

Coisas que se pode aprender sobre CT&I no Brasil pela análise das publicações científicas com autores no país

Carlos Henrique de Brito Cruz

resumo

No presente trabalho usamos informações sobre publicações científicas com autores no Brasil para analisar algumas características do sistema de CT&I e identificar oportunidades para melhorar as políticas para ciência, tecnologia e inovação no país. Abordamos variações temporais nas tendências, de forma que o leitor possa observá-las à luz do histórico das políticas e condições do sistema de CT&I. Analisamos as taxas de crescimento do conjunto de publicações, as contribuições do setor acadêmico e empresarial, as contribuições regionais e a participação em termos de áreas de pesquisa e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Entre as observações, destacamos a debilidade do esforço de P&D em empresas, o que limita a capacidade para estabelecer parcerias com universidades (mesmo que essas colaborações venham crescendo), e o lento aumento do impacto de citações do conjunto de publicações do país.

Palavras-chave: CT&I; setor acadêmico e empresarial; publicações brasileiras.

abstract

In the present work we use information about scientific publications with authors in Brazil to analyze some characteristics of the ST&I system and identify opportunities to improve policies for science, technology and innovation in the country. We address temporal variations in trends so that the reader can observe them in light of the history of policies and conditions in the ST&I system. We analyze the growth rates of the publication set, contributions from the academic and business sector, regional contributions and participation in terms of research areas and the Sustainable Development Goals. Among the observations, we highlight the weakness of the P&D effort in companies, which limits the ability to establish partnerships with universities (even if these collaborations are growing), and the slow increase in the impact of citations from the set of publications in the country.

Keywords: ST&I; academic and business sector; Brazilian publications.

O

progresso do conhecimento requer comunicação entre os pesquisadores. A comunicação acontece de muitas formas, e uma das mais tradicionais e efetivas é a comunicação de resultados, ideias, hipóteses e seus testes em publicações científicas.

Em geral se reconhece que a primeira implementação de um periódico científico com seleção de trabalhos submetidos por pesquisadores, usando o sistema de revisão por pares que se tornou o padrão em boas revistas científicas, aconteceu na *Philosophical Transactions of the Royal Society*, por ideia de seu editor Henry Oldenburg, em 1665 (National Research Council (US) & Committee on Responsibilities of Authorship in the Biological Sciences, 2003).

A publicação de um trabalho científico, além de facilitar a comunicação com os pares, permite aos autores garantirem o reconhecimento da comunidade como cria-

dores dos resultados apresentados. Autoria e primazia são elementos de alto valor na comunidade científica, tendo o potencial para gerar importantes benefícios aos autores. Estes vão desde o reconhecimento, a consideração e estima dos colegas, até o aumento das chances de obter financiamentos à pesquisa ou promoções na carreira. Os benefícios não são sem sentido, pois a qualidade das ideias que a pessoa teve no passado é um dos indicadores de que poderá ter outras boas ideias no futuro ou, no mínimo, indicação de que domina certas técnicas e métodos relevantes para a descoberta científica em sua área. Como em quase toda atividade humana, a existência de benefícios em potencial pode, em certos casos, influenciar o comportamento dos envolvidos, que perdem o foco no progresso da ciência e na objetividade do trabalho e de seu relato, para buscar mais visibili-

CARLOS HENRIQUE DE BRITO CRUZ

é Professor Emérito da Unicamp e vice-presidente sênior de Redes de Pesquisa da Elsevier.

dade do que o que seria razoável. Casos de fraude em publicações têm sido observados, tendo levado a comunidade científica a buscar maneiras de evitar ou punir tais transgressões. Códigos de boas práticas em pesquisa quase sempre incluem seções referentes a publicações científicas. Um exemplo é o *Código de boas práticas científicas* da Fapesp, que trata de temas como autoria, responsabilidade de cada coautor, precisão, originalidade, entre outros (Fapesp, 2014).

Os periódicos científicos facilitam a circulação das ideias e, os mais considerados pela comunidade científica, zelam ativamente e cuidadosamente por um processo de revisão por pares e edição. O número de periódicos qualificados tem crescido e, ao mesmo tempo, houve um crescimento no número de periódicos de baixa qualidade, muitas vezes designados como “periódicos predatórios”. O número de publicações científicas também tem crescido rapidamente e é estimado em torno de 5% por ano desde 1952 (Bornmann et al., 2021), o que significa, aproximadamente, duplicação a cada 14 anos. Para o ano 2021 a base bibliométrica Scopus informa 3.870.283 publicações, enquanto para o ano 2000 informa 1.312.145.

O crescimento no número de publicações qualificadas e o advento da internet e da rede mundial trouxeram a oportunidade para a criação de bases de dados eletrônicas sobre artigos científicos, ou bases bibliométricas. Estas bases facilitam para os pesquisadores a busca de publicações de seu interesse, trazendo, além das informações bibliográficas (referência bibliográfica completa), dados sobre as referências citadas, palavras-chave, agências financiadoras reconhecidas, afiliação institucional dos autores e resumo da publicação (Baas et al., 2020; Guerrero-Bote

et al., 2021; Visser et al., 2021). Em alguns casos se oferece informações como relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, citações em patentes, menções na mídia e em redes sociais.

Com essa riqueza de informações, essas bases de dados, além de servirem aos pesquisadores para consultas sobre suas pesquisas, passaram a ter utilidade para se obter informações sobre a capacidade em ciência e tecnologia (C&T) de instituições ou regiões e, conseqüentemente, tornaram-se úteis para planejamento de políticas para ciência, tecnologia e inovação (CT&I). Um exemplo é o trabalho sobre o itinerário geográfico de pesquisadores: como as publicações trazem a afiliação institucional de cada autor, pode-se seguir a carreira de conjuntos de pesquisadores, que foi o que fizeram Plume, Aisati e Moed (Moed et al., 2013) tendo como foco Alemanha, Itália, Holanda e Reino Unido, mas analisando em cada caso o fluxo vindo de, e indo para, vários países, incluindo o Brasil. El-Ouahi, Robinson-García e Costas (2021) usaram metodologia similar para estudar o caso do Norte da África e Oriente Médio. Outros autores analisaram importantes aspectos das publicações científicas com autores no Brasil e este artigo busca adicionar ao que antecessores discutiram. McManus e colegas analisaram onde autores no Brasil publicam e seu interesse pelas opções de acesso aberto (McManus et al., 2020) e aspectos da colaboração internacional e financiamento (McManus et al., 2020; McManus & Baeta Neves, 2021). Chaimovich e Leta analisaram em detalhes o efeito da colaboração internacional na visibilidade das publicações com autores no Brasil (Leta & Chaimovich, 2002).

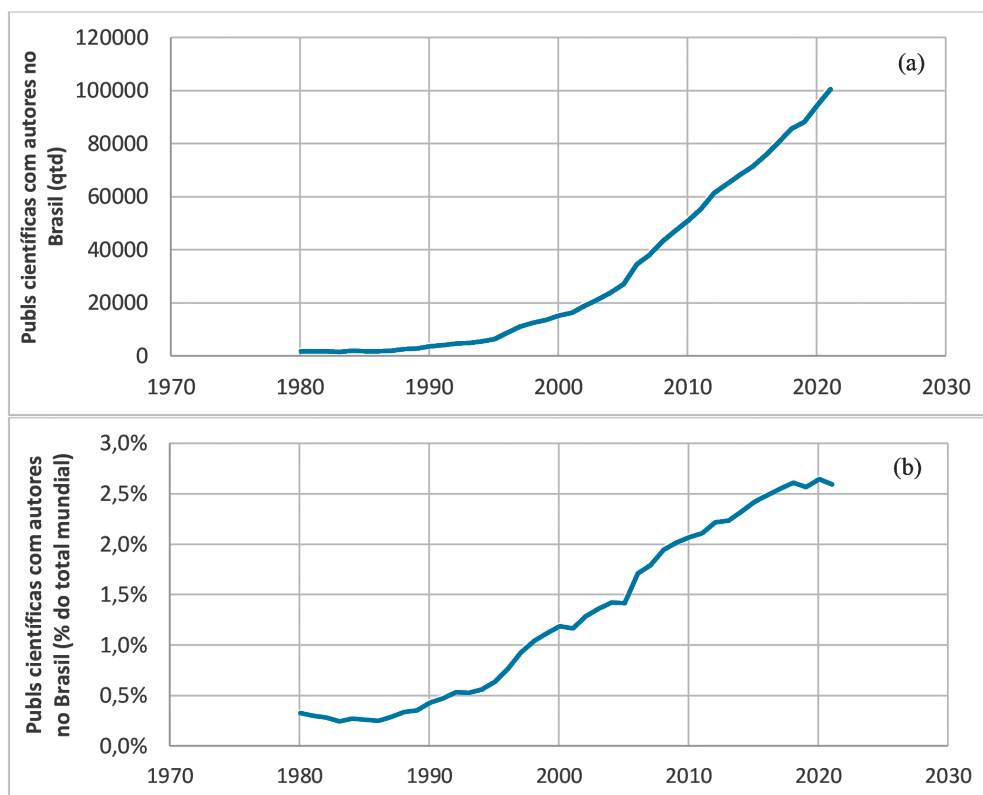
Ao lado de enorme utilidade para estudos sobre ciência e tecnologia, as bases de dados bibliométricos têm sido algumas vezes usadas de forma equivocada para muitas atividades de avaliação de pesquisadores e instituições de pesquisa. Há importantes documentos recomendando diretrizes para tais avaliações, como os manifestos *Dora (Declaration on Research Assessment)* (ACSB and multiple signers, n.d.) e o *Manifesto de Leiden* (Hicks et al., 2015). O tema “Responsabilidade na Avaliação de Pesquisa” tornou-se objeto de intensas discussões e há alguns consensos já bem definidos. Um deles é que para avaliação de qualidade de pesquisa não se devem usar indicadores relacionados às revistas, como Fator de Impacto ou listas de revistas, sendo essencial apreciar as propriedades dos artigos em si. Outro consenso é que o uso de indicadores precisa ser cuidadoso para levar em conta a idade cronológica e acadêmica dos pesquisadores e recomenda-se usar uma “cesta” de indicadores e não um único. Os *rankings* de universidades também precisam ser vistos com prudência e, no Brasil, há uma excelente iniciativa fazendo justamente isso, o Projeto Métricas (*Metrics.Edu – University Performance and International Comparison*, n.d.), que tem auxiliado inúmeras universidades a desenvolverem e sofisticarem seu uso de métricas e indicadores, não de forma reflexa, movidas pelo mais recente *ranking* anunciado, mas sim de forma estratégica, a serviço do melhor conhecimento sobre a instituição e de seu planejamento. McManus e colegas apresentaram recentemente uma análise de aspectos relevantes sobre a complexidade de se usar métricas e indicadores para avaliações de instituições acadêmicas (McManus et al., 2021).

