

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BÁSICAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS:
QUÍMICA DA VIDA E SAÚDE

Jonas Pertusatti

**INTERNACIONALIZAÇÃO ACADÊMICA EM QUÍMICA: IMPACTO NA
PRODUÇÃO CIENTÍFICA E REDES DE COLABORAÇÃO DE PESQUISADORES
BRASILEIROS**

Porto Alegre

2024

Jonas Pertusatti

**INTERNACIONALIZAÇÃO ACADÊMICA EM QUÍMICA: IMPACTO NA
PRODUÇÃO CIENTÍFICA E REDES DE COLABORAÇÃO DE PESQUISADORES
BRASILEIROS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde do Instituto de Ciências Básicas da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em Educação em Ciências.

Linha de Pesquisa: Análise e Avaliação da Produção Científica e das Políticas Públicas em CT&I e Divulgação das Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Ivan da Rocha Neto

Porto Alegre

2024

CIP - Catalogação na Publicação

Pertusatti, Jonas
Internacionalização Acadêmica em Química: Impacto
na Produção Científica e Redes de Colaboração de
Pesquisadores Brasileiros / Jonas Pertusatti. -- 2024.
140 f.
Orientador: Ivan Rocha Neto.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Ciências Básicas da Saúde,
Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências:
Química da Vida e Saúde, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Internacionalização da ciência. 2. Colaboração
Internacional. 3. Produção Científica. 4. Doutorado
Sanduíche no Exterior. 5. Indicadores Cientométricos.
I. Rocha Neto, Ivan, orient. II. Título.

Jonas Pertusatti

INTERNACIONALIZAÇÃO ACADÊMICA EM QUÍMICA: Impacto na Produção Científica e Redes de Colaboração de Pesquisadores Brasileiros

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde do Instituto de Ciências Básicas da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em Educação em Ciências.

Aprovado em: 05 de setembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Luíza Beth Nunes Alonso – UCB

Prof. Dr. Bernardo Kipnis - UnB

Prof. Dr. Enéas Ricardo Konzen – UFRGS

Prof. Dr. Ivan Rocha Neto (orientador) - UFRGS

AGRADECIMENTOS

*Bendita essa canção que acalentou
Da tua vida o doce alvorecer...
Bendita seja a lua que inundou
De luz, a terra, só para te ver...*

*Benditos sejam todos que te amarem,
(Florabela Espanca)*

A Deus, pela vida, pela consciência que nos permite ver, sentir, questionar e buscar entender o universo.

À minha esposa Karina, pelo amor, companheirismo, compreensão e paciência nessa jornada, e ao Mateus, meu filho de coração.

Aos meus pais, Vanildo e Zelmira, pela dedicação a nossa família, e que, sendo um porto seguro, sopraram nas velas da minha vida os ventos da educação.

Aos meus irmãos Raquel e Jackson, pelo constante apoio, incentivo e confiança, e aos cunhados Taiana e Thiago.

Aos meus sobrinhos Eduardo e Miguel que sempre alegram esse *dindo* cientista.

Ao meu orientador, Professor Ivan Rocha, pela parceria, disponibilidade e generosidade.

Aos professores Luíza Beth Nunes Alonso, Bernardo Kipnis e Enéas Ricardo Konzen pelas valiosas reflexões e contribuições para a finalização deste trabalho.

Ao Professor Heitor Marques Honório (USP-Bauru) pelas excelentes aulas de estatística no Canal Pesquise (<https://www.canalpesquise.com.br>) e a Professora Fernanda Scussel, do Canal Pesquisa na Prática (@pesquisanapratica), pelas valiosas lições de escrita acadêmica.

Às amigas da CAPES Valdinei Costa Souza, Luzia Lima Guimarães e Soraia de Queiroz Costa, que sempre me animaram, estimularam e apoiaram durante este percurso. À Joana Ribeiro de Abreu que me ajudou a germinar o projeto deste doutorado, e também à Eloísa Fernández, à Luciana Gasparotto, ao Luís Fabiano Borges e ao Márcio Castro.

Aos professores, técnicos e colaboradores do PPgECi-UFRGS.

E a todos aqueles que não nomeei, mas que deixaram um pouco de si no meu caminho.

***“Canto, e canto o presente, e também o passado e o futuro,
Porque o presente é todo o passado e todo o futuro
E há Platão e Virgílio dentro das máquinas e das luzes eléctricas”***

(Álvaro de Campos - Ode Triunfal)

RESUMO

Este trabalho avaliou o desempenho da produção científica brasileira e o impacto da formação acadêmica no exterior na produção científica dos doutores em Química que participaram do programa de Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES (PDSE), com foco na área de Química. A metodologia adotada é predominantemente quantitativa, utilizando uma abordagem empírica e delineamento *ex-post facto*. Foram analisados dados de diversas bases nacionais e internacionais, incluindo as Plataformas Sucupira e Lattes, o Portal de Dados Abertos da CAPES, além das bases Web of Science, Scopus, Scimago Journal & Country Rank e UNdata. O estudo investigou perfis acadêmicos, indicadores cientométricos e redes de colaboração por meio de análises gráficas, estatísticas descritivas e inferenciais, Análise de Redes Sociais (ARS) e Diferenças em Diferenças (DiD) para comparar a produção científica de doutores beneficiados ou não com bolsa de doutorado sanduíche no exterior. A tese foi estruturada com os resultados em formato de artigos (não tradicional) e inclui um artigo já publicado, outro que foi submetido e aguarda resposta do periódico, e um terceiro a ser submetido posteriormente. O primeiro artigo apresenta um estudo estatístico comparativo sobre indicadores cientométricos de produção e citação da produção científica brasileira na área de Química em comparação a países selecionados, abrangendo o período de 2001 a 2020. O segundo artigo investiga o perfil acadêmico e a produção científica indexada na *Web of Science* (WoS) de doutores em Química egressos do PDSE, titulados entre 2013 e 2016. Este estudo avalia a produção científica de 2010 a 2023 por análise gráfica e estatística e mapeia, sob a perspectiva da ARS, as redes de colaboração internacional desses pesquisadores conforme os diferentes tempos no exterior em função da bolsa. Por fim, o terceiro artigo avalia comparativamente o impacto do PDSE na produção científica e na colaboração, de 2010 a 2023, de doutores em Química, titulados entre 2013 e 2016, ex-bolsistas ou não do programa, baseando-se em análise gráfica, estatística e na metodologia DiD sobre diversos indicadores cientométricos da plataforma SciVal®. Ao observar indicadores cientométricos abrangentes que possibilitaram a comparação da produção científica da área de Química do Brasil com outros países, bem como ao buscar compreender o papel da formação no exterior na internacionalização da produção, na visibilidade, no impacto e na ampliação das colaborações científicas de pesquisadores brasileiros, os resultados obtidos neste trabalho reforçam a importância de políticas públicas que incentivam a mobilidade acadêmica e a colaboração internacional, demonstrando que programas como o PDSE são eficazes para fortalecer a ciência brasileira no cenário global.

Palavras-chave: Internacionalização da ciência; Colaboração Internacional; Produção Científica; Doutorado Sanduíche no Exterior; Cientometria; indicadores cientométricos; Química.

ABSTRACT

This study evaluated the performance of Brazilian scientific production and the impact of overseas academic training on the scientific output of Chemistry Ph.D. graduates who participated in the CAPES Abroad Doctoral Sandwich Program (PDSE) in Chemistry. The methodology employed is predominantly quantitative, using an empirical approach and ex-post facto design. Data were analyzed from various national and international sources, including the Sucupira and Lattes Platforms, the CAPES Open Data Portal, as well as databases like Web of Science, Scopus, Scimago Journal & Country Rank, and UNdata. The study examined academic profiles, scientometric indicators, and collaboration networks through graphical analyses, descriptive and inferential statistics, Social Network Analysis (SNA), and Difference-in-Differences (DiD) methodology to compare the scientific output of Ph.D. graduates who received the sandwich doctorate scholarship abroad versus those who did not. The thesis is structured in a non-traditional format, presenting the results in the form of articles, including one already published, another submitted and awaiting a response, and a third to be submitted later. The first article provides a comparative statistical study on scientometric indicators of production and citation of Brazilian scientific output in Chemistry compared to selected countries, covering the period from 2001 to 2020. The second article investigates the academic profile and scientific output indexed in the Web of Science (WoS) of Chemistry Ph.D. graduates from the PDSE, who graduated between 2013 and 2016. This study evaluates the scientific output from 2010 to 2023 through graphical and statistical analysis and maps international collaboration networks of these researchers using SNA, considering different durations abroad funded by the scholarship. Finally, the third article compares the impact of the PDSE on scientific production and on the collaboration from 2010 to 2023 of Chemistry Ph.D. graduates, who graduated between 2013 and 2016, whether they were former scholarship recipients or not. This is based on graphical and statistical analysis and the DiD methodology applied to various scientometric indicators from the SciVal® platform. By examining comprehensive scientometric indicators that enabled the comparison of Brazil's scientific output in Chemistry with other countries, and by seeking to understand the role of overseas training in the internationalization of output, visibility, impact, and the expansion of scientific collaborations of Brazilian researchers, the results of this work underscore the importance of public policies that promote academic mobility and international collaboration. The findings demonstrate that programs like the PDSE are effective in strengthening Brazilian science on the global stage.

Keywords: Science Internationalization; International Collaboration; Scientific Production; Scientific output; Abroad Sandwich Doctoral; Scientometrics; Scientometrics Indicators; Chemistry.

LISTA DE FIGURAS

No Referencial teórico:

Figura 1 - Série histórica das bolsas de Doutorado Pleno no Exterior e Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES no período de 1998-2021.....	45
Figura 2 - Gráfico de bolhas para a produção científica brasileira na área de Química (Documentos), de 2021 a 2022, evidenciando as Citações por documento e o total de Citações.	48
Figura 3 - Programas de Pós-graduação brasileiros na Química no Brasil em 2022.	50

No Artigo 1:

FIGURA 1. Evolução da Produção científica (Documentos) na área de Química dos 9 países analisados, por ano de publicação.....	63
FIGURA 2. Gráfico boxplot da produção científica na área de Química, Documentos, (a), e Citações por Documentos (b) para os 9 países analisados.....	65
FIGURA 3. Gráfico de boxplot para o PIB per capita dos países no período 2001-2020.....	67
FIGURA 4. Palavras-chave do Index (a) e Título dos periódicos (b) para os 100 artigos mais citados na área de Química; e Palavras-chave do Index (c) e Título dos periódicos (d) para os 100 artigos mais citados com autores tendo o Brasil como país de afiliação. Todos da área de Química e do período entre 2001 e 2020.....	70

No Artigo 2:

Figura 1: Distribuição geográfica dos estados das instituições de origem dos ex-bolsistas do PDSE.....	83
Figura 2: Distribuição geográfica dos países destino dos ex-bolsistas do PDSE.....	85
Figura 3: Evolução do percentual de publicações em Colaboração Internacional (CI) para os três grupos de ex-bolsistas do PDSE, por ano de publicação.....	89

Figura 4: Redes de coautoria internacional para os três grupos de ex-bolsistas do PDSE nos períodos 1 e 2.....91

No Artigo 3:

Figura 1: Representação gráfica do método diferença em diferenças.....107

Figura 2: Países de estudo em função do número de ex-bolsistas do PDSE.....113

Figura 3: Produção Científica Anual do Grupo de Tratamento (GT-PDSE) e do Grupo de Comparação (G-COMP) no período de 2010 a 2023.....114

Figura 4: (a) Percentuais de Colaboração Internacional (CI - %) e (b) percentuais de Colaboração Nacional (CN - %) do Grupo de Tratamento (GT-PDSE) e do Grupo de Comparação (G-COMP) no período de 2010 a 2023.....115

Figura 5: Médias anuais de Citações (linhas – eixo à esquerda) e médias anuais de Citações por Publicação (colunas – eixo à direita) dos Grupos de Tratamento (GT-PDSE) e de Comparação (G-COMP) de 2010 a 2023.....119

Figura 6: Gráfico de bolhas para o Field-Weighted Citation Impact (FWCI) em função das Citações por publicação e da porcentagem de colaboração nacional (tamanho da bolha), dos subgrupos de Tratamento e Comparação para todo o período de análise.....121

Figura 7: Gráfico de bolhas para o Field-Weighted Citation Impact (FWCI) em função da porcentagem de Colaboração Internacional (%) e do Publications in Top 10% Journal Percentiles by SJR (%) (número de Publicações nos periódicos entre os 10% principais nos percentis do SJR) (tamanho da bolha), dos subgrupos de Tratamento e Comparação para todo o período de análise.....122

LISTA DE QUADROS E TABELAS

No Referencial teórico:

Quadro 1: Principais indicadores cientométricos.....	39
--	----

No Artigo 1:

TABELA 1. Percentual de Documentos, taxa de crescimento anual e Índice-H dos países escolhidos para análise.....	62
TABELA 2. Estatísticas descritivas dos indicadores.....	63
TABELA 3. Comparações múltiplas DSCF país a país para alguns dos indicadores em estudo. Os valores destacados demonstram a semelhança estatística.....	68
TABELA 4. Matriz de correlações entre os principais indicadores (para correlações não significativas p-valor > 0,05.....	69

No Artigo 2:

Tabela 1: Distribuição dos ex-bolsistas do PDSE conforme a duração da bolsa.....	83
Tabela 2: Instituições de origem dos ex-bolsistas do PDSE.....	84
Tabela 3: Instituições estrangeiras que mais receberam ex-bolsistas do PDSE.....	85
Tabela 4: Os 10 periódicos com maior número de publicações dos ex-bolsistas do PDSE, o Fator de Impacto de 2023 e o quartil correspondente no ranking por categoria.....	86
Tabela 5: Distribuição da colaboração internacional dos ex-bolsistas do PDSE.....	88
Tabela 6: Métricas globais das redes de coautoria internacional.....	94

No Artigo 3:

Tabela 1: Instituições de titulação dos Grupos de Tratamento e Comparação.....	112
Tabela 2: Instituições de estudo que receberam pelo menos 2 dos ex-bolsistas do GT-PDSE.....	113

Tabela 3: Estatísticas descritivas para a Produção Científica, Colaboração Internacional e Nacional entre o Grupo de Tratamento (GT-PDSE) e o Grupo de Comparação (G-COMP) antes e após a titulação.....	117
Tabela 4: Estimativas das regressões DiD entre o Grupo de Tratamento (GT-PDSE) e o Grupo de Comparação (G-COMP) antes e após a titulação.....	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
ARS	Análise de Redes Sociais
CAPES-PrInt	Programa Institucional de Internacionalização
CFE	Conselho Federal de Educação
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COLLNET	Collaboration in Science and in Technology
CsF	Programa Ciências Sem Fronteiras
DiD	Metodologia Diferenças em Diferenças
DPB	Diretoria de Programas e Bolsas no País
DSCF	Teste de comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner
EMI	Estudos Métricos da Informação
FI	Fator de Impacto
FWCI	Field-Weighted Citation Impact (Impacto das citações ponderadas por área)
G-COMP	Grupo de Comparação
GEOCAPES	Sistema de Informações Georreferenciadas da CAPES
GT-PDSE	Grupo de Tratamento PDSE
IES	Instituições de Ensino Superior
ISI	Institute for Scientific Information
JBCS	Journal of the Brazilian Chemical Society
JCR	Journal Citation Reports
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MNCS	Mean Normalized Citation Score
NP	nuvens de palavras
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PDSE	Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES
PIB per capita	Produto interno bruto (PIB) per capita
PNE	Plano Nacional de Educação
PNPG	Plano Nacional de Pós-Graduação

PROEX	Programa de Excelência Acadêmica
RICYT	Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnologia
SBQ	Sociedade Brasileira de Química
SCI	Science Citation Index
SciVal	Plataforma de métricas científicas da Elsevier
SJR	SCImago Journal & Country Rank
SNPG	Sistema Nacional de Pós-Graduação
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNSD	Divisão de Estatísticas Econômicas da Organização das Nações Unidas
WoS	Web of Science

APRESENTAÇÃO

“Curiosamente, o soar das horas pareceu devolver-lhe o ânimo. Ele era um fantasma solitário expressando uma verdade que ninguém jamais ouviria. Mas, enquanto a expressasse, de algum modo obscuro a continuidade não seria interrompida. Não era se fazendo ouvir, mas sim permanecendo lúcido, que você levava adiante a herança humana. Ele voltou à mesa, mergulhou a pena na tinta e escreveu: [...]”

