

# Ciência para Prosperidade

Sustentável e Socialmente Justa

Alaor Chaves  
Editor

Ado Jorio de Vasconcelos  
Presidente da Comissão

Adriano D. Andricopulo

Alvaro Toubes Prata

Anderson Stevens Leonidas Gomes

Débora Foguel

Glaucius Oliva

Marcelo Viana

Nivio Ziviani



**EMBRAP II**

Empresa Brasileira de Pesquisa  
e Inovação Industrial

ORGANIZAÇÃO SOCIAL DO MCTI

**E**struturada em 2013, por iniciativa conjunta do MCTI e do MEC, a Embrapii deslançou entre 2015 e 2022 sob a dinâmica gestão de Jorge Guimarães – que ora nos presenteia com a organização deste livro, uma oportuna contribuição à reflexão sobre o futuro do Brasil. Nosso país tem pressa em superar a letargia na esfera da CT&I para poder enfrentar o célere avanço das transformações de 4ª Revolução Industrial e Tecnológica. É indispensável acelerar a digitalização da indústria, serviços, agronegócio, infraestruturas, governo e seus sistemas de saúde, educação e segurança – com plataformas 4.0, sob telecomunicações 5G e aplicações de Inteligência Artificial. O Brasil tem oportunidades viáveis de inserção competitiva e geradora de empregos de alta qualidade na Bioeconomia e Agronegócios Sustentáveis, nas Energias Renováveis, no Complexo Econômico-Tecnológico da Saúde, em Metais e Materiais Nobres e essas oportunidades não podem ser perdidas. Este livro oferece visões preciosas ao avanço da agenda da CT&I para a “Prosperidade Sustentável e Socialmente Justa”. Recomendo firmemente sua leitura!

**Luciano Galvão Coutinho, Professor-Colaborador do IE/UNICAMP;  
Presidente do BNDES (2007-2016)**

**A**testo aqui o apreço pela leitura deste Livro. Como dirigente de indústria inovadora e atuante no cenário da CT&I do país há mais de 35 anos, destaco a transformação provocada pela singela inclusão da letra “i”, de inovação, neste cenário. Ao transformar C&T em CTI e P&D em PD&I, trouxemos o mercado para junto da ciência, tecnologia, pesquisa e desenvolvimento. Passamos a ter um propósito maior que o conhecimento. A feliz inclusão da letra “i” coincidiu, infelizmente, com um momento de declínio da relevância da indústria para a economia do Brasil. Hoje o movimento de recuperação da relevância da indústria é alavancado pela letra “I”; e temna EMBRAPII, com seus dois “i”, um dos mais importantes motores para a inovação na indústria. O momento global é propício à transformação do Brasil pela inovação industrial, direcionada por planos relevantes como o Plano Nacional de IoT, Rota 2030 e os ODS das Nações Unidas, e habilitada pela pronta disponibilidade de tecnologias de impacto, como Indústria 4.0, Internet das Coisas, Inteligência Artificial e 5G. O passo adiante está dado, agora temos que manter a direção e aumentar a velocidade, como apontam os textos e o conteúdo desta oportuna publicação.

**Marcos Dillenborg, CEO da NOVUS Produtos Eletrônicos**

# Ciência para Prosperidade

Sustentável e socialmente justa

## **Conselho de administração da EMBRAPPII**

Carlos do Carmo Andrade Melles  
Gustavo Henrique de Sousa Balduino  
Helena Bonciani Nader  
Horácio Lafer Piva  
Humberto Luiz de Rodrigues Pereira  
Jackline de Souza Conca  
Jadir José Pela  
João Fernando Gomes de Oliveira (Presidente)  
José Gustavo Sampaio Gontijo  
Marcos Rossi Martins  
Otávio Augusto Burgardt  
Pedro Luiz Barreiros Passos  
Pedro Wongtschowski  
Robson Braga de Andrade  
Sandra de Castro Barros  
Tomás Dias Sant'Ana

## **DIRETORIA**

Jorge Almeida Guimarães  
**Diretor-presidente** (agosto/2015 – agosto/2022)

José Luis Pinho Leite Gordon  
**Diretor-presidente** (agosto/2022 – atual)

Carlos Eduardo Pereira  
**Diretor de operações**

Igor Manhães Nazareth  
**Diretor de planejamento e relações institucionais**

### **Autores**

Alaor Chaves (UFMG) – Editor

Ado Jorio de Vasconcelos (UFMG) – Presidente da Comissão

Adriano D. Andricopulo (USP)

Alvaro Toubes Prata (UFSC)

Anderson Stevens Leonidas Gomes (UFPE)

Débora Foguel (UFRJ)

Gláucius Oliva (USP)

Marcelo Viana (IMPA)

Nívio Ziviani (UFMG)

### **Consultor especial**

Jorge Almeida Guimarães (Embrapii)

### **Consultores**

Adriano Veloso (UFMG)

Clélio Campolina Diniz (UFMG)

José Vitor Bomtempo (UFRJ)

Luciano Mendes de Faria Filho (UFMG)

### **Assessores**

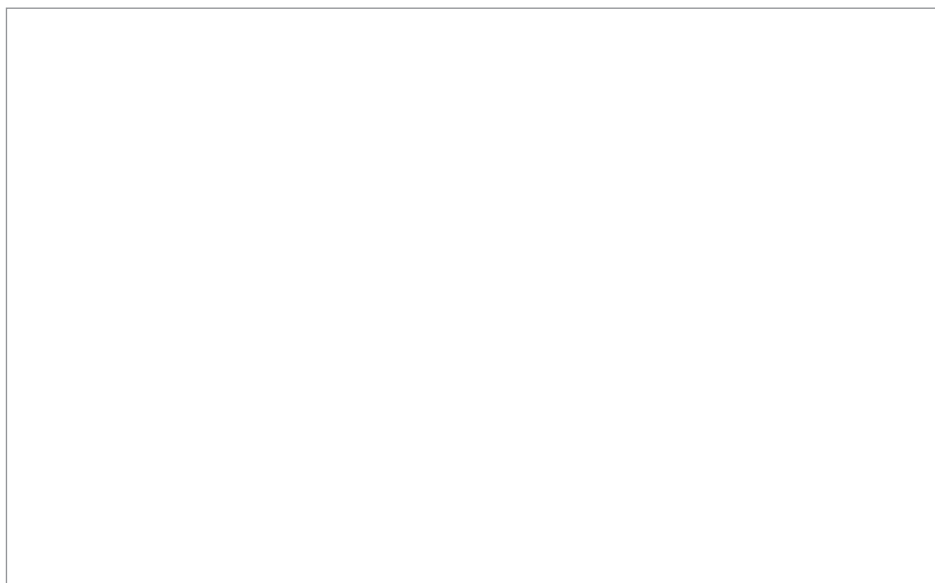
Carlos Eduardo Pereira (Embrapii)

Fabio Stallivieri (Embrapii)

Copyright © 2022 EMBRAPAII

Parte ou totalidade desta obra poderá ser reproduzida e distribuída livremente,  
bastando para isso dar crédito à Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial

1a. Edição



**Revisão de texto** Zzero Comunicação (zzerocomunicacao@gmail.com)

**Projeto gráfico, diagramação e capa** Ana Luisa Videira

**Imagens** unsplash.com

# Ciência para Prosperidade

Sustentável e socialmente justa

2022



**EMBRAPII**  
Empresa Brasileira de Pesquisa  
e Inovação Industrial  
ORGANIZAÇÃO SOCIAL DO MCTI





# SUMÁRIO

Apresentação..... 9

Sumário de recomendações ..... 17

## PARTE I: O que somos e o que queremos ser

1. Nossas competências ..... 27

2. Nossas vantagens comparativas e competitivas ..... 36

3. Nossas fragilidades ..... 47

## PARTE II: Áreas estratégicas

4. Bioeconomia..... 59

5. Agronegócio..... 65

6. Transição energética ..... 71

7. Saúde e bem-estar ..... 88

8. Transformação digital ..... 106

## PARTE III: Como dar o passo adiante

9. Ações para redução de desigualdades..... 121

10. Infraestrutura para pesquisa científica e tecnológica ..... 129

11. Promoção de uma nova indústria inovadora..... 136

12. Articulação da política de integração de PD&I ..... 151



## APRESENTAÇÃO

**E**ste livro foi escrito por autores nomeados pela Diretoria Executiva e pelo Presidente do Conselho de Administração da EMBRAPII – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. Jorge Almeida Guimarães, na época diretor-presidente da Embrapii, foi quem tomou a iniciativa e abraçou o projeto com sua conhecida energia e compromisso. O conteúdo do livro é de inteira responsabilidade dos autores e não reflete posições institucionais da Embrapii ou do seu conselho/diretoria.

O foco é Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), os grandes motores da prosperidade no mundo contemporâneo. CT&I geram riqueza e melhoram a qualidade média de vida da população pela elevação da renda média das pessoas, acesso a utensílios industriais que tornam a vida mais fácil e aprazível, medicina que eleva a longevidade e minimiza os sofrimentos com doenças, redução das horas de trabalho necessário para a sobrevivência etc.

Mas este trabalho está também atento a um efeito inevitável da tecnologia e inovação. A tecnologia pode elevar desproporcionalmente a renda das pessoas que, por razões diversas, têm o seu domínio. Muitas vezes os inovadores levam grande parte dos ganhos econômicos gerados pelas suas inovações; e com isto os grandes inovadores constroem grandes fortunas. Assim, mesmo que todos se beneficiem com CT&I, alguns se beneficiam muito mais.

Vivemos uma era inédita em que a maioria dos bilionários criou sua própria fortuna (até então eles a herdavam). A desigualdade tem crescido desde os anos 1980, quando começaram a surgir as *startups* inovadoras. Entretanto, é a inovação que também gera prosperidade e novos empregos de qualidade,

além de dar ao Estado mais receita para distribuir renda. Esta equação tem que ser resolvida, e só o Estado é capaz de resolvê-la.

É pensamento dos autores deste livro-documento que o Estado tem a responsabilidade moral de assegurar a todos os residentes uma vida digna com a prosperidade alcançada pela nação. Esse efeito da CT&I e as ações necessárias do Estado para minimizá-lo são discutidos no capítulo 'Ações para Redução das Desigualdades'.

A comissão multidisciplinar de autores trabalhou por meios múltiplos. Os temas a serem tratados no livro e os capítulos em que eles seriam discutidos foram definidos em uma primeira reunião presencial de dois dias. Ficou também estabelecida uma dinâmica de trabalho, por meio de reuniões virtuais e comunicações diretas entre autores, que acabou gerando um livro de autoria realmente coletiva. Jorge Guimarães participou de todas as reuniões, mas só se pronunciava quando provocado por algum dos autores. Atuou assim como um consultor especial, com o que contribuiu com sua enorme experiência na administração e no fomento da pesquisa e da inovação brasileira.

O livro foi estruturado em três partes, cujas temáticas ficarão claras logo abaixo, pois destacaremos aspectos selecionados de cada uma delas.

## **PARTE I: O QUE SOMOS E O QUE QUEREMOS SER**

Queremos ser um país capaz de manter prosperidade sustentável e distribuir os frutos da prosperidade. E temos todas as condições para isso. O Brasil tem potencial de desenvolvimento sustentável que pouquíssimas nações reúnem: um território muito vasto com ótimo clima, riquíssimo em água, sem desertos, terremotos nem vulcões, e a maior biodiversidade conhecida no planeta.

Nosso Nordeste, em grande parte semiárido, está próximo de grandes rios com cuja água é possível, a custos aceitáveis, irrigar a maior parte da sua área agricultável. Temos a Amazônia, de longe, a maior floresta tropical do planeta, na qual circula um quinto das águas que os oceanos recebem. Temos uma população grande, étnica e culturalmente diversa e unida por uma forte identidade nacional. Somos apontados como o país do futuro, e muitos, brasileiros e estrangeiros, ainda estão seguros de que um futuro de enorme grandeza nos

espera. Mas circunstâncias históricas e políticas têm retardado nosso caminho rumo a esse futuro.

Somos um país que deixa de usar metade de sua população na vida econômica e no pleno exercício da cidadania. Dos brasileiros com mais de 15 anos, 7% são inteiramente analfabetos e 29% são analfabetos funcionais, incapazes de entender um breve texto jornalístico. Na população negra ou parda, que constitui a maioria em nosso país, esses índices são bem mais altos.

Séculos de prática patrimonialista nos levaram a uma das mais altas concentrações de renda do mundo. A concentração de renda e o descuido com a educação inviabilizaram o desenvolvimento, e há anos nosso crescimento econômico tem sido ínfimo. Ele só não é negativo porque o setor extrativista, e sobretudo a agricultura, crescem rapidamente, e o preço das *commodities* que eles produzem tem se mantido elevado.

Nossa agricultura avança em ritmo incomparável, e esse avanço deve-se à ciência, principalmente à pesquisa realizada pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Mas mesmo essa empresa, cujos feitos são responsáveis por grande parte da receita tributária do Brasil, não é devidamente valorizada pelo governo, que não lhe tem destinado os recursos necessários para vencer os novos desafios.

Nos últimos 100 anos, principalmente nos últimos 50, construímos uma competência científica respeitada pelo mundo. Isso se deu muito rapidamente. Em 1968, quando criamos nosso sistema de pós-graduação formal, tínhamos no máximo mil pessoas com o título de doutor; hoje formamos 25 mil doutores por ano. Nossa contribuição para a criação de conhecimento era, então, pouco significativa; hoje somos o 13º país do mundo em número de publicações científicas.

Temos competência destacada em algumas áreas. Criamos toda uma ciência e tecnologia de agricultura tropical, e, nesse campo, somos os líderes mundiais. Fomos os pioneiros na produção de álcool para combustíveis e o produzimos a custo sem rival. Desenvolvemos a melhor tecnologia do mundo de exploração de petróleo e gás em águas profundas. Temos destacada competência em doenças tropicais contagiosas, desenvolvemos o mais abrangente sistema de vacinação do mundo. Criamos o Sistema Único de Saúde (SUS), um dos melhores e mais complexos do mundo, sem concorrente em países em nosso nível de desenvolvimento. Desenvolvemos também um eficiente e moderno

sistema de automação bancária. Essas são as nossas competências, que temos de consolidar e fortalecer.

Mas ainda temos graves fragilidades que dificultam o nosso avanço – o cerne dessas fragilidades é a nossa inaceitável desigualdade social e econômica. A única maneira de vencer essa desigualdade é assegurar boa saúde e educação a todas as pessoas. E a educação abrangente e de boa qualidade é também a estrada principal para a prosperidade. Nenhum país desenvolveu-se sem dar boa educação a todo o seu povo, e todos aqueles que fizeram isso se desenvolveram. E, para extrair de cada criança e jovem seus melhores talentos – que são muito diversificados –, é preciso que a educação seja bastante flexível e também variada. Nenhum desperdício é mais grave do que o de talentos, mas fazemos isso desmesuradamente por impormos a nossos jovens uma educação pouco flexível, uniforme e pretensamente enciclopédica.

Reformular nosso sistema educacional, garantindo que essa reformulação seja para todos, é urgente e imperativo; se não fizermos isso, nunca seremos o que sonhamos ser.

Na saúde, a deficiência em saneamento básico é uma das nossas grandes fragilidades. Muitas residências não são providas de água potável, cerca de 40% delas não têm serviço de esgoto sanitário, grande parte do esgoto coletado não é tratado. Isso degrada nosso meio ambiente, nas cidades e no campo, e gera enorme quantidade de doenças contagiosas, o que sobrecarrega o sistema de saúde e reduz a produtividade da população.

## **PARTE II: TEMAS ESTRATÉGICOS**

Esta parte do livro, de caráter analítico e propositivo, trata de temas estratégicos para nossa prosperidade sustentável.

Os problemas ambientais, principalmente as mudanças climáticas, são o maior transtorno da atualidade. A civilização nunca enfrentou problema dessa magnitude e complexidade. As questões ambientais que enfrentamos resultaram de um projeto de desenvolvimento, criado durante a Revolução Industrial, o qual na busca do crescimento econômico pouco considera seus efeitos sobre a natureza. A duras penas, aprendemos que só podemos nos desenvolver de

forma sustentável se conseguirmos viver em harmonia com a natureza; principalmente, com as outras formas de vida que nosso planeta abriga.

A bioeconomia é uma nova ciência – e também uma nova prática – de exploração dos recursos naturais, derivada de bioprocessos e bioprodutos, a qual contribui para soluções sustentáveis eficientes no uso de recursos biológicos. Nessa nova prática, espera-se que possamos extrair da natureza enorme variedade de recursos e, ao mesmo tempo, preservá-la.

A bioeconomia, ainda incipiente, é um novo modelo de desenvolvimento sustentável. Para o Brasil, detentor de imensa biodiversidade, a bioeconomia é especialmente estratégica, pois ela pode nos trazer benefícios muito diferenciados. No nosso país, a bioeconomia tem de ser vista como um dos componentes do agronegócio, que é aqui também inteiramente singular.

O potencial do nosso agronegócio é quase ilimitado. Já avançamos muito nesse campo econômico, mas temos grandes desafios à nossa frente. Temos de reverter o processo de desmatamento de nossas florestas e nossas savanas – o cerrado e a caatinga. Temos de recuperar os mananciais, muito poluídos, assoreados e com fluxo de água reduzido. Podemos aumentar muito nossa produção agropecuária com ganhos da produtividade, sem ampliar a área cultivada. Isso pode ser feito em grande parte pela integração lavoura, pecuária e floresta, cuja técnica já está bastante avançada no Brasil e que traz resultados extraordinários. Temos de irrigar muito mais, para aumentar a produtividade e garantir a colheita em períodos de déficit hídrico. Devemos avançar muito na área de defensivos agrícolas, em busca de métodos menos agressivos ao meio ambiente. Temos de ampliar nossa silvicultura de madeiras nobres, o que aumenta nossa área de florestas e promete grande retorno econômico. Precisamos ampliar muito nossa aquicultura, que é ínfima comparada ao nosso potencial nessa atividade.

O Brasil tem condições privilegiadas para fazer a transição energética, indispensável para enfrentar o problema das mudanças climáticas. Nosso potencial eólico *onshore* é muito grande, e nosso potencial fotovoltaico é, na prática, ilimitado. A produção de eletricidade eólica e solar, que no Brasil só começou há pouco mais de dez anos, cresce em ritmo exponencial e muito rápido.

Em um contexto de matriz energética predominantemente baseada nas fontes eólica e fotovoltaica, nossas atuais represas de usinas hidrelétricas

poderiam armazenar energia hidráulica suficiente para garantir a estabilidade da oferta de eletricidade frente a oscilações ao longo das estações, mesmo em anos de pouca chuva. Nosso avanço na transição energética só não é mais rápido porque, em vez de oferecer subsídios para a energia limpa, o governo taxa o setor pesadamente.

A saúde se tornará cada vez mais científica, tecnológica e dispendiosa. Os gastos com saúde representam uma fração do PIB que cresce rapidamente em todo o mundo. A área de saúde está se transformando em um dos maiores setores da economia mundial. O Brasil está muito frágil nesse setor. Não desenvolvemos novos fármacos, nossa indústria farmacêutica limita-se a produzir medicamentos genéricos.

No setor de imunologia, tão essencial para o Brasil e no qual o país tem ótima tradição, não estamos nos preparando para a produção das novas gerações de vacinas que estão sendo desenvolvidas nos países líderes. Não produzimos a instrumentação, cada vez mais sofisticada e essencial para diagnósticos e tratamentos de saúde. É urgente criar políticas decisivas para sanarmos esse atraso.

A transformação digital está mudando profundamente toda a sociedade, promovendo enormes ganhos de produtividade e oferecendo soluções para problemas até recentemente considerados insolúveis. No campo da ciência e da técnica, a ciência dos dados criou um novo paradigma em que a inteligência artificial identifica padrões e até mesmo variáveis – grandes – escondidas no mar de dados contidos em sistemas complexos. Quem ficar fora dessa transformação se condenará à irrelevância e à redução de soberania. O Brasil precisa, com urgência, ingressar decididamente nessa transformação, criando a infraestrutura computacional e formando os recursos humanos que ela requer.

### **PARTE III: COMO DAR O PASSO ADIANTE**

Os importantes avanços alcançados pelo Brasil em pesquisa científica e tecnológica nas últimas décadas resultaram de um vigoroso sistema nacional de pós-graduação, capaz de formar pesquisadores de padrão internacional, somado a investimentos em infraestrutura de pesquisa. Esses investimentos



foram significativos e atentos a instalações – infraestruturas – de várias escalas, desde os laboratórios para um pesquisador e seus orientados, infraestruturas compartilhadas em redes temáticas, até grandes instalações abertas a usuários externos. O exemplo mais importante dessas grandes instalações é o Sirius, uma das mais avançadas fontes de luz síncrotron do mundo, construída com tecnologia nossa e componentes encomendados a indústrias brasileiras.

Mas, para continuarmos avançando como devemos e podemos, é preciso resolver vários problemas. Um deles é a redução de investimentos do governo federal em pesquisa, resultantes de seguidos contingenciamentos de verbas previstas nos orçamentos anuais para ciência, tecnologia e inovação. Em 2010, o governo investiu 0,7% do PIB em pesquisa, e hoje esse investimento é muito menor, embora o número de pesquisadores tenha mais do que duplicado nesse tempo. Não criamos um sistema de apoio à pesquisa resistente ao impacto das mudanças de governo, o que gera grande incerteza sobre as ações governamentais futuras. Também não resolvemos a questão da falta de cultura das empresas para interagir, via inovação aberta, com as universidades e outras instituições de ciência e tecnologia.

A construção do Sirius, que custou R\$ 3 bilhões, demonstrou nossa capacidade de construir infraestruturas sofisticadas e de grande porte. Há propostas, justificadas e bem fundamentadas, de outras instalações de igual porte ou até maior. Essas propostas precisam ser priorizadas com base em rigorosas avaliações de mérito, e as vencedoras precisam ser levadas adiante. Nesse campo, o Brasil não pode pensar pequeno, pois muitos dos nossos problemas só podem ser resolvidos com grande investimento em infraestrutura de pesquisa.

A ciência, que tem avançado muito no Brasil, ainda não trouxe os efeitos esperados em nossa indústria. Esta permanece pouco inovadora. A falta de inovação em muitos setores de nossa indústria tem forte vínculo com sua própria gênese, que foi a substituição de importações, principalmente pela instalação no país de empresas estrangeiras, protegidas por elevadas tarifas de importação e generoso apoio governamental. Muitas dessas empresas, e outras que surgiram no país, estabeleceram relações clientelistas com os governos, em que os lucros dependem menos da sua competência gerencial e inovadora do que de políticas de apoio governamental. Deveria ter sido exigido que as empresas estrangeiras internalizassem parte do seu esforço de pesquisa. Por isso, grande

parte não criou, no Brasil, laboratórios de pesquisa análogos aos que mantém nas suas matrizes e em outros países em que abriram filiais.

Nesse cenário, o melhor caminho para o desenvolvimento no país de uma indústria inovadora é a promoção de *startups*, em parte incubadas em ambientes especiais criados pelo próprio governo. Isso é muito viável no mundo contemporâneo, no qual a fronteira da inovação desloca-se rapidamente para empresas de origem recente, fundadas por empreendedores sem capital, mas bem-dotados para a inovação.

Na promoção dessa nova indústria inovadora, o estado tem de atuar intensamente como empreendedor, usando seu poder de compra para garantir vendas de produtos que ainda não se firmaram no mercado, criando infraestrutura de pesquisa aberta ao uso de empresas e compartilhando com as empresas o risco inerente à inovação. Enfim, adotando práticas usadas com muito sucesso nos países industrializados líderes.

Para completar o quadro de políticas para promover a inovação, é preciso haver uma excelente articulação da política de integração de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). Para essa articulação, é necessário que PD&I seja assunto que permeie transversalmente os diversos ministérios, e que nos outros poderes da república haja conselheiros científicos bem qualificados.

Propõe-se também uma reorganização dos ministérios do Poder Executivo, na qual o Ministério da Ciência e Tecnologia tenha um papel central no governo, com suas ações organizadas em grupos afins para facilitar a governança.

## SUMÁRIO DE RECOMENDAÇÕES

### Nossas competências

- Reverter o sucateamento da infraestrutura de pesquisa do Brasil, com o crescente investimento de recursos públicos e privados em CT&I, visando a atingir, em cinco anos, investimento de 2% do PIB no setor.
- Garantir que o investimento em CT&I seja equilibrado entre as áreas básica e aplicada, e acessível a todos os níveis do sistema nacional de ciência e tecnologia.
- Estruturar um sistema nacional de equipamentos multiusuários, com financiamento diretamente atrelado ao seu efetivo compartilhamento.
- Estimular a estruturação de grandes redes de pesquisa temática, no modelo dos INCTs e CEPIDs.
- Incluir bolsas de inovação no sistema de bolsas de pós-graduação, concedidas a estudantes que desenvolvem suas dissertações e teses em parceria direta com empresas e órgãos públicos.
- Oferecer incentivos fiscais e trabalhistas para a contratação de mestres e doutores por empresas.
- Estimular as universidades públicas a avancarem na incorporação da inovação entre suas missões, com reconhecimento e valorização das interações entre pesquisadores, estudantes e empresas, e simplificando os procedimentos de convênio e contratos, como previsto no marco legal da CT&I no Brasil.
- Reestruturar o ensino de graduação do Brasil, com a flexibilização do modelo de ingresso por grandes áreas do conhecimento e trajetórias acadêmicas multidisciplinares e diversas, e adotar técnicas pedagógicas focadas na participação pró-ativa dos alunos na construção de sua formação e de modelos de aprendizagem baseados na solução de problemas reais.

## Nossas vantagens comparativas e competitivas

- Criar programas específicos para melhor exploração de nossos minerais estratégicos (lítio, grafita, elementos terras-raras etc.).
- Promover a conservação dos nossos recursos hídricos por meio de monitoramentos qualitativos e quantitativos das águas superficiais, áreas úmidas, águas subterrâneas e efluentes.
- Incorporar no agronegócio a quantificação de custos que inclua a valoração do meio ambiente, o monitoramento e a gestão ambiental, e a preservação da biodiversidade.
- Promover iniciativas e desenvolvimentos que observem e respeitem as características regionais e operem em sinergia com nossa biodiversidade.
- Criar amplos programas governamentais para investigar cientificamente a biodiversidade brasileira, garantir sua preservação e promover o desenvolvimento de novos bioprodutos e biotecnologias.
- Tratar a economia do mar como um setor específico do orçamento nacional para exploração mais intensa dos recursos marinhos.
- Promover novas tecnologias em traçado de rodovias, pavimentação e construção de pontes e viadutos.
- Fazer uso intensivo de tecnologias digitais para aumentar a segurança, e trazer mais eficiência operacional e logística para nossa malha rodoviária.
- Ampliar as malhas de transportes ferroviário, aeroviário e aquaviário, tanto em extensão quanto em cobertura regional, para atender a maior quantidade de municípios e torná-las modais mais importantes no transporte de pessoas e cargas.
- Promover maior integração dos nossos modais de transporte rodoviário, ferroviário, hidroviário, marítimo e aeroviário.

## Nossas fragilidades

- Sanar o quadro educacional atual, com ações sistêmicas em todos os níveis da educação, com ênfase nos anos iniciais.

- Explorar tecnologias avançadas e gestão adequada para eliminar as fragilidades nos sistemas de saúde, meio ambiente e segurança.
- Rever o SNCTI e inseri-lo numa política de Estado para CT&I, que garanta infraestrutura de pesquisa e inovação adequada ao presente e preparada para o futuro.
- Implantar 'círculos virtuosos' em nichos de CT&I.
- Flexibilizar os cursos universitários, em todos os níveis, para fomentar a interdisciplinaridade e uma formação adequada aos problemas de nossa atualidade.

### Bioeconomia

- Construir um arcabouço legal que estimule projetos voltados para a bioeconomia.
- Criar um mercado de carbono nacional.
- Criar uma Estratégia Nacional de Bioeconomia, com diretrizes claras para as vocações regionais e governança estabelecidas.
- Criar diversos *hubs*, privilegiando a 'simbiose industrial e de pesquisa' com ênfase na economia circular e capaz de garantir a permanência dos jovens oriundos de famílias com conhecimentos tradicionais nos locais de produção.
- Fomentar pesquisas na área de biotecnologia, biologia sintética, biorrefinarias de segunda geração, indústria alimentícia de proteínas.
- Fomentar a criação de *startups* que tenham projetos sustentáveis e circulares empregando conceitos da bioeconomia; introduzir esses conceitos em cursos de administração e *business* em universidades do país.

### Agronegócio

- Usar intensivamente a irrigação em nossa agricultura, incluindo área para agricultura familiar.

- Aumentar muito a irrigação no Nordeste, com água do São Francisco e do Tocantins, como eixo central de uma política de erradicação da pobreza na região.
- Replantar e/ou regenerar 12 milhões de hectares de floresta na mata Atlântica e na Amazônia, como prometido no Acordo de Paris.
- Replantar as áreas de nascentes e matas ciliares, como previsto no Código Florestal, concedendo bônus aos fazendeiros zelosos do ambiente e dando-lhes assistência no replantio.
- Reduzir nossa enorme área de pastagem solteira, usando intensivamente integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e integração lavoura-pecuária (ILP).
- Explorar nosso enorme potencial em aquicultura.
- Expandir nossa silvicultura de madeiras nobres, principalmente de mogno e cedro, com base em pesquisa para controle da broca das meliáceas.
- Investir, nos assentamentos de agricultura familiar, os recursos necessários para que o agricultor possa ser produtivo e, com isso, ter renda para uma vida digna.

### Transição energética

- Realizar pesquisa e usar inteligência artificial para criar e controlar redes de transmissão e distribuição seguras de eletricidade no cenário em que grande número de produtores injetará, de forma intermitente, eletricidade na rede.
- Reduzir os impostos sobre energia limpa.
- Realizar pesquisa para que possamos produzir fibras de carbono usadas na nova geração de torres e cataventos de energia eólica.
- Usar as grandes barragens das nossas usinas hidrelétricas como armazenadores de energia, para estabilizar a oferta de eletricidade ao longo das estações e nos anos de seca.
- Promover no país uma indústria de baterias de íons de lítio para uso em veículos elétricos.

- Implementar uma ampla rede de recarga de bateria de veículos elétricos no Brasil.

### Saúde e bem-estar

- Contribuir para o cumprimento, no Brasil, dos ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) para atingir a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU).
- Investir em infraestrutura para garantir o acesso da população a água limpa, tratamento de esgoto e coleta de lixo.
- Investir em políticas de saúde pública para o fortalecimento do SUS.
- Estabelecer prioridades em saúde e direcionar investimentos para atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação.
- Priorizar programas translacionais de P&D de novos medicamentos para doenças infecciosas, com especial atenção às DTNs.
- Revigorar as iniciativas dos governos federal e estaduais para reduzir a incidência das DCNTs e investir em tecnologias modernas para o desenvolvimento de novos fármacos e tratamentos.
- Reverter o quadro de dependência nacional da importação de IFAs e produtos químicos tecnológicos, e priorizar o registro de IFAs nacionais junto à Anvisa e criar centros de pesquisa, desenvolvimento e produção de vacinas em grande escala.
- Incentivar o uso sustentável da biodiversidade brasileira para o desenvolvimento de medicamentos inovadores.
- Contribuir por meio de ações globais para o desenvolvimento de novos antibióticos.
- Aprimorar o uso de sistemas de informação, tecnologia de dados e inteligência artificial em saúde pública, no SUS e na indústria farmacêutica.
- Reforçar o papel da Embrapii no incentivo à inovação e à cooperação científica de indústrias farmacêuticas, centros de pesquisa de universidades e *startups* em atividades de P&D.

## Transformação digital

- Prover infraestrutura computacional suficiente para o pleno desenvolvimento da IA e TD no país.
- Envolver setores da sociedade e da academia na discussão do Projeto de Lei 21/2020, que estabelece fundamentos, princípios e diretrizes para o desenvolvimento da IA no Brasil, aprovado na Câmara dos Deputados em 29/9/2021 e agora em análise no Senado.
- Fortalecer a formação acadêmica dos nossos alunos em IA e NLP para que eles dominem essas ferramentas.
- Desenvolver, no âmbito do governo, um plano nacional de investimento em projetos fortemente inovadores, *startups* e pesquisas acadêmicas em IA.
- Criar subsídios para empresas de IA, como ocorreu com o plano chinês, com resultados excelentes.
- Promover o reconhecimento da importância da IA para o desenvolvimento econômico do país.
- Promover a conscientização do papel estratégico no tratamento dos dados e da IA para a sociedade.
- Enfatizar a importância das iniciativas listadas para a diminuição da fuga de cérebros pela criação de oportunidades de trabalho em TD no Brasil.

## Ações para diminuição das desigualdades

- Usar de forma intensiva as tecnologias digitais em políticas públicas para ampliar o acesso à educação e à saúde.
- Apoiar e estimular o desenvolvimento e o uso de tecnologias voltadas ao armazenamento e à reciclagem de água, aproveitamento de rejeitos e resíduos, às habitações populares e aos materiais reciclados.
- Formular políticas públicas de estímulo à C&T, atuando pelo lado das demandas e fazendo uso do poder de compra do Estado, como instrumento de combate às desigualdades sociais.



- Ampliar os bem-sucedidos programas governamentais de fomento às tecnologias assistivas para inclusão social de pessoas com deficiência física.
- Estimular projetos tecnológicos focados nas vocações regionais para geração de atividade econômica a partir de negócios associados às realidades locais.

### Infraestrutura para pesquisa científica e tecnológica

- Atualizar o documento 'Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil' / organizadoras: Fernanda De Negri, Flávia de Holanda Schmidt – Brasília. IPEA; Finep; CNPq (2016).
- Elaborar um plano de investimentos em infraestrutura científica e tecnológica do país com dois objetivos principais: impedir a obsolescência das instalações já disponíveis nas IES e unidades de pesquisa e ampliar a disponibilidade de instalações e institutos com foco prioritário na pesquisa e no desenvolvimento tecnológico orientado por missão, considerando as especificidades territoriais.
- Criar uma comissão multidisciplinar para criar, com prazo determinado, uma priorização para os próximos investimentos em infraestruturas de CT&I de grande porte, incluindo na lista de candidatos o RMB e projetos em outras áreas, como saúde, transição energética, meio ambiente e transformação digital.
- Expandir o modelo Embrapii de fomento e promoção da inovação industrial e o gerenciamento de projetos para outras ações do SNCTI.

### Promoção de uma nova indústria inovadora

- Ampliar a Embrapii e adotar seu modo de atuação em outras instituições, para a estruturação de um modelo de inovação impulsionado pela hélice tríplice.
- Estruturar o fomento estatal e privado de *startups*, incluindo o uso do poder de compra do Estado em áreas estratégicas e de alta tecnologia, para que *spinoffs* possam tornar-se maduras para competir no mercado globalizado.

- Estruturar cursos em inovação tecnológica nas instituições técnicas e de ensino.
- Promover constante diálogo com o setor de controle da união para agilizar os processos de desenvolvimento e fomento científico e tecnológico.
- Fomentar o fortalecimento da quarta missão das universidades.
- Desenvolver projeto de transformação de Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) em centros de tecnologia com maior interface com o setor empresarial.
- Fomentar a criação de uma indústria da ciência, para a produção nacional de insumos e equipamentos científicos.

### **Articulação da política de integração de PD&I**

- Dar centralidade ao MCTI na esfera executiva.
- Criar conselhos estratégicos em CT&I nos diferentes setores do Legislativo, Judiciário e Executivo, para que políticas públicas sejam desenhadas com base em conhecimento científico sobre cada tema.
- Alterar a organização ministerial para que o governo federal possa melhor cumprir sua missão constitucional, respeitando os ODS da ONU.
- Reorganizar o MCTI para que as diversas instituições e unidades vinculadas e associadas ao ministério estejam organizadas em alguns poucos grupos ou categorias para facilitar a governança das mesmas.
- Orientar as ações do MCTI em projetos estratégicos (cujo objetivo é vencer importantes e estratégicos desafios tecnológicos), programas estruturantes (que pretendem levar para as diferentes regiões do país tecnologias impactantes e transformadoras) e programas de desenvolvimento regional (com capilaridade e foco para agregar valor a partir das características e potencialidades regionais).
- Institucionalizar a articulação das FAPs com o sistema nacional, para garantir a definição e implementação de políticas de CT&I com enfoques nacionais e regionais.
- Garantir a devida alocação e repasse de recursos estaduais às FAPs.



PARTE I

# O que somos e o que queremos ser

A análise do que somos é indissociável da definição do que queremos ser, pois seu objetivo é identificar o que temos, de positivo e negativo, para a construção desse ideal predefinido. Na nossa percepção, o povo brasileiro, em sua imensa maioria, compartilha o mesmo sonho. Queremos ser um país capaz de manter prosperidade sustentável e distribuir os frutos da prosperidade. Queremos justiça para todos, uma justiça que não dê margem para a impunidade, nem permita punições sem julgamentos isentos. A justiça tem de ser ágil, pois justiça lenta é injustiça.

Queremos igualdade de oportunidades, o que só pode ser conseguido com educação universal de qualidade. Queremos bons serviços de saúde pública e a extinção de doenças resultantes da falta de saneamento. Queremos o fim da falta de moradia e da insegurança alimentar. Queremos um país mais igual e mais justo e, conseqüentemente, mais harmônico e menos violento.

A discussão de como construir esse país que queremos extrapola em muito a competência deste grupo de pesquisadores, e nossa única pretensão é levantar problemas estruturais cuja solução tem de ser discutida por toda a sociedade.

Contudo, a ciência e a tecnologia já demonstraram capacidade de resolver grande parte dos problemas que a sociedade formula. E, neste documento, pretendemos discutir o que é preciso para que nosso país gere mais conhecimento e transforme conhecimento em prosperidade sustentável.

O texto é analítico e muito propositivo sobre como desenvolver nossa ciência e nossa técnica, e usá-las em benefício das pessoas. O fundamento último das nossas propostas é humanístico, pois o humanismo tem de ser o norte do projeto de qualquer sociedade.



# 1.

## NOSSAS COMPETÊNCIAS

### O Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia

Todos os países líderes em desenvolvimento humano, econômico e social mantêm sistemas estruturados de ciência e tecnologia, que compreendem apoio equilibrado a toda a cadeia do conhecimento, desde a ciência básica às aplicações tecnológicas e à inovação. O Brasil faz o mesmo e obtém resultados de forte impacto da ciência na economia e no bem-estar social.

Exemplos de sucesso desse sistema são agricultura tropical, exploração de petróleo e gás em águas profundas, projetos e construção de aeronaves competitivas na indústria aeronáutica mundial, medicina e odontologia de classe mundial, criação de um sistema universal de atenção integral à saúde (SUS), automação de serviços bancários com qualidade e segurança, grandes projetos de engenharia, entre outros. Embora ainda jovem, a ciência brasileira vem estruturando seu Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SINCTI), com razoável complexidade, como se vê – na página seguinte – na figura 1.