No presente trabalho usamos informações sobre publicações científicas com autores no Brasil para analisar algumas características do sistema brasileiro de CT&I. Buscamos ilustrar alguns pontos em que o conjunto de publicações permite conhecer mais detalhes sobre como melhorar as políticas para ciência, tecnologia e inovação no país. Abordamos variações temporais nas tendências, de forma que o leitor possa observá-las à luz do histórico das políticas e condições do sistema brasileiro de CT&I. Começamos com uma análise das taxas de crescimento do conjunto de publicações, as contribuições do setor acadêmico e empresarial, e com informações sobre as contribuições regionais e a participação em termos de áreas de pesquisa e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Em seguida tratamos dos dados sobre coautoria internacional, destacando os principais países dos coautores e as mudanças ocorridas desde 1980. Na sequência apresentamos a análise de alguns elementos de impacto das publicações, considerando três dimensões: impacto científico e cultural, impacto social e impacto econômico. Finalmente, apresentamos uma conclusão com 14 pontos de destaque.

AS PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS COM AUTORES NO BRASIL

100.875. Este foi o número de publicações científicas com autores no Brasil, no ano 2021, encontradas na base bibliográfica Scopus. Em 1980 foram 2.185 e em 2000 foram 15.642. Como se mostra na Figura 1 (a), a fase com crescimento mais acelerado acontece a partir de 1995 (+14% por ano até 2008), seguida de uma fase com

FIGURA 1



(a) Número de publicações científicas com pelo menos um autor no Brasil, de 1980 a 2021. Foram consideradas publicações de todos os tipos. Do total, 78% são artigos publicados em periódicos científicos, 11% são artigos em conferências científicas e 5% são artigos de revisão (Fonte: consulta à Scopus, Elsevier, em 16/7/2022); (b) Participação das publicações com autores no Brasil no total de publicações científicas do mundo (Fonte: consulta à Scopus, Elsevier, em 16/7/2022)

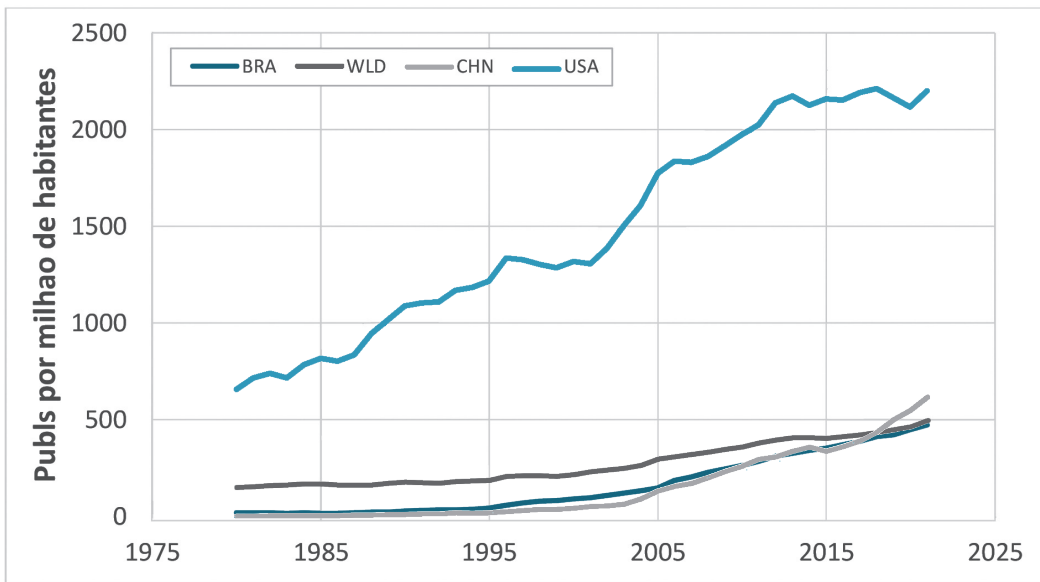
taxa de crescimento menor (+4% por ano) a partir de 2010.

A produção científica mundial vem crescendo rapidamente ao mesmo tempo. Em 2021 o número de publicações no mundo foi 3.871.895, de forma que a produção no Brasil representou 2,6% do total mundial. Este percentual é bem superior ao 0,4% de 1990, mas a evolução temporal mostra que pode haver razões para preocupação, tendo em vista a diminuição da taxa de crescimento do percentual observado a partir de 2018 (Figura 1).

A análise do crescimento relativo entre países precisa também levar em conta o

tamanho de cada país, por exemplo, considerando-se o número de publicações em relação à população. Isso é mostrado na Figura 2, onde se observa que o número de publicações científicas *per capita* do Brasil parece ter convergido com a curva da média mundial, estando em torno de 470 publicações por milhão de habitantes. Nos Estados Unidos a razão publicações por milhão de habitantes em 2021 foi 2.211 e na China, 524 por milhão (em 1972 o valor *per capita* nos Estados Unidos era 414 por milhão). Na Figura 2, chama a atenção como a curva de publicações por milhão de habi-

FIGURA 2



Razão entre número de publicações científicas e população para o Brasil e para o mundo. A curva verde (eixo à direita) mostra a razão entre o valor *per capita* do mundo e o do Brasil

tantes da China vinha evoluindo de forma similar à do Brasil até 2017, tendo as duas tendências se separado a partir daí, com a tendência chinesa superando o crescimento brasileiro a partir deste ano.

As 25 entidades com maior número de publicações

A Tabela 1 mostra as 25 entidades com maior número de publicações nos triênios 1999 a 2001 e 2019 a 2021. No triênio 1999-2001, as 25 entidades com mais publicações responderam por 76% do total de publicações com autores no Brasil. Vinte anos depois, as 25 entidades com mais publicações responderam por 72% do total, indicando que, embora tenha havido alguma redução na concentração, o resultado foi pequeno nessa direção. Como referência internacional,

pode-se considerar que nos Estados Unidos as 25 entidades com mais publicações no triênio 2019-2021 responderam por 27% dos 2.149.767 de publicações com autores no país.

Publicações científicas com autores em empresas no Brasil

Empresas que têm atividades de P&D valorizam a publicação de resultados em artigos ou conferências científicas (Herwald, 1962; Kinney et al., 2004; Li et al., 2015a, 2015b; Rotolo et al., 2022). Essas publicações ajudam os pesquisadores das empresas a se comunicarem com seus pares em outras organizações, especialmente as de natureza acadêmica, ganham para a empresa benefícios em reputação e podem servir para que a empresa estabeleça domínio de “arte anterior” para efeito de defesa ou criação de

TABELA 1

As 25 entidades com maior número de publicações nos triênios 1999-2001 e 2019-2021

1999-2001		2019-2021	
USP	10552	USP	51874
Unicamp	4393	Unesp	18962
UFRJ	4007	Unicamp	18026
Unesp	2759	UFRJ	16721
UFMG	2089	UFRGS	14749
UFRGS	2081	UFMG	14540
Unifesp	1366	Unifesp	10369
Fiocruz	1202	UFSC	10200
UFSC	1180	UFPR	9307
UFSCAR	1173	UNB	8936
Embrapa	987	Fiocruz	7517
UFPR	928	UFF	6999
UERJ	926	UFSCAR	6837
UFPE	899	UFPE	6695
UFF	875	UFC	6461
UNB	827	UFBA	6139
UFV	725	UFSM	6034
PUCRJ	710	UFRN	5996
CBPF	631	UFV	5976
UFC	600	UERJ	5834
UFBA	533	UFG	5409
UEM	528	UFPB	5306
UFPB	522	Embrapa	4886
Inpe	496	UTFPR	4628
UFSM	442	UFPA	4566

Fonte: Elsevier Scopus

barreiras a patentes de concorrentes (Rosenberg, 1989). McMannus e colegas analisaram publicações de autores em entidades não acadêmicas em vários países (McManus et al., 2021) mostrando que tais publicações podem encontrar boa visibilidade e bom impacto de citações em patentes.

A importância de as empresas realizarem atividades próprias de P&D, inclusive em pesquisa básica, fica evidenciada por

Arora e colegas (Arora et al., 2019), que mostraram que, nos Estados Unidos, a divisão de trabalho estabelecida nos últimos 30 anos entre universidades, dedicadas à pesquisa, e empresas, dedicadas ao desenvolvimento tecnológico, prejudicou o avanço da produtividade no país, tornando mais lenta a transformação do conhecimento em novos produtos e processos. Os autores destacam que “pequenas empresas

TABELA 2

Empresas no mundo com maior número de publicações científicas no período 2012-2021

Empresa	País	Publics.	FWCI
State Grid Corporation of China	China	28915	0,64
IBM	United States	28464	1,95
Microsoft USA	United States	20300	3,65
Samsung	South Korea	20093	1,38
Sinopec	China	18364	0,56
China National Petroleum Corporation	China	17141	0,58
Pfizer	United States	13200	2,13
Alphabet Inc.	United States	12997	5,28
Nippon Telegraph & Telephone	Japan	12916	1,17
GlaxoSmithKline	United Kingdom	12744	2,15

A última coluna mostra o indicador de impacto de citações ponderado por área
 Fonte: Elsevier, SciVal

e escritórios de transferência de tecnologia não podem substituir completamente a pesquisa corporativa, que tinha integrado múltiplas disciplinas na escala necessária para resolver problemas técnicos significativos” (Arora et al., 2019).

A Tabela 2 mostra a quantidade de publicações, no período 2012-2021, e o Impacto de Citações Ponderado por Área (FWCI) para as dez empresas com maior número de publicações no mundo. Para referência, pode ser útil considerar que a empresa com maior número de publicações no Brasil é a Petrobras, que no mesmo período teve 4.122 publicações (Tabela 3). A análise das publicações com autores em empresas pode contribuir para o entendimento de forças e fraquezas em sistemas nacionais de inovação (Choi & Lee, 2022; Krieger et al., 2021; Salimi et al., 2015).

No Brasil, em 2000, as publicações com autores na Petrobras foram 55% das publicações com autores em empresas no Brasil; em

2021 esse percentual caiu quase à metade, foram 31%. O crescimento da capacidade de P&D de forma mais disseminada no tecido empresarial é essencial para aumentar a “capacidade absorviva” em um maior número de empresas e aumentar a competitividade.