(George Orwell - 1984)

Este trabalho é fruto de minha trajetória profissional na CAPES, onde fui servidor no cargo de Analista em Ciência & Tecnologia e tive a honra de trabalhar de 2010 a 2023. Inicialmente atuei na Coordenação de Orçamento e finanças e, a partir de 2013, na Diretoria de Relações Internacionais (DRI), assim o tema da internacionalização se tornou uma constante em meu cotidiano profissional por 10 anos.

Pelo lado acadêmico, minha *alma mater* foi a Universidade de Brasília (UnB), onde cursei o bacharelado em Química, concluído em 2005. Nesta época foi voluntário de iniciação científica e, assim, tive os primeiros contatos com a pesquisa para além das receitas prontas dos laboratórios de ensino. A biblioteca central passou a dividir espaço com o Portal de Periódicos, e o universo quase infinito dos artigos científicos de repente se abriu. A participação no grupo de pesquisa rendeu trabalhos em congressos e artigos publicados. Em seguida, ingressei no mestrado em Química também na UnB que concluí em 2007, com o título: “Aspectos físico-químicos da protonação e desprotonação da superfície do ácido húmico”.

Depois de um interstício na vida acadêmica, no qual me tornei servidor público, a necessidade de aperfeiçoamento me chamou novamente. Então, em 2020 iniciei o curso de doutorado em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na linha de pesquisa “Análise e Avaliação da Produção Científica e das Políticas Públicas em CT&I e Divulgação das Ciências”. Escolhi a temática da Internacionalização da ciência, pois, devido a atuação na DRI, me questionava sobre os benefícios que as bolsas no exterior podem trazer tanto aos bolsistas como ao país e como essa questão poderia ser avaliada. A Química como

área de estudo veio naturalmente, como parte inerente tanto de minha formação universitária quanto ao contexto do PPgCI | UFRGS.

Em 2023, uma guinada em minha vida profissional me levou a trabalhar na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no cargo de Especialista em Regulação de Recursos Hídricos e Saneamento básico. Neste ponto, cabe destacar que a ANA estimula a pesquisa e a capacitação de recursos humanos para a gestão dos recursos hídricos, com diversos cursos de capacitação, do nível básico até a pós-graduação, como o Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua), que, em parceria com a CAPES, já formou mais de 580 mestres e, atualmente, conta com 14 universidades associadas.

Por fim, a estrutura desta tese começa com a introdução que contextualiza os temas abordados, apresenta a justificativa, o problema de pesquisa e os objetivos deste estudo. Em seguida, vem o referencial teórico que sustenta desenvolvimento da pesquisa ao abordar a Internacionalização da Ciência, a Cientometria, a pós-graduação e as bolsas internacionais da CAPES. Segue-se com a síntese metodológica e, como resultados, são apresentados três artigos, os quais respondem aos objetivos específicos deste trabalho, o primeiro já está publicado, os outros dois foram submetidos e aguardaremos o fim do processo editorial para divulgá-los na íntegra. Na parte final, são apresentadas as considerações finais e as referências utilizadas.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA	21
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	23
1.3	OBJETIVOS	23
1.3.1	<i>Objetivo geral</i>	23
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	23
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	INTERNACIONALIZAÇÃO DA CIÊNCIA	24
2.2	A CIENTOMETRIA E OS INDICADORES CIENTOMETRICOS	31
2.2.1	<i>A Cientometria</i>	31
2.2.2	<i>Indicadores Cientométricos</i>	37
2.3	FORMAÇÃO DE DOUTORES NO EXTERIOR E A CAPES	41
2.4	A ÁREA DE QUÍMICA	46
3	METODOLOGIA	51
4	RESULTADOS OBTIDOS	54
4.1	ARTIGO 1	54
4.1.1	<i>Título: Produção Científica Brasileira na Área de Química: Um Estudo Estatístico De Duas Décadas</i>	54
4.2	ARTIGO 2	76
4.2.1	<i>Título: Perfil Acadêmico e Redes de Colaboração Internacional de Doutores em Química: Um Estudo dos Egressos do PDSE (2013-2016)</i>	76
4.3	ARTIGO 3	101
4.3.1	<i>Título: Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES em Química: Uma Análise sobre a Produção Científica de Egressos e Não Egressos do Programa</i>	101
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
6	REFERÊNCIAS	131

1 INTRODUÇÃO

A ciência, de acordo com Marginson (2022), é uma atividade globalmente integrada, com uma intrincada rede de conexões entre cientistas, instituições de ensino e pesquisa, agentes financiadores e demais partes interessadas. Esses atores impulsionam um sistema global de ciência por meio da comunicação e publicação via internet, autoria transfronteiriça e mobilidade de pesquisadores e estudantes. Além disso, a crescente complexidade e interdependência dos desafios globais, como as alterações climáticas, as pandemias, o desenvolvimento sustentável, entre outros, ressaltam a importância da colaboração e da cooperação internacional para encontrar soluções adequadas (Adams, 2013; King, 2004). O resultado desse conjunto de interações podemos chamar de internacionalização da ciência.

Nesse sentido, no âmbito da ciência, a internacionalização pode ser entendida como um processo que envolve a ampliação da colaboração entre pesquisadores e instituições ao redor do mundo, a difusão dos resultados das pesquisas em periódicos internacionais, as citações recebidas de autores estrangeiros e a ampliação do enfoque internacional dos periódicos brasileiros (Santin; Vanz; Stumpf, 2016). Segundo McManus et al. (2020), a internacionalização da ciência e da pesquisa é uma colaboração entre diversos atores que se unem para atingir objetivos comuns, seja em âmbito local, nacional ou internacional. Essa colaboração é percebida como uma parceria ou cooperação em busca de benefícios para ambos os lados, criando oportunidades para o acesso de pesquisadores brasileiros a novos financiamentos e aumentando o impacto da pesquisa de maneira mútua (McManus *et al.*, 2020). Ademais, a internacionalização expande o alcance da produção científica, supera limitações geográficas, promove a integração global da pesquisa e eleva o perfil internacional da ciência brasileira (McManus *et al.*, 2020; Santin; Vanz; Stumpf, 2016).

No contexto da Educação Superior, a internacionalização envolve a promoção da mobilidade acadêmica, a colaboração científica e a cooperação entre instituições de diferentes países, com o objetivo de melhorar a qualidade do ensino, da pesquisa e da extensão (de Souza; De Filippo; Casado, 2020). Isso inclui a realização de atividades internacionais nas instituições de ensino superior, como a presença de alunos e professores estrangeiros, a mobilidade estudantil, a realização de pesquisas em parceria com instituições estrangeiras, a participação em redes internacionais de

ensino e pesquisa e a oferta de disciplinas em língua estrangeira (Morosini, 2011). Dessa forma, Gheno et al. (2020) consideram que, para a pós-graduação, a internacionalização enriquece os programas com novas abordagens, perspectivas e tecnologias, fomenta a interdisciplinaridade, a colaboração e prepara os estudantes de pós-graduação para carreiras globais, proporcionando-lhes habilidades e experiências valorizadas em um mercado de trabalho cada vez mais internacionalizado. Além disso, os benefícios incluem melhoria da qualidade educacional, visibilidade internacional, atração de talentos e parcerias estratégicas (Khomyakov; Dwyer; Weller, 2020). Assim, a internacionalização pode ser considerada uma estratégia para a melhoria da qualidade do ensino, da pesquisa e da extensão, além de contribuir para a formação de profissionais mais aptos a atuar em um mundo globalizado, impulsionando o desenvolvimento econômico e social do país.

Diante deste contexto, no decorrer das últimas décadas, a internacionalização da ciência passou a ser considerada uma prioridade para a comunidade científica de países emergentes, bem como um aspecto estratégico nas políticas científicas nacionais e institucionais, tornando-se cada vez mais relevante (Santin; De Souza Vanz; Stumpf, 2015). No entanto, conforme observado por Schwartzman (2022), a internacionalização representa um dos principais desafios para o sistema brasileiro de pesquisa e pós-graduação, indicando a necessidade de avanços contínuos para que o país se consolide como um ator relevante na cena internacional.

Nesse cenário, o último Plano Nacional de Pós-Graduação¹ (PNPG 2011 – 2020), instituído pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), dispõe que uma das estratégias propostas para fortalecer a conexão entre as universidades brasileiras e estrangeiras é a expansão das publicações em colaboração entre elas. Nesse ponto, nota-se que ao longo da última década, houve um aumento constante no número de publicações de pesquisadores brasileiros em parceria com colaboradores internacionais, subindo de 22,7% para 35,5% (CAPES, 2021). Com relação às áreas do conhecimento, o progresso foi particularmente significativo nas áreas de Ciências Agrárias e Ciências da Saúde. Por outro lado, as Ciências Exatas e da Terra permaneceram como a área com o maior índice de

¹ A Pós-Graduação brasileira já instituiu 5 Planos Nacionais de Pós-Graduação: I PNPG (1975 – 1980); II PNPG (1982 – 1985); III PNPG (1986 – 1989); IV PNPG (2005 – 2010); e o plano V PNPG (2011 – 2020) que referenciamos no texto.

trabalhos publicados em colaboração internacional ao longo da década (CAPES, 2021).

Em avaliação da evolução do SNPG (Sistema Nacional de Pós-Graduação), durante a vigência do PNPG 2011-2020, metas mais ambiciosas foram propostas, destacando-se a importância de programas como o CsF (Ciências Sem Fronteiras) e o CAPES-PrInt (Programa Institucional de Internacionalização), para o desenvolvimento da internacionalização da educação e da ciência brasileiras. Para continuar esse avanço, são apresentadas nessa avaliação recomendações para o próximo PNPG, tais como: ampliar a presença de alunos e pesquisadores estrangeiros, fortalecer programas de internacionalização, reforçar laços com países como China e Índia, manter programas eficazes, facilitar a absorção de beneficiários da internacionalização, melhorar o modelo de bolsas de pós-doutorado no exterior e garantir investimentos financeiros, inclusive por meio de parcerias com agências de fomento e o setor empresarial (CAPES, 2021).

Diante desses desafios, uma compreensão mais profunda dos fatores que impulsionam o sucesso da ciência pode nos ajudar a desenvolver ferramentas e políticas que tenham o potencial de aprimorar a ciência encontrar soluções mais eficazes para problemas ambientais, sociais e tecnológicos (Fortunato *et al.*, 2018). Assim, por meio da análise da produção científica pode-se obter informações relevantes para interpretar o desenvolvimento científico e comparar diversos setores de forma abrangente (Gheno *et al.*, 2019; Mingers; Leydesdorff, 2015; Parra; Coutinho; Pessano, 2019). Nesse sentido, a utilização de indicadores quantitativos, os chamados indicadores cientométricos, para avaliar desempenho de pesquisadores, grupos de pesquisa, instituições e países vem se fortalecendo nas últimas décadas e podem contribuir para o entendimento objetivo e abrangente do comportamento da ciência e de seus impactos nas diferentes áreas do conhecimento (Barros *et al.*, 2019; Gheno *et al.*, 2019; McManus; Baeta Neves; Prata, 2021; Mingers; Leydesdorff, 2015; Queiroz; Calabro, 2021). Dentre esses indicadores, destacam-se os indicadores de produção, relacionados à quantidade de publicações, os indicadores de impacto, como as citações, o Fator de Impacto e o Índice-H, os indicadores de colaboração, como a coautoria média e as redes de citações, e também aqueles de recursos financeiros (Mingers; Leydesdorff, 2015; Silva; Grácio, 2021; Waltman, 2016).

Duas décadas após o início do século XXI, a produção científica brasileira ultrapassou a marca de cem mil publicações em um ano (100.085 documentos, especificamente). Com isso, o Brasil alcançou em 2021 a 14ª posição no ranking de países do *SCImago Journal & Country Rank* (SJR).² Neste portal, podemos obter indicadores de periódicos e países a partir das informações do banco de dados Scopus® (Elsevier B.V)³. A série histórica do índice, dada a partir de 1996, é liderada pelos Estados Unidos, China, Reino Unido, Alemanha e Japão, respectivamente. Nesta série, observa-se uma evolução da produção nacional, que ocupava a 17ª posição em 2001, com 16.603 documentos indexados na base Scopus. Não obstante essa posição em nível global, estudos com dados da *Web of Science* (WoS)⁴ para o período do 1991-2011 já mostravam o Brasil como líder regional na América Latina em número de publicações, embora apresentasse um modesto impacto de citações (Leta; Thijs; Glänzel, 2013). Por outro lado, Grácio e Oliveira (2014) analisaram indicadores cientométricos normalizados de produção e de citação da ciência brasileira, considerando as 27 áreas do conhecimento apresentadas pelo portal SJR e o período de 1996 a 2011, e verificaram que o Brasil está acima da média global em todos os índices normalizados, à exceção de Citações por Documento, para algumas áreas

Clique ou toque aqui para inserir o texto..

Com relação à área de Química, a produção científica brasileira foi da 18ª posição, em 2001, com 1.861 documentos indexados, para a 14ª em 2021, com 7.169 documentos. Na série histórica (liderada por China, EUA, Japão, Alemanha e Índia), a Química brasileira se encontra na 16ª posição do ranking de países do SJR. A partir de dados da WoS, Menezes e Caregnato (2018) identificaram um crescimento de 73,19% da produção científica brasileira em Química no período de 2004 a 2013, sendo esta uma das áreas com a maior contribuição para a produção científica nacional, pois representa 15,5% deste total. Monteiro *et al.* (2017), por sua vez, identificaram que entre os integrantes do SNPG a produção intelectual da área de Química evoluiu tanto quantitativa como qualitativamente, no período entre 1990 e 2012. O número de publicações saltou de 418 para 3.898. A produção publicada em revistas com fator de impacto maior ou igual a 1 foi de 64,1%, no início da década de

² Disponível em: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php>.

³ Disponível em: <https://www.scopus.com/search/>.

⁴ Disponível em: <https://www.webofscience.com/>.

2001, enquanto ao final de 2012, 77% da publicação estava em periódicos com fator de impacto igual ou superior a 2.

A literatura demonstra que a colaboração internacional, especialmente quando há participação em programas de mobilidade internacional, como o Ciência sem Fronteiras (de Souza; De Filippo; Casado, 2020; McManus; Nobre, 2017), é fundamental para aumentar o impacto da pesquisa brasileira em escala global, influenciando sua visibilidade e qualidade. Estudos analisaram os efeitos da colaboração internacional de cientistas brasileiros em diferentes áreas de conhecimento, utilizando análises cientométricas para compreender melhor seu impacto na pesquisa e no seu reconhecimento internacional, orientando estratégias futuras para ampliar o acesso a recursos financeiros e tecnológicos, e promover uma maior integração da produção científica brasileira com o conhecimento científico mundial (Ghenó *et al.*, 2020; McManus *et al.*, 2020).