Na base do sistema, estão os grupos de pesquisa, tipicamente estabelecidos por pesquisadores qualificados e seus estudantes de graduação, pós-graduação e pós-doutorado. O Diretório de Grupos de Pesquisa, mantido pelo CNPq, realiza censos nacionais periódicos desde 1993, o mais recente deles realizado em 2016. Este registrou 37.640 grupos de pesquisa, estabelecidos em 531 instituições em todo o país; principalmente, em universidades públicas (mais de 90%), instituições isoladas de ensino superior com cursos de pós-graduação *stricto sensu*, institutos de pesquisa científica e institutos tecnológicos. Segundo esse levantamento, os grupos de pesquisa abrigavam cerca de 200 mil pesquisadores, os quais desenvolviam naquele ano 150 mil linhas de pesquisa.

Pesquisadores se juntam com frequência em projetos temáticos colaborativos, geralmente focados em problemas específicos nos quais compartilham materiais e métodos. Quando instituições conseguem agregar número significativo de pesquisadores ativos e engajados em pesquisa e pós-graduação,

alguns dos quais reconhecidos com bolsas de produtividade em pesquisa do CNPq, são constituídos os núcleos emergentes ou de excelência em pesquisa, com projetos complementares e compartilhamento de equipamentos de maior porte, centrais analíticas e biotérios, entre outras coisas.



Figura 1. O Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia

Fonte: Sergio M. Rezende, comunicação pessoal

Um passo adiante na estruturação da pesquisa no país foi dado com a criação dos Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPIDs) e Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs), que operam em estruturas multidisciplinares e interinstitucionais. Estes são focados em temas específicos e congregam números expressivos de pesquisadores de excelência. Já as redes de abrangência regional ou nacional são criadas quando grandes problemas requerem uma solução. Exemplos delas são o Sibratec, o SisNano, o SisFóton, a Rede Zika/Fapesp, a Rede Vírus/MCTIC, a rede BioNorte, o programa Pró-Centro-oeste, a Rede de Centrais de Equipamentos Multiusuários, entre outros.

Grandes laboratórios nacionais, como o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), com o novo anel Sirius, e o Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano), oferecem a cientistas de todo o país condições únicas para realizar pesquisas na fronteira do conhecimento e desenvolver materiais inovadores. No entanto, temos ainda grandes lacunas de infraestrutura para pesquisas, como nos casos da produção, em condições de boas práticas de fabricação, de moléculas candidatas a novos fármacos, biofármacos e vacinas, na prototipagem de componentes eletrônicos, na produção de animais transgênicos, anticorpos monoclonais, na química fina avançada, entre outras.

Componentes importantes do SNCTI são os Institutos de Pesquisa orientados por missões específicas e de características translacionais, que estão presentes no âmbito federal (exemplos são o Inpe, INPA, CBPF, IMPA, LNA, LNCC, Instituto Evandro Chagas/MS, os institutos da Fiocruz e as unidades da Embrapa). No âmbito dos estados, temos instituições como o Instituto Agrônomo de Campinas, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o Instituto Adolpho Lutz. No setor privado, destacam-se os Institutos Senai de Inovação.

A pesquisa tecnológica aplicada à solução de problemas locais e temáticos também se estrutura nas Instituições de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, públicas, como os Institutos Federais, os CEFETs e os correspondentes nos estados, e também privadas sem fins lucrativos, como os Institutos Senai de Inovação. A disseminação tecnológica, também parte essencial da cultura da inovação, é feita por instituições como Sebrae, Ematers, entre outras.

A inovação inserida na sociedade e no mercado tende a se localizar nos centros de pesquisa e desenvolvimento das empresas de médio e grande porte, e, progressivamente, no ecossistema de *startups* e pequenas empresas de base tecnológica, agrupadas com frequência em incubadoras e parques tecnológicos.

O fomento público à pesquisa no Brasil, em nível federal, é feito por instituições como CNPq, Capes, Finep, Embrapii, FNDCT e BNDES. Em nível regional, pelas Fundações de Amparo à Pesquisa estaduais, hoje presentes em todos os estados e no Distrito Federal; seus exemplos emblemáticos são a Fapesp, Faperj, Fapemig e Facepe. Também importantes na captação de recursos privados para o apoio às pesquisas são as Fundações de Apoio institucionais.

Viu-se que o Brasil conta com uma sólida infraestrutura de pesquisa. Trata-se de um patrimônio construído ao longo de décadas, que precisa ser mantido



e ampliado. Entretanto, esse patrimônio encontra-se fortemente ameaçado por drásticos cortes nos recursos públicos para fomento e bolsas para estudos e pesquisas. Esse contexto tem causado a desestruturação e o sucateamento do ecossistema científico e tecnológico, levando à fuga de cérebros do país, ao desalento dos jovens pesquisadores e à perda de credibilidade do sistema [2].

## Recursos humanos para a pesquisa e a inovação

A maior parte das pesquisas realizadas no Brasil está associada à pós-graduação. Em 2020, o Sistema Nacional de Pós-graduação (SNPG) contava com 4.650 programas de pós-graduação autorizados e avaliados pela Capes, estabelecidos em 544 instituições. O SNPG oferece 7.064 cursos *stricto sensu* nos níveis de mestrado e doutorado, nos quais, em 2021, foram formados cerca de 65 mil mestres e 25 mil doutores.

No ensino superior, as matrículas em cursos de graduação cresceram expressivamente desde a virada do século, até cerca de 8,5 milhões em 2018, número que tem se mantido estável desde então. O crescimento das matrículas deve-se em grande parte à expansão do ensino a distância em instituições privadas de ensino. No entanto, a escolarização em nível superior no Brasil ainda é muito baixa, inclui apenas cerca de 20% das pessoas na faixa etária de 18 a 24 anos. O Brasil tem apenas cerca de 900 pesquisadores por milhão de habitantes, número muito abaixo do verificado nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e em outros países emergentes.

A falta de mais pesquisadores no Brasil é preocupante. É temerário assentarmos a economia apenas em *commodities*, cujos valores no mercado internacional oscilam muito, e na produção de bens de baixa intensidade de conhecimento, os quais agregam pouco valor ao produto final. É também temerário depender fortemente de produtos externos para nós imprescindíveis, como fertilizantes e vacinas.

Um estudo comparativo entre os quatro países do BRICS (sigla que se refere a Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), mais Coreia do Sul, mostrou forte correlação entre as áreas mais produtivas e impactantes da ciência produzida por esses países e seus principais pilares econômicos, como se vê na figura 2 [1].



Brasil (2,6)	Rússia (2,4)		Índia (3,4)		China (11)		Coreia do Sul (3,3)		
Ciências Agrícolas	8,8	Física	7,3	Química	6,4	Ciências dos Materiais	24,5	Ciências dos Materiais	6,3
Botânica e Zoologia	6,6	Ciências Espaciais	6,8	Farmacologia e Toxicologia	6,1	Química	20,2	Ciências da Computação	5,6
Farmacologia e Toxicologia	3,7	Geociências	6,6	Ciências Agrícolas	6,1	Física	17,9	Engenharia	5,1
Microbiologia	3,3	Matemática	4,7	Ciências dos Materiais	5,9	Matemática	15,7	Farmacologia e Toxicologia	4,8
Ciências Ambientais / Ecologia	3,0	Química	4,5	Microbiologia	5,1	Engenharia	14,8	Física	4,7
Ciências Sociais	2,8	Ciências dos Materiais	3,1	Física	4,3	Ciências da Computação	13,1	Microbiologia	4,2
Medicina Clínica	2,6	Engenharia	2,1	Engenharia	4,1	Geociências	12,3	Química	3,7
Biologia e Bioquímica	2,6	Biologia Molecular	2,0	Botânica e Zoologia	4,0	Farmacologia e Toxicologia	10,1	Ciências Agrícolas	3,4
Neurociências	2,6	Microbiologia	1,7	Geociências	3,7	Ciências Ambientais / Ecologia	9,8	Biologia e Bioquímica	3,3
Imunologia	2,5	Biologia e Bioquímica	1,6	Biologia e Bioquímica	3,6	Biologia e Bioquímica	8,8	Medicina Clínica	2,8

**Figura 2.** Áreas do conhecimento com maior contribuição percentual à produção científica mundial de Brasil, Rússia, Índia, China e Coreia do Sul, medida pela participação percentual dos respectivos países nas publicações globais no período 2007-2011. Os valores ao lado do nome de cada país mostram a média geral da sua participação percentual na produção mundial. Os campos classificados como ciências da vida, que incluem ciências agrícolas, são destacados em azul, enquanto os campos classificados como ciências físicas e tecnológicas são destacados em preto. Supõe-se que a matemática (representada em verde) tem igual relevância para ambas as áreas

O Brasil destaca-se como um dos principais produtores de conhecimento em ciências agrícolas e ciências de plantas e animais, respondendo por 8,8% e 6,6% da produção mundial nessas áreas, respectivamente, valor bem acima da média da contribuição científica brasileira, que é 3,2% da produção global. São exatamente as áreas nas quais o agronegócio brasileiro ganhou escala e produtividade, baseando-se na ciência aqui desenvolvida em agricultura tropical.

Nota-se que as áreas de maior contribuição científica brasileira estão relacionadas às ciências da vida, o que nos coloca em condição privilegiada para avançar em bioeconomia, produção agrícola e industrial sustentável, energias renováveis, ativos ambientais no complexo econômico e industrial da saúde.

Olhando para as competências nacionais pela óptica do impacto científico, temos também competências e produção qualificada nas áreas das ciências físicas

e tecnológicas, bem como na matemática, tecnologia da informação e engenharias, o que nos qualifica a avançar mais nas áreas de vanguarda que moldam a economia deste século, como a transição energética e a transformação digital.

## Problemas no sistema educacional limitam nossas competências

O Brasil precisa de uma revolução na educação. É inegável o avanço da nação na oferta de vagas na educação básica nas últimas décadas. Entretanto, essa expansão não foi acompanhada por sua qualificação, o que limita nossa capacidade de crescimento e contribuiu para o acirramento das desigualdades sociais e regionais. Apesar de o país investir 6% do seu PIB em educação, esse valor, quando normalizado pelo número de alunos, resulta em um montante menor do que o investido por outras nações [2].

Assim, destacamos a necessidade de: i) valorizar a escola pública, o professor e a carreira do magistério em todos os níveis; ii) criar programas de apoio ao ensino de ciências, humanidades, esportes e artes, valorizando essas disciplinas nos currículos, além de disponibilizar laboratórios, bibliotecas, quadras e acesso à internet em todas as escolas públicas; iii) estimular a pesquisa científica inspirada nos problemas da educação, para encontrar soluções pedagógicas baseadas em evidências científicas; iv) valorizar o ensino de ciências baseado em investigação e experimentação, desde o ensino fundamental, enfatizando criatividade e empreendedorismo.

No ensino superior, é necessário garantir a universidades públicas e institutos técnicos um orçamento robusto, com dotação financeira regida por planos plurianuais, de modo a ensejar iniciativas e metas mais ousadas, de longo prazo, ajudando, assim, a fortalecê-las nos cenários local, nacional e internacional.

Na pós-graduação, é necessário aumentar a quantidade e o valor das bolsas de mestrado, doutorado e pós-doutorado do CNPq, da Capes e das FAPs, de modo a corrigir a deterioração de seu valor provocada pela inflação ao longo dos anos.

Temos também problemas no ensino de graduação, internos às próprias universidades, que devem ser abordados com urgência. Os cursos de graduação,

na sua grande maioria, não evoluíram em sua estrutura curricular e pedagógica nos últimos 50 anos. O ensino restringe-se à sala de aula e envolve pouco trabalho engajado dos estudantes.

Os cursos de graduação e as carreiras acadêmicas são estratificados em carreiras estanques e clássicas, contrariamente ao que vem ocorrendo nos países desenvolvidos, que reformaram seu ensino superior para torná-los mais flexíveis e adequados às demandas profissionais. As melhores universidades do mundo já operam em modelos modernos, com poucas áreas de entrada e muitas opções de saída nos cursos universitários. No Brasil, algumas universidades têm adotado esse modelo; porém ainda de forma muito tímida.

A inovação resulta de habilidades criativas e empreendedoras, da solução de problemas de forma coletiva em equipes multidisciplinares, de forma construtiva e conciliatória, não autoritária. É quase impossível desenvolver esse tipo de habilidades em cursos com 20 a 30 horas-aula por semana, em aulas predominantemente expositivas, com os estudantes tomando notas de forma passiva em aulas de duas ou três horas seguidas e depois se preparando de forma decorativa para avaliação em provas periódicas individuais.

Para estimular a inovação, temos de flexibilizar o sistema de ingresso, com entrada em grandes áreas do conhecimento e trajetórias acadêmicas flexíveis. Também temos de adotar técnicas pedagógicas focadas na participação pró-ativa dos alunos no desenho de sua trajetória de formação. Isso implica menos aulas formais, as quais devem servir fundamentalmente para despertar a motivação do aprendiz. Sempre que possível, devemos adotar o modelo da aprendizagem baseada na solução de problemas reais, com muito trabalho em grupo, apresentações orais intermediárias e avaliações multiparamétricas, incluindo seminários, dissertações temáticas, projetos, autoavaliação e outras formas modernas de avaliação.

Os estudantes precisam ser expostos ao mundo real, e, para isso, o ensino universitário deve promover o estímulo ao desenvolvimento de atividades acadêmicas atentas aos problemas da sociedade e ao empreendedorismo social. As universidades devem criar espaços para abrigar iniciativas empreendedoras dos alunos, com mentoria e suporte administrativo básico. Transversalmente a todos os cursos universitários, temos que estimular a discussão dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), da ONU, cultivando nos estudantes os conceitos de responsabilidade social e ambiental.

Na pós-graduação, se a avaliação privilegiar somente os impactos científicos, a ciência praticada tende a se distanciar das demandas da sociedade. Projetos de pesquisa ou temas de dissertações e teses focalizados na solução de problemas práticos de relevância local, ou de inovação, mas com menor probabilidade de gerar várias publicações em revistas internacionais, acabam por serem desencorajados.

Os estudantes de pós-graduação no Brasil são formados com um viés fortemente acadêmico e têm baixa receptividade profissional no mercado de trabalho. A avaliação atual não induz os programas a preparar seus estudantes para a cultura da inovação, entendida como toda forma de incorporação de conhecimento a produtos, processos ou serviços, de forma a torná-los inovadores, mais eficientes e mais competitivos. Temos de reconhecer que as empresas brasileiras têm pouca tradição de contratar pesquisadores, mas é também inegável que profissionais altamente qualificados para a inovação são capazes de criar suas próprias oportunidades de trabalho.

Assim, é preciso promover a inovação no seio dos programas de pós-graduação, estimulando-os a adotar como meta significativa porcentagem de estudantes engajados em projetos focados em problemas aplicados, em parceria com atores da sociedade (privados ou públicos) externos ao programa. Também é preciso expandir a modalidade de bolsa de mestrado e doutorado acadêmico para incluir bolsa de inovação, concedida a estudantes que desenvolvem suas dissertações e teses em parceria direta com empresas e órgãos públicos.

Os programas de pós-graduação devem oferecer disciplinas voltadas para empreendedorismo e inovação, propriedade intelectual, planos de negócios, gestão de recursos humanos, entre outros, para dar ao aluno opções de carreiras não acadêmicas. Estudantes da pós-graduação podem ser estimulados a realizar estágios em empresas, setor público ou terceiro setor, e as universidades públicas devem permitir que alunos de pós-graduação com bolsa possam abrir empresas *startups* incubadas, e que, eventualmente, no desenvolvimento dessas iniciativas, possam trancar matrículas e retornar no futuro, sem penalizar a avaliação do PPG.

A falta de flexibilidade, bem como o viés excessivamente acadêmico da nossa educação, são discutidos também nos capítulos 3 e 11, em conexão com seus respectivos temas.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. Adams, D. Pendlebury, & B. Stenbridge. *Building bricks: Exploring the global research and innovation impact of Brazil, Russia, India, China and South Korea*. Philadelphia, PA: Thomson Reuters (2013).
- [2] Vários autores. A importância da ciência como política de Estado para o desenvolvimento do Brasil – Documento da ABC aos Candidatos à Presidência do Brasil. Academia Brasileira de Ciências (2022).

## 2.

# NOSSAS VANTAGENS COMPARATIVAS E COMPETITIVAS

## Nossas características singulares

Somos um país grande, populoso e economicamente forte. Muito poucos países reúnem estas três dimensões: EUA, China, Rússia e Brasil. Já fomos a sétima economia do mundo e, em muitas previsões para as próximas décadas, permaneceremos entre as maiores economias do mundo [1], [2], [3]. O mundo nos vê de maneira muito otimista.

Nossas principais vantagens comparativas e competitivas são visíveis e estão associadas sobretudo a nossas riquezas naturais e nosso clima. Temos recursos minerais em abundância e recursos hídricos fartos e relativamente bem distribuídos em nosso território. Temos grande potencial para energias renováveis (hidráulica, biomassa, solar e eólica) e temos feito bom uso desse potencial.

Internamente, somos um país de contrastes. Apesar de muito grandes territorialmente, somos unidos como nação e não temos tendências separatistas, comuns em países de grandes dimensões. Somos muito populosos, mas há muitos vazios populacionais, isso porque 84% da nossa população é urbana e nossas cidades concentram-se perto da costa marítima. Somos muito diversificados regionalmente, mas compartilhamos a mesma língua, muitos costumes, valores culturais e artísticos. Somos um país rico, dada a força da nossa economia, mas também pobre, se consideradas as nossas grandes desigualdades econômicas e sociais.

Um fato a ser destacado é que, dada a nossa grande dimensão territorial, compartilhamos nossos 16,9 mil km de fronteira com dez outros países. Apenas dois países da América do Sul não fazem fronteira com o Brasil: Equador e Chile. Apesar do nosso elevado número de vizinhos, há mais de 150 anos não nos envolvemos em conflitos bélicos com eles. De maneira geral, somos amigáveis e pacifistas. Além do mais, não temos tendências expansionistas e não somos belicosos, o que nos poupa os grandes gastos militares observados em outros países de nossas dimensões.

Nossas principais vantagens comparativas se apoiam em: i) nossas grandes dimensões territoriais, que abrigam seis biomas e um ecossistema marinho com inúmeras riquezas naturais; ii) o tamanho e a diversidade da nossa economia; iii) a experiência acumulada pelas realizações bem-sucedidas em algumas áreas científicas, tecnológicas e de gestão pública. A seguir, algumas das nossas vantagens comparativas e competitivas serão exploradas em detalhe.

## Recursos minerais

Temos cerca de 9% de todas as reservas minerais do mundo. Os principais minerais explorados no Brasil são: alumínio, cobre, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro, que correspondem a 98,6% do valor de toda a produção mineral brasileira comercializada. Temos também consideráveis reservas de petróleo e gás.

No que se refere a minerais estratégicos, vale apontar que o Brasil é o terceiro maior fornecedor mundial de grafita e tem a segunda maior reserva mundial desse material, que é a principal matéria-prima para o grafeno. Temos também grandes reservas de lítio e de terras-raras, minerais estratégicos vinculados a muitos dos novos desenvolvimentos tecnológicos em curso. Também merece destaque o fato de o Brasil ter recursos significativos de urânio, e que o país se inclui entre aqueles que dominam o uso pacífico da energia nuclear.

## Energias renováveis

A matriz energética mundial é majoritariamente constituída de energias não renováveis, como petróleo e derivados (31%), carvão mineral (27%) e gás natural (23%). Fontes renováveis correspondem a apenas 14% da matriz energética mundial (majoritariamente biomassa e hidráulica). Diferentemente, no Brasil, as fontes renováveis respondem por 46% da energia produzida.

Considerando apenas a matriz elétrica, no mundo, tem-se 73% não renováveis e 27% renováveis, e, no Brasil, tem-se 83% renováveis e 17% não renováveis. Majoritariamente, o mundo gera energia elétrica a partir do carvão mineral (37%), e o Brasil a partir da energia hidráulica (62%) [4].

O Brasil é hoje o sexto país do mundo em termos de capacidade instalada de energia eólica *onshore* e, em 2021, instalou o terceiro maior número de novas usinas eólicas, ficando atrás apenas da China e dos EUA [5]. Em 2012, o país tinha capacidade instalada de energia eólica de 2,5 GW, e, em 2022, a capacidade instalada será 25,8 GW (dez vezes maior!); a energia eólica será então a segunda maior fonte de energia elétrica do país (11,8% da matriz elétrica).

A capacidade instalada de energia solar é de 17 GW; hoje, o Brasil é o décimo quarto país do mundo em potência instalada [6]. A capacidade instalada de energia solar no Brasil cresce ainda mais rapidamente do que a de energia eólica. Tanto o potencial eólico quanto o solar são elevados, e a participação dessas fontes de energia deverá crescer muito em nossa matriz energética.

Tecnologias de produção de etanol, biodiesel e bioquerosene de aviação representam também diferenciais comparativos do país. Ainda inexistente, mas muito promissor, é o uso de hidrogênio obtido a partir de fontes renováveis (hidrogênio verde). Em anos subsequentes, devemos promover de forma crescente a produção de hidrogênio verde para exportação.

## Recursos hídricos

Temos 12% da água doce do planeta (somos o país com a maior disponibilidade de água) e 53% dos recursos hídricos da América do Sul. Nossa superfície coberta por água é de 17 milhões de hectares (2% do território nacional), e nossas bacias hidrográficas são extensas. Temos 83 rios fronteiraços e transfronteiraços e grandes aquíferos.

Dois dos maiores aquíferos do mundo, o sistema aquífero Grande Amazônia (com 162,5 mil km<sup>3</sup> de volume de água) e o aquífero Guarani (com volume de 37 mil km<sup>3</sup>), têm grande parte de suas reservas no território brasileiro. Nossa maior bacia hidrográfica deságua no rio Amazonas, que despeja no Atlântico cerca de 20% de toda a água doce vertida nos mares do mundo. Nessas águas, vivem cerca de 3 mil espécies de peixes, além de diversos outros organismos. Nossa riqueza em recursos hídricos representa importante vantagem comparativa e competitiva.

Ainda que nossos recursos hídricos sejam abundantes, diversos fatores, entre os quais uso inadequado da terra, fatores climáticos e poluição, têm levado



a considerável perda desses recursos em anos recentes. Conhecer a disponibilidade atual e futura dos nossos recursos hídricos e promover sua conservação por meio de boas políticas e monitoramentos qualitativos e quantitativos das águas superficiais, áreas úmidas, águas subterrâneas dos efluentes, garantirão a sustentabilidade desse importante recurso natural, o que nos assegurará grande vantagem comparativa em relação a outras nações. A água é recurso cada vez mais escasso e valioso.

## Agricultura e pecuária

O agronegócio é um setor em que temos grande vantagem competitiva e que representa 27% do nosso PIB. A agricultura corresponde a 70% do agronegócio e a pecuária, a 30%. O valor bruto da produção agropecuária em 2022 deve alcançar R\$ 1,38 trilhão [7]; soja, carne bovina, milho, café, cana-de-açúcar e algodão são nossos principais itens nesse setor.

Somos o maior exportador mundial de soja em grãos, café, suco de laranja, açúcar, carne de frango e carne bovina, e o segundo maior exportador de algodão. Ao todo, somos o quarto maior exportador mundial de produtos agropecuários, atrás da União Europeia, dos EUA e da China.

Desde 2010, o superavit comercial do agronegócio brasileiro supera o déficit comercial dos demais setores da economia, o que garante superavit na nossa balança comercial. Em 2020, 48% do valor das exportações brasileiras vieram de produtos do agronegócio. O setor absorve um de cada três trabalhadores brasileiros.

Conforme explorado no capítulo 6, não obstante a grandeza do agronegócio brasileiro, há vários problemas que precisam ser resolvidos para fortalecer a agricultura e a pecuária, tanto por uma perspectiva de sustentabilidade e de preservação dos nossos recursos naturais e da nossa biodiversidade quanto por aumento da diversidade e da efetividade da produção agropecuária brasileira. Entre os problemas considerados no capítulo 6, incluem-se os subsídios, a infraestrutura de transportes e portuária, a irrigação, o replantio de florestas, a aquicultura e os defensivos agrícolas.

No atual cenário de mudanças climáticas, o desenvolvimento e a expansão do agronegócio devem estar comprometidos com a sustentabilidade ambiental.

Para isso, é necessário que no custo do agronegócio sejam incorporados os nossos ativos ambientais associados à preservação da biodiversidade e dos diversos recursos naturais. Nesse contexto, é imperativo desenvolver novas práticas de quantificação de custos que incluam a valoração do meio ambiente, além do monitoramento e da gestão ambiental [8].

## Ensino superior e pós-graduação

Na educação brasileira, vemos importantes fragilidades. Nosso sistema educacional é ineficiente, nossa oferta de boa educação básica é desigual e insuficiente, e nosso ensino superior não atende amplamente à população, seja em número, seja em qualidade. Apenas 16% dos egressos do ensino superior concluem formação nas áreas de ciências, tecnologia, engenharia e matemática, e apenas 20% da população entre 25 e 64 anos teve ensino superior. Tais fragilidades são abordadas de forma contextualizada nos capítulos 1 e 3.

No entanto, apesar das nossas fragilidades em educação, uma das nossas vantagens competitivas é nossa rede de instituições públicas de ensino superior, distribuída em todos os estados da federação. Adicionalmente, como discutido no capítulo 1, que explora nossas competências, temos um Sistema Nacional de Pós-graduação (SNPG) muito significativo, tanto em abrangência quanto em qualidade.

Como resultado, sobretudo, de preocupações advindas da formação de pessoas qualificadas para a pesquisa e pós-graduação, e da criação de uma infraestrutura favorável para a pesquisa, concebemos e criamos, ao longo dos anos, diversos instrumentos e programas muito bem-sucedidos.

Exemplos incluem: i) um sistema único de bolsas, que contempla desde alunos do ensino médio até o pós-doutorado, além de bolsas de produtividade em pesquisa e para pesquisadores sêniores; ii) o sistema virtual de currículos abrigado na plataforma Lattes, que possibilita, com transparência e agilidade, consulta às informações acadêmicas e científicas de milhões de profissionais, pesquisadores e cientistas; iii) o portal de periódicos da Capes, que dá acesso a um vasto acervo de banco de dados e literatura técnico-científica a instituições públicas e privadas; iv) os fundos setoriais vinculados ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), que coletam recursos de

diferentes fontes para o financiamento de pesquisa e desenvolvimento em áreas específicas, e também para financiar a infraestrutura e os serviços de apoio à pesquisa desenvolvida em instituições brasileiras, e programas e projetos cooperativos entre universidades, centros de pesquisa e o setor produtivo; v) o programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs), que financia grupos de pesquisa em redes de cooperação científica em mais de uma centena de áreas para o desenvolvimento de projetos de alto impacto científico, e para a formação de recursos humanos qualificados.

Nosso SNPG necessita de constante revisão e aprimoramento. Além disso, a diversidade e abrangência do SNPG requer recursos crescentes e estáveis para que possa evoluir, identificando e atendendo nossas crescentes necessidades. Propostas de melhoramento do SNPG são apresentadas também nos capítulos 1, 3 e 11, com base em análises contextualizadas.

## Áreas científicas e tecnológicas

Importante fator de competitividade é nossa qualificação científica em algumas áreas do conhecimento, como ciências agrárias, ciência vegetal e animal, ciências ambientais, ecologia, ciência dos materiais, medicina tropical, odontologia e imunologia.

Em tais áreas, nossa produção científica representa parcela considerável da produção mundial e nos qualifica para atuarmos competitivamente em diferentes setores econômicos, como bioeconomia, produção agrícola e industrial sustentável, energias renováveis, ativos ambientais e complexo econômico e industrial da saúde, como exposto no capítulo 1.

Em algumas áreas tecnológicas, a combinação virtuosa de oportunidades bem aproveitadas, que incluem fatores como apoio governamental, espírito empreendedor, boa gestão, pessoas qualificadas e interação entre universidade e empresa, possibilitou que nos tornássemos competitivos em setores como aviação civil, biocombustível, alguns segmentos da indústria de transformação, extração de petróleo em águas profundas, agronegócios e mineração. Vale ressaltar que algumas empresas brasileiras que atuam nesses setores têm liderança mundial em suas áreas de atuação. Exemplos incluem Embraer, Petrobras, Embrapa, WEG e Vale.

## Modais de transportes (rodoviário, ferroviário, hidroviário, marítimo e aeroviário)

Nossa extensão territorial e a possibilidade de usarmos diferentes modais de transporte são uma importante vantagem comparativa. As grandes dimensões territoriais do Brasil e a importância do agronegócio e dos recursos minerais na economia fazem com que o setor de transportes desempenhe papel crucial no escoamento das nossas safras agrícolas e dos nossos produtos minerais.

Aproximadamente 60% da carga transportada no país transitam por meio rodoviário, e, em extensão, temos a quarta maior malha rodoviária do mundo. No entanto, apenas 14% das nossas rodovias são pavimentadas e, destas, quase a metade apresenta problemas no pavimento e deficiência na sinalização [9]. Observe-se que na China, país que tem a segunda malha rodoviária do mundo (atrás apenas dos EUA), com aproximadamente 4 milhões de km, mais de 80% das estradas são pavimentadas.

Para fazermos melhor uso da nossa malha rodoviária, é necessário investir em novas tecnologias de traçado de rodovias, pavimentação e construção de pontes e viadutos. Adicionalmente, tecnologias digitais, ainda pouco disseminadas no setor de transportes, podem trazer mais segurança e mais eficiência operacional e logística.

Nosso número de 32 bilhões de passageiros-quilômetros (número total de pessoas transportadas multiplicado pela quilometragem anual média percorrida por cada pessoa) transportados anualmente nas rodovias está significativamente abaixo dos verificados em outras economias. Na França, esse número é 680 bilhões; na Alemanha, é 1 mil bilhão; e, nos EUA, é 6.560 bilhões [10]. Mesmo na Argentina, com menos de um terço de nosso território, o número é 49 bilhões de passageiros-quilômetros transportados anualmente.

Nossas rodovias precisam ser melhoradas e tornadas mais seguras para que possam ser mais utilizadas, aumentando as oportunidades de geração de riqueza e renda. A qualificação de novos profissionais e o uso de tecnologias avançadas na construção e no monitoramento das estradas são a maneira mais efetiva de melhorar nossa infraestrutura de transporte rodoviário, além de trazer mais segurança aos motoristas, passageiros e usuários da malha rodoviária.

O Brasil tem 8,5 mil km de costa navegável e 21 mil km de hidrovias economicamente navegáveis. Nosso sistema aquaviário tem 37 portos e 141 terminais de uso privado. Ainda que transportemos mais de 1 bilhão de toneladas de carga por ano, nosso sistema aquaviário precisa ser melhorado para fazer frente a nossas demandas.

As malhas de transportes ferroviário e aeroviário precisam ser ampliadas, tanto em extensão quanto em cobertura regional, para atender maior número de municípios e se tornarem modais mais importantes no transporte de pessoas e cargas. É especialmente grave a subutilização do modal ferroviário no Brasil para transporte de cargas. Nossa malha ferroviária é muito pequena e de qualidade média a ruim. Exceto no setor de minério de ferro, o transporte ferroviário é muito pouco usado no Brasil, o que encarece enormemente o nosso transporte de cargas.

## Biodiversidade

O Brasil abriga de 15% a 20% da biodiversidade mundial nos seus biomas: Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pampa, Pantanal e bioma marinho. Nossa biodiversidade é um de nossos maiores patrimônios e talvez represente nossa maior vantagem competitiva e comparativa como nação.

Conhecemos e usamos pouco essa nossa riqueza natural. O que é mais grave: temos colocado em risco grande parte dela por falta de políticas públicas e por ignorância sobre os efeitos deletérios de práticas não sustentáveis e agressivas ao meio ambiente e à natureza.

A exploração agropecuária pouco diversificada – frente ao nosso enorme potencial – e que ignora as características regionais agride e destrói nossos biomas; temos de rever essas práticas. Iniciativas e desenvolvimentos que observem e respeitem as legítimas vocações regionais e que operem em sinergia com nossa biodiversidade são a alternativa natural para a produção agropecuária sustentável [11].

Nesse contexto, há inúmeras possibilidades para avançar em áreas que nos são importantes, como a produção nacional de fertilizantes, agropecuária de baixo carbono, conservação de recursos hídricos e aquicultura, entre outras.

Explorar cientificamente a biodiversidade brasileira gerará conhecimento das redes bioquímicas e moleculares codificadas nos genomas de plantas, animais e comunidades microbianas das nossas espécies [11]. Conhecer os mecanismos de interação entre os seres vivos nos trará competitividade científica e tecnológica e nos qualificará para desenvolver novos bioprodutos e tecnologias, e aumentará a tolerância das plantas a pragas e doenças, à seca ou ao alagamento e a solos pobres em nutrientes.

Maior segurança alimentar e maior sustentabilidade das plantações são consequências naturais de tais desenvolvimentos. Diversos produtos advindos dos nossos biomas já começam a nos dar competitividade na agricultura, como os inoculantes e biodefensivos, e os bioinsumos usados na substituição de fertilizantes químicos e agrotóxicos. O desenvolvimento da bioeconomia apoiada na biodiversidade oferece grandes oportunidades, como exposto no capítulo 4.

## Recursos do mar

A área territorial do Brasil é de 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, e nem sempre consideramos que temos também 3,6 milhões de km<sup>2</sup> de mar territorial (42% da nossa área de solo territorial) em uma costa de 7,4 mil km (fronteira marítima que corresponde a 44% da nossa fronteira terrestre). Nossa costa e área territorial marítima são também uma grande vantagem comparativa.

Das nossas 27 unidades federativas, apenas dez estados e o DF não têm acesso ao mar. A faixa litoral do Brasil abriga 13 capitais e mais de 30 milhões de habitantes, e, pelas águas jurisdicionais brasileiras, transitam mais de 90% do nosso comércio exterior.

O mar territorial brasileiro tem enorme variedade de riquezas biológicas e minerais. Associado ao mar brasileiro, há várias atividades econômicas relevantes, como exploração de petróleo e gás natural, indústria naval, atividades portuárias, navegação e transporte, pesca e aquicultura, mineração marinha, esportes aquáticos, lazer náutico, comunicação intercontinental através de cabos submarinos, energia renovável, turismo, hotelaria, restaurantes e bares.

No contexto mundial atual, a industrialização no oceano é crescente, embora a atividade industrial relacionada ao mar esteja concentrada na Ásia e

Europa. É estratégico para nós reconhecer a importância da economia do mar e usufruir os benefícios de um desenvolvimento equilibrado e sustentável dos recursos marítimos.

O país tem uma economia do mar relevante e com grande potencial de desenvolvimento sustentável. Estima-se que a economia do mar participe de cerca de 20% do PIB brasileiro [12], com destaque para os seguintes setores: i) serviço, principalmente o setor de turismo costeiro; ii) energia, essencialmente petróleo e gás; iii) defesa; iv) manufaturas, em especial a construção e manufatura naval.

É importante destacar que, por não termos um setor econômico específico para o mar, nas contas nacionais, muitas atividades marítimas estão alocadas em outros setores. Percebe-se, assim, que o PIB da economia do mar supera os 20% mencionados anteriormente e deve-se equiparar ao do sólido setor agropecuário.

Associados aos recursos do mar e integrantes do sistema costeiro estão os manguezais. Os manguezais situam-se na região costeira de transição entre os ambientes marinho e terrestre, e servem de abrigo para grande número de seres vivos. Um grupo de 19 países tem 79% da área global de manguezais. Entre eles, Indonésia, Austrália e Brasil – nessa ordem, os que têm as maiores áreas – abrigam, conjuntamente, 36,7% dos manguezais mundiais [13].

Cerca de 30% da costa brasileira está coberta por esses ambientes, que são áreas de reprodução, abrigo e berçário de espécies marinhas, e produzem alimentos, substâncias medicinais e combustíveis para as comunidades humanas costeiras. Estima-se que aproximadamente 80% de todas as capturas globais de peixes dependem direta ou indiretamente dos manguezais [13]. Apesar de sua importância, os manguezais são ecossistemas negligenciados e não têm atraído a devida atenção de cientistas e pesquisadores, além de estarem muito ameaçados.

Estima-se que, nos últimos 40 anos, a área de manguezais no mundo foi reduzida em 40% [13]; muitos portos, cidades, balneários e rodovias costeiras são construídos sobre áreas de manguezal. Os manguezais fornecem ao mar nutrientes e matéria orgânica necessária para o florescimento do plâncton, que é a base da cadeia alimentar marinha.

Outros papéis importantes dos manguezais são a redução da energia das ondas, causadoras de erosão, e também a ciclagem do nitrogênio. É, portanto, estratégico que tratemos nossos manguezais de forma que sejam uma importante vantagem comparativa.

## REFERÊNCIAS

- [1] The Long View: How will the global economic order change by 2050?: <https://www.pwc.com/gx/en/world-2050/assets/pwc-the-world-in-2050-full-report-feb-2017.pdf>
- [2] Five superpowers ruling the world in 2050: <https://www.bbc.com/travel/article/20200322-five-superpowers-ruling-the-world-in-2050>
- [3] An Economist's Guide to the World in 205: <https://www.bloomberg.com/graphics/2020-global-economic-forecast-2050/>
- [4] Empresa de Pesquisa Energética: <https://www.epe.gov.br/>
- [5] Global Wind Energy Report 2022: <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>
- [6] Renewable Capacity Statistics 2022: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2022.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2022.pdf)
- [7] Valor Bruto da Produção – VBP, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil, CNA, agosto de 2022: <https://cnabrasil.org.br/publicacoes/vbp-da-agropecuaria-em-2022-devera-alcancar-r-1-38-trilhao-crescimento-de-4-3-em-relacao-ao-ano-anterior>
- [8] Engenharia para o futuro, Academia Nacional de Engenharia, ANE, março de 2022.
- [9] Anuário Estatístico de Transporte 2010-2019, do Ministério da Infraestrutura.
- [10] OEDC Data: <https://data.oecd.org/transport/passenger-transport.htm>
- [11] Biomass e Agro: Sinergia para uma bioeconomia pujante e sustentável, Academia Brasileira de Ciências, ABC, fevereiro de 2022.
- [12] PIB do Mar Brasileiro, motivações sociais, econômicas e ambientais para sua mensuração e seu monitoramento, IPEA, fevereiro de 2022: [https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td\\_subs2740.pdf](https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_subs2740.pdf)
- [13] W. B. da Silva, L. Santi and J. A. Guimarães. Mangroves: A Threatened Ecosystem Under-Utilized as a Resource for Scientific Research. *Journal of Sustainable Development*, vol. 7, pp. 40-51 (2014).





### 3.

## NOSSAS FRAGILIDADES

### **Boas políticas podem sanar fragilidades de raízes históricas**

Nossa história nos deixou como legado enorme desigualdade econômica e social, e essa desigualdade é a raiz de muitas das nossas fragilidades. O foco deste capítulo são as fragilidades que dificultam a nossa prosperidade e a justa distribuição social dos seus frutos.