As publicações com autores em empresas no Brasil representam, no período 2012 a 2021, 0,9% do total de publicações científicas com autores no país, enquanto na Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido o percentual é, respectivamente, 4,3%, 5,9% e 3,0%. Em 2012 o percentual para a China era 2,4% e em 2021 chegou a 3,2%. No Brasil a tendência é inversa: em 2012, 1,0% das publicações tinha autores em empresas e em 2021, 0,8%. Por outro lado, no Brasil e na Coreia do Sul, a presença de coautores de universidades nos trabalhos com autores em empresas acontece em, respectivamente, 76,9% e 79,8% dos casos. Nos Estados Unidos, China e no Reino Unido, entre os artigos com autores em empresas,

TABELA 3

As dez empresas no Brasil com maior número de publicações científicas no período 2012-2021

Empresa ou entidade privada não acadêmica	País	Publics.	FWCI
Petrobras	Brasil	4122	0.80
Centro de Pesq. e Desenv. em Telecomunicações	Brasil	617	1.04
Fleury	Brasil	569	1.03
Embraer	Brasil	465	0.86
Vale S.A.	Brasil	366	1.09
Fundo de Defesa da Citricultura	Brasil	166	0.73
Suzano Group	Brasil	155	1.35
Fibria	Brasil	113	0.70
Braskem	Brasil	108	0.59
Votorantim S.A.	Brasil	95	0.58

A última coluna mostra o indicador de impacto de citações ponderado por área
Fonte: Elsevier, SciVal

os percentuais de coautoria com universidades são mais baixos, respectivamente 66%, 68% e 66%. Na Índia é ainda menor, 50%.

AS PUBLICAÇÕES SEGUNDO OS ESTADOS ONDE TRABALHAM OS AUTORES

A Figura 3 mostra a evolução no número de publicações entre 2000 e 2020, segundo o estado em que se sediam os autores. Mesmo que a quantidade de publicações em cada estado cresça no período, pode-se observar que há uma tendência à desconcentração da produção científica, à medida que para os estados com o maior número de publicações, São Paulo e Rio de Janeiro, o percentual sobre o total tem decrescido. Nos demais estados os percentuais têm crescido.

Considerando-se a quantidade de publicações por habitante, como mostra a Figura 4, verifica-se que, além da dispersão ser bem

menor do que a observada para o número de publicações, a ordem dos estados sofre alterações. O Distrito Federal é a UF com maior número de publicações por habitante, seguido pelo Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo.

DISTRIBUIÇÃO SEGUNDO AS ÁREAS DO CONHECIMENTO OU TÓPICOS

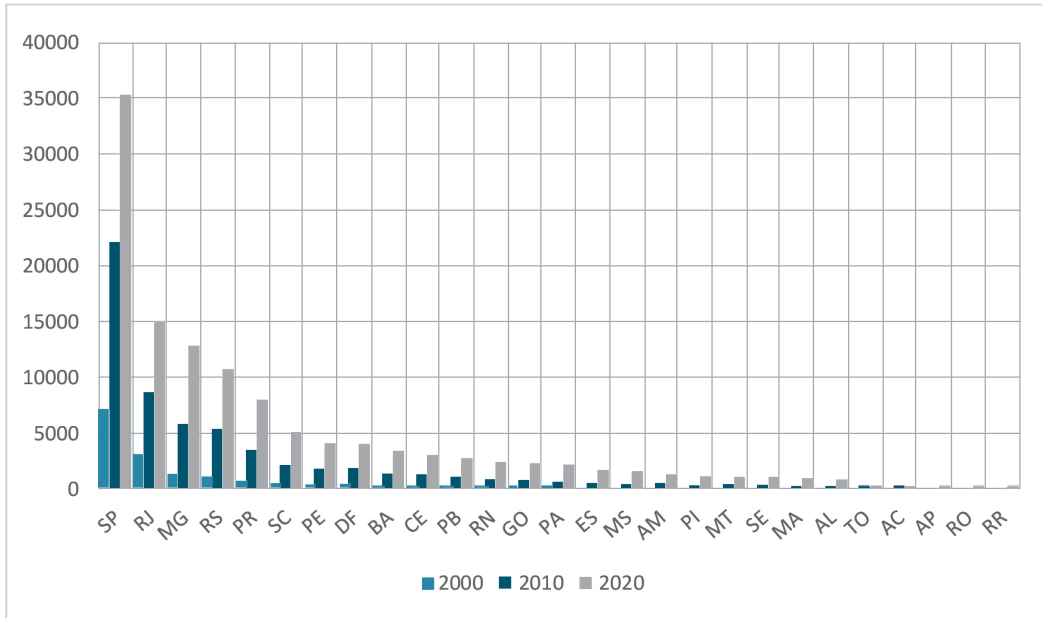
Áreas do conhecimento

A Tabela 4 mostra a distribuição das publicações com autores no Brasil segundo as 27 áreas da Classificação para Todos os Periódicos Científicos (ASJC) usada na base bibliométrica Scopus¹ (Elsevier, 2022).

1 A classificação aplica-se aos periódicos, e não a cada publicação. Alguns periódicos são abrangidos por mais de uma categoria. Por isso a soma dos percentuais resulta maior do que 100%.

FIGURA 3

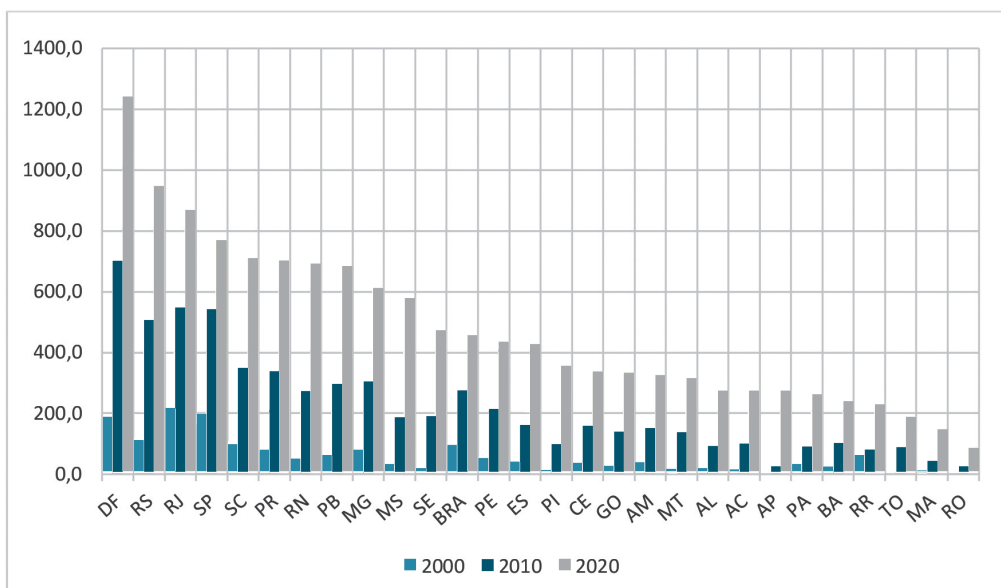
Publicações científicas (de todos os tipos) segundo as unidades federativas em 2000, 2010 e 2020



Fonte: Elsevier, SciVal

FIGURA 4

Publicações por habitante, segundo as unidades federativas, em 2000, 2010 e 2020



Fonte: Elsevier, SciVal e cálculos do autor

TABELA 4

Porcentual de publicações com autores no Brasil sobre o total do país, segundo as áreas do conhecimento, usando-se a Classificação para Todos os Periódicos Científicos, ASJC

	1980-81	1990-91	2000-01	2010-11	2020-21
Medicina	50.5%	38.3%	26.4%	27.3%	25.8%
Ciências Biológicas e da Agricultura	8.4%	7.3%	13.4%	19.1%	18.2%
Engenharia	4.8%	9.5%	13.9%	11.6%	12.0%
Bioquímica, Genética e Biol. Molecular	14.5%	17.7%	12.9%	10.1%	10.6%
Ciências Sociais	1.2%	1.4%	2.2%	5.5%	10.2%
Ciência Ambiental	2.7%	4.0%	4.0%	5.3%	9.7%
Ciência da Computação	1.3%	2.7%	7.1%	8.3%	8.9%
Física e Astronomia	15.8%	18.4%	19.3%	9.8%	8.2%
Química	7.4%	7.7%	10.6%	7.0%	7.3%
Ciência dos Materiais	5.5%	7.0%	11.2%	6.2%	6.6%
Matemática	5.0%	6.3%	7.0%	5.0%	5.7%
Ciências da Terra e Planetárias	3.2%	5.1%	4.0%	3.6%	4.9%
Imunologia e Microbiologia	7.1%	10.6%	5.8%	4.2%	4.5%
Engenharia Química	1.1%	2.1%	4.1%	3.1%	4.1%
Energia	0.6%	1.6%	2.8%	2.6%	3.5%
Farmacologia, Toxicologia e Farmácia	5.2%	9.0%	4.7%	3.7%	3.5%
Enfermagem	0.3%	0.4%	1.3%	2.7%	3.2%
Artes e Humanidades	0.5%	0.5%	0.7%	1.6%	3.1%
Veterinária	0.7%	0.9%	1.9%	3.7%	2.9%
Odontologia	0.4%	0.9%	1.7%	3.1%	2.5%
Neurociências	3.9%	7.7%	4.2%	3.0%	2.5%
Admin., Negócios e Contabilidade	0.1%	0.2%	0.6%	1.3%	2.4%
Multidisciplinar	0.2%	0.3%	1.0%	1.2%	2.3%
Profissões da Saúde	0.3%	0.5%	0.5%	1.6%	2.2%
Psicologia	0.8%	0.7%	0.6%	1.7%	2.0%
Ciências da Decisão	0.1%	0.4%	0.6%	1.0%	1.5%
Economia, Econometria e Finanças	0.3%	0.3%	0.4%	0.9%	1.4%

Fonte: Elsevier, 2022

No biênio 1980-1981 havia um predomínio das áreas de Medicina, Física e Astronomia e Bioquímica, Genética e Biologia Molecular. Em todas as áreas o número de publicações cresceu no período coberto pelos dados, mas a participação relativa se altera devido a taxas de crescimento dife-

renciadas. A área de Bioquímica, Genética e Biologia Molecular atingiu sua participação máxima em 1990, com 17,7%, caindo para 10,6% em 2020. Já a de Física e Astronomia teve participação crescente até 2000 (19,3%), tendo decrescido para 8,2% em 2020. A Medicina vem tendo sua participa-

ção reduzida desde 1980 (50,5%), chegando a 25,8% em 2020.

A área de Ciências Biológicas e da Agricultura teve participação mais do que duplicada, chegando a 18,2% do total em 2020, a segunda maior. A área de Engenharias, que era bastante reduzida em 1980 (4,8%), mais do que duplicou, para 12,0% em 2020. As áreas de Ciências Sociais, Ciências Ambientais e Ciência da Computação cresceram de percentuais em torno de 2% em 1980 para próximos de 10% em 2020, figurando agora entre as dez áreas com maior produção científica com autores no Brasil.

A produção científica com autores no Brasil e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas

Vem despertando interesse nos debates sobre políticas para ciência e tecnologia a classificação da pesquisa nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), definidos pela Organização das Nações Unidas em 2015². A base Scopus identifica as publicações relacionadas a cada ODS (Roberge et al., 2022). Após a aplicação da busca por termos, foi desenvolvido um algoritmo usando aprendizado de máquina para aperfeiçoar a busca em termos de precisão e abrangência (*recall*)³. Todas as buscas e a descrição do algoritmo estão documentadas e acessíveis publicamente (Rivest et al., 2021).