No entanto, percebe-se a necessidade de uma avaliação contínua e específica da internacionalização da produção científica para subsidiar políticas científicas nacionais e institucionais. Isso inclui a análise de indicadores como de difusão, colaboração e impacto internacional, bem como a investigação sobre estratégias eficazes para aumentar a visibilidade e o impacto da pesquisa brasileira globalmente (Santin; Vanz; Stumpf, 2016; Schwartzman, 2022). Além disso, é essencial compreender as particularidades e desafios enfrentados por diferentes áreas do conhecimento e avaliar o efeito de programas de mobilidade acadêmica internacional no ensino superior, em programas de pós-graduação (PPG), nas próprias áreas de pesquisa e na produção científica brasileira (de Souza; De Filippo; Casado, 2020; Ghenó *et al.*, 2020).

1.1 JUSTIFICATIVA

Considerando que a internacionalização da produção científica é um fator de extrema relevância para a ciência contemporânea e para a inserção internacional dos países em desenvolvimento, como o Brasil, é imprescindível reconhecer que, apesar dos esforços recentes para promover essa internacionalização, o país ainda enfrenta desafios em relação ao alcance e ao impacto internacional de suas publicações científicas. A CAPES, como a instituição responsável pela avaliação dos programas

de pós-graduação no Brasil, inclui a internacionalização como um dos critérios para essa avaliação, refletindo a importância atribuída a essa dimensão na qualidade da pesquisa e dos programas de pós-graduação brasileiros.

A literatura também ressalta que a qualidade da pesquisa científica não depende apenas da competência individual dos pesquisadores, mas também dos recursos disponíveis e das colaborações estabelecidas (Schwartzman, 2022). Portanto, a internacionalização da produção científica é vista como uma estratégia para ampliar o alcance e o impacto das pesquisas, promovendo colaborações entre autores e instituições ao redor do mundo. Essas colaborações têm demonstrado impactos positivos na visibilidade e qualidade da produção científica brasileira, contribuindo para o aumento do número de citações recebidas e para o fortalecimento dos programas de pós-graduação (de Souza; De Filippo; Casado, 2020; Gheno *et al.*, 2020; Santin; Vanz; Stumpf, 2016). Ademais, é importante enfatizar a necessidade de pesquisas futuras que possam aprofundar a compreensão dos efeitos da internacionalização na produção científica e na formação de estudantes de pós-graduação, contribuindo para o desenvolvimento de políticas e estratégias mais eficazes nessa área (Gheno *et al.*, 2020).

Adicionalmente, pouco se sabe sobre a influência que a formação acadêmica no exterior exerce sobre a produção científica de pesquisadores na área de Química, especialmente no caso de bolsas de estudo na modalidade Doutorado Sanduíche. Diante disso, justifica-se a necessidade de investigar mais atentamente o impacto desta formação internacional, a modalidade com o maior número de bolsistas internacionais da CAPES nos últimos anos, de acordo com dados do Sistema de Informações Georreferenciadas da CAPES (GEOCAPES⁵). Bem como, portanto, se o investimento público em bolsas de doutorado sanduíche no exterior tem sido eficaz do ponto de vista da produtividade qualificada desses bolsistas, promovendo a internacionalização da ciência brasileira. Busca-se, assim, contribuir para o avanço do conhecimento e o aprimoramento de políticas e estratégias nesse campo científico.

⁵ Disponível em: <https://geocapes.capes.gov.br/>

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Neste sentido, é pertinente questionar, qual o comportamento da produção científica brasileira em Química e como a formação acadêmica no exterior na modalidade Doutorado Sanduíche no Exterior influencia a produção científica e as redes de colaboração dos pesquisadores brasileiros na área de Química?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Investigar o desempenho da produção científica brasileira em Química e o impacto da formação acadêmica no exterior sobre a produção científica dos doutores em Química que participaram do programa de Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analisar estatisticamente a produção científica brasileira na área de Química em comparação com outros países no período de 2001 a 2020.
- Investigar a formação acadêmica, indicadores cientométricos e redes de colaboração dos doutores em Química egressos do programa de Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES (PDSE).
- Analisar comparativamente o impacto do PDSE sobre a produção científica e os indicadores cientométricos dos doutores em Química, tanto egressos quanto não egressos do programa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INTERNACIONALIZAÇÃO DA CIÊNCIA

A internacionalização da ciência emergiu como um campo de estudo no final do século XX, impulsionada pela progressão da globalização e pela crescente interconexão entre países e instituições científicas (Gheno *et al.*, 2020; Santin; Vanz; Stumpf, 2016). Inicialmente, os pesquisadores direcionaram seus esforços para compreender a disseminação do conhecimento científico para além das fronteiras nacionais, por meio da análise de indicadores específicos que refletem a colaboração e a integração globais nos processos de pesquisa e educação (Da Cunha-Melo, 2015). Assim, a participação de pesquisadores de diferentes países em projetos conjuntos, a publicação de artigos em colaboração internacional, a mobilidade de estudantes e pesquisadores, a participação em redes de cooperação científica de diferentes países e a influência de fatores internacionais na produção científica passaram a ser pontos fundamentais para a compreensão da internacionalização da ciência (Da Cunha-Melo, 2015; Mugnaini; Leite; Leta, 2012; Santin; Vanz; Stumpf, 2016).

Com o tempo, a internacionalização da ciência tornou-se um tópico proeminente nos debates sobre o futuro da pesquisa científica, resultando no desenvolvimento de políticas e estratégias nacionais e internacionais para promover a colaboração científica em escala global (Gheno *et al.*, 2020; Santin; Vanz; Stumpf, 2016). Essas iniciativas visaram compreender como a internacionalização pode contribuir para o avanço científico, a inovação tecnológica e o desenvolvimento socioeconômico. Diversos estudos contribuíram significativamente para o entendimento da internacionalização da ciência, explorando várias facetas, como a formação de doutores, o desempenho de cientistas em diferentes contextos e o uso de indicadores bibliométricos e cientométricos na análise da produção científica (Macias-Chapula, 1998; Meneghini, 1998; Velho, 2001). Em vista disso, King (2004) analisou a contribuição de diferentes nações para a ciência mundial, utilizando métricas como o número de artigos publicados, revisões e suas citações, e destaca a importância de avaliar a posição científica de uma nação para orientar decisões de financiamento e prioridades científicas. Bem como, ressaltou a necessidade de

colaboração entre nações de alta e baixa capacidade científica para romper os ciclos de pobreza e dependência, ressaltando a importância da colaboração e do desenvolvimento científico para o progresso global.

Outros marcos importantes no campo da internacionalização da ciência incluem o desenvolvimento de relatórios e estudos internacionais por organizações multilaterais como a UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e a União Europeia, destacando a importância da colaboração internacional para o avanço da ciência e da inovação. Houve também o estabelecimento de políticas de internacionalização, onde países e instituições acadêmicas implementaram políticas e estratégias para promover a colaboração científica e a mobilidade acadêmica (Gheno *et al.*, 2020). A internacionalização da ciência também passou a ser vista como uma prioridade na agenda dos governos, visando o avanço científico e tecnológico dos países e o benefício dos cidadãos (Da Cunha-Melo, 2015). Dentre essas medidas, podemos citar o Plano Nacional de Ciência e Tecnologia do Japão, de 1996, que incluiu ações nesse sentido, e a exigência do governo italiano para que projetos fossem apresentados em italiano e inglês visando facilitar a avaliação por consultores internacionais e promover parcerias para a difusão global dos resultados das pesquisas (Fiorin, 2007). Adicionalmente, cabe ressaltar, que a formação de redes de colaboração científica entre pesquisadores e instituições de diferentes países também contribuiu para o fortalecimento da internacionalização da ciência e para a ampliação do alcance e impacto da produção científica (Gheno *et al.*, 2020).

King (2004) destaca a importância de uma base científica forte para o desenvolvimento econômico e social, assim como a necessidade de investimento em pesquisa e colaboração internacional para enfrentar desafios globais. À vista disso, a necessidade de compreender melhor a internacionalização da ciência levou ao desenvolvimento de indicadores específicos para avaliar esse fenômeno. Indicadores de internacionalização da produção científica foram sistematizados de acordo com o *Manual de Indicadores de Internacionalización de la Ciencia y la Tecnología*, conhecido como Manual de Santiago. Este manual, publicado pela *Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología* (RICYT) em 2007, propõe um conjunto de indicadores para medir a intensidade e descrever as características da internacionalização em países ibero-americanos, tanto em nível nacional quanto em

instituições e organismos internacionais (De Santiago, 2007). Desde então, diversos estudos têm sido realizados para compreender os impactos, desafios e benefícios da internacionalização da ciência, incluindo a utilização de métodos bibliométricos, relatórios de organizações internacionais sobre a importância da colaboração global para o avanço científico, além do estabelecimento de políticas e redes de colaboração científica entre instituições de diferentes países (Gheno *et al.*, 2020).

A colaboração científica internacional também foi examinada em diferentes perspectivas, desde a análise de redes de colaboração até a avaliação de políticas e estratégias de internacionalização. Leydesdorff e Wagner (2008) analisaram a evolução da colaboração internacional em ciência, definida como eventos de coautoria a nível de documento, e identificaram padrões emergentes na formação de um grupo central de países colaborativos. Utilizaram também a análise de redes sociais para examinar a estrutura da rede global de colaborações em ciência, incluindo métricas como número de nós, número de *links*, densidade da rede, grau médio, distância média, entre outros, e análise das tendências ao longo do tempo a fim de identificar padrões de crescimento, densificação da rede e mudanças na composição do núcleo central de colaboração.

Por sua vez, Grácio (2018) aborda a colaboração no contexto internacional ao destacar a formação de redes de pesquisa e colaboração em escala global, como a COLLNET (Collaboration in Science and in Technology), estabelecida em Berlim em 2000. Essa rede promove eventos científicos anuais envolvendo pesquisadores de diferentes campos científicos e países, especialmente nos estudos métricos da informação. Os motivos para a atividade colaborativa incluem aspectos relacionados à visibilidade científica, captação de recursos, especialização e expertise, impulsionando a colaboração internacional como uma forma de unir forças, evitar competições desnecessárias e enfrentar grandes problemas científicos de maneira mais eficaz. Dessa forma, a colaboração no contexto internacional não apenas potencializa o desenvolvimento do conhecimento científico, mas também promove a troca de experiências, amplia perspectivas e constrói redes de colaboração que transcendem fronteiras geográficas e disciplinares (Grácio, 2018)

Por meio de análises cientométricas e bibliométricas, que são estudos quantitativos que analisam a produção científica, os pesquisadores podem identificar padrões de colaboração, tendências de pesquisa e impacto da produção científica em nível internacional, contribuindo para uma compreensão mais ampla da dinâmica da

ciência global (Baeta Neves; McManus; Carvalho, 2020; McManus *et al.*, 2020) , bem como, o crescimento da capacidade e do alcance de bases de dados científicos, como a *Web of Science* e *Scopus*, para se obter dados, identificar e analisar publicações científicas ampliou consideravelmente as possibilidades de pesquisas nessa temática (Oliveira, G; 2020).

Assim, o campo da internacionalização da ciência passou a considerar também a mobilidade de pesquisadores, a citação de trabalhos em publicações estrangeiras, a participação em projetos de pesquisa internacionais e a colaboração entre instituições de diferentes países (Leite; Mugnaini; Leta, 2011). Além disso, estudos também buscaram compreender a internacionalização da produção científica nas Ciências Humanas e Sociais, identificando dificuldades e sugerindo políticas para aumentar a visibilidade internacional da pesquisa brasileira (Fiorin, 2007; Morosini, 2011, 2014), bem como na educação em ciências, ressaltando a importância da qualidade dos artigos e de outros indicadores qualitativos na avaliação da produção científica.

Em vista disso, o estudo da internacionalização da ciência evoluiu ao longo do tempo, incorporando diferentes abordagens e perspectivas. Isso inclui desde análises bibliométricas e cientométricas até estudos qualitativos sobre a formação de redes de colaboração científica e a influência de políticas governamentais na promoção da internacionalização da pesquisa (Roos *et al.*, 2014). Portanto, a internacionalização da ciência continua a ser um tema de interesse crescente na comunidade acadêmica, refletindo a busca por uma compreensão mais ampla dos processos envolvidos na colaboração científica global (Baeta Neves; McManus; Carvalho, 2020; Leite; Mugnaini; Leta, 2011). Nesse contexto, podemos sintetizar alguns dos principais conceitos envolvidos na temática da internacionalização da ciência para entendermos não apenas os processos, mas o impacto e o avanço da produção conhecimento científico em escala global. Dentre esses conceitos, destacam-se:

- a) Internacionalização da Ciência: Refere-se ao processo pelo qual a pesquisa científica se torna cada vez mais integrada e reconhecida internacionalmente. Isso envolve colaborações entre pesquisadores de diferentes nacionalidades, publicação em periódicos estrangeiros e o aumento da visibilidade e do impacto global das pesquisas (Santin; Vanz; Stumpf, 2016) .
- b) Colaboração Científica Internacional: Consiste na cooperação entre pesquisadores de diferentes países para realizar estudos conjuntos, publicar

artigos científicos em coautoria e compartilhar recursos e conhecimentos. Essa colaboração é fundamental para a produção de conhecimento de alta qualidade e para ampliar o impacto da pesquisa (Gheno *et al.*, 2020) .

- c) Redes de Colaboração Científica: Referem-se às conexões estabelecidas entre pesquisadores e instituições de diferentes países por meio de colaborações científicas. Essas redes são importantes para promover a troca de conhecimentos, a inovação e o avanço da ciência em escala global (Gheno *et al.*, 2020) .
- d) Indicadores de Internacionalização: São medidas utilizadas para avaliar o grau de internacionalização de instituições de pesquisa, universidades e sistemas de educação superior. Esses indicadores incluem colaborações em publicações científicas, participação em projetos de pesquisa internacionais e mobilidade acadêmica (Da Cunha-Melo, 2015).
- e) Diplomacia da Ciência: É o uso da ciência como uma ferramenta na política externa dos países, promovendo parcerias científicas e colaborações internacionais independentemente de considerações políticas (Da Cunha-Melo, 2015).

Tendo em vista que a internacionalização da ciência é um fenômeno multifacetado abrangendo uma série de dimensões essenciais para compreender sua dinâmica, diversas linhas de pesquisa relacionadas à temática podem ser identificadas. Dentre as abordagens quantitativas, destacamos as análises cientométricas, que englobam estudos sobre a produção científica, a colaboração entre pesquisadores e instituições, e tendências de pesquisa em nível internacional (Santin; De Souza Vanz; Stumpf, 2015; Santin; Vanz; Stumpf, 2016). Estes estudos dependem, por sua vez, do desenvolvimento e análise de indicadores para avaliar a internacionalização da produção científica em seus diversos aspectos, incluindo a colaboração internacional, a produção científica em parceria e a mobilidade acadêmica (Da Cunha-Melo, 2015).

