudo, nos processos de descolonização, logo após o fim da II Grande Guerra e, em particular, nos anos 1950. Já nas décadas de 1970 e 1980, com a aceleração dos processos de globalização dos mercados com seus impactos sociais, políticos e culturais, surgiram fenômenos nomeados por Michel Wieviorka (1998) de *o novo paradigma da violência*³. Correlatas a esse movimento global são a crise do processo civilizatório ocidental moderno, a crise das democracias liberais herdadas do século XIX, a radicalização política e a explosão de uma miríade de conflitos com explosivo potencial violento.

Uma vez terminada a II Grande Guerra, o mundo esperava estar entrando em uma nova era de paz duradoura. A Declaração Universal dos Direitos Humanos, votada na Assembleia Geral da ONU em 1948, vi-

stitutional powers, especially the legislative and executive branches, and professional politicians. This context reveals the connections between the crisis of liberal democracy in Brazil, the recent tendencies toward political radicalization, and the scenario of violence established not only in the context of criminality, but also and mainly in the sphere of political protests and threats to civil and public liberties.

A BRIEF OVERVIEW OF VIOLENCE IN THE GLOBAL CONTEXT

This introduction does not intend to be exhaustive, but to present some considerations regarding the concept of violence. It is a polysemic concept that involves different formulations and, as such, has drawn the attention of philosophers, historians, social scientists, and writers in a wide variety of fields. Despite these historical particularities, the concept deals with forms of social action that intentionally use threats or illegitimate physical force. These actions are grounded in illegal and arbitrary power used against individuals, social groups, and communities, leading to suffering, restriction of civil and public liberties, denial of rights, and harm to physical, psychological, and social well-being. The concept also includes symbolic persuasion (symbolic violence^{1,2}).

From this perspective, this concept involves not only concrete events but also associated social representations, such as images and narratives. In addition to the physical violence itself, its motivations are informed by a symbolic universe made up of values cultivated by social groups and specific communities, where there are narratives about events, representations of protagonists, prejudice, and causal explanations grounded in common sense.

¹ Bourdieu entende violência simbólica como a “[...] violência suave, insensível, invisível a suas próprias vítimas, que se exerce essencialmente pelas vias puramente simbólicas da comunicação e do conhecimento, ou, mais precisamente, do desconhecimento, do reconhecimento, ou, em última instância, do sentimento.” (Bourdieu, 2002, p. 7-8). Ela se deixa entrever na adesão dos dominados à dominação, seja por meio de uma língua, de um estilo de vida, de uma propriedade distintiva, tais como emblemas e estigmas, que circunscrevem corpos e suas virtualidades. A violência simbólica possibilita transfigurar a dominação em sentido.

² Convém observar que, assim como há modalidades de violência consideradas ilegítimas, há aquelas consideradas legítimas, previstas em Constituições, referendadas em leis, socialmente aceitas sob o controle de Estados democráticos de direito em nome do bem comum.

³ Segundo Wieviorka (1998), a violência no mundo contemporâneo renovou-se em suas manifestações concretas e em seus significados. Para caracterizar essas transformações, ele aponta transformações na violência política de extrema-esquerda, de extrema-direita, nas lutas pela emancipação nacional e nas lutas operárias. Em compensação, aponta novos significados decorrentes de atores políticos que apelam às identidades étnicas e religiosas. Por certo, esse cenário já vem sofrendo mutações. O próprio Wieviorka, em suas análises, prognosticou desdobramentos das mudanças que havia apontado, inclusive com retrocessos.

¹ According to Pierre Bourdieu, symbolic violence is “a gentle violence, imperceptible and invisible even to its victims, exerted for the most part through purely symbolic channels of communication and cognition (more precisely, misrecognition), recognition, or even feeling.” (Bourdieu, 2002, p. 7-8). It becomes visible in the adherence that the dominated cannot fail to grant to the dominant, whether through language, life style, or distinctive properties such as emblems and stigmas that circumscribe bodies and their virtuality. Symbolic violence mediates the transformation of domination into sense.

² Notably, similar to forms of violence considered illegitimate, there are those considered legitimate, outlined in Constitutions, codified in laws, socially accepted under the control of democratic states of rights in the name of the common good.

Applying this concept requires considering historical contexts, as well as identifying times and places that were favorable to the occurrence of violent events (Arendt, 1973; Collins, 2009).

Although violence in the modern world includes different forms of action - local, regional, national, and global - the historical limits to situate them in modern time and space is, according to Norbert Elias' magisterial study ([1939] 1993), the Western civilizational process, which initially began in Europe at the end of the 18th century and spread throughout the world over subsequent centuries. Other historical studies indicate that despite wars, there was a reduction in lethal violence as of the 1850s (Chesnais, 1981). However, the use of violence as a tool of power in social and political struggles has remained intense, especially during decolonization, soon after World War II, and particularly in the 1950s. During the 1970s and 80s, with the accelerated globalization of markets and the resulting social, political, and cultural impacts, a phenomenon named the new paradigm of violence by Michel Wieviorka (1998) emerged³. Associated with this global movement is the crisis of the modern Western civilizational process, the crisis of liberal democracies inherited from the 19th century, political radicalization, and an array of conflicts with explosive violent potential.

Following World War II, the world hoped for a new era of lasting peace. The Universal Declaration of Human Rights, voted on in the UN General Assembly in 1948, ratified this hope by instituting fundamental principles for interpersonal and intersubjective coexistence, in relationships between social classes and groups and between nation-states. Its fundamental principles sought to recognize the dignity of all humans, regardless of distinctions of wealth, property, power, ethnic, socioeconomic and cultural identity, and religious categories. The Declaration aims to guarantee civil rights and liberties, political and cultural rights, and to reduce social

ria a consagrar essa esperança ao instituir os princípios básicos de convivência nas relações interpessoais e intersubjetivas, nas relações entre grupos e classes sociais, nas relações entre Estados-nações. Seus princípios fundamentais repousavam no reconhecimento da dignidade de quaisquer seres humanos, independentemente de suas clivagens socioeconômicas, de riqueza, de propriedade e de poder, assim como raciais, étnicas, culturais, identitárias, religiosas. Em seus propósitos, a Declaração pretendeu assegurar direitos e liberdades civis, direitos políticos e culturais e reduzir desigualdades sociais. Perseguindo fins como a tolerância e apelando para recursos como o diálogo entre partes em conflito e a mediação das instituições públicas, entre as quais a de distribuição de justiça, a Declaração visou estancar as diferentes modalidades de violência, o ódio, a crueldade e o emprego recorrente de tortura contra inimigos, reais ou imaginários, bem como interromper o emprego sempre crescente de armamentos, mais e mais sofisticados. À medida que a maioria dos países aderisse a seus termos, esperava-se, por fim, alcançar o ideal de uma comunidade política internacional pacificada. Assim é que, desde 1951 até recentemente, uma sequência de atos normativos foi editada com o propósito de ampliar o escopo da proteção de direitos humanos⁴, sem esquecer a série de conferências mundiais, bastando mencionar a Eco-1992 no Rio de Janeiro e a sobre o Habitat na Turquia, que foram expandindo o leque de direitos, entre os quais acesso a um meio ambiente justo e a uma habitação compatível com a dignidade humana.

Porém, tratava-se da projeção de um futuro idealizado. Logo no início da década seguinte, explodiram conflitos regionais radicalizados com emprego de intensa violência. Presentemente, em andamento encontram-se conflitos armados envolvendo pequenos ou grandes territórios com pouco ou elevado número de pessoas atingidas. Os de maior impacto na opinião

pública global ocorrem na Síria, na Turquia (entre turcos e curdos), no Iêmen e, mais recentemente, entre Rússia e Ucrânia. A despeito deste breve e impressionista *overview*, tal cenário revela um mundo global ainda mais alimentado por uma indústria armamentista robusta e em expansão⁵.

Além do mais, ataques terroristas praticados por diferentes grupos político-religiosos e com distintas motivações têm ocorrido com frequência mesmo antes do 11 de setembro nos Estados Unidos, sobretudo em capitais europeias e grandes cidades, resultando em inúmeras vítimas fatais. Intensa violência também tem estado presente nas ações de grupos neonazistas, assim como em manifestações explícitas de ódio com distintas motivações (étnico-raciais, religiosas, nacionalistas) praticadas por atores individuais solitários ou coletivos. O crime organizado em escala global, em distintas modalidades (drogas, armamentos, órgãos humanos, pessoas, minérios e pedras preciosas, combustíveis), também tem recorrido à violência física desmedida com o emprego de armamentos pesados em todo o circuito de suas operações. Conectadas ou não com o crime organizado, ainda é pertinente mencionar as violências material e simbólica subjacentes ao turismo sexual, à prostituição infantil, ao tráfico de seres humanos, aos desaparecimentos, às migrações forçadas, à recorrente prática de tortura e de maus-tratos, a todas as formas de abuso de poder que requerem emprego arbitrário da força, não consentida e ilegítima (Adorno, 2013).

Como as sociedades contemporâneas chegaram a tais desdobramentos? Hobsbawm (2007) identifica fortes tendências à reversão do processo civilizador, nos ter-

³ According to Wieviorka (1998), violence in the contemporary world was transformed in its concrete manifestations and meanings. To characterize these changes, he highlights transformations in political violence in the extreme-left and extreme-right and in struggles for national liberation and of the working class. On the other hand, he highlights new meanings emerging from political actors who draw on ethnic and religious identities. Certainly, this context is already undergoing transformations. Wieviorka himself, in his analyses, foresaw consequences of the changes that he had pointed out, including setbacks.

⁴ Cf. United Nations Treaty Collection (2005).

⁵ Conforme dados do Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), as empresas de armamentos venderam cerca de US\$ 531 bilhões em 2020, o que representa 1,3% a mais do que no ano anterior, e tudo isso apesar da pandemia (Torralba, 2021). Ver: SIPRI Yearbook 2021 - *Armaments, Disarmament, and International Security*. Summary (Stockholm International Peace Research Institute, 2021). Tudo indica ter havido proliferação de conflitos armados após a II Guerra Mundial. Ver: Roser et al., 2016.



inequality. It pursues goals such as tolerance and encourages techniques including dialogue in cases of conflict and mediation by public institutions through the distribution of justice. In this way, it seeks to reduce different forms of violence, hatred, cruelty, and the recurrent use of torture against enemies, real or imaginary, as well as to interrupt the ever-growing use of increasingly sophisticated weapons. As most countries became its signatories, it was expected that a peaceful international political community would be eventually established. Thus, from 1951 until the present, a series of normative acts has been issued with the aim of expanding the scope of protection of human rights⁴. There was also a sequence of global conferences, such as the ECO-1992 in Rio de Janeiro and the one on Habitat in Turkey. These conferences expanded the scope of rights, embracing issues such as equal access to the environment and a habitat compatible with human dignity.

Nevertheless, this has proved to be an idealized vision of the future. Soon after the beginning of the following decade, radicalized regional conflicts marked by intense violence exploded. Currently, armed conflicts are underway, involving small or extensive territories and affecting a small or large number of people. Those with the greatest impact on global public opinion are taking place in Syria, Turkey (between Turks and Kurds), Yemen, and more recently between Ukraine and Russia. Despite this brief and general overview, this scenario also reveals a global context that is still influenced by a robust and growing arms industry.⁵

Moreover, even prior to September 11 in the United States, terrorist attacks undertaken by different political-religious groups with different motivations had frequently happened, especially in large cities and capitals in Europe, leading to numerous casualties. Intense violence is also noticeable in the actions of neo-Nazi groups, as well as in explicit expressions of hatred with distinct motivations (eth-

⁴ Cf. United Nations Treaty Collection (2005).

⁵ According to data from the Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI), arms companies sold around US\$ 531 billion in 2020, which represents an 1.3% increase compared to the previous year's amount, and all of this despite the pandemic. (Torralba, 2021) See: SIPRI Directory 2021 – Armaments, Disarmament, and International Security. Summary (Stockholm International Peace Research Institute, 2021). Everything points toward a proliferation of armed conflict after World War II. See: (Roser et al., 2016).

no-racial, religious, and nationalist) carried out by individual or collective actors. Organized crime at a global scale and of specific types (drugs, arms, human organs, people, minerals, precious stones, and fuel) has also employed unrestrained physical violence using heavy weapons in its operations. Whether connected to organized crime or not, it is worth mentioning the physical and symbolic violence associated with sex tourism, child prostitution, human trafficking, missing people, forced migration, recurrent practices of torture and mistreatment, and all forms of abuse of power that rely on non-consensual and illegitimate force (Adorno, 2013).

How have contemporary societies reached such an impasse? Hobsbawm (2007) identifies strong tendencies toward a reversal of the civilizing process, in the terms outlined by Norbert Elias ([1939] 1993). This tendency can be observed in at least two dimensions of social life. Firstly, an unequivocal erosion of the rules and conventions that mediate interpersonal relations is underway, currently manifested in insults, humiliation, and prejudice. Secondly, a crisis in the legitimacy of nation-states due to the weakened obedience of citizens to state laws and institutions is also observed. Another global tendency is the militarization of police and public security policies, which is supported by sectors of public opinion and significant parts of the political class and rulers.

BRAZILIAN SOCIETY IN THE CONTEXT OF GLOBALIZED VIOLENCE

Violence in Brazil is undoubtedly a phenomenon associated with global tendencies which, despite their singularities, can be compared between nations that present similar social structures. Moreover, violence is not a recent phenomenon in Brazilian society. It can be argued that writing a social history of violence is a necessary part of the history of this society (Franco, 1974). If, in a recent past, different forms of violence were confined to the sphere of private relations - except when used against political and social protests, for at least three decades, they have become a public issue⁶. The authoritarian inheritance stemming from the mili-

mos apontados por Norbert Elias ([1939] 1993). Essa tendência pode ser observada em ao menos duas dimensões da vida societária. Primeiramente, entra em curso verdadeira erosão das regras e convenções que ordenavam os contatos pessoais, a qual hoje se expressa na recorrência de xingamentos, humilhações, preconceitos. Em segundo lugar, a crise de legitimidade dos Estados-nações, resultante de enfraquecimento da obediência dos cidadãos perante as leis e as instituições estatais. Outra tendência global é a militarização das polícias e das políticas de segurança que encontra apoio em correntes de opinião pública e em amplos setores da classe política e dos governantes.

A SOCIEDADE BRASILEIRA NO CONTEXTO DA GLOBALIZAÇÃO DA VIOLÊNCIA

A violência no Brasil é certamente fenômeno associado às tendências globais, não obstante suas singularidades que, grosso modo, podem ser comparadas com outras sociedades nacionais dotadas de estruturas sociais similares. Tampouco a violência é fenômeno recente na sociedade brasileira. Pode-se mesmo argumentar que escrever a história social da violência é parte inexorável da história social desta sociedade (Franco, 1974). Se, em passado recente, diferentes modalidades de violência estiveram confinadas à órbita das relações privadas, salvo quando empregadas contra manifestações políticas e protestos sociais, há pelo menos três décadas elas se tornaram questões públicas⁶. Contribuíram para essa visibilidade pública as heranças autoritárias deixadas pelo regime autoritário, em especial as conexões entre ditadura civil-militar, gru-

Outra tendência global é a militarização das polícias e das políticas de segurança que encontra apoio em correntes de opinião pública e em amplos setores da classe política e dos governantes.

⁶ This includes violence within families, schools, juvenile detention centers (called socio-educational institutions/units in Brazil), police stations and prisons, violence in gender and ethno-racial relations, against children and adolescents, as well as in the extermination and detainment of Indigenous populations, inheritance from slavery, and abolition of slavery without any restitution or rights (Adorno, 1995).

⁶ Sob esta perspectiva incluem-se violências nas famílias, nas escolas, nas instituições de reparação social, nas delegacias de polícia e nas prisões, violências nas relações de gênero, nas relações étnico-raciais, contra crianças e adolescentes, a par do extermínio e do confinamento das populações indígenas, das heranças da escravidão e abolição da escravatura desacompanhada de qualquer assistência ou direito (Adorno, 1995).

pos de extermínio e milícias (Lima & Costa, 2019; Manso, 2020).

Para tanto, houve a contribuição da delinquência das ruas e das ações cometidas por grupos criminosos organizados em moldes semelhantes na Colômbia e no México. Na mesma direção, violência e rebeliões nas prisões, um fenômeno muito presente nos Estados Unidos nos anos 1960, permanecem frequentes no Brasil há quase quatro décadas. Violência policial é tão presente no cotidiano dos moradores de bairros que compõem as chamadas periferias urbanas no Brasil quanto na África do Sul. Todavia, não se encontra no Brasil o fenômeno das *maras*, bandos juvenis com fortes marcas de identidade local, como vigem na Guatemala e em El Salvador, na América Central, a despeito da inserção de pré-adolescentes e adolescentes nos grupos que compõem a criminalidade organizada das regiões metropolitanas desta sociedade. Convém observar que, ao contrário do que se passou no Peru e na Colômbia, o Brasil não assistiu à eclosão de guerra civil no período pós-ditadura.