2 O histórico e a definição detalhada dos ODS estão apresentados pela ONU. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>.

3 Disponível em: <https://www.elsevier.com/about/partnerships/sdg-research-mapping-initiative>.

Para facilitar a comparação entre entidades ou regiões, define-se um Índice de Atividade Relativa (IAR) que normaliza a contagem em cada ODS com a contagem verificada para todas as publicações de todos os países constantes da Scopus. Um IAR igual a 1 para um ODS indica que a entidade em questão tem uma porcentagem de suas publicações dedicada ao ODS igual à porcentagem mundial.

A Figura 5 mostra o Índice de Atividade Relativa para as publicações com autores no Brasil nos anos 2012 e 2021, para cada ODS. Para o ano 2021, somente no ODS 7, Energia Limpa e Acessível, o IAR para o Brasil fica abaixo da média mundial. No ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 14 (Vida na Água) e ODS 15 (Vida Terrestre), o IAR das publicações com autores no Brasil fica acima do dobro da média mundial. No período houve também um aumento no IAR para o ODS 10 (Redução das Desigualdades).

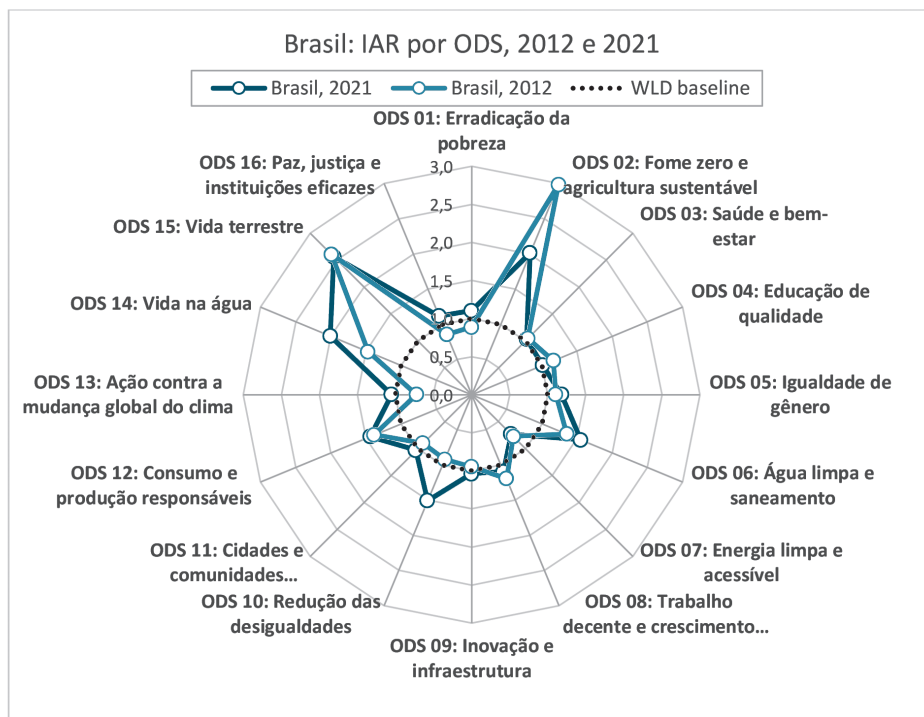
A Figura 6 mostra como duas das principais agências de financiamento à pesquisa nacionais aparecem em boa posição entre as dez mais reconhecidas em publicações assoadas ao ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 14 (Vida na Água) e ODS 15 (Vida Terrestre).

COAUTORIA INTERNACIONAL

A Figura 7 mostra que, em 2021, 41% das publicações com autores no Brasil incluíram autores de outros países. Houve um crescimento importante nas coautorias internacionais a partir de 2010, depois de um período de introversão da pesquisa no país, de 1996 a 2010.

FIGURA 5

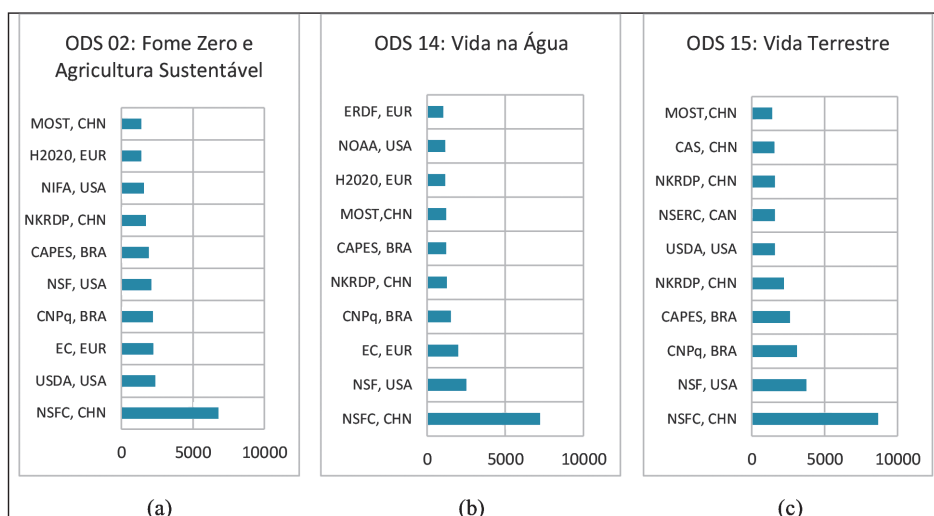
Índice de Atividade Relativa para cada ODS para as publicações com autores no Brasil nos anos 2012 e 2021



Fonte: Elsevier, SciVal

FIGURA 6

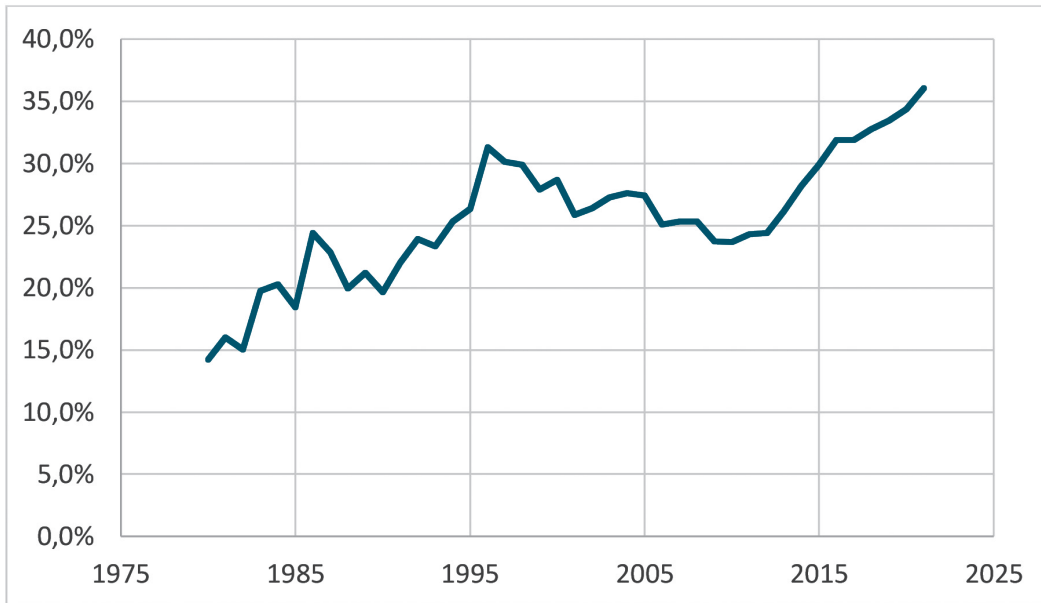
Posição do CNPq e Capes entre os dez principais financiadores de pesquisa reconhecidos em publicações no período 2018 a 2020 e associadas aos (a) ODS 2, (b) ODS 14 e (c) ODS 15



Fonte: Elsevier Scopus

FIGURA 7

Porcentagem das publicações com autores no Brasil que têm autores em outros países, 1980 a 2021



Fonte: Elsevier Scopus

O crescimento na internacionalização pode estar associado à ação de financiadores de pesquisa e universidades no Brasil buscando promover mais colaboração internacional (Zanotto et al., 2022), o que efetivamente aconteceu bastante, especialmente no período de 2007 a 2018. Além disso, é muito possível que a boa fase da economia brasileira no período até 2012 tenha atraído a atenção de colaboradores estrangeiros e de agências financiadoras de pesquisa de outros países.

A Figura 8 mostra a participação dos dez países com maior número de coautores no biênio 2020-2021, comparando com biênios desde 1980-1981. Predominam as colaborações com Estados Unidos e Reino Unido. As colaborações com a França atingiram um máximo no biênio 2000-2001, quando este país foi o segundo maior colaborador

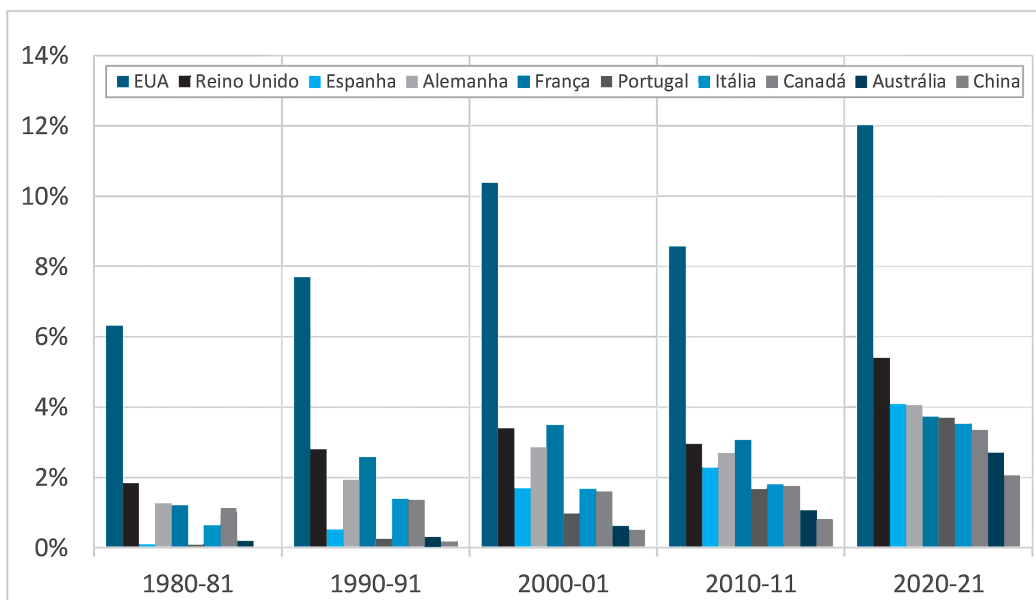
do Brasil, posição perdida em 2020-2021, quando a França foi superada por Reino Unido, Espanha e Alemanha.