A colaboração internacional em ciência, medida pelas relações de coautoria em artigos referenciados, demonstrou um crescimento linear de 1990 a 2005 em termos do número de artigos. No entanto, em termos do número de localizações internacionais envolvidas, esse crescimento foi exponencial, o que indica uma expansão da rede científica ao redor do mundo, um correspondente crescimento na

difusão do conhecimento e uma tendência crescente de colaborações multinacionais (Leydesdorff; Wagner, 2008).

A extensiva análise realizada por Leta; Thijs; Glänzel (2013) sobre a produção científica e o impacto das citações no Brasil, com ênfase na colaboração internacional, destaca-se no contexto da internacionalização. Através de métodos cientométricos, os resultados indicam um aumento significativo na participação do Brasil no total mundial de publicações científicas, mas sem um crescimento proporcional no desempenho da pesquisa brasileira nos últimos anos. A coautoria internacional emergiu como um fator preponderante, com um aumento significativo da participação de coautores estrangeiros, especialmente na América Latina, o que reflete na crescente visibilidade internacional e no impacto das publicações brasileiras.

Outro estudo relevante, realizado por McManus et al. (2020), utiliza análises cientométricas, incluindo análises de cluster e de componentes principais, para compreender os benefícios da colaboração internacional de cientistas brasileiros, a partir de dados disponíveis nas plataformas SciVal®⁶ Incites®⁷, e auxiliar no desenvolvimento de políticas de financiamento nacionais. As conclusões destacam que a colaboração internacional aumenta o impacto da pesquisa, permite aos pesquisadores brasileiros contribuírem para tópicos de pesquisa proeminentes em todo o mundo, o acesso a financiamento e resulta em aumentos nos indicadores de impacto. Além disso, ressalta-se a importância das publicações em acesso aberto em revistas de alto impacto para manter a ciência brasileira na vanguarda da pesquisa global.

No contexto da educação superior, De Almeida; Guimarães (2013) demonstram que o Brasil teve um crescimento significativo na produção científica, impulsionado pelo aumento dos programas de pós-graduação e que a produção científica brasileira representa uma parte substancial da produção latino-americana, destacando o papel do país na região. Corroborando com outros estudos, Gheno et al. (2020), observaram que a colaboração internacional aumentou a visibilidade e o impacto das publicações científicas do Programa de Pós-Graduação (PPG) em Ciências Biológicas: Bioquímica/UFRGS. Além disso, verificaram que o aumento do número de países envolvidos na elaboração de um artigo não apenas aumentou o número de citações recebidas, mas também melhorou a visibilidade dos periódicos utilizados, medido pelo

⁶ Disponível em: <https://www.scival.com/landing>

⁷ Disponível em: <https://incites.clarivate.com/#/landing>

Fator de Impacto. Isso ressalta a importância da internacionalização para a projeção global da pesquisa acadêmica e o avanço do conhecimento científico.

O estudo de Baeta Neves; McManus; Carvalho (2020) avaliou o impacto da pós-graduação e da pesquisa científica no Brasil, utilizando indicadores como citações individuais e produção científica de universidades brasileiras, e também analisou políticas públicas de CT&I. Observaram uma concentração significativa da produção científica em poucas instituições, principalmente as públicas, destacando desafios na definição de prioridades e na manutenção das políticas de CT&I. Também ressaltaram a importância de considerar áreas de impacto não facilmente mensuráveis por métodos tradicionais, como ciências humanas e sociais, enfatizando uma abordagem inclusiva e interdisciplinar.

Cabe destacar também a análise comparativa realizada por Roos *et al.* (2014) sobre a produção científica de pesquisadores que concluíram o doutorado no Brasil ou no exterior entre 1997 e 2002, nas áreas de bioquímica, fisiologia e farmacologia. Utilizando dados de diversas fontes, como CAPES, CNPq, Lattes, *Web of Science* e Scopus, constataram que os doutores formados no Brasil publicaram mais artigos do que os formados no exterior. No entanto, os artigos daqueles que concluíram o doutorado no exterior foram publicados em revistas com maior fator de impacto e receberam mais citações, indicando um desempenho qualitativo superior com relação à formação no exterior. Em vista disso, ressalta a necessidade de políticas públicas para aprimorar a qualidade e a inserção internacional dos artigos científicos brasileiros.

Por outro lado, enfoques qualitativos ou mistos investigam os benefícios e desafios da mobilidade de estudantes, pesquisadores e profissionais da ciência entre países, e seu impacto na produção e disseminação do conhecimento (Morosini, 2011). Além disso, exploram as experiências, motivações e desafios enfrentados por pesquisadores envolvidos em colaborações internacionais (Ghenó *et al.*, 2020). Estudos com relação às políticas e estratégias de internacionalização examinam as abordagens governamentais e institucionais destinadas a promover a internacionalização da ciência e tecnologia (Da Cunha-Melo, 2015). No contexto da Diplomacia Científica e Cooperação Internacional, investiga-se o papel da ciência na diplomacia e nas relações internacionais, bem como os mecanismos e benefícios da cooperação científica entre países (Da Cunha-Melo, 2015). Finalmente, sob uma perspectiva institucional, cultural, econômica e de desenvolvimento, busca-se

compreender a internacionalização da ciência sob diversas óticas, incluindo políticas e práticas institucionais, impactos culturais (Oliveira, 2020), no desenvolvimento sustentável, econômico e social das nações (Da Cunha-Melo, 2015).

Por fim, considerando ainda a constante necessidade de avaliação da eficácia das políticas de financiamento da pesquisa e seus impactos no desenvolvimento científico e tecnológico do país, bem como a relevância da pesquisa para o desenvolvimento econômico e social e para a formação de recursos humanos qualificados, conforme destacado por Schwartzman (2022), o presente estudo, buscando uma visão abrangente sobre a internacionalização da ciência, concentra-se na análise cientométrica, numa perspectiva quantitativa acerca da produção científica brasileira e o impacto das publicações, a formação de doutores, a colaboração entre pesquisadores e instituições e tendências de pesquisa em nível internacional.

2.2 A CIENTOMETRIA E OS INDICADORES CIENTOMETRICOS

2.2.1 A Cientometria

As raízes da Cientometria podem ser rastreadas desde as primeiras décadas do século XX. Foram fundamentais, os estudos de sociólogos como Robert K. Merton, cujo trabalho nas décadas de 1930 e 1940 estabeleceu as bases para a Sociologia da Ciência. Merton investigou as normas e valores que governam a prática científica, destacando a importância da análise sociológica na compreensão da atividade científica. Além disso, é importante destacar trabalhos desbravadores que antecederam a formalização da cientometria e originaram as chamadas leis da bibliometria. Essas leis ainda hoje são importantes para a análise da produção científica e para as tomadas de decisões em diversas áreas, incluindo a medicina e a gestão da informação científica (Machado Junior *et al.*, 2016), e podem ser assim enunciadas:

- a) A Lei de Lotka, proposta por Alfred J. Lotka em 1926, é utilizada para observar a distribuição de frequência de autores em determinadas

publicações científicas. Lotka observou que uma pequena parcela de pesquisadores é responsável pela maioria das publicações em um determinado campo científico, enquanto a maioria dos autores produz apenas algumas publicações. Essa lei ajuda a entender a dinâmica da produtividade científica e a identificar padrões de colaboração e liderança acadêmica (Mattedi; Spiess, 2017).

- b) Lei de Bradford, formulada por Samuel C. Bradford em 1934, identifica a distribuição de frequência de documentos em periódicos ou revistas científicas. Bradford observou que as publicações científicas estão concentradas em um número restrito de revistas, com uma proporção significativamente menor de artigos publicados em um número maior de periódicos. Essa lei tem implicações importantes na gestão de coleções bibliográficas e na identificação de fontes de informação relevantes em um determinado campo de estudo (Mattedi; Spiess, 2017).
- c) Lei de Zipf, proposta por George Kingsley Zipf em 1949, trata da distribuição de frequência de palavras em um documento ou conjunto de documentos. Zipf observou que algumas palavras são muito mais frequentes do que outras em textos naturais, seguindo uma distribuição probabilística característica. Essa lei é amplamente utilizada em análises textuais, recuperação da informação e processamento de linguagem natural para compreender a estrutura e a organização de textos escritos (Mattedi; Spiess, 2017).

Embora desenvolvidas em contextos diferentes e para propósitos distintos, essas leis são fundamentais para análises bibliométricas e cientométricas, na compreensão sobre a estrutura e a dinâmica da produção científica e textual (Mingers; Leydesdorff, 2015). A partir dessas leis é possível não apenas identificar padrões e tendências, mas também avaliar a produtividade científica e o desenvolvimento de políticas de ensino e pesquisa (Machado Junior *et al.*, 2016).

Na década de 50, podemos destacar influência significativa do trabalho de Eugene Garfield para o desenvolvimento da cientometria como uma disciplina. O desenvolvimento do conceito de "fator de impacto", para avaliar a importância relativa de periódicos científicos, a introdução do uso das citações como indicadores de influência e conexões intelectuais na comunidade científica. Garfield também fundou em 1960 o *Institute for Scientific Information (ISI)*, que criou o *Science Citation Index*

e outras bases de dados bibliográficos para facilitar a análise da literatura científica por meio de citações. Essas contribuições de Garfield influenciaram significativamente a forma como a pesquisa científica é avaliada e analisada (Mingers; Leydesdorff, 2015).

Em 1968, Robert K. Merton também foi o responsável pela introdução do conceito do "Efeito Mateus" na ciência, referindo-se à ideia de que pesquisadores ou trabalhos científicos que já são bem conhecidos ou que receberam uma quantidade significativa de atenção e reconhecimento tendem a receber ainda mais citações e reconhecimento, criando assim um ciclo de vantagem acumulativa (Merton, 1968). Esse efeito é de inspiração bíblica, do Evangelho de Mateus (25:29) que diz: "Porque a todo o que tem, dar-se-lhe-á, e terá em abundância; mas ao que não tem, até aquilo que considera ter ser-lhe-á tirado". O "Efeito Mateus" destaca a importância da visibilidade inicial e do reconhecimento na ciência, pois trabalhos ou pesquisadores que recebem uma atenção inicial tendem a atrair mais citações e reconhecimento ao longo do tempo, enquanto aqueles que não recebem essa atenção inicial podem ter dificuldade em alcançar reconhecimento posteriormente. Esse fenômeno ilustra como a distribuição desigual de citações e reconhecimento pode levar a disparidades na visibilidade e no impacto da pesquisa científica (Mingers; Leydesdorff, 2015).

O desenvolvimento da cientometria não poderia prescindir do trabalho de Derek de Solla Price, um cientista da informação, que concentrou seus estudos na análise de citações em artigos científicos como uma forma de medir a influência e o impacto da pesquisa. Ao publicar "*Little Science, Big Science*", em 1963, estabeleceu os fundamentos da cientometria, pavimentando o caminho para uma disciplina interdisciplinar que fornece uma base de compreensão sobre a dinâmica da ciência e da pesquisa (Fortunato *et al.*, 2018). Assim, a partir das análises de citações e da estrutura da ciência realizadas por Price e outros pesquisadores, a cientometria evoluiu para incluir uma variedade de métricas e métodos para avaliar a produção e a atividade científica em geral. Esse desenvolvimento se deu a partir do cruzamento da documentação científica, da Sociologia da Ciência e da História Social da Ciência. A partir dos anos 70, a cientometria começou a reunir pesquisadores de diferentes países e foi reconhecida como "a ciência da ciência", ampliando suas fronteiras para além da Bibliometria (Parra; Coutinho; Pessano, 2019).

A formalização dos estudos cientométricos teve como marcos o surgimento da revista *Scientometrics* em 1978, a criação de uma unidade de pesquisa na Academia

Húngara de Ciências e o estabelecimento de conferências e associações científicas, que foram fundamentais para o reconhecimento da cientometria como uma disciplina de estudo e sua utilização para a avaliação da pesquisa e para a formulação de políticas científicas (Curty; Delbianco, 2020; Mingers; Leydesdorff, 2015). Além disso, podemos ressaltar o impulso dado pelo surgimento do termo "cientometria" e pela distinção estabelecida por Broadus, em 1987, entre bibliometria e cientometria, enquanto a primeira foca em estudos de livros ou revistas científicas, compreendendo as atividades de comunicação da informação, a cientometria concentra-se nos aspectos quantitativos da criação, difusão e utilização da informação científica e técnica, buscando compreender os mecanismos de pesquisa como atividade social (Broadus, 1987; Santos, 2003).

Durante os anos 90 e 2000, com o avanço da informatização e o consequente aumento da disponibilidade e cobertura das bases de dados de publicações e citações, como o *Web of Science* (WoS), várias evoluções ocorreram. A disciplina de estudos da ciência se dividiu em pelo menos três vertentes, o estudo quantitativo de indicadores científicos e seus comportamentos, ou seja, a análise de métricas em uma perspectiva positivista; uma abordagem mais qualitativa na sociologia da ciência, que estuda os processos sociais e políticos por trás da geração e efeitos das citações, geralmente de uma perspectiva construtivista; e uma terceira corrente de pesquisa que está interessada em implicações políticas e se baseia nas outras duas (Mingers; Leydesdorff, 2015). Assim, a cientometria passou a ser encarada como um campo teórico, visando compreender também os processos sociais e culturais que influenciam a atividade científica. As abordagens teóricas da sociologia da ciência e da teoria dos sistemas foram fundamentais para esse novo olhar sobre a cientometria (Rubén Urbizagástegui Alvarado, 2010).

Atualmente, a cientometria está situada como um dos diversos campos dos Estudos Métricos da Informação (EMI), os quais apresentam objetos e propósitos de independentes, mas também se interrelacionam (Curty; Delbianco, 2020), e são importantes na identificação de padrões e tendências, e no apoio à tomada de decisões em diferentes áreas do conhecimento (Machado Junior *et al.*, 2016). Dentre estes subcampos, podemos destacar a Cientometria, Bibliometria, Informetria, Webometria e Altmatria, que podem ser assim sintetizados:

a) Cientometria:

- Estudo quantitativo da produção científica, incluindo análises de citações, redes de coautoria, impacto de periódicos, entre outros aspectos relacionados à ciência (Waltman, 2016).
- Estudo quantitativo da ciência e da tecnologia vista como um processo de comunicação, aplicando métodos quantitativos para analisar a produção científica, as redes de colaboração, o impacto da pesquisa e outros aspectos relacionados à comunicação na ciência (Mingers; Leydesdorff, 2015).
- Aplicação de métodos quantitativos e estatísticos para analisar a produção científica, a difusão do conhecimento e o impacto da pesquisa (Rubén Urbizagástegui Alvarado, 2010).
- Estudo quantitativo da ciência como disciplina ou atividade econômica, inserido na sociologia da ciência e aplicado no desenvolvimento de políticas científicas, envolvendo análises quantitativas das atividades científicas, incluindo a publicação (Macias-Chapula, 1998).

b) Bibliometria:

- É uma área da ciência da informação que utiliza métodos quantitativos para analisar a produção científica, incluindo a colaboração entre pesquisadores, a citação de artigos e a visibilidade das publicações. A bibliometria é frequentemente utilizada para estudar a internacionalização da ciência e avaliar o impacto da colaboração internacional na produção científica (Santin; De Souza Vanz; Stumpf, 2015).
- Disciplina que utiliza métodos quantitativos e estatísticos para analisar a produção, disseminação e uso da informação registrada em documentos (da Silva; Hayashi; Hayashi, 2011).
- Aplicação de métodos matemáticos e estatísticos a livros e outras formas de comunicação, envolvendo a análise quantitativa de publicações acadêmicas para avaliar a produção científica e o impacto da pesquisa (Mingers; Leydesdorff, 2015).
- Estudo dos aspectos quantitativos da produção, disseminação e uso da informação registrada em documentos, envolvendo o desenvolvimento de padrões e modelos matemáticos para medir esses processos (Macias-Chapula, 1998).

c) Informetria:

- Estudo da aplicação de métodos matemáticos aos objetos da ciência da informação, abrangendo todas as formas de informação, independentemente de sua forma ou origem (Mingers; Leydesdorff, 2015).
- Campo de estudo que engloba áreas como bibliometria e cientometria, priorizando o desenvolvimento de modelos matemáticos e a determinação de medidas para os fenômenos estudados (Macias-Chapula, 1998).

d) Webometria:

- Estudo dos aspectos quantitativos da construção e uso de recursos de informação, estruturas e tecnologias na Web, utilizando abordagens bibliométricas e infométricas (Mingers; Leydesdorff, 2015).

e) Altmetria:

- Esse campo, também conhecido como Cientometria 2.0, substitui as tradicionais citações de periódicos por métricas baseadas em atividades em ferramentas e ambientes online, como visualizações, downloads, "curtidas" e compartilhamentos em plataformas como Twitter, Mendelay e CiteULike (Mingers; Leydesdorff, 2015).
- Estudos que exploram a comunicação científica baseando-se nas novas métricas da informação provenientes da internet, em diversas plataformas online, como blogs, microblogs, redes sociais e em gerenciadores de bibliografia, visando compreender o impacto da ciência para além do âmbito acadêmico tradicional (Curty; Delbianco, 2020).