No campo da ciência, tecnologia e inovação (CT&I), as fragilidades são sistêmicas e só podem ser sanadas com boas políticas, aplicadas com determinação. Falta-nos uma política de Estado para o tema, que produza um sistema nacional de CT&I (SNCTI) adequado ao tempo presente que também contenha planejamento futuro, e proporcione mecanismos para a transferência de conhecimento para as áreas econômica e social, por meio da inovação e geração de empresas que transformem a inovação em negócios e renda.

Após a Segunda Grande Guerra, começamos nosso processo de industrialização pela instalação no país de filiais de empresas industriais estrangeiras, que importavam toda a sua tecnologia das matrizes. Assim, não trouxeram com elas a cultura da inovação, e às indústrias que nasceram no Brasil também acabou faltando essa cultura.

Também após a Guerra, o Brasil iniciou um bem-sucedido programa de criação de um sistema de pesquisa. Mas a falta de uma cultura de inovação no setor industrial dificultou a transformação do conhecimento gerado pela ciência em prosperidade. No mundo desenvolvido, essa transformação deu-se pela chamada hélice tríplice, um círculo virtuoso unindo três atores: universidade, governo e indústria.

Por meio de políticas adequadas, o governo tem de assumir a liderança na construção dessa hélice, pois só ele tem poder político e econômico para articular e estruturar essa aliança.

## Fragilidades estruturais no país

O Brasil desigual apresenta disparidades sociais gritantes, que atingem a área da saúde, do meio ambiente e da segurança. Em todas essas áreas, o papel da CT&I é determinante na solução dos problemas.

Na área da saúde, embora tenhamos um sistema como o SUS, a população continua sendo mal atendida; principalmente, nos locais mais distantes dos grandes centros urbanos. A covid-19 escancarou também esse problema, ao mesmo tempo que mostrou para a sociedade a relevância da ciência e dos cientistas.

No entanto, muitas das doenças que perduram no país estão ligadas à falta de saneamento básico e de água potável nas residências. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de 2020, apesar de 68,3% das residências brasileiras estarem conectadas à rede de esgoto sanitário, apenas 46% do esgoto coletado são devidamente tratados. Isso gera grande incidência de doenças infecciosas e, com elas, aumento na mortalidade e no impacto negativo no sistema de saúde.

A falta de saneamento e água potável leva ainda a aumento na poluição, a problemas escolares, e afeta diretamente o turismo, pois desvaloriza a paisagem – um exemplo são esgotos a céu aberto despejados nas praias – e afasta os visitantes que percebem os efeitos negativos desse problema.

A questão ambiental no país tornou-se também uma fragilidade, quando deveria ser o oposto, dado o potencial dos biomas disponíveis, o qual poderia ser bem explorado. A maior fragilidade nesse caso é a falta de gestão adequada, agravada nos últimos cinco anos.

Na área da segurança pública, a ciência e a tecnologia podem reduzir em muito as fragilidades do sistema nacional, com o uso de tecnologias da informação, pela criação nacional de um sistema de transmissão de imagens e outros dados de identificação de locais e pessoas, como foi visto recentemente com a utilização de câmeras de filmagem nas roupas de policiais.

O uso de tecnologias de última geração – como drones – serviria para conter problemas vistos diariamente, nos presídios e grandes centros urbanos, e remete também aos sistemas policial e judiciário, que são extremamente frágeis no uso dessas tecnologias.

A maioria das fragilidades nos sistemas de saúde, meio ambiente e segurança pode ser mitigada com tecnologias disponíveis e gestão adequada. Por ser um tema de extrema relevância, a infraestrutura de apoio à CT&I será tratada mais profundamente em capítulo específico.

## **Fragilidade do projeto pedagógico para o desenvolvimento da CT&I do básico à pós-graduação**

A educação é um direito de todo cidadão, e também essencial para a inclusão social e o avanço das sociedades na era do conhecimento. Educação é resultado e também formadora da cultura. Em um país desigual como o Brasil, com suas origens escravocrata e patrimonialista, diversas ações, incluindo ações afirmativas, são necessárias para corrigir injustiças históricas.

Do ponto de vista do desenvolvimento científico e tecnológico, nossa grande fragilidade tem sido um projeto pedagógico anacrônico. A evolução no setor educacional brasileiro tem sido, de forma geral, positiva quantitativamente, mas lenta no que se refere à qualidade e atenção à diversidade de qualificações que o mundo atual demanda.

Mesmo no aspecto quantidade, os problemas ainda são graves. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontam que crianças, adolescentes e jovens de até 29 anos de idade correspondiam a 42,9% da população brasileira em 2018. A taxa de ocupação, seja na escola ou no mercado de trabalho, das pessoas de 18 a 24 anos foi de 50,3% naquele ano, sendo que 67,9% dos jovens nesse grupo somente trabalhavam e 32,1% trabalhavam e estudavam. O percentual de jovens nessa faixa etária que somente estudava era de 21,5%. Esses números revelam a existência de uma grande quantidade de jovens que poderiam estar contribuindo para o presente e o futuro do país, e que precisam receber um olhar diferenciado, para terem possibilidades de se desenvolverem de modo condizente com o país que queremos ser.

A figura 1 revela, de forma muito clara, a fragilidade na escolarização brasileira, mostrando a alta evasão escolar, que ocorre tanto no ensino básico quanto no ensino superior. A evasão é muito mais elevada nas classes menos favorecidas, o que perpetua o quadro de desigualdade social.

## Taxa de Escolarização Líquida por Nível de Ensino

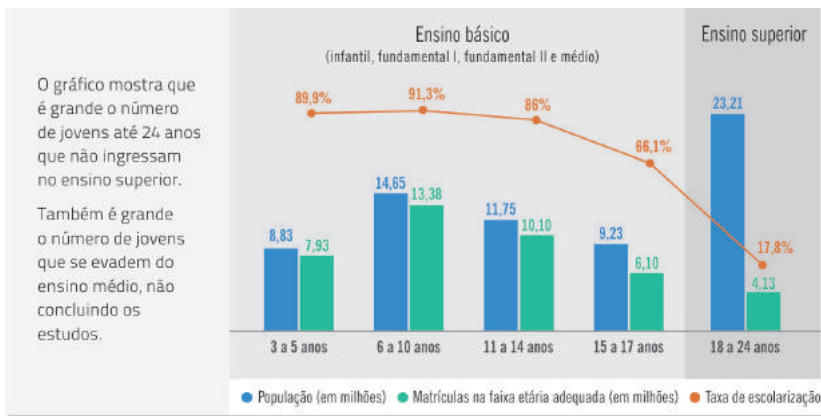


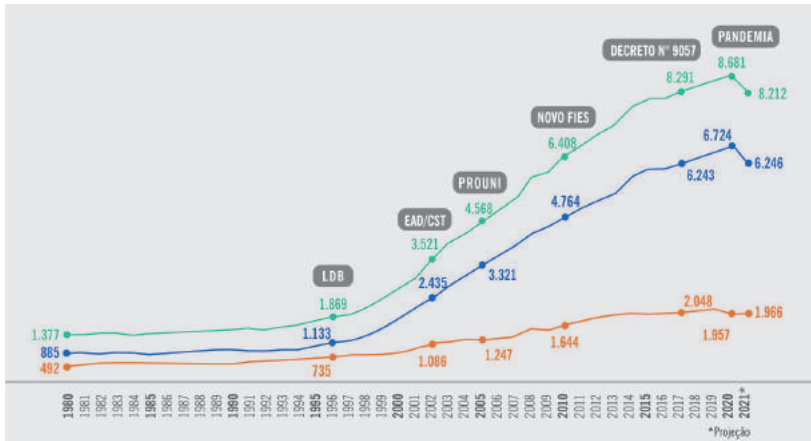
Figura 1. Taxa de escolarização por nível de ensino

Fonte: Mapa Semesp, ref. 1

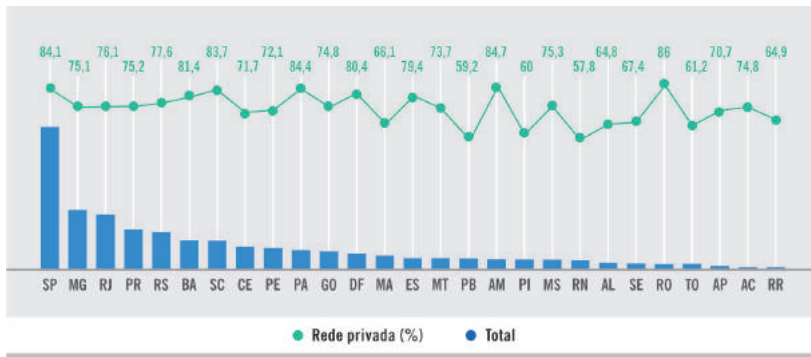
Além do problema da evasão, o ensino médio (EM), seja propedêutico ou profissional, tem fracassado na formação qualificada dos jovens até 18 anos, seja para seguirem um curso superior, seja para estarem preparados para o mundo do trabalho. Segundo a Abraes – Associação Brasileira de Estágios [2] –, os dados do INEP/MEC de 2020 mostram que 7.550.753 estudantes estavam matriculados no EM e 1.936.094 no EM técnico, totalizando 9.486.847 estudantes. No total, quase 8,8 milhões de alunos no médio e médio técnico estavam aptos a estagiarem, mas apenas 260 mil conseguiram uma vaga, número que corresponde a 2,96% dos estudantes brasileiros.

No ensino superior, as figuras 2a e 2b mostram o crescimento quantitativo e a concentração de instituições em alguns estados, respectivamente, que ilustram a desigualdade econômica entre as regiões e a decrescente participação relativa do Estado no ensino superior.

A figura 2a destaca o rápido crescimento no número de matrículas no ensino privado neste século, enquanto a rede pública continuou crescendo lentamente, o que gera grande desigualdade de oportunidades de desenvolvimento pessoal. Também estão no gráfico marcos que impactam o número de matrículas. Já a figura 2b, mostra impressionante concentração regional, com número desproporcionalmente elevado de matrículas em três estados: SP, MG e RJ. Outros dados explicativos da figura aparecem em palavras na sua parte superior.



2a



2b

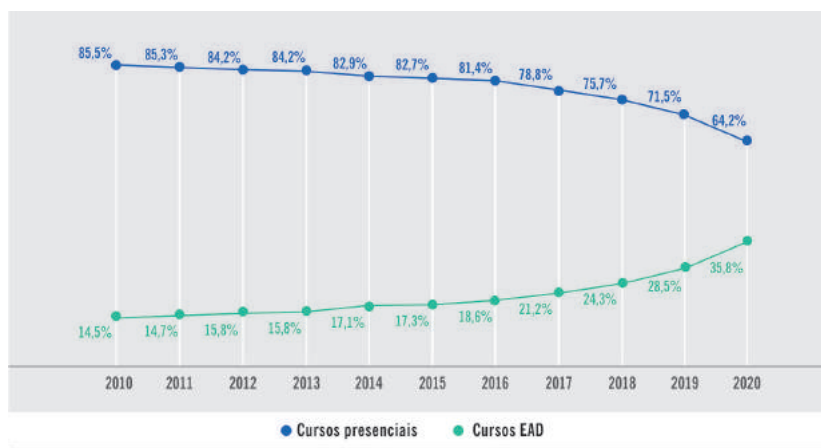
**Figura 2.** Evolução do número de matrículas no ensino superior (2a) e distribuição de matrículas por unidade da federação (2b)

Fonte: Mapa Semesp, ref. 1.

Outro aspecto de nossa educação a ser considerado é o aumento no número de cursos superiores a distância, comparados ao número de cursos presenciais, mostrado na figura 3. Uma consequência do aumento do ensino superior a distância é o oferecimento de poucos cursos em áreas científicas e tecnológicas, nas quais os laboratórios e as aulas presenciais são fundamentais, e, por isso, requerem a modalidade presencial.

Um exemplo especialmente grave é o número de cursos de direito – o Brasil tem o maior número de cursos de direito do mundo –, a imensa maioria de baixa qualidade. Em 2018, havia 1.500 cursos, segundo o INEP, e mais de 1,2 milhão de advogados registrados, segundo a Ordem dos Advogados do Brasil (OAB).

A prova da OAB, a principal avaliação dos formados em direito, reprova cerca de 40% dos bacharéis formados na área, o que revela a baixa qualidade dos cursos. Na avaliação de Capes, nenhum curso de pós-graduação (PG) em direito alcança nota 7 (o valor máximo). Não surpreende, portanto, que o sistema judiciário brasileiro seja cartorial, burocrático, e não avance, pois lhe falta uma base acadêmica de qualidade para que ele se desenvolva.



**Figura 3.** Distribuição de matrículas por modalidade

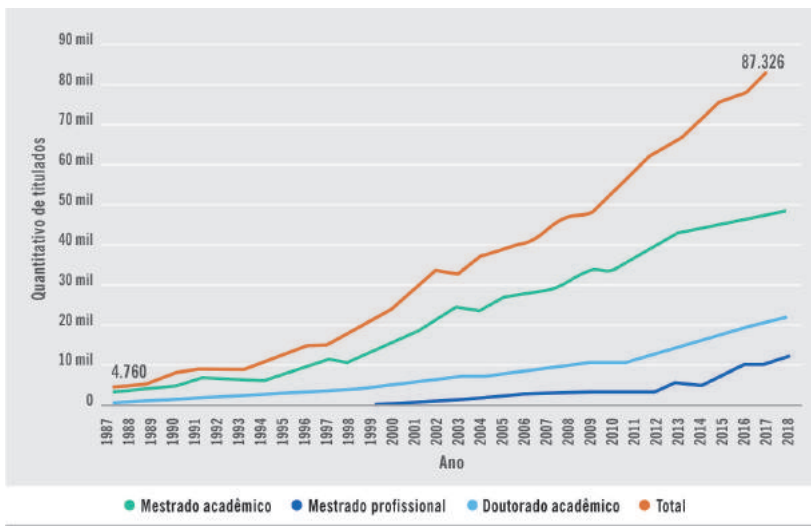
Fonte: Mapa Semesp, ref. 1.

A tendência de ensino a distância precisa ser revertida, pois, para desenvolver-se economicamente, o Brasil precisa ter mais cursos de qualidade nas áreas científica e tecnológica, que são necessariamente presenciais.

Por fim, ao olhar para a PG, em que mais de 90% da pesquisa no país é realizada, vemos grandes avanços, mas também vemos fragilidades. Entre os diversos avanços, o número de pós-graduandos tem sido crescente desde o início dos programas de PG nos anos 1970, como pode ser visto na figura 4.

Examinando o sistema de PG brasileiro, com um olhar no presente e também para o futuro, percebemos que [3]: i) Os estudantes de pós-graduação são formados com um viés fortemente acadêmico e têm baixa receptividade no mercado de trabalho não acadêmico; ii) falta estímulo ao empreendedorismo e à inovação; iii) projetos mais audaciosos ou complexos são evitados pelo risco de

não resultar em publicações/dissertações/teses, o que, na prática, contribui para o baixo impacto científico da ciência brasileira em relação à média mundial; iv) fração maior dos projetos deveria tratar de problemas reais, com impacto social direto de curto/médio prazos. No entanto, não são encorajados, pois o resultado principal pode não ser 'publicável'; v) projetos 'orientados à missão' ou com foco em problemas industriais sob demanda são raros.



**Figura 4.** Evolução do número de titulados da pós-graduação brasileira, 1987 a 2018

Fonte: Capes, 2020

Não bastassem esses problemas, a estrutura curricular dos nossos cursos é muito rígida. Há excesso de disciplinas obrigatórias e muito poucas disciplinas eletivas. No ensino médio, o número de disciplinas obrigatórias é o dobro do que se vê nos países mais bem-sucedidos em educação, como a Finlândia e Coreia do Sul. Nos EUA, há apenas três disciplinas obrigatórias, enquanto no Brasil temos 13.

O número de disciplinas é tamanho que o aluno não aprende bem nenhuma delas. O ensino é muito livresco, o aluno pouco 'põe a mão na massa' e, por isso, não aprende a resolver problemas. Mesmo nas melhores escolas, raramente há laboratórios e oficinas; por isso, os alunos não têm contato com os fenômenos da natureza, perdem o interesse pela ciência, e seus cérebros são pouco estimulados.

O excesso de disciplinas obrigatórias, que se observa também no ensino superior, impede que os alunos mais bem dotados queimem etapas de sua trajetória educacional, o que retarda sem necessidade sua formação. Essas grades curriculares pouco flexíveis são também muito uniformes em todo o país. A consequência é que há muito pouca diversidade no tipo de profissional que formamos.

Em cada área do conhecimento, todos têm formação muito parecida, o que atende muito mal à demanda do mercado profissional. E, ao não poder escolher sua trajetória de formação, o aluno não pode se dedicar mais às disciplinas das quais mais gosta, que, em geral, são exatamente aquelas para as quais tem mais aptidão. Assim, o país desperdiça muito talento, e é difícil conceber desperdício mais grave do que o de talentos.

Além de rígidas, nossas grades curriculares pouco mudam com o tempo. A tendência mundial é para cursos universitários com poucas entradas e muitas saídas, com formações que atendem aos mais diversificados talentos e a um mundo em que o recorte das profissões é cada vez mais dinâmico. Ao longo da sua graduação, o aluno escolhe, entre muitas titulações oferecidas, a que lhe parece mais atraente.

No Brasil, o número de portas de saída é igual ao de entradas e, já no ingresso, aos 17 ou 18 anos, o aluno tem de decidir em que área quer se formar. Se descobrir depois que cometeu um equívoco, para corrigir o erro ele precisa abandonar o curso e concorrer ao ingresso na área que lhe interessa. Mesmo no ingresso à pós-graduação, é difícil mudar de área, pois os pré-requisitos para ingresso também são muito severos e ortodoxos.

Tudo isso é muito grave e precisa ser corrigido com urgência. A correção é dificultada pela excessiva regulamentação das profissões de nível superior observada no Brasil. Essa regulamentação cria corporações de ofício que tentam impedir – com lamentável sucesso – que o perfil de formação para sua profissão se altere e seus praticantes fiquem tecnicamente ultrapassados, se não até mesmo anacrônicos.

Isso significa que, para que o país avance, é necessário que também reveja a sua regulamentação de profissões. Os problemas do nosso sistema educacional foram também tratados no capítulo 1, de forma contextualizada à questão de nossas competências, e também no capítulo 11, no contexto da criação de indústrias inovadoras.



## Transformando o círculo vicioso em um círculo virtuoso

No Brasil, tentativas importantes de implantação de políticas de CT&I foram realizadas, como o Plano Brasil Maior (2011-2014) e a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI). A ENCTI estabeleceu as prioridades do governo federal para o investimento em CT&I e apontou os desafios e os objetivos a serem alcançados para promover o Sistema Nacional de Inovação (SNI). A ENCTI foi baseada nas recomendações para o setor de CT&I contidas no *Livro azul*, resultado da IV Conferência Nacional de CT&I, realizada em 2010, mas ainda está longe de ser consolidada.

Como discutido em [5], “Quando comparamos as políticas de CT&I internacionais e nacionais com as informações sobre a infraestrutura de C&T de cada país e o financiamento público proporcionado, percebemos que o governo tem um papel determinante na promoção do desenvolvimento científico e tecnológico das instituições públicas e privadas, uma vez que somente ele tem o volume de recursos necessários para alavancar tal desenvolvimento”.

O papel do governo no apoio à infraestrutura para o desenvolvimento científico também foi discutido por Mariana Mazzucato, ao tratar do Estado empreendedor [6]. Porém, o setor privado precisa ter maior participação no fomento e no desenvolvimento de CT&I, pois ele é o principal beneficiado por essas ações e também o usuário imediato da inovação. Somente com a consolidação de um setor empresarial demandante, e também agente de importante atuação nas atividades de CT&I, será possível alcançar a evolução desejada do SNI.

A figura 5 ilustra o círculo vicioso que dificulta nosso avanço em CT&I e na redução das desigualdades sociais, e o círculo virtuoso que promove tais avanços

Na formação de recursos humanos, além de uma reforma pedagógica, como discutida antes, é necessário fazer no ensino básico e fundamental o que foi feito com sucesso nas universidades públicas brasileiras. Com o estabelecimento de uma carreira atrativa e com a devida estruturação do fomento, as universidades se profissionalizaram adequadamente em poucas décadas. A questão não está na dicotomia público/privado, mas, sim, na qualidade da carreira e solidez do fomento.

Por fim, é importante ressaltar a necessidade das ações afirmativas, não apenas na educação, mas também no mercado de trabalho, para romper o

círculo vicioso da desigualdade estrutural, fazendo com que a sociedade evolua ao ponto de o mercado poder selecionar os melhores profissionais em todo o conjunto da população ativa, e não apenas em uma minoria de abastados, ficando a grande parcela da população sujeita à própria sorte.

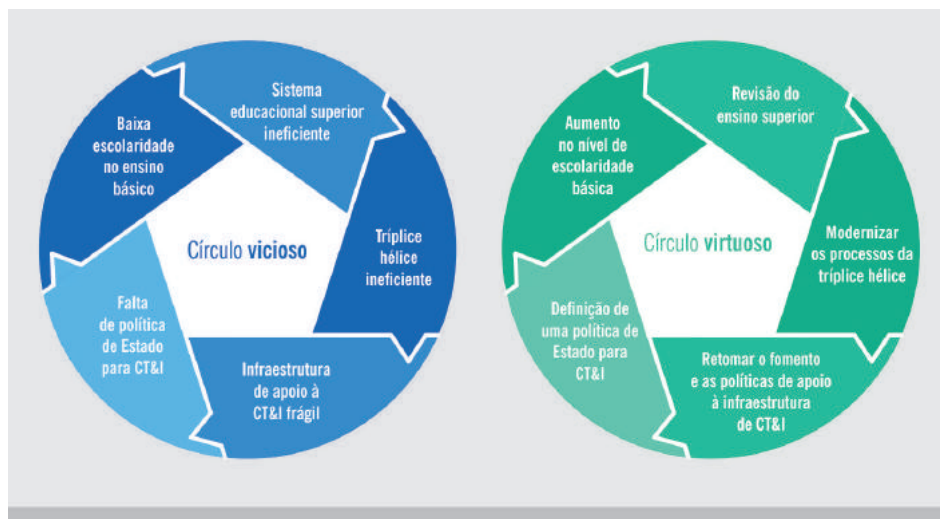


Figura 5. Ilustração do círculo vicioso e de um desejado círculo virtuoso em CT&

## REFERÊNCIAS

- [1] <https://www.semesp.org.br/mapa/>
- [2] <https://abres.org.br/estatisticas/>
- [3] Os tópicos (i) a (iv) constam do relatório da Comissão Especial para Análise do Sistema e Processo de Avaliação da Qualidade da Pós-graduação Brasileira, (Portaria MEC N. 157, de 24 de novembro de 2015, DOU de 25 de novembro de 2015, Seção 2, pág. 19 e Portaria MEC N. 29, de 15 de março de 2016, DOU de 16 de março de 2016, Seção 2, pág. 14, não publicado e cedido por cortesia por Glaucius Oliva.
- [4] Academia Brasileira de Ciências: A importância da ciência como política de Estado para o desenvolvimento do Brasil – Documento aos presidentes, 2022, disponível em <https://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2022/06/Publica%C3%A7%C3%A3o-Presidencia%C3%A1veis-2022.pdf>
- [5] *Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil* /organizadoras: Fernanda De Negri, Flávia de Holanda Schmidt Squeff, Brasília: IPEA, Finep, CNPq (2016).
- [6] Mariana Mazzucatu, *O Estado empreendedor – Desmascarando o mito do setor público vs. setor privado*. Editora Penguin (2014).



PARTE II

## Áreas estratégicas

**P**lanejamento exige eleição de áreas estratégicas, e essa eleição tem de levar em conta o mundo contemporâneo, com seus problemas, seus desafios e suas perspectivas. Nesse grande cenário, temos de priorizar não só as áreas em que o Brasil tem problemas, mas também aquelas em que tem condições para avanços rápidos, apoiando-se em ciência, tecnologia e inovação. A vontade política é obviamente a primeira condição para que essas áreas sejam efetivamente priorizadas e valorizadas. As áreas que elegemos e analisamos são:

- Preservação ambiental e Bioeconomia;
- Agronegócio;
- Transição energética;
- Saúde e bem-estar;
- Transformação digital.



## 4.

# BIOECONOMIA

## Uma nova ciência cujo contorno ainda está sendo definido

Em 2019, a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), em seu documento intitulado *'Innovation Ecosystems in Bioeconomy'*, revisita a definição do termo 'bioeconomia' e o enuncia como "um conjunto de atividades econômicas nas quais a biotecnologia e as ciências da vida (também química e, em particular, a sua integração inteligente) contribuem centralmente para a produção primária e a indústria, através da conversão de biomassa em alimentos, materiais, produtos químicos e combustíveis".

No Brasil, de acordo com o documento produzido pelo CGEE em 2021, intitulado *'Oportunidades e desafios da bioeconomia: Subsídios para a estratégia brasileira de CTI em bioeconomia'*, o termo "compreende toda a atividade econômica derivada de bioprocessos e bioprodutos que contribui para soluções eficientes no uso de recursos biológicos – frente aos desafios em alimentação, produtos químicos, materiais, produção de energia, saúde, serviços ambientais e proteção ambiental – que promovem a transição para um novo modelo de desenvolvimento sustentável e de bem-estar da sociedade" (ODBio, 2020).

Vê-se que, embora diferentes, ambas as definições conferem centralidade ao componente 'bio' (ciências da vida, biotecnologia, bioprocessos, bioprodutos) na definição do que seria 'bioeconomia'. No entanto, é importante destacar que, em especial na última década, o conceito de bioeconomia – ainda em disputa e longe do consenso [1], como visto –, parece ter superado a ideia da biotecnologia como única tecnologia de transformação a mover essa nova economia, que deve permear vários setores-chave, como agricultura e silvicultura, pesca, alimentos, comércio, saúde, gestão de resíduos e indústria.

Dessa forma, outras tecnologias se fazem necessárias, incluindo aquelas já estabelecidas e há muito entendidas e dominadas pela humanidade – por exemplo, a fermentação, a pirólise e a gaseificação. De qualquer forma, a biotecnologia continua sendo um componente forte da bioeconomia. Além



disso, cabe destacar os valiosos saberes tradicionais guardados por comunidades locais coletoras, que manejam e mantêm as florestas e outros biomas há gerações, os quais devem ser inseridos nessa nova economia.

A bioeconomia assenta-se na promoção de crescimento econômico verde e sustentável, aliado ao desenvolvimento social. Ela se apresenta como uma nova indústria capaz de substituir produtos e combustíveis fósseis. A bioeconomia, também, engloba a transformação e o uso de recursos agrícolas, marinhos e orgânicos em alimentos, rações, combustíveis, energia e materiais, tendo como base econômica atividades regenerativas, circulares, sustentáveis, participativas e inclusivas.

Além disso, é imperativo que, na bioeconomia, o uso de recursos e materiais na produção de produtos e bens seja feito por meio de processos inovadores e criativos, pensados em nível regional e pouco ou nada lesivos à natureza, e que sejam, também, do ponto de vista termodinâmico, economicamente compensadores.

A realidade da bioeconomia do Centro-sul do país é bem diferente da realidade amazônica. A necessidade da inovação e da criação de novos processos, soluções e conceitos faz da bioeconomia uma atividade intensiva de conhecimentos, aqui incluídos os conhecimentos tradicionais, como antes postulado, o que nos permitiria afirmar que essa seria a forma de economia desejável para um novo ciclo econômico a ser experimentado no país, e que pavimentaria a construção da nossa sociedade dos conhecimentos.

A bioeconomia assenta-se em ambientes nos quais grupos de pesquisa atuam, realizando desde a pesquisa básica até pesquisas mais aplicadas, o que requer a participação de nossas universidades e centros de pesquisa nesse esforço.

## A circularidade é parte essencial da bioeconomia

O conceito de circularidade na bioeconomia é muito importante, uma vez que pressupõe que rejeitos ou subprodutos de uma determinada indústria sirvam de matéria-prima para outra, de forma a não deixar nenhuma ponta solta na cadeia de produção e consumo – aí incluída a reciclagem após o consumo final.

A vinhaça é um bom exemplo. Antes jogada *in natura* nos rios e sendo altamente poluente, passou a ser insumo na produção de fertilizantes, ração

animal e biogás. Essa circularidade no fluxo de substratos e produtos requer proximidade física entre as empresas de diferentes setores do circuito produtivo, o que demanda a criação de *hubs* ou ecossistemas, de preferência próximos ao local extrativista e especificamente desenhados para cada realidade regional.

Cabe ressaltar que, mesmo a base produtiva do agronegócio, mola propulsora da economia brasileira, é também substrato com enorme potencial para a bioeconomia. Há um potencial de inovações tanto na parte agrícola/agronômica quanto na diversificação de produtos de valor mais elevado, na valorização dos resíduos e subprodutos das diversas cadeias produtivas, como as de cana, soja, milho, carnes (pecuária, suinocultura, avicultura), leite etc.

## O singular potencial da bioeconomia no Brasil

A bioeconomia oferece para o Brasil uma possibilidade única, uma vez que, além de sermos um país tropical de clima ameno, existem no nosso território seis biomas terrestres diversos, assim como 7,5 mil km de costa marinha. Cabe a pergunta: que outro lugar no planeta oferece à sua população essa enorme disponibilidade de terras, a grande maioria cultivável, minerais diversos, água potável, incidência de sol e ventos o ano todo, além de gigantesca diversidade de espécies vegetais, animais e de micro-organismos que armazenam materiais e moléculas de enorme potencial econômico?

Acrescente-se a essa biodiversidade e riqueza de recursos um povo plural e diverso, que inclui os que aqui estavam quando da chegada dos colonizadores e aqueles que para cá vieram ou foram trazidos na condição de escravizados. Para com todos esses, enquanto nação, temos uma enorme dívida a ser resgatada e, quiçá, a bioeconomia possa ajudar nesse resgate, bem como no enfrentamento das nossas desigualdades sociais.

Cadeias extrativistas em torno do açaí, cupuaçu e babaçu também são exemplos de bioeconomia; nesse caso, baseada no conhecimento das populações locais que coletam ou cultivam produtos vegetais de grande valor alimentício e comercial, não só no mercado nacional, mas também internacional.

No caso do açaí, além do mercado alimentício, as propriedades antioxidantes da fruta ampliam seu potencial de uso em mercados como o de produtos

cosméticos e farmacêuticos. Alguns estudos apontam que, em mais 20 anos, as matérias-primas naturais serão constituintes de mais de 90% das formulações da indústria cosmética. Pequenos e médios produtores, além de agricultores familiares locais, movem a produção do açaí nos estados do Amazonas e Pará, gerando emprego e renda nessas comunidades.

No mercado do açaí e de outros similares, para evitar o possível empobrecimento da diversidade vegetal das regiões de floresta pela expansão descontrolada de monoculturas, é fundamental a agregação de valor aos produtos primários, como proposto, por exemplo, no programa Terceira via amazônica – Amazônia 4.0 [2].

Um exemplo de conhecimento tradicional são as chamadas ‘terras pretas do índio da Amazônia’, resultado do acúmulo de resíduos orgânicos e uso do fogo na sua carbonização, por índios da América Latina pré-colombiana [3]. Estudos realizados pela Universidade Federal do Amazonas, pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), pela Embrapa e por diversos pesquisadores de todo o mundo mostram que, na terra preta, a adição de um tipo específico de biocarvão nanoestruturado torna o solo mais fértil e estável às condições inóspitas do clima da região tropical. Esse solo antropogênico vem sendo amplamente estudado em todo o mundo, tendo ganhado fama internacional como modelo para melhoramento de solos e de uso do solo para captura de carbono [4].

O aumento da expectativa de vida e o crescimento populacional, predominantemente em grandes centros urbanos, geram forte demanda por alimento, energia, água potável, saúde, educação, moradia, mobilidade urbana, vestimenta, cujo atendimento precisa levar em conta as questões de sustentabilidade. Nos dias atuais, não basta pensarmos em políticas públicas industriais que visem apenas a contribuir para aumentar a produtividade e competitividade das organizações. Ter como norte e atender aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS) – em especial, o fim da pobreza, a redução da desigualdade em todas as suas formas no planeta e o enfrentamento das mudanças climáticas – são hoje componentes indispensáveis das estratégias de desenvolvimento de empresas e nações.

Além disso, a pandemia também nos revelou a urgência dessas mudanças. A proximidade do ‘ponto de não retorno’ para a floresta Amazônica também nos impele a mudanças radicais na forma como exploramos os recursos naturais renováveis e não renováveis.



Embora mais de 50 países já tenham algum tipo de estratégia relacionada a temas da bioeconomia, segundo o *German Bioeconomy Council*, apenas 15 países têm, de fato, uma política de Estado específica para a bioeconomia, com o intuito de orientar suas economias de modo a reduzir o uso de derivados de material fóssil e demais produtos ou processos com impactos danosos ao meio ambiente.

## Necessidade de políticas para explorar nosso potencial em bioeconomia

Para orientar suas políticas públicas na direção da bioeconomia, o Brasil tem ponto de partida privilegiado, não só por aquilo com que a natureza lhe presenteou, mas também pelas instituições de pesquisa e universidades de excelência que ergueu, pela pujante capacidade de formação de pessoas qualificadas nos seus cursos de pós-graduação e pelo parque de laboratórios e equipamentos que construiu em décadas de investimentos em pesquisa.

No entanto, são ainda poucas as empresas cuja estratégia está baseada em pesquisa e inovação, e menos ainda aquelas que têm como prioridades as mudanças nos seus padrões e meios de produção na direção da governança ambiental, social e corporativa (ESG). Felizmente, temos uma base industrial diversa e produtiva, que precisa de apoio e de uma mudança de cultura para seguir novos caminhos que incluam nossas vantagens comparativas e competitivas nos domínios da bioeconomia.

Um grande caso de sucesso em bioeconomia brasileira foi o projeto Proálcool. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol combustível [5]. Tendo como sua fonte primordial a energia solar, por meio da fotossíntese, o país é classificado como a primeira economia sustentável com base em biocombustíveis do mundo, o que representa uma vantagem competitiva do país, por ser uma energia que precisa de agricultura avançada e vastas extensões de terra para a produção da cana-de-açúcar.

Como consequência, o Brasil é o único país no mundo a desenvolver carros de motor flex, que funcionam a gasolina e etanol. A eficiência do Proálcool pode ser muito melhorada com o etanol de segunda geração, produzido pela fermentação tanto do caldo quanto das fibras da cana, mas estamos ainda

muito incipientes nesse campo. A biotecnologia tem levado ao desenvolvimento bem-sucedido de variedades mais produtivas de cana, mas o desenvolvimento de micro-organismos geneticamente modificados para a produção de etanol de segunda geração tem sido lento.

Depois de um longo período sem grandes investimentos em novas plantas produtivas de etanol combustível, o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou em 2016 o Programa RenovaBio, que tem como meta expandir a produção de biocombustíveis comprometida com a sustentabilidade ambiental, econômica e social, e com programas de fomento previsíveis. O foco desse programa é a superação dos desafios técnicos e econômicos enfrentados pelo setor, com forte estímulo à interação com setores produtores de conhecimento e de tecnologia. Com essas bases, será possível aumentar o papel dos biocombustíveis na matriz energética, garantir o equilíbrio econômico e financeiro desse mercado, bem como estabelecer regras de comercialização e diversificação com novos biocombustíveis.

## REFERÊNCIAS

- [1] *The hijacking of Bioeconomy*. F. D. Vivien, M. Nieddu, N. Befort, R. Debref and M. Giampietro. *Ecological economics*, 159: 189-197 (2019).
- [2] <https://amazonia4.org/>
- [3] Emma Marris. Black is the new green. *Nature* 442, 624–626 (2006).
- [4] As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Editores: Wenceslau G. Teixeira, Dirse C. Kern, Beáta E. Maradi, Hedinaldo N. Lima, Willian Woods. Manaus. Editora da Universidade Federal do Amazonas / Embrapa Amazônia Ocidental (2010).
- [5] *Annual world fuel ethanol production 2016-2021*. Renewable Fuels Association. <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>



## 5. AGRONEGÓCIO

### O grande avanço em nosso agronegócio e o papel do Estado

No último meio século, o agronegócio no Brasil teve avanço sem igual no mundo. Esse avanço resultou de políticas bem formuladas e seguidas por diferentes governos, cujo grande marco foi a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em 1973. Até então, o Brasil adotava práticas agrícolas desenvolvidas nos países de clima temperado, inadequadas ao nosso clima e ao nosso solo, e era grande importador de alimentos.

A Embrapa mostrou-se muito eficiente e ágil ao desenvolver técnicas de cultivo adaptadas ao nosso solo ácido, pobre em fósforo e potássio, e muito sensível à erosão.

Desde os anos 1950, o país vinha criando um bom sistema de assistência técnica sob responsabilidade dos estados. Cada um deles tinha, ou criou após 1973, uma empresa pública com essa missão. Em 13 deles, é chamada Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater). Independentemente do nome, essas empresas atuam de maneira similar. Sua atuação tem grande capilaridade, alcançada pela existência de muitas unidades regionais e escritórios em quase todas as cidades.

A assistência das Emater é excelente. Técnicos e engenheiros agrônomos visitam unidades agrícolas, por solicitação dos proprietários, fazem análises do solo, examinam a disponibilidade de água, dão aconselhamento – que vai do potencial produtivo da unidade a aspectos da sua gestão –, orientam os proprietários sobre como obter crédito agrícola, combater pragas e preservar o ambiente. As Emater foram e continuam sendo essenciais para a adoção de técnicas agrícolas desenvolvidas pela Embrapa.

Já nos anos 1970, a Embrapa começou a desenvolver técnicas de cultivo para o cerrado, que o transformaram de terra imprestável para agricultura em terra altamente produtiva. Esse trabalho resultou do programa Polocentro, criado por Alysso Paulinelli, ministro da Agricultura no período 1974-1979, que supervisionou

e apoiou o trabalho da Embrapa com a participação de Edson Lobato, pesquisador da empresa que liderou o desenvolvimento técnico do Polocentro.

Por esse trabalho, os dois ganharam, em 2006, o *World Food Prize*, o principal prêmio para a agricultura. Na cerimônia de entrega do prêmio, Norman Borlaug (1914-2009), prêmio Nobel da Paz em 1970 por ter obtido grande produtividade agrícola introduzindo sementes híbridas, declarou que a tecnologia de cultivo do cerrado foi o maior avanço da agricultura desde a Revolução Verde. O cerrado é hoje a principal fronteira agrícola do mundo.

Na verdade, a tecnologia de agricultura tropical desenvolvida no Brasil tem de ser vista como um dos componentes da Revolução Verde, que continua em andamento. Técnicas de cultivo, como o plantio direto, a tecnologia de fixação de nitrogênio do ar no solo – mais avançada no Brasil do que em qualquer outro lugar –, técnicas de rodízio de plantas propícias ao nosso clima – que permite duas colheitas, mesmo sem irrigação –, integração lavoura-pecuária-floresta; tudo isso é parte dessa revolução.