A Espanha era 21ª em 1980-1981, passando a 3ª em 2020-2021; Portugal era 21º em 1980-1981 e passou para 6º em 2020-2021; a China era 51ª em 1980-1981 e chegou a 10ª em 2020-2021. Entre os países vizinhos, a Argentina era o 7º principal colaborador em 1980-1981, passando a ser o 15º em 2020-2021. Outro parceiro que perdeu relevância foi o Japão, passando de 8º no biênio 1980-1981 para 19º no biênio 2020-2021.

Por que desenvolver colaborações internacionais? A razão mais abrangente é que o progresso da ciência é mais rápido quando se incorpora ideias de mais pesquisadores capazes, e a colaboração intensifica o diálogo. Há um número muito maior de pes-

FIGURA 8

Porcentual das publicações com autores no Brasil com coautores nos dez países com mais coautores, por país e por período



Fonte: Elsevier Scopus

quisadores fora do Brasil do que no Brasil, portanto, a quantidade de ideias fora do Brasil é maior e conhecê-las e incorporá-las aos trabalhos feitos no Brasil ajudam muito. Chaimovich e Leta (2002) e Leta e Brito Cruz (2003) mostraram que mais coautoria internacional se correlaciona bem com maior número de citações para as publicações na literatura. Para além das métricas, o conceito é que o conhecimento avança mais e melhor quando mais cientistas contribuem. Nos países europeus, onde a interação tem sido muito estimulada, o porcentual de publicações com autoria internacional costuma ser acima de 50%. Por exemplo, em 2021, o porcentual de publicações com coautores fora do país foi de 64% para a Holanda, 60% para o Reino Unido, 58% para a França e 53% para a Alemanha. Nos Estados Unidos e China a

colaboração internacional é menos intensa, em parte porque as colaborações intranacionais predominam. Em 2021 o porcentual de coautorias no exterior para os Estados Unidos foi de 37% e para a China, de 21%.

Caveat: a existência de correlação entre colaboração internacional e impacto de citações não deve ser interpretada como significando que as colaborações causem o aumento do impacto. Pode muito bem ser o inverso: colaboradores escolhem parceiros que já tenham demonstrado impacto em publicações passadas. De forma análoga, cabe cuidado quanto à quantidade de colaborações. Não se sabe quanto seria o porcentual ideal de coautorias internacionais. Pode-se supor que, se um país ou região de dimensão média ou grande tem 100% das publicações em coautoria, pode-se questionar sua capacidade para fazer algo

sozinho. Inversamente, se o percentual for zero, o questionamento seria sobre o porquê de outros autores não quererem trabalhar em parceria, levantando dúvidas sobre a qualidade dos trabalhos.

Na definição de estratégias para incrementar a colaboração internacional buscando beneficiar o desenvolvimento do sistema de CT&I no Brasil, é desejável instigar colaborações em que:

- haja projetos de pesquisa completos, com duração de vários anos, concebidos, redigidos, apresentados e implementados conjuntamente, cofinanciados por agências no Brasil e nos países parceiros;
- os projetos que tenham grau de complexidade que justifique a parceria e que demonstrem potencial para terem competitividade internacional e impacto científico elevados; e
- a mobilidade de pesquisadores aconteça nas duas direções (para dentro do Brasil e para fora), incluindo pesquisadores experimentados além de, quando for o caso, estudantes e estagiários de pós-doutoramento, demonstrando um grau adequado de reciprocidade.

IMPACTOS DOS RESULTADOS DE PESQUISA

O debate sobre os impactos dos resultados de pesquisa em benefício da sociedade tem se intensificado mundialmente (*Nature*, 2017), especialmente nos últimos anos, embora o tema esteja em pauta há várias décadas (*Nature*, 1928). O Global Research Council tratou deste tema em sua reunião anual de 2019, que aconteceu em

São Paulo (Global Research Council, 2019). Há múltiplas dimensões para o impacto dos resultados de pesquisa em benefício da sociedade e, frequentemente, o debate acaba dominado pelos impactos de natureza econômica. Uma formulação sintética (Brito Cruz, 2010, 2013) sobre as dimensões do impacto e que abrange os vários benefícios considera três dimensões:

- 1) Impacto científico/cultural: trata da contribuição dos resultados da pesquisa para tornar a humanidade mais sábia, independentemente da aplicabilidade a curto, médio ou longo prazo do conhecimento criado. A “aplicação” considerada aqui seria melhorar a humanidade aumentando sua sabedoria, supondo que pessoas que sabem mais serão mais donas de seus desígnios e mais capazes de construir um futuro melhor. O impacto científico/cultural também se observa pela criação de ideias que levam à criação de mais ideias. Talvez por isto, essa dimensão de impacto tende a ser medida, com muitas deficiências, pelo número de citações que um resultado de pesquisa recebe nos trabalhos publicados por outros pesquisadores.
- 2) Impacto social: trata daqueles resultados que em curto ou médio prazo podem ajudar a criar melhores condições de vida para a sociedade. Podem ser ideias que informem, demonstrem a necessidade ou criem políticas públicas ou aumentem o benefício advindo de bens públicos. Podem também ser ideias que criem melhores protocolos e procedimentos para o tratamento de pacientes em hospitais. Em geral, trata-se aqui de ideias cuja apropriação privada é difícil, impossível ou, pelo menos, infrequente. Uma

maneira de se tentar aferir a intensidade dessa dimensão de impacto é buscar as referências a publicações científicas em documentos relacionados a políticas públicas, como relatórios que as orientem (p. ex., relatórios do IPCC, ou mesmo em peças de legislação).

- 3) Impacto econômico: trata-se aqui das ideias que ajudam a criar empresas ou novos negócios em empresas existentes. Tais ideias tendem a aumentar a competitividade da economia, podendo, em alguns casos (eletricidade, biologia molecular, energia nuclear), criar setores empresariais.

O entendimento e reconhecimento dos impactos dos resultados de pesquisa são obscurecidos pelo fato de dependerem de vários atores, além dos cientistas envolvidos em sua criação. Há mediadores essenciais. No caso do impacto científico/cultural, a mediação acontece principalmente pelas publicações científicas ou pelas apresentações em congressos, que permitem à comunidade de pesquisa conhecer os resultados atingidos pelos colegas. No caso do impacto social, a mediação acontece principalmente pela ação do poder público, ou por organizações multinacionais ou do terceiro setor, quando estas tomam conhecimento e usam os resultados da pesquisa. Depoimentos de pesquisadores ao Congresso ou sua participação em comitês governamentais tendem a aumentar a criação de oportunidades para o uso de resultados em benefício da sociedade. O impacto econômico depende fundamentalmente da mediação por empresas, pois estas são as organizações criadas pela sociedade para estarem em con-

tato com o mercado, suas oportunidades e desafios. Neste caso a mediação é tão mais eficiente quanto mais as empresas tiverem suas próprias atividades de pesquisa (Arora et al., 2017, 2019), pois os pesquisadores empregados pela empresa terão facilidade para se comunicar com os colegas acadêmicos.

Discutiremos a seguir algumas formas pelas quais se pode obter informações parciais sobre o impacto dos resultados de pesquisa nas três dimensões.

O resultado ajuda outros pesquisadores a criarem mais ideias? As citações na literatura científica

Um dos indicadores sobre a repercussão das publicações no meio científico é o número de citações que recebem nas demais publicações. Entre as várias normalizações possíveis, criadas para levar em conta as intensidades diferenciadas de citações nas áreas do conhecimento, usamos aqui o indicador “Impacto de Citações Ponderado por Área do Conhecimento” (Field Weighted Citation Impact – FWCI), usado na ferramenta SciVal (College, 2017).

Indicadores de citações são usados mundialmente e, embora tenham limitações conhecidas, ajudam a compor uma ideia do impacto de publicações ou coleções de publicações (para um país ou uma instituição, por exemplo) no mundo científico. As publicações com autores no Brasil têm obtido quantidade limitada de citações na literatura científica e, apesar de algum crescimento nos últimos 20 anos, no triênio 2019-2021 o FWCI permanece ainda em 89% do valor médio mundial. A Tabela 5 permite compa-

TABELA 5

Impacto Normalizado por Ponderação por Área do Conhecimento (FWCI) para alguns países. A tabela mostra a média do FWCI nos triênios 1999-2001, 2009-2011 e 2019-2021

	1999-2001	2009-2011	2019-2021
Reino Unido	1.41	1.54	1.57
Estados Unidos	1.53	1.50	1.35
Alemanha	1.25	1.42	1.33
França	1.19	1.34	1.30
Espanha	1.03	1.26	1.26
África do Sul	0.88	1.21	1.24
China	0.47	0.69	1.10
Coreia do Sul	0.92	1.02	1.09
Índia	0.58	0.77	0.95
México	0.79	0.87	0.92
Brasil	0.76	0.84	0.89
Indonésia	0.88	0.97	0.77
Rússia	0.50	0.57	0.71

Fonte: Elsevier, SciVal

rar, para os triênios 1999-2001, 2009-2011 e 2019-2021, a evolução do FWCI médio no triênio para alguns países. Estes foram escolhidos para representar alguns com maior produção científica e outros com características sociais e econômicas similares às do Brasil.

Na Tabela 5 verifica-se que o Reino Unido, Estados Unidos, Alemanha e França tendem a ter FWCI 30% ou mais acima da média mundial. A África do Sul e Espanha têm crescido desde 1999, aproximando-se dos 30% acima da média mundial. Para o caso da China, é notável como mais do que duplicou seu FWCI desde 1999. Evolução menos notável, mas similar em tendência, aconteceu com a Índia, que passou de 0.58 para 0.95. México e Brasil obtiveram discreto aumento, mas permanecem abaixo da média mundial.