Portanto, a cientometria evoluiu das mais simples análises de frequência de publicações e citações para uma disciplina multifacetada, incorporando diferentes abordagens teóricas e metodológicas para entender a dinâmica da ciência e da pesquisa. Desse modo, as perspectivas quantitativas, que empregam métodos estatísticos para analisar diferentes aspectos da pesquisa científica (Mingers; Leydesdorff, 2015; Rubén Urbizagástegui Alvarado, 2010), abrangem desde a avaliação da produção científica até a análise das redes de citações, visando quantificar e medir a atividade científica de maneira objetiva e sistemática (Hicks *et al.*, 2015; Waltman, 2016).

A análise de citações representa uma tradição de pesquisa robusta, concentrando-se na avaliação do impacto e influência de artigos, autores e periódicos na comunidade científica (Waltman, 2016). Este enfoque é enriquecido pela análise de redes de citações, que utiliza métodos de análise de redes para identificar

comunidades de pesquisa e analisar padrões de colaboração e influência entre os artigos científicos. Adicionalmente, podemos definir Redes de Citações como comunidades de pesquisa, caracterizadas por subconjuntos de publicações que frequentemente se citam mutuamente, correspondendo a grupos de autores que compartilham uma posição comum sobre questões específicas ou trabalham em subtemas especializados (Fortunato *et al.*, 2018).

As abordagens qualitativas, por outro lado, buscam compreender os processos sociais e culturais que moldam a atividade científica, explorando as motivações dos cientistas, as dinâmicas de poder e as práticas de avaliação da pesquisa (Mingers; Leydesdorff, 2015; Rubén Urbizagástegui Alvarado, 2010). A sociometria, nesse contexto, emerge como uma tradição de pesquisa que se concentra na análise das relações sociais e colaborações entre pesquisadores, instituições e grupos de pesquisa (Mattedi; Spiess, 2017). Além disso, a informetria e a análise de redes de coautoria representam outras abordagens significativas sobre os processos de produção, disseminação e utilização do conhecimento científico (Mattedi; Spiess, 2017; Santos, 2003).

Por fim, a abordagem crítica propõe uma reflexão sobre as métricas tradicionais da cientometria, destacando as implicações éticas, sociais e políticas da avaliação da pesquisa, evidenciando desigualdades e injustiças presentes nos sistemas de avaliação científica (Rubén Urbizagástegui Alvarado, 2010). Adicionalmente, a altmetria, uma abordagem mais recente, focaliza na análise de métricas alternativas, como menções em redes sociais e downloads de artigos, para complementar as métricas tradicionais de citação na avaliação da produtividade científica (Mattedi; Spiess, 2017).

2.2.2 Indicadores Cientométricos

Os indicadores cientométricos surgiram como ferramentas para avaliar a produção científica e medir o impacto da pesquisa, tiveram sua origem e desenvolvimento associados a várias etapas e eventos na história da cientometria. A utilização de dados de produção e citação na avaliação da pesquisa e na formulação de políticas passou a ocorrer de forma mais ampla com a inclusão dos dados do *Institute for Scientific Information (ISI)* nos *US National Science Board's Science*

Indicators Reports (Relatórios de Indicadores Científicos do Conselho Nacional de Ciência dos EUA), em 1972, bem como por seu uso pela OCDE (Mingers; Leydesdorff, 2015).

Nesse contexto, podemos destacar que a criação do *Science Citation Index* (SCI), por Eugene Garfield, possibilitou o desenvolvimento do conceito de fator de impacto (FI) como uma maneira de avaliar a importância e influência de periódicos científicos com base no número de citações recebidas por seus artigos. Desde então, o FI tem sido utilizado como um indicador de prestígio e visibilidade na comunidade científica mundial, tornando-se um padrão de avaliação de periódicos científicos amplamente adotado (Waltman, 2016).

Nas décadas de 1990 e 2000, houve um aumento significativo na disponibilidade e na cobertura das bases de dados de citação, como o *Web of Science* (WoS), que passou a incluir mais periódicos e também trabalhos de conferências. No entanto, é importante notar que a cobertura nas áreas de ciências sociais e humanidades ainda era limitada (Mingers; Leydesdorff, 2015). Com o tempo, vimos o desenvolvimento de outros indicadores de impacto de citação, não apenas para avaliar periódicos, mas também para avaliar publicações individuais, autores, grupos de pesquisa, instituições e países. O surgimento de novos indicadores, conforme apontado por Mattedi e Spiess (2017), foi uma resposta à crescente demanda por informações detalhadas sobre a produção científica por pesquisadores, agências de fomento, editores e revistas.

Além disso, considerando o avanço tecnológico e a maior acessibilidade a grandes bancos de dados ao longo das últimas décadas, pudemos presenciar a criação de uma variedade de métricas. Essas métricas englobam uma série de aspectos, desde contagens de publicações indexadas até especialização temática, visibilidade, difusão e colaborações institucionais e internacionais (Leite; Mugnaini; Leta, 2011; Waltman, 2016). De acordo com Mattedi e Spiess (2017), os indicadores podem ser categorizados em dois grupos principais: produtividade e relacionais. Os indicadores de produtividade nos permitem medir a quantidade e o impacto dos resultados da atividade científica, incluindo a contagem de publicações e citações. Já os indicadores relacionais são empregados para analisar as interações e conexões entre elementos bibliográficos, como coautoria, redes de citações e cocitações. Assim, com base na literatura consultada, resumimos os indicadores cientométricos mais comumente utilizados para avaliar diversos aspectos da atividade científica e sua

influência na comunidade acadêmica e na sociedade em geral, categorizando-os por classes e características, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Principais indicadores cientométricos.

Classes	Indicadores e Características
1. Indicadores de Produção Científica	<ul style="list-style-type: none"> - Número de publicações: Total de artigos científicos publicados por um autor, instituição ou país em um determinado período. - Produtividade média: Média de publicações por autor, instituição ou país em um determinado período. - Taxa de crescimento: Variação percentual no número de publicações ao longo do tempo.
2. Métricas de Colaboração	<ul style="list-style-type: none"> - Coautoria: Analisa as colaborações entre autores em publicações científicas. - Coautoria média: Média de coautores por artigo. - Índice de colaboração: Porcentagem de publicações que têm pelo menos um coautor. - Redes de colaboração: Análise das redes de colaboração entre autores, instituições ou países. - Redes de Citações: Identifica as conexões entre documentos por meio de citações, permitindo a análise das relações entre trabalhos científicos. - Cocitações: Analisa as citações compartilhadas entre documentos para identificar relações entre trabalhos e autores, ajudando a entender as tendências e conexões na pesquisa acadêmica.
3. Indicadores de Impacto	<ul style="list-style-type: none"> - Fator de Impacto (FI): Medida da frequência média com que os artigos de um periódico são citados em um determinado período, utilizado para avaliar a importância e a influência de periódicos científicos. - Citações por documento: Número de citações recebidas por artigo ou documento em outros artigos, indicando sua influência na comunidade acadêmica, embora não se possa afirmar a qualidade do trabalho citado. - Média de citações por artigo: Calcula a média de citações recebidas por cada artigo, fornecendo uma medida do impacto médio da produção científica. - Índice H (H-index): Métrica que combina a produtividade e o impacto dos trabalhos de um pesquisador, representando o número de artigos de um autor que receberam pelo menos o mesmo número de citações. - HG-Index: Variação do H-index proposta para corrigir as limitações deste em relação à distribuição das citações, levando em consideração a distribuição das citações em vez de apenas o número total de citações. - Field Weighted Citation Impact (FWCI) é uma métrica de impacto das citações ponderada por disciplina. Por considerar os diferentes padrões de citações entre as disciplinas, é uma métrica muito utilizada para comparar citações em diferentes áreas do conhecimento. Entretanto, é importante observar que ela pode sofrer distorções, já que uma publicação com muitas citações pode acabar distorcendo a média de um conjunto de publicações. - SNIP (Source Normalized Impact per Paper): Indicador que mede o impacto relativo de um periódico científico com base no número de citações recebidas, considerando as características do campo de pesquisa.

	- MNCS (Mean Normalized Citation Score): Indicador proposto para avaliar o desempenho de periódicos científicos, normalizando as citações recebidas em relação à média do campo de pesquisa.
4. Indicadores de Visibilidade e Acesso	- Índice de visibilidade: Medida da visibilidade de uma publicação em bases de dados bibliográficas. - Índice de acesso: Medida da acessibilidade de uma publicação, considerando fatores como acesso aberto e disponibilidade online.
5. Indicadores de Atividade Científica	- Número de patentes registradas: Total de patentes concedidas a uma instituição ou país em um determinado período. - Participação em congressos e conferências: Número de apresentações ou participações em eventos científicos. - Financiamento de pesquisa: Valor total de financiamento recebido por uma instituição ou pesquisador para condução de pesquisas.
6. Indicadores Contextuais, Relacionais e de Interdisciplinaridade	- de palavras-chave: Análise das redes de palavras-chave utilizadas em publicações para identificar interações entre diferentes áreas de pesquisa. - Co-ocorrência de Termos: Examina a frequência com que termos específicos aparecem juntos em documentos, possibilitando a identificação de temas e tendências na pesquisa. - Coclasseificação de Publicações: Agrupa documentos com base em classificações semelhantes, auxiliando na identificação de áreas de pesquisa relacionadas. - Potenciais e limitações da área investigada: Avalia o contexto e as condições específicas da área de pesquisa, considerando tanto as oportunidades quanto as restrições que podem influenciar a produção e o impacto científico. - Índice de diversidade temática: Medida da variedade de temas abordados em publicações de um autor, instituição ou país.

Fonte: elaborada pelo autor.

Neste cenário, conforme acentuado por King (2004), a capacidade de avaliar a posição científica de uma nação torna-se, portanto, vital para governos e instituições no estabelecimento de prioridades e no financiamento de pesquisas. Parra, Coutinho e Pessano (2019) ressaltam a importância dos indicadores cientométricos na avaliação da ciência, evidenciando como a Cientometria é essencial para compreender o progresso científico. Esta abordagem contribui para a definição de políticas científicas, no suporte à tomada de decisões, orienta a elaboração de projetos e ações que influenciam a distribuição de recursos financeiros, fomentando o desenvolvimento científico e tecnológico em diversos setores (Menezes; Caregnato, 2018; Mingers; Leydesdorff, 2015)

Portanto, a produtividade científica e seus impactos podem ser avaliados por meio de indicadores quantitativos, que são vitais em variados contextos, como no recrutamento acadêmico, financiamento de pesquisa e avaliações institucionais

(Mattedi; Spiess, 2017). Em vista disso, Waltman (2016) ressalta que os indicadores de impacto de citação, fundamentais na avaliação da pesquisa científica, baseiam-se na análise das citações recebidas por publicações científicas, desempenhando um papel fundamental na avaliação do desempenho acadêmico e na tomada de decisões sobre o financiamento da pesquisa. Bem como, de acordo com Mingers e Leydesdorff (2015), essas métricas são indispensáveis não apenas para medir a qualidade e relevância da pesquisa, mas também para auxiliar decisões estratégicas relacionadas à avaliação acadêmica e à distribuição de recursos.

Embora as métricas baseadas em citações sejam necessárias para avaliar a influência de trabalhos científicos, Fortunato et al. (2018) argumentam que a integração dessas métricas com indicadores alternativos é essencial para promover o pluralismo na avaliação da pesquisa. Isso enfatiza a importância de entender o que cada métrica mede e suas limitações, evitando interpretações errôneas ou o uso indevido desses indicadores.

Enfim, os indicadores cientométricos estabelecem uma base sólida para medir e comparar o impacto e a visibilidade da produção científica nas mais diversas áreas do conhecimento. Valorizados pela comunidade científica, esses indicadores são fundamentais para avaliar a produtividade, o impacto e a influência da pesquisa em diferentes contextos e níveis de análise. Ao reconhecer suas limitações e potencialidades, reafirmamos a importância desses instrumentos na avaliação da qualidade da produção científica (Santin; Vanz; Stumpf, 2016; Waltman, 2016).

2.3 FORMAÇÃO DE DOUTORES NO EXTERIOR E A CAPES

O Parecer Sucupira – Parecer CFE Nº 977 de 03 de dezembro de 1965 – é o marco Legal da Pós-Graduação no Brasil e definiu os objetivos e estrutura dessa modalidade de ensino. Inspirado no modelo norte-americano, o Parecer Sucupira enfatizou a formação profissional e a estrutura de pesquisa, com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento científico, tecnológico e cultural, além de formar pesquisadores, tecnólogos e profissionais de alto nível (Miranda; Santos, 2003). Já nos anos 90, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional – LDB, Lei nº 9.394/1996, representou um marco na história da educação brasileira, não apenas pela sua abrangência legal, mas também por definir as finalidades da educação

superior. Em seu Artigo 43, a LDB explicita que a educação superior tem por finalidade, entre outras:

- III - incentivar o trabalho de pesquisa e investigação científica, visando o desenvolvimento da ciência e da tecnologia e da criação e difusão da cultura, e, desse modo, desenvolver o entendimento do homem e do meio em que vive;*
IV - promover a divulgação de conhecimentos culturais, científicos e técnicos que constituem patrimônio da humanidade e comunicar o saber através do ensino, de publicações ou de outras formas de comunicação (BRASIL, 1996).

No contexto da cooperação acadêmica internacional, inicialmente, na década de 1920, o Brasil passou por um período de certo isolamento, embora tenham iniciado as primeiras concessões de bolsas de estudo no exterior. Não obstante, no limiar dos anos 1980, o país já contava com recursos humanos necessários para a consolidação de sua pós-graduação *stricto sensu* (Flores; Costa; Fontolan, 2023). Então, segundo Vargas (2017), apesar de o desenvolvimento da pesquisa e da pós-graduação brasileira ter se estabelecido tardiamente, teve início uma política de indução à formação de pessoal de alto nível que viabilizava a formação no exterior e, deste modo, a internacionalização da pós-graduação no Brasil tem evoluído ao longo do tempo de forma significativa.