Alguns números ilustram o nosso salto agrícola. A produção de carne, que em 1975 era 3,4 Mt (milhões de toneladas), subiu para 29,4 Mt em 2021 (10,4 bovina, 4,7 suína e 14,3 aviária). Produzimos 38 Mt toneladas de grãos em 1975 e estima-se que produziremos 272,5 Mt em 2022. Esses aumentos resultaram, principalmente, de ganhos de produtividade.

A produtividade do setor agrícola brasileiro é a que mais cresce no mundo. A produção de algodão no Brasil também passou por uma revolução, com grande aumento da produtividade. Até a década de 1970, o algodão era do tipo arbóreo, cultivado principalmente no semiárido nordestino, com baixa produtividade. Hoje ele é todo herbáceo, com toda a produção mecanizada e concentrada, sobretudo, no cerrado, e com a produtividade alta. O Brasil é o quarto maior produtor de algodão do mundo e o segundo maior exportador – a produção prevista para 2022 é de 2,75 Mt toneladas de plumas, 68% dela oriundas do Mato Grosso.

O Brasil é líder mundial no plantio direto, técnica em que as sementes de grãos são plantadas diretamente sobre os restos vegetais da cultura anterior, sem aração da terra – as máquinas plantadeiras fazem um estreito rasgo na terra, no qual os grãos são semeados. Somos líderes porque pesquisamos melhor essa técnica de cultivo e também porque ela se adapta muito bem ao nosso

solo 'franco', que tem ótimo balanço entre as quantidades de argila e de areia. O plantio direto reduz a evaporação da água, o uso de tratores e de combustível para aração. Não bastasse isso, com sua prática, em vez de se exaurir, o solo fica mais fértil com o tempo de cultivo.

Somos também líderes na fixação no solo de nitrogênio do ar por bactérias. Em ambos os casos, a ciência usada para os avanços foi realizada, principalmente, no Brasil. O trabalho de Ana Primavesi em manejo ecológico do solo [1] foi muito importante para o desenvolvimento do plantio direto. A pesquisadora Johanna Döbereiner ganhou fama mundial pelas suas contribuições à ciência da fixação de nitrogênio do ar por leguminosas e gramíneas, entre elas o milho e a cana-de-açúcar.

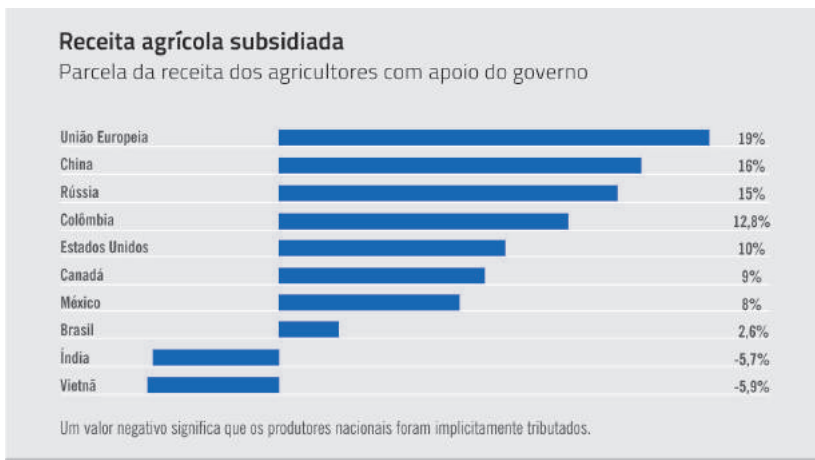
O Brasil vem adotando, em ritmo acelerado e com muito sucesso, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), na qual há grande ganho de produtividade e preservação do meio ambiente. Pesquisas nesse campo começaram nos anos 1990 na Embrapa; inicialmente, sobre integração lavoura-pecuária (ILP). O sucesso da integração atraiu muitos produtores agrícolas, e alguns deles realizam pesquisa nesse campo. Já em 2012, foi criada a Rede ILPF, uma associação privada. Já temos 17 Mha com produção em sistemas integrados (80% em ILP), e a meta é dobrar essa área até 2030.

## Ônus, em vez de subsídios, ao agronegócio

Apesar de todo o sucesso, a agricultura não é capaz de alcançar os ganhos de produtividade dos setores de indústria e de serviços. Ela usa cada vez mais fertilizantes, de custo cada vez mais elevado. A água que ela usa é cada vez mais escassa e dispendiosa. O custo do maquinário agrícola mantém-se alto, e o dos combustíveis fósseis que os movem aumenta.

Como a produção de alimentos é universalmente vista como questão de segurança, o subsídio da produção agrícola é necessário, sendo alto no mundo inteiro. A figura 1 mostra a fração da receita dos agricultores oriunda de subsídio governamental, em vários locais, no ano de 2019. Tirando países como Índia e Vietnã, que tarifam os fazendeiros mais do que os subsidiam, o Brasil é o país que menos subsidia a agricultura.

Na União Europeia (UE), a questão merece atenção da Organização Mundial do Comércio (OMC). Parte importante do subsídio nem sequer promove a produção. O fazendeiro recebe doação anual do governo proporcional à área de terra que possui; o produtor de leite recebe um dado valor para cada vaca leiteira. Segundo informação privada confidencial de um pesquisador bem informado do ETH de Zurique, na Suíça (que não integra a UE), o valor de venda ao consumidor de leite é metade do que o produtor recebe. Com tudo isso, a Europa tem superprodução de leite e faz *dumping* de manteiga e leite em pó no mundo inteiro.



**Figura 1.** Contribuição do subsídio governamental para a receita dos agricultores em locais diversos do mundo.

Fonte: OCDE

Na China, todas as unidades de produção agrícola pertencem ao governo. O investimento governamental nessas unidades é descomunal. As estufas para produção de vegetais na China já cobrem área de 4 milhões de hectares, quase igual à área do estado do Rio de Janeiro [2]. Para minimizar a evaporação e a competição de ervas daninhas, nas estufas chinesas, o solo é coberto com plástico, que tem de ser trocado a cada cultivo. Por ser muito fino, o plástico se fragmenta na remoção. O resultado é um enorme dano ambiental causado ao solo, aos rios, lagos e ao oceano. Não há como remover os microplásticos em que eles se transformam. A cobertura do solo de estufas com plásticos finos foi criada nos EUA, mas ali está sendo abandonada por causa do dano ambiental.

Além de oferecer pouco subsídio aos fazendeiros, o governo brasileiro é falho na construção de infraestrutura básica, como vias de transporte terrestre e fluvial, bem como portos para transporte marítimo. Quase todo o nosso transporte de cargas é feito por rodovias, grande parte nem se sequer pavimentada. Isso onera todos os produtos para consumo interno e para exportação. No caso da soja, o principal produto agrícola do Brasil, com o qual somos líderes mundiais em produção e produtividade, o transporte representa de 30% a 40% do valor recebido pelo produtor [3].

## Muita água e pouca irrigação

O Brasil é o país mais rico em água doce do mundo. Mais de um quinto da água fluvial recebida pelos oceanos é oriundo do Brasil. O rio Amazonas responde por mais da metade disso, mas, mesmo sem contá-lo, o país ainda é o grande campeão. Somos também muito ricos em aquíferos, dois dos quais estão entre os maiores do mundo. Um deles, o aquífero Guarani, que se situa sob grande parte do sudeste e do sul do Brasil, é muito pouco explorado, até mesmo para abastecimento urbano.

Contudo, os efeitos da mudança climática têm causado severos deficits hídricos no Brasil, assim como em grande parte do mundo. Segundo artigo recente na revista *Nature*, precisamos de um plano para minimizar esses deficits [4]. A questão do uso da água é muito ampla. Ela requer planejamento, boa administração das nossas fontes de água e pesquisa de alto nível para tudo isso.

O monitoramento da umidade do solo, tanto pelos fazendeiros quanto pelo governo – neste caso por meio de satélites –, é indispensável. Levantamento detalhado de nossos aquíferos e o monitoramento da sua recarga precisam ser feitos. O uso de nossos aquíferos tem de ser aumentado, mas isso tem de ser feito de maneira sustentável. Cerca de 85% da água doce que usamos é suprida por rios e lagos. Nos EUA, essa fração é de 75%; na Índia, de 60%.

Dado o seu potencial, o Brasil irriga muito pouco suas lavouras. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), os países que mais irrigam são: China, 70 Mha; Índia, 70 Mha; EUA, 26,7 Mha; Paquistão, 20 Mha; Irã, 8,7 Mha; Brasil, 8,2 Mha.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) elaborou o *Atlas da Irrigação: uso da água na agricultura irrigada* (2ª edição, 2021) sobre a irrigação em várias regiões do Brasil. A obra contém também levantamento de áreas propícias para irrigação. As áreas adicionais irrigáveis nas cinco regiões brasileiras, sem abertura de novas áreas agrícolas, são mostradas na tabela 1.

### Área Adicional Irrigável no Brasil em Mha

	Total	Efetiva
Norte	11,287	0,294
Nordeste	3,321	0,279
Sudeste	12,938	2,593
Sul	8,599	4,293
Centro-oeste	19,707	6,227
<b>Brasil</b>	<b>55,851</b>	<b>13,687</b>

**Tabela 1.** Área adicional irrigável no Brasil em milhões de hectares (Mha). Como efetivas, são consideradas áreas com (a) aptidão do solo e do relevo altos ou médios; (b) aptidão logística (infraestrutura, escoamento, energia elétrica) alta ou média

Fonte: ANA

Vemos que, sem investimento em infraestrutura, podemos aumentar nossa área irrigada em 13,687 Mha. Com mais infraestrutura, esse aumento poderia ser muito maior. A irrigação traz grandes benefícios. Aumenta enormemente a produtividade da área cultivada e dá segurança sobre a colheita. No Brasil, esse aumento é ainda maior, pois, como temos sol e temperaturas amenas o ano todo em quase todo o país, podemos, com irrigação, ter até três colheitas por ano. As terras irrigadas no Brasil são de longe as mais produtivas do mundo.

## Aquicultura, fonte de riqueza que pouco usamos

A aquicultura – piscicultura, criação de rãs, crustáceos e moluscos – é muito incipiente no Brasil, apesar do nosso enorme potencial para ela. A produção em 2018 dos países líderes e do Brasil, em milhões de toneladas (Mt), é mostrada na tabela 2.



China	63,70 Mt
Indonésia	16,60
Índia	5,70
Vietnã	3,60
Bangladesh	2,20
Filipinas	2,20
Coreia do Sul	1,86
<b>Brasil</b>	<b>0,581</b>

**Tabela 2.** Produção da aquicultura dos países líderes e do Brasil.  
A piscicultura responde pela maior parte da produção

Fonte: Wikipedia [6]

Nos países asiáticos, campeões da aquicultura, a prática está associada à irrigação. Os reservatórios de água para irrigação são usados para a criação de animais aquáticos. Como os animais criados têm sangue frio, não gastam energia com o aquecimento do corpo. Por isso, convertem alimento em ganho de peso com grande eficiência.

O projeto de ampliação de nossa irrigação, extremamente recomendável, poderia ser associado a outro de ampliação de nossa aquicultura. Poderia também ser integrado à avicultura e suinocultura. Essas duas atividades, desde 1970, têm sido capitaneadas por empresas frigoríficas, como Sadia, Perdigão e outras, em um processo de integração agroindustrial vertical [7].

Seguindo uma tradição iniciada nos EUA que se difundiu, as referidas empresas frigoríficas fazem melhoramento genético dos animais, fornecem pintos, leitões e ração às granjas consorciadas, dão assistência técnica e compram os animais já criados para abate em seus frigoríficos. O sistema é muito bem-sucedido, embora legislações específicas sejam necessárias para que as indústrias não explorem os granjeiros.

O próximo passo poderia ser o envolvimento das empresas-âncora no setor da piscicultura. Nesse processo, deveria haver consórcio entre suinocultura e piscicultura [8]. Os resíduos dos suínos são um ótimo alimento para os peixes. A integração total avicultura-suinocultura-piscicultura já é uma realidade nos EUA. Não raramente, as indústrias instalam granjas integradas e as vendem a granjeiros por meio de financiamentos em que as prestações possam ser pagas com parte da renda do granjeiro.

## Replanteio de florestas e silvicultura

O replanteio de florestas é indispensável para a conservação de nossas nascentes e proteção dos mananciais. Nosso Código Florestal prevê replanteio das áreas de nascentes e das matas ciliares dos mananciais, e a imposição disso aos proprietários de terra é necessária. Essa imposição precisa ser assistida, e os bons cumpridores do código deveriam ter recompensa fiscal.

Os relativamente poucos que fizeram isso tiveram bom retorno. Suas nascentes ficaram mais fortes e firmes, seus mananciais deixaram de ser assoreados. Puderam irrigar mais com água das suas próprias terras. As Emater podem ter papel importante na ampliação dessa prática. Primeiro, produzindo e distribuindo mudas gratuitamente; segundo, instruindo os fazendeiros sobre as espécies mais próprias e como plantá-las.

No Acordo do Clima em Paris (2015), a então presidenta Dilma Rousseff prometeu replantar ou regenerar 12 Mha de florestas. Mais tarde, o custo da promessa foi levantado. Replantar 3 Mha da mata Atlântica e cercar e proteger 9 milhões de floresta Amazônica para regeneração custaria R\$ 52 bilhões, distribuídos em 14 anos. O custo é baixo comparado aos benefícios. As nascentes se fortaleceriam, os mananciais ficariam mais estáveis, os efeitos da mudança climática seriam reduzidos. O prestígio do Brasil como preservador ambiental, que está em declínio, seria resgatado, com reflexos positivos nos investimentos internacionais no país e no nosso comércio.

O Brasil tem experiência em silvicultura de eucaliptos e *Pinus*. Cultiva cerca de 9,8 Mha dessas espécies, com grande produtividade. Em eucaliptos, nossa produtividade é maior do que a da Austrália, país de origem dessas árvores. Mas somos muito incipientes na silvicultura de madeira nobre. Quase exterminamos o jacarandá na Bahia, de preciosíssima madeira, e várias outras árvores da mata Atlântica. Muito brasileiro não conhece o pau-brasil.

Algumas das nossas madeiras nobres têm crescimento rápido, entre elas as três espécies brasileiras de cedro e a única espécie de mogno brasileiro. Nas construções em cidades históricas de Minas Gerais, quase todas as janelas e portas são de cedro e permanecem em bom estado até hoje.

O cedro é bonito, forte e leve, não empena, não incha com a umidade, não é atacado por cupins. Melhor ainda que o cedro é o mogno, de cor um pouco

mais escura e mais forte e pesado. As duas plantas são parentes, pertencem à família das meliáceas. Ambas têm crescimento rápido. O mogno, nativo da Amazônia, exige clima mais quente e úmido. O cedro é nativo na mata Atlântica e, por ter três espécies, adapta-se a maior diversidade de climas.

A silvicultura do mogno e do cedro é complicada, pois, exceto nas matas nativas, onde uma árvore fica bem separada da outra, essas espécies são infestadas pela broca-das-meliáceas, que ataca as guias das árvores jovens, com efeito devastador. Não se sabe como combater a mosca *Hypsipyla grandella*, cuja larva é a danosa broca. Muitos fazendeiros têm cultivado o mogno africano, menos vulnerável à broca e de crescimento mais rápido do que o brasileiro. Mas sua madeira vale muito menos. Enquanto o metro cúbico do mogno brasileiro alcança até US\$ 3 mil no mercado internacional, o valor do mogno africano é US\$ 600.

É preciso desenvolver alguma solução para a broca das meliáceas. Algum inseticida – a broca só ataca a planta nos seus primeiros três anos – para a mosca ou algum combate biológico. No nordeste de MG, fazendeiros estão integrando cultivo de mogno africano – que requer menos água – com a pecuária. Espalham na área o anum, ave que come carrapato-de-boi. O anum mostrou-se razoavelmente eficaz no combate à *Hypsipyla grandella*.

O combate à broca-das-meliáceas é um ótimo tema de pesquisa para a Embrapa, talvez na unidade Embrapa Amazônia Ocidental, em Manaus. O cultivo do mogno e do cedro é extraordinariamente lucrativo. O mogno, mais conhecido e valorizado no mercado internacional, é um verdadeiro ouro-verde.

## Produção de arroz e feijão no Brasil

A área plantada no Brasil, tanto de arroz quanto de feijão, tem decrescido desde 1990. Isso vem sendo compensado pelos ganhos de produtividade, que têm sido muito altos. No caso do arroz, a produtividade saltou de 1.880 kg/ha em 1990 para 6.366 kg/ha em 2020.

Embora a área plantada tenha reduzido muito, a produção total saltou de 7,42 Mt em 1990 para 10,76 Mt em 2022. A produção supre bem o consumo interno, e o Brasil poderia tornar-se importante exportador de arroz com aumento da área de arroz irrigado, cuja produtividade é de 7,13 t/ha.

O país tem muita área propícia para irrigação de arroz por inundação, a técnica usada no mundo inteiro. Mas esse tipo de irrigação emite muito metano, cuja molécula provoca um efeito estufa 50 vezes maior que a do CO<sub>2</sub>. Por isso, os ambientalistas tendem a se opor à ampliação da área irrigada.

Um novo cultivar de arroz precoce, desenvolvido no Brasil, tem potencial de produtividade de 10 t/ha, usa menos água e energia, e emite menos metano, dada a sua precocidade. Pesquisa adicional desse cultivar é necessária para conhecer as condições em que seu enorme potencial é realizado. Contudo, uma ampliação muito grande da produção de arroz no Brasil tem de ser precedida de estudos de mercado para o produto.

A área plantada de feijão vem se reduzindo sistematicamente nas últimas décadas. A produtividade média aumentou muito, de 477 kg/ha em 1990 para 1.141 kg/ha em 2020, mas a produção aumentou pouco. Hoje ela é o bastante para atender o consumo interno.

Para 2022, prevê-se produção de 3,08 Mt e consumo de 2,9 Mt. Há dois fatores altamente limitantes da área plantada de feijão. Uma é sua baixa produtividade, que aumenta muitíssimo com a irrigação. No feijão de sequeiro, a produtividade média no Brasil é de apenas 550 kg/ha e, no feijão irrigado, ela é de 2.400 kg/ha. Mas a colheita do feijão é manual, o que não atrai os grandes produtores, que adotam cada vez mais intensamente a mecanização.

Uma política que poderia ser adotada para aumentar a produção de feijão, que reduziria o custo para o consumidor, seria seu incentivo na agricultura familiar. Esta se mostrou especialmente eficaz na hortifruticultura, também muito intensiva em mão de obra. Como se fez no caso da fruticultura, a produção comercial de feijão pelo produtor familiar se daria em áreas irrigadas com dinheiro do Estado e repassadas ao produtor com subsídios vantajosos. Toda política referente à agricultura familiar tem de visar à produção eficiente e renda satisfatória para as famílias agricultoras.

## Uso de defensivos agrícolas no Brasil

O Brasil, assim como os outros países do Mercosul, usa defensivos agrícolas com muita intensidade, em sua maioria importados. A tabela 3 mostra a

quantidade de defensivos, em kg/ha, usados em média de três anos centrados em 2015, para vários países que os usam intensivamente.

País	kg/ha	País	kg/ha
Argentina	5,2	Alemanha	3,9
<b>Brasil</b>	<b>4,3</b>	China	13,6
México	1,8	EUA	2,6
Paraguai	5,6	Itália	6,7
Uruguai	6,9	Japão	11,8

**Tabela 3.** Uso de pesticidas agrícolas em kg/ha. Média de três anos centrados em 2015

Fonte: FAO, ref. 9

Considerando-se que as áreas agrícolas dos países latino-americanos não têm os invernos intensos que matam grande parte das pragas, como em outros países mostrados na tabela, não somos excessivos no uso de defensivos agrícolas. Mas, na América Latina, o uso de defensivos está aumentando, enquanto, nos outros países incluídos na tabela, se mantém estável ou em declínio.

Há outra agravante para o caso brasileiro. Em 2019, foi permitido por lei o uso de dez defensivos agrícolas que estão proibidos nos países europeus. Cabe apontar que, embora proíba o uso interno desses defensivos, a Europa é grande produtora deles.

O defensivo mais usado no Brasil e no mundo é o glifosato, herbicida desenvolvido pela Monsanto e hoje fabricado por grande número de empresas. O glifosato viabiliza economicamente o plantio direto. Seu uso foi intensificado pelo desenvolvimento de cultivares geneticamente modificados de soja, milho e algodão resistentes a ele, o que permite a capina química.

Uma alternativa para o uso de pesticidas químicos é o controle biológico de pragas. No Brasil, isso tem sido feito pelo rodízio de culturas, pois a monocultura intensifica muito as infestações. Em nosso país, vários tipos de rodízio têm sido praticados, com ótimos resultados para o controle de pragas e também para o melhoramento do solo.

Mas há outro campo que pode ser explorado mais intensamente, o uso de inimigos naturais da praga. Esse uso tem uma limitação grave: muitas vezes, esse inimigo é uma espécie exótica, que pode proliferar sem limites por não ter, no

local de inserção, seus próprios inimigos naturais. Mas, no caso do Brasil, essa barreira pode provavelmente ser vencida com mais facilidade, pois tamanha biodiversidade nos permite evitar inimigos naturais exóticos. A pesquisa nesse campo deve ser intensificada no Brasil.

## REFERÊNCIAS

- [1] Ana Primavesi, *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. Livraria Nobel (1979)
- [2] <https://www.nextbigfuture.com/2021/03/plastic-greenhouses-provide-35-of-chinas-vegetables.html>
- [3] <https://www.sna.agr.br/custo-com-transporte-no-brasil-representa-de-30-a-40-do-valor-recebido-pela-soja/>
- [4] Augusto Getirana, Renata Libonati & Marcio Cataldi, Brazil is in water crisis – it needs a drought plan. *Nature*, 600, pp. 218-220 (2021).
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_countries\\_by\\_irrigated\\_land\\_area](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_irrigated_land_area)
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Fishing\\_industry\\_by\\_country](https://en.wikipedia.org/wiki/Fishing_industry_by_country)
- [7] G. M. Jung e J. H. Zanelatto. Trajetória das relações de trabalho entre avicultores integrados e frigoríficos no sul do Brasil (1970-2016). *Interações* (Campo Grande) 21 (2), Apr-Jun 2020, <https://doi.org/10.20435/inter.v21i2.2184>
- [8] <https://www.criacaoodepeixes.com.br/como-e-possivel-integrar-a-criacao-de-suinos-e-peixes>.
- [9] [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9371/1/td\\_2506.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9371/1/td_2506.pdf).



## 6.

### TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

#### A transição energética é inevitável e possível

A transição energética é a transformação mais urgente e importante da atualidade. O uso de combustíveis fósseis para a produção de energia revelou-se insustentável por causar danos ambientais insuportáveis. O maior deles é a mudança climática gerada pela emissão de gases de efeito estufa (GEE). Para controlar a mudança climática, deve haver uma transição energética na qual os combustíveis fósseis sejam banidos e substituídos por fontes de energia limpas e renováveis.

Desde 1995, tem sido realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, mais conhecida como Conferência das Partes (COP), para tratar do problema. Há poucos avanços importantes, pois cada parte tenta minimizar sua cota de sacrifícios para reduzir a emissão dos gases e maximizar a cota das outras.

No mundo dividido em nações soberanas que competem entre si, a política mostrou-se pouco capaz de viabilizar a transição energética. Mas, se a política tem sido pouco eficaz, a tecnologia trouxe a solução, ou, pelo menos, a esperança, que só políticas muito desastradas podem frustrar.

A transição energética tornou-se viável por lógica puramente econômica: a energia limpa e sustentável já é mais barata do que a de combustíveis fósseis, e seu custo continua declinando, enquanto o da energia poluente não decresce [1]. Poluir tornou-se mais caro do que preservar o ambiente.

O *lobby* da indústria do petróleo, gás e carvão dá sobrevida a um ciclo técnico-econômico que já se esgotou. Essa sobrevida é feita por meio de subsídios explícitos ao uso dos fósseis e também por subsídios implícitos, que podem ficar invisíveis para parte do público. O que são esses subsídios implícitos? Os impostos sobre os produtos devem levar em conta externalidades danosas da sua produção e seu uso. Por exemplo, os impostos sobre cigarros levam em conta os gastos públicos com saúde e a perda de produtividade resultante do tabagismo; por isso, são tão altos.

Os impostos sobre combustíveis fósseis deveriam levar em conta os danos ambientais gerados pela sua produção e pelo seu consumo, incluídos os danos à saúde causados pela poluição do ar, mas isso não é feito. Essa isenção do imposto pelas externalidades é um subsídio implícito. Em setembro de 2021, o Fundo Monetário Internacional (FMI) publicou estimativas dos subsídios totais aos combustíveis fósseis. Eles somaram US\$ 5,9 trilhões em 2020, e são majoritariamente subsídios implícitos [2].

## Lei de Wright e queda do custo de produtos

O custo dos produtos decresce com sua produção acumulada. Isso ocorre com qualquer produto, mas é mais perceptível em produtos de maior conteúdo tecnológico e origem recente. Esse decréscimo foi quantitativamente descrito em 1936 pela lei de Wright para o caso do custo de aeronaves. Tal lei diz: o custo de uma aeronave decresce 15% cada vez que sua produção acumulada duplica.

Estudos posteriores mostraram que a lei vale para grande número de produtos. Mais do que isso, a lei aplica-se não só a produtos, mas também a serviços. O fator de decréscimo do custo com a duplicação da produção acumulada é específico do produto, e a queda de custos descrita pela lei de Wright é hoje chamada 'curva de aprendizagem'.

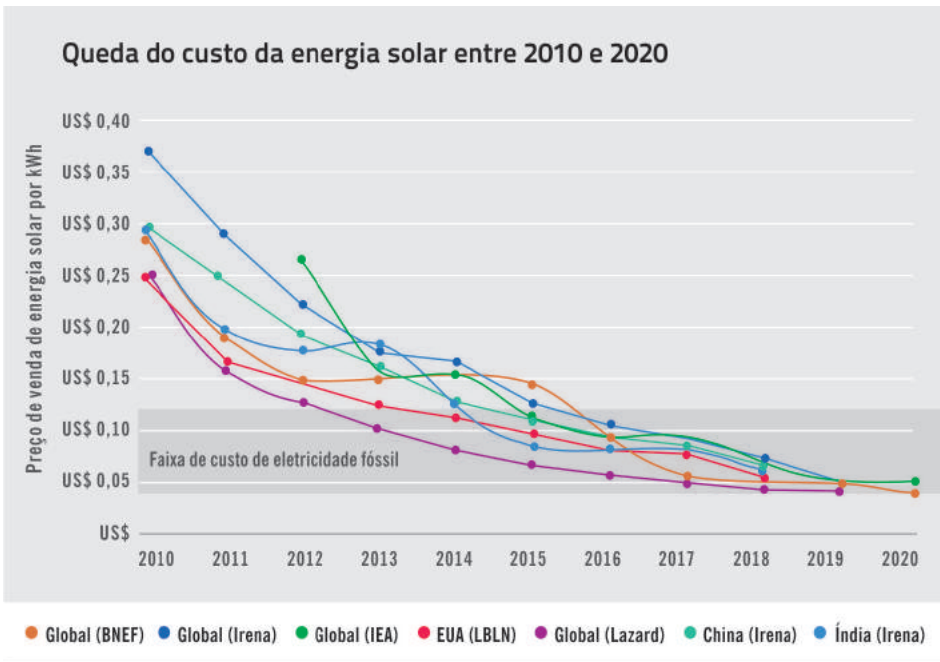
Consideremos um produto cujo custo cai por um fator de 0,80 a cada duplicação da produção cumulativa. Se a milésima unidade do produto custa  $X$ , a 2.000ª unidade custa  $0,80X$ , a 4.000ª unidade custa  $0,64X$ , a 8.000ª unidade custa  $0,56X$ , e assim por diante. Se um produto se afirma no mercado, sua produção acumulada cresce rapidamente, e seu custo também despenca com o tempo. Foi isso o que aconteceu com os computadores, os telefones móveis, as câmeras CCD e outros produtos.

## Queda do custo da energia limpa

O custo de vários tipos de energia limpa está caindo rapidamente [1]. De especial importância é a queda do custo das eletricidades solar e eólica. A queda do custo da eletricidade tem maior efeito no dispêndio de energia, porque a



eletricidade pode ser transformada em trabalho com eficiência superior a 90%, e os motores elétricos são baratos e duráveis, e requerem pouca manutenção. A queda no custo da energia solar produzida por painéis fotovoltaicos de silício, mostrada na figura 1, tem sido especialmente rápida. De 2010 a 2020, o custo caiu por um fator de cinco.



**Figura 1.** Queda do custo da energia solar entre 2010 e 2020

Fonte: Naan [3]

O custo da eletricidade fóssil varia muito de uma usina térmica para outra. A faixa de custo é também mostrada na figura. Vê-se que o custo da eletricidade solar, em 2020 na casa dos US\$ 0,05 por quilowatt-hora (kWh), já compete com eletricidade produzida pelas melhores usinas térmicas. Nas palavras de Ramez Naan [3], a eletricidade solar está se tornando insanamente barata.

Quando as quedas de custo da figura 1 são expressas em termos da produção acumulada de energia – a potência instalada –, vê-se que a cada duplicação da energia total instalada, o custo cai por um fator que vai de 30% a 40%. Podemos fazer previsões da queda de custo se a energia fotovoltaica for usada na escala necessária para a transição energética.

Em 2020, apenas 2% da eletricidade produzida no mundo foram solar. Na transição, ela se tornará pelo menos um terço da eletricidade produzida. Para comodidade de cálculo, suporemos 32%. Mesmo ignorando o aumento do consumo, a potência elétrica fotovoltaica instalada tem de ser multiplicada por 16, que é 2 elevado à quarta potência. Consideremos que, a cada duplicação, o custo seja reduzido em 30%. O custo da energia solar será então reduzido pelo fator 0,24. A predição dominante é de que o custo será reduzido por um fator de 0,2, e o kWh de eletricidade fotovoltaica custará US\$ 0,01, o que não será insano; será maravilhoso.

O custo da eletricidade eólica também tem caído significativamente, embora de modo menos rápido que o da solar. Segundo o Lawrence Berkeley National Laboratory, o custo da eletricidade eólica cairá 17%-35% até 2035 e 37%-49% até 2050 [4]. A larga faixa de incerteza contempla os vários cenários possíveis.

Portanto, a eletricidade eólica, que hoje já é competitiva com a fóssil, se tornará bem mais barata do que esta, embora bem mais cara do que a solar. Entretanto, a eletricidade eólica será necessária na transição energética, porque as duas são complementares: à noite, quando não há sol, o vento permanece em média constante, produzindo eletricidade. Uma vez que o consumo de energia elétrica à noite cai tipicamente pela metade, a energia solar será dominante na transição energética.

## Transição energética no Brasil

O Brasil tem condições singularmente favoráveis para a transição energética, por várias razões. Nosso potencial eólico é enorme; o solar é fantástico. Os bons ventos, no Brasil, são ventos que vêm do Atlântico e varrem uma larga faixa ao longo da nossa costa, onde o consumo de energia é maior. São também mais intensos à noite, quando a temperatura do ar continental baixa, e a do ar sobre o oceano fica constante. Isso é bom, pois à noite não há produção de energia solar.

Os ventos são também mais fortes de junho a dezembro, quando a produção da hidroeletricidade é menor. Isso é ótimo. Nosso nível de insolação, além de elevado, é menos variável com as estações, por causa de nossas baixas latitudes.

Um dos problemas apresentados pela transição energética baseada na energia eólica e solar é a estabilidade da oferta de energia, pois as duas formas de eletricidade são intermitentes. Para garantir produção capaz de atender a demanda, é necessário armazenar energia em larga escala. Trataremos isso a seguir.

## Armazenamento de energia em larga escala

Há várias formas de armazenar energia. Uma delas é o uso de baterias eletroquímicas, há muito usadas em veículos automotores tradicionais e, recentemente, em veículos elétricos. O armazenamento eletroquímico é muito dispendioso. A energia pode também ser armazenada em hidrogênio produzido por eletrólise da água.

O uso do hidrogênio como armazenador (vetor) de energia tem graves inconvenientes. Seu armazenamento seguro é dispendioso. Além do mais, no ciclo de sua produção e seu uso para geração de trabalho ou eletricidade, grande parte da energia elétrica usada para a eletrólise da água é perdida.

Na Europa, pouco ensolarada e com pouco espaço para a instalação de fazendas eólicas, o hidrogênio tem sido visto como solução necessária. Ele seria produzido no Saara pelo uso de eletricidade fotovoltaica e então transportado para a Europa, onde alimentaria usinas térmicas ou seria usado em uma célula de combustível para gerar eletricidade.

Os europeus deram a esse vetor de energia o nome de hidrogênio verde, pois tanto sua produção quanto sua queima é inteiramente limpa. O Brasil, felizmente, pode dispensar o uso do hidrogênio como vetor de energia. Mas há quem defenda sua produção para exportação, e isso provavelmente ocorrerá.

A energia pode ser armazenada em escala muito larga na forma de energia potencial gravitacional da água. Essa é a forma como ela é armazenada nos lagos das usinas hidrelétricas convencionais. Há algum tempo, usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) têm sido usadas para armazenar quantidades menores de energia. Dois pequenos reservatórios, um muito mais elevado do que o outro, são construídos. À noite, quando o consumo de eletricidade é menor e seu custo cai tipicamente pela metade, a água do reservatório baixo é bombeada por motores elétricos para o reservatório superior.

Durante o dia, quando a eletricidade é mais cara, a água do reservatório superior desce, acionando turbinas que geram energia. De 15% a 20% da energia é perdida no ciclo de subida e descida da água, mas o procedimento ainda é lucrativo pela grande diferença do custo da eletricidade entre o dia e a noite. No Brasil, as UHR não são usadas, embora nosso potencial nesse campo seja muito grande.

O desafio maior é o armazenamento de energia por tempos longos, necessário porque a produção das energias eólica e solar oscila com as estações. Felizmente, o Brasil já tem todo o aparato para esse armazenamento. As represas das nossas hidrelétricas são capazes de armazenar grande quantidade de água e energia potencial.

Hoje, esse aparato é usado de forma predatória. Quando as águas dos mananciais que alimentam os lagos reduzem, os reservatórios são excessivamente esvaziados, com graves consequências. Isso ocorre por sermos muito dependentes da energia hidrelétrica.

Na transição energética, teremos abundância de eletricidade eólica e solar, e, nessas condições, a energia hidrelétrica poderá ser usada, de maneira planejada, para suprir os deficits sazonais de eletricidade. Os níveis dos lagos represados seriam mantidos sempre mais elevados, e os fluxos de água a jusante, mais estáveis. Os reflexos positivos no turismo, na recreação, na piscicultura, na navegação e na irrigação seriam enormes.

Os biocombustíveis, além de fonte de energia com baixa marca de carbono, são também bons armazenadores de energia. É importante mantermos nossos programas de produção de biocombustíveis. No caso do etanol, é preciso iniciar sua produção de etanol de segunda geração, em que a celulose da cana também é convertida em etanol, e resíduos vegetais diversos também se tornam fonte desse combustível. Para isso, temos de realizar muita pesquisa.

## **A complexidade no novo sistema elétrico exigirá uso da IA**

O uso intensivo de eletricidade eólica e solar, que será o principal passo na transição energética, envolverá grande número de produtores injetando

energia na rede de forma intermitente. A transmissão e distribuição segura de eletricidade nesse cenário é um problema complexo. As redes de transmissão terão de ser redundantes e inteligentes, além de capazes de monitorar as variações locais de produção e consumo, bem como endereçar energia para onde a demanda está em vias de superar o suprimento. Todas as correntes alternadas que chegam a cada vértice da rede terão de estar em fase, dentro de pequena faixa de tolerância, para evitar interferências destrutivas desastrosas.

O uso da inteligência artificial (IA) será indispensável para que o sistema de geração, transmissão e distribuição de eletricidade opere com segurança, e que não haja falhas na oferta de energia elétrica nos locais e momentos em que ela seja demandada. Todo o sistema será muito dinâmico e muito menos previsível do que o atual sistema, em que a geração de energia é concentrada em número muito menor de usinas, todas elas com produção mais estável.

A IA, como exposto no capítulo 8 (Transformação digital), vai além das capacidades do *software* tradicional que realizam tarefas seguindo um conjunto programado de regras. Por superar essas limitações, a IA identifica padrões em dados e aprende a executar tarefas e fazer otimizações com mais precisão e com eficácia que evolui ao longo do tempo. Como consequência, a IA deverá contribuir substancialmente para acelerar a transição energética e torná-la mais segura, contribuindo para três grandes áreas: previsão de demanda; operação e otimização da geração; transmissão, distribuição e consumo de energia renovável.

Não bastassem essas contribuições, a IA oferece grande potencial na localização de parques solares e eólicos, levando em conta dados históricos sobre locais onde o sol e os ventos são mais favoráveis, além de prover melhor informação sobre infraestrutura de redes de transmissão existente e seu histórico de sucesso e de falhas.

Outro potencial da IA é a previsão e coordenação da produção de energia dos parques solares e eólicos a partir de dados meteorológicos históricos, medições em tempo real de velocidade do vento e insolação em diversas localizações, monitoração de dados de sensores e de imagens de satélite de cobertura de nuvens. As previsões de geração de energia de curto prazo podem então ser utilizadas para agendar a carga e descarga do sistema de armazenadores de energia, com a consequente redução da capacidade necessária de parques solares

e eólicos. Algo similar já é realizado pela IA ao otimizar o despacho hidrotérmico do sistema de energia atual, que envolve hidrelétricas e termelétricas.

Outra aplicação relevante é a previsão da demanda de energia, uma tarefa extremamente complexa e que, quando malfeita, leva a apagões e racionamento de energia. Com IA, será também possível precificar a energia elétrica em tempo real, com base no balanço oferta-demanda, com consideráveis ganhos tanto para produtores quanto para consumidores, e aumento da eficiência de todo o sistema.

Um elemento importante da transição energética refere-se às possibilidades de novos mercados e negócios. Nesse campo, a IA tem o potencial de ser amplamente adotada em toda a cadeia de valor de energia, permitindo fluxos de receita novos por meio de novos modelos de negócios, além de benefícios que virão na forma de custos evitados.

Considerando o tamanho do investimento envolvido na transição energética, reduções no investimento necessário e no pico de demanda de energia vão gerar imensa economia para produtores e consumidores.

## Desafios industriais e tecnológicos da transição energética

Na transição energética, o Brasil não pode adotar sua política histórica de importar tecnologia e produtos industriais. Painéis fotovoltaicos, hoje – e, provavelmente, ainda por bom tempo – feitos de silício, serão usados em altíssima escala e são o componente mais caro na produção de energia solar.