Os resultados ajudam a melhorar políticas públicas? Citações em documentos governamentais

O advento de bases de dados de documentos de órgãos governamentais nas esferas executiva, legislativa e judiciária tem permitido identificar conexões entre documentos orientadores ou definidores de ações governamentais e publicações científicas (Szomszor & Adie, 2022; Yin et al., 2022). Além dos documentos de órgãos de governo, há também aqueles criados por organizações multinacionais, como, por exemplo, o IPCC e outros painéis da ONU e de outras organizações multinacionais. Há muitos outros caminhos pelos quais resultados de pesquisa impactam políticas públicas e a sociedade. Por exemplo, os profissionais formados em

TABELA 6

25 entidades relacionadas a políticas públicas que mais citaram publicações com autores no Brasil no período 2012 a 2021 (a lista completa tem 778 entidades)

Entidade dos autores do documento	País/Região	Qtd
World Health Organization	Intergovernmental	1498
Guidelines in PubMed Central	United States	1131
World Bank	Intergovernmental	784
Publications Office of the European Union	European Union	607
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada	Brazil	534
Government of Cuba	Cuba	409
Inter-American Development Bank	Intergovernmental	389
Food and Agriculture Organization of the UN	Intergovernmental	328
OECD	Intergovernmental	314
IZA Institute of Labor Economics	Germany	275
Government of Brazil	Brazil	259
Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health	Canada	229
United Nations CEPAL	Intergovernmental	213
Centers for Disease Control and Prevention (CDC)	United States	204
Analysis & Policy Observatory	Australia	180
CGIAR	France	177
Institute of Development Studies	United Kingdom	169
Unesco	Intergovernmental	167
The UK Government	United Kingdom	160
NICE	United Kingdom	153
NBER	United States	153
Government Publishing Office	United States	143
Government of Switzerland	Switzerland	140
International Monetary Fund	Intergovernmental	128
International Union for Conservation of Nature	France	126

Fonte: Elsevier SciVal Impact Module

atividades de pesquisa e que vão trabalhar em órgãos de governo ou hospitais são um dos mais efetivos caminhos. Entretanto, como os registros ainda são deficientes, é difícil documentar e demonstrar o efeito. Por sua acessibilidade e abrangência as publicações oferecem uma janela útil.

Na Tabela 6 mostra-se que organizações autoras de 11.237 documentos

orientadores de políticas públicas em todo o mundo citaram 20.290 publicações científicas com autores no Brasil entre 2012 e 2021.

O número de citações em documentos relacionados a políticas públicas por publicação com autores no Brasil é crescente, mas ainda está a 80% da média verificada no mundo.

Os resultados ajudam empresas a criar riqueza, empregos e desenvolvimento?

Interação universidade-empresa

A análise das publicações com autores no Brasil permite aprendermos algo sobre a intensidade da interação universidade-empresa em pesquisa, que tem sido de fundamental importância para a política de CT&I no Brasil (como em muitos outros países). O interesse na interação universidade-empresa resulta do desejo de se obter cada vez mais impacto econômico com o investimento em pesquisa feito em universidades. De forma aproximada, as universidades têm atividades de pesquisa mais ligadas à ciência do que à tecnologia, enquanto nas empresas a pesquisa e desenvolvimento (P&D) que realizam as aproximações mais da tecnologia do que da ciência. A diferença é natural e legítima, considerando que a sociedade criou, ao longo de séculos, universidades e empresas como entidades orientadas a atender objetivos diferentes e relevantes para o bem-estar da população. Algumas vezes, há divergência do comportamento típico e universidades criam tecnologias de alto impacto, ou empresas criam ciência de alta qualidade. O ponto fulcral é que internacionalmente se reconhece que um caminho primordial para que universidades tenham impacto econômico (em outras áreas os impactos dependerão de outros mediadores) em benefício da sociedade passa pela empresa, suas atividades de P&D e sua presença e competitividade em mercados mundiais.

O acompanhamento das políticas criadas no Brasil para estimular a interação universidade-empresa tem sido prejudicado pela falta de indicadores adequados. Muitos países têm

bases de dados completas sobre o volume de recursos contratados por universidades com empresas, para aplicação em pesquisa, entretanto no Brasil são poucas as universidades capazes de informar tais números. Não há nem mesmo acesso a dados qualitativos sobre as principais áreas do conhecimento e setores econômicos envolvidos.

A análise das publicações científicas permite a observação de várias dessas variáveis, usando dois tipos de eventos que fazem parte das múltiplas dimensões que compõem a interação universidade-empresa. Primeiro, pode-se identificar as publicações em que há autores em universidades e autores em empresas, indicando assim uma das dimensões da interação (Calvert & Patel, 2003; Brito Cruz, 2019; Tijssen, 2006, 2012a, 2012b; Tijssen & Van Leeuwen, 2006). Um segundo tipo de evento é a citação de publicações em patentes registradas por empresas (Narin & Olivastro, 1992).

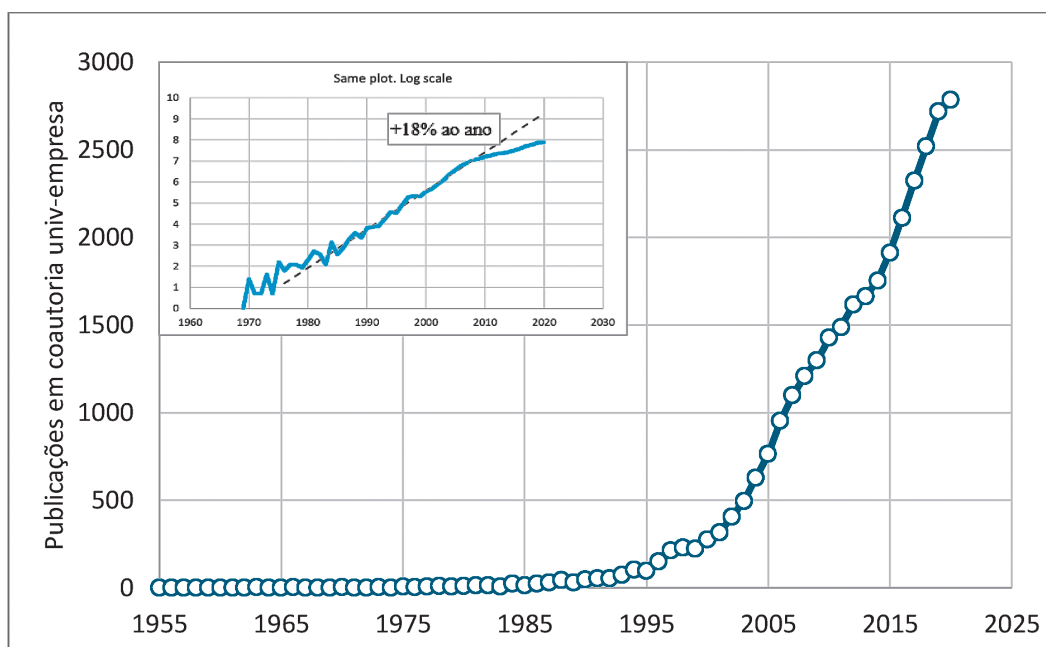
Coautoria universidade-empresa em publicações científicas

As coautorias tratam de um tipo de interação entre universidades e empresas de elevado grau de codificação e troca intelectual. O indicador impõe condições restritivas: os coautores precisaram conceber a ideia juntos, realizar o estudo ou experimentos, redigir o trabalho e conseguir sua aceitação num periódico. A coautoria representa um indicador de uma espécie de interação altamente qualificada.

Como a maior parte das bases bibliométricas tem deficiências na classificação de entidades empresariais, é preciso algum trabalho adicional para identificar e classi-

FIGURA 9

Evolução anual da quantidade de publicações com autores em universidades no Brasil e autores em empresas no Brasil ou fora do Brasil



O inserto mostra o mesmo gráfico em escala logarítmica, mostrando que de 1980 a 2008 o crescimento aconteceu a uma taxa de 18% por ano

Fonte: levantamento pelo autor na base Elsevier, Scopus

ficar de forma mais precisa e abrangente as entidades de natureza empresarial. Com acesso aos detalhes da base Scopus, pudemos tornar mais precisa a classificação das entidades empresariais envolvidas nas coautorias com universidades no Brasil.

A evolução anual do número de publicações com coautores em universidades e em empresas no Brasil e fora é mostrada na Figura 9. Em 2020 houve 2.786 publicações com coautores em universidades no Brasil e em empresas. A taxa de crescimento anual de 1980 a 2008 foi de 18%, bem superior à taxa de crescimento no número total de publicações com autores no Brasil (14% ao ano, entre 1985 e 2007). Tal crescimento indica, de forma inequívoca, o aumento da

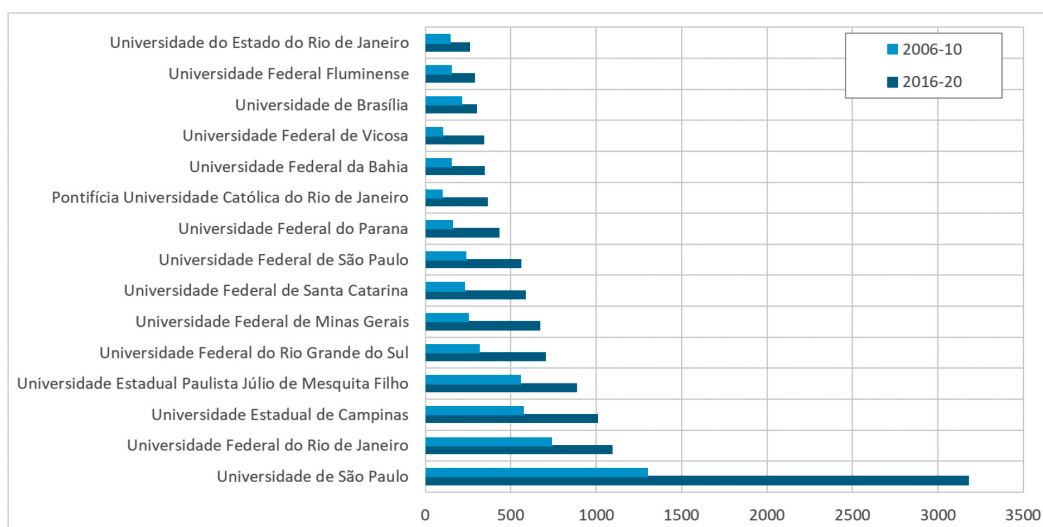
interação universidade-empresa no Brasil. A curva na Figura 9 indica também que, a partir de 2010, houve uma desaceleração no crescimento, similar ao que se observa para o total das publicações com autores no Brasil.

As 15 universidades com maior quantidade de publicações em coautoria com empresas no quinquênio 2016-2020 estão mostradas na Figura 10. Em geral, no Brasil, todas as universidades vêm apresentando aumento nas coautorias com empresas.

A Tabela 7 mostra as principais empresas com pesquisadores coautores de universidades no Brasil. Como se esperaria, destaca-se a Petrobras, que tem tido, nos últimos anos, em torno de 300 trabalhos por ano em coautoria com universidades,

FIGURA 10

Quantidade de publicações em coautoria com empresas para as 15 universidades brasileiras com mais destas coautorias



As barras azul-escuras mostram o quinquênio 2016-2020 e as barras azul-claras, o quinquênio 2006-2010

o que corresponde a 12% do total anual. Das 25 empresas mostradas, sete têm sede no Brasil. Isso indica que mesmo empresas transnacionais com sede de P&D fora do Brasil buscam trabalhar com universidades brasileiras, testemunhando que há qualidade na pesquisa local.

Entre as empresas coautoras não mostradas na Tabela 7 há um grande número de pequenas e médias empresas brasileiras com quantidade de publicações abaixo de dez, incluindo-se aí muitas empresas beneficiárias de financiamentos do programa Pipe da Fapesp ou subvenção da Finep.