O Brasil demonstrou um fortalecimento dos investimentos em políticas de internacionalização da educação já no Plano Nacional de Pós-Graduação (PNPG) do período 2005-2010. Este plano estimulou a cooperação internacional entre universidades, incentivou o intercâmbio de alunos e professores e a busca por recursos em agências internacionais de fomento (CAPES, 2024b). No período subsequente, com a criação do PNPG para 2011-2020 a internacionalização da educação superior continuou em evidência. Esse plano consolidou programas, projetos e ações para viabilizar acordos e convênios internacionais, fortalecendo a inserção internacional das universidades brasileiras, incluindo mobilidade estudantil e cooperação em pesquisa (CAPES, 2021). Além disso, o Plano Nacional de Educação (PNE) 2014-2024, Lei nº 13.005/2014, estabeleceu entre suas estratégias o fortalecimento e ampliação da mobilidade estudantil e docente em cursos de graduação e pós-graduação, nacional e internacionalmente, visando enriquecer a formação superior. Além disso, consolidar iniciativas para internacionalizar a pesquisa

e a pós-graduação brasileiras, promovendo redes colaborativas e o fortalecimento de grupos de pesquisa (BRASIL, 2014).

Cabe destacar que o PNPG desempenha um papel fundamental no trabalho da CAPES, uma vez que suas diretrizes devem ser convertidas em políticas públicas eficazes objetivando o aprimoramento contínuo do SNPG. Isso inclui não apenas a garantia de uma oferta de formação qualificada para a formação de mestres e doutores, mas também contribuições para o aprimoramento de outros níveis do sistema educacional, como a graduação e a formação de profissionais da educação básica.

A CAPES, desde a sua criação em 1951, tem se destacado na promoção da excelência acadêmica e na formação de recursos humanos qualificados para o desenvolvimento científico e tecnológico do país (Flores; Costa; Fontolan, 2023; Freire; Souza; Calabro, 2020). A missão da CAPES inclui a expansão e consolidação da pós-graduação brasileira, a promoção da cooperação acadêmica internacional e a formação de profissionais da educação básica (CAPES, 2024a). Para alcançar esses objetivos, a CAPES implementa uma variedade de programas e iniciativas, tanto no Brasil quanto no exterior. A atuação da CAPES também envolve a avaliação da pós-graduação *stricto sensu*, a divulgação da produção científica, a formação de recursos humanos de alto nível no Brasil e no exterior, e o incremento da cooperação científica internacional (Flores; Costa; Fontolan, 2023). Portanto, a internacionalização da pós-graduação no Brasil tem evoluído ao longo do tempo, e a CAPES tem desempenhado um papel fundamental na formulação e execução de políticas públicas voltadas para a internacionalização da pós-graduação, na promoção da cooperação internacional, formação de recursos humanos de alto nível e consolidação dos programas de mestrado e doutorado no país e no exterior.

No âmbito dos Programas de Bolsas e Auxílios Internacionais da CAPES para a pós-graduação, atualmente, são oferecidas diversas modalidades de bolsas, incluindo o Doutorado Sanduíche por meio do Programa Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE), o Doutorado Pleno pelo Programa Doutorado Pleno no Exterior (DPE), o Pós-Doutorado através do Pós-Doutorado no Exterior (PPDE), e o Mestrado Profissional no Exterior (MPE) (CAPES, 2020). Além desses e de outros programas, a CAPES mantém acordos de cooperação bilateral e multilateral para a concessão de bolsas de estudo nessa modalidade. No que diz respeito às bolsas de estudos no exterior, o GEOCAPES, que apresenta a série histórica do período de 1998 a 2022,

mostra que mais de 220.500 pesquisadores, professores e estudantes foram beneficiados com bolsas de estudos para mais de 100 países (CAPES, 2023). Destaca-se que 25% deste total são de beneficiários na modalidade de Doutorado Sanduíche.

Como exemplo notório de programa de internacionalização, podemos citar o Programa Ciência sem Fronteiras, que de 2011 a 2016 concedeu mais de 103.000 bolsas internacionais em diversas modalidades. Com a implementação deste programa, o número de bolsas concedidas para estudos no exterior alcançou níveis sem precedentes na história brasileira. A maior parte das bolsas foi para estudantes de graduação, já na pós-graduação, o Doutorado Sanduíche foi a modalidade com o maior número de bolsistas, tendo sido implementadas 9.685 bolsas (McManus; Nobre, 2017). Além disso, em 2018 teve início a implementação do Programa CAPES-PrInt, caracterizado pela seleção de projetos institucionais de internacionalização da pós-graduação de 36 Instituições de Ensino Superior no Brasil. A estimativa do programa é conceder mais de 5.500 bolsas de estudo no exterior por ano, no período de 2018 a 2022 (Morosini *et al.*, 2023; Rosa *et al.*, 2021).

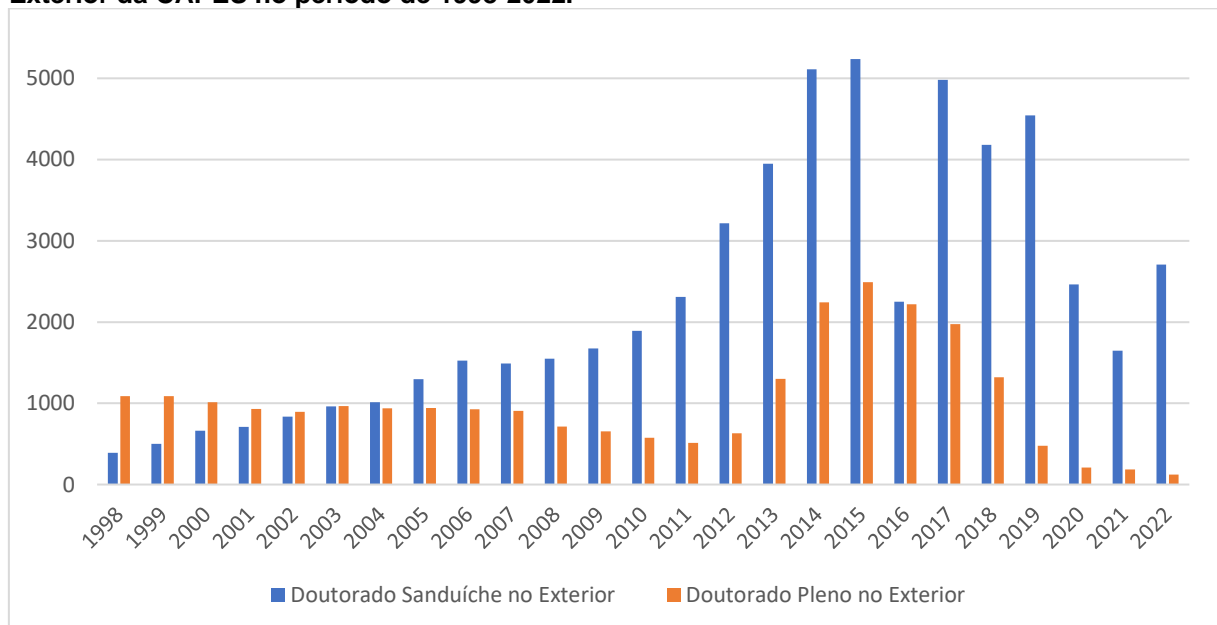
Com relação à formação de doutores, o Brasil experimentou uma evolução significativa. Até 1985, mais de 40% dos doutores brasileiros obtiveram seus títulos no exterior. No entanto, durante a década de 90, essa proporção diminuiu consideravelmente, com apenas 20% dos títulos sendo obtidos fora do país, refletindo o progresso da pós-graduação no Brasil, o impacto das políticas públicas e a expansão e descentralização da oferta de cursos nessa década (Marchelli, 2005). Mesmo com esse incremento na formação de doutores no país, segundo Vargas (2017), a formação de doutores no exterior continua sendo importante por diversos motivos, proporciona acesso a conhecimentos e práticas diferenciadas, amplia redes de colaboração, desenvolve competências valiosas como adaptabilidade, multiculturalismo e fluência em idiomas estrangeiros, e facilita o acesso a recursos, infraestrutura e orientação que estimulam a produção e publicação de pesquisa de alto impacto.

Apesar dos progressos na pós-graduação brasileira, os dados Painel do Observatório da Pós-Graduação, na Plataforma Sucupira, indicam que a proporção de programas de pós-graduação que atingiram notas 6 e 7, classificações que denotam um padrão internacional de excelência, apresentou um crescimento modesto, passando de 11,6% para 14,8% entre 2013 e 2022. Este incremento sinaliza

que a formação de doutores no exterior ainda é relevante para a capacitação de pesquisadores de alto nível no Brasil, contribuindo para a qualidade da pesquisa nacional e promovendo sua integração na esfera científica global. Assim, conforme apontado por Vargas (2017), a dependência do Brasil em relação à formação de doutores em instituições de pesquisa internacionais de alta qualidade ainda é uma realidade.

Neste contexto, de 1998 a 2015, observa-se um aumento contínuo no número de bolsas de doutorado sanduíche, bem como uma diminuição naquelas de Doutorado Pleno (Figura 1), refletindo que as políticas públicas passaram a priorizar essa modalidade de bolsa. Em 2004, houve uma mudança significativa no panorama das concessões para o doutorado pleno, anteriormente dominantes, foram superadas pelas do doutorado sanduíche. Isto se deve em grande parte aos custos individualmente menores das bolsas sanduíche, caracterizadas por um período curto de permanência no exterior, o que, por outro lado, pode levar a um aumento no número de beneficiários (Vargas *et al.*, 2017). A partir de 2012, ambas as modalidades testemunharam um crescimento substancial impulsionado pelo Programa Ciência sem Fronteiras que com seu fim, partir de 2016, explicita a uma tendência de declínio substancial nos investimentos em bolsas internacionais.

Figura 1 - Série histórica das bolsas de Doutorado Pleno no Exterior e Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES no período de 1998-2022.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do GEOCAPES.

Nota: As barras mostram o número de bolsas ativas em determinado ano, durante cada ano no qual estiverem vigentes. As bolsas de doutorado pleno no exterior têm até 4 anos e as de doutorado sanduíche no exterior têm até 12 meses de vigência.

O Programa de Doutorado-sanduiche no Exterior (PDSE) da CAPES é uma iniciativa que tem por objetivo apoiar a formação de recursos humanos de alto nível por meio da concessão de bolsas de doutorado sanduiche no exterior, com duração mínima de 6 (seis) e máxima de 12 (doze) meses (com variações conforme o edital ao longo dos anos), aos cursos de Doutorado reconhecidos pela CAPES. Visa proporcionar aos doutorandos brasileiros a oportunidade de realizar parte de seus estudos em instituições de ensino e pesquisa no exterior e promover a internacionalização da pesquisa acadêmica (Ekuni, 2019; Flores; Costa; Fontolan, 2023).

Inicialmente, o programa foi chamado de Programa de Doutorado no País com Estágio no Exterior (PDEE) e foi criado em 1991 pela CAPES. O programa passou por reformulações para aprimorar sua eficiência e ampliar o número de bolsas concedidas, então, a partir de 2011, o PDEE passou a se chamar Programa de Doutorado-sanduiche no Exterior (PDSE). Com essa mudança, todos os cursos avaliados e recomendados pela CAPES com nota igual ou superior a 3 passaram a ser elegíveis para obter cotas de bolsas (Flores; Costa; Fontolan, 2023; Vargas *et al.*, 2017).

Para Flores (2023), o Doutorado Sanduiche no Exterior apresenta benefícios e desafios específicos. Entre os benefícios estão o menor custo, a permanência do vínculo do bolsista à instituição de origem, o intercâmbio de conhecimento entre diferentes instituições e culturas acadêmicas, bem como a flexibilidade de combinar a experiência internacional com a continuidade do trabalho acadêmico no Brasil. Os desafios, por sua vez, estão no planejamento, coordenação e na comunicação entre as instituições de origem e destino, o período relativamente curto de estadia no exterior que pode limitar a profundidade da experiência acadêmica, e a pressão para produzir resultados.

2.4 A ÁREA DE QUÍMICA

A Química é uma ciência que estuda a composição, a estrutura, as propriedades e as transformações da matéria, desempenhando um papel fundamental na compreensão de diversos fenômenos naturais e no desenvolvimento de novos

materiais, processos e tecnologias. Segundo Zucco (2011), a Química está presente em várias esferas da vida humana e contribui significativamente para o bem-estar e o desenvolvimento da sociedade. Por meio de suas teorias, conhecimentos e técnicas, a Química é essencial para avanços científicos e tecnológicos, influenciando áreas como medicina, energia e meio ambiente. A vista disso, a Química pode contribuir para a construção de uma sociedade sustentável, onde produtos químicos e processos são desenvolvidos seguindo princípios que promovem a vida. A adoção de abordagens como a Química Verde busca garantir contribuições positivas em escala global, promovendo produtos e processos renováveis, benignos ou facilmente degradáveis (Zimmerman *et al.*, 2020).

A história da Química no Brasil remonta ao período colonial, com sua evolução diretamente relacionada ao desenvolvimento científico e tecnológico do país e à sua inserção global. No século XVII, os primeiros processos químicos empíricos surgiram com o início da produção de açúcar e a descoberta das minas no sudeste do país. O século XVIII viu surgir os primeiros químicos brasileiros, como Vicente Coelho de Seabra Silva Telles, autor do primeiro livro de química em língua portuguesa, "Elementos de Química", e a criação de instituições como a Academia Científica do Rio de Janeiro, em 1772 (Oliveira; Carvalho, 2020).

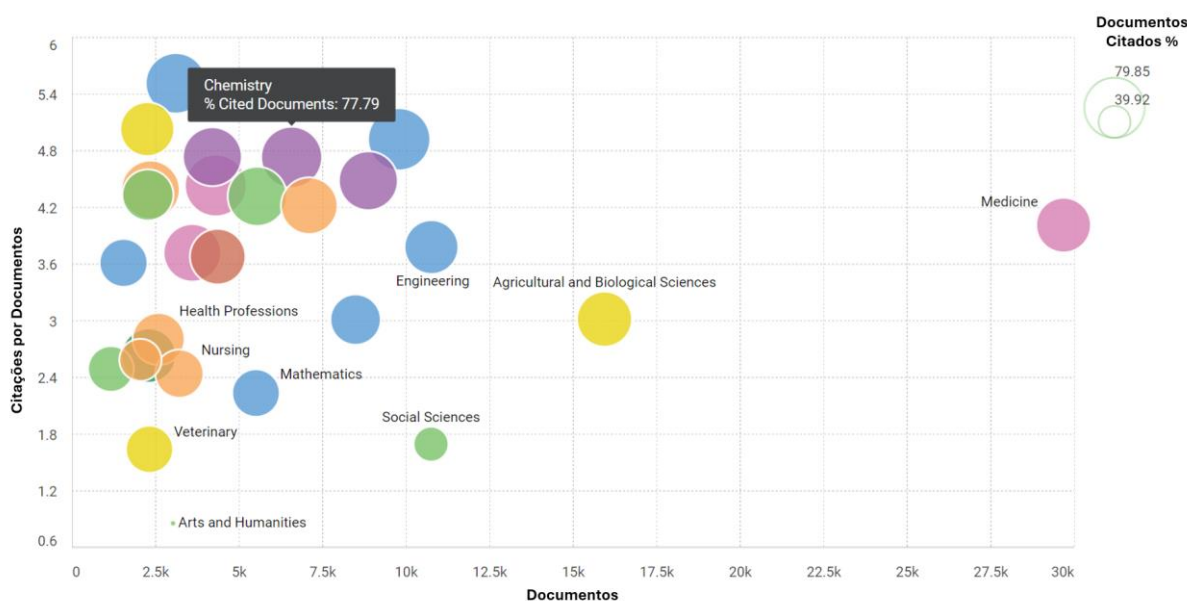
A pesquisa científica no Brasil no século XIX foi limitada, a Química muitas vezes relegada a uma posição secundária, apesar dos avanços tecnológicos e do desenvolvimento econômico. Já em 1918, o Instituto de Química no Rio de Janeiro estabeleceu o primeiro curso oficial de Química no Brasil. Posteriormente, em 1933, a Escola Nacional de Química foi formada, contribuindo para avanços significativos na ciência química brasileira. Estes cursos, inicialmente considerados como disciplinas auxiliares, ao longo do tempo ganharam importância devido a sua contribuição aos processos analíticos e sintéticos essenciais para a indústria em formação (Filgueiras, 1999). Atualmente, o país conta com uma variedade de cursos de graduação em Química e instituições reconhecidas internacionalmente pela formação de profissionais qualificados, embora a distribuição dos cursos pelo país ainda seja heterogênea e concentrada na região sudeste (Oliveira; Carvalho, 2020).