Alguns dados permitem ilustrar um perfil, ainda que parcial, da violência na sociedade brasileira contemporânea. No período de 1980 a 2000, as informações então disponíveis revelaram forte tendência ao crescimento. A partir de 2000, conforme dados do DataSUS/SIM (2000-2020) (DataSUS, 2022) na categoria “óbitos por agressões”, as taxas variaram ora revelando crescimento, ora decurso. A Figura 1 a seguir ilustra essas tendências⁷.

⁷ Há duas fontes para aferir os números absolutos e relativos das mortes intencionais (homicídios). Uma provém do Sistema de Informação de Mortalidade (SIM, Ministério da Saúde, DataSUS). Eles estão englobados na categoria geral “mortes por causas externas” e na categoria específica “óbitos por agressão”. A outra fonte compreende as secretarias estaduais de segurança pública, baseada no registro das ocorrências criminais. Os números aferidos por ambas as fontes não são coincidentes, conquanto as tendências reveladas sejam semelhantes. Não há mais enormes disparidades como em passado recente há pelo menos duas décadas. Outra questão diz respeito às singularidades das mortes intencionais. O Fórum Brasileiro

oficial regime has contributed to this public visibility, especially the connections between the civil-military dictatorship, death squads, and militias (Lima & Costa, 2019; Manso, 2020).

Added to that, there is the contribution of urban delinquency and acts by organized crime groups along similar lines to those in Colombia and Mexico. Furthermore, prison violence and riots - common phenomena in the United States during the 1960s, have remained frequent in Brazil for nearly four decades. Police violence is as prevalent in the day-to-day lives of residents of neighborhoods in the so-called urban periphery of Brazil as it is in South Africa. However, the phenomenon of *maras* - groups of youths that are observed in Guatemala, El Salvador, and Central America, with a strong local identity - are not found in Brazil despite the participation of adolescents and preadolescents in groups involved in organized crime in metropolitan regions of the country. Notably, different from Peru and Colombia, Brazil did not experience a civil war in the post-dictatorship period.

Some findings allow us to outline a profile of violence, even if partially, in the contemporary Brazilian society. Between 1980 and 2000, the information available at the time showed a strong tendency towards the growth of violence. As of 2000, according to data from DataSUS/SIM (2000-2020) (DataSUS, 2022), rates for the category “violent deaths” varied, at times showing growth and at others reduction. Figure 1 illustrates these tendencies⁷.

⁷ There are two sources to verify the absolute and relative values for intentional deaths (homicides). One comes from the Mortality Information System (SIM, Ministry of Health, DataSUS). They are included in the general category “death from external causes” and in the specific category “death from aggression”. The other source includes the state secretaries for public security, based on reporting of criminal cases. While the numbers obtained from both sources do not coincide, the tendencies observed are similar. There are no longer enormous disparities as observed in the recent past over at least two decades. Another question concerns the singularities related to intentional deaths. In its annual report, The Brazilian Forum for Public Security tends to adopt the following classification: (a) intentional lethal violent crimes (CVLI), which are divided into intentional homicide, robbery, and bodily harm followed by death; (b) military and civil police victims of CVLI; (c) death resulting from police interventions (on or off duty).

Número e taxa de óbitos por agressões no Brasil (2000-2020)

Rate and number of violent deaths in Brazil (2000-2020)

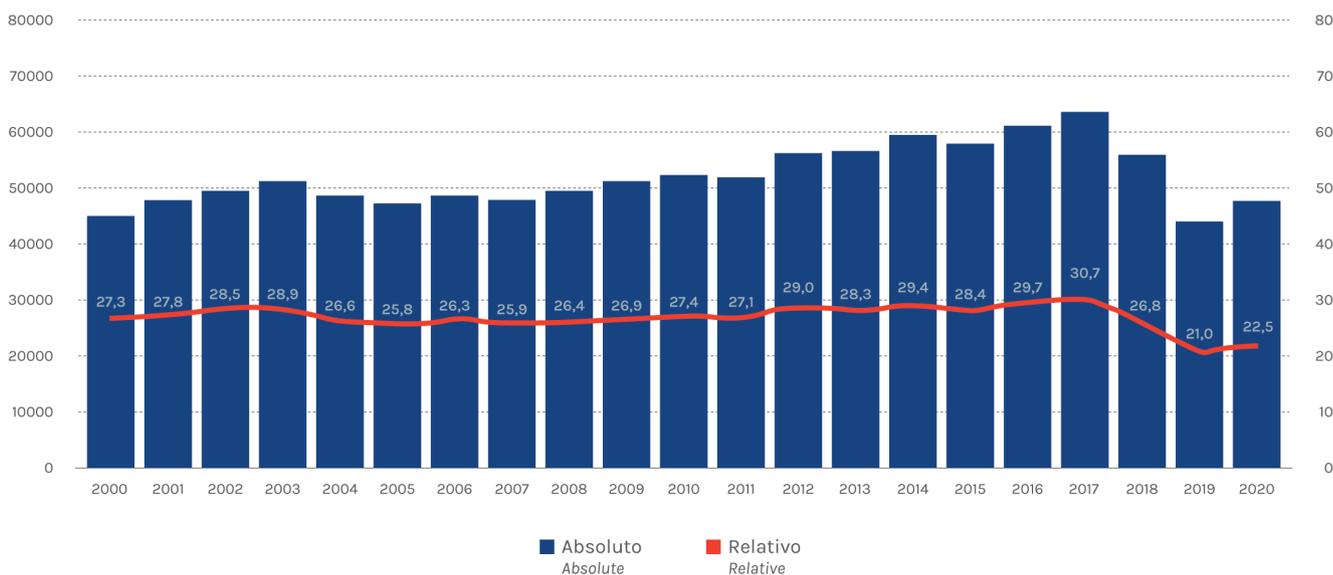


Figura 1. Número e taxa de óbitos por agressões no Brasil (2000-2020).

Fonte: CID10: X85-Y09, DataSUS/SIM (2000-2020) (DataSUS, 2022). A estimativa de população teve por fonte o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021).

Figure 1. Rate and number of violent deaths in Brazil (2000 - 2020).

Source: CID10: X85-Y09, DataSUS/SIM (2000-2020) (DataSUS, 2022). The source for population estimates was the IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021).

Between 1980 and 2000, the available data show a strong growth trend, especially owing to influences from intentional deaths occurring in the states of São Paulo and Rio de Janeiro, which together accounted for 40% of cases⁸. From 2000, with around 46,000 cases, the homicide rate per 100,000 inhabitants was 27.3. In 2003, the absolute number reached 50,000 victims. The rates were discreetly variable over time. There was a sharp increase particularly starting from 2012, when the absolute number neared 60,000 deaths and the rate increased to 29 homicides per 100,000 people. The peak occurred in 2017, with 65,000 deaths, which corresponds to a rate of 30.7 homicides per 100,000 individuals. In 2020, a declining tendency was observed, with around 47,500 intentional deaths, which represents a rate of

⁸ During this period, the quality of the available data was low, with enormous disparities between the states. This may have contributed to the greater presence of deaths from these two states during this period.

Entre 1980 e 2000, os dados disponíveis indicaram forte tendência ao crescimento, sobretudo porque eram influenciados pelas mortes intencionais ocorridas nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, que concentravam juntos quase 40% de todas as ocorrências⁸. A partir de 2000, com cerca de 46.000 ocorrências, a taxa de homicídios por 100.000 habitantes foi de 27,3. Em 2003, o número absoluto alcan-

de Segurança Pública, em seus Anuários, tende a trabalhar com as seguintes classificações: (a) crimes violentos letais intencionais (CVLI), que se subdividem em homicídio doloso, latrocínio e lesão corporal seguida de morte; (b) policiais civis e militares vítimas de CVLI; (c) morte decorrente de intervenção policial (em serviço ou fora de serviço).

⁸ É verdade que nesse período a qualidade dos dados acessíveis era precária, havendo enormes disparidades entre os estados, o que pode ter contribuído para a maior representatividade das mortes nesses dois estados da federação no período.

çou 50.000 vítimas. As taxas oscilaram ora para mais, ora para menos, com discretas variações. O salto para cima aparece, sobretudo, a partir de 2012, quando os números absolutos se aproximaram das 60.000 mortes e a taxa cresceu para 29 homicídios por 100.000. O pico ocorreu em 2017 com 65.000 ocorrências, o que correspondeu à taxa de 30,7 homicídios por 100.000. Em 2020, verificou-se tendência ao declínio com o registro de cerca de 47.500 mortes intencionais, o que traduz uma taxa de 22,5 registros por 100.000, portanto abaixo da taxa para o ano de 2000 (DataSUS/SIM, 2000-2020) (DataSUS, 2022). Ainda assim, a taxa média nacional para o período em seu conjunto é três vezes maior do que as taxas mundiais calculadas para 2000-2013, que oscilaram entre 6 e 9 homicídios por 100.000 habitantes (Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada, 2018).

As taxas nacionais variam segundo os estados da federação, alguns com taxas acima da média e outros abaixo da média. As razões que explicam essas variações regionais não são ainda claras. Segundo analistas, não se deve ignorar o peso dos negócios ilícitos locais, as disputas entre facções, as relações entre organizações criminosas e forças policiais, entre outras, até mesmo as relacionadas ao sistema político. É também oportuno lembrar que são múltiplas as motivações para esses crimes. Além das mortes ocorridas no interior do mundo do crime, inclusive as praticadas por policiais, mortes intencionais compreendem ainda uma diversidade de conflitos nascidos na órbita das relações interpessoais e intersubjetivas, envolvendo relações parentais, relações de trabalho (entre patrões e empregados, entre trabalhadores), entre vizinhos, amigos, companheiros e suas companheiras, disputas em torno de heranças ou posse de bens, vinganças pessoais⁹, ódio, intolerâncias de toda espécie. Porém, não se dispõem de dados suficientes para avaliar o quanto essa diversidade de motivações pesa na composição dos números dessa modalidade de violência fatal.

No curso da transição democrática, a violência associada à delinquência comum e à emergência do crime organizado, especialmente em torno do comércio de drogas ilícitas¹⁰, converteu-se em problema social

⁹ Um perfil mais completo requer acrescentar crimes contra o patrimônio (furtos, roubos especialmente de cargas e de veículos), apreensões de drogas e prisões por tráfico, lavagem de dinheiro, feminicídio, crimes contra crianças e adolescentes, crimes motivados por preconceito e intolerância relativamente à raça, à origem migratória, ao gênero, à sexualidade, inclusive violência política. Nos limites deste capítulo, reportamo-nos às fontes bibliográficas (FBSP, Anuário, vários anos).

¹⁰ Por certo, crime organizado é um conceito cuja aplicação requer cuidados. Há extensa literatura sobre o assunto, não raro acompanhada de controvérsias a respeito da influência de modelos, como o das máfias italianas. O conceito procura alcançar distintas modalidades de organização que não se restringem ao comércio ilegal de drogas, alcançando inúmeras outras mercadorias, serviços, venda de facilidades e zonas de influência, por exemplo, acesso privilegiado a governos e seus orçamentos.

e questão pública. Exercendo controle sobre parcelas do território de metrópoles e grandes cidades, sobre as quais são impostas regras visando proteger o fluxo de circulação e distribuição do comércio varejista de drogas, essa modalidade de comércio ilegal, intensificada no Brasil a partir de meados da década de 1970, tem promovido a desorganização de comunidades tradicionais urbanas, a inserção de jovens pobres como trabalhadores do tráfico, as disputas entre gangues pelo controle de território, as disputas entre estas e as polícias, a par de crimes conexos, como roubos, contrabando de armas, extorsão mediante sequestro, desaparecimento de pessoas, lavagem de dinheiro, venda de serviços de proteção e de outros serviços públicos. Seu funcionamento requer, além do suprimento regular de armamentos, investimento em corrupção de autoridades, para evitar a interrupção frequente do fluxo de negócios ilícitos. Tudo indica, conforme apontam estudos (Zaluar, 2004), estreita correlação entre o crescimento das mortes intencionais, cujas vítimas preferenciais são jovens e pobres, na sua grande maioria pardos e pretos, e a chegada dessa modalidade de crime organizado nas comunidades predominantemente constituídas de trabalhadores de baixa renda. Esse cenário, amplificado cotidianamente pela mídia impressa e eletrônica, está na origem das manifestações coletivas de medo e insegurança urbana, suscitando tanto demandas por mais repressão e por reforma das instituições policiais e das leis penais, assim como formulação de políticas públicas de segurança compatíveis com a nova ordem constitucional democrática.

Simultaneamente, cresceram a inquietação e o reconhecimento públicos em relação aos conflitos com desfechos fatais nas relações de gênero, gerações, raças e etnias, relações de vizinhança, embates entre opiniões e valores morais antagônicos com apelo ao uso da força, intolerâncias de toda sorte relacionadas a crenças religiosas, sexuali-

Neste capítulo, o foco está dirigido para o comércio ilegal de drogas.

22.5 cases per 100,000 individuals, thus below the 2000 rate (DataSUS/SIM, 2000-2020) (DataSUS, 2022). Even so, the overall national average for the period is three times higher than the global rates calculated for 2000-2013, which oscillates between 6 to 9 homicides per 100,000 individuals (Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada, 2018).

National rates varied by state, with some being above or below the average. The reasons for this regional variability are unclear. According to analysts, the influence of illicit local businesses, disputes between armed criminal groups, the relationship between criminal organizations and the police force, and even those related to the political system, among others, should not be overlooked. It is also worth remembering that there are multiple drivers for criminality. Beyond the deaths that occur within the world of crime, including those involving the police, intentional deaths also involve a range of conflicts stemming from intersubjective and interpersonal relations, affecting parental relationships, labor relations (between bosses and employees, and between workers), between neighbors, friends, male and female partners, conflict over inheritance or ownership of goods, and personal revenge⁹, as well as hatred and intolerance of all types. However, there is a lack sufficient data to evaluate how much this range of motives influences the composition of the levels for this type of lethal violence.

Over the course of the democratic transition, violence associated with common delinquency and with the emergence of organized crime - especially involving illicit drug trade¹⁰, has become a social and pub-

⁹ A more complete overview requires adding crimes against property (theft and robbery, especially of freight and vehicles), drug seizures and imprisonment for drug trafficking, money laundering, femicides, crimes against children and adolescents, crimes motivated by prejudice and intolerance related to race, immigration, gender and sexuality, and political violence. Relevant bibliographic material can be found at the end of this chapter (FBSP, Directory, numerous years).

¹⁰ Certainly, organized crime is a concept that requires caution. The literature regarding this theme is extensive, frequently involving controversies regarding the influence of models, such as that of the Italian mafia. The concept seeks to account for different forms of organization that are not restricted to illegal drug trade, involving numerous other goods, services, provision of benefits, and zones of influence, for example, privileged access to govern-

lic issue. This form of illegal commerce, which exercises control in metropolitan regions and large cities, seeks to guarantee the circulation and distribution of illicit drugs and has intensified in Brazil from the mid-1970s. It has led to a breakdown of traditional urban communities, the insertion of poor youths into drug trafficking, disputes between gangs for the control of territories, conflict between gangs and police, and related crimes such as robbery, arms trafficking, extortion through kidnapping, missing persons, money laundering, and the selling of protection services and of other 'public' services. In addition to the supply of regular arms, these operations depend on investment in the corruption of authorities to minimize the frequency of their interruption. As studies have shown (Zaluar, 2004), everything points toward a close correlation between a growth in intentional deaths, with poor youths as the main victims, overwhelmingly Black and Brown young people, and the arrival of this form of organized crime in low-income working-class communities. This context, portrayed daily by the print and electronic media, underlies collective manifestations of urban fear and insecurity, driving both demand for more repression and for reform of police institutions and criminal laws, as well as the formulation of public security policies compatible with the new constitutional democratic order.

Simultaneously, public recognition and concern about conflicts with fatal outcomes have been growing. These conflicts can involve gender, race, ethnicity, relationships between neighbors, conflicts between contrary moral values and positions that rely on force, intolerance of all kinds related to religious beliefs, sexuality, marginalized ways of life, racial prejudice, and misogyny. Over the past decade, along with the expansion and growth of businesses used by criminal organizations, which drive money laundering and diverse types of financial crime, the spread of cyber-crime, which employs technology provided by social networks and electronic media in general, makes the scenario of physical and symbolic violence even more complex. Equally important is to understand that, during times of globalization, violence acquires a ludic and performative character that is manifested in contemporary aesthetics of existence, in our relationship with ourselves and others. Violence is frequently presented in literature, in films, fights and other sports, in conflicts between genders and sexes, and in competitions as references of the currently desirable and valued lifestyles.

ments and their budgets. In this chapter, we focus on the illegal drug trade.

dades, modos de vida periféricos, preconceitos raciais, misoginia. Na última década, a par da expansão e do alargamento de negócios explorados pela governança criminal que alimentam lavagem de dinheiro e toda sorte de crimes financeiros, a difusão de crimes cibernéticos, que se apoiam em tecnologias proporcionadas pelas redes sociais e pelas mídias eletrônicas em geral, torna o cenário da violência física e simbólica mais complexo. Não menos importante é reconhecer que, em tempos de globalização, a violência adquire caráter lúdico e performático manifesto em estéticas contemporâneas de existência, de relação de si para consigo e de si para com os outros. Com frequência aparecem narradas na literatura, nos filmes, na representação das lutas e dos esportes, nas disputas entre sexos e gêneros, nas competições pela definição do que são os estilos de vida desejáveis e valorizados na contemporaneidade.