Citação de publicações em patentes registradas por empresas

Outro caminho para se avaliar o impacto de publicações com autores no Brasil são

as publicações citadas em patentes registradas por empresas⁴. Citação de artigos em patentes têm sido objeto de atenção no estudo de conexões entre ciência e tecnologia desde o trabalho pioneiro de Francis Narin (Narin et al., 1997; Narin & Olivastro, 1988, 1992). Mais recentemente, Marx e Fuegi (2020) adicionaram resultados substanciais, tratando da conexão entre ciência básica e tecnologia.

A Figura 11 compara o desempenho das publicações com autores no Brasil com aquelas com autores em alguns outros países, alguns da fronteira tecnológica e outros em desenvolvimento. À exceção da Coreia do Sul, os demais

4 Na ferramenta SciVal (Elsevier), atualmente, contam-se as citações em cinco escritórios de patentes: EUA, Reino Unido, União Europeia, Japão e Organização Mundial de Propriedade Intelectual (Wipo).

TABELA 7

Principais empresas com pesquisadores coautores
com universidades no Brasil no triênio 2019-2021

Entidade	País	Publs.	FWCI
Petrobras	Brasil	962	0.69
Fleury	Brasil	165	1.43
Vale S.A.	Brasil	114	0.77
Centro de Pesq. e Des. em Telecomunicações	Brasil	76	0.9
AstraZeneca	Reino Unido	75	26.62
Novo Nordisk A/S	Dinamarca	72	5.97
Ericsson AB	Suécia	67	0.59
GlaxoSmithKline	Reino Unido	61	7.68
Suzano Group	Brasil	56	0.82
Fundo de Defesa da Citricultura	Brasil	51	1.08
Novartis	Switzerland	49	6.92
Corteva Agriscience	Estados Unidos	45	0.68
DSM Food Specialties	Holanda	44	0.97
Merck	Estados Unidos	41	10.17
Pfizer	Estados Unidos	41	4.97
Bayer AG	Alemanha	40	3.28
Alphabet Inc.	Estados Unidos	37	30.63
Genentech Incorporated	Estados Unidos	35	11.97
Johnson & Johnson	Estados Unidos	31	1.64
Leidos Inc	Estados Unidos	30	5.6
Embraer	Brasil	29	0.83

Fonte: levantamento do autor na base de dados Elsevier Scopus

países da fronteira tecnológica mostrados exibem número de citações em patentes crescente em relação à média mundial, para suas respectivas coleções de publicações. Entre os países em desenvolvimento, a China mostra um desempenho crescente, aproximando-se da média mundial. Já o Brasil, Índia, México e África do Sul não mostram avanços notáveis. Tais resultados serão mais precisos quando for possível incluir os dados dos escritórios de patentes de outros países na identificação de citações.

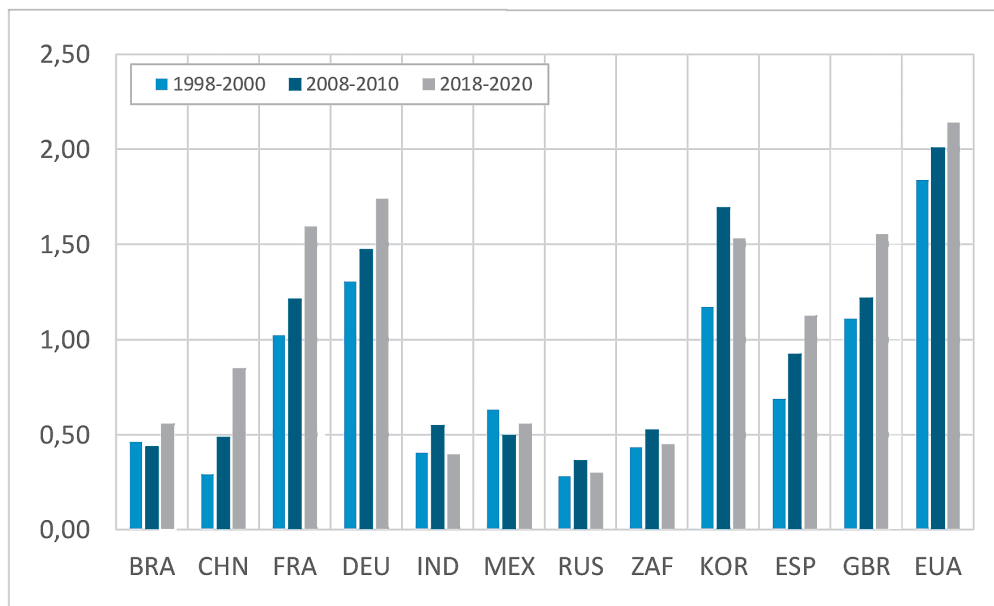
CONCLUSÃO

A análise das publicações com autores no Brasil aponta alguns dos desafios para o sistema brasileiro de ciência, tecnologia e inovação, elencados a seguir.

- 1) Houve uma perda de velocidade de crescimento na quantidade de publicações a partir de 2010. A taxa de crescimento que fora +14% ao ano até 2008 caiu para +4% por ano a partir de 2010.

FIGURA 11

Razão entre o número de citações em patentes e o número de publicações (em cada triênio mostrado), normalizada em relação à média mundial em cada ano



Fonte: Elsevier SciVal e cálculos pelo autor

- 2) Resulta dessa perda de taxa de crescimento que a participação no total mundial mostra uma tendência de estagnação em torno de 2,6%.
- 3) Até 2017 a razão entre o número de publicações com autores no Brasil e a população do país vinha evoluindo de forma muito similar ao caso da China. A partir de 2017, a curva da China passou a superar a brasileira rapidamente.
- 4) As publicações com autores em empresas no Brasil são 0,9% do total publicado entre 2012 e 2021. Na Alemanha, Estados Unidos e Reino Unido o percentual é, respectivamente 4,3%, 5,9% e 3,0%.
- 5) Entre as publicações com autores em empresas, no Brasil 79% têm coautores em universidades. Nos Estados Unidos, China e no Reino Unido, entre os artigos com autores em empresas, os percentuais de coautoria com universidades são mais baixos, respectivamente 66%, 68% e 66%.
- 6) O estado de São Paulo continua sediando a maior parte dos autores, mas observa-se uma queda na participação sobre o total nacional de publicações, que foi 38% em 2021. Também para o Rio de Janeiro há uma queda na participação, chegando a 16% em 2021. Para os demais estados há crescimento na participação, indicando uma tendência de convergência e desconcentração.
- 7) As cinco áreas do conhecimento (segundo a Classificação para Todos os Periódicos Científicos, ASJC) nas quais se enquadram, em 2020-2021 as maiores porções de publicações com autores no Brasil são: Medicina (25,8%), Ciências

- Biológicas e Agricultura (18,2%), Engenharia (12,0%), Bioquímica, Genética e Biologia Molecular (10,6%) e Ciências Sociais (10,2%).
- 8) Classificando as publicações com autores no Brasil segundo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), aqueles com maior Índice de Atividade Relativa (IAR) são: ODS 15: Vida Terrestre (IAR=2,6), ODS 14: Vida na Água (IAR=2,0) e ODS 2: Fome Zero e Agricultura Sustentável (IAR=2,0).
 - a) Para os ODS 2, 14 e 15 o CNPq e a Capes aparecem entre as dez agências de financiamento à pesquisa com abrangência nacional que têm o maior número de publicações no período 2018-2020.
 - 9) O percentual de publicações com autores no Brasil e coautores em outros países tem crescido desde 2010, quando foi 23%, tendo atingido 41% em 2021.
 - 10) Os seis países que sediam a maior quantidade de coautores, no período 2020-2021, foram Estados Unidos (12%), Reino Unido (5%), Espanha (4%), França (4%), Portugal (4%) e Itália (4%).
 - 11) O Impacto de Citações Ponderado por Área (FWCI) das publicações com autores no Brasil ainda não atingiu o valor da média mundial, tendo sido de 89% da média em 2019-2021. No entanto, houve crescimento discreto desde 1999-2001, quando era 76% da média.
 - 12) No período 2012-2021, 20.290 publicações com autores no Brasil foram citadas em documentos orientadores ou informadores de políticas públicas editados por 778 entidades no Brasil e fora do Brasil.
 - a) As entidades que citaram mais frequentemente publicações com autores no Brasil foram a OMS, a coleção de *Guidelines* da PubMed Central, o Banco Mundial, a União Europeia e o Ipea (Brasil).
 - 13) Em 2020 houve 2.700 publicações com autores em universidades no Brasil e coautores em empresas no Brasil ou no mundo.
 - a) Entre 1975 e 2008, o número de publicações com coautores em universidades no Brasil e empresas cresceu a 18% por ano, bem superior à taxa média de crescimento do total de publicações com autores no Brasil.
 - b) As universidades com maior número de publicações em coautoria com empresas no período 2016 a 2020 foram USP, UFRJ, Unicamp, Unesp e UFRGS.
 - c) As empresas com maior número de coautorias com universidades foram, entre 2019 e 2021: Petrobras (962 publicações), Fleury (165 publicações), Vale S.A. (114 publicações), CPQD (76 publicações) e AstraZeneca (75 publicações).
 - 14) O número de publicações com autores no Brasil citadas em patentes (cobrindo cinco escritórios de PI) apresenta um indicador de atividade (2018-2020) que é 56% da média mundial, tendo havido ligeiro crescimento desde 2008-2010, quando foi 44%. Para a China, o indicador de atividade (2018-2020) foi 85% e para os EUA, 214%.
 - a) Entre as 25 entidades (oito universidades ou instituições públicas de pesquisa e 17 empresas) cujas patentes mais citam publicações com autores no Brasil, nenhuma é sediada no Brasil.

Para o sistema brasileiro de CT&I, as informações acima, associadas a outras observações e experiências, permitem vislumbrar alguns desafios, além do óbvio objetivo de se obter mais recursos para o estímulo à P&D em universidades, institutos e empresas, recuperando a capacidade de financiamento do sistema brasileiro de CT&I, tão depauperada recentemente. Alguns destes objetivos adicionais seriam:

- 1) O impacto de citações das publicações com autores no Brasil vem crescendo, mas lentamente. As políticas e práticas vigentes, que enfatizam em que revistas os trabalhos são publicados, parecem não ter fôlego para trazer resultados mais consistentes. Entre as políticas e práticas usadas em outros países que poderiam beneficiar a qualidade da pesquisa no Brasil poderíamos elencar:
 - a) Garantia, pelas instituições de pesquisa, de apoio institucional aos pesquisadores, para proteger o tempo destes contra outras demandas relevantes para a pesquisa, mas que, nas boas entidades fora do Brasil, são atendidas por profissionais treinados para isso. Desta forma os pesquisadores e seus colaboradores em pesquisa, estudantes e pós-doutores, dedicam a maior parte de seu tempo à descoberta e às atividades científicas. Como é bem sabido, pesquisa de alta qualidade requer, além de recursos, concentração e dedicação continuada. Mas o apoio institucional não se restringe ao apoio em procedimentos – a pesquisa de boa qualidade acontece muito mais em instituições que saibam criar um ambiente que

estimule e valorize a qualidade, os valores acadêmicos e a diversidade.