Há, no país, pesquisa de qualidade no desenvolvimento de painéis fotovoltaicos de perovskitas, uma tecnologia emergente, mas, na ciência e técnica de painéis de silício, estamos muito deficientes. Além de atrair empresas estrangeiras competentes na produção de painéis de silício para nosso território, é imperativo que também criemos empresas para o setor, e que elas desenvolvam sua tecnologia.

A tecnologia de produção de geradores de eletricidade eólica é relativamente simples. Mas está havendo uma revolução nesse campo, em que as torres dos geradores e as pás das hélices dos cataventos é feita de fibra de carbono, não

de metais. Com a nova tecnologia, é possível construir geradores muito mais possantes – já estamos na escala de 5 MW – em torres muito elevadas, de mais de 100 metros. Nessa elevação, o vento é mais intenso e menos turbulento, o que aumenta muito a eficiência no aproveitamento da energia cinética do vento.

O Brasil precisa produzir tecnologia de desenvolvimento de fibras de carbono e criar empresas para sua fabricação. A transição energética, além de enorme passo rumo à sustentabilidade, será uma transformação geradora de riqueza e de empregos, e o país tem de estar muito atento a esse importante lado da questão.

## Carros elétricos

Até muito recentemente, o alto custo das baterias de íons de lítio usadas nos veículos elétricos tornava seu uso inviável do ponto de vista econômico. Mas incentivos fiscais aumentaram sua produção, e a curva de aprendizagem derrubou o custo, que caiu 97% desde 1992 [5]. Em 2021, a bateria ainda respondia por 40% do custo de um carro elétrico típico, mas seu custo reduz-se 19% a cada duplicação da produção acumulada.

Em 2024-2025, um carro elétrico deverá ficar competitivo com os convencionais, mesmo sem qualquer incentivo fiscal. Os veículos elétricos substituirão os movidos a combustíveis fósseis. A rapidez com que isso ocorrerá será muito dependente da agilidade com que os países instalem boas malhas de recarga de baterias.

O Brasil precisa agir rápido nessa instalação. Precisa também criar sua indústria de baterias de íons de lítio, com base em tecnologia nacional. As baterias de íons de lítio muito provavelmente serão por longo tempo as mais usadas para armazenamento de energia. Primeiro, porque armazenam energia com maior densidade (kWh/kg); segundo, porque, com a curva de aprendizado, seu custo tem declinado rapidamente.

## Perspectivas do Proálcool

O Brasil foi líder na produção de etanol para uso em motores de combustão interna e é o país que o produz a custo mais baixo. No presente, os usineiros têm

pouco interesse na produção de etanol, porque o uso da cana para produção de açúcar é mais rentável.

O etanol é uma fonte de energia quase limpa e é também uma forma de armazenar energia. Ganhos importantes na produtividade de álcool seriam obtidos com o álcool de segunda geração, no qual a celulose da fibra e das folhas da cana também é usada para sua produção.

Essa tecnologia ainda tem de ser desenvolvida para que a conversão de celulose em etanol seja economicamente vantajosa. Os usineiros não se sentem motivados para desenvolver essa tecnologia. Eles têm queimado os resíduos da cana para gerar calor e, com isso, realizar trabalho e produzir eletricidade. Assim, movem suas usinas de álcool e açúcar e produzem eletricidade.

Segundo o portal Canal Energia, em 2020, as usinas de álcool e açúcar responderam por 4,77% da eletricidade produzida no Brasil, e não é nada fácil superar economicamente esse ganho com a produção de álcool de segunda geração, computado o investimento em tecnologia.

## Impostos sobre eletricidade limpa

O Brasil tem taxado pesadamente a eletricidade limpa, enquanto no resto do mundo a prática tem sido subsidiá-la. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), desde 2012, quando a eletricidade fotovoltaica começou a ser usada de modo mais intenso no Brasil, na sua geração, foram investidos R\$ 74,6 bilhões. Nesse mesmo período, houve recolhimento de R\$ 20,9 bilhões em impostos. Sem essa taxaço, o lucro dos produtores comerciais seria maior, o que promoveria maior investimento.

Há também taxaço da eletricidade eólica. A melhor política seria aplicar uma importante reduço desses impostos, ou até mesmo promover sua isenço durante a transiço energética, o que a tornaria mais rápida.



## REFERÊNCIAS

- [1] Max Roser, *Our World in Data*, dezembro de 2020. <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth> – Visitado em 29/8/2022.
- [2] <https://www.imf.org/en/Topics/climate-change/energy-subsidies> – Visitado em 29/8/2022.
- [3] Ramez Naan, <https://rameznaam.com/2020/05/14/solars-future-is-insanel-cheap-2020/>. Visitado em 29/8/2022.
- [4] <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/experts-predict-50-lower-wind-costs-they-did-2015-0> Visitado em 29/8/2022.
- [5] Hannah Ritchie, junho de 2021. The price of batteries has declined by 97% in the last three decades – *Our World in Data*.

## 7. SAÚDE E BEM-ESTAR

### Saúde e bem-estar e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Assegurar saúde e bem-estar a todas as pessoas, em todas as idades, merece atenção especial, dada a sua importância para a prosperidade e a dignidade humana. Este é o objetivo 3 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS), de 17 objetivos e 169 metas, que abordam os principais desafios para atingir a Agenda 2030 no Brasil [1,2].

Grandes inovações terapêuticas têm contribuído para a melhoria da qualidade de vida e o aumento da expectativa de vida da população mundial, exercendo papel fundamental na promoção da saúde. Sem saúde, não há vida saudável, próspera e produtiva que possibilite a geração de renda, emprego, desenvolvimento sustentável e crescimento da economia nacional. Em um país de extensão territorial e de desigualdades sociais e econômicas, como o Brasil, investir em saúde é uma prioridade.

Em situações de crise, como a da pandemia de covid-19, em que as fragilidades na proteção da saúde ficam expostas, os investimentos em saúde são ainda mais importantes e reforçam a sua contribuição para a economia do país (ODS 3, metas 3.3., 3.4, 3.8, 3.b, 3.c e 3.d) [1,2]. Os enormes desafios científicos e tecnológicos globais exigiram a integração de diversos atores de entidades acadêmicas e empresariais na busca por soluções, como testes diagnósticos, infraestrutura hospitalar, vacinas e medicamentos.

Diversas lacunas importantes de pesquisa básica, translacional e aplicada foram preenchidas, possibilitando resultados expressivos no controle da doença. As descobertas e inovações que abrem espaço para novas tendências no mundo pós-pandemia serão fundamentais para desencadear uma transformação em todo o sistema de saúde.

O reconhecimento da sociedade sobre o valor da ciência e de investimentos em pesquisa tem sido fundamental para consolidar um conceito determinante de médio e longo prazos: ciência não é gasto, é investimento.

## Crescimento e envelhecimento populacional e o cenário das doenças e dos agravos

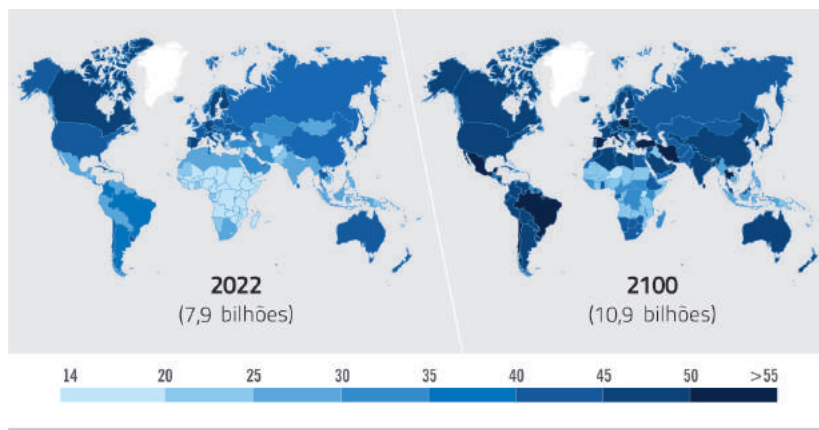
A população mundial mais do que triplicou entre 1950 e 2022, em função, principalmente, dos avanços em saúde pública e do fortalecimento do conhecimento científico e tecnológico que levou ao desenvolvimento de diagnósticos, medicamentos e vacinas. A população mundial, que atingiu 7,8 bilhões em 2020, continuará crescendo em virtude do aumento da expectativa de vida e deverá alcançar 10,9 bilhões, em 2100, segundo estimativas da ONU [3]. A figura 1 mostra o crescimento e envelhecimento da população ao final deste século.

Seguindo uma tendência mundial, a expectativa de vida ao nascer no Brasil aumentou 31,3 anos, entre 1945 e 2020, de 45,5 para 76,8 anos [4]. A transição demográfica, caracterizada pela queda dos níveis de mortalidade, natalidade e fecundidade, teve início com a queda dos níveis de mortalidade, a partir das décadas de 1930 e 1940 [5]. Nas três décadas seguintes, a transição da mortalidade foi acompanhada pela queda da fecundidade, resultando em mudanças na estrutura etária da população. Além disso, o grande crescimento da população urbana ocorreu de forma desordenada, com infraestrutura e instalações precárias. Esse panorama amplia o risco de transmissão e disseminação de doenças infecciosas, dificultando o seu controle.

O padrão da carga de doenças no Brasil se alterou com a transição epidemiológica, caracterizada pela redução das mortes por doenças infecciosas e pelo aumento da mortalidade por doenças não transmissíveis. A proporção de mortes totais devido às doenças infecciosas e parasitárias, de 46% em 1930, caiu para menos de 5% no final do século passado.

A incidência e a prevalência persistem em função dos insuficientes avanços no combate dessas doenças, da emergência de novas doenças, como zika, chicungunha e covid-19, e da reemergência de doenças que haviam sido eliminadas, como o sarampo.

Em 2019, 54,7% dos óbitos registrados no Brasil foram causados por doenças não transmissíveis [6]. As doenças cardiovasculares são a principal causa de morte no Brasil e no mundo. Vários fatores ligados às condições de vida das pessoas têm sido determinantes, como obesidade, tabagismo, consumo de álcool, alimentação não saudável e inatividade física.



**Figura 1.** Envelhecimento da população mundial até 2100. Os números na tarja de cores indicam as idades médias das populações nos vários lugares

Fonte: Adaptado de <https://ourworldindata.org/age-structure>

Os agravos não transmissíveis (violência e acidentes) também fazem parte do cenário de morbimortalidade da população. Em 2019, os agravos foram responsáveis por 11,5% dos óbitos no Brasil [6]. Mortes violentas estão relacionadas às desigualdades sociais, determinadas pelo gênero, raça ou cor da pele, classe social e nível de escolaridade. Os acidentes de trânsito (lesões e ferimentos) também têm peso no perfil epidemiológico de morbimortalidade da população brasileira.

Em relação à saúde mental, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que o Brasil, com incidência em 6% da população, seja o quinto país em prevalência de distúrbios depressivos, e o primeiro em prevalência de ansiedade, que atinge 9% da população. Esse cenário se agravou com a pandemia de covid-19 [7], tanto pelas possíveis consequências do vírus no sistema nervoso central ou em outros órgãos quanto pelas experiências traumáticas, pelo isolamento social, pelos desajustes familiares, pela redução de renda ou pelo desemprego

## Ciência e políticas de saúde pública

A pesquisa científica e tecnológica é indispensável à promoção e conservação da saúde da população, bem como à inclusão de conhecimentos e tecnologias para o fortalecimento do Sistema Único de Saúde (SUS). No Brasil, os desafios são enormes em um cenário de desarticulação estrutural, em que

ocorrem simultaneamente doenças não transmissíveis, doenças infecciosas, causas externas e problemas de saúde mental.

Apesar da relevância das questões relacionadas à saúde no debate público, a falta de uma agenda de Estado tem restringido as políticas públicas de saúde no país. Ainda existem grandes dificuldades na difusão da pesquisa translacional para o desenvolvimento de produtos de valor agregado, como medicamentos e vacinas.

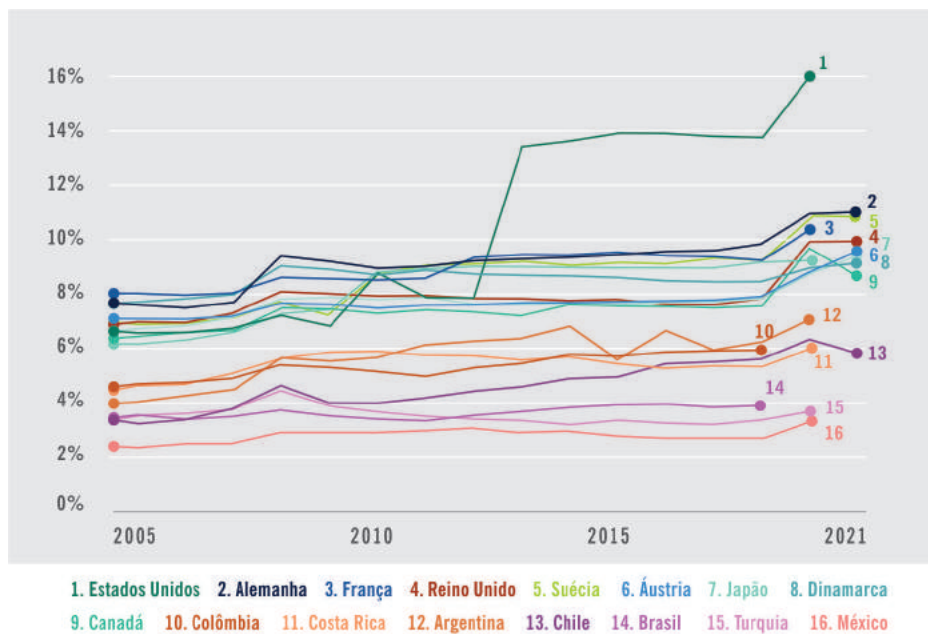
A indústria farmacêutica vem passando por transformações em decorrência do aumento do mercado de produtos farmacêuticos na esfera global, da expiração de patentes de medicamentos altamente rentáveis, da oferta de novos genéricos, do aumento da concorrência internacional e da redução em investimentos para inovação. É preciso definir prioridades de pesquisa e incentivos fiscais para que as *startups* e as empresas do setor farmacêutico nacional possam ser mais competitivas.

O Departamento de Ciência e Tecnologia (Decit) da Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde (SCTIE) elaborou, em 2018, a Agenda de Prioridades de Pesquisa do Ministério da Saúde (APPMS). Com 172 linhas de pesquisa distribuídas em 14 eixos temáticos, busca o alinhamento das prioridades de saúde com as atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação para direcionar os investimentos em temas estratégicos para o SUS. No entanto, os eixos temáticos, em grande parte, atendem às necessidades imediatas, sem perspectivas para as demandas decorrentes do desenvolvimento atual da ciência e das futuras inovações em saúde.

## Gastos públicos em saúde

De acordo com o *Our World in Data*, os gastos do governo com a saúde no Brasil, em comparação ao percentual do Produto Interno Bruto (PIB), estão abaixo da média dos países integrantes da Organização para a Cooperação de Desenvolvimento Econômico (OCDE). Em 2021, as despesas do governo brasileiro com saúde corresponderam a 3,93% do PIB, enquanto países como EUA, Alemanha e França lideraram entre os membros da OCDE com gastos da ordem de 15,95%, 11,02% e 10,34% do PIB, respectivamente, seguidos por Reino Unido (9,90%), Suíça (9,79%), Áustria (9,55%), Japão (9,28%), Dinamarca (9,26%) e Canadá (8,70%).

O Brasil aparece atrás de países da América do Sul, como Colômbia (7,07%), Argentina (5,95%) e Chile (5,83%), e até da América Central, como Costa Rica (5,98%). Dos países da OCDE, o Brasil fica na frente apenas da Turquia (3,64%) e do México (3,30%) [8].



**Figura 2.** Despesas governamentais em saúde como proporção do PIB, de 2005 a 2021. No Brasil, as despesas são pequenas e não crescem

Fonte: Adriano D. Andricopulo, com base em dados publicados por *Our World in Data*

O Brasil também está na contramão de outra tendência mostrada por vários países, que é aumentar os gastos públicos em saúde ao longo dos anos, com destaque para os EUA, que em 2012 gastou 7,85% do PIB e mais que dobrou esse índice em 2021, saltando para 15,95%. Em 2012, o Brasil gastou 3,36% do PIB em saúde. Mas, ao comparar as despesas das famílias com a saúde, o país aparece com 5,8% do PIB, enquanto a média dos membros da OCDE foi de 2,3% em 2019.

Os dados mostram que a população brasileira não tem acesso ao básico e gastou mais com medicamentos e serviços na rede particular. É preciso uma mudança de mentalidade, dada a importância da saúde pública no cenário geral do país. Falta dar prioridade ao SUS e ampliar o financiamento público da saúde para proteção financeira das famílias.

## Química fina, insumos e medicamentos

A pandemia expôs a dependência nacional da importação de insumos farmacêuticos ativos (IFA) para a produção de medicamentos e vacinas. Com uma indústria química que é considerada a sexta maior do mundo, o Brasil produz apenas 5% dos insumos utilizados na fabricação de medicamentos no país [9]. No caso dos antibióticos, a dependência é de 100% dos insumos, porque não existe capacidade de produção local para competir com a China

Na corrida pelas vacinas para a covid-19, o Brasil ficou para trás por falta de competitividade e investimentos. O sinal de alerta está ligado, e o país deve se preparar melhor para uma próxima pandemia.

A produção de intermediários sintéticos, IFAs e produtos químicos tecnológicos requer o aprimoramento de processos de pesquisa e desenvolvimento (P&D), a capacitação de recursos humanos e a melhoria da infraestrutura. Avanços são necessários no desenvolvimento de processos mais competitivos, limpos e sustentáveis.

Priorizar o enquadramento de medicamentos que contenham IFA nacional para fins de registro na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) é outro gargalo para alavancar o avanço da produção nacional de insumos. Por outro lado, é fundamental que o Estado promova a participação da indústria farmacêutica nacional e o desenvolvimento da capacidade tecnológica e competitiva dos laboratórios farmacêuticos oficiais, que podem exercer papel mais estratégico para o SUS.

## Descoberta e desenvolvimento de fármacos

O componente principal de uma formulação farmacêutica empregada como medicamento (molécula pequena com peso molecular < 1.000 Da) é denominado fármaco ou princípio ativo. Até chegar a sua aprovação, o fármaco passa pelas etapas de descoberta e ensaios em animais (fase pré-clínica), e ensaios em humanos (fase clínica) [10].

O objetivo é melhorar algumas características farmacodinâmicas, farmacocinéticas e toxicológicas para assegurar duas propriedades fundamentais:

segurança e eficácia. No quesito desenvolvimento de fármacos inovadores, o Brasil é mero espectador das inovações realizadas pelos centros de P&D das farmacêuticas multinacionais. Faltam investimentos e uma visão arrojada para transformar uma cultura anacrônica que impede o país de aproveitar o seu enorme potencial científico e tecnológico.

Para se ter uma ideia da capacidade de geração de receitas dos medicamentos inovadores de sucesso, o anticoagulante apixabana e o imunomodulador lenalidomida alcançaram faturamentos de US\$ 16,7 bilhões e US\$ 12,8 bilhões, respectivamente, em vendas globais em 2021.

Por outro lado, o reposicionamento de fármacos busca identificar novas indicações terapêuticas para medicamentos aprovados ou candidatos clínicos em fases avançadas. Apesar de suas vantagens, como tempo e custo reduzidos em relação ao desenvolvimento de um novo medicamento a partir do zero, o reposicionamento de fármacos é pouco explorado no Brasil.

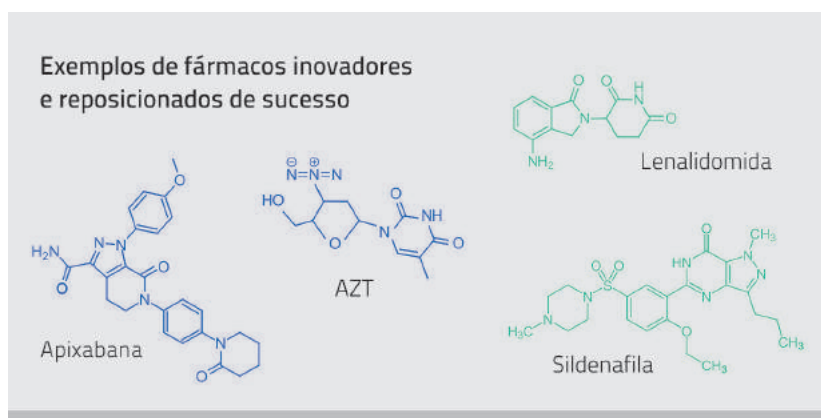


Figura 3. Exemplos de fármacos inovadores e reposicionados de sucesso

Fonte: Adriano D. Andricopulo

Vários exemplos ilustram a importância dessa abordagem, como a zidovudina ou AZT, um agente anticâncer que foi aprovado como o primeiro antiviral eficaz no tratamento da Aids, em 1987, e a sildenafil (Viagra), aprovada em 1998 como o primeiro tratamento eficaz por via oral para a disfunção erétil, que foi desenvolvida originalmente para doenças cardíacas (figura 3).



## Medicamentos para doenças infecciosas

O acesso limitado à água limpa, a saneamento, limpeza e coleta de lixo contribui para a propagação de doenças infecciosas e a perpetuação do ciclo de pobreza e subdesenvolvimento das áreas endêmicas. As doenças infecciosas são causadas por vírus, bactérias, protozoários e fungos, e representam barreiras ao desenvolvimento humano e econômico das nações afetadas. Exemplos compreendem malária, sarampo, hanseníase, hepatites (A, B, C, D e E), caxumba, Aids, doença de Chagas, leishmaniose e tuberculose.

De grande interesse para a saúde pública da América Latina, e, em especial, do Brasil, destacam-se as doenças tropicais negligenciadas (DTNs). Elas afetam mais de 1 bilhão de pessoas em regiões tropicais e subtropicais de 150 países e compreendem 20 doenças: úlcera de Buruli, doença de Chagas, dengue e chicungunha, dracunculíase, equinococose, trematodíases de origem alimentar, tripanossomíase humana africana (doença do sono), leishmaniose, hanseníase, filariose linfática, micetoma e cromoblastomicose, oncocercose, raiva, ectoparasitoses, esquistossomose, geo-helmintíases, envenenamento ofídico, teníase e cisticercose, tracoma e boubá [11]. Devido à mobilidade da população mundial, algumas dessas doenças passaram a preocupar países da América do Norte, Europa, Ásia e Oceania.

As DTNs são responsáveis por 11% da carga global de doenças. Líder na América Latina, o Brasil registra o maior número de casos de hanseníase, dengue, esquistossomose, doença de Chagas e leishmaniose. A busca por novos medicamentos é considerada prioritária pela OMS, mas os investimentos globais em P&D são insuficientes, o que se reflete na falta de inovação.

Os poucos produtos registrados para as DTNs nos últimos anos correspondem a medicamentos reposicionados, biológicos e novas formulações. Exemplos incluem a miltefosina (leishmanioses visceral, cutânea e mucocutânea), a moxidecina (oncocercose), o benznidazol pediátrico (doença de Chagas) e o fexinidazol (tripanossomíase africana), além de três produtos biológicos contra cólera e raiva.

Nenhum medicamento inovador foi aprovado para as DTNs neste século. As metas 3.2, 3.3, 3.8, 3.b, 3.c e 3.d do ODS 3 da ONU estão associadas às DTNs [1,2]. Grande parte dos temas prioritários do eixo 6 da APPMS do Ministério da Saúde também se referem às DTNs [12]. Em 2021, a OMS lançou o segundo plano

para DTNs, chamado de *2021-2030 road map for neglected tropical diseases*, com metas globais que visam a prevenção, controle, eliminação e erradicação dessas doenças [13]. Os desafios são grandes; faltam testes diagnósticos e investimentos em P&D de novos medicamentos.

## Medicamentos para doenças não transmissíveis

Os processos de transição demográfica, epidemiológica e nutricional, a urbanização e o crescimento econômico e social contribuem para a prevalência das doenças não transmissíveis, também conhecidas como doenças crônicas não transmissíveis (DCNT). De acordo com a OMS, as DCNTs são as principais causas de mortalidade no mundo. As doenças cardíacas, acidente vascular cerebral (AVC), câncer, diabetes e doenças pulmonares crônicas são responsáveis por quase 70% das mortes no mundo.

O aumento da incidência das DCNTs tem sido impulsionado por fatores de risco, como uso de tabaco, consumo abusivo de álcool, alimentação não saudável e atividade física insuficiente. As DCNTs trazem consequências severas para a saúde das famílias e sociedades, bem como sobrecarregam os sistemas de saúde privados e públicos.

Os custos socioeconômicos tornam a vigilância, prevenção e o controle indispensáveis nas agendas de saúde públicas das nações. No entanto, o impacto antagônico do aumento e envelhecimento populacional colocam as DCNTs como um dos maiores desafios para a ciência moderna.

Embora as necessidades sejam imediatas, o caminho a ser percorrido na busca de inovações terapêuticas é longo. A complexa interação entre saúde e DCNTs inclui genoma individual, microbioma, metaboloma, estado imunológico e fatores ambientais.

O desenvolvimento de modelos precoces e personalizados com base na integração de perfis moleculares e biomarcadores é um caminho possível na busca por novos alvos terapêuticos e medicamentos. Por outro lado, métodos tradicionais e modernos de química medicinal, como as triagens fenotípicas de compostos e o planejamento baseado em estruturas de alvos moleculares, respectivamente, continuarão a exercer papel fundamental no desenvolvimento de novos fármacos.

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. Destacam-se o fortalecimento de políticas e programas intersetoriais, organização de serviços em rede, produção de informações direcionadas à tomada de decisão baseada em evidências e a inovação em gestão, pesquisa e serviços de saúde.

## Medicamentos imunobiológicos e vacinas

No Brasil, as vacinas e os biofármacos são disponibilizados para a população pelo Ministério da Saúde (MS). A iniciativa privada disponibiliza algumas vacinas mais completas ou que não são oferecidas pela rede pública. O alto custo desses produtos, em grande parte produzidos por fabricantes internacionais, limita a oferta e afeta diretamente o orçamento destinado à saúde. Um exemplo é a vacina contra o herpes-zóster (Shingrix), que só está disponível na rede privada, com custo por dose (requer duas doses) entre R\$ 850 e R\$ 1 mil, um valor proibitivo para a grande maioria da população.

É necessário ampliar a capacidade de pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica, bem como incentivar a produção, priorizando produtos biológicos nacionais em processos de compras governamentais para atender ao SUS. Investimentos e parcerias com instituições públicas e privadas são imprescindíveis para internalizar transferências de tecnologia e nacionalizar produtos de alto valor agregado.

O Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos (Bio-Manguinhos) da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) é responsável pela produção de biofármacos e vacinas que atendem às demandas nacionais e o calendário básico de imunização do MS. São vacinas para febre amarela, meningite A e C, covid-19 e poliomielite, além dos biofármacos adalimumabe, alfainterferona 2b e infliximabe, entre outros.

O Instituto Butantan produz vacinas contra vírus e bactérias (influenza sazonal trivalente, papilomavírus humano tipo 6, 11, 16 e 18, raiva etc.) que fazem parte do Programa Nacional de Imunizações (PNI) e chegam gratuitamente à população brasileira.

O cenário internacional indica grande demanda futura por novas vacinas de diferentes tipos de tecnologias – vacinas inativadas, fragmentadas, de vírus atenuados, RNA mensageiro (mRNA), DNA, vetores virais. De acordo com a OMS, somente para a covid-19, existem 170 novas vacinas em desenvolvimento clínico e outras 198 em fase pré-clínica.

É essencial investir na criação de novos centros de pesquisa, desenvolvimento e produção de vacinas em grande escala para situar o Brasil no nível de excelência global e proteger a população de diversos agentes causadores de doenças. Avanços no domínio tecnológico sobre as inovadoras vacinas de mRNA poderão trazer enormes contribuições à saúde pública.

Estão atualmente em desenvolvimento clínico vacinas preventivas de mRNA contra doenças infecciosas (zika vírus, chicungunha, influenza, ebola, raiva, citomegalovírus, HIV, vírus sincicial respiratório, SARS-CoV-2, *Plasmodium*), vacinas terapêuticas de mRNA contra o câncer (de mama, ovário, colorretal, cervical, pulmão, pâncreas, próstata, melanomas e neoplasias do sistema digestivo), e as imunoterapias com mRNA (diabetes tipo 2, fibrose cística, insuficiência cardíaca, tumores sólidos e cânceres de mama, fígado e pâncreas [14]).

## Biodiversidade brasileira e inovação farmacêutica

Os produtos naturais são fontes inspiradoras de medicamentos inovadores de fundamental importância para a promoção da saúde. Estudos mostram que 67% dos medicamentos aprovados para uso em humanos são produtos naturais ou derivados semissintéticos/sintéticos [15]. Exemplos extraordinários incluem a morfina (analgésico), o ácido acetilsalicílico (anti-inflamatório e analgésico), a penicilina (antibiótico), o taxol (quimioterápico), a artemisinina (antimalárico), o captopril (anti-hipertensivo), a lovastatina (reduzidor de colesterol) e o oseltamivir (antiviral) [16].

O Brasil é um país megadiverso. São mais de 116 mil espécies animais e de 50 mil espécies vegetais conhecidas no país – o equivalente a um sexto do total do planeta –, espalhadas pelos seis biomas terrestres e três grandes ecossistemas marinhos [17]. Além disso, o Brasil tem uma costa marinha de 3,5 milhões km<sup>2</sup>, que inclui ecossistemas como recifes de corais, dunas, manguezais, lagoas, estuários e pântanos.

O Marco da Biodiversidade definiu o acesso ao patrimônio genético e ao conhecimento tradicional associado, reduzindo a burocracia e estimulando a pesquisa e inovação na área de fármacos e medicamentos com espécies nativas. O Acheflan, anti-inflamatório de uso tópico, é um exemplo importante de medicamento fitoterápico que foi desenvolvido integralmente no Brasil.

Os avanços científicos e tecnológicos das últimas duas décadas possibilitam vislumbrar a continuidade dessa linha do tempo, com novos fármacos capazes de transformar o tratamento de doenças infecciosas e crônicas que causam incapacidade, sofrimento, morte e grande impacto econômico. A expectativa é que exemplos como penicilina, morfina, taxol, ciclosporina (imunossupressor) e atorvastatina (reduzidor de colesterol) possam inspirar cientistas, *startups*, institutos de pesquisa e empresas farmacêuticas brasileiras para o uso racional da nossa biodiversidade. Os produtos naturais derivados de plantas e micro-organismos devem ser mais bem aproveitados para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado para as gerações de hoje e as futuras.

## O futuro dos antibióticos

Os antibióticos transformaram a medicina moderna no tratamento de doenças infecciosas fatais. No entanto, seu futuro está ameaçado por dois desafios ortogonais: o rápido desenvolvimento da resistência aos medicamentos e a falta de incentivos à indústria farmacêutica para P&D de novos antibióticos.

No passado, o surgimento da resistência era compensado por novos antibióticos, muitos deles a partir de fontes naturais, como micro-organismos. Mas, com o passar do tempo, essa fonte foi se esgotando, e o ciclo foi quebrado. O panorama atual é preocupante: existem poucos fármacos em desenvolvimento clínico, e a evolução e disseminação da resistência seguem em ritmo acelerado.

O futuro demanda um rompimento dos modelos tradicionais de pesquisa em direção à inovação com antibióticos de espectro estreito, bacteriófagos, anticorpos monoclonais, vacinas e diagnósticos mais precisos [18]. Embora não sejam capazes de preencher todas as lacunas, iniciativas como o Combate às Bactérias Resistentes a Antibióticos – Carb-X (*Combating Antibiotic-Resistant Bacteria*), a Parceria Global para Pesquisa & Desenvolvimento em Antibióticos – Gardp (*The Global Antibiotic Research and Development Partnership*) e o Fundo de Impacto

– Repair (*Replenishing and Enabling the Pipeline for Anti-Infective Resistance*) vêm acelerando ações globais para o desenvolvimento de novos antibióticos.

## Medicamentos genéricos e biossimilares

O processo de introdução dos medicamentos genéricos no Brasil teve início na década de 1970, culminando com a Lei 9.787, de 10/02/1999. O medicamento genérico é aquele que contém o mesmo princípio ativo, na mesma dose e forma farmacêutica, é administrado pela mesma via e com a mesma posologia e indicação terapêutica do medicamento de referência, apresentando eficácia e segurança equivalentes à do medicamento de referência e podendo, com este, ser intercambiável [19].

Os genéricos são essenciais para garantir o acesso da população brasileira a medicamentos de alta qualidade e de menor custo. Dos medicamentos do Programa Farmácia Popular, 85% são genéricos. O Brasil conta com 94 fabricantes de genéricos, responsáveis por 2.335 registros de medicamentos e 4.610 apresentações comerciais. O faturamento do setor, próximo dos R\$ 14,2 bilhões em 2021, deve avançar acima de 10% em 2022, puxando o aumento das vendas do restante da indústria farmacêutica brasileira, que crescerá aproximadamente 14% em valores [20].

Apesar de sua força, ainda há espaço para o crescimento da participação de mercado dos genéricos no Brasil, que hoje gira em torno de 35%. Em um país como os EUA, onde os genéricos estão presentes há mais de 50 anos, a participação fica em torno de 60% do volume do mercado interno. O mercado global de medicamentos genéricos deve atingir US\$ 508 bilhões até 2026 [21].

As empresas que produzem genéricos não precisam fazer o processo de P&D, como no caso dos medicamentos inovadores. Elas devem somente apresentar evidências à Anvisa de que o medicamento genérico tem o mesmo ingrediente ativo do produto de marca, e de que passou por testes de bioequivalência em humanos e de equivalência farmacêutica. A validade de uma patente farmacêutica no Brasil é de 20 anos. Após esse período, é possível lançar no mercado medicamentos genéricos correspondentes aos de referência.

Os medicamentos biossimilares, assim como os genéricos, podem ser produzidos após a expiração da patente dos produtos originais. Para fins de registro,

os biossimilares passam por estudos comparativos com o produto biológico referência para comprovar a sua qualidade, segurança e eficácia.

Enquanto a agência europeia de medicamentos (EMA, *European Medicines Agency*) confere autonomia a cada país regulado para a decisão sobre a prática da intercambialidade, a agência norte-americana de controle de alimentos e medicamentos (FDA, *Food and Drug Administration*) definiu o enquadramento de biossimilar como intercambiável, cabendo ao fabricante realizar estudos clínicos com os medicamentos de referência e biossimilar. No Brasil, a intercambialidade é de responsabilidade do profissional da saúde, cabendo à Anvisa assegurar a qualidade, eficácia e segurança do produto registrado.

## Sistemas de informação, tecnologia de dados e inteligência artificial

A saúde é uma das áreas em que algoritmos, dados e evolução dos meios digitais vêm gerando avanços importantes. A relação saúde-doença e sua profunda vinculação com aspectos biológicos, genéticos, ambientais e sociais reúne desafios complexos. Profissionais de saúde e pacientes podem se beneficiar de soluções computacionais envolvendo inteligência artificial (IA), tanto pela acurácia dos diagnósticos quanto pela predição de agravos à saúde, com redução de tempo e custos.

Dados e algoritmos podem promover a adoção de recomendações de diretrizes e facilitar a adesão às práticas clínicas. Os processos digitais devem substituir os analógicos em papel, possibilitando tomadas de decisão mais rápidas e assertivas, bem como o acompanhamento a distância de diagnósticos, exames e tratamentos, tornando a telemedicina uma forma de consulta mais relevante. A medicina de precisão se beneficiará com o desenvolvimento de tratamentos personalizados com base em conhecimentos mais aprofundados sobre os pacientes.

O processo de P&D de medicamentos reúne diversas etapas interdisciplinares cada vez mais complexas, que demandam a atuação de ciência e tecnologia. A implementação de novas ferramentas de IA poderá agilizar, por exemplo, o desenvolvimento clínico de candidatos e o planejamento de fármacos mais específicos com modelos preditivos de propriedades.

Outra contribuição da IA é a geração de estruturas 3D de milhões de proteínas (*AlphaFold*) para a aplicação de técnicas computacionais de planejamento de fármacos baseado em estruturas de alvos e ligantes.

## O futuro da medicina

Da clonagem do primeiro mamífero ao sequenciamento do genoma humano e à ferramenta de edição genes, o mundo vivenciou grandes avanços da ciência, e este século ainda reserva muitas novidades. Será que um dia chegaremos ao ponto em que um único exame de sangue possa identificar o risco de um indivíduo a certo grupo de doenças crônicas, e que os tratamentos para elas estejam disponíveis?

Iniciativas como o *Atlas de células humanas (Human Cell Atlas)*, um mapeamento minucioso do perfil molecular de todas as células humanas, e a Aliança Internacional de Doenças Comuns (*International Common Disease Alliance*), que visa a melhorar a prevenção, o diagnóstico e tratamento de doenças comuns, poderão contribuir com a forma em que as doenças são diagnosticadas e tratadas. Os progressos recentes da terapia gênica, incluindo o desenvolvimento de tecnologias moleculares para a edição de genes e o sequenciamento do genoma para identificar as raízes genéticas das doenças, vêm sinalizando a sua viabilidade clínica.

A medicina P4 (prevenção, predição, personalização e participação) traz uma abordagem sistêmica visando à promoção da saúde. A medicina de precisão busca a detecção da susceptibilidade genética dos indivíduos a certas patologias antes de sua manifestação clínica, possibilitando seu monitoramento e sua prevenção.

A longevidade saudável tem atraído grande interesse na investigação do perfil genômico de centenários para esclarecer a dependência das variantes genômicas protetoras associadas à manutenção da capacidade cognitiva e funcional de idosos. As aplicações clínicas das vacinas de mRNA e imunoterapias poderão ser expandidas para o tratamento de outras doenças infecciosas e crônicas.

Medicamentos de DNA recombinante em desenvolvimento, como vacinas gênicas ou de DNA plasmidial, são esperança para várias doenças que não apresentam tratamento ou métodos profiláticos eficazes. A redefinição futura do



conceito de um sistema de saúde de aprendizagem, ligada ao desenvolvimento da inteligência geral artificial (IGA), poderá dar às máquinas recursos aprimorados para executar funções que hoje não são possíveis.

Esses são alguns exemplos dentro de um universo de possibilidades. Mas vale destacar que essas tecnologias de prevenção e tratamento só serão bem-sucedidas se estiverem disponíveis e acessíveis universalmente para não aprofundarem as desigualdades sociais e as iniquidades em saúde.

## Embrapii e parcerias com o setor farmacêutico

Com a regulamentação dos medicamentos genéricos e biossimilares no Brasil, a indústria farmacêutica nacional alcançou grande crescimento e qualificação no desenvolvimento e produção de formulações farmacêuticas. Mas ainda se encontra em estádios iniciais no que se refere às inovações terapêuticas que são desenvolvidas nas matrizes das multinacionais em outros países.