As percepções coletivas de que a violência e os crimes haviam se convertido em problema social e questão pública foram construídas no processo de transição democrática. Diversas forças contribuíram para isso, seguramente os embates, por um lado, entre forças políticas conservadoras, herdeiras do regime autoritário e tributárias de políticas de segurança do tipo *mão dura*, e, por outro, forças políticas progressistas que buscavam atrelar o problema de *lei e ordem* à promoção dos direitos humanos. Acirrados, esses confrontos estimularam debates públicos, sobretudo por meio da mídia impressa e eletrônica, suscitando indagações a respeito das saídas para o problema da violência. Isso se constata na grande popularidade de programas de rádio atacando os direitos humanos e defendendo a violência policial, bem como, mais tarde, em programas de entretenimento que convidavam a falar personagens políticos então vistos como folclóricos, mas que mais tarde chegaram, pela via eleitoral, a cargos elevados na República.

Em sentido distinto, porém convergente, cientistas sociais passaram a se interessar pelos desafios propostos pela compreensão da violência na sociedade brasileira.

No curso da transição democrática, a violência associada à delinquência comum e à emergência do crime organizado, especialmente em torno do comércio de drogas ilícitas, converteu-se em problema social e questão pública.

As primeiras reflexões compreendiam ensaios que contribuíram para a formulação de indagações sociológicas e antropológicas. Logo, ressentiram-se da carência de estudos empíricos fundamentados em coleção confiável de dados estatísticos e em resultados de trabalho de campo do tipo etnográfico, bem como do exame de acervos documentais e análises institucionais das agências encarregadas de controle da ordem pública. Constituíram-se assim grupos de pesquisa e laboratórios nas universidades e em centros de investigação no domínio das ciências sociais em vários estados da federação, muitos dos quais referências nacionais. Fundamental para que, em espaço de três décadas, a área de estudos sobre violência viesse a se consolidar nacionalmente e mesmo obtivesse reconhecimento internacional foi o apoio decisivo das agências de fomento, como o CNPq, a Capes, a Finep, além das FAPs estaduais. No estado de São Paulo, a FAPESP, sensível à magnitude e complexidade dos problemas da área de segurança pública, contribuiu por meio de seus programas de apoio individual e das várias modalidades de apoio institucional, dentre os quais o financiamento de Centros de Excelência como o NEV-CEPID/USP e o CEM, para a consolidação desse campo de estudos, de inovação e disseminação de conhecimentos sobre violência, crime, segurança pública, justiça e direitos humanos como também desigualdades urbanas.

O ESTADO, A ORDEM PÚBLICA E O CONTROLE LEGAL DA VIOLÊNCIA E DO CRIME

Uma vez abordada a dinâmica da violência na sociedade brasileira contemporânea na era da globalização, é preciso perguntar como o Estado, por meio de suas agências e de seus agentes, e como os governos, por meio de suas políticas públicas de segurança e justiça, exercem o controle da ordem pública. Responder a essa indagação geral requer perguntar ainda: com quais meios, recursos e custos empreendem suas ações? Quais atores sociais e institucionais são re-

crutados em suas tarefas de controle legal? Como mobilizam correntes de opinião e sociedade civil organizada para aquiescência de diretrizes políticas, de suas missões e de seus planos de ação, mesmo quando resultem em violência institucional, física e simbólica, praticada por agentes policiais, judiciais e penitenciários?

Três questões fundamentais se impõem nesse debate. A primeira diz respeito ao monopólio estatal legítimo da violência. A segunda aborda a administração da justiça criminal. E a terceira trata da formulação e implementação de políticas públicas de segurança, inclusive políticas de encarceramento e de punição. Conforme apontado pela sociologia política clássica, essa sorte de monopólio é requisito do Estado moderno. Em poucas palavras, o Estado é, segundo Max Weber, o único instituto político com “direito” à violência empregada em circunstâncias determinadas, estabelecidas por força de lei. A nenhum particular é facultado o direito de recorrer à violência para solucionar pendências pessoais, exceto também em circunstâncias previstas em estatuto legal (Weber, 1974). Por certo, essa formulação clássica é hoje objeto de severas críticas. Michel Wieviorka (1998) sustenta que a proposta weberiana já está superada diante do novo paradigma da violência na contemporaneidade. A despeito dessas críticas, muitos Estados-nações, em fins do século XIX e primeira metade do século XX, lograram conter a violência dos civis contra outros civis, dos civis contra o Estado e do Estado contra os cidadãos em geral. Se é assim, o que dizer de sociedades, como a brasileira, que jamais conseguiram universalizar esse monopólio estatal e público, nas quais as fronteiras entre interesses privados e negócios públicos se encontram indistintas ou embaralhadas e nas quais o poder dos mais fortes se sobrepõe ao bem comum, sem a força dos interditos legais?

São recorrentes no senso comum e na opinião pública de maneira geral manifestações que expressam sentimentos coletivos de que os crimes cresceram, tornaram-se mais violentos e os criminosos não são puni-

The collective understanding that violence and crime have become social and political issues has arisen in the process of democratic transition. Diverse elements have contributed to this understanding, including debates between conservative political forces - heirs of the authoritarian regime that advocate hardline security policies, and progressive political actors who seek to connect the law-and-order issue to the promotion of human rights. These heated debates encourage public discourse, especially in electronic and print media, driving proposals to resolve the problem of violence. This can be observed in the widespread popularity of radio programs attacking human rights and defending police violence, as well as in entertainment programs that invite political protagonists initially viewed as eccentric, but who later managed to be elected to important office positions.

In a simultaneously distinct and convergent manner, social scientists have become interested in the challenges posed by trying to understand violence in Brazilian society. Initial reflections include articles that contributed to formulating sociological and anthropological perspectives. However, there is a notable lack of empirical studies based on the collection of reliable statistical data and of results from ethnographic field work, as well as investigation of documentary archives and institutional analyses of the agencies responsible for public order. Research groups and laboratories have been established in universities and social science research centers in various states, many of them of national significance. This was crucial for the national consolidation, over three decades, of the area of violence studies, and to achieve international recognition of the decisive support provided by research funding agencies such as CNPq, CAPES, FINEP, and the state FAPs. In the state of São Paulo, FAPESP - aware of the scale and complexity of issues related to public security, has contributed through targeted funding programs and various types of institutional support. This included financing centers for research excellence, such as NEW-CEPID/USP and CEM, to consolidate innovation and knowledge outreach about violence, crime, public security, justice, human rights, and urban inequality in this field of study.

THE STATE, PUBLIC ORDER, AND LEGAL CONTROL OF CRIME AND VIOLENCE

A question must be asked when considering the dynamics of violence in contemporary Brazilian society during the globalization era: How the State - through its agencies and agents, and governments - through their public security and justice policies, can exercise control over public

order? To respond to this general question, we must ask: With what means, resources, and funds can they implement these measures? Which institutional and social actors are recruited for legal control tasks? How do we mobilize sectors of public opinion and organized civil society to agree with political frameworks and their mission and action statements, even when they generate institutional, physical and symbolic violence, practiced by judicial, police and prison agents?

Three main questions arise in this debate: the first relates to the legitimate state monopoly of violence; the second considers the administration of criminal justice; the third deals with the formulation and implementation of public security policies, including imprisonment and sentencing guidelines. As highlighted by classical political sociology, this type of monopoly is required by the modern State. In other words, the State, according to Max Weber, is the only political institution that has the "right" to employ violence under specific circumstances, established by law. No individual instance has the right to resort to violence to resolve personal issues, except when prescribed in the legal statutes (Weber, 1974). Certainly, this classical concept is currently the object of severe criticism. Michael Wieviorka (1998) argues that the Weberian proposal is superseded in the light of current conceptions of violence. Despite these criticisms, many nation-states, at the end of the 19th century and during the first half of the 20th century, sought to control the violence of citizens against citizens, of citizens against the State, and of the State against citizens in general. Thus, what can be said of countries like Brazil, which has never managed to universalize this state and public monopoly, where the frontiers between private interest and public concern are indistinct or confused, where the power of the strongest is imposed on the common good, and where legal restraints have no force.

Observation shows that in public opinion and common sense, collective feelings that crime is growing and becoming more violent, and that criminals go unpunished are common¹¹. Paradoxical-

¹¹ The state of Rio de Janeiro serves as an example of the low levels of punishment: of the 3903 cases of intentional homicide reported in 2015, only 14.6% had been registered by the state's Public Ministry (MPRJ), with defendants having received their sentences four years after the crime occurrences in only 3.5% of cases (end of 2019) (Monteiro et al., 2020). There is great difficulty in monitoring and measuring impunity in Brazil. The *Sou da Paz* institu-



dos.¹¹ Surpreendentemente, as prisões estão superlotadas, com todas as consequências que se conhecem, inclusive a forte presença de facções do crime organizado nessas instituições. O problema da impunidade conduz à questão de saber como os crimes são punidos. Estamos no terreno da administração dos conflitos.

O funcionamento dos sistemas institucionais de administração desses conflitos responde, em grande medida, tanto pela evolução dos crimes e da violência institucional quanto pelo fracasso de propostas de mudanças legais, de reformas das polícias e da implementação de políticas públicas de segurança e justiça consonantes com o Estado democrático de direito. No Brasil, não se pode falar rigorosamente em sistema de justiça criminal – um complexo articulado de órgãos, instituições, práticas e ações profissionais no campo das leis penais – tal como esse conceito é empregado na tradição anglo-saxã de justiça. Cada segmento institucional – polícias, ministério público, tribunais e sistema penitenciário – opera segundo lógicas próprias; seus agentes orientam suas ações segundo padrões locais de cultura organizacional e, não raro, revelam compreensões singulares de suas missões constitucionais.

De fato, a Constituição de 1988 estabeleceu um modelo de segurança pública descoordenado, sem definição clara das competências do governo nacional e dos mecanismos de coordenação das ações das três esferas de governo que caracte-

rizam nossa federação, bem como excessivamente detalhista quanto às responsabilidades dos estados, dificultando sua adaptação às necessidades e especificidades de cada um.

Se, nas áreas sociais, legislação e normas infraconstitucionais permitiram a cooperação entre as esferas federal, estadual e municipal no provimento de educação, saúde e assistência social, isso não ocorreu na segurança pública, a despeito de alguns esforços de formulação de diretrizes nacionais.

Convém destacar alguns paradoxos que estão na raiz das fortes resistências sociais e políticas às mudanças que poderiam contribuir para reduzir o hiato entre o potencial de violência na sociedade e a capacidade do poder público de contê-la. Esses paradoxos aludem, por um lado, à observância de marcos legais e diretrizes político-institucionais capazes de assegurar direitos de quem quer que seja, inclusive daqueles acusados do cometimento de crimes, e, por outro, à promoção de segurança pública independentemente de clivagens de classe, poder, gênero, raça e etnia, origem nacional ou migratória.

Um dos paradoxos diz respeito ao princípio constitucional da igualdade jurídica.

No Brasil, desde 1891, a Constituição prescreve que todos são iguais perante a lei¹². As Constituições republicanas subsequentes, ao enunciarem esse princípio, afirmam que todos os diferentes cidadãos, por maiores que sejam suas diferenças, partilham um mínimo comum de direitos. Entretanto, opondo-se a esse princípio constitucional, o saber jurídico ensinado nas Faculdades de Direito e que orienta as práticas dos agentes nas instituições policiais e judiciais costuma enunciar-se diferentemente. A igualdade jurídica ganha

ly, prisons are overcrowded, with all the predictable consequences, including the established presence of organized crime groups in these institutions. The problem of impunity leads to the question of knowing how crimes are punished. Here we are in the area of conflict administration.

Overall, the functioning of institutional conflict management systems is responsible for both crime evolution of and institutional violence, for the failure of proposals of legal and police reforms, and for the implementation of justice and public security policies in line with the democratic rule of law. In Brazil, we cannot speak strictly of a criminal justice system – a complex set of agencies, institutions, procedures, and professional actions in the field of criminal law – as the concept is used in the Anglo-Saxon tradition of justice. Each institutional element – police, prosecutor's office, courts, and the penitentiary system – operates according to its own logic; their agents guide their actions depending on local standards of organizational culture, and frequently demonstrate idiosyncratic understandings of their constitutional role.

The 1988 Constitution indeed established a public security model that lacks coordination and does not clearly define the Federal Government's responsibilities or coordination mechanisms for joint action between the three spheres of government that characterize the Brazilian federation. Moreover, the definition of State responsibilities was excessively detailed, which hindered its adaptation to local needs and specificities.

If for social issues legislation and infra-constitutional norms allowed for cooperation between the federal, state and municipal levels in providing education, health, and social assistance, this was not the case for public security, despite efforts to formulate national guidelines.

Noteworthy are some of the paradoxes at the root of the strong social and political resistance to changes that could help shorten the gap between the potential for violence in society and the capacity of public institutions to contain it. On the one hand, they are associated with the observance of legal frameworks and political-institutional guidelines able to

te, in an effort to measure reporting rates for intentional homicide in Brazilian states, obtained information from only 12 states, and observed an enormous disparity between them: the reporting rate for homicides observed in 2016 and determined at the end of 2017 ranged from 73% in Mato Grosso do Sul, 51% in São Paulo, 31% in Paraná, and 10% in Pará (Instituto Sou da Paz, 2019).

¹¹ Como exemplo das baixas taxas de punição, no Rio de Janeiro, dos 3.903 casos de homicídios dolosos registrados em 2015, apenas 14,6% haviam sido denunciados pelo MPRJ e somente em 3,5% dos casos o réu já tinha recebido uma sentença após 4 anos do crime ter ocorrido (fim de 2019) (Monteiro et al., 2020). Há uma grande dificuldade em acompanhar e medir a impunidade no Brasil. O Instituto Sou da Paz, em um esforço para mensurar taxas de denúncias de homicídios dolosos entre estados brasileiros, só conseguiu encontrar informações para 12 estados e revelou uma enorme disparidade entre eles: a taxa de denúncias de homicídios registrados em 2016 e contabilizadas no fim de 2017 era de 73% no Mato Grosso do Sul, 51% em São Paulo, 31% no Paraná e 10% no Pará (Instituto Sou da Paz, 2019).

¹² A propósito, convém sublinhar que a Constituição de 1824, em seu art. 179, inciso XIII (Brasil, 1824), estabeleceu que a lei será igual para todos, quer proteja, quer castigue, ou recompensará em proporção dos merecimentos de cada um. Verdade que a lei ser igual para todos não é a mesma coisa que todos serem iguais perante a lei, como disse o escritor Bernard Shaw.

ensure rights for all, including those accused of committing crimes; on the other hand, with the promotion of public security irrespective of distinctions of class, power, gender, race and ethnicity, and national or migratory origin.

One of these paradoxes involves the constitutional principle of judicial equality. In Brazil, since 1891, the Constitution stipulates that all citizens are equal before the law¹². In formulating this principle, subsequent republican Constitutions have determined that all citizens, as significant as their differences may be, share a common minimum of rights. However, in contrast to this constitutional principle, the judicial knowledge taught at law schools and that informs the practices of agents in judicial and police institutions tends to function differently. In practice, judicial equality gains a new appearance and can become the equality of different individuals, as it is in the Constitution, the equality of similar individuals, or even the inequality of different individuals, enforcing rights according to status and social condition. It is the judge who selects one of the options, thereby determining which of these different concepts will be applied to the concrete case (Oliveira, 2011, 2018; Lima, 2008, 2019).

This ambiguity is also manifest in the legislation and its codes. On at least two occasions, the Criminal Process Code, the main instrument that guarantees individual citizens' rights when being accused, determines certain legal privileges during criminal proceedings and their development. This is the case with special detention – a privilege granted to certain categories of prisoners who, because of their profession, are detained separately from the rest of the prison population during their trials. This does not reflect the crime they are accused of, but rather some special condition (higher education, for example). Another case is the so-called privilege for special forum by function prerogative, granted to the approximately 40,000 public servants who are not judged by district court judges, but by circuit judges (Cavalcante Filho & Lima, 2017). These illustrative examples problematize the current conception in the legal field according to which the defendant, regardless of the gravity of their

nova roupagem. Na prática, ora pode ser a igualdade dos diferentes, como está na Constituição, ora pode ser a igualdade dos semelhantes, ou ainda a desigualdade dos diferentes. Quem resolve qual dessas concepções se aplica ao caso concreto é o juiz que pode escolher tanto uma como outra (Oliveira, 2011, 2018; Lima, 2008, 2019).