Desse modo, apesar dos obstáculos iniciais, de acordo com Filgueiras (1999), o Brasil conseguiu superar desafios e estabelecer uma base científica sólida em menos de 50 anos, criando um ambiente propício para o desenvolvimento da Química. A criação de universidades, institutos de pesquisa e sociedades científicas, como a

Sociedade Brasileira de Química, demonstra um movimento de fortalecimento da ciência química nacional ao longo do tempo, não obstante os desafios estruturais, incluindo a falta de continuidade nas políticas governamentais e a dependência de financiamento adequado para a pesquisa e para a educação (Filgueiras, 2022).

Atualmente, a consolidação da área, sua abordagem abrangente e multidisciplinar, reflete-se na grande produção científica, uma das maiores no Brasil, tanto em volume de produção como em citações, como pode ser observado na Figura 2. Considerada uma ciência central, a química tem uma interação forte com áreas afins, refletindo-se também na formação de recursos humanos com uma perspectiva interdisciplinar, impulsionando a produção científica e a inovação (Monteiro; Furlan; Suarez, 2017). A vista disso, é essencial compreender os resultados gerados não apenas para enfrentar os desafios dentro do campo, mas também para elevar a visibilidade e a influência das publicações no contexto científico global.

Figura 2 - Gráfico de bolhas para a produção científica brasileira na área de Química (Documentos), de 2022 a 2023, evidenciando as Citações por documento e o percentual de Documentos Citados.



Fonte: SJR (Scimago Journal & Country Rank <https://www.scimagojr.com/mapgen.php?maptype=bc> – adaptado pelo autor).

O crescimento na oferta de cursos de graduação e pós-graduação em química, assim como o aumento no número de doutores formados, reflete os esforços contínuos do meio acadêmico brasileiro para a formação de recursos humanos qualificados (Oliveira; Carvalho, 2020). A internacionalização da produção científica nas diversas subáreas da química no Brasil tem contribuído para a expansão e o

reconhecimento da pesquisa nacional (Nakagaki et al., 2017). Apesar dos avanços significativos, persistem desafios, incluindo a necessidade de formação de recursos humanos multidisciplinares e a escassez de autores brasileiros na literatura didática em química. No entanto, o Brasil tem demonstrado um potencial crescente na área, tanto pelo aumento da produção científica quanto pela consolidação da pós-graduação no país (Monteiro; Furlan; Suarez, 2017; Nakagaki *et al.*, 2017).

Seu desenvolvimento evidencia-se também pela representatividade dos grupos de pesquisa científica e tecnológica em atividade no país e pelos programas de pós-graduação. Conforme dados do Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil (DGP)⁸, os grupos de pesquisa na área de Química aumentaram de 598 para 1.362 grupos de 2000 a 2023, e correspondem atualmente a 3,2% dos mais de 42.852 grupos nacionais (CNPQ, 2024). Na Pós-Graduação, o Painel de Dados do Observatório da Pós-Graduação na Plataforma Sucupira, Figura 3, mostra que em dez anos o número de programas na área de Química aumentou cerca de 16%, de 61 em 2013 para 76 programas em 2022, e correspondem a 1,7% dos 4.592 programas nacionais em 2022. Além disso, vinte (20) programas, ou 26%, alcançaram as notas 6 ou 7 e, assim, podem ser considerados de padrão internacional. Dentre os 76 programas, oferecem mestrado e doutorado 48 deles, cinco dispõem apenas de doutorado, outros 20 apenas de mestrado e 5 deles oferecem mestrado profissional. Com relação ao total de 12.895 produções na área em 2022, a produção bibliográfica corresponde a 78,04% delas, bem como 7.074 são de artigos em periódicos (CAPES, 2024c).

⁸ O Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil – DGP, mantido na plataforma Lattes, funciona como um catálogo dos grupos de pesquisa científica e tecnológica em atividade no País. As informações contidas no DGP dizem respeito aos recursos humanos (pesquisadores, estudantes e técnicos), linhas de pesquisa, áreas do conhecimento, setores envolvidos, produção científica, tecnológica e artística, entre outros. O banco de dados do Diretório pode ser constantemente atualizado pelos participantes, além disso, são realizados censos bianuais que capturam uma imagem instantânea dessa base de dados em constante evolução.

Figura 3 - Programas de Pós-graduação brasileiros na Química no Brasil em 2022.



Fonte: Painel de Dados do Observatório da Pós-Graduação - Plataforma Sucupira (<https://sucupira-v2.capes.gov.br/sucupira4/painel/ReportSection3e288b99d39bb09ac116>).

A Química brasileira é tradicionalmente ligada ao contexto internacional, as contribuições de químicos estrangeiros foram fundamentais para o fortalecimento da pesquisa científica e da pós-graduação em Química no Brasil, contribuindo para o avanço e a consolidação da área no país (Mendes Braga, 2002). De acordo com Monteiro; Furlan; Suarez (2017), nos últimos anos, houve um aumento na internacionalização na área de Química que é reflexo do apoio financeiro dos órgãos de fomento tanto para projetos em colaboração com pesquisadores estrangeiros como na concessão de bolsas para pesquisa no exterior. Isso tem contribuído significativamente para a inserção internacional de docentes e discentes da pós-graduação em Química o que contribui para elevar a qualidade da produção científica no campo. Em vista disso, Menezes e Caregnato (2018), pela análise da produção científica brasileira em Química na WoS entre 2004 e 2013, observaram que 92,08% dos artigos foram publicados em inglês e 83,65% em periódicos estrangeiros, além disso, 24% dos artigos tiveram coautoria com pesquisadores estrangeiros, sendo a coautoria bilateral predominante entre artigos publicados em colaboração internacional.

Por fim, cabe observar que, com relação à Avaliação Quadrienal da CAPES, o Documento da Área de Química de 01/07/2019, estabelece que a internacionalização emerge como uma prioridade na agenda dos programas de pós-graduação em Química, por meio de diversas iniciativas, tais como, o incentivo a participação de

pesquisadores estrangeiros nas atividades acadêmicas, a cooperação internacional, a oferta de disciplinas ministradas por docentes estrangeiros e a realização de teses em cotutela e dupla diplomação. Essas medidas buscam não apenas enriquecer o ambiente acadêmico, mas também promover a interculturalidade e a troca de conhecimentos e destacam o compromisso da área de Química com a internacionalização, buscando fortalecer a cooperação científica, a mobilidade acadêmica e ampliar as oportunidades de formação e pesquisa em nível internacional (CAPES, 2019). Dessa forma, os programas de pós-graduação em Química buscam não apenas manter-se atualizados frente às demandas da sociedade e do mercado, mas também contribuir ativamente para o avanço científico e tecnológico em escala global.

3 METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como um estudo com delineamento *ex-post facto*, de natureza empírica e abordagem quantitativa, composto por três artigos com diferentes metodologias de análise. A pesquisa *ex-post facto*, ou causal-comparativa, é um método que estuda a relação entre as variáveis independente e dependente após os eventos acontecerem, sem que o pesquisador interfira na variável independente. É usada quando pesquisas experimentais não são viáveis ou éticas (Jarde; Losilla; Vives, 2012). O foco é analisar dados já existentes para identificar relações ou diferenças entre variáveis que ocorreram naturalmente e a análise estatística é frequentemente empregada para identificar padrões e relações entre as variáveis, permitindo aos pesquisadores inferirem possíveis causas e efeitos (Firdaus; Zulfadilla; Caniago, 2021).

Quanto à população estudada, períodos de abrangência, fonte de dados e softwares utilizados:

a. População de estudo:

- Área de química brasileira, a população do estudo foi constituída pelos países com produção científica na área de química, delimitada ao período de 2001 a 2020;
- Doutores em Química, titulados no período de 2013 a 2016, egressos do programa de Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES (PDSE);

- O grupo de comparação será formado pelos Doutores em Química, titulados entre 2013 a 2016 nas mesmas instituições que os egressos do PDSE, que foram bolsistas CAPES de doutorado pleno, porém não foram beneficiados em programas de mobilidade internacional da CAPES.
- b. Período de abrangência do estudo:
- A pesquisa foi delimitada ao período de 2001 a 2020, para avaliação da produção científica brasileira em comparação a outros países com produção na área de Química.
 - Para os Doutores em Química egressos ou não do PDSE, será avaliado a produção científica do período de 2010 a 2023.
- c. Fonte de dados:
- Plataforma Sucupira;
 - Plataforma Lattes (Currículo Lattes);
 - Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES;
 - Portal de Dados Abertos da CAPES;
 - Portal de periódicos;
 - Base de dados *Web of Science* (WoS);
 - Base de dados *Scopus*;
 - Plataforma SciVal®.
 - Journal Citation Reports (JCR)
 - Portal SJR - Scimago Journal & Country Rank;
 - Portal UNdata, disponibilizado pela Divisão de Estatísticas Econômicas da Organização das Nações Unidas (UNSD);
- d. Software utilizados para o tratamento dos dados:
- Microsoft Excel 365, com o suplemento Microsoft Power Query para Excel (versão: 2.59.5135.201);
 - RStudio (versão 2021.09.2+382);
 - Software estatístico Jamovi (Versão 2.3);
 - Software Gephi® (versão 0.10.1 202301172018).

O primeiro artigo é composto por um estudo empírico e quantitativo para analisar comparativamente dados sobre a produção científica brasileira em Química com países selecionados por conveniência, no período de 2001 a 2020. Os seguintes indicadores cientométricos foram coletados do portal SJR: Documentos, Citações, Autocitações, Citações por Documento e Índice-H; no portal UNdata, foi obtido o PIB per capita dos países. A produção científica foi avaliada por taxas de crescimento, análise gráfica, estatística descritiva, testes de hipótese e correlações entre indicadores cientométricos e PIB per capita. Foram também produzidas nuvens de palavras com as palavras-chave e título dos periódicos dos 100 artigos mais citados globalmente e dos 100 mais citados com autores do Brasil na área de Química da base Scopus.

O segundo artigo analisou o perfil acadêmico e a produção científica de doutores em Química, titulados entre 2013 e 2016, ex-bolsistas do programa PDSE. A amostra incluiu 198 ex-bolsistas do PDSE que foram classificados em três grupos de acordo com a duração da bolsa: 4-6 meses, 7-9 meses e 10-12 meses. A avaliação cientométrica e o mapeamento das redes de colaboração internacional dos ex-bolsistas focaram a produção científica indexada na WoS no período de 2010 a 2023. Foram realizadas análises gráficas, estatística descritiva e análise de variância (ANOVA). Bem como, sob a perspectiva da ARS, foram mapeadas as redes de coautoria internacional em nível de país para dois períodos (2010-2016 e 2017-2023), e calculadas métricas globais e locais características das redes, como o grau médio, densidade dos grafos e medidas de centralidade.

O último estudo comparou a formação acadêmica e a produção científica de doutores em Química, titulados entre 2013 e 2016, ex-bolsistas do PDSE (Grupo de Tratamento) com ex-bolsistas de outros programas da CAPES (Grupo de Comparação), ambos com 100 indivíduos. Os dados cientométricos, relativos ao período de 2010 a 2023, foram coletados na plataforma SciVal®. A análise de dados foi baseada em análise gráfica, estatísticas descritivas, testes-t e análise de regressão, tendo em vista a metodologia DiD.

As especificidades das metodologias de coleta e análise de dados realizadas serão tratadas em detalhe em cada um dos artigos no capítulo subsequente.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 ARTIGO 1

4.1.1 Título: Produção Científica Brasileira na Área de Química: Um Estudo Estatístico De Duas Décadas

Este artigo responde ao primeiro objetivo específico desta tese: Analisar estatisticamente a produção científica brasileira na área de Química em comparação com outros países no período de 2001 a 2020.

O artigo encontra-se publicado na revista Enciclopédia Biosfera, no seguinte endereço eletrônico:

<https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/5656>



PRODUÇÃO CIENTÍFICA BRASILEIRA NA ÁREA DE QUÍMICA: UM ESTUDO ESTATÍSTICO EM DUAS DÉCADAS

Jonas Pertusatti¹, Ivan Rocha Neto²

1. Doutorando em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: jonaspertusatti@gmail.com
2. Doutor em Eletrônica pela University of Kent, Canterbury, Reino Unido e Professor Colaborador da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

Recebido em: 15/05/2023 – Aprovado em: 15/06/2023 – Publicado em: 30/06/2023
DOI: 10.18677/EnciBio_2023B23

RESUMO

Este estudo analisou comparativamente indicadores cientométricos de produção e citação da produção científica brasileira na área de Química frente a países selecionados, de 2001 a 2020. Os dados foram obtidos do portal *Scimago Journal & Country Rank* e das bases Scopus e UNdata e caracterizados por estatística descritiva, histogramas de frequência e teste de normalidade. As comparações entre os indicadores foram realizadas por gráficos boxplot, testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de comparações múltipla Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF) e matriz de correlação de Spearman. Por fim, foram produzidas 4 nuvens de palavras para observar a frequência das palavras-chave e dos periódicos dos artigos mais citados na área. A distribuição dos dados se mostrou não paramétrica e constatou-se diversas diferenças estatísticas entre os países para a maior parte dos indicadores avaliados. As correlações lineares foram positivas em diferentes magnitudes e moderadas, porém estatisticamente significativas, entre a produção científica e o PIB per capita dos países. As nuvens de palavras mostraram alta frequência de periódicos voltados a artigos de revisão. Os resultados apontam que a produção científica da área de Química é dominada por China e EUA, que a produção brasileira cresce de modo semelhante à média dos países observados, bem como que as citações por documento evidenciam a superioridade do impacto de publicações dos países desenvolvidos em relação àqueles em desenvolvimento. Em suma, a análise estatística de indicadores cientométricos possibilitou uma visão abrangente da produção científica brasileira na área de Química.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores cientométricos; Produção científica; Química.