O longo caminho percorrido no desenvolvimento de um medicamento inovador, desde a descoberta de uma molécula com potencial terapêutico até a sua comercialização, exige o estabelecimento de parcerias entre laboratórios de empresas farmacêuticas, universidades e institutos de pesquisa. Além das cooperações, fundamentais para superar os obstáculos das estruturas científicas e tecnológicas de P&D, é preciso investimentos de risco por parte das indústrias farmacêuticas, com participação do Estado.

Mas, os investimentos em P&D do setor são ainda muito inferiores aos praticados no cenário farmacêutico global, o que tem estreita relação com o baixo perfil inovador das indústrias farmacêuticas nacionais e com o papel pouco significativo do Estado para o desenvolvimento do setor farmacêutico. A inexpressiva participação nacional no mercado de medicamentos inovadores não está à altura de um país que é o quinto maior mercado farmacêutico do mundo.

Um exemplo de sucesso é a Índia, que hoje realiza diversas atividades de P&D com recursos humanos altamente qualificados. Além disso, é o maior fornecedor global de medicamentos genéricos e o principal fabricante de vacinas no mundo, sendo também uma referência na fabricação de farmoquímicos. O sucesso da Índia foi construído com o apoio de grandes investimentos governamentais

em P&D, incentivos aos laboratórios de universidades e institutos de pesquisa, legislação de patentes e sistema regulatório com critérios crescentes ao longo do tempo, bem como apoio à indústria nacional.

Se o Brasil quiser tomar o caminho da inovação, uma das tarefas inadiáveis será mudar a cultura dentro das empresas e universidades, para que elas se aproximem na busca de protagonismo no cenário internacional. É de igual importância que o Estado assuma seu papel como indutor de políticas e de encomendas públicas em saúde e de incentivos às atividades de inovação de P&D. A baixa exploração de nichos de mercado, como os modelos estruturados em produtos naturais, fitofármacos e medicamentos fitoterápicos, também é um desafio importante para o país, que está no topo da lista dos países mais megadiversos.

São inúmeras as oportunidades para promover o desenvolvimento de uma indústria farmacêutica nacional mais inovadora, com forte atuação em P&D e em toda a cadeia produtiva, da fabricação de IFAs e farmoquímicos em geral à descoberta de novos fármacos, imunobiológicos e vacinas.

A Embrapii, com seu modelo e sua estrutura de ação, pode incentivar a inovação, unindo as indústrias farmacêuticas e os centros de pesquisa de excelência das universidades e de *startups* altamente tecnológicas e inovadoras. O modelo de apoio da Embrapii, com a pré-seleção de unidades qualificadas à inovação e subvenção de até um terço dos projetos de inovação, representa: (i) para as empresas, uma excelente oportunidade de compartilhamento dos riscos inerentes à inovação; (ii) para as universidades, a possibilidade de contribuir com o conhecimento e a pesquisa para o desenvolvimento nacional e a formação de pessoas qualificadas para o mercado de trabalho inovador; (iii) para o governo, a efetiva implementação de políticas públicas que promovam o atendimento das necessidades em saúde da população.

## REFERÊNCIAS

- [1] Nações Unidas – ONU Brasil (2022). Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.
- [2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022). *Indicadores brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – Agenda 2030*.

- [3] United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2021). *Global Population Growth and Sustainable Development*. UN DESA/POP/2021/TR/NO. 2.
- [4] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). *Indicadores de desenvolvimento sustentável* – Em 2019, a expectativa de vida era de 76,6 anos.
- [5] C. C. S. Simões. *Breve histórico do processo demográfico. Brasil: Uma visão geográfica e ambiental no início do século XXI*. A. H. Figueiredo. Rio de Janeiro, IBGE, Coordenação de Geografia: 40-74 (2016).
- [6] Plano de Ações Estratégicas para o Enfrentamento das Doenças Crônicas e Agravos Não Transmissíveis no Brasil 2021-2030. Ministério da Saúde (2021).
- [7] L. M. Vitorino, G. H. Yoshinari-Júnior, G. G. I. F. Dias, J. P. L. Pereira, I. M. G. Ribeiro, A. B. França, F. Al-Zaben, H. G. Koenig, C. Trzesniak. Factors associated with mental health and quality of life during the covid-19 pandemic in Brazil. *B. J. Psych Open*, 7(3): e103 (2021).
- [8] *Our world in data*. *Government health expenditure as a share of GDP, 2000 to 2021*.
- [9] O custo do atraso: Brasil produz apenas 5% dos insumos de medicamentos. Associação Brasileira da Indústria de Insumos Farmacêuticos – Abiquifi (2021).
- [10] L. L. G. Ferreira, A. D. Andricopulo. Impactos da pandemia: medicamentos e tratamentos para a covid-19. *Estud. Av.*, 34(100) (2020).
- [11] Neglected tropical diseases. *World Health Organization* (2021).
- [12] Agenda de prioridades de pesquisa do Ministério da Saúde (APPMS), Ministério da Saúde (2018).
- [13] Ending the neglect to attain the Sustainable Development Goals: A road map for neglected tropical diseases 2021-2030. *World Health Organization* (2020).
- [14] A. J. Barbier, A. Y. Jiang, P. Zhang, R. Wooster, D. G. Anderson. The clinical progress of mRNA vaccines and immunotherapies. *Nat. Biotechnol.*, 40, 840-854 (2022).
- [15] D. J. Newman, G. M. Cragg. Natural products as sources of new drugs over the nearly four decades from 01/1981 to 09/2019. *J. Nat. Prod.* 83, 770-803 (2022).
- [16] M. Valli, V. Bolzani. Natural products: perspectives and challenges for use of Brazilian plant species in the Bioeconomy. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, 91, e20190208 (2019).
- [17] Ministério do Meio Ambiente, Biodiversidade: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade> – Acesso em 23/8/2022
- [18] M. A Cook, G. D. Wright. The past, present, and future of antibiotics. *Sci. Transl. Med.*, 14, 657, 2022.
- [19] Anvisa: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/medicamentos/genericos> – Acesso em 23/8/2022.
- [20] Pró-genéricos: <https://progenericos.org.br/genericos/mercado> – Acesso em 23/8/22.
- [21] A. Gallagher. Worldwide Generics Market Will Exceed \$507 Billion in 4 Years. *Pharmacy Times*, 88 (2022).

## 8.

# TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

## A importância da transformação digital

Transformação digital (TD) [1] é um conjunto de mudanças que empresas adotam com o objetivo de se tornarem mais modernas e acompanharem os avanços tecnológicos que surgem em ritmo crescente. Ela tem como objetivo usar a tecnologia em benefício da empresa. Os benefícios esperados incluem a solução de problemas tradicionais da empresa com mais eficácia, rapidez e praticidade, automatização de processos, melhoria da interação com os clientes, facilitação da análise de desempenho, entre outros ganhos.

Para que a TD possa ocorrer, é necessário que a empresa crie uma mentalidade digital em todos os seus setores. Um produto ou serviço oferecido pode ser o mais analógico possível, mas os processos utilizados na sua produção ou comercialização obedecem à lógica do mundo digital, que envolve mudanças rápidas, respostas instantâneas, flexibilidade e agilidade.

Para ser inovadora, uma empresa tem necessariamente que promover a TD em suas atividades, e as mudanças necessárias incluem o entendimento das preferências dos clientes e consumidores, aprendizagem a partir de erros cometidos para melhor qualificar serviços e produtos, entregas mais ágeis para atender à mudanças rápidas de contexto, e ter resiliência e capacidade de flexibilizar processos.

A implementação da TD não é apenas o uso de novas tecnologias, mas também um processo amplo que inclui uma mudança cultural. Essa mudança, que envolve o lado humano, leva tempo e precisa de uma adaptação de gestores e colaboradores. A TD, no contexto corporativo em geral, precisa ser administrada de cima para baixo e depende do estabelecimento de diretrizes claras por parte das lideranças para chegar aos demais níveis da corporação. O sucesso da mudança está no planejamento e na organização dessa transição.

As novas tecnologias tornam as mudanças culturais mais fáceis de ocorrer na indústria. A utilização da tecnologia ajuda muito na adoção da mentalidade digital com o objetivo de tornar a empresa mais eficiente e, ao mesmo tempo,

satisfazer seu público-alvo. Para isso, é necessário fazer uma transformação estrutural em paralelo com a mudança cultural, e usar a tecnologia para melhorar o desempenho da empresa.

## Impacto das novas tecnologias na transformação digital

A espécie humana sempre promoveu avanços tecnológicos impactantes, e a inteligência artificial (IA) [2] é mais um exemplo de grande impacto da TD. Outro exemplo é a internet das coisas (*IoT-Internet of Things*) [3], uma mudança tecnológica que permite conectar os mais diversos aparelhos e objetos usados no dia a dia à rede mundial de computadores (internet).

O uso de novas tecnologias como IA, por si só, já deverá ser um mecanismo cada vez mais importante para a promoção de uma indústria inovadora no país. Suas inúmeras possibilidades têm sido testadas e desenvolvidas ininterruptamente, em busca de novas tecnologias para soluções inovadoras para a sociedade.

## Inteligência artificial e o aprendizado de máquina

Entre as novas tecnologias, o aprendizado de máquina, uma subárea da IA, está dentro do que é chamado tecnologia de propósito geral: aquela que promove o crescimento econômico de forma pervasiva (passa a fazer parte do nosso cotidiano), é capaz de ser melhorada ao longo do tempo e gera inovações complementares. Dois exemplos de tecnologia de propósito geral são a eletricidade e os motores de combustão interna, sem os quais seria muito difícil imaginar a vida humana na atualidade.

O aprendizado de máquina é a tecnologia de propósito geral do momento, pelas seguintes razões: i) ela está no nosso dia a dia, pois tem as capacidades de classificar, rotular e prever coisas centrais para ocupações e indústrias; ii) mostra-se capaz de ser melhorada continuamente; iii) gera inovações complementares, como percepção, visão computacional, reconhecimento de emoções pela voz e cognição. A principal vantagem do aprendizado de máquina, do ponto de vista técnico, é oferecer a possibilidade de os computadores aprenderem sem serem explicitamente programados; eles aprendem com os dados.

## A revolução das plataformas tecnológicas

Uma plataforma tecnológica tem como propósito possibilitar interações de criação de valor com produtores externos e consumidores [4]. A ascensão de uma plataforma como modelo de negócio é o maior desenvolvimento econômico e social de nosso tempo e constitui a base de sucesso de muitas empresas disruptivas e de crescimento muito rápido, como Google, Amazon, Microsoft, Uber, Airbnb e Ebay. Além da plataforma, todas essas empresas mencionadas usam o aprendizado de máquina de forma ampla em seus modelos de negócio.

Uma plataforma de aprendizado de máquina centrado em aspectos humanos inclui meios que possibilitam a um especialista contribuir para aperfeiçoar a elaboração e o desempenho de modelos criados por algoritmos de aprendizado de máquina. Essa contribuição pode ocorrer principalmente quando o *know how* do especialista é usado para melhorar a qualidade dos dados empregados, em uma atividade que chamamos 'humano no circuito'. Nesse caso, o modelo de aprendizado de máquina atua como um aprendiz capaz de ajudar o especialista, enquanto também aprende observando as decisões do ser humano, adotando-as como exemplos de treinamento adicionais.

O diagnóstico de câncer a partir de imagens, que utilizam biópsias subsequentes como padrão-ouro para treinamento, produz modelos que conseguem diagnósticos superiores aos dos médicos especialistas, e isso é válido para qualquer outra área ou especialidade.

## Engenharia de *software* tradicional *versus* aprendizado de máquina

Desde a década de 1940, quando surgiram os primeiros computadores, os engenheiros de *software* programam com a lógica matemática. Diante de um conjunto de dados, eles escrevem um programa com um passo a passo do que a máquina tem que realizar. Nesse modelo clássico de programação, o resultado é previsível e conhecido.

Com o aprendizado de máquina, o método mudou. Saímos de uma ciência matemática para uma ciência natural, fazemos observações sobre um mundo

incerto, realizamos experimentos a partir de dados coletados e usamos estatística e probabilidade para fazer classificação, otimização e previsão.

Na verdade, ocorreu uma grande mudança filosófica. Diante de um conjunto de dados e uma função-objetivo que diz onde precisamos chegar, o resultado da computação por meio de algoritmos de aprendizado de máquina é o programa, que é um modelo matemático treinado a partir de dados conhecidos. Diante de dados novos, nunca vistos antes, o modelo (programa) gerado pela IA é capaz de reconhecer faces, dizer se uma imagem de um paciente indica presença ou não de células cancerosas, reconhecer emoções por trás de uma fala em tempo real, entre outras possibilidades.

## Vieses e impactos éticos no uso da inteligência artificial

Não podemos falar de IA sem considerar a vasta e importante discussão sobre vieses e impactos éticos que seu uso pode causar. Temos que ser muito cuidadosos com esses aspectos. Resumidamente, quando utilizamos a IA em soluções tecnológicas em geral, é importante que sejam observados procedimentos como conformidade, explicabilidade (*explainability*) e responsabilização (*accountability*).

Vale ressaltar que é sempre importante verificar se a IA está trabalhando como esperado. É essencial garantir que o modelo gerado a partir dos dados esteja correto, e isso é possível por meio de técnicas de explicabilidade.

Além disso, é importante que os indivíduos afetados por decisões algorítmicas tenham o direito da explicação. Isso já ocorre na Europa há alguns anos, onde o Regulamento Geral em Proteção de Dados dá direito à explicação, ou seja, quem foi afetado tem o direito de saber o que levou a máquina a determinada decisão. No Brasil, a questão também está em pauta com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais.

A explicação de modelos possibilita que o especialista seja capaz de julgar não apenas as predições do modelo, mas também, sobretudo, as causas de tais predições; mais precisamente, de que maneira as informações foram combinadas de forma a se chegar à predição. Entender a relevância de cada uma das características (ou variáveis) utilizadas no modelo para o resultado final é tarefa complexa e muitas vezes intratável, a depender da quantidade de características envolvidas

na modelagem. Entretanto, o entendimento das características mais importantes para a tomada de decisão dos modelos é crucial para sua aplicação em diversos segmentos, como bioquímica, educação, indústria, saúde, entre outros.

Hoje é possível desenvolver soluções inovadoras com foco em aspectos relacionados à automação da modelagem e às técnicas de explicabilidade, para serem aplicadas aos modelos preditivos de aprendizado de máquina com o objetivo de empoderar o especialista nas suas mais diversas atuações profissionais. Além disso, as explicações podem ser usadas para indicar novas ações ou soluções para os principais problemas que os especialistas (advogados, artistas, médicos, linguistas etc.) encontram nas suas atividades de trabalho.

No caso da responsabilização, há que se considerar a possibilidade, por exemplo, de a IA fazer uma previsão errada. Outra questão a ser observada é se existirão recursos de segurança para que a IA não se volte contra os humanos. A IA pode ter tanto viés quanto os humanos, e, se não corrigida, a máquina pode potencializar ainda mais o lado enviesado.

## A maldição da dimensionalidade nos problemas complexos

A maldição da dimensionalidade [5] diz que a quantidade de dados necessários para alcançar o conhecimento desejado impacta exponencialmente o número de variáveis necessárias. Nós, humanos, lidamos bem com duas ou três variáveis, mas não com o grande número de variáveis envolvidas nos problemas da vida real.

Entretanto, o aprendizado de máquina lida igualmente bem com duas, três, centenas, milhares ou milhões de variáveis. A consequência é grande redução do custo da predição. Mas o custo do julgamento continua muito alto, porque o especialista humano é necessário para entender as consequências de cada variável envolvida na predição. Ele pode então usar seu conhecimento (julgamento) para decidir quais são as ações mais adequadas em cada caso.

O aprendizado de máquina resolve problemas que não temos a menor ideia de como resolver, usando a engenharia de *software* tradicional adotada desde os anos 1940. A limitação da engenharia de *software* tradicional pode



ser entendida a partir do paradoxo de Polanyi [6]. Como o filósofo Michael Polanyi observou, “sabemos mais do que podemos dizer” (“*we can know more than we can tell*”). Assim, antes do aprendizado de máquina, o paradoxo de Polanyi limitava o conjunto de tarefas que podiam ser automatizadas por meio da programação de computadores, mas o aprendizado de máquina obtém a solução a partir dos dados.

## Desafios no caso brasileiro: pessoas e tecnocolonialismo de dados

O desafio relacionado a pessoas é o mais importante, pelo que se verá. O coeficiente de inteligência (QI) das pessoas segue uma distribuição normal: poucas pessoas com QI muito baixo, poucas pessoas com QI muito alto e a maior parte das pessoas com QI dentro de uma faixa de normalidade. Isso ocorre porque o QI é absoluto, ou seja, o QI de uma pessoa não depende do QI das outras pessoas.

O talento, por outro lado, é relativo. Uma pessoa é reconhecida como talentosa se ela tem mais talento que outras pessoas. Assim, a mensuração do talento vem da comparação com outras pessoas. Isso faz com que a distribuição de talento siga uma lei de potência. Ou seja, o talento é muito raro.

O problema em se ter um time com poucos talentos é preocupante por causa da lei de Price [8], que dita: “50% do valor gerado são obtidos pela raiz quadrada do número total de pessoas que participam da empresa”. Segundo essa lei, se a empresa tiver dez funcionários, três deles serão responsáveis por 50% do valor gerado; se a empresa tiver 100 funcionários, dez deles serão responsáveis por 50% do valor gerado; se a empresa tiver 1 mil funcionários, 30 deles serão responsáveis por 50% do valor gerado, e assim por diante. Se uma empresa tem um milhão de funcionários, mil deles – ou seja, um milésimo deles – são responsáveis por 50% dos ganhos. Nesse exemplo extremo, 99,9% dos funcionários da empresa são incompetentes. Em uma hipotética empresa com infinitos funcionários, a fração de funcionários competentes é nula!

Dada a raridade do talento, um dos principais desafios para os diretores de empresas baseadas em tecnologia é a dificuldade de encontrar recursos

humanos qualificados. Atualmente, a oferta de cientistas de dados é imensa, mas a maior parte dessa oferta é incompetente. Isso faz com que a quantidade de funcionários seja relativamente grande, ou seja, há uma relação de poucos talentos para muitos incompetentes na maioria das empresas.

Em vez de buscar por talentos, uma alternativa é formá-los – daí a importância da aproximação com a academia. A pessoa é introduzida precocemente a assuntos relacionados ao interesse da empresa e adquire senso crítico nesses assuntos. A empresa, em seguida, assimila o talento, e o resultado é a formação de times menores e mais qualificados, que crescem organicamente.

Esse crescimento orgânico viola a lei de Price. E ele é necessário para manter o time sempre atualizado com os avanços da tecnologia, bem como para elevar a quantidade relativa de talentos qualificados na empresa. É bem possível que, na competição entre empresas inovadoras, o crescimento orgânico, que viola a lei de Price e cria maior percentual de pessoas de talento nas empresas que o adotam, passe a funcionar como poderoso processo seletivo capaz de determinar quais empresas serão vencedoras. Talvez, esse processo seletivo já esteja operando.

O Brasil tem assistido à fuga de cientistas de dados e engenheiros de aprendizado de máquina. A concorrência está assimétrica com relação a países com moeda mais forte que o real. A identificação, medição e retenção de talentos é difícil, mas primordial. O conhecimento só é real quando se perpetua e evolui. Os talentos correspondem ao valor intangível proveniente do conhecimento.

O segundo desafio está relacionado ao tecnocolonialismo de dados [8]. Ele tem a ver com a tendência crescente de disponibilizar, ‘sem custos’, modelos sofisticados e prontos para uso – ou que necessitam de poucas modificações – por grandes corporações que oferecem computação em nuvem e plataformas com modelos pré-treinados. Sistemas dos EUA estão ditando as regras: Google nos retorna resultados de acordo com as regras de sua IA; Facebook provê histórias de acordo com as regras de sua IA; e as recomendações da Amazon funcionam segundo as regras de sua IA. Isso leva a uma centralização do conhecimento nas grandes corporações, e, por isso, temos que ter cuidado com os nossos dados.

Por outro lado, a China consegue criar sistemas alternativos, já que consegue produzir muitos dados: Baidu, Tencent e Alibaba são exemplos equivalentes ao

Google, Facebook e Amazon, respectivamente. Um contraexemplo importante no cenário de tecnocolonialismo de dados é Israel, um país pequeno, em população e área territorial, que consegue produzir sistemas de impacto mundial como o sistema Waze. A sua indústria é inovadora, porque existe uma consciência coletiva de suas limitações, e seus talentos sabem que o caminho para o sucesso é a produção de tecnologia inovadora com adoção mundial, que acaba produzindo dados suficientes para seu bom funcionamento.

As empresas que mais crescem no mundo seguem um modelo chamado *blitzscaling* [9]. Segundo Reid Hoffman, fundador do LinkedIn, *blitzscaling* é a ciência e arte de construir, em alta velocidade, empresas que servem a um mercado global. São empresas que criam massivamente novos empregos e indústrias do futuro.

O conceito de *blitzscaling* tem explicado o crescimento exponencial de empresas como Amazon, LinkedIn e Waze. Esses tipos de empresas sempre criam muitos empregos e indústrias do futuro. Por exemplo, a Amazon inventou, essencialmente, o comércio eletrônico. Hoje, emprega no mundo mais de 1,5 milhão de pessoas [10], além de criar inúmeros empregos entre vendedores e parceiros da empresa.

O Google revolucionou a forma como encontramos informações – ele tem mais de 140 mil funcionários [11] e criou muito mais empregos entre seus parceiros. Até poucos anos atrás, para chamar um táxi, você precisaria acenar no meio da rua. Hoje, a realidade é completamente diferente: o passageiro chama o carro pelo aplicativo, o caminho é feito pelo Waze, e os serviços se diversificaram do Uber ao 99.

O Brasil é grande o suficiente para obter soluções locais, mas não produz uma quantidade de dados que seja suficiente para criar plataformas que possam competir no exterior. Quem gera o dado são as pessoas, e a escala de dados necessária para produzir sistemas relevantes é um fator-chave para a centralização e o duopólio do impacto da IA.

Uma guerra está acontecendo agora, a qual leva ao colonialismo do dado. Para gerar valor a partir da eletricidade, precisamos de recursos para construir um sistema de distribuição (*grid*), mas, no caso da IA, precisamos dos dados e do acesso a computadores de grande porte. Se o sistema é relevante, ele atrai muitos usuários, e muitos usuários produzem muitos dados.

Andrew Ng, professor de renome da Universidade de Stanford na área de IA, defende uma abordagem para o que realmente entrega valor: dados de qualidade [12]. Experimentos realizados por Andrew Ng mostram que o *bug* está nos dados em cerca de 80% das vezes e em apenas 20%, no modelo. Como o especialista conhece bem o problema a ser resolvido, seu papel de verificar a qualidade dos dados, melhorando o rótulo quando há erro, tem consequência imediata na qualidade do modelo treinado. Assim, uma plataforma centrada em aspectos humanos é fundamental para melhorar a avaliação e a depuração de resultados.

## Infraestrutura computacional necessária para criação de modelos de IA

Para construir um sistema de IA relevante são necessários muitos dados, o que exige acesso a computadores de grande porte para criação de modelos de IA a partir de grandes bases de dados. O maior supercomputador no país é o Dragão [13], adquirido por R\$ 100 milhões. O Dragão, mais outros dois computadores, Atlas e Fênix, usados exclusivamente pela Petrobras para exploração de petróleo no pré-sal, somam cerca de 40 petaflops de capacidade (1 petaflop equivale a 1 milhão de bilhões de operações de ponto-flutuante por segundo).

O quarto supercomputador mais rápido, acessível pelos grupos de pesquisa no país, é o Santos Dumont, do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) [14], com 5,1 petaflops de capacidade.

A infraestrutura computacional existente no país é insuficiente para o pleno desenvolvimento da TD. Nos países centrais, já existem computadores na escala de bilhões de bilhões de operações por segundo. O cluster de *Cloud* TPU da Google [15], considerado o maior *hub* de IA do mundo em termos de poder de computação, tem poder computacional de 9 exaflops (1 exaflop equivale a 1 mil petaflops, 1 bilhão de bilhões de operações de ponto-flutuante por segundo).

## A China e sua relação com dados e IA

O Conselho de Estado da China lançou em julho de 2017 o *New Generation Artificial Intelligence Plan* (AIDP) [16], primeiro esforço legislativo em nível nacional

para fazer do país um “centro de inovação para a IA” com liderança mundial e construir uma indústria nacional no valor de US\$ 150 bilhões até 2030. O plano é um reconhecimento do papel estratégico do tratamento dos dados e da IA no desenvolvimento econômico e é parte de uma iniciativa nacional de investimento multibilionário para apoiar projetos fortemente inovadores, *startups* e pesquisas acadêmicas em IA.

A coordenação do plano é compartilhada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia e o Escritório de Promoção do Plano de IA, assessorados pelo Comitê Consultivo de Estratégia de IA, fundado em novembro de 2017. A ideia é que o AIDP seja um incentivador ativo de projetos locais e não seja centralizador.

O AIDP elegeu algumas empresas privadas com a função de desenvolver setores específicos: Baidu, Tencent e Alibaba. Os termos do acordo estabelecem que a empresa privada adotará os objetivos estratégicos do governo em troca de contratos preferenciais, acesso facilitado a financiamento e proteção de participação no mercado.

A Baidu [17], uma das maiores em IA e serviços relacionados a internet, tem mais de 45 mil empregados (maio 2022) e valor de mercado de mais de US\$ 106 bilhões (2021). A Tencent [18], conglomerado em entretenimento, tem mais de 85 mil empregados (abril 2022) e com um valor de mercado de mais de US\$ 560 bilhões. A Alibaba [19], conglomerado em *e-commerce*, varejo, internet e tecnologia, tem mais de 259 mil empregados (maio 2022) e valor de mercado de mais de US\$ 240 bilhões (2022).

## Uma proposta para o país

O Projeto de Lei (PL 21/2020) [20], aprovado na Câmara dos Deputados e agora em análise no Senado, estabelece fundamentos, princípios e diretrizes para o desenvolvimento e a aplicação da IA no Brasil. O PL foi proposto em fevereiro de 2020 e enviado para a Comissão de Ciência e Tecnologia, Comunicação e Informática da Câmara, onde ficou parado até março de 2021. A seguir, foi examinado durante cinco sessões da Comissão, nenhuma emenda foi apresentada, passou para o plenário e foi aprovado em regime de urgência em 29 de setembro de 2021.

A proposta é, sem dúvida, importante, mas não escapa de críticas [21]. Entre elas, o seu conteúdo é bastante vago e não propõe formas de alcançar os objetivos delineados. Também não houve ampla participação de setores diversos da sociedade, devido à aprovação apressada do PL pela Câmara em regime de urgência. Houve exclusão de especialistas da área no país, e o texto criado é pouco consistente.

Considerando que o PL está em análise pelo Senado, é importante que haja uma discussão ampla na sociedade; principalmente, com envolvimento de pesquisadores e especialistas da área de IA, bem como de órgãos de coordenação e transferência de inovação tecnológica dos institutos de ciência e tecnologia e das universidades do país.

Vamos enumerar algumas iniciativas que poderiam ser adotadas para criar uma política que trace objetivos para o futuro da IA no país. A primeira delas tem a ver com educação. Especificamente, com o fortalecimento da formação acadêmica dos nossos alunos em IA e com o processamento da linguagem natural (*natural language processing* – NLP) para que eles dominem essas ferramentas.

Entretanto, o conhecimento adquirido tem que ser valorizado pela sua capacidade de gerar riqueza, pela solução de problemas da indústria e de empresas de serviços. Esses aspectos são fundamentais para a formação de cientistas de dados. Ao mesmo tempo, temos que incentivar os estudantes que manifestem vocação para o empreendedorismo.

No âmbito do governo, são necessárias políticas e iniciativas para criar um plano nacional de investimento para apoiar projetos fortemente inovadores, *startups* e pesquisas acadêmicas em IA. É importante apoiar a criação de novos centros de IA, bem como expandir os poucos já existentes.

Para que as *startups* inovadoras em IA prosperem e se fortaleçam no mercado, subsídios estatais são indispensáveis. No caso brasileiro, é necessário criar subsídios para empresas de IA, como ocorreu com o plano chinês AIDP, com resultados excelentes. Além disso, é preciso ampliar muito significativamente nossa infraestrutura computacional para que passemos pela TD.

No âmbito da sociedade, é importante ter consciência de que, no longo prazo, o uso da nuvem é parte do problema e não da solução, pois leva ao tecnocolonialismo de dados. O que nos falta é um reconhecimento da importância da IA para o desenvolvimento econômico do país.

O principal trabalho a ser feito é o de conscientização do papel estratégico do tratamento dos dados e da IA para a sociedade, envolvendo pessoas, empresas, governo, academia; enfim, todos os principais atores da sociedade brasileira. Existe mesmo um analfabetismo generalizado sobre a importância e os impactos da IA na TD.

Um efeito colateral importante das iniciativas listadas é a diminuição da fuga de cérebros para países desenvolvidos, porque passaríamos a ter oportunidade de trabalho aqui no país. As pessoas passariam a produzir riqueza na forma de empreendimentos inovadores na indústria, diretamente ou por meio da criação de *startups*.

## REFERÊNCIAS

- [1] <https://fia.com.br/blog/transformacao-digital/> – Acesso em 24/07/2022.
- [2] Yan LeCun, Nashua Bengio, Geoffrey Hinton. Deep Learning. *Nature*, 521 (7553):436-444 (2015).
- [3] <https://fia.com.br/blog/internet-das-coisas> – Acesso em 24/07/2022.
- [4] Geoffrey Parker, Marshall Alstynne, Sangeet Choudary. *Platform Revolution*. W. W. Norton & Company, (2017).
- [5] R. Bellman. *Adaptive Control Processes*. Princeton University Press, (1961).
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Polanyi%27s\\_paradox](https://en.wikipedia.org/wiki/Polanyi%27s_paradox) – Acesso em 24/07/2022.
- [7] <https://salesmetry.com/blog/2021/01/22/prices-law-competence-is-linear-incompetence-is-exponential/> – Acesso em 24/07/2022.
- [8] <https://jornal.usp.br/universidade/novo-colonialismo-nao-explora- apenas-riquezas-naturais-explora-nossos-dados/> – Acesso em 24/07/2022.
- [9] <https://hbr.org/2016/04/blitzscaling> – Acesso em 24/07/2022.
- [10] <https://www.vivendobauru.com.br/quantos-funcionarios-tem-na-amazon> – Acesso em 24/07/2022.
- [11] <https://www.istoedinheiro.com.br/tag/quantos-funcionarios-o-google-tem-no-mundo/> – Acesso em 24/07/2022.
- [12] <https://www.deeplearning.ai/wp-content/uploads/2021/06/MLOps-From-Model-centric-to-Data-centric-AI.pdf> – Acesso em 24/07/2022.
- [13] <https://itforum.com.br/noticias/dragao-conheca-o-supercomputador-da-petrobras-o-maior-da-america-latina/> – Acesso em 22/08/2022.

- [14] <https://sdumont.lncc.br/machine.php?pg=machine#> – Acesso em 22/08/2022
- [15] <https://cloud.google.com/blog/products/compute/google-unveils-worlds-largest-publicly-available-ml-cluster> – Acesso em 22/08/2022.
- [16] <https://www.epocanegocios.globo.com/colunas/IAgora/noticia/2021/07/china-tem-etica-para-o-uso-de-dados-e-inteligencia-artificial-mas-o-poder-decisorio-irrestrito-e-do-governo.html> – Acesso em 31/07/2022.
- [17] [https://www.webtribunal.net/blog/baidu-statistics/\[x5\]](https://www.webtribunal.net/blog/baidu-statistics/[x5]) <https://www.fia.com.br/blog/marco-legal-da-inteligencia-artificial/> – Acesso em 31/07/2022.
- [18] <https://www.webtribunal.net/blog/tencent-stats/#gref> – Acesso em 31/07/2022.
- [19] <https://www.webtribunal.net/blog/alibaba-facts/> – Acesso em 31/07/2022.
- [20] <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2021/10/02/senado-vai-analisar-projeto-que-regulamenta-uso-da-inteligencia-artificial> – Acesso em 31/07/2022.
- [21] <https://www.direitosnarede.org.br/2021/09/23/inteligencia-artificial-nao-pode-ser-regulada-a-toque-de-caixa> – Acesso em 31/07/2022.





PARTE III

## Como dar o passo adiante

Para avançar no rumo desejado, precisamos de ações transversais, em concerto. As que elegemos e discutimos neste documento são:

- Ações para Redução das Desigualdades;
- Infraestrutura para Pesquisa Científica e Tecnológica;
- Promoção de uma Nova Indústria Inovadora;
- Articulação da Política de Integração de PD&I.

# 9.

## AÇÕES PARA REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

### Nossa grave desigualdade

O Brasil é um país muito desigual. É fato que a desigualdade é um problema histórico [1] e mundial [2], mas estar entre os campeões mundiais nesse tema é fator determinante de subdesenvolvimento. Em geral, quando se fala em desigualdades, tem-se em mente a desigualdade de renda, e, nesse segmento, somos um dos países mais desiguais do mundo.

Há vários indicadores para a desigualdade de renda, e um dos comumente utilizados é o coeficiente de Gini [3], que varia entre 0 (ou 0%) e 1 (ou 100%). Se a receita encontra-se perfeitamente distribuída entre todos, o coeficiente de Gini é igual a 0; se toda a receita está concentrada em apenas uma pessoa, o coeficiente é igual a 1.

Um dos países mais desiguais do mundo é a África do Sul, com coeficiente igual a 0,63. A Noruega, com coeficiente igual a 0,27, tem um dos coeficientes mais baixos. França e Canadá têm coeficientes iguais a 0,33 e 0,34, respectivamente. China e Índia têm coeficientes iguais a 0,39 e 0,36, respectivamente. Argentina tem coeficiente igual a 0,41, e os EUA têm coeficiente igual a 0,42. Apenas 15 países têm coeficientes maiores do que 0,50, e o Brasil é um deles, com coeficiente igual a 0,53. Exceto por Suriname, que tem coeficiente igual a 0,58, nenhum outro país da América Latina tem coeficiente de Gini tão alto quanto o Brasil.

Há outras formas de desigualdades que merecem ser consideradas. O espectro inclui as desigualdades sociais, regionais, de gênero, raciais, étnicas, ambientais, de oportunidades e outras. O Brasil apresenta índices elevados de desigualdades em todo o seu espectro. A figura 1 retrata a pobreza resultante da desigualdade de renda brasileira.

É inaceitável que o Brasil, uma das maiores economias do mundo, seja também um dos países mais desiguais. Junto com EUA, China, Rússia e Índia, somos uma das cinco supernações que combinam vasto território, abundantes

recursos naturais e população grande. Superar nossas desigualdades é essencial para que também possamos nos tornar uma nação desenvolvida, pois a injustiça social impossibilita o desenvolvimento.

Ao reduzir nossas grandes desigualdades, teremos mais condições de avançar neste século com mais dignidade e competitividade. Uma nação que não se aproveita de forma adequada do potencial produtivo e intelectual de seu povo não consegue prosperar. Como exposto no capítulo 3, nossa desigualdade é nossa principal fragilidade.



**Figura 1.** Com coeficiente de Gini igual a 0,53, o Brasil é um dos países mais desiguais do mundo [3].

Foto de <https://vermelho.org.br>

## Superação das desigualdades

As medidas mais efetivas para a redução das desigualdades são: i) boa educação para todos; ii) saúde pública de qualidade; iii) saneamento básico; iv) moradias populares servidas de boa infraestrutura; v) emprego e renda. Surpreende que não haja em nível nacional uma prioridade absoluta a esses cinco setores, e que não existam políticas públicas amplas e focadas em atender definitivamente a população em relação a tais itens.

A superação das desigualdades exige esforço nacional orquestrado, com objetivos claros e bem definidos, combinado a ações sustentadas por orçamentos assegurados e continuados. Igualmente importante é o estabelecimento de prazos que assegurem o cumprimento das metas a serem perseguidas. O abrangente e concentrado esforço nacional para superar nossas desigualdades pelos meios apontados só poderia ser reduzido após termos atingido índices de desigualdade e de desenvolvimento humano aceitáveis.

Educação, saúde, saneamento, habitação e emprego são temas amplos e complexos que exigem discussões específicas e detalhadas. A educação e a saúde foram discutidas em outros capítulos. Saneamento, moradias populares e emprego e renda exigem análises específicas, cuja abordagem foge ao escopo da presente publicação. No que se segue, ações para redução de desigualdade serão trazidas sob o enfoque das tecnologias digitais, das tecnologias sociais e assistivas, bem como da promoção do desenvolvimento regional.

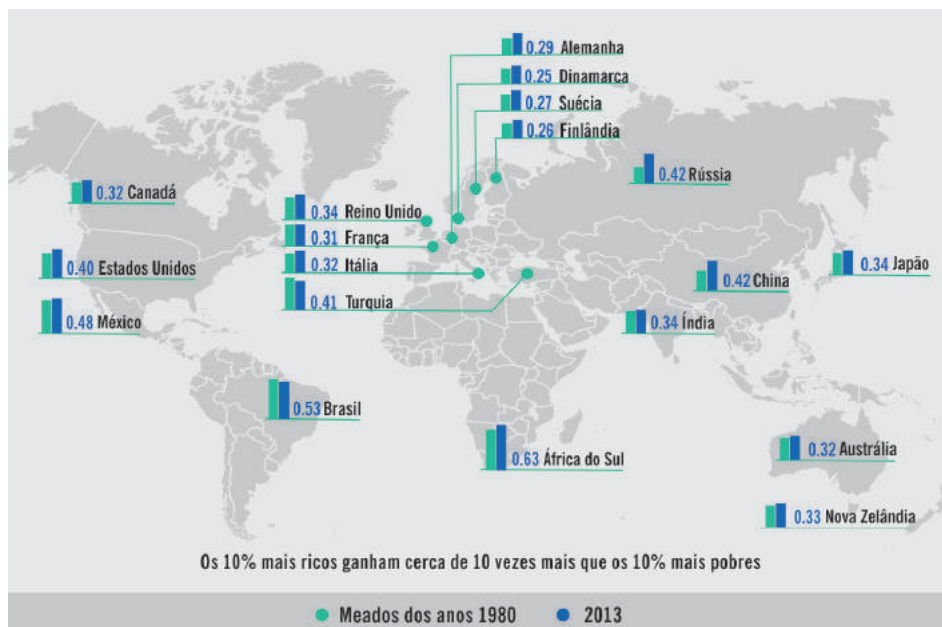
## Desigualdades e novas tecnologias

Investimentos em CT&I podem alterar substancialmente as desigualdades de renda, seja para reduzir, seja para aumentar. A figura 2 mostra o coeficiente de Gini para diferentes países selecionados, em dois momentos: meados dos anos 1980 e 2013 [4]. Como se vê na figura, é surpreendente que, de maneira geral, as desigualdades de renda tenham aumentado com o passar dos anos.