Essa ambiguidade também se exprime na lei e em seus códigos. No mínimo em duas ocasiões, o Código de Processo Penal, instrumento fundamental para o exercício das garantias dos direitos individuais dos cidadãos quando acusados, institui privilégios legais durante a duração e o desenvolvimento do processo penal. Este é o caso da *prisão especial*, privilégio aplicado a certas categorias de presos que, em função de sua ocupação profissional, devem ser mantidos separadamente dos presos comuns enquanto durar o processo, não em função do crime de que são acusados, porém em razão de sua condição especial (educação superior, por exemplo). Outro caso é o chamado privilégio que é denominado *foro especial por prerrogativa de função*, aplicado aos aproximadamente 40.000 ocupantes de cargos públicos, que não devem ser julgados por juízes de primeira instância, mas sim por tribunais colegiados (Cavalcante Filho & Lima, 2017). Conquanto ilustrativos, esses casos borram as imagens correntes no campo jurídico segundo as quais qualquer acusado, independentemente da gravidade do crime cometido ou de seus atributos sociais e identitários, deve merecer igual tratamento perante as leis penais.

Outras situações também concorrem para reforçar esse paradoxo. Referem-se a dois princípios processuais: a lógica do contraditório e as heranças inquisitoriais da apuração dos fatos implicados na transgressão penal e na correspondente imputação de responsabilidade aos acusados.

O princípio do contraditório, que consiste no direito daquele que é acusado de se defender da acusação, não se confunde com a lógica do contraditório. Esta, especialmente no processo penal, mas não só nele, atualiza esse princípio por meio de uma lógica

que obriga as partes em litígio a discordar obrigatoriamente até que uma terceira parte, que possui poder institucional ou acadêmico superior a elas, decida quem ganha e quem perde a disputa. Segundo essa lógica, prevalece o argumento de autoridade, em prejuízo da autoridade do argumento. O saber jurídico, também constituído por intermédio dessa forma, resulta em um saber *doutrinário*, isto é, que formula modelos normativos voltados para o dever ser e sem maiores preocupações com os fatos. Trata-se de um saber fundado em *opiniões autorizadas*, que valem publicamente pelo prestígio que seus enunciadores possuem. É igualmente um método que orienta as disputas judiciais. A lógica do contraditório entrega à autoridade do juiz a decisão dos litígios, ou das lides, como se denominam processualmente. De novo, não são as partes, mas é o juiz quem decide não só quais são os fatos, mas também qual é a melhor decisão no caso concreto, primeiro decidindo e depois justificando sua decisão. A força dessa lógica processual permite o exercício alargado e quase ilimitado das interpretações emprestadas às leis, códigos e normativas, fundamento de autoridade que não se sujeita à crítica (Mendes, 2012).

Finalmente, resta uma última consideração, que envolve a justiça criminal e o “ethos” policial como um todo. Trata-se da forte propensão inquisitorial não só do processo penal, mas também de outros mecanismos de controle do Estado sobre a sociedade. Essa propensão transforma o processo penal não em uma garantia de direitos, mas em um instrumento do exercício do poder pelos agentes estatais sobre a sociedade. Desde 1871, época da última das três leis processuais penais que foram sucessivamente elaboradas no Império, separou-se formalmente a polícia da justiça, daí a impossibilidade de se falar em sistema de justiça criminal. O significado usual dessa categoria *inquisitorial* costuma se opor à categoria *acusatorial*. No sistema inquisitorial, há uma investigação preliminar e sigilosa para os interessados cujos resultados são registrados por escrito em um cartório policial, que determina “indícios

¹² Regarding this matter, it is noteworthy that art. 179, item XIII of the 1824 Constitution (Brasil, 1824) established that the law is equal for all, whether it is protecting, punishing, or compensating, according to the merits of each individual. It is true, however, as Bernard Shaw observed, that the law being equal for all is different from everyone being equal in the eyes of the law.



crime or their social or individual standing, merits equal treatment before the law.

Other examples also contribute to strengthening this ambiguity. These include two procedural principles: the adversarial principle and the interrogation methods inherited in the determination of the facts involved in criminal transgressions and in the corresponding imputation of responsibility to the defendant.

The adversarial principle, which states that each party should be duly summoned and given the chance to assert their rights and present their arguments, should not be confused with adversarial reasoning. During criminal proceedings, this principle is updated applying a reason that obliges the litigants to necessarily disagree until a third party, which has greater institutional or academic standing, decides who wins the dispute. According to this reasoning, the argument from authority (*Argumentum ad verecundiam*) prevails over the authority of the argument. Legal knowledge, also constituted by these means, becomes a doctrinal knowledge that formulates normative models focused on prescription without further consideration of the facts. It is knowledge grounded in authorized opinions, which gain public value from the prestige of whoever promulgates them. It is equally a method that guides judicial disputes. The adversarial principle grants the decision about the litigation, or the pending suits, as they are described procedurally, to the judge's authority. Again, it is not the litigants, but judges who decide not only what the facts are, but also which decision is better in the concrete case, first deciding and, subsequently, justifying their decision. The force of this procedural reasoning enables expansion and unlimited exercise of the interpretation of the laws, codes, and norms, grounded in authority that is not subject to criticism (Mendes, 2012).

One last consideration remains regarding criminal justice and the police "ethos" as a whole. It involves a strong inquisitorial tendency not only during criminal proceedings but also from the other mechanisms of state control over society. This propensity transforms criminal proceedings into an instrument for the exercise of power of state agents over society, rather than as a guarantor of rights. Since 1871, the period when the last criminal procedural laws that were successively established during the empire were drafted, the police have been formally separated from justice, making it impossible to speak of a criminal justice system as such. The usual meaning of the inquisitorial category tends to be opposed to the accusatorial category. In the inquisitorial system, there is a preliminary and confidential investigation of the involved parties, the results

of which are reported in writing at a police notary's office that determines the "evidence of materiality and authorship" of the crime. The defendant is then sent to a criminal trial, that is, to the criminal justice, which is responsible for defining the "truth of the facts".

This system of progressive inculpa-tion functions unequally for defendants. Firstly, as ethnography and documenta-ry research have shown, arrests by mili-tary police during on duty policing have to be validated at the judicial police sta-tion in records of *flagrante delicto*. The preferential targets include Black, poor youths, who once caught red-handed, ar-rested, and booked, rarely escape convic-tion. In practice, there is a presumption of guilt from the outset. However, since the promulgation of the 1988 Constitution, the criminal code has stipulated that on-ly the Prosecutor's Office can prosecute, which means recognizing the accusato-rial weight of the trial, including adopt-ing the principle of presumption of inno-cence. Therefore, the constitutional norm sought to deny the inquisitorial charac-ter of criminal (and administrative) pro-ceedings.

In routine proceedings at police stations and courts, the criminal process holds a strongly inquisitorial character connect-ed to other accusatorial elements. The re-sult is the impossibility of speaking of "due process of law" in Brazil. The princi-ple of presumption of innocence is invert-ed, going from a postulate to be respect-ed by the prosecution, to a responsibility to be guaranteed by the defendant and their legal team. Thus, assuming that the trial seeks only the "real truth" and that the judge has unrestricted power to ob-tain it, means presuming that the police's truth should prevail over all legal proce-dural guarantees, even when this truth has been obtained through illicit means or when the defendant has no access to ample means and resources for defense, as it occurs for the absolute majority of those involved in criminal proceedings.

In this context, it is not unusual that re-cent innovations in criminal legislation and procedures, such as the creation of spe-cial criminal courts (JECRIMs), the institu-tion of custody hearings, plea bargaining, and non-prosecution agreements tend to have a limited reach as well as restricted functionality and efficacy in the light of the intended institutional objectives (Li-ma & Mouzinho, 2016). Over time, these innovations ended up being reinterpreted and absorbed into the routine procedures of the mixed inquisitorial and accusato-rial reasoning of the criminal proceed-ings, with this double movement acting as a powerful barrier to modernizing legal control procedures for crime and violence.

de materialidade e autoria" de um crime e encaminha o "indiciado" pelo delegado ao processo penal, isto é, à justiça crimi-nal à qual cabe definir a verdade dos fatos.

Esse sistema de inculpação progressiva funciona desigualmente para os acusados. Em primeiro lugar, conforme mostram et-nografias e pesquisas documentais, por-que as prisões efetuadas pela polícia mili-tar durante o policiamento ostensivo têm que ser validadas na delegacia de polícia judiciária em "autos de flagrante". Seus alvos preferenciais compreendem negros, pobres e jovens, que, quando presos e au-tuados, dificilmente escapam à condena-ção. Então, na prática, esse processo pre-sume a culpa desde seu início. No entanto, a partir da Constituição de 1988, a doutri-na penal determinou que apenas o Minis-tério Público pode acusar, o que equivale a reconhecer a predominância acusato-rial do processo, inclusive com respeito ao princípio da presunção da inocência. Des-ta forma, a norma constitucional preten-deu negar a característica inquisitorial do processo penal (e administrativo).

Ora, na prática cotidiana nas delegacias de polícia e nos tribunais, o processo penal guarda uma combinação de fortes elemen-tos inquisitoriais acoplados aos elementos acusatoriais. O efeito dessa combinação é a impossibilidade de se falar em "devido pro-cesso legal" no Brasil. Inverte-se o princí-pio da presunção da inocência que, de pos-tulado a ser respeitado pelas autoridades acusatórias, passa a ser encargo do acusa-do e de seu defensor legal. Assim, admi-tir que o processo busque exclusivamente uma "verdade real" e que o juiz tenha po-deres ilimitados para alcançá-la é presu-mir que a verdade policial deve prevalecer para além das garantias legais processuais, mesmo que ela tenha sido obtida por meios ilícitos, principalmente quando o acusado não dispõe de meios e recursos amplos de defesa, como é o caso da maioria absolu-ta dos envolvidos nos processos criminais.

Por tais características, não é estranho que recentes inovações na legislação pe-nal e processual penal, tais como a tran-sação penal (*plea bargain*), a criação dos

Juizados Especiais Criminais (JECRIMs), a instituição das Audiências de Custódia e a introdução de Colaborações Premiadas e do Acordo de Não Persecução Penal, tendam a ter alcance limitado bem como restritas funcionalidade e eficácia diante dos objetivos institucionais propostos (Lima & Mouzinho, 2016). No curso do tempo e no cotidiano, essas inovações acabam reinterpretadas e absorvidas pela lógica mista inquisitorial e acusatorial do processo penal, constituindo esse duplo movimento em poderoso obstáculo à modernização das práticas de controle legal dos crimes e da violência.

A par desses mecanismos institucionais de apuração dos crimes e imputação de responsabilidade penal, as missões constitucionais do Estado brasileiro em prover segurança pública ocorrem por meio de políticas públicas realizadas por agências tanto do governo federal quanto dos governos estaduais. Embora caiba ao governo federal estabelecer diretrizes gerais para controle da ordem pública, a formulação e execução dessas políticas são encargo e responsabilidade dos governos estaduais, o que é uma fonte sempre inesgotável de conflitos e tensões entre ambas as esferas do Poder Executivo.

Antes da Constituição de 1988, havia entre cientistas sociais quem sustentasse não haver, no Brasil, rigorosamente políticas públicas de segurança. A repressão à dissidência política mesclava-se com a repressão ao crime comum e à violência em geral. A partir da transição democrática, o governo federal, por meio do Ministério da Justiça, tomou a si a tarefa de explicitar diretrizes que podem ou não ser acatadas pelos executivos estaduais. De modo geral e por razões anteriormente explicitadas, a Constituição não alterou a espinha dorsal dessas políticas. Segmentou em órgãos especializados as tarefas de repressão e prevenção do crime, de apuração de responsabilidade penal e de cumprimento de sentenças condenatórias com privação de liberdade. Conferiu maior peso à repressão, definindo as forças militares estaduais como forças auxiliares do Exér-

cito¹³, que serviu de modelo organizacional quanto aos padrões de ação, desempenho e relações hierárquicas internas. Não sem motivos, policiais militares são treinados para agir como se estivessem em uma guerra, cujo inimigo é o bandido que deve ser eliminado. Daí porque o uso abusivo e arbitrário da força coercitiva não lhes pareça reprovável, sendo considerado desfecho natural diante de enfrentamentos com a delinquência e o crime organizado que colocam em risco a vida de policiais e de civis não envolvidos.

As maiores vítimas da violência policial são os trabalhadores de baixa renda, moradores em bairros que compõem as chamadas periferias das regiões metropolitanas. Entre esses, são os adolescentes e jovens adultos, do sexo masculino, negros, não raro sem qualquer envolvimento com crime e violências, os alvos preferenciais das intervenções policiais com desfechos fatais. Nessas ações, o racismo da sociedade brasileira salta aos olhos. Paradoxalmente, parte substantiva dos cidadãos e cidadãs brasileiros, inclusive entre os mais destituídos dos direitos e suas garantias, apoia essas ações policiais arbitrárias em suas demandas por lei e ordem a qualquer custo.

A despeito das críticas da sociedade civil organizada, sobretudo dos movimentos de defesa de direitos humanos, essa sorte de violência institucional vem sendo agravada com o crescente e cada vez mais socialmente enraizado processo de militarização da sociedade brasileira. Embora não seja processo exclusivamente brasileiro, ele vem há décadas conquistando ampla aceitação entre os mais variados segmentos dessa sociedade, em especial de parte da elite econômica, de políticos profissionais e, sobretudo, das corporações encarregadas de controle da ordem pública, civis e militares. Esse processo busca convencer cidadãos e cidadãs de que uma sociedade segura

Alongside the institutional mechanisms for criminal investigations and imputation of legal responsibility, the constitutional role of the Brazilian state is to ensure public security through public policies implemented by both state and federal government agencies. Although it is the Federal Government that establishes the general framework to maintain public order, the formulation and implementation of these policies is the responsibility of state governments, which becomes a source of interminable conflict and tension between these spheres of the Executive Power.

Prior to the 1988 Constitution, some social scientists argued that Brazil had no public security policy, with the repression of political dissidents overlapping the control of common crime and violence in general. Starting from the democratic transition, the Federal Government, through the Ministry of Justice, assumed the task of formulating guidelines that could potentially be adopted by state executives and, for reasons previously outlined, the constitution did not alter the underpinning of these policies. It divided the tasks into specialized agencies for crime prevention and repression, for investigation of criminal culpability, and for the fulfillment of sentences involving deprivation of liberty. This gave greater weight to repression, defining State military forces as an auxiliary force for the Army¹³, which acted as an organizational model for standards of action, performance, and internal hierarchical relationships. Understandably, military police are trained to act as if they are at war, with criminals as enemies to be eliminated. Thus, the abusive use of arbitrary coercive force seems reasonable to them, being viewed as a natural consequence given the confrontation with delinquency and organized crime that places the life of police and uninvolved citizens at risk.

The most common victims of police violence are low-income workers and residents in neighborhoods on the outskirts of metropolitan regions. Of these, male, Black adolescents and young adults, commonly without any connection to crime or violence, are the preferential targets of police interventions with fatal outcomes. In these actions, racism becomes clear in Brazilian society. Paradoxically, a substantial portion of Brazilian citizens, including those most deprived of rights and guarantees, support these arbitrary police

¹³ Convém observar que esse cenário precede a Constituição Federal de 1988. Durante a vigência da ditadura, os nomes dos secretários estaduais de segurança pública, propostos pelos governadores, eram examinados e aprovados ou não pelo governo federal.

¹³ Notably, this scenario preceded the 1988 Federal Constitution. During the dictatorship, the names of public security state secretaries, proposed by governors, were considered and approved or denied by the Federal Government.

actions in their demands for law and order at any cost.

Despite criticisms from organized civil society, especially by human rights defense movements, this type of institutional violence has been intensified by the evermore socially entrenched process of militarization of Brazilian society. Although this process does not occur exclusively in Brazil, it has for some time been gathering significant support among the most varied segments of society, notably among the economic elites, professional politicians and, especially, the actors charged with controlling civil, public and military order. This process seeks to convince citizens that a safe society is an armed society, prepared to respond with lethal force to any action that threatens the established order. To this end, forces need to be trained, equipped with weapons and state-of-the-art technology, and assisted by specialized companies and specialists, including retired police, police academy teachers and risk analysts. Militarization also means violently anticipating any situations assessed as serious, such that responses that lead to massacres and the death of innocents receive no moral condemnation. The current Federal Government (2018-2022) seeks to facilitate access for the largest number of citizens to ownership and possession of firearms, as well as expanding military schooling for primary and secondary students¹⁴.

This tendency is not restricted to the sphere of action recognized as properly related to the field of public security. Strongly militarized repression of collective protests and of civil disobedience is also increasingly recurrent. As Hanna Arendt (1973) remembered, such

é uma sociedade armada, preparada para responder com força letal a qualquer suspeita de ação que pareça ameaçar a ordem constituída. Para tanto, as forças precisam estar treinadas, equipadas com armamentos e com tecnologias de última geração, assessoradas por empresas especializadas e especialistas, entre os quais policiais aposentados, professores de academia de polícia, analistas de cenários de risco. Militarização significa também antecipar-se com violência à probabilidade de ocorrências julgadas graves, daí porque respostas que implicam massacres e mortes de inocentes não esbarrem em interditos morais. Por isso, constituem metas do atual governo federal (2018-2022) facultar acesso do maior número de cidadãos à propriedade e posse de armas de fogo, bem como expandir o ensino militar para as escolas básica e média¹⁴.