- b) Valorização, nas avaliações de progressão na carreira, aprovação de teses e dissertações, contratações, seleção de propostas de pesquisa para financiamento, da qualidade da pesquisa com menor ênfase na quantidade de pesquisa. Tem havido concordância nas comunidades de pesquisa dos países líderes em ciência, tecnologia e inovação, que a avaliação responsável da qualidade da pesquisa requer a leitura dos trabalhos por especialistas (revisão por pares, com tempo suficiente para leitura de pelo menos os principais trabalhos), muitas vezes complementada por um conjunto bem balanceado de indicadores.
 - c) Valorização da colaboração internacional em pesquisa, baseada em reciprocidade e buscando sempre aqueles casos em que haja participação efetiva das partes na concepção, redação, submissão e realização da pesquisa. Esse tipo de colaboração requer, em geral, ação intensa por parte das lideranças acadêmicas das instituições que sediam os pesquisadores. Em grandes colaborações requer o envolvimento das agências financiadoras, não somente para financiarem, mas para negociarem os termos de governança. Ou seja, não basta haver recursos – é essencial uma discussão e negociação no nível institucional sobre os termos de sua aplicação e dos papéis das partes.
- 2) A evolução da quantidade de publicações também deve ser objeto de atenção. Não devido a alguma preocupação com

rankings ou categorizações, mas porque há muitos temas merecedores de estudo e necessários para o desenvolvimento econômico e social do Brasil e, mesmo que consideremos um conjunto restrito de temas, ainda não há suficientes pesquisadores no país para atendê-los.

- 3) Mesmo com progresso na desconcentração da capacitação em CT&I, há ainda grandes desafios a vencer. Especialmente no que diz respeito à inovação tecnológica, a disparidade entre as unidades federativas é ainda enorme e merece atenção. Os dados sobre coautoria entre universidades e empresas ajudam a visualizar este desafio.
- 4) A colaboração universidade-empresa em pesquisa tem crescido fortemente, como se viu pelos dados sobre coautoria. Mas ainda há um efeito forte de concentração em poucas universidades. Seria oportuno usar a experiência das que têm mais resultados para auxiliar a criação de estratégias para as que ainda precisam ver crescer sua atividade de

colaboração. Essa atividade de publicação em coautoria entre universidades e empresas parece ainda mais relevante quando se considera o ganho no impacto das publicações em patentes.

- 5) O número de autores de publicações científicas em empresas no Brasil ainda é pequeno demais, em comparação com os de outros países e em comparação com os desafios da produtividade econômica e competitividade internacional da empresa no Brasil. É essencial haver, trabalhando em empresas no Brasil, um número muito maior de profissionais capazes de criar ideias competitivas mundialmente e capazes de absorver ideias criadas no Brasil e fora dele, que beneficiem as empresas em que se sediam.
- 6) Em conclusão, há muito a fazer e para se obter resultados parece essencial existir uma articulação muito melhor do que a que se tem visto há muitos anos entre entidades federais e estaduais e entre universidades, institutos de pesquisa e empresas.

REFERÊNCIAS

ACSB and multiple signers. *San Francisco Declaration on Research Assessment (DORA)*.

Retrieved August 31, 2022, from <https://sfdora.org/read/>.

ARORA, A. et al. *The changing structure of American innovation: some cautionary remarks for economic growth*. 2019 (<http://www.nber.org/papers/w25893>).

ARORA, A.; BELENZON, S.; SHEER, L. *Back to basics: why do firms invest in research?*. 2017 (<http://www.nber.org/papers/w23187>).

BAAS, J. et al. "Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies". *Quantitative Science Studies*, 1 (1), 2020, pp. 377-86.

- "BEYOND the science bubble". *Nature*, 391, 2017 (<https://www.nature.com/articles/542391a>).
- BORNMANN, L.; HAUNSCHILD, R.; MUTZ, R. "Growth rates of modern science: a latent piecewise growth curve approach to model publication numbers from established and new literature databases". *Humanities and Social Sciences Communications*, 8 (1), 2021.
- BRITO CRUZ, C. H. "Benchmarking university/industry research collaboration in Brazil", in E. B. Reynolds; B. R. Schneider; E. Zylberberg (eds.). *Innovation in Brazil: advancing development in the 21st Century*, 2019 (<https://doi.org/10.4324/9780429053092>).
- BRITO CRUZ, C. H. "Ciência fundamental: desafios para a competitividade acadêmica", 2010 (<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24512.61447>).
- BRITO CRUZ, C. H. "Ciência, tecnologia e desenvolvimento no Brasil", 2013 (<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11090.84166>).
- CALVERT, J.; PATEL, P. "University-industry research collaborations in the UK: bibliometric trends". *Science and Public Policy*, 30 (2), 2003, pp. 85-96 (<https://doi.org/10.3152/147154303781780597>).
- COLLEGE, L. *Snowball Metrics Recipe Book*, 2017 (www.snowballmetrics.com).
- EL-OUAHI, J.; ROBINSON-GARCÍA, N.; COSTAS, R. *Analyzing scientific mobility and collaboration in the Middle East and North Africa*, 2021 (<https://doi.org/10.1162/qss>).
- ELSEVIER. *What are the most used subject area categories and classifications in Scopus?*, 2022 (https://Service.Elsevier.Com/App/Answers/Detail/A_id/14882/Supporthub/Scopus/~/What-Are-the-Most-Frequent-Subject-Area-Categories-and-Classifications-Used-In/).
- FAPESP. *Código de boas práticas científicas*, 2014 (<https://fapesp.br/boaspraticas/>).
- GLOBAL Research Council. *2019 GRC statement of principles: addressing expectations of societal and economic impact*, 2019.
- GUERRERO-BOTE, V. P. et al. "Comparative analysis of the bibliographic data sources dimensions and Scopus: an approach at the country and institutional levels". *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 5, 2021 (<https://doi.org/10.3389/frma.2020.593494>).
- HICKS, D. et al. "Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics". *Nature*, 520, 2015, pp. 429-30 (<https://www.nature.com/articles/520429a>).
- LETA, J.; BRITO CRUZ, C. H. "A produção científica brasileira", in E. B. Viotti; M. de M. Macedo (eds.). *Indicadores de ciência, tecnologia e inovação no Brasil*. Campinas, Editora da Unicamp, 2003, pp. 121-68.
- LETA, J.; CHAIMOVICH, H. "Recognition and international collaboration: the Brazilian case". *Budapest Scientometrics*, 53 (3), 2002, pp. 325-35.
- MARX, M.; FUEGI, A. "Reliance on science: worldwide front-page patent citations to scientific articles". *Strategic Management Journal*, 41 (9), 2020, pp. 1.572-94.
- McMANUS, C. et al. "International collaboration in Brazilian science: financing and impact". *Scientometrics*, 125 (3), 2020, pp. 2.745-72.
- McMANUS, C. et al. "Profiles not metrics: the case of Brazilian universities". *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93 (4), 2021.
- McMANUS, C.; BAETA NEVES, A. A.; MARANHÃO, A. Q. "Brazilian publication profiles: where and how Brazilian authors publish". *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92 (2), 2020, pp. 1-22.

- McMANUS, C.; BAETA NEVES, A. A. "Funding research in Brazil". *Scientometrics*, 126 (1), 2021, pp. 801-23.
- METRICAS.EDU – *University performance and international comparison*. Retrieved September 1, 2022 (<https://metricas.usp.br/en/>).
- MOED, H. F.; AISATI, M.; PLUME, A. "Studying scientific migration in Scopus". *Scientometrics*, 94 (3), 2013, pp. 929-42.
- NARIN, F.; HAMILTON, K. S.; OLIVASTRO, D. "The increasing linkage between U.S. technology and public science". *Research Policy*, 26, 1997, pp. 317-30.
- NARIN, F.; OLIVASTRO, D. "Status report: Linkage between technology and science". *Research Policy*, 1992, pp. 237-49.
- NARIN, F.; OLIVASTRO, D. "Technology indicators based on patents and patent citations", in *Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology*, 1988 (<https://doi.org/10.1016/b978-0-444-70537-2.50020-9>).
- NATIONAL Research Council (US); COMMITTEE on Responsibilities of Authorship in the Biological Sciences. *The Purpose of Publication and Responsibilities for Sharing*, 2003 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK97153/>).
- RIVEST, M. et al. *Dataset: Improving the Scopus and Aurora queries to identify research that supports the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) 2021*. Elsevier BV (<https://doi.org/10.17632/9SXDYKM8S4.4>).
- ROBERGE, G.; KASHNITSKY, Y.; JAMES, C. *Elsevier 2022 Sustainable Development Goals (SDG) Mapping*. Mendeley Data, V1, 2022 (<https://elsevier.digitalcommonsdata.com/datasets/6bjy52jkm9>).
- SZOMSZOR, M.; ADIE, E. *Overton – a bibliometric database of policy document citations*, 2022 (<http://arxiv.org/abs/2201.07643>).
- "THE IMPACT of the State on Scientific Research". *Nature*, 122 (3062), 1928, pp. 1-3.
- TIJSEN, R. J. W. "Co-authored research publications and strategic analysis of public-private collaboration". *Research Evaluation*, 2012a (<https://doi.org/10.1093/reseval/rvs013>).
- TIJSEN, R. J. W. "Co-authored research publications and strategic analysis of public-private collaboration". *Research Evaluation*, 21 (3), 2012b, pp. 204-15 (<https://doi.org/10.1093/reseval/rvs013>).
- TIJSEN, R. J. W. "Universities and industrially relevant science: towards measurement models and indicators of entrepreneurial orientation". *Research Policy*, 35 (10), 2006, pp. 1.569-85 (<https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.09.025>).
- TIJSEN, R. J. W.; VAN LEEUWEN, T. N. "Measuring impacts of academic science on industrial research: a citation-based approach". *Scientometrics*, 66 (1), 2006, pp. 55-69.
- VISSER, M.; VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. "Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, dimensions, crossref, and Microsoft academic". *Quantitative Science Studies*, 2 (1), 2021, pp. 20-41.
- YIN, Y. et al. "Public use and public funding of science". *Nature Human Behaviour*, 2022 (<https://doi.org/10.1038/s41562-022-01397-5>).
- ZANOTTO, E. D. et al. "Internacionalização e pesquisa colaborativa", in *Fapesp 60 anos – A ciência no desenvolvimento nacional*. São Carlos, Editora Cubo, 2022, pp. 2-29.