Os dois momentos indicados na figura 2 estão separados por um tempo superior a 20 anos, no qual novas tecnologias foram introduzidas na sociedade. A maioria das novas tecnologias requer novos conjuntos de habilidades dos cidadãos, que nem sempre estão preparados para isso.

Novas oportunidades de trabalho associadas a novas tecnologias, ou mesmo novas demandas tecnológicas por parte da população já empregada, muitas vezes, desqualificam parte dos trabalhadores, contribuindo para o desemprego. A necessidade de formação de novas habilidades cria pressões sociais que nem sempre são atendidas, o que piora a distribuição de renda e explica o aumento do coeficiente de Gini.

Além disso, as inovações tendem a aumentar as desigualdades, pois os benefícios dela advindos vão, sobretudo, para os inovadores e, possivelmente, para seus clientes, que não representam a maioria da população. Explica-se, assim, a tendência observada na figura 2, a da geração de mais desigualdade pelo surgimento das novas tecnologias. Solucionar esse fenômeno está longe de ser simples. Piketty argumenta que ações governamentais distribuidoras de renda são necessárias para socorrer os perdedores nos processos de inovação [2].



**Figura 2.** Coeficiente de Gini para alguns países selecionados, em dois momentos: meados dos anos 1980 e em 2013

Fonte: OECD

Na figura 2, é possível ver que o Brasil é uma notável exceção, pois, com o passar dos anos, as desigualdades de renda diminuiram. A razão para tal pode ter sido uma forte atuação do Estado para que novas tecnologias promovessem a inclusão social e o crescimento econômico de maneira mais ampliada.

Por exemplo, as tecnologias digitais podem ter ampliado o acesso à educação, aos serviços financeiros e a outros serviços baseados no conhecimento, como a telemedicina, que passou a oferecer serviços de saúde – desde diagnóstico a tratamento e acompanhamento de pacientes – de uma maneira ampla e muito inclusiva.



Por outro lado, o período analisado na figura 2 coincide com o fim da hiperinflação – que prejudicava, principalmente, os mais pobres – e com o início dos programas de distribuição de renda como o Bolsa Família. Entre 2002 e 2013, houve também considerável aumento real do salário-mínimo e redução do desemprego. Esses três fatores podem ter sido decisivos na redução da desigualdade, o que fez do Brasil a exceção observada na figura. Mas é ainda preciso fazer muito mais.

O aumento das desigualdades a partir da introdução de novas tecnologias tem sido explorado na literatura. De acordo com Brynjolfsson e McAfee [5], nunca houve um momento melhor para ser um trabalhador com habilidades especiais ou com a educação certa, porque essas pessoas podem usar a tecnologia para criar ou capturar valor. Por outro lado, prosseguem esses autores, nunca houve um momento pior para ser um trabalhador com apenas habilidades comuns, porque computadores, robôs e outras tecnologias digitais estão adquirindo essas habilidades em um ritmo extraordinário. Modelos matemáticos formais mostram uma inequívoca correlação entre inovação e desigualdade de renda [6].

Novas tecnologias, sobretudo as digitais, podem ser um importante instrumento para redução das desigualdades de renda, desde que o Estado tenha uma atuação forte na sociedade. Esse cenário representa uma grande janela de oportunidades para o país e deve ser utilizado a partir de políticas públicas orientadas a mitigar as desigualdades.

CT&I são grandes geradores de prosperidade, e cabe ao Estado usar a tributação para tirar parte dos ganhos dos vencedores para ajudar os perdedores. Essa redistribuição de renda por ação e intermediação do Estado é entendida como necessária por todos os economistas de visão progressista. A razão para isso não é apenas humanitária, pois se entende que ela contribui também para maior prosperidade.

## Tecnologias sociais e assistivas

Tecnologias voltadas para o armazenamento e reciclagem de água, rejeitos urbanos, agricultura familiar, habitações populares, materiais reciclados, entre outras, têm forte impacto na redução das desigualdades sociais e de renda.

Atuando pelo lado das demandas sociais, políticas públicas de estímulos à CT&I podem ter grande impacto na construção de soluções tecnológicas a serviço da população de baixa renda.

Tradicionalmente nossas políticas públicas de estímulo e fomento à CT&I atuam pelo lado da oferta, como as bolsas, os editais de infraestrutura e universais, os INCTs, os créditos subsidiados etc. Certamente, tais programas são de extrema importância e, além de serem mantidos, devem ser fortalecidos.

Mas, para combater nossas fragilidades, sobretudo as associadas às desigualdades, é necessário eleger prioridades e ter foco em programas específicos que façam uso de inúmeros estímulos à CT&I, atuando pelo lado das demandas atualmente existentes e previstas pela legislação. Entre esses instrumentos, citam-se as encomendas tecnológicas, as compras públicas (sobretudo, os contratos públicos de solução inovadora – CPSI), os concursos para inovação, as parcerias governamentais, os diálogos competitivos etc. [7], [8].

Entre as tecnologias com grandes impactos sociais, incluem-se as assistivas, que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com algum tipo de deficiência, promovendo sua autonomia e inclusão social. Estima-se que pelo menos 45 milhões de brasileiros possuam algum tipo de deficiência (visual, auditiva, motora ou mental/intelectual) [9].

Tecnologias que criam soluções para a inclusão das pessoas na vida diária, ou mesmo tecnologias que promovem a acessibilidade por meio de dispositivos, técnicas e processos que podem prover assistência e reabilitação, bem como melhorar a qualidade de vida de pessoas com deficiência, oferecem também grandes oportunidades para a inovação tecnológica e o empreendedorismo.

Entre as diversas tecnologias assistivas, destacam-se órteses, próteses e projetos arquitetônicos para acessibilidade. Nessa área, como em diversas outras, o Brasil é dependente de importações, e a falta de produção de bens de capital e intermediários fragiliza nossa soberania, até para cuidar dos nossos.

Outros exemplos de ação em que a CT&I é decisiva são o saneamento básico e a despoluição de nossos recursos hídricos. Além de colocar em risco nossa estrutura hídrica, a poluição corrói a qualidade de nossos centros urbanos, que solucionam o problema, na maioria das vezes, canalizando a água natural e contribuindo para o círculo vicioso de degradação das nossas cidades.



Soluções tecnológicas muito avançadas vêm sendo desenvolvidas, incluindo o uso de nanomembranas para o tratamento da poluição por agentes moleculares, como hormônios despejados na água. A disseminação das soluções, entretanto, depende intimamente da educação das comunidades, pois, sem o engajamento das pessoas em melhores práticas, as soluções tecnológicas são pouco efetivas.

## Promoção do desenvolvimento regional

As nossas grandes disparidades regionais levam a desigualdades geográficas de oportunidades e contribuem para aumentar as desigualdades sociais e de renda. Os contrastes e as assimetrias regionais podem ser reduzidos a partir da identificação de vocações e oportunidades locais.

Estímulos a projetos tecnológicos focados nas vocações regionais e que gerem atividade econômica a partir de negócios específicos associados às realidades locais podem ser muito efetivos e benéficos para o desenvolvimento de cada região.

Aproveitamento de recursos naturais locais, agricultura e pecuária de precisão, bem como projetos com ênfase na bioeconomia e biodiversidade locais, são exemplos de setores a serem explorados regionalmente [10].

As atividades econômicas focadas no desenvolvimento de oportunidades regionais geram demandas específicas por qualificação de pessoas que, quando atendidas, estimulam a melhoria da educação da população em geral em todos os níveis de escolaridade.

Oportunidades de trabalho e renda com foco no desenvolvimento regional tendem a atrair e fixar talentos, e gerar riqueza e desenvolvimento por meio de um círculo virtuoso para a região e seus habitantes.

O empoderamento de regiões a partir das oportunidades locais estimula a autoestima e o senso de pertencimento associado às raízes territoriais. Adicionalmente, a criação de empresas emergentes de base tecnológica e a inovação de interesse regional, voltadas às demandas e aos problemas específicos de uma região, levam à superação das fragilidades e à promoção do bem-estar da população local.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

### O papel do Estado

CT&I comprovadamente geram prosperidade, e a prosperidade gera riqueza. Na prosperidade, todos ganham, mas os menos hábeis, os que não receberam boa educação e os que têm alguma deficiência física, ganham menos. Por outro lado, a prosperidade aumenta a receita do Estado, e isso lhe dá mais capacidade de prover benefícios aos menos favorecidos.

Uma das principais funções do Estado em uma sociedade realmente justa e civilizada é assegurar bem-estar e vida digna a todos os cidadãos. E, nesse contexto, a ação forte do Estado é indispensável e insubstituível para a redução de desigualdades.

## REFERÊNCIAS

- [1] W. Scheidel. *Violência e a história da desigualdade – Da Idade da Pedra ao século XXI*. Princeton Univ. Press (2017).
- [2] T. Piketty. *O capital no século XXI*, Editora Intrínseca LTDA (2014).
- [3] A. Hayes. *Gini Index*, Investopedia, January 25 (2022), <https://www.investopedia.com/terms/g/gini-index.asp#:~:text=The%20Gini%20index%20is%20a,total%20income%20of%20the%20population>
- [4] *Science, Technology and Innovation Outlook*. OECD, December 08 (2016).
- [5] E. Brynjolfsson and A. McAfee. *The second machine Age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*, W. W. Norton & Company (2016).
- [6] P. Aghion et alii, Innovation and top income inequality. *Review of economic studies*, vol. 86, pp. 1-45 (2019).
- [7] B. M. Portella, C. M. M. Barbosa, L. G. Muraro e R. Dubeux. Marco Legal de CT&I no Brasil (2021).
- [8] Marco Legal das *startups* e do empreendedorismo inovador, Lei Complementar 182 de 01/06/2021.
- [9] <https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/index.html?loc=0&cat=-1-2-3,128&ind=4641>
- [10] *Engenharia para o futuro*, Academia Nacional de Engenharia, março de 2022.



# 10.

## INFRAESTRUTURA PARA PESQUISA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

### A infraestrutura para CT&I no Brasil

O desenvolvimento científico, tecnológico e a inovação dependem de empresas inovadoras, de recursos humanos e de infraestrutura de pesquisa e desenvolvimento. Infraestrutura de pesquisa envolve instrumentos e *facilities* em várias escalas, do laboratório de um professor universitário ou de uma *startup*, a equipamentos compartilhados por redes de pesquisa, grandes máquinas abertas ao uso de pesquisadores externos – da academia ou da indústria – e instituições de pesquisa, com todos os seus aparatos.

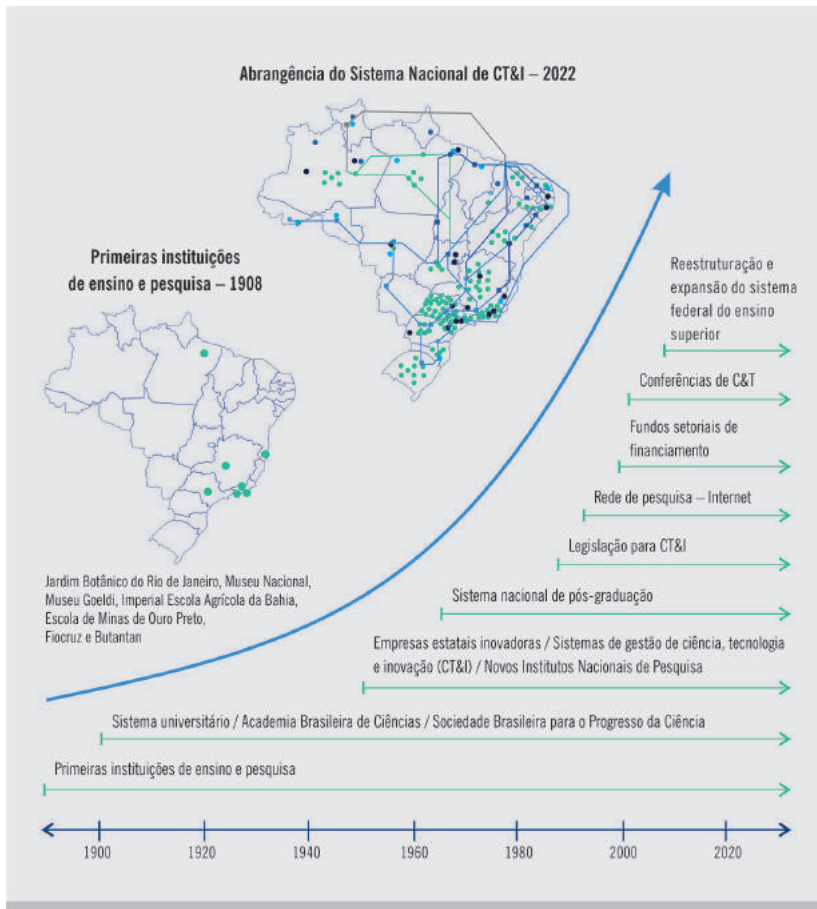
Nos últimos 100 anos, os avanços no nosso Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI) foram significativos, como se vê na figura 1 [1]. A formação de recursos humanos foi estruturada em um sistema universitário que inclui um vigoroso sistema nacional de pós-graduação. Academias científicas, laboratórios nacionais, instituições gestoras e de fomento, bem como a estrutura legal para o desenvolvimento de CT&I, foram criados e implementados.

A figura 1 mostra a posição relativa das ações políticas ao longo do eixo temporal. Observamos que são muito recentes os marcos legais, que tiveram início na Constituição de 1988, que deu início aos mecanismos que trazem segurança jurídica ao desenvolvimento da CT&I, incluindo a Lei da Propriedade Intelectual (1998), a Lei da Inovação (2004) e o Marco Legal de CT&I (2016).

Em um estudo publicado em 2016 [2], resultado de convênio celebrado entre a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), a Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (Fundep) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), a infraestrutura de pesquisa foi mapeada e sumarizada em tabela reproduzida abaixo, que lista o número de infraestruturas que participaram do levantamento de dados, explicitados por tipo.

Entre as 2.119 infraestruturas cadastradas, foram excluídas as 291 classificadas em categorias que não condiziam adequadamente ao conceito de infraestrutura

de pesquisa, mas, sim, de apoio, restando 1.828 infraestruturas de interesse. Esse número ilustra a pujança da infraestrutura brasileira para pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Com essa infraestrutura de pesquisa significativa, o país alcançou dimensão relevante e qualidade internacional em pesquisa.



**Figura 1.** Ecosistema da ciência brasileira.

Fonte: Academia Brasileira de Ciências

## Financiamento da infraestrutura de pesquisa

Em todo o mundo desenvolvido, o papel do governo federal é decisivo na estruturação de um ecossistema nacional de CT&I e, a partir dele, toda uma

infraestrutura de apoio à CT&I do país é construída, pois é do sistema federal que vem o principal aporte financeiro para a infraestrutura dessa área. No Brasil, a principal fonte de recursos para infraestrutura é o MCTI, que atua por meio de suas agências CNPq e Finep, além de ações como os Fundos Setoriais.

Tipos de infraestrutura	Número de questionários
Estação ou rede de monitoramento	8
Estufa, câmara de crescimento ou viveiro	1
Laboratório	1.785
Navio de pesquisa ou laboratório flutuante	1
Observatório	13
Planta ou usina-piloto	20
<b>Total das infraestruturas de interesse</b>	<b>1.828</b>
Base de dados	3
Biblioteca ou acervo	6
Biotério	5
Centro de computação científica, datacenter ou infraestrutura de TI	56
Coleção de recursos biológicos	6
Coleção de recursos minerais	4
Estação ou fazenda experimental	7
Laboratório de informática para uso didático	58
Outro	136
<b>Total</b>	<b>2.119</b>

**Tabela 1.** Número e tipo de infraestruturas de pesquisa

Fonte: IPEA, Finep, Fundep, CNPq (2016)

De grande importância para o SNCTI são os recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), que têm sofrido forte contingenciamento nos últimos anos, desrespeitando o planejamento realizado, com cortes consecutivos de recursos constitucionalmente previstos.

Outros investimentos são realizados em CT&I por empresas estatais, com destaque para a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (Cepel), a Petrobras, por meio do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (Cenpes) e suas redes de pesquisa, a Vale e empresas privadas que criaram ou ampliaram instalações de P&D.

Compõem a infraestrutura laboratorial do país as 16 unidades de pesquisa do MCTI (<https://www.gov.br/mcti/pt-br/aceso-a-informacao/unidades-de-pesquisa>), além das empresas estatais já citadas e de 1.920 infraestruturas vinculadas a aproximadamente 180 laboratórios de Instituições de Ensino Superior Federais e Estaduais (e pouquíssimas IES privadas, como a PUC-Rio), segundo dados de 2016 [2]. Hoje, o MCTI tem 27 instituições vinculadas, das quais quatro são agências de fomento (CNPq, Finep, Embrapii e AEB), duas são órgãos de suporte ao ministério (CGEE e RNP), 21 unidades de pesquisa (18 institutos próprios e três organizações sociais as quais atuam diretamente em pesquisa (IMPA, CNPEM e Mamirauá).

Quando se examina o dispêndio nacional em CT&I, nota-se maior investimento do setor público que do setor empresarial, e um pequeno aumento, entre 2008 e 2012, do dispêndio em relação ao PIB. Destaca-se a área das engenharias, muito influenciada pelo aporte da Petrobras e, em boa parte, por instituições principalmente voltadas para a prestação de serviços. As ciências biológicas também são destaque, com grande parte dos recursos oriundos do CNPq e de instituições como a Fiocruz. As ciências exatas e da terra aparecem como a terceira área em que mais recursos de infraestrutura são aportados.

Nas últimas décadas, entretanto, a comunidade científica brasileira cresceu bem mais do que a infraestrutura disponível, que já é claramente insatisfatória para atender o potencial de criação dessa comunidade. Para agravar a situação, há uma década, o fomento dessa infraestrutura vem declinando com cortes e contingenciamentos.

Essa situação de crise tem de ser saneada. E não nos basta voltar ao que éramos; temos de mirar um patamar bem mais elevado, que permita um grande salto de qualidade na nossa ciência e sua maior contribuição para a prosperidade e bem-estar de nossa população.

Há ainda necessidade urgente de aumento substancial do apoio à infraestrutura de pesquisa nas escalas pequena e média. O governo brasileiro investiu 0,7% do PIB em pesquisa em 2010, e hoje nossa comunidade de pesquisa é, pelo menos, o dobro da que tínhamos naquele ano.

Precisamos, também, criar maior sinergia entre o desenvolvimento científico e tecnológico e as inovações nas empresas, para que o setor privado reconheça a importância de financiar o desenvolvimento do conhecimento, como é feito nos países desenvolvidos.

## Grandes infraestruturas de pesquisa

Para financiar e gerenciar infraestruturas de pesquisa e desenvolvimento, é necessário separá-las por volume de financiamento. As de pequeno porte (Pp) requerem recursos de até R\$ 5 milhões, tipicamente oriundos de fontes como o CNPq ou FAPs, em projetos individuais ou em rede. As de médio porte (Mp) requerem recursos entre R\$ 5 milhões e R\$ 15 milhões. E as de grande porte (Gp), como o Sirius e o Ceitec, devem ser financiadas por projetos da ordem de R\$ 1 bilhão ou mais. As fontes de recursos para projetos de Mp e Gp claramente são distintas das de projetos de Pp.

Nesta década de crise, por circunstâncias especiais, fomos capazes de construir o Sirius, uma das mais avançadas fontes de luz síncrotron do mundo. A construção do Sirius elevou também a capacidade que o país alcançou em empreender grandes projetos técnicos. Colocado um grande desafio, e disponibilizados os recursos necessários, somos capazes de vencê-lo. Já mostramos isso em outras oportunidades, mas a construção do Sirius, com pessoal nosso e componentes majoritariamente produzidos por indústrias nacionais, é o mais eloquente e inspirador exemplo da nossa capacidade.

Não podemos ficar apenas no Sirius. Há outro projeto brasileiro ambicioso no setor de infraestrutura, o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). Esse projeto, já bastante detalhado, aguarda recursos para sua construção. Seu custo estimado será R\$ 4 bilhões, um bilhão a mais do que o Sirius custou.

Não há consenso sobre o RMB que o coloque na liderança de uma lista de prioridades. Há quem pense que o próximo grande projeto brasileiro de infraestrutura de pesquisa deveria estar em área fora da física. Saúde, transição energética, meio ambiente, transformação digital são áreas que podem ser apontadas.

Há também uma percepção crescente de que as decisões sobre os grandes projetos em C&T brasileiros precisam ser discutidos mais amplamente. No passado, os grandes projetos levados adiante foram decorrentes do prestígio político de seus proponentes, não de estratégias discutidas e planejadas.

A pandemia explicitou a necessidade premente da criação de um grande centro de desenvolvimento e fabricação de vacinas avançadas para humanos e animais. As pandemias vieram para ficar, pois o mundo contemporâneo é o

ecossistema ideal para os vírus. Falamos de um projeto na escala do bilhão ou bilhões de dólares. Esse projeto não exclui outros.

## A missão da infraestrutura

Grande parte dos recursos para financiamentos à pesquisa é destinada a laboratórios de pesquisa que, independentemente do porte pequeno, médio ou grande, têm missão de funcionar no modelo multiusuários, para otimização de recursos disponíveis para uso das comunidades interna e externa, do meio acadêmico ou empresarial. Entretanto, muitos deles não oferecem as condições necessárias para seu uso aberto pela comunidade; às vezes até por aquelas internas às próprias instituições.

Para que um laboratório seja considerado multiusuários, é vital que ele tenha um estatuto de gestão, com indicação de governança explícita e com a possibilidade de marcação de uso dos equipamentos em *sites on-line*, tudo com a possibilidade de avaliação pelos órgãos de fomento. Análise e priorização pelo mérito de projetos para uso dos equipamentos são recomendadas, mantida a impessoalidade nas relações de uso.

Os Laboratórios Nacionais devem esforçar-se para ter impacto nacional e não apenas no estado ou região onde são instalados.

Programas como os INCTs precisam tornar-se parte da política de Estado de CT&I e terem propostas vinculadas ou orientadas por missão. Assim sendo, é importante que eles atuem não apenas como redes de pesquisa, mas também que tenham orientação voltada à inovação. Uma rota satisfatória seria a vinculação de alguns INCTs ao modelo de atuação da Embrapii, para acelerar a interação com a indústria.

## Nova visão para a infraestrutura de apoio à CT&I

Apesar dos avanços na formação de recursos humanos e de infraestrutura, o país não conseguiu consolidar, ainda, uma política de Estado, essencial para que o sistema de CT&I não sofra os impactos das trocas de governos e, com elas, dos gestores das políticas públicas no país.



Diante do quadro atual, no qual o país precisa caminhar de forma rápida e segura para uma retomada econômica, é necessário e imperativo ter um novo olhar para o apoio à infraestrutura de fomento à pesquisa e ao desenvolvimento no país. Para esse próximo passo, é preciso considerar que: i) o financiamento público para as atividades de CT&I no país é a base mais sólida na qual se apoiam instituições de ensino e pesquisa; ii) o aporte de recursos privados para P&D é expressivamente menor que os aportes públicos para essas atividades, mas torna-se cada vez mais indispensável; iii) o aumento da efetividade da relação entre as instituições de ensino e pesquisa e o setor produtivo privado no Brasil requer a ampliação do modelo hélice tríplice e seu aperfeiçoamento; iv) a análise das políticas de CT&I internacionais deixa claro que o governo tem um papel determinante na promoção do desenvolvimento científico e tecnológico equilibrado entre as instituições públicas e privadas, uma vez que somente ele tem o volume de recursos e o poder de articulação necessários para alavancar tal desenvolvimento equilibrado.

Levando em conta esses aspectos, considerando que o país já tem uma massa crítica mínima de cientistas realizando boa ciência, e que a Embrapii é um modelo eficiente para a ponte entre o conhecimento oriundo das instituições de ensino e empresas, entendemos que temos os ingredientes para uma consolidação do setor produtivo como ator importante nas atividades de CT&I.

## REFERÊNCIAS

- [1] Academia Brasileira de Ciências: A importância da ciência como política de Estado para o desenvolvimento do Brasil – Documento aos presidentes. <https://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2022/06/Publica%C3%A7%C3%A3o-Presidencia%C3%A1veis-2022.pdf>
- [2] *Sistemas setoriais de inovação e infraestrutura de pesquisa no Brasil*. Organizadoras: Fernanda De Negri, Flávia de Holanda Schmidt Squeff. – Brasília: IPEA, Finep, CNPq (2016).

# 11.

## PROMOÇÃO DE UMA NOVA INDÚSTRIA INOVADORA

### A indústria do futuro

O Brasil precisa estruturar um setor industrial capaz de absorver um novo paradigma tecnológico, com multiplicação acelerada da geração de *startups*, visando a uma transformação do nosso setor industrial em direção a maior dinamismo e capacidade de absorver e gerar inovações. Em casos em que o teor tecnológico é muito avançado e de alto potencial disruptivo, a participação do Estado empreendedor faz-se necessária; às vezes usando seu poder de compra para a geração e sustentação de *startups* com potencial para evoluir e se transformar em empresas de alto teor tecnológico, incluindo aquelas voltadas para os bens de produção.

A seguir, descrevemos a realidade histórica por trás dessas afirmações e faremos propostas para a promoção de uma nova indústria inovadora, fundamentadas nas características de nossa nação.

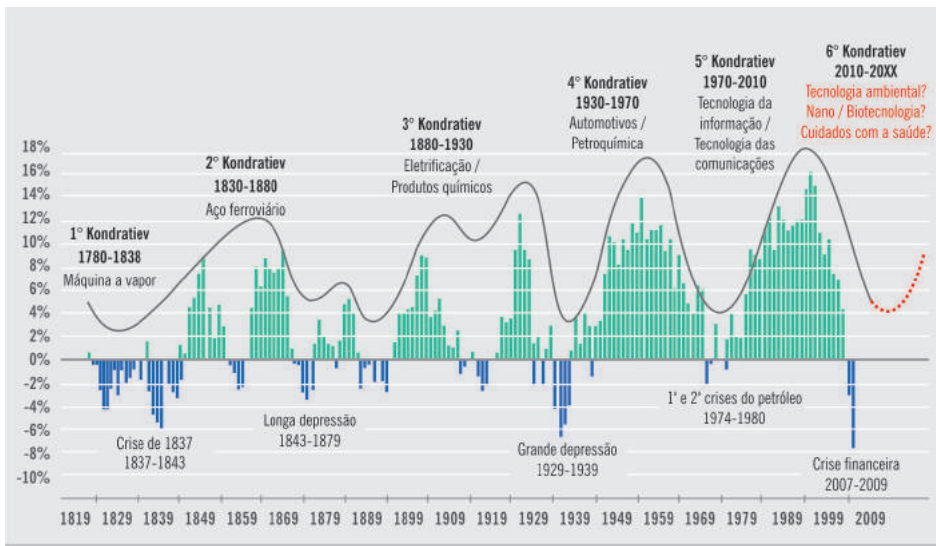
### Um breve relato das revoluções industriais e ciclos tecnológicos

Inovações tecnológicas têm moldado as sociedades; às vezes de forma radical, mudando hábitos e reestruturando o poderio econômico global. Existe hoje grande expectativa sobre as possíveis mudanças que poderão gerar a nova fase de avanço da prosperidade das nações. Temas como meio ambiente, nanotecnologia, biotecnologia, saúde e bem-estar, transformação digital, inteligência artificial, computação quântica e robótica estão em voga, mas ninguém pode prever exatamente quais tecnologias vão moldar o futuro. Talvez, seja seguro dizer que ele será gestado por um conjunto de desafios e tecnologias desenvolvidas para enfrentá-los.

Também é seguro dizer que as nações protagonistas das revoluções tecnológicas colherão os frutos em forma de produção industrial, liderança econômica

e política e conseqüente melhoria social. Foi assim quando da introdução da máquina a vapor (1780-1830), da expansão do sistema ferroviário e da indústria do aço (1830-1880), da eletricidade e indústria química (1880-1930), da indústria petroquímica e de automóveis (1930-1970), bem como da mais recente tecnologia de informação e comunicação (1970-2010) (figura 1).

Os dois primeiros ciclos econômicos vistos na figura relacionam-se à dominação inglesa. O terceiro ciclo traz a Alemanha ao cenário industrial, e o quarto cria as bases para a dominação norte-americana. EUA e Europa dominam o quinto ciclo, mas já se configura a entrada expressiva da China [1].



**Figura 1.** Expansões e contrações da geração de riqueza mundial, também chamadas ondas longas de Kondratiev, medidas pelo Standard & Poor's 500, e suas correlações com as grandes revoluções tecnológicas. A teoria dos grandes ciclos foi introduzida por Kondratiev [2], discutida por Schumpeter [3] e explorada pelos neoschumpeterianos

Fonte: Allianz.

Exemplo emblemático de sucesso empresarial da última transformação industrial, a Apple – que em 2011 teve receita de 76,4 bilhões de dólares, superior ao saldo de caixa operacional do governo norte-americano, de 73,7 bilhões – contou com investimento direto do governo e a criação de políticas fiscais e comerciais que possibilitaram que empresas como ela pudessem atingir nível suficiente para entrar na corrida pelos mercados mundiais [4].

Além do recurso direto nos seus estádios iniciais de criação e crescimento, a empresa teve acesso a tecnologias resultantes de programas de pesquisa governamentais, iniciativas militares e contratos públicos, como a magnetorresistência gigante, dispositivos de silício e sensores capacitivos, internet – todos financiados com recursos federais. Com ações como essas, os EUA construíram sua hegemonia mundial.

Os dois primeiros ciclos tecnológicos tiveram caráter mais empírico. Mas, do terceiro para frente, os avanços técnicos resultaram do conhecimento formal e abstrato gerado pelo método científico. O histórico de ciclos industriais e a presente crise do capitalismo apontam para um sexto ciclo, este bastante interdisciplinar e multifatorial, fortemente influenciado pelo aumento populacional (passamos de 1,56 bilhão de habitantes em 1900, para 7,8 bilhões em 2022) e pela crise ambiental, que pressionam a saúde pública e a transição energética.

As tecnologias da informação vão se manter muito presentes na geração, no transporte e processamento da informação, com a transformação digital, que inclui a inteligência artificial, tornando-se absolutamente necessária em tempos em que a geração e o processamento de informação atingiram um nível inalcançável sem o auxílio dos computadores. Do lado material, o crescimento das nano e biotecnologias apontam para um novo paradigma tecnológico, que poderá solucionar os novos desafios da humanidade.

Nesse cenário, as nações desenvolvidas e as grandes corporações têm se preparado para o que está por vir, mantendo ativos seus centros de pesquisa e seu parque industrial para, além de antever as principais tecnologias do futuro, serem capazes de realizar as transformações necessárias quando os ambientes tecnológicos se formatarem. Exemplos eloquentes que apontam para a fronteira do conhecimento são os grandes investimentos nas tecnologias de informação quântica, incluindo o computador quântico, em projetos governamentais na Europa [5], China [6] e nos EUA [7], desenvolvidos também pelas empresas Google [8] e IBM [9].

No âmbito global, identifica-se claro deslocamento do protagonismo em direção à Ásia. A China já superou os EUA em produção científica, produção industrial e exportações [1], e o bloco asiático foi responsável, em 2020, por 48% dos investimentos globais em P&D, segundo estimativas feitas pela *R&D Forecast*.

Gruber e Johnson [10] analisam a realidade norte-americana e chinesa e concluem que a China lê a história econômica dos EUA melhor do que os norte-americanos, tornando-se, assim, o grande Estado empreendedor atual na promoção de CT&I.

Em 1938, o governo norte-americano investiu 0,076% do PIB em pesquisa; em 1944, 0,5%; e, em meados dos anos 1960, 2%. Hoje, o governo dos EUA investe apenas 0,7%. Os autores atribuem o atual protagonismo norte-americano em C&T e inovação ao crescente investimento governamental em pesquisa feito de 1945 a 1968. Apontam que em 1959, ano da invenção dos circuitos integrados, 85% da pesquisa em eletrônica dos EUA foi paga pelo governo federal, e a defesa financiou quase metade de toda a P&D de semicondutores do final da década de 1950 até o início da década de 1970.

Os circuitos integrados só passaram a ser utilizados em computadores comerciais após 1965 [10]. Gruber e Johnson propõem que os EUA retomem sua política, que teve tanto sucesso.

O Brasil é um país de dimensões comparáveis às dos EUA e da China, com maior riqueza natural comparativa. Para que o Brasil possa desenvolver-se de forma sustentável, colhendo para sua sociedade os frutos de transformações científico-tecnológicas, precisamos ser capazes de atuar na estruturação de novos setores industriais, transformando nossas vantagens comparativas em vantagens competitivas. O governo federal terá que organizar e promover essa estruturação.

## O caso recente da vacina para covid-19

No início do ano de 2020, o SARS-CoV-2 tornou-se uma pandemia global. Os primeiros imunizantes ficaram prontos em meados daquele ano, o que parece um milagre da ciência, considerando-se que usualmente se gastam mais de dez anos de pesquisa para criar uma vacina.

Não foi milagre. As vacinas para covid-19 foram viabilizadas por décadas de investimentos de governos no mundo todo. Por exemplo, o governo dos EUA financiou ciência básica, desenvolvimento pré-clínico e ensaios clínicos para as vacinas por décadas e, com o surgimento da pandemia, fez contratos

de aquisição que foram decisivos para criar vacinas bem-sucedidas e garantir que estivessem disponíveis para os públicos daquele país e do mundo.

As estimativas de gastos públicos diretos no desenvolvimento e na fabricação de vacinas para covid-19 variam consideravelmente com a amplitude do que é considerado. Segundo Lisa Cornish, nos EUA, eles foram de US\$ 39,5 bilhões [11].

Sem décadas de pesquisa em vacinas, financiada pelo governo, academia e empresas não estariam aptas a desenvolver vacinas para estancar a pandemia em período tão curto. Instalada a pandemia, o governo dos EUA fez contratos de compromisso de compra antecipada para garantir aos fabricantes farmacêuticos demanda por seus produtos que justificasse correr riscos e dedicar recursos firmes ao esforço da vacina. Johnson & Johnson teve um contrato de US\$ 1 bilhão para 100 milhões de doses de sua vacina; Moderna teve contratos totalizando US\$ 4,95 bilhões; e Pfizer informa ter recebido financiamento antecipado do governo totalizando US\$ 5,97 bilhões [11].

Como aponta Cornish [11], a indústria farmacêutica deve ser reconhecida por sua dedicação e seu compromisso com o desenvolvimento das vacinas contra covid-19, mas a agilidade e eficiência no seu desenvolvimento devem-se, em grande parte, à pesquisa apoiada pelo governo federal por décadas, e sua proteção à indústria de muitos dos riscos associados ao desenvolvimento. Esse é um caso ilustrativo da história da tecnologia moderna, que revela ainda outros fatos.

As grandes empresas investem pouco em novos medicamentos: compram *startups* que desenvolveram algum medicamento comercialmente valioso com financiamento público [12]. Quase todo produto de tecnologia avançada é a culminância de uma longa história de pesquisa científica quase toda financiada por filantropos, por organizações filantrópicas e, principalmente, pelo poder público.

## A explosão da informação e a transversalidade da transformação digital

Não é mais possível estruturar uma indústria competitiva sem a transformação digital. Examinando a base de dados da *Cambridge Scientific Abstracts* (CSA), vemos que já ultrapassamos a produção de 1 milhão de artigos publicados a cada ano em ciências naturais e tecnologia [13], e não é possível pôr em uso tanta informação sem inteligência artificial (IA).

No setor da saúde, a IA tem grande potencial para médicos; principalmente na interpretação rápida e precisa de imagens; para os sistemas de saúde, pela melhoria do fluxo de trabalho e redução dos erros médicos; e, para os pacientes, por permitir que processem seus próprios dados para promover a saúde [14].

Como explicitado no capítulo 9, uma indústria inovadora tem necessariamente que promover a transição digital em suas empresas, e as mudanças necessárias vão do entendimento das preferências dos consumidores à capacidade de flexibilizar processos. A transformação digital inclui novas tecnologias, como a internet das coisas (*IoT-Internet of Things*), capaz de conectar os mais diversos aparelhos e objetos usados no dia a dia à rede mundial de computadores (internet) e alterar de forma significativa interações e serviços.

O uso de novas tecnologias como a IA é transversal, abarcando todas as áreas e, por si só, já deverá ser um mecanismo cada vez mais importante para a promoção de uma indústria inovadora no país.

## Nossas competências e fragilidades em CT&I

Nos últimos 100 anos de nossa história, o Brasil cumpriu, com primor, seu dever de vencer o abismo que nos separava das nações desenvolvidas no quesito produção científica. Isso foi realizado com a estruturação de nossas universidades e do sistema nacional de pós-graduação, de legislação para CT&I, ampla formação de redes de pesquisa e de sistemas de comunicação, implementados graças à criação de órgãos de aconselhamento (Academia Brasileira de Ciências, criada em 1916,- e Sociedade para o Progresso da Ciência, criada em 1948) e fomento (CNPq em 1951, BNDES em 1952, Fapesp em 1962, Finep em 1967, Fundos Setoriais a partir de 1999) [15].

O portal de periódicos da Capes proveu acesso à literatura científica internacional. Com isso, passamos de uma produção científica irrelevante para 3% da produção mundial, equivalente à parcela da população que o Brasil representa.

Embora ainda com distorções territoriais que precisam ser equacionadas, para equidade e melhor uso da capacidade do nosso povo, estruturamos uma rede de instituições de C&T bastante robusta, que irriga o território nacional com centenas de universidades, programas de pós-graduação, redes de pesquisa e

institutos nacionais de ciência e tecnologia, e com dezenas de laboratórios nacionais, em uma sociedade com razoável conectividade via internet (ver capítulo 10).

Competências científicas foram construídas em praticamente todas as áreas do conhecimento, incluindo as portadoras de futuro, como a área ambiental, nanotecnologia, biotecnologia, saúde e bem-estar, transformação digital, inteligência artificial, computação quântica e robótica.

Apesar do claro avanço na estruturação do setor de produção científica, o Brasil ainda tem grande dificuldade na transferência de conhecimento gerado para o setor industrial, fator *sine qua non* para o estabelecimento de empresas inovadoras. Parte importante de nossa economia atual está fundamentada na criação de empresas estatais inovadoras (Vale, Petrobras, Embrapa, Embraer), e exemplos como esses poderiam ser multiplicados no país.

O abismo que separava o Brasil das nações desenvolvidas no quesito produção científica foi removido, mas ainda existe uma separação entre o setor de produção científica e o de produção industrial brasileiros que dificulta, e muitas vezes inviabiliza, a desejada conexão entre geração de conhecimento e seu uso. Um exemplo eloquente é o fato de o Brasil importar quase todos os bens de capital e insumos para a realização de sua pesquisa científica.