Essa tendência não se atém ao raio de ação do que se reconhece propriamente como campo da segurança pública. É também cada vez mais recorrente a repressão fortemente militarizada aos protestos coletivos e às manifestações de desobediência civil. Como bem lembra Hannah Arendt (1973), tais movimentos constituem sintomas de revitalização da vida democrática, pois que cobram dos governos e das autoridades políticas que cumpram compromissos fundamentais para com o exercício das liberdades civis e públicas. No en-

As maiores vítimas da violência policial são os trabalhadores de baixa renda, moradores em bairros que compõem as chamadas periferias das regiões metropolitanas.

Entre esses, são os adolescentes e jovens adultos, do sexo masculino, negros, não raro sem qualquer envolvimento com crime e violências, os alvos preferenciais das intervenções policiais com desfechos fatais.

¹⁴ A notable example of this support, especially among the higher socioeconomic strata of the social hierarchy, for the abusive use of force by civil and more frequently military police, leading to the death of poorer Black people, was the reception of the film *Tropa de elite*. The unrestrained use of violence by “captain Nascimento” inspired a certain idolatry of this character. So much so that the film *Tropa de Elite 2* can be considered a significant “erratum”, in which the film’s director attempts to correct the popular reception of the first film. In one of the first scenes of *Tropa de Elite 2*, the official is warmly applauded on entering a restaurant of Rio de Janeiro, which bothers him, because he is aware that the applause stems from an equivocal idea, that of praising violence against the poorest as a public security solution. It is probable, however, that such a reception would occur even today.

¹⁴ Exemplo significativo do apoio, sobretudo entre os estratos socioeconômicos mais elevados das hierarquias sociais, do uso abusivo da força por agentes policiais, civis e com maior frequência militares, resultando em mortes de negros do mundo pobre, foi a recepção do primeiro filme *Tropa de elite*. O uso ilimitado da violência pelo “capitão Nascimento” suscitou certa idolatria desse personagem. Tanto assim que o filme *Tropa de elite 2* pode ser considerado como uma grande “errata”, em que se tenta corrigir a recepção popular da película precedente. Em uma das primeiras sequências de *Tropa de elite 2*, o oficial é aplaudido intensamente ao entrar em um restaurante do Rio de Janeiro, o que o incomoda, porque percebe que os aplausos partem de uma premissa errada, a do elogio à violência contra os mais pobres como solução para a insegurança pública. Contudo, é provável que ainda hoje essa recepção continue prevalecendo.



movements are expressions of a revitalized democratic life since they demand policies from governments and authorities that fulfill fundamental promises for the exercise of civil and public liberties. However, from the perspective of some leaders and commanders of the military forces, such protests place the public order at risk. Within the imaginary of those who bet on rigorous social control, these events upset the predictability of urban life, especially productive activities, and make the public order vulnerable to the attack of diverse types, including by organized crime and terrorists. Notably, when the National Security Law (1983) was revoked and replaced by a law defending the Rule of Law (Law no 14.197, September 1, 2021, Brasil, 2021a), president Jair Bolsonaro vetoed the inclusion of article 359-S, which made “interfering through violence or serious threat in the free and peaceful exercise of political parties, social movements, unions, vocational organizations or other political, ethnic, racial, cultural or religious groups” a crime and, with this, eliminated a chapter that carried the title *CRIMES AGAINST CITIZENSHIP*¹⁵.

A result of the evermore militarized security is cities increasingly controlled by a policing model that especially invests in strongly armed specialized police, dedicated to repressive actions and missions in low-income neighborhoods. Rio de Janeiro is a model of this sort of approach, with the main state strategy to combat organized crime being the use of militarized police repression leading to enormous state violence. In 2021, the state recorded 1356 deaths from police actions (ISP-RJ)¹⁶, which represents a rate of 7 deaths by state agents per 100,000 people.

Situations such as these contribute to intensifying processes of urban social segregation, with associated consequences including growing social inequality: restrictions to mobility, to access to institutions responsible for distributing and encouraging social justice, and limitations on universal enjoyment of public and civil liberties. Residents of neighborhoods with poor urban infrastructure and little access to schools, healthcare, and police stations need to learn to live and circulate within the restricted limits imposed on the one hand, by the intrusive presence of the military police and on the other hand, by the presence – if not throughout the whole urban pe-

¹⁵ See the message of the presidential veto, available at: (Brasil, 2021b). On the same occasion, numerous other mechanisms that increased the democratic character of the state were also vetoed.

¹⁶ Cf. Instituto de Segurança Pública (2022).

riphery, at least in extensive areas of it – of criminal groups that dominate illegal drug trafficking and of militias – groups emerging from connections between state agents and criminals. No democratic society survives when a large part of its citizenry does not enjoy complete freedom, as set forth in the Constitution, and that should be guaranteed by social and political institutions¹⁷.

Public policy shortcomings appear in at least two other areas of governmental responsibility. Firstly, in the so-called targeted security policies, focused on protecting the rights of women, children, adolescents, Black and Brown people, the LGTBQIA+ community, immigrants, and older people. There are frequent recurring complaints about inefficient action to curb misogyny, racism, and all types of prejudice. Except for instances where there is significant media attention, these crimes go uninvestigated or, when they are, inadequate police investigation hampers any success in the judicial sphere, undermining any expectation to achieve justice for the victims.

Secondly, studies have also found that, even for crimes with strong indications of involvement by organized crime, like those involving illegal drugs and money laundering, police interest in investigating them is uncertain. This is because high-visibility criminal actions, such as attacks on ATMs or public transportation, and storage of large amounts of drugs, are prioritized. Part of the problem is that these efforts target individual cases, and not groups, networks, or markets. As a consequence, public security policy has not managed to control the expansion and actions of these groups in the long-term. Evidence from Rio de Janeiro shows an increased presence of drug factions and militia groups in its metropolitan region and an expansion of associated economic activities (Monteiro et al., 2022).

Dealing with these problems requires investment in scientific research on crime and violence to help us respond to fundamental issues and more adequately combat organized crime: What strategies for the sale or provision of different services are adopted by organized crime? Which illegal businesses generate greater profit? Which characteristics of local markets determine the entry of a group into an illegal activity? Which favelas are strategically impor-

tanto, sob a ótica de alguns governantes e de comandantes das forças militares, tais protestos põem em risco a ordem pública. No imaginário daqueles que apostam em controles sociais rigorosos, tais acontecimentos perturbam a regularidade da vida urbana, em especial de suas atividades produtivas, e tornam a ordem pública vulnerável a ataques de qualquer espécie, do crime organizado a atos terroristas. Note-se, por sinal, que, ao ser revogada a Lei de Segurança Nacional (de 1983) e substituída por uma lei de defesa do Estado de direito (Lei nº 14.197, de 1º de setembro de 2021, Brasil, 2021a), o presidente Jair Bolsonaro vetou a inclusão do artigo 359-S, que tornava crime “Impedir, mediante violência ou grave ameaça, o livre e pacífico exercício de manifestação de partidos políticos, de movimentos sociais, de sindicatos, de órgãos de classe ou de demais grupos políticos, associativos, étnicos, raciais, culturais ou religiosos” e, com isso, eliminou um capítulo que tinha por título DOS CRIMES CONTRA A CIDADANIA¹⁵.

Resultado da militarização crescente da segurança são cidades cada vez mais cercadas e um modelo de policiamento que investe, sobretudo, em forças policiais especiais fortemente armadas, dedicadas a ações de repressão e abordagens em bairros de baixa renda. O Rio de Janeiro é o estado referência nesse tipo de abordagem, onde a principal estratégia estatal para enfrentar o crime organizado é o uso da repressão policial militarizada que gera uma enorme violência estatal. Em 2021, esse estado registrou 1.356 mortes em ação policial (ISP-RJ)¹⁶, o que representa uma taxa de 7 pessoas mortas por agentes de estado por 100.000 habitantes.

Situações como essa contribuem para consolidar processos de segregação social urbana, com o encadeamento de todas as demais consequências em termos do agra-

vamento das desigualdades sociais: restrições à mobilidade, ao acesso a instituições encarregadas de distribuir e promover justiça social, limitações ao exercício universal das liberdades públicas e civis. Para os moradores dos bairros com precárias condições de infraestrutura urbana e de acesso às escolas, postos de saúde, delegacias de polícia, é preciso aprender a viver e se movimentar nos estritos limites impostos, por um lado, pela presença ostensiva de policiais militares e, por outro, pela presença – se não em toda a periferia urbana, ao menos em expressivas parcelas do território – das facções que dominam o tráfico ilegal de drogas e das chamadas milícias, grupos resultantes da articulação entre agentes públicos e criminosos. *Nenhuma sociedade democrática subsiste se grande parte de seus cidadãos e cidadãs não desfruta de liberdade plena, consagrada na Constituição e que deveria ser assegurada pelas instituições sociais e políticas*¹⁷.

As lacunas das políticas públicas ainda se manifestam em ao menos duas outras áreas de intervenção governamental. Primeiramente, nas chamadas políticas de segurança especializadas, voltadas para proteger os direitos das mulheres, das crianças e adolescentes, dos pretos e pardos, da população LGTBQIA+, dos migrantes, dos idosos. Queixas são frequentes e recorrentes contra a insuficiência das ações para conter a misoginia, o racismo, os preconceitos de toda espécie. Salvo naquelas ocorrências de grande repercussão na mídia e na opinião pública, os crimes não são investigados ou, quando o são, a precariedade de inquéritos policiais impede que as ações prosperem na esfera judicial, comprometendo a expectativa de realização de justiça para as vítimas.

Estudos igualmente têm observado que até mesmo nos crimes em que há fortes indícios de presença e participação do crime

¹⁷ In this context, a particular case of occupation of an area called *cracolândia* (a territory with constant presence of many homeless crack-cocaine users) in the municipality of São Paulo combines two different problems: drug abuse by a large number of people and the illegal cocaine market.

¹⁵ Ver mensagem de veto presidencial, disponível em Brasil (2021b). Na mesma ocasião, vários outros dispositivos também foram vetados, que aumentariam o teor democrático do Estado.

¹⁶ Cf. Instituto de Segurança Pública (2022).

¹⁷ Nesse cenário, um caso particular de ocupação do território é a chamada *Cracolândia*, no município de São Paulo, que mescla dois problemas diferentes, mas ali conectados: o consumo abusivo de drogas por elevado número de pessoas e o mercado ilegal do crack.

organizado, como naqueles envolvendo tráfico de drogas ilegais e lavagem de dinheiro, a disposição das autoridades policiais para investigação dos crimes é irregular, porque são privilegiadas as ações criminais espetaculares, como ataques a caixas eletrônicos ou transporte e armazenamento de grandes volumes de drogas. Parte do problema é que os esforços miram alvos individuais, e não os grupos, redes e mercados. Como consequência, as políticas de segurança pública não têm conseguido conter a expansão e a atuação desses grupos ao longo do tempo. A evidência para o Rio de Janeiro mostra um crescimento da presença de facções de drogas e grupos milicianos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro e uma expansão das atividades econômicas exploradas (Monteiro et al., 2022).

Por isso, o enfrentamento dos problemas requer investimentos em pesquisa científica sobre crime e violência que nos ajudem a responder perguntas fundamentais para um enfrentamento mais qualificado do crime organizado: quais as etapas da venda ou prestação de diferentes serviços são exploradas pelo crime organizado? Quais negócios ilícitos geram mais lucros? Quais características dos mercados locais determinam a entrada de um grupo em uma atividade ilícita? Quais favelas são estratégicas para o crime organizado? Qual o nível de confiança e legitimidade dos grupos criminosos e da polícia perante a população civil? O que atrai os jovens a se envolverem com as facções das drogas? As intervenções policiais diminuem ou pioram as disputas entre grupos criminosos?

Não é estranho que o varejo da droga seja o foco da repressão policial. A maior parte dos incriminados nesse comércio ilegal, surpreendidos nas ruas, em habitações ou em estabelecimentos como bares, é constituída de jovens procedentes dos estratos socioeconômicos inferiores das hierarquias sociais. Encarcerados, vão ser recrutados por organizações criminosas, inclusive pela principal organização criminosa do estado de São Paulo, o Primeiro Comando da Capital (PCC). Nelas constroem trajetórias que podem combinar de modo simultâneo

uma miríade de situações incontroláveis, tais como êxito momentâneo, posições de liderança, sucessivas entradas e saídas das cadeias, violência institucional, submissão às regras draconianas da organização e até morte prematura.

Por isso, ao falar em políticas públicas de segurança, não se pode ignorar o cenário atual das prisões no Brasil. Conforme Figura 2, considerando o período de 1969 a 2020, a tendência é o crescimento da população encarcerada sem interrupções.

Em 1969, havia 28.538 presos no Brasil, o que correspondia a uma taxa de 30 presos por 100.000 habitantes. Em 1988, já eram 88.041 presos, número correspondente à taxa de 65,1/100.000; em 2000, 211.953 presos (134,9/100.000); 2006, 401.236 (214,8/100.000). Nos anos subsequentes, os números e consequentes taxas só aumentaram (Ministério da Justiça e IBGE, *apud* Adorno & Salla, 2007). No ano de 2020, foram contabilizadas 753.966 pessoas privadas de liberdade no sistema penitenciário nacional, o que representa um aumento de 0,8% em relação ao ano anterior. Em termos relativos, havia no país, em 2020, 358,7 presos por 100.000 habitantes, uma taxa que coloca o país em terceiro lugar no ranking populacional prisional. Dessa população, aproximadamente 30% estão concentrados no estado de São Paulo (218.930 presos) (Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2022).

Agrava esse cenário o déficit de vagas que monta a 248.107 (Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2022), fonte das precárias condições de vida prisional, que tornam o ambiente favorável à proliferação de facções do crime organizado, inicialmente visíveis nos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo e recentemente espalhadas por todo o território nacional (Manso & Dias, 2018). Como vêm apontando vários estudos, esse crescimento vertiginoso desde a década de 1970 é em grande medida resultado da política de segurança orientada pelo propósito de “guerra às drogas”, que impulsionou o processo de militarização do controle social sobre as cidades e o encarceramento em massa de jovens do se-

tant for the organized crime? What is the degree of trust and legitimacy of criminal and police organizations for civil society? What attracts youths to become involved in drug factions? Do police interventions improve or worsen disputes between criminal groups?

It is not surprising that drug trade be the focus of police action. Most of those incriminated in this illegal trade, approached in the streets, residences, or in establishments such as bars, are young people from lower socioeconomic sectors of society. Once incarcerated, they are recruited by criminal organizations, including the First Command of the Capital (PCC) - the main criminal organization in the state of São Paulo. In these organizations, they undergo trajectories that can simultaneously combine countless uncontrollable situations, including temporary success and leadership positions, successive stays in jail, institutional violence, submission to draconian rules, and even premature death.

Therefore, when considering public security policies, Brazil's current prison situation cannot be ignored. According to Figure 2, from 1969 to 2020, the incarcerated population shows a steady growth trend.

In 1969, there were 28,538 prisoners in Brazil, which corresponded to a rate of 30 people per 100,000 inhabitants. In 1988, this figure increased to 88,041 prisoners, corresponding to a rate of 65.1/100,000; in 2000, there were 211,953 prisoners (134.9/100,000), and in 2006, the number of prisoners was 401,236 (214.8/100,000). Over the following years, the numbers and consequent rates continued to grow (Ministry of Justice and IBGE, *apud* Adorno & Salla, 2007). In 2020, there were 753,966 people deprived of liberty in the national penitentiary system, corresponding to an increase of 0.8% in relation to the previous year. In relative terms, in 2020, there were 358.7 prisoners per 100,000 inhabitants, a rate that placed Brazil third on the global prison population ranking. Approximately 30% of these prisoners are concentrated in the state of São Paulo (218,930 prisoners) (Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2022).

This situation is exacerbated by the shortfall of 248,107 places in capacity (Fórum Brasileiro de Segurança Pública, 2022), resulting in precarious prison life conditions and making the environment favorable to proliferation of organized crime factions, initially found in the states of Rio de Janeiro and São Paulo and recently spreading throughout the national territory (Manso & Dias, 2018). As various studies have shown, this dramatic growth since the 1970s is the result of security policies focused on the “war on

drugs”, which drove the militarization process of social control of cities and mass incarceration of women and young men involved in trafficking.

Although different states have drafted and implemented public policies for prisons with some specificities, at times adopting guidelines more in harmony with human rights, while at other times closer to hardline policies, they all have one thing in common: they were unable to control internal violence, abuse of arbitrary force and, especially, the strengthening to a greater or lesser degree of local or national criminal factions. Following democratization, state governments had to deal with successive riots resulting in large casualties. This led to pressure from human rights

xo masculino e de mulheres envolvidas no tráfico ilegal.

Embora diferentes estados da federação tenham formulado e implementado políticas públicas prisionais com algumas singularidades, apostando em diretrizes ora mais afinadas com respeito aos direitos humanos, ora mais afinadas com o tipo mão dura, no limite todas elas têm algo em comum: não conseguiram conter a violência interna, os abusos no uso arbitrário da força e, sobretudo, o fortalecimento, em maior ou menor grau, das facções locais ou nacionais. Após a redemocratização, os

governos estaduais tiveram que lidar com sucessivas rebeliões com elevado saldo em mortes e com pressões dos movimentos de defesa de direitos humanos, nem sempre bem-sucedidas, para que a superpopulação carcerária, as más condições nesses espaços institucionais e, sobretudo, a violência de toda sorte, nomeadamente torturas contra aqueles que paradoxalmente estavam sob tutela do poder público, fossem completamente erradicadas. No caso do estado de São Paulo, a solução adotada pelo governo estadual foi um plano estratégico de oferta de vagas, mediante a constru-

Número e taxa da população prisional no Brasil (1969-2020)

Number and rate of prison population in Brazil (1969-2020)

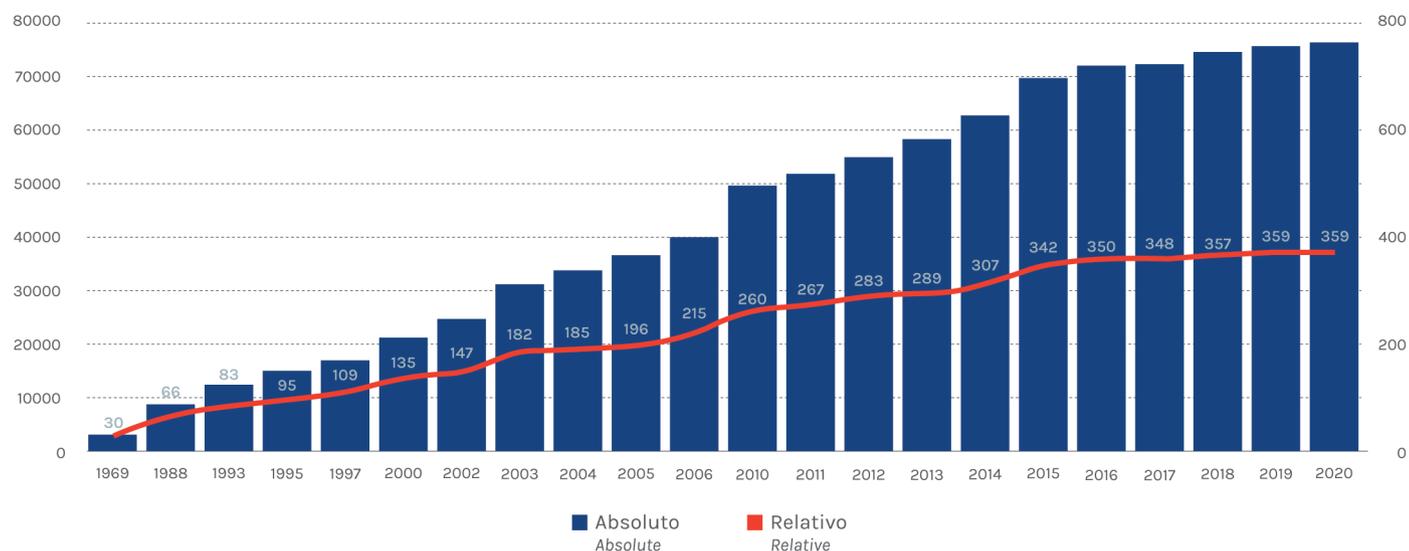


Figura 2. Número e taxa da população prisional no Brasil (1969-2020).

Fonte: Adorno e Salla (2007), SISDEPEN- MJSP (Dados Estatísticos do Sistema Penitenciário, 2021)¹⁸.

Figure 2. Number and rate of prison population in Brazil (1969-2020).

Source: Adorno and Salla (2007); SISDEPEN-MJSP (Dados Estatísticos do Sistema Penitenciário, 2021)¹⁸.

¹⁸ Neste gráfico, os dados foram extraídos de Adorno e Salla (2007), complementados com dados (de junho de 2021) do Sistema Nacional de Informação Penitenciária e Tecnologia da Informação do Departamento Penitenciário Nacional - Ministério da Justiça e Segurança Pública (SISDEPEN-MJSP) (Ministério da Justiça e Segurança Pública, 2021). Para as taxas, foi utilizada a estimativa de população do IBGE. Até 2006, os dados de população encarcerada tinham por fonte o Ministério da Justiça e o IBGE. A partir de 2010, a fonte é o SISDEPEN-MJSP.

¹⁸ In this graph, the data were taken from Adorno and Salla (2007), complemented with data (from June 2021) from the National System of Penitentiary Information and Information Technology of the National Penitentiary Department - Ministry of Justice and Public Security (SISDEPEN- MJSP). IBGE population estimates are used for rate.

ção de novos presídios espalhados pelo interior do estado. Rapidamente, verificou-se o crescimento da população carcerária, motivada, sobretudo, pela elevação do número de acusados de uso e/ou comércio ilegal de drogas e de autores de roubo a banco, uma modalidade organizada, baseada em divisão de trabalho e realizada com emprego de táticas sob lideranças no mundo do crime. Foi esse movimento responsável pelas disputas internas entre facções dentro das prisões e, posteriormente, pelo monopólio do poder nas mãos de uma única delas, o PCC (Dias, 2013).

A maior parte das penitenciárias do estado de São Paulo está sob domínio do PCC, que exerce controle quase absoluto sobre amplas massas carcerárias, mediante regras rígidas de recrutamento e admissão. Ao mesmo tempo, subjuga e substitui as autoridades carcerárias. Consequência dessa expansão do PCC nas prisões foi o aquecimento econômico das cidades médias e de pequeno porte que, em torno das penitenciárias, passaram a prover bens e serviços às famílias dos presos. Na origem desse processo foram sendo instalados hospedarias, serviços interurbanos de transportes, serviços de táxi, mercados e pequenos supermercados, farmácias, restaurantes, cafés e bares (Godoi, 2017). Concomitantemente, o PCC deriva para os bairros, nas cidades médias e, sobretudo, na capital do estado, estabelecendo vínculos entre prisão-bairro-prisão. Tudo isso vai sedimentar a expansão do PCC para outros negócios ilegais, para outros estados da federação, para as fronteiras do Brasil com países como Paraguai, Bolívia, Colômbia e Peru. Mais recentemente, tudo indica uma verdadeira transição no plano de negócios, com o PCC se tornando o principal exportador de drogas ilícitas para o exterior. Tendências dessa sorte de governança criminal das cidades também são visíveis no caso das milícias no Rio de Janeiro.

A despeito das singularidades dos acontecimentos paulistas, em diferentes estados da federação tendências de expansão do sistema penitenciário produziram resultados não muito distintos. Assim, esta-

mos diante de cenários políticos de grande impasse e desafio. Por um lado, a lógica do direito penal associada à natureza e ao modo de funcionamento das políticas públicas de segurança agrava o quadro da violência tanto no Brasil como neste estado de São Paulo, reproduzindo e acentuando desigualdades sociais. Por outro, de forma combinada, a inegável presença de poderes sociais não sujeitos ao poder político exercido por aqueles cujos mandatos foram conquistados mediante eleições livres e, por conseguinte, legítimas reforça hierarquias de poder e impossibilita a pretensão do Estado brasileiro ao monopólio legítimo da violência. Em outras palavras, os problemas de violência tendem a contribuir para o aprofundamento da crise da democracia no Brasil, justamente em uma era de intensa radicalização política de segmentos da extrema-direita.

VIOLÊNCIA, SISTEMA POLÍTICO E RADICALIZAÇÃO

Retomando o que foi dito no início, as formas de regulação da violência não se restringem *tout court* ao campo da segurança e da justiça penal. Pertencem a um campo de disputas políticas no qual intervêm diferentes atores e agências, com seus interesses em conflito, distintos movimentos organizados da sociedade civil, correntes de opinião pública, poderes sociais, inclusive mídias e redes sociais, formadores de opinião, poderes institucionais, sobretudo nas esferas legislativa e executiva, políticos profissionais e, inclusive, pesquisadores em suas universidades e centros de investigação científica. É nesse domínio que se deixam entrever as mediações entre a crise da democracia liberal no Brasil, as tendências recentes da radicalização política e o cenário de violência que vem se configurando não apenas no mundo do crime, mas também e sobretudo no domínio dos protestos políticos e das ameaças às liberdades civis e públicas.

Como já apontava Hannah Arendt em ensaio conhecido (Arendt, 1973, p. 128), violência e poder não apenas se diferenciam

movements to eradicate overcrowding and poor conditions from these institutional spaces, especially violence of all types, including the torturing of those under the care of the State. In São Paulo, the solution adopted by the state government was a strategic plan to increase availability of places by building new prisons in rural areas. A rapid growth in the prison population has occurred, particularly driven by the large number of those accused of using and/or selling illegal drugs and perpetrators of bank robbery - an organized form of crime based on division of functions and carried out using tactics under criminal leadership. This was the dynamic responsible for the internal conflicts between factions within prisons and, subsequently, for the monopolization of power in the hands of one of these factions, the PCC (Dias, 2013).

Most prisons in the state of São Paulo are dominated by the PCC, which has nearly complete control over a large part of the prison population through strict rules for recruitment and admission. Simultaneously, the PCC dominates and replaces prison authorities. A consequence of this expansion of the PCC in prisons was the economic growth of small-to-medium-sized cities around prisons, which began to provide goods and services to the prisoners' families. This process started with the establishment of motels, inter-urban transportation services, taxi services, corner stores and small supermarkets, pharmacies, restaurants, coffee shops, and bars (Godoi, 2017). Concurrently, the PCC moved into neighborhoods in medium-sized cities and especially in the state capital, establishing prison-neighborhood-prison networks. This reinforced its expansion to other illegal activities and other states, and towards Brazil's borders with countries such as Paraguay, Bolivia, Colombia, and Peru. More recently, a transition in business plans seems to be underway, with the PCC becoming the main exporter of illicit drugs. These types of trends in criminal governance in cities are also observed in the case of the militias in Rio de Janeiro.

Despite the particularities of these processes in the state of São Paulo, growth trends for the penitentiary systems in other states led to similar outcomes. Thus, we are facing a significantly challenging political situation: on the one hand, the logic of criminal law associated with the nature and way that public security policy functions aggravates the context of violence in Brazil more generally as it did in the state of São Paulo more specifically, reproducing and intensifying social inequalities; on the other hand, the undeniable combined presence of social forces not subjected to the political power exercised by legitimately elected officials,

reinforces power imbalances and undermines the claims of the Brazilian State to the monopoly of legitimate violence. In other words, problems of violence tend to contribute to exacerbating the crisis of democracy in Brazil, precisely in an era of intense political radicalization of elements of the far-right.

VIOLENCE, THE POLITICAL SYSTEM, AND RADICALIZATION

Resuming our initial observations, ways of regulating violence are not restricted to the field of security or criminal justice. They belong to an arena of political disputes wherein different actors and agencies with conflicting interests intervene, including different civil society movements, currents of public opinion, social forces such as the media and social networks, opinion makers, institutional powers, especially the executive and legislative branches, professional politicians, and researchers and their universities and scientific research centers. It is in this scenario that one can notice the connections between the crisis of liberal democracy in Brazil, the recent tendencies toward political radicalization, and the scenario of violence that is being established not only in the criminal context but also and especially in relation to political protests and as threats to public and civil liberties.

As Hannah Arendt pointed out in a well-known essay (Arendt, 1973, p. 128), violence and power are not only different but opposites. "Power is indeed of the essence of all government, but violence is not". "Power and violence are opposites; where the one rules completely, the other is absent" (Arendt, 1973, p. 132). From this premise, it can be argued that violence is present and growing in societies with weakened political systems in institutional crisis, dominated by particular interest groups that do not represent the general interests of society, including demands for security and quality of life for the largest possible number of citizens.

Following two large World Wars, societies in the modern Western world, particularly in North America and continental Europe, sought to achieve a legitimate state monopoly of violence, promoting reforms in their criminal justice systems, including in sentencing determining restrictions of liberty, and reinforcing their justice and social welfare institutions. These processes were enabled by the pressures and demands of civil society, which contributed to the reconstruction of public spaces and to the presence of political actors capable of influencing both the formulation of social policies and decision-makers.

Following a transition period and the democratic consolidation process (1985-



como se opõem. “O poder está realmente na essência de todo governo, mas a violência não”. “Poder e violência se opõem; onde um deles domina totalmente, o outro está ausente” (Arendt, 1973, p. 132). Partindo-se dessa premissa, pode-se argumentar que a violência tem lugar e se expande em sociedades cujos sistemas políticos estão enfraquecidos, em crise institucional, capturados por interesses de grupos particulares que não representam os interesses gerais da sociedade, entre os quais as demandas por segurança e a qualidade de vida para o maior número de cidadãos e cidadãs.

As sociedades do mundo ocidental moderno, notadamente na América do Norte e Europa continental, saídas de duas grandes guerras mundiais, lograram alcançar o monopólio estatal legítimo da violência, promoveram reformas em seu sistema de justiça criminal, inclusive nas penas restritivas de liberdade, e reforçaram suas instituições de justiça e bem-estar social. Tais processos foram possíveis por causa das pressões e demandas da sociedade civil que contribuíram para a reconstrução de espaços públicos e para a presença de atores políticos capazes de influenciar tanto a formulação de políticas sociais quanto os tomadores de decisão.

A sociedade brasileira contemporânea, após um período de transição e na sequência de consolidação democrática (1985-2012), com o fortalecimento de instituições políticas e de amplo processo de mobilização em torno das questões sociais mais relevantes, vem experimentando o curso de processos reversos. Desde a eclosão dos protestos sociais ocorridos no país em 2013, passando pelo *impeachment* da presidente Dilma Rousseff, chegando à eleição presidencial de 2018 realizada em meio a intenso descontentamento com os políticos em geral, e propiciando a escolha, para o Poder Executivo Federal, para vários executivos estaduais, bem como para os Legislativos, de defensores da antipolítica e de soluções repressivas para os males da sociedade.

Na verdade, o termo *polarização* não é o mais adequado para descrever o presente brasileiro. O que vimos foi a radicalização à

2012), presenting strengthened political institutions and ample mobilization around relevant social questions, contemporary Brazilian society is undergoing a backsliding process. Starting with the explosion of social protests in Brazil in 2013 and proceeding to the impeachment of President Dilma Rousseff. Finally, the 2018 presidential election, which took place in a general environment of intense disillusionment with politics, provided the choice of antisystem candidates (and repressive solutions to society's ills) for the Federal Executive Branch, numerous State Executive Branches, and for the Legislatures.

In fact, the term polarization is no longer adequate to describe the current Brazilian situation. What we are witnessing is a radicalization of the right, with the emergence and/or growth of an extreme right that did not exist or did not dare to define itself by this name. The election of former judge Wilson Witzel for the Rio de Janeiro state government was emblematic. Achieving a last-minute victory, he was a political newcomer who promised to shoot to kill any armed individuals in the favelas. Withdrawn from office because of corruption, he was the first state governor in Brazil to be convicted in an impeachment process. Usually, radicalization has occurred via a move from conservative or right-leaning public opinion to a series of extremist positions that condemn everything from non-heteronormative sexuality to poorer communities that, in addition to being victims of poverty and institutional violence, are also blamed for public insecurity. In other words, the concept of polarization is inadequate because left-leaning groups did not radicalize, only right-leaning ones, with a large number of these stepping into the extreme right. This tendency is illustrated by the significant weakening of the PSDB, which has lost votes and supporters in favor of the extremism elected in 2018 in various states and is currently active in public opinion and street protests, such as citizens who defend arming the population and even breaching the constitutional order.

The public emergence of right-wing extremist groups whose force lies in the threat or use of violent means, either material or symbolic, has underlined the crisis of liberal democracy and democratic values, and presents complex causes and motivations. It is not possible to deal with this complexity in this chapter; however, we can focus on describing some of the elements that structure the relationship between radicalization and violence in Brazilian society.

A diagnosis of political violence and radicalization should necessarily involve the position assumed by the media in the public sphere, especially the digital me-

dia - a crucial element in the formation and development of publics and counter-publics¹⁹. This is not to minimize the discussion to a predominance of the Internet, social networks, and digital platforms. The relationship between digital media and media labeled as traditional or mainstream is much more complex. Equally, this is not to overestimate the importance of digital transformations, as if they were the sole cause of all current social transformations. Thus, we will not attribute excessive weight to the Internet in relation to other structural changes, which are equally or perhaps more important. It is simply to recognize that the digital revolution has structural consequences as for how we perceive and undertake politics (Schroeder, 2018, p. 165-166)²⁰.

The role of traditional, mainstream media in structuring politics became clear precisely at the moment of its crisis, coinciding with the “crisis of democracy.” Its simultaneous role as gatekeeper of the public sphere and, consequently, of access to the political system became evident. The crisis of traditional and mainstream media coincides with the emergence, dissemination, and consolidation of social networks, whose functional logic of ownership by whoever uses them allows people to “evade” these gatekeepers, enabling the emergence of digital movements able to even decide electoral results. The clear drop in circulation of weekly magazines and of the so-called daily press became evident as of 2015.

Recognizing the central role played by the media does not mean that national specificities cease to be relevant. They remain important, as much as they did with traditional media, and this element is decisive to determine particularities in the different movements of violence and political radicalization around the world, as well as to identify common characteristics.