O impacto gerado na economia brasileira da nacionalização e comercialização de um bem de capital utilizado em pesquisas científicas foi calculado usando a matriz de insumo-produto brasileira. O impacto econômico da compra de equipamentos nacionais torna o investimento em ciência superavitário, independentemente dos resultados científicos, tecnológicos ou de inovação advindos das pesquisas realizadas [16]. Soma-se a esse argumento econômico o fato de que na base dos bens de consumo estão os bens intermediários e, na base destes, os bens de produção.

O computador pode ser considerado hoje o exemplo mais emblemático de bem de produção definidor do setor de serviços, da indústria 4.0 e da formação do capital intelectual. Tudo isso mostra a importância do desenvolvimento da indústria nacional em bens de produção, incluídos aqueles responsáveis pela produção do conhecimento.

No Brasil, a separação entre ciência e indústria tem grande teor cultural, relacionado à gênese de nossa indústria e também a tarifas de importação que protegem excessivamente a indústria instalada no país. Para promover a pesquisa e a inovação em nossa indústria, um conjunto de ações é essencial.



O Estado brasileiro tem de assumir o papel empreendedor que nos países líderes foi assumido para atingir seu atual nível de desenvolvimento. Esse empreendedorismo deu-se menos por meio de empresas estatais. Deu-se, principalmente, por práticas de promoção de empresas privadas inovadoras por meio de encomendas técnicas do governo, provimento de vastíssima infraestrutura governamental de pesquisa, bem como ações governamentais para induzir investimento privado em setores estratégicos em que o lucro, no curto e médio prazo, é insuficiente para atrair investimento privado.

No seu conjunto, as ações necessárias são uma revolução cultural. Nela, tem de se considerar o papel das *startups*, que na evolução empresarial sempre tiveram o papel que as mutações genéticas cumprem na evolução genética. Quanto mais mutável for o ambiente econômico, maior e mais fundamental será o papel das *startups*. A maioria das grandes empresas do mundo foi fundada nas últimas décadas. Estruturas de incubação e promoção de *startups* são essenciais para a reestruturação de nossas empresas rumo à inovação e à prosperidade.

## Ações para a estruturação de uma nova indústria inovadora

A estruturação de uma política industrial requer planejamento e envolve diversos fatores econômicos, como financiamento, política de câmbio, utilização do poder de compras do Estado, adequação do sistema tributário e, não menos importante, a definição de nichos estratégicos. Neste documento, áreas estratégicas estão sendo apontadas, incluindo bioeconomia, agronegócio, transição energética, saúde e bem-estar e transformação digital. A seguir, faremos propostas de ações estruturantes para a promoção de uma nova indústria inovadora.

**Um modelo exitoso de interação da tríplice hélice:** O documento 'Ciência para um Brasil competitivo – O papel da física' (2007), encomendado a físicos pela Capes [17], propôs a criação de uma instituição que funcionasse como agência promotora da inovação industrial, abrindo espaço para a efetiva interação empresa-academia. Em 2013, por iniciativa da Confederação Nacional da Indústria (CNI) no âmbito da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), foi criada a Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. Para o desenho dessa instituição foi

considerada a exitosa atuação do modelo operacional praticado pela Sociedade Fraunhofer, da Alemanha, na execução de projetos de P&D com a Indústria.

Também serviu de modelo a exemplar atuação da Embrapa na área agropecuária no Brasil. Já no final de 2013, essa Associação foi qualificada como Organização Social (OS) pelo governo federal, constituindo a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), tendo como órgão supervisor o então Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) e como interveniente o Ministério da Educação e Cultura (MEC). Em 2018, houve a adesão do Ministério da Saúde (MS), e, em 2021, do Ministério da Economia.

O *status* de Organização Social (OS) constituiu condição essencial para operar o necessário contrato de gestão, documento plurianual obrigatório que estabelece os compromissos da OS e os montantes de recursos a serem repassados anualmente pelo governo à Embrapii por meio dos ministérios envolvidos.

De 2014 a junho de 2022, um total de 1.124 empresas contrataram 1.633 projetos de P&D com as unidades Embrapii, com volume de recursos aplicados de R\$ 2,3 bilhões, sendo 31,9% da Embrapii, 17,6% de contrapartida das unidades e 50,5% de empresas [18]. Nesses oito anos de operação, a Embrapii atraiu uma gama de empresas dos mais diferentes setores industriais para desenvolver projetos no modelo de inovação aberta. Cerca de 40% são empresas de grande porte. Este é um número significativo, considerando que o Brasil tem cerca de 300 mil empresas, sendo, no entanto, 85% de pequeno porte, desprovidas de condições e competência próprias para desenvolver P&D.

Não menos importante, o desenvolvimento desses projetos envolveu a participação de 5.928 pesquisadores das 76 unidades Embrapii distribuídas em 16 estados brasileiros. Desses 5.928 pesquisadores, 914 pertencem ao *staff* das ICTs, 1.140 são estudantes engajados nos projetos e 5.014 são outros contratados com nível de graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorado [18]. Ou seja, o modelo operacional da Embrapii promove uma descentralização dos recursos humanos e financeiros no ecossistema de C&T do país.

A tabela 1 lista o número de projetos por áreas de aplicação e por perfil tecnológico dos 1.471 contratados entre 31/07/2014 e 31/12/2021. É interessante observar a vasta gama de áreas, com número superior a 100 projetos nas áreas da saúde, agroindústria/alimentos e bebidas, equipamentos para processos do setor de serviços/comércio/financeiro, telecom, equipamentos para processos

industriais e indústria metalúrgica. Já em relação ao perfil tecnológico, vale destacar que as tecnologias habilitadoras portadoras de futuro, como inteligência artificial, integração de sistemas, novos materiais, prototipagem e biotecnologia, são aquelas com número de projetos superior a 100 [18].

Áreas de aplicação	Nº de projetos	Tecnologias habilitadoras	Nº de projetos
Saúde	195	Inteligência artificial	271
Agroindústria/Alimentos e bebidas	168	Integração de sistemas	250
Equip. para serviços/comércio/financeiro	132	Materiais	175
Telecom	109	Prototipagem	138
Equipamentos para processos industriais	101	Biotecnologia	132
Indústria metalúrgica	100	Sistemas de comunicação	98
Equipamentos elétricos/Energia	93	Química	92
Indústria automobilística	78	Manufatura	83
Petróleo e gás	75	IoT Industrial	73
Eletrônica de consumo	59	Automação e robótica	55
Sustentabilidade	53	Desenv. de <i>hardware</i>	48
Indústria extrativa	39	Refrigeração	24
Indústria mecânica	39	Tecnologia de dutos	17
Indústria química	37	Sistemas submarinos	15
Cidades inteligentes	35		
Eletrônica industrial	29		
Indústria da construção	29		
Papel e celulose	23		
Indústria aeronáutica	18		
Logística/Transporte	18		
Educação	16		
Cosméticos	10		
Automação	6		
Aeroespacial	3		
Defesa	3		
Calçados	1		
Fabricação de móveis	1		
Saúde animal	1		

**Tabela 1.** Número de projetos contratados pela Embrapii entre 31/07/2014 e 31/12/2021 por áreas de aplicação e por perfil tecnológico.

O sucesso do modelo Embrapii, além de dever-se ao seu importante foco no desenvolvimento de pesquisa e inovação industrial e na descentralização dos recursos, parece estar também ligado a quatro fatores determinantes para a criação de uma cultura de inovação no país:

1. O financiamento com caráter hélice tríplice, que instiga cientistas e industriais a conversarem para encontrar consensos sobre um projeto de desenvolvimento, rompendo o distanciamento entre a visão usualmente de longo prazo do governo e da academia e a de curto prazo de industriais;
2. A estruturação como OS e a escolha de descentralização dos recursos para as unidades, que permitem grande flexibilidade nas tomadas de decisão e o conseqüente deslocamento dos esforços hercúleos em procedimentos administrativos para a busca de resultados. Essa estruturação rompe com a burocratização e judicialização, que levam a procedimentos que focam no controle em vez dos resultados;
3. O descredenciamento de unidades que descumprem o plano de ação, fundamentado em metas claras e objetivas, que garantem planejamento e a não mediocrização do sistema, e que rompem o corporativismo das instituições;
4. A transferência, para as unidades Embrapii, da autoridade de escolha e elaboração dos projetos, como garantia de qualidade. Para além dos números listados na tabela 1, uma análise detalhada dos projetos listados mostra que eles são, de fato, projetos de inovação intensiva, não uso de recurso público para manter o dia a dia das empresas, ou a simples compra de maquinário. Isso demonstra a existência de um sistema de controle de qualidade inerente ao modelo.

Os números e a qualidade dos projetos demonstram a funcionalidade do modelo, e uma expansão significativa do sistema é necessária para que haja um percolamento dos resultados capaz de transformar a estrutura industrial do país. Se considerarmos que o Brasil já aplicou 1,2% do PIB em C&T, o que hoje significaria cerca de R\$ 100 bilhões por ano, e que os recursos da Embrapii têm

sido em média de R\$ 90 milhões/ano, temos menos de 0,1% sendo utilizado nesse modelo. A Embrapii é um modelo operacional a ser compartilhado e adotado por número maior de instituições, para que assim possamos cumprir o objetivo de disseminar a cultura de inovação no Brasil.

**Desburocratização da relação público-privado e startups:** Devemos lembrar que a Lei da Inovação, de 2004, e o novo Marco Legal de CT&I, de 2016, significaram grandes avanços, mas o complexo regramento jurídico da relação público-privado brasileira ainda gera insegurança nos atores.

O regramento jurídico que dificulta a livre transmissão de conhecimento entre universidades e empresas deve ser equacionado. Para isso, o setor jurídico brasileiro precisa abandonar a exclusiva lógica do combate à corrupção e adotar a lógica da busca por resultados e do custo-benefício médio dos investimentos. Obviamente, a vigilância sobre os riscos de má conduta devem ser preservados, mas a agilidade é também necessária para julgar os casos de corrupção.

## Outras ações necessárias

Ações específicas de natureza diversa são necessárias para que o Brasil alcance o que almeja. Sem pretender exaurir o assunto, abordaremos algumas delas.

**Fomento estatal e privado a startups:** Como no caso da Apple e outros, o Estado empreendedor tem que exercer seu papel de criar as bases científicas, tecnológicas e competitivas para o florescimento de novas empresas de base tecnológica. O uso do poder de compra do Estado é essencial para inovações disruptivas e de elevado grau tecnológico, dado o seu longo período de maturação tecnológica e de inserção no imaginário da sociedade. Investidores privados têm que aprender a lógica do investimento de risco, que funciona de forma similar a agências de seguro, onde o resultado estatístico de vários investimentos garante o lucro líquido.

**Educação:** É consensual o fato de que o Brasil precisa de uma revolução na educação, e isso já foi discutido com mais detalhes nos capítulos 1 e 3. Essa revolução precisa incluir todos os níveis, da formação básica de uma criança à formação de um estudante de direito, que posteriormente vai atuar em processos que envolvem o desenvolvimento de nossa ciência, tecnologia e inovação.

O Brasil não apenas forma mais advogados que engenheiros, mas também o país que forma maior número de advogados no mundo. Mesmo assim, não forma advogados de patentes com o necessário conhecimento da ciência envolvida no campo de patentes industriais.

Ações são necessárias nos diversos níveis, incluindo a estruturação de cursos em inovação tecnológica nas unidades técnicas e de ensino, e o constante diálogo com o setor de controle da união em prol do entendimento das especificidades e incertezas do desenvolvimento científico e tecnológico. Flexibilização dos cursos em todos os níveis é essencial. Um exemplo ilustra isso: no mundo contemporâneo, advocacia de patentes é um curso curto de pós-graduação em direito de propriedade intelectual para pessoas graduadas em engenharia ou ciências naturais.

**A quarta missão das universidades:** As universidades realizam ensino, pesquisa e extensão, e estão sendo cada vez mais cobradas para contribuírem para a geração de riqueza por meio da transferência do conhecimento. Para isso, os métodos de valoração do sistema de pós-graduação precisam ser adequados para contemplar tanto os métodos internacionais de avaliação de qualidade em produção científica quanto novos métodos de avaliação que promovam o desenvolvimento local, regional e nacional.

**Evolução dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs):** O projeto INCTs foi uma fase de evolução de outros projetos formadores de rede, como os Institutos do Milênio. Os INCTs receberam amplo investimento para a construção de suas infraestruturas de pesquisa e catalisaram projetos de grande relevância e importância para o país. É preciso que parte dos grupos formados pelos INCTs seja impulsionada para uma fase mais avançada, com a busca de uma relação mais sinérgica entre os INCTs e as empresas. Os INCTs têm grande potencial para formar unidades Embrapii e deveriam ser instigados nessa direção.

**Indústria da ciência:** Considerando que os bens de produção são condicionantes para a estruturação dos bens intermediários e de consumo, e que o conhecimento é hoje um dos maiores bens de um cidadão, uma comunidade e uma sociedade, faz-se necessária a criação de uma indústria voltada para o setor de ciência e do desenvolvimento tecnológico, como a de fabricantes de insumos e maquinário para a ciência.

Já discutimos o impacto econômico direto da compra de equipamentos científicos nacionais, em substituição a equipamentos importados [16]. Também na área de saúde, o Brasil é grande importador de equipamentos para diagnóstico e tratamento que temos capacidade técnica de produzir. Um exemplo ilustra isso. Há mais de duas décadas, um equipamento de imagens por ressonância magnética nuclear (RMI) foi desenvolvido e construído no Instituto de Física da USP de São Carlos e entregue a um hospital da cidade. Desenvolvimento similar foi realizado no Departamento de Física da UFPE. Entretanto, todos os aparelhos de RMI espalhados pelo país, cujo número está talvez na casa do milhar e cresce rapidamente, são importados.

## REFERÊNCIAS

- [1] Clélio Campolina Diniz. Mudanças na ordem econômica global e a posição da América Latina – *Anais do XIII Encontro da Rede Iberoamericana de Investigadores em Globalização e Território* (2015).
- [2] Joseph Schumpeter. *Business cycles: A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process* (1939).
- [3] Allianz Global Investor, *The sixth Kondratieff – long wave of prosperity* (Jan 2010).
- [4] Mariana Mazzucatu. *O Estado empreendedor – Desmascarando o mito do setor público vs. setor privado*. São Paulo: Portfolio-Penguin (2014).
- [5] <https://qt.eu/> – Acesso em 21/07/2022.
- [6] <https://spectrum.ieee.org/quantum-computing-china> – Acesso em 21/07/2022.
- [7] <https://www.quantum.gov/> – Acesso em 21/07/2022.
- [8] <https://www.ibm.com/quantum> – Acesso em 21/07/2022.
- [9] <https://quantumai.google/hardware> – Acesso em 21/07/2022.
- [10] Jonathan Gruber e Simon Johnson. *Jump-starting America: How breakthrough science can revive economic growth and the American dream*. Hachette UK (2019).
- [11] Richard G. Frank, Leslie Dach, Nicole Lurie. It was the government that produced covid-19 vaccine success. *Health Affairs* 19, 2021 (2021).
- [12] <http://alaorchaves.com.br/o-desafio-dos-remedios-carissimos/> – Acessado em 31/07/2022.
- [13] Peder Olesen Larsen, Markus von Ins. The rate of growth in scientific publication and the decline in coverage provided by Science Citation Index. *Scientometrics* 84, 575-603 (2010).

- [14] Eric J. Topol. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature medicine* 25.1 (2019): 44-56.
- [15] Academia Brasileira de Ciências: A importância da ciência como política de Estado para o desenvolvimento do Brasil – Documento aos presidentes, 2022, disponível em <https://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2022/06/Publica%C3%A7%C3%A3o-Presidenciais-2022.pdf>.
- [16] C. B. Sessa, A. Jorio, M. D. D. Costa, M. Rapini, O impacto econômico do financiamento da ciência no Brasil: um estudo comparativo entre importação e produção de um bem de capital em nanotecnologia. *Economia Ensaios*, v. 35, p. 323-359 (2020).
- [17] Capes. *Ciência para um Brasil Competitivo – O papel da física* (2007).
- [18] EMBRAPPII: Relatório do 1º Semestre de 2022.





# 12.

## ARTICULAÇÃO DA POLÍTICA DE INTEGRAÇÃO DE PD&I

### Papel transversal de PD&I

Para uma efetiva articulação de uma estratégia de integração de PD&I no país, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) precisa ter uma posição de centralidade no Poder Executivo federal. Ciência e Tecnologia devem nortear todas as decisões nacionais na esfera executiva, e o conhecimento científico deve apoiar todas as ações no âmbito dos diversos ministérios.

Seja na área da saúde, do meio ambiente, dos recursos minerais, da segurança pública, do trabalho, da defesa e das políticas sociais, as experiências bem-sucedidas e adotadas em nações que nos são referência, bem como as novas tecnologias, muitas das quais disruptivas e revolucionárias, não podem ser ignoradas no estabelecimento das diretrizes nacionais e das ações de governo.

A atuação do MCTI, de maneira geral, não é terminal; ela antecede as implantações finais que ficam a cargo de ministérios específicos. Por exemplo, uma política nacional de vacinação está a cargo do Ministério da Saúde, mas, para ser bem-sucedida, precisa ter sido concebida e apoiada por qualificados especialistas que, ancorados em suas atividades de pesquisa, laboratórios bem equipados, redes de colaboradores e parcerias internacionais, a validaram. É preciso valorizar e ampliar a atuação do MCTI para que a ciência possa ter maior capilaridade no governo e na sociedade.

Em documento de 2022 da Academia Brasileira de Ciências (ABC) dirigido aos candidatos à Presidência do Brasil, uma das principais recomendações é garantir a participação de conselheiros estratégicos em CT&I nos diferentes setores do Legislativo, Judiciário e, sobretudo, no Executivo, para que políticas públicas sejam desenhadas com aporte do conhecimento científico sobre cada tema. Nesse documento, a ABC destaca, ainda, a necessidade de haver, em cada ministério, conselhos estratégicos em CT&I que atuem com o MCTI como instrumentos de integração das políticas das diferentes pastas [1].

## A centralidade do Ministério da C&T no Poder Executivo

Uma das principais características deste século é o intensivo uso do conhecimento científico e das novas tecnologias que moldam e modificam intensamente a vida no planeta. Mudanças cada vez mais disruptivas transformarão a forma como vivemos, bem como nossas relações interpessoais e com o meio ambiente.

Por exemplo, a estruturação e organização das cidades, com uma visão de economia circular, serão profundamente afetadas pelas novas tecnologias, com impacto na mobilidade de pessoas, bens, insumos e informação. Grandes transformações afetarão de forma crescente as questões de mobilidade e as articulações entre os diferentes modais de transporte. Os Vants (Veículos Aéreos Não Tripulados) se tornarão cada vez mais importantes, transportando objetos e pessoas.

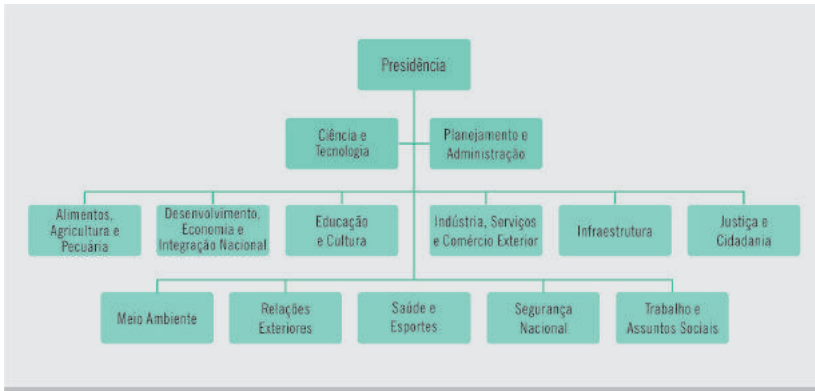
Tecnologias digitais impactarão de forma crescente a segurança, o trabalho, lazer, a educação e saúde. Novas tecnologias, como internet das coisas, robótica, inteligência artificial e nanotecnologia trarão enorme impacto para o setor industrial.

A relação entre o meio rural e urbano será alterada, e as distinções que separam esses dois ambientes diminuirão. Alimento, energia e água conectarão esses dois ambientes de forma cada vez mais orgânica e intrínseca. Países que souberem usar adequadamente e de forma sustentável seus recursos naturais e sua biodiversidade terão grande vantagem competitiva.

Turismo e lazer, bem como vida saudável, agregarão valor de forma crescente ao bem-estar das populações. Temos assistido ao crescente interesse de consumidores, sejam eles países ou indivíduos, por produtos elaborados de forma sustentável do ponto de vista ambiental e social. Nesse contexto, a bioeconomia encontrará posição de destaque nas cadeias de produção mundial.

Nesse cenário, os países que melhor se adaptarem aos novos tempos se afirmarão como grandes nações. Essas adaptações envolvem, necessariamente, uma nova estrutura organizacional dos governos centrais que contemple a importância crescente da ciência, da tecnologia e da inovação. Ciência e tecnologia afetarão todas as demandas da sociedade e precisam ter centralidade nos governos federais, cuja preocupação principal deve estar focada nos seguintes aspectos: educação, saúde, segurança, infraestrutura e meio ambiente.

Para enfrentar as grandes mudanças que se anteveem, propõe-se que o governo federal organize seus ministérios dando maior centralidade ao Ministério da Ciência e Tecnologia. Uma sugestão se encontra na figura 1.



**Figura 1.** Proposta de organograma para o Poder Executivo em nível dos ministérios.

## Os ministérios listados abrigam as seguintes áreas:

- Ciência e Tecnologia – Ciência, Tecnologia e Educação Superior
- Planejamento e Administração
- Alimentos, Agricultura e Pecuária
- Desenvolvimento, Economia e Integração Nacional
- Educação e Cultura
- Indústria, Serviços e Comércio Exterior – Incluindo Turismo
- Infraestrutura – Energia, Transportes, Comunicações, Cidades, Portos, Aeroportos
- Justiça, Direitos Humanos e Cidadania
- Meio Ambiente – Biodiversidade (fauna e flora) e Recursos Naturais (recursos minerais, solo, água, mar e ar)
- Relações Exteriores

- Saúde e Esportes
- Segurança Nacional – Defesa e Segurança Pública (civil, hídrica, alimentar, saúde, energética etc.)
- Trabalho e Assuntos Sociais

O Ministério da Ciência e Tecnologia deverá ter uma atuação ampla e transversal, influenciando todos os ministérios. Isso porque, conforme defendido anteriormente, ciência e tecnologia devem impactar todas as áreas, como saúde, agricultura, pecuária, alimentos, trabalho e emprego, indústria, infraestrutura etc.

A inclusão da educação superior no Ministério da Ciência e Tecnologia, inserida na proposta, justifica-se pela constatação de que, presentemente, a maior fatia do investimento federal em CT&I dá-se através do Ministério da Educação. O MEC abriga as universidades federais, que reúnem o maior contingente de cientistas e pesquisadores, bem como grande parte de nossa estrutura de pesquisa. Portanto, muito da ciência e tecnologia nacionais se materializa nas nossas universidades. A inclusão do ensino superior no ministério que trata da ciência e tecnologia é prática adotada em diversos países, como Dinamarca, França e Portugal. Outros países incluem em um mesmo ministério educação e pesquisa, como Alemanha, Noruega, Suíça, Itália e Suécia, ou educação e ciência, como Espanha e Holanda.

Observe-se também que o ministério foi aqui denominado Ministério da Ciência e Tecnologia, onde a palavra 'da' substituiu a preposição 'de' para enfatizar que ele é o ministério que abriga a ciência e a tecnologia nacionais. Também foi retirada a palavra 'inovação', a partir do entendimento de que a tecnologia precisa ser levada para a sociedade e estar a serviço da geração de riqueza e da melhoria da qualidade de vida das pessoas.

A transformação da sociedade a partir do conhecimento científico materializa-se por meio da tecnologia quando esta é colocada em prática pelas inovações sociais e tecnológicas. Dessa forma, as inovações devem contemplar aspectos também econômicos e devem estar focadas nas atividades terminais, atendidas pelos ministérios correspondentes, como o ministério que cuida da indústria, da saúde, da agricultura etc.

Outro fato a ser destacado é a preocupação com o escopo de cada um dos ministérios listados. Por exemplo, recomenda-se a criação de um Ministério do Meio Ambiente que abrigue tanto nossos biomas naturais, com suas faunas e floras características, quanto nossos recursos naturais, representados pelos recursos minerais, solo, água, mar e ar.

Assim, o mesmo ministério que se encarregue de dar destino e agregar valor aos nossos recursos minerais deve preocupar-se também com a preservação dos nossos biomas e da nossa biodiversidade.

Da mesma forma, sugere-se a criação de um Ministério da Segurança Nacional, que abriga tanto a área da defesa, que em geral está associada à segurança militar, quanto a segurança pública, que envolve a segurança civil dos cidadãos, bem como as seguranças hídrica, alimentar, saúde, energética etc.

Sugere-se, ainda, a criação de um Ministério do Desenvolvimento, Economia e Integração Nacional, no entendimento de que as economias devem estar a serviço do nosso desenvolvimento social como nação, e que esse desenvolvimento deve, obrigatoriamente, contemplar a integração nacional, para que todas as regiões sejam igualmente atendidas nas suas necessidades e ambições econômicas e sociais.

Pode-se destacar também a criação do Ministério dos Alimentos, Agricultura e Pecuária, dentro do entendimento de que agricultura e pecuária sustentáveis abrigam, necessariamente, preocupações com a integridade da nossa cadeia alimentar e dos nossos nutrientes. Os demais ministérios sugeridos na figura 1 também foram propostos dentro dessa visão integrativa que abriga a atuação de cada pasta.

A centralidade do Ministério da C&T e sua posição acima dos demais ministérios pressupõe que, em cada ministério específico, exista a figura do conselheiro estratégico em CT&I (note-se a inclusão da inovação) e de um conselho em CT&I que atue conjuntamente com o Ministério da C&T.

Dessa forma, as políticas públicas serão desenhadas com o aporte do conhecimento científico e tecnológico correspondente à área de atuação da pasta. O conselho em CT&I de cada ministério atuará conjuntamente ao Ministério da Ciência e Tecnologia na coordenação das suas políticas de CT&I.

## Estruturação do MCT

Hoje, o Ministério da CT&I abriga grande variedade de instituições, cuja governança torna-se difícil de ser efetivada por causa do seu grande número, diferença de missões e características. São exemplos das organizações que integram o MCTI: as unidades vinculadas, como o Museu Emílio Goeldi, o Centro de Tecnologia Mineral (Cetem), o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), o Observatório Nacional (ON); as fundações, como o CNPq; as empresas públicas, como a Finep; as agências, como a AEB; as organizações sociais, como a Embrapii, o IMPA e o CNPEM.

Adicionalmente, por meio dos seus diversos programas, o ministério lida com grande número de áreas e organizações de ciência e tecnologia. Exemplos incluem a centena de INCTs; a centena de projetos de incubadoras e parques tecnológicos; as centenas de instituições que integram as redes do Sistema Brasileiro de Tecnologia (Sibratec); as inúmeras redes de pesquisa, como o Sistema de Laboratórios em Nanotecnologia (SisNano); a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima), esta formada por 16 outras sub-redes; Rede Nordeste de Biotecnologia (RenorBio); BioNorte (rede que congrega instituições da Amazônia Legal, com foco na biodiversidade e biotecnologia); Rede Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Assistiva (NPDTA), composta por 54 instituições; as diversas plataformas, como o SiBBr (plataforma *on-line* que integra dados e informações sobre a biodiversidade e os ecossistemas, composta por 158 instituições; o Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas (SBRT), serviço de informação criado para atender as necessidades tecnológicas de micro e pequenas empresas, bem como de empreendedores de todo o país.

Tal diversidade de organizações, sistemas e plataformas dificulta uma governança integrada do sistema nacional de CT&I e impede que políticas e diretrizes públicas sejam implementadas e acompanhadas com eficiência.

Além das instituições diretamente vinculadas ao MCTI, há centenas de outras organizações estaduais, municipais e privadas que abordam a ciência e a tecnologia no país. São museus e centros de ciência, zoológicos, jardins botânicos, planetários e aquários. A última edição do *Guia de Centros e Museus de Ciências do Brasil* cataloga 268 dessas organizações [2]. Tais organizações estão envolvidas com a popularização da ciência e cumprem importante papel nesse

sentido. Apesar desse aparente elevado número, são muitas as regiões do país que carecem de equipamentos de promoção da ciência.

Como forma de melhorar a governança, propõe-se que as diversas instituições e unidades vinculadas e associadas ao proposto Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) sejam organizadas em alguns poucos grupos, a exemplo do que ocorre na Alemanha, onde as organizações de ciência e tecnologia estão agrupadas nas seguintes associações: Sociedade Max Planck, Sociedade Fraunhofer, Associação Helmholtz e Associação Leibniz. De certa forma, tal modelo já existe, no atual MCTI, na Embrapii, que tem similaridade com a Sociedade Fraunhofer.

A Embrapii é uma organização social que tem 76 unidades, que operam de forma autônoma e independente, mas que prestam contas dos seus projetos patrocinados à Embrapii. Por sua vez, a Embrapii tem forte presença nas suas unidades, faz acompanhamento detalhado das mesmas e as avalia periodicamente para corrigir rumos e garantir seus credenciamentos.

Tal modelo possibilita que a Embrapii cumpra com sucesso sua missão, que é fomentar a inovação na indústria brasileira. Ao longo dos seus oito anos de atuação, 1.124 empresas já realizaram 1.633 projetos com as unidades Embrapii, totalizando R\$ 2,3 bilhões de investimentos [3], como foi detalhado no capítulo 11.

Um primeiro agrupamento das 24 unidades vinculadas ao MCT em três ou quatro grandes grupos já possibilitaria melhor governança e coordenação. Por exemplo, o Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM), o Instituto Nacional da Mata Atlântica (INMA), o Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA), o Instituto Nacional de Pesquisa do Pantanal (INPP), o Instituto Nacional do Semiárido (INSA) e o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) atuam com foco no meio ambiente e poderiam operar com uma única governança, sem prejuízo para suas individualidades e autonomias.

Da mesma forma, a centena de INCTs existentes poderia ser dividida em grandes áreas (saúde, energia, nanotecnologia etc.), e cada área poderia ter uma governança que representaria seus respectivos INCTs perante o CNPq e o atual MCTI. Observe-se que, atualmente, os INCTs interagem com o CNPq por meio de cada um dos seus coordenadores, o que dificulta a definição de diretrizes, prejudica a governança do programa e impede a negociação de demandas específicas vinculadas à operacionalização dos recursos.

No presente, aumenta a expectativa de que muitos dos INCTs possam ter seus orçamentos ampliados por captação própria de recursos. Cresce também a ideia de que os INCTs sejam estimulados a ampliar suas parcerias com o setor industrial ou mesmo que se tornem unidades Embrapii. A implantação de tais diretrizes seria enormemente facilitada se INCTs que atuam em áreas correlatas estivessem abrigados sob uma mesma governança.

Pelo exposto, verifica-se que uma maior articulação da política nacional de ciência, tecnologia e inovação é necessária para que a estrutura do ministério que abriga a ciência e a tecnologia seja revista. Da mesma forma, a implantação efetiva de uma política de integração de pesquisa, desenvolvimento e inovação com capilaridade e impacto em todos os setores da sociedade pressupõe que a importância do ministério cresça junto ao governo federal.

## Prioridades do Ministério da Ciência e Tecnologia

Um ministério com a importância e a complexidade do proposto MCT, e que tenha a ambição de influir na atuação dos demais ministérios para que ciência e tecnologia possam nortear as políticas de governo e de Estado, precisa atuar em diferentes níveis estratégicos. No âmbito das iniciativas de PD&I, recomenda-se que os projetos do ministério estejam alinhados com os seguintes três grandes eixos:

1. **Projetos estratégicos orientados a missões.** Grandes projetos executados como encomendas tecnológicas, cujo objetivo é vencer importantes e estratégicos desafios tecnológicos. Exemplos desses projetos incluem, entre outros, tecnologias aeronáuticas, aproveitamento de energias renováveis, plataformas submarinas de petróleo, transporte rápido em larga escala e a grandes distâncias.
2. **Programas nacionais estruturantes.** Caracterizam-se como programas nacionais de grande abrangência e amplitude, cujo objetivo é levar para as diferentes regiões do país tecnologias impactantes e transformadoras. Exemplos desses programas incluem, entre outros, biorrefinarias, cidades sustentáveis, aproveitamento de recursos marinhos, agregação de valor à biodiversidade.



- 3. Desenvolvimento regional com sustentabilidade.** Esse eixo de atuação tem grande capilaridade e foca em todos os municípios nacionais, com o objetivo de agregar valor a partir das características e potencialidades locais. Nesse programa, a ciência e tecnologia estarão presentes em cada um dos municípios, atuando em projetos específicos focados nas realidades locais, visando ao empoderamento regional.

## Fundações estaduais de amparo à pesquisa

Um importante braço do Sistema Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação (SNCTI) abriga as fundações estaduais de amparo à pesquisa (FAPs). Hoje, todos os estados da Federação e o distrito federal têm suas respectivas fundações. A primeira FAP foi a do estado de São Paulo, criada em 1960, e a última foi a do estado de Roraima, criada em 2022.

Em 2006, foi criado o Conselho Nacional das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (Confap), que congrega as 27 FAPs e articula os interesses das agências estaduais de fomento à pesquisa científica, tecnológica e de inovação e as representa com os demais atores do SNCTI e em parcerias internacionais. A criação do Confap contempla o agrupamento das nossas agências estaduais de P&D em uma única entidade, conforme recomendado anteriormente para nossas instituições de CT&I.

As FAPS têm um papel de grande importância na diversidade das políticas locais e regionais, bem como na descentralização, integração e articulação do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação. É por meio das FAPs que nossas agências nacionais, como CNPq, Capes e Finep, podem articular com legitimidade as ações federais e estaduais em prol da CT&I. Atuam também como agentes operacionais que apoiam, formulam, implementam e desenvolvem regionalmente ciência, tecnologia e inovação.

Por conhecerem com propriedade as realidades estaduais, as FAPs atuam de forma singular na criação e implementação de programas regionais de CT&I. Por meio de convênios, as FAPS executam parte do orçamento federal, mas contam com orçamento próprio institucionalizado nas constituições estaduais, gerando o compromisso dos estados no fomento da CT&I.

A necessária articulação entre o governo federal e os estados para uma bem-sucedida política de integração em PD&I requer o fortalecimento das FAPs e o comprometimento dos governos estaduais com políticas claras de apoio à CT&I. Há vários exemplos exitosos de programas nacionais que se fortaleceram pela bem-sucedida articulação entre as agências nacionais e as FAPs. Entre outros, destaca-se o Programa Institutos Nacionais de Ciência, Tecnologia e Inovação INCTs).

## REFERÊNCIAS

- [1] A Importância da ciência como política de Estado para o desenvolvimento do Brasil. Documento da ABC aos candidatos à Presidência do Brasil (2022).
- [2] *Guia dos Centros e Museus de Ciência do Brasil* (2015). <http://abcmc.org.br/abcmc/wp-content/uploads/2020/09/Guia-Centros-e-Museus-2015-baixa-resolu%C3%A7%C3%A3o-divulga%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- [3] J. A. Guimarães. *Situação da pesquisa no Brasil: Ampliação da infraestrutura e das competências visando a maior integração da ciência com as demandas do setor industrial* (2022).

O livro faz um diagnóstico preciso de nossa sociedade e propõe possíveis caminhos para aprimoramentos da estrutura socioeconômica brasileira. Os pilares são educação, desenvolvimento científico e redução de desigualdades sociais. Entre as áreas analisadas, estão: Bioeconomia, Agronegócio, Transição Energética, Saúde e Bem-Estar, Transformação Digital. O texto não faz somente um diagnóstico preciso e cuidadoso, mas arrisca a receitar “como dar o passo adiante”. A obra é audaciosa, criativa e tem sólido embasamento em toda a sua narrativa. Propõe construir um Brasil moderno e inclusivo e levanta problemas estruturais cuja solução tem de ser discutida por toda a sociedade. Foca na ciência e tecnologia, que já demonstraram capacidade de resolver grande parte dos problemas de nossa sociedade, propondo a geração de mais conhecimentos e um processo de transformação destes conhecimentos em prosperidade sustentável para toda a sociedade. Mostra que isso é possível. Temos os recursos para tal transformação. O livro conclama a sociedade brasileira a sair à luta pela construção de uma sociedade justa e sustentável.

**Paulo Artaxo**

Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Vice-Presidente da SBPC

O livro traz um apanhado claro, sintético e, ao mesmo tempo, profundo sobre o pensamento de algumas das principais cabeças que influenciam a evolução do pensamento brasileiro sobre o assunto. Ele marca a conclusão da exitosa gestão do professor Jorge Guimarães à frente da EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial, onde, como não poderia deixar de ser teve o mesmo sucesso anterior quando chefiou a CAPES: com poucos recursos muito fez. A obra discorre sobre uma incrível multiplicidade de temas: combate à doenças, transição energética, digitalização da infraestrutura, produtividade e outros. Há também a preocupação com as possíveis aumentos de assimetria social devido à sua introdução, lembrando que a solução não é evitar as inovações, mas sim fazê-las melhor. Para completar, enfatiza-se a importância da compreensão do funcionamento do aparato público de suporte à inovação ao se apresentar o mecanismo de articulação da política de Integração de PD&I.

**Carlos Ivan Simonsen Leal**

Presidente da Fundação Getúlio Vargas

**Q**uero saudar a iniciativa da EMBRAPIL de reunir uma excelente equipe de cientistas para elaborar este ótimo documento nesta hora crucial para o País. O livro apresenta uma análise abrangente do cenário da Ciência e Tecnologia (C&T) no Brasil e sua evolução histórica, trata de temas estratégicos para nosso desenvolvimento sustentável e apresenta propostas para que C&T contribuam de maneira mais decisiva para nosso progresso. Certamente ele será muito útil para os novos governantes.

**Sergio Machado Rezende**

Professor Emérito da UFPE, Ministro de C&T no período 2005-2010

**E**ste livro é um trabalho de impacto e síncrono com o momento que vivemos. Mostra a importância do conhecimento científico e tecnológico e vias possíveis de suas consolidações no desenvolvimento do Brasil, e ressalta a importância de como aplicar estas conquistas na minimização das desigualdades sociais. Uma obra de convergências de especialidades e de especialistas de competências reconhecidas. Escrita de maneira clara, fluente, inspiradora e principalmente crível ao leitor. Dividido em três partes, esta obra expõe a realidade brasileira e as expectativas para o futuro; avalia estratégias para o desenvolvimento sustentável, com ênfase à Bioeconomia, a nova ciência; e resume o que já se avançou no Brasil, sugerindo os próximos passos. Este livro interessa aos brasileiros, aos estudiosos do Brasil, e à comunidade empresarial, pois mostra o que somos e o que poderemos ser... se realmente desejarmos.

**André Clark**

VP LATAM da Siemens Energy. Membro do Conselho Empresarial pela Inovação (MEI/CNI)