In contrast, recognizing the central role played by digital media does not mean that it has destroyed or rendered traditional or mainstream media irrelevant; on the contrary, digital and traditional media should be understood together. Moreover, there is need to understand how the interaction of diverse media operates differently according to the object, whether it is the market, culture, or politics. Even

direita, com o surgimento e/ou crescimento de uma extrema-direita que ou não existia ou não ousava dizer seu nome. A eleição do ex-juiz W. Witzel para o governo fluminense foi emblemática. Conseguiu a vitória no último momento. Neófito na política, prometia atirar na “cabecinha” de quem estivesse armado nas favelas. Afastado do cargo por corrupção, foi o primeiro governador de estado no Brasil a ser condenado em um processo de *impeachment*. De modo geral, a radicalização tem-se dado mediante a passagem de uma opinião pública conservadora (ou de direita) para uma série de posicionamentos extremistas, condenando desde a orientação sexual não heteronormativa até as comunidades mais pobres, que, além de serem vítimas da pobreza e da violência institucional, são também eleitas como culpadas pela insegurança pública. Em outras palavras, não cabe a expressão *polarização*, porque os grupos mais à esquerda não se radicalizaram, apenas aqueles à direita, que passaram em grande número para a extrema-direita. Ilustrativo dessa tendência é o enfraquecimento enorme do PSDB, perdendo votos e apoios em favor do extremismo eleito em 2018 em vários estados e atuante, no presente momento, na opinião pública e em manifestações de rua, como as que defendem o armamento da população e até mesmo a quebra da ordem constitucional.

A emergência à luz pública de grupos de extrema-direita, cuja força repousa justamente na ameaça ou no emprego de meios violentos, materiais e simbólicos, tem acentuado a crise da democracia liberal e dos valores democráticos, cujas razões e motivações são complexas. No domínio deste capítulo, não é possível tratar dessa complexidade, porém é possível eleger um enfoque com o propósito de qualificar alguns dos elementos que estruturam as relações entre radicalização e violência nesta sociedade.

Um diagnóstico da violência e da radicalização política precisa envolver necessariamente a posição das mídias no âmbito das esferas públicas, especialmente as mídias digitais, elemento de crucial im-

portância para a formação e o desenvolvimento de públicos e de contrapúblicos¹⁹. Não se trata aqui de reduzir a discussão a uma suposta dominância da internet, das redes sociais e das plataformas digitais, sem mais. A relação entre a mídia digital e a mídia chamada tradicional e *mainstream* é muito mais complexa do que isso. No mesmo sentido, não se trata de superdimensionar a importância das transformações digitais, como se fossem a causa de todas as transformações sociais relevantes da atualidade. Não se trata de atribuir um peso excessivo à internet relativamente a outras mudanças estruturais, tão ou mais importantes. Trata-se tão somente de reconhecer que a revolução digital tem consequências estruturantes para a maneira de perceber e de fazer política (Schroeder, 2018, p. 165-166)²⁰.

A posição da mídia tradicional e *mainstream* como estruturante da política ficou evidente justamente no momento de sua crise, coincidente com a “crise da democracia”. O que se destacou, nesse momento, foi justamente seu papel concomitante de *gatekeeper* da esfera pública e, conseqüentemente, do próprio acesso ao sistema político. A crise da mídia tradicional e *mainstream* coincide com o surgimento, difusão e consolidação das redes sociais, cuja lógica de funcionamento e de apropriação por quem dela se utiliza permitiu “contornar” esses *gatekeepers*, possibilitando o surgimento de movimentos digitais capazes, inclusive, de decidir resultados eleitorais. É significativa a flagrante queda da circulação das revistas semanais e mesmo da chamada grande imprensa diária a partir de 2015.

Reconhecer o papel central ocupado pelas mídias não significa dizer que as especificidades nacionais deixaram de ser re-

¹⁹ For a succinct presentation of the idea of publics and counter-publics and its centrality for explaining the rise of Jair Bolsonaro, see Rocha et al. (2021).

²⁰ This book analyzes the social changes (and changes in social theory) produced by the Internet in four countries: USA, Sweden, China, and India. We will use it as a reference for a synthesis of the issues involved.

¹⁹ Para uma apresentação sucinta da noção de públicos e contrapúblicos e de sua centralidade para a explicação da ascensão de Jair Bolsonaro, ver Rocha et al. (2021).

²⁰ Este livro analisa as mudanças sociais (e na teoria social) produzidas pela internet em quatro países: EUA, Suécia, China e Índia. Será tomado aqui como referência de síntese das questões envolvidas.

levantes. Continuam a ser importantes, tanto quanto importaram no caso da mídia tradicional. Esse elemento é decisivo para encontrar especificidades nos diferentes movimentos de violência e de radicalização política pelo mundo e para estabelecer também características comuns.

De outro lado, reconhecer a centralidade do papel das mídias não significa dizer que a mídia digital destruiu ou tornou irrelevante a mídia tradicional ou *mainstream*. Pelo contrário, é necessário compreender mídia digital e mídia tradicional conjuntamente. Mais do que isso, é preciso entender como a conjunção das diferentes mídias opera de maneira diferente conforme o objeto, seja o mercado, a cultura, a política. Ainda assim, como assinala Schroeder, da “[...] perspectiva da mudança social de longo prazo, as consequências mais importantes da internet estão relacionadas à política [...]” (Schroeder, 2018, p. 8).

Essa posição estruturante das mídias em relação à política não se estabelece, portanto, como a da predominância da mídia digital em relação às demais, mas antes à lógica subjacente às transformações digitais. Sob esse aspecto, o recurso a David Karpf é aqui bastante útil (Karpf, 2015). Ainda que seu foco esteja no que denomina “ativismo analítico” (no sentido das “analíticas” como uso enfocado das “métricas”²¹) e, portanto, em campanhas (incluindo campanhas políticas), Karpf recorre sempre a analogias no campo da mídia que são úteis para a circunscrição da lógica da visibilidade própria das esferas públicas, estabelecendo uma ponte entre os dois domínios que se aproxima de nosso problema aqui.

Ao longo da primeira metade da década de 2010, Karpf notou uma mudança significativa no ambiente do ativismo digital, diagnosticando um deslocamento de foco da mobilização para a persuasão política. O caso que Karpf considera como paradigmático dessa mudança é o surgimento do Upworthy.com, que ele examina em detalhe. Suas conclusões mais gerais dizem que os novos processos de decisão combinam orientações humanas e provenientes de analíticas. Utilizando testes de tipo A/B, mesmo em versões altamente sofisticadas²², o site então promove o conteúdo por meio do Facebook, e-mail, Twitter, Tumblr e do site Upworthy, baseando-se em métricas analíticas únicas que priorizam o engajamento e o compartilhamento de usuários relativamente a visitantes únicos e “pageviews” (Karpf, 2015, p. 106).

A lógica mesma de atenção e de engajamento, exigida pelas novas técnicas, produz uma mudança estrutural na relação entre a liderança política e o eleitorado. É esse o ponto que interessa mais de perto aqui. Interessa, em primeiro lugar, tanto pelo que se sabe como por aquilo que ainda não se sabe. Está estabelecido que a disputa pela atenção tem de se guiar por analíticas e métricas em um ambiente de “oferta” extremamente amplo e diversificado. No entanto, como bem se pergunta Schroeder, será que as

[...] analíticas moldam as notícias que são lidas ou vistas? Até o momento, existe pouca pesquisa sobre as consequências dessa mudança, e um problema é que as pessoas não utilizam unicamente fontes online para notícias (assim como as notícias não têm origem exclusivamente na mídia online). Outra complicação é a mudança para o consumo móvel de notícias, sobre o qual, novamente, pouco se sabe. Ainda assim, é claro que organizações de

so, as Schroeder highlights, from the “[...] perspective of long-term social change, the most important consequences of the Internet are related to politics [...]” (Schroeder, 2018, p. 8).

The structural role of the media in relation to politics is not, therefore, a predominance of digital media over other media, but stems from the logic associated with digital transformations. From this perspective, David Karpf (Karpf, 2015) is useful to us. While Karpf focuses on what he calls “analytic activism” (in the sense of “analytics as a use focused on ‘metrics’”²¹) and, therefore, on campaigns (including political campaigns), he always uses analogies from the field of media that are useful in defining a logic of visibility particular to public spheres, highlighting a connection between the two areas that are close to our problem here.

Throughout the first half of the 2010s, Karpf noted a significant change in the environment of digital activism, identifying a change in focus from political mobilization to political persuasion. Examining it in detail, he considers the emergence of Upworthy.com, to be paradigmatic of this shift. His most general conclusions are that new decision-making processes combine with human motivations and those derived from analytics. Using an A/B type test, even in highly sophisticated versions²², Upworthy.com then disseminates its content via Facebook, e-mail, Twitter, Tumblr, and its own site, based on individual analytic metrics that prioritize engagement and sharing of users relative to single visitors and “pageviews” (Karpf, 2015, p. 106).

The same logic of attention and engagement required by new digital techniques produces a structural change in the relationship between political leadership and the electorate. This interests us as much in terms of what we already know as for

²¹ Conforme Karpf (2015, p. 29). Para esclarecimentos sobre “algoritmos”, “analíticas” e “métricas”, uma síntese pode ser destacada no seguinte trecho: “Quando falamos sobre algoritmos, falamos sobre processos de decisão automáticos. Quando falamos sobre analíticas, falamos sobre métricas e relatórios particulares – objetos estratégicos que capturam alguma fatia do tráfego online e o reproduzem em formato acessível. São desenvolvidos tendo em vista um output específico e seus cálculos codificam uma série de decisões valorativas”.

²² “Um teste A/B é um experimento simples: visitantes de um site web ou destinatários de e-mail são divididos randomicamente em dois grupos. Ambos os grupos interagem com exatamente a mesma mensagem, contendo exatamente uma variação” (Karpf, 2015, p. 12).

²¹ According to Karpf (2015, p. 29). For clarification regarding “algorithms”, “analytics” and “metrics”, a synthesis can be found in the following: “When we talk about algorithms, we are talking about automatic decision-making processes. When we talk about analytics, we are talking about particular metrics and reports – strategic objects that capture some slice of online traffic and reproduces it in an accessible format. They are developed with a specific output in mind, and their calculation codifies a series of value-laden decisions”

²² “An A/B test is a simple experiment: visitors to a website or addressees of e-mails are randomly divided into two groups. Both groups interact with exactly the same message, containing the same variation” (Karpf, 2015, p. 12).

what we do not yet understand. It is understood that competition for attention has to be guided by analytics and metrics in an extremely diversified and wide ranging “supply” environment. However, as Schroeder asks, do the

[...] analytics shape the news stories that are read or viewed? So far, there is little research addressing the consequences of this change, and one problem is that people do not use exclusively online sources for news stories (just as the origin of news stories is not exclusively from online media). Another complication is the changes in the mobile consumption of news, which we also know little about. Even so, it is evident that news organizations increasingly use analytics to attract public interest, and that this quantification of interest shapes the news that is made visible (Schroeder, 2018, p. 142).

Any attempt to apply this available knowledge to an understanding of competition for attention, of mobilization and persuasion in the political sphere, involves understanding its relationship with authoritarian projects in a broader sense. This involves not only what the “crisis of democracy” strand labels “populism,” but also the case of China, for instance. It was through this perspective that Schroeder overcame a current opposition between “digital media,” on one hand, and “populist forces,” on the other. As shown in his book,

[...] the success of populists, their strength in the four cases examined, could not have been achieved without non-mainstream media. Put it differently, populists obtained a disproportionate advantage through digital media compared with how they were presented in traditional media and with the way established political parties and movements use the media (Schroeder, 2018, p. 63).

The work of Markus Prior (2007) is also useful at this moment, as it demonstrates how TV democratized access to

notícias usam crescentemente analíticas para atrair o interesse do público e essa quantificação do interesse molda as notícias que se tornam visíveis (Schroeder, 2018, p. 142).

Qualquer tentativa de aplicar esse conhecimento disponível à compreensão da competição por atenção, da mobilização e da persuasão no campo da política envolve a compreensão de sua relação com projetos autoritários em sentido amplo, envolvendo não apenas o que a vertente “crise da democracia” denomina “populismo”, mas também o caso da China, por exemplo. Foi com essa perspectiva que Schroeder pode superar uma oposição muito corrente entre “mídia digital”, de um lado, e “forças populistas”, de outro. Como mostra em seu livro,

[...] o sucesso de populistas, sua força nos quatro casos examinados, não teria sido alcançado sem as mídias digitais não mainstream. Posto de maneira diferente, populistas obtiveram uma vantagem desproporcional com as mídias digitais em comparação ao modo como se saem nas mídias tradicionais e em comparação com a maneira pela qual partidos ou movimentos políticos estabelecidos utilizam as mídias (Schroeder, 2018, p. 63).

É o momento de recorrer ao trabalho de Markus Prior (2007), que mostra como, nas décadas de 1960 e 1970, a TV teria de alguma maneira equalizado o acesso a informações políticas, já que não exigia habilidades de leitura e era consumida de maneira relativamente homogênea por todas as parcelas da população, nos mesmos horários e nos mesmos poucos canais disponíveis, que concentravam praticamente o conjunto da audiência. Esse quadro começou a mudar rapidamente nos EUA com a expansão da TV a cabo, especialmente nos anos 1980. A mudança foi ainda mais drástica com a rápida expansão da internet, a partir dos anos 1990, e do streaming, a partir dos anos 2000 – uma expansão que passou a ter, então, caráter global.

Nessa transição, Prior consagra especial atenção àquelas pessoas que antes, quando não tinham alternativas, demonstravam interesse suficiente para assistir aos programas de notícias, mas que, diante da possibilidade de escolher entretenimento, não mantinham a mesma decisão (Prior, 2007, p. 17). São transformações com efeitos vitais para a compreensão do comportamento eleitoral e político, de maneira mais ampla, já que é conhecida a correlação entre interesse político e escolaridade, de um lado, e conhecimento político e comparecimento para votar, de outro, por exemplo (Prior, 2007, p. 14). Foi nesse novo quadro que Prior produziu o experimento low choice/high choice, fundamentado em um survey realizado em 2002, em que 2.358 pessoas, escolhidas aleatoriamente, respondiam inicialmente à seguinte pergunta: “Se você tivesse tempo livre às 6 da noite e os seguintes programas estivessem disponíveis, à qual você assistiria, ou, então, você não assistiria à TV?”. Na sequência, foram apresentadas, de maneira aleatória, uma de duas condições, com o objetivo de mimetizar as escolhas que as pessoas teriam em um ambiente de TV aberta ou de TV a cabo (Prior, 2007, p. 34).

São muitos os resultados interessantes da pesquisa de Prior. Cabe destacar aqui apenas os que dizem respeito mais diretamente às transformações em relação ao engajamento político. Em primeiro lugar, os estudos de Prior confirmam hipóteses formuladas por Philip E. Converse no início dos anos 1960 de que a TV tornaria setores menos educados da população estadunidense mais informados sobre política e sem que isso alterasse os níveis de informação política dos setores mais educados (Prior, 2007, p. 88). Por contraste com essa situação anterior, para grupos expressivos da população estadunidense a ampliação do raio de escolha de mídias e de opções de fontes de informação levou a graus mais rarefeitos de informação política, e não a um maior grau de informação (Prior, 2007, p. 94). É também nesse mesmo capítulo 4 de seu livro que

Prior mostra como essas transformações levaram a modificações importantes do público votante, aumentando a proporção de votantes com alto interesse no noticiário político e diminuindo a porcentagem de votantes menos interessados no noticiário político e que demonstram preferência por entretenimento em lugar de informação.

Traduzido nos termos da argumentação aqui e guardadas as devidas diferenças entre um país em que o voto é facultativo e países onde o voto é obrigatório, é possível dizer que a nova sociabilidade digital tende a estruturar a experiência política em dois polos, o desengajamento, de um lado, e o hiperengajamento, de outro. Combinado com a lógica das analíticas e das métricas do mundo digital, esse desenvolvimento conduzirá a uma reestruturação da política que tende a valorizar e dar preferência ao hiperengajamento. E essa reestruturação tem consequências diretas e estruturantes sobre as dinâmicas institucionais, sobre a organização dos partidos, sobre as campanhas eleitorais e sobre os governos.

Estudos como o de Prior reforçam a conclusão de que, quanto maior a escola, menor o interesse em política por parte de parcelas importantes da população. A partir daí, o questionamento pertinente a nosso problema aqui é o de se perguntar pelos “perigos e oportunidades” trazidos por essas transformações, pela mídia digital em especial. Ralph Schroeder responde a essa dupla questão nos seguintes termos:

O principal perigo é que as elites reajam mais a sinais da mídia do que a demandas não mediadas, tornando-se enviesadas relativamente aos inputs potencialmente mais não representativos da mídia digital. A principal oportunidade é de mudar a agenda mais para perto de questões ou grupos que foram negligenciados pela mídia tradicional, incluindo desafiantes ou outsiders de todos os matizes (Schroeder, 2018, p. 43).

political information from 1960 to 1970. This is because it required no reading ability and was consumed in a homogenous manner by all sectors of the population, at the same time and on the same limited number of available channels, concentrating the whole audience. This situation began to change rapidly in the USA with the growth of cable TV, especially in the 1980s. The change was even more drastic with the rapid expansion of the Internet, from the 1990s, and of streaming, as of the 2000s - an expansion that began to take on a global character.

In this transition, Prior focuses particularly on people who previously, when having no alternatives, showed sufficient interest in watching news programs, but who, when given the opportunity to watch entertainment, did not make the same decision (Prior, 2007, p. 17). These transformations have important effects on understanding political and electoral behavior in a broader sense, given that the correlation between political interest and education on the one hand, and political knowledge and voting on the other, is well known (Prior, 2007, p. 14). It was in this context that Prior produced the low choice/high choice experiment, based on a survey carried out in 2002, in which 2,358 randomly chosen people initially responded to the following question: “If you had free time at 6 o’clock at night and the following programs were available, which one would you watch, or would you not watch television then?” Following this, one of two conditions was randomly presented with the aim of mimicking the choices that people would have made in regular or cable TV (Prior, 2007, p.34).

Prior’s research produced many interesting results. Here, we will only note those that most relate to the transformations associated with political engagement. Firstly, the studies conducted by Prior confirm the hypothesis formulated by Philip E. Converse in the early 1960s that TV would make the less-educated sectors of the American population more informed about politics without altering the levels of political information in the more-educated classes (Prior, 2007, p. 88). By contrast to the prior situation, for a large part of the American population, increased choice of media and options for information sources led to more refined political information, rather than to a greater degree of information (Prior, 2007, p. 94). In this same chapter, Prior also shows how these transformations generated significant modifications in the electorate, increasing the proportion of voters with interest in political news reporting and reducing the percentage of voters less interested in political news and who showed a preference for entertainment over information.

Translated into the terms of our argument here, and admitting the evident dif-

ference between a country where voting is optional and countries where it is mandatory, we can say that the new digital sociability tends to structure political experience into two poles: disengagement or hyper-engagement. Combined with the logic of analytics and metrics in the digital world, this development leads to a restructuring of politics and tends to intensify and give preference to hyper-engagement. This restructuring also has direct and structural consequences on institutional dynamics, party organization, electoral campaigns, and governments.

Studies similar to the one conducted by Prior reinforce the conclusion that the greater the choice, the smaller the interest in politics by significant parts of the population. The resulting question relevant to our problem here regards the

[...] dangers and opportunities” generated by this information, especially by digital media. Ralph Schroeder responds to this double question in the following terms: “The main danger is that the elites will react more to signs in the media than to unmediated demands, becoming biased towards input from potentially less representative digital media. The main opportunity is to change the agenda to include issues or groups that were neglected by the traditional media, including challengers or outsiders of all types” (Schroeder, 2018, p. 43).

As we know, both things have occurred: the prevalence of hyper-engagement in shaping the future of politics and the favoring of political outsider platforms and groups marginalized by the traditional media. We do not have space, nor is it necessary, to discuss up to what point the logic of analytics and metrics is imposed on different social spheres. Nor to what extent the algorithms substituted or tend to substitute editorial, political, or other types of choices, producing new hierarchy mechanisms – even because, as previously stated, little is known about the subject. The question here is to consider, first, how certain uses of digital media allow us to “evade” the gatekeepers of the political system and of the traditional and mainstream media, acting as support for an assault on the established political system. We should also consider the structural outcome that this maneuver produces in exacerbating irreconcilable polarizations, given the logic of met-



Como se sabe, ambas as coisas se deram, tanto a prevalência do hiperengajamento na determinação dos rumos da política quanto o favorecimento de pautas e de grupos outsiders, marginalizados pela mídia tradicional. Não cabe – nem é necessário – discutir aqui até que ponto a lógica das análises e das métricas se impôs a diferentes domínios sociais, em que medida algoritmos substituíram ou tendem a substituir escolhas editoriais, políticas, ou de outro tipo, produzindo novos mecanismos de hierarquização – até porque, como já enfatizado, sabe-se ainda relativamente pouco a respeito. A questão aqui é pensar, primeiramente, como determinadas utilizações da mídia digital permitiram “contornar” os *gatekeepers* do sistema político e da mídia tradicional e *mainstream* como bases de apoio para assaltos ao sistema político tal como estabelecido, bem como o efeito estrutural que essa manobra produziu, que foi o de estabelecer polarizações de caráter irreconciliável, dada a lógica mesma das métricas e do impulsionamento de conteúdo nas plataformas e redes sociais.

Um dos casos paradigmáticos sob esse aspecto segue sendo o da campanha de Donald Trump em 2016, nas primárias do Partido Republicano, primeiro, e na própria eleição, em seguida. Vale a pena acompanhar o raciocínio de maneira relativamente extensa. O Twitter não teve papel decisivo na campanha eleitoral, mas sim nas primárias, produzindo uma cobertura da candidatura de Trump desproporcional em relação às demais e em relação aos padrões até então habituais do jornalismo político.

No caso da eleição de 2018 no Brasil, recursos como esses foram largamente utilizados pelo então candidato Jair Bolsonaro. Pode-se pensar aqui, por exemplo, como o episódio do atentado à faca sofrido pelo candidato em 6 de setembro de 2018, que resultou num reforço adicional a uma estratégia que já vinha sendo até então utilizada com sucesso, amplificando o efeito de cobertura midiática desproporcional. Esse episódio sintetiza vários dos elementos presentes nas estruturas de violência e de radicalização política que caracterizam e que tendem a continuar a caracterizar a prática política segundo a predominância das métricas e das análises próprias do mundo digital.

Finalmente, cabe indicar que talvez estejamos vivendo uma quadra de transformação no que diz respeito aos âmbitos da violência na sociedade brasileira. Até recentemente, a violência foi fenômeno recorrente em algumas esferas da sociedade brasileira – na família, nos conflitos de rua, no crime organizado ou não – bem como nas interações entre forças da ordem e segmentos mais vulneráveis da população. Mas, no Brasil urbano e moderno, sob regime democrático, a violência política não teve presença significativa na vida associativa e na ordem pública. Partidos e lideranças políticas, no governo ou na oposição, mantiveram-se dentro dos marcos da competição política pacífica na disputa por apoio ou voto dos cidadãos. Nesse sentido, sob a democracia, a violência política sempre foi residual. É possível que, com o beneplácito de lideranças políticas de extrema-direita, a violência esteja penetrando a política, com consequências desastrosas para a convivência civilizada.

rics and of the boost to content on social platforms and social networks.

One of the paradigmatic examples of this dynamic continues to be the 2016 Donald Trump presidential campaign, first, in the Republican Party primaries, and then in the election itself. It is worth outlining the reasoning in a detailed manner. Twitter did not play a decisive role in the electoral campaign, but during the primaries, producing disproportionate coverage of Trump's candidacy compared with those of the other candidates and in relation to the established standards of political journalism until that time.

In the 2018 Brazilian election, such resources were widely used by the then-candidate Bolsonaro. We can think, for example, of how the attempted assassination by stabbing that Bolsonaro suffered on September 6, 2018 gave additional strength to a strategy already being successfully deployed, intensifying the effect of the disproportionate media coverage. This incident brings together various elements present in the structure of violence and political radicalization that continue to characterize political practice within the environment of metrics and analytics intrinsic to the digital context.

Finally, it is noteworthy that we may be undergoing a situation of transformation in terms of environments of violence in Brazilian society. Until recently, violence was a recurring phenomenon in some spheres of Brazilian society – family, conflicts in the street, organized crime – as well as in interactions between forces of law and order and more vulnerable sectors of the population. However, in modern, urban Brazil under the democratic regime, there has been no significant presence of political violence in social life and public order. Political parties and leaders, in government or opposition, have remained within the limits of peaceful political competition in the dispute for support or votes for candidates. Therefore, under democracy, political violence has always been residual. It is possible that, with the consent of extreme-rightwing political leaders, violence is entering politics, with disastrous consequences for civilized coexistence.

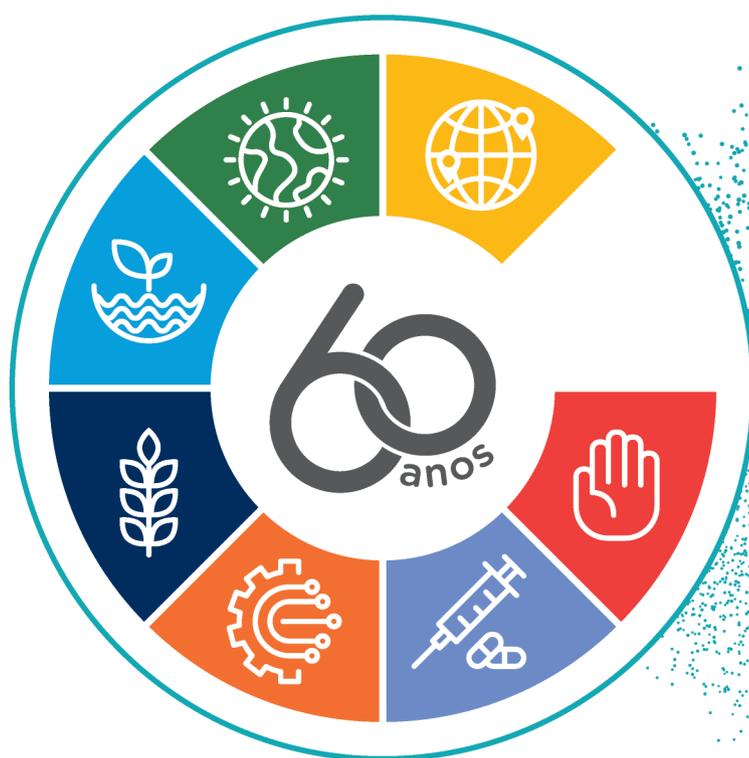
REFERÊNCIAS/REFERENCES

- Adorno, S. (1995). A violência na sociedade brasileira: um painel inconcluso em uma democracia não consolidada. *Sociedade e Estado*, 10(2), 299-342.
- Adorno, S. (2013). A banalidade da violência contemporânea: O problema da anestesia moral. In: M. Brepohl (Org.), *Eichmann em Jerusalém - 50 anos depois* (1. ed, pp. 79-101). Editora UFPR.
- Adorno, S., & Salla, F. (2007). Criminalidade organizada nas prisões e os ataques do PCC. *Estudos Avançados*, 21(61), 7-29.
- Arendt, H. (1973). *Crises da República*. Perspectiva.
- Bourdieu, P. (2002). *A dominação masculina*. Bertrand do Brasil.
- Brasil. (1824, 25 de março). Constituição Política do Império do Brasil (de 25 de março de 1824). http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao24.htm.
- Brasil. (2021a, 01 de setembro). *Acrescenta o Título XII na Parte Especial do Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940 (Código Penal), relativo aos crimes*

- contra o Estado Democrático de Direito; e revoga a Lei nº 7.170, de 14 de dezembro de 1983 (Lei de Segurança Nacional), e dispositivo do Decreto-Lei nº 3.688, de 3 de outubro de 1941 (Lei das Contravenções Penais). Diário Oficial da União.
- Brasil. (2021b, 02 de setembro). Mensagem nº 427, de 1º de Setembro de 2021. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/msg/vep/vep-427.htm
- Cavalcante Filho, J. T., & Lima, F. R. (2017 julho-agosto). Foro, Prerrogativa e Privilégio: quais e quantas autoridades têm foro no Brasil? *RDU*, 14(76), 176-197.
- Chesnais, J.-C. (1981). *Histoire de la violence en Occident de 1800 à nos jours*. Robert Lanfont.
- Collins, R. (2009). *Violence: A micro-sociological theory*. Princeton University Press.
- Dados Estatísticos do Sistema Penitenciário – SISDEPEN, Ministério da Justiça e Segurança Pública (2021). Ministério da Justiça e Segurança Pública. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>.
- Dias, C. C. N. (2013). *PCC: Hegemonia nas prisões e monopólio da violência*. Saraiva.
- Elias, N. ([1939] 1993). *O processo civilizador* (2 Vols.). Jorge Zahar.
- Fórum Brasileiro de Segurança Pública. (2022). *Anuário Brasileiro de Segurança Pública 2021*. FBSP.
- Franco, M. S. C. (1974). *Homens livres na ordem escravocrata*. Ática.
- Godoi, R. (2017). Fluxos em cadeia. *As prisões em São Paulo na virada do tempo*. Boitempo Editorial.
- Hobsbawm, E. (2007). *Globalização, democracia e terrorismo*. Companhia das Letras.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2021). Estimativas da População. IBGE. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>.
- Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. (2018). *Atlas da violência 2018*. IPEA, FBSP.
- Instituto de Segurança Pública. (2022). *Estudos - Estatísticas Gerais de Segurança*. ISP. <http://www.isp.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=200>
- InstitutoSoudaPaz. (2019). *Ondemora a impunidade? Porque o Brasil precisa de um Indicador Nacional de Esclarecimento de Homicídios*. <https://soudapaz.org/wp-content/uploads/2019/11/Instituto-Souda-Paz-Onde-Mora-a-Impunidade.pdf>
- Karpf, D. (2015). *Analytic activism: Digital listening and the new political strategy*. Oxford University Press.
- Lima, R. K. (2008). *Ensaios de Antropologia e de Direito*. Lumen-Juris.
- Lima, R. K. (2019). *A Polícia da Cidade do Rio de Janeiro: Seus dilemas e paradoxos* (3. ed., Tradução de Otto Miller). Publicação independente.
- Lima, R. K., & Mouzinho, G. (setembro-dezembro, 2016). Produção e reprodução da tradição inquisitorial no Brasil: Entre delações e confissões premiadas. *Dilemas*, 9(3), 505-529.
- Lima, R. S., & Costa, A. T. (2019). *A redemocratização e o campo da segurança pública brasileiro*. In S. Adorno & R. S. Lima (Orgs.), *Violência, polícia, justiça e punição: Desafios à segurança cidadã*. Alameda.
- Manso, B. P. (2020). *A república das milícias: Dos esquadrões da morte à era Bolsonaro*. Todavia.
- Manso, B. P., & Dias, C. (2018). *A guerra. A ascensão do PCC e o mundo do crime no Brasil*. Todavia.
- Mendes, R. L. T. (2012). *Do princípio do livre convencimento motivado: Legislação, Doutrina e Interpretação de Juízes Brasileiros*. Lumen Juris.
- DataSUS. Ministério da Saúde, Sistema de Informação sobre Mortalidade – SIM. (2022). <http://sim.saude.gov.br/default.asp>.
- Monteiro, J. C. M., Fernandes, J. G., & Silva, L. A. M. (Orgs.) (2020). *Projeto Farol: Luz sobre as Promotorias*. Instituto de Educação Roberto Bernardes Barroso, Centro de Pesquisas, Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro.
- Monteiro, J., Fagundes, E., & Chaves, R. (2022). *Empresas criminais: Controle territorial e diversificação econômica de milícias e facções de drogas no Rio de Janeiro* [manuscrito não publicado].
- Oliveira, L. R. C. (2011, janeiro-junho). Concepções de igualdade e cidadania. *Contemporânea*, 1, 35-48.
- Oliveira, L. R. C. (2018). Sensibilidade cívica e cidadania no Brasil. *Antropolítica*, 44, 34-63.
- Prior, M. (2007). *Post-broadcast democracy: How media choice increases inequality in political involvement and polarizes elections*. Cambridge University Press.
- Rocha, C., Solano, E., & Medeiros, J. (2021). *The Bolsonaro paradox: Public Sphere and right-wing counterpublicity in contemporary Brazil*. Springer.
- Roser, M., Hasell, J., Herre, B., & MacDonald, B. (2016). *War and Peace*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/war-and-peace>
- Schroeder, R. (2018). *Social theory after the Internet: Media, technology, and globalization*. UCL.
- Stockholm International Peace Research Institute. (2021). *SIPRI Yearbook 2021*. SIPRI. <https://www.sipri.org/yearbook/2021>
- Torralba, C. (2021). *Vendas das 100 maiores empresas de armas crescem apesar da pandemia*. El País. <https://brasil.elpais.com/internacional/2021-12-07/vendas-das-100-maiores-empresas-de-armas-crescem-apesar-da-pandemia.html>
- United Nations Treaty Collection. (2005). *FOCUS 2005: List of treaties*. United Nations Treaty Collection. <https://treaties.un.org/doc/source/events/2005/list.pdf>
- Weber, M. (1974). *Economía y sociedad* (2 Vols.). Fondo de Cultura Económica.
- Wieviorka, M. (1998). Un nouveau paradigme de la violence?. *Cultures & Conflicts*, (29-30), 9-57.
- Zaluar, A. (2004). *Integração perversa: Pobreza e tráfico de drogas*. FGV.

FAPESP 60 Anos:
**A Ciência no
Desenvolvimento
Nacional**

60 Years of FAPESP:
**Advancing Science
for National
Development**



Uma homenagem da
Academia de Ciências do Estado de São Paulo
A tribute from the São Paulo State Academy of Sciences

Assista aos episódios da série de seminários on-line promovida pela FAPESP e ACIESP sobre cada um dos capítulos deste livro.

Watch the episodes of the on-line series promoted by FAPESP and ACIESP about each chapter of this book.

60ANOS.FAPESP.BR/ACIESP-EVENTOS