BRAZILIAN SCIENTIFIC PRODUCTION IN THE FIELD OF CHEMISTRY: A STATISTICAL STUDY OF TWO DECADES

ABSTRACT

This study comparatively investigated citation and output scientometric indicators of the Brazilian scientific publications in the field of Chemistry for selected countries, from 2001 to 2020. Data were collected from Scimago Journal & Country Rank portal, databases Scopus and UNdata, then they were characterized by descriptive statistics, frequency histograms and normality test. Comparisons between indicators were performed by boxplots, non-parametric Kruskal-Wallis tests followed by Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF) multiple comparison tests, and Spearman correlation matrix. Finally, four word clouds were produced to observe keywords and journals frequency from the most cited papers in the field. The data presents a non-parametric behavior, and it was detected statistical differences between some indicators for the countries. The linear correlations between the indicators were positive in different magnitudes, and moderate, but statistically significant, between the scientific production and the per capita GDP of the countries. The word clouds showed a high frequency of journals focused on review articles. The results showed the scientific output in the field of Chemistry dominated by China and the USA, the Brazil presents a similar growth to the average of the observed countries, and Citations per Document clearly show the higher impact of the of developed countries in relation to those in developing. In short, the statistical analysis of scientometric indicators provide a comprehensive view of Brazilian scientific production in the field of Chemistry.

KEYWORDS: Scientific output; scientometric indicators; Chemistry.

INTRODUÇÃO

A produção científica é a forma mais efetiva de se difundir para o mundo o conhecimento científico. A publicação dos resultados de pesquisas em jornais e revistas reconhecidos pela comunidade científica leva a um processo de revisão por pares, um ciclo virtuoso que confere confiabilidade ou contesta os resultados, estimula novas investigações, consolida o conhecimento científico e o faz avançar. Assim, compreender os mecanismos propulsores da ciência e os modelos de sua evolução

são fundamentais para o desenho de políticas capazes de aprimorar o desenvolvimento da ciência como um todo (FORTUNATO *et al.*, 2018).

A análise do desempenho da produção científica pode ajudar a compreender o desenvolvimento científico de países, de áreas do conhecimento, de instituições e de pesquisadores, permitindo compará-los internacionalmente (MINGERS; LEYDESDORFF, 2015; GHENO *et al.*, 2019; PARRA; COUTINHO; PESSANO, 2019). A Cientometria, um segmento da Sociologia da Ciência, estuda os aspectos quantitativos da ciência enquanto disciplina ou atividade econômica. Ela pode ser aplicada para definir políticas científicas e para subsidiar decisões. Também contribui para a elaboração de propostas, projetos e ações que norteiam a distribuição de recursos financeiros e, em última análise, o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de determinado segmento (MINGERS; LEYDESDORFF, 2015; MENEZES; CAREGNATO, 2018).

A utilização de indicadores quantitativos para avaliar o desempenho de pesquisadores, grupos de pesquisa, instituições e países vem se fortalecendo nas últimas décadas. Os chamados indicadores cientométricos podem contribuir para o entendimento objetivo e abrangente do comportamento da ciência e de seus impactos nas diferentes áreas do conhecimento (MINGERS; LEYDESDORFF, 2015; BARROS *et al.*, 2019; GHENO *et al.*, 2019; MCMANUS *et al.*, 2020; QUEIROZ; CALABRÓ, 2021). Dentre esses indicadores, destacam-se os de produção, relacionados à quantidade de publicações, e os de impacto, como citações, Fator de Impacto, Índice-H e índices de colaboração e recursos financeiros (MINGERS; LEYDESDORFF, 2015; WALTMAN, 2016; SILVA; GRÁCIO, 2021;). Os indicadores de impacto são instrumentos de avaliação do desempenho e da qualidade científica pois refletem a importância e a influência de autores, instituições e países (SANTIN *et al.*, 2016). As avaliações que consideram estes indicadores devem compreender seus conceitos, fundamentos e limitações. Embora sujeitos a críticas, têm sua importância reconhecida pela comunidade científica e podem ser utilizados para avaliar produtividade, impacto e qualidade da produção científica (WALTMAN, 2016; SILVA; GRÁCIO, 2021).

Duas décadas após o início do século XXI, a produção científica brasileira ultrapassou a marca de cem mil publicações em um ano (100.085 documentos, especificamente). Com isso, o Brasil alcançou em 2021 a 14ª posição no ranking de

países do *SCImago Journal & Country Rank* (SJR).⁹ Neste portal, podemos obter indicadores de periódicos e países a partir das informações do banco de dados Scopus® (Elsevier B.V)¹⁰. A série histórica do índice, dada a partir de 1996, é liderada pelos Estados Unidos, China, Reino Unido, Alemanha e Japão, respectivamente. Nesta série, observa-se uma evolução da produção nacional, que ocupava a 17ª posição em 2001, com 16.603 documentos indexados na base Scopus. Não obstante essa posição em nível global, estudos com dados da *Web of Science* (WoS)¹¹ para o período do 1991-2011 já mostravam o Brasil como líder regional na América Latina em número de publicações, embora apresentasse um modesto impacto de citações (LETA *et al.*, 2013). Por outro lado, Grácio e Oliveira (2014) analisaram indicadores cientométricos normalizados de produção e de citação da ciência brasileira, considerando as 27 áreas do conhecimento apresentadas pelo portal SJR e o período de 1996 a 2011, e verificaram que o Brasil está acima da média global em todos os índices normalizados, à exceção de Citações por Documento, para algumas áreas (GRÁCIO; OLIVEIRA, 2014).

Na área de Química, a produção científica brasileira foi da 18ª posição, em 2001, com 1.861 documentos indexados, para a 14ª em 2021, com 7.169 documentos. Na série histórica (liderada por China, EUA, Japão, Alemanha e Índia), a Química brasileira se encontra na 16ª posição do ranking de países do SJR. A partir de dados da WoS, Menezes e Caregnato (2018) identificaram um crescimento de 73,19% da produção científica brasileira em Química no período de 2004 a 2013. Esta é umas das áreas com a maior contribuição para a produção científica nacional, pois representa 15,5% deste total (MENEZES; CAREGNATO, 2018). Monteiro *et al.* (2017), por sua vez, indicam que entre os integrantes do Sistema Nacional da Pós-Graduação (SNPG) a produção intelectual da área de química evoluiu tanto quantitativa como qualitativamente, no período entre 1990 e 2012. O número de publicações saltou de 418 para 3.898. A produção publicada em revistas com fator de impacto maior ou igual a 1 foi de 64,1%, no início da década de 2001, enquanto ao final de 2012, 77% da publicação estava em periódicos com fator de impacto igual ou superior a 2 (MONTEIRO *et al.*, 2017).

⁹ Disponível em: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php>.

¹⁰ Disponível em: <https://www.scopus.com/search/>.

¹¹ Disponível em: <https://www.webofscience.com/>.

Isso posto, destaca-se que a Química é uma ciência central que impacta as mais diversas áreas do conhecimento: de combustíveis até qualidade da água, da produção de alimentos até medicamentos e meio ambiente. Este enfoque interdisciplinar ecoa, por consequência, na produção científica (que é uma das que mais cresce no Brasil) e na inovação na área (MONTEIRO *et al.*, 2017). Portanto, compreender os resultados gerados é de suma importância para a superação dos desafios da área, bem como para melhorar a visibilidade e o impacto das publicações no cenário científico internacional.

Outro fator que afeta o nível e a produção científica dos países é o desenvolvimento econômico. Países da OCDE apresentaram, de 1981 a 2010, melhoria contínua de indicadores de desenvolvimento econômico e de indicadores de produção intelectual (AL; TAŞKIN, 2015). À vista disso, e considerando que no Brasil a pesquisa científica é financiada majoritariamente com recursos públicos (SCHWARTZMAN, 2022) cada vez mais escassos, estudos que possam subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas apropriadas aos problemas nacionais, gerando maior benefício à sociedade ao menor custo possível, são sempre bem-vindos.

Portanto, este estudo visa avaliar de forma comparativa o desempenho da produção brasileira na área de Química em relação aos principais países dessa área, empregando indicadores cientométricos de produção e impacto e o índice econômico PIB per capita, para o período de 2001 a 2020. Pretende-se, especificamente, elaborar caracterizações estatísticas a partir dos dados, efetuar testes de comparação, avaliar a correlação entre os indicadores, observar tendências temáticas e identificar os periódicos nos quais foram publicados os artigos mais citados na área de química. Por fim, compreender o que é produzido pela ciência brasileira pode contribuir significativamente para que sejam tomadas decisões estratégicas e formulados programas e políticas públicas de qualidade para o desenvolvimento nacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo com delineamento *ex-post facto*, de natureza empírica e abordagem quantitativa e qualitativa. A pesquisa emprega dados secundários disponíveis no portal *SCImago Journal & Country Rank*, na base de dados Scopus e no portal UNdata,¹² disponibilizado pela Divisão de Estatísticas Econômicas da

¹² Disponível em: <http://data.un.org/>.

Organização das Nações Unidas (UNSD), coletados no mês de abril de 2022. A população do estudo foi constituída pelos países com produção científica na área de química, delimitada ao período de 2001 a 2020.

Os indicadores cientométricos foram obtidos do portal *SCImago Journal & Country Rank* da seguinte forma: na opção *Country Rankings*, foram filtrados a área temática “Química” e o período de interesse (2001 a 2020). Assim, para cada ano foi obtido um arquivo .xlsx contendo as variáveis: Rank, País, Região, Documentos, Documentos citáveis, Citações, Autocitações, Citações por documento e Índice-H. No portal UNdata, foram obtidos os valores do PIB per capita dos países para o período de interesse sintetizados em um arquivo .csv com as variáveis: País, Ano e PIB per capita (em dólares americanos/USD).

Para as análises estatísticas, optou-se por uma amostragem não probabilística por conveniência. Foram objeto de análise por país as variáveis Documentos (representa a produção científica), Citações, Autocitações, Citações por Documento e PIB per capita no período de 2001 a 2020. Primeiramente, foi avaliado o crescimento da produção científica dos países por meio do cálculo das taxas de crescimento, representadas em gráficos. Em seguida, os dados brutos foram caracterizados estatisticamente por medidas descritivas de proporção, de tendência central e de dispersão das variáveis. A adequação dos dados à normalidade foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk (ARAÚJO *et al.*, 2022), com nível de significância de 5%, mas ponderações sobre a distribuição de probabilidade dos dados brutos também foram realizadas por inspeção visual com histogramas de frequência e gráficos boxplot.

Tendo em vista a distribuição das variáveis, para a avaliação de possíveis diferenças estatísticas entre os indicadores dos países foi performedo o teste de Kruskal-Wallis (BONAMIN *et al.*, 2022; DE CARVALHO *et al.*, 2022) seguido do teste de comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF). Este foi utilizado em todas as comparações pareadas dos países para os indicadores em estudo (BONAMIN *et al.*, 2022). Também foi avaliada a correlação entre indicadores cientométricos e o PIB per capita por meio do teste de correlação de Spearman (XIE *et al.*, 2019; ARAÚJO *et al.*, 2022). O processamento e a análise dos dados foram realizados por meio do software Microsoft Excel 365, com o suplemento Microsoft Power Query para Excel (versão: 2.59.5135.201) e do software estatístico Jamovi (Versão 2.3).

Por fim, foi observada a frequência de palavras ou termos presentes nas principais publicações na área de Química, no período de 2001 a 2020, a partir da elaboração de nuvens de palavras (ROSS; CRUZ, 2021). Na base de dados Scopus, foram obtidos dados bibliográficos de 200 artigos, que foram separados em dois grupos: (a) os 100 artigos mais citados no total e (b) os 100 artigos mais citados com autores cujo país de afiliação é o Brasil. Na opção Advanced Search, foram considerados os seguintes argumentos para consulta:

- a) PUBYEAR>2001 AND PUYEAR<2021 AND SUBJAREA(chem) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar"))
- b) PUBYEAR>2001 AND PUYEAR<2021 AND SUBJAREA(chem) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar")) AND AFFILCOUNTRY, "Brazil"))

A consulta foi ordenada por citações e obteve-se arquivos .csv com as seguintes informações selecionadas: Autor(es), Título do Documento, Ano, Título da Fonte, Afiliações, Palavras-chave do Autor e Palavras-chave do Index. O corpus textual foi preparado inicialmente pela substituição de espaços pelo sinal underline “_” em expressões compostas por mais de uma palavra, seguida pela conversão do texto para letras minúsculas e pela remoção de numerais, sinais de pontuação, espaços em branco extra e palavras irrelevantes na língua inglesa – “*common stopwords*”, como preposições, artigos, pronomes, entre outros. Então, foram produzidas nuvens de palavras a partir das “Palavras-chave do Index” e do título dos periódicos (Título da Fonte) para cada grupo de 100 artigos, utilizando o RStudio (versão 2021.09.2+382).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de 2001 a 2020, foi observado um universo de 217 países com produção científica na área de química. Destes, apenas 20 concentram 82,36% do total de publicações do período. Além disso, somente 128 apresentaram produção em todos 20 anos observados. Sendo o Brasil o país com a maior produção na América Latina, foram escolhidos para comparação e análise os nove países com o maior percentual de Documentos em cada uma das 9 regiões geográficas apresentadas pelo portal *SCImago* (Tabela 1).

As taxas de crescimento anual que melhor representaram o avanço da produção científica dos países foram obtidas admitindo-se um crescimento geométrico no período (Tabela 1), conforme a equação $D_n=(1+r)^tD_0$, onde: D_n é o número de documentos no instante n ; D_0 é a produção inicial; r é a taxa de crescimento; e t é o

tempo em anos. A série temporal correspondente à produção científica dos 9 países é mostrada na Figura 1.

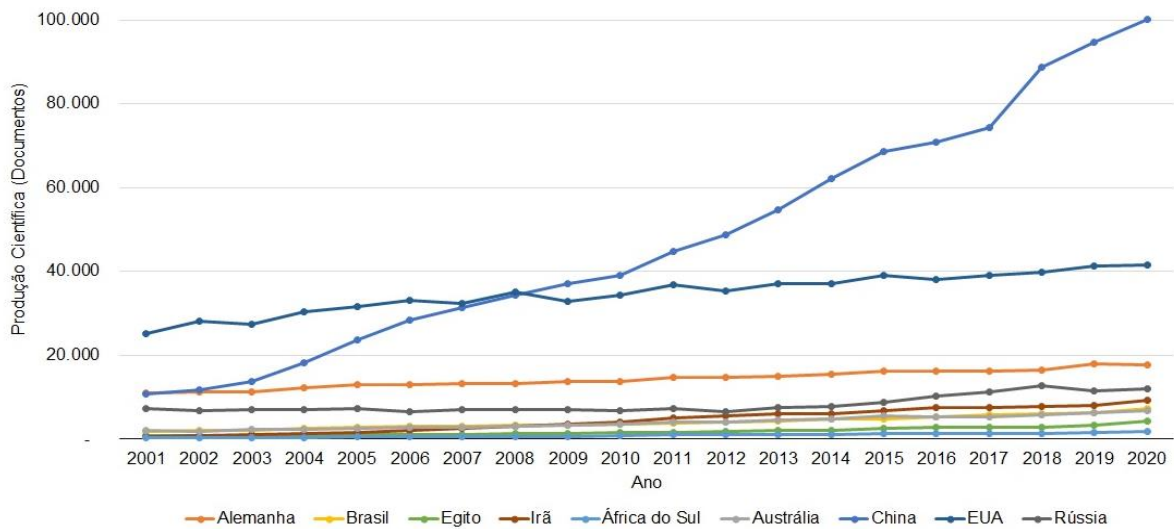
Fica evidente o rápido avanço e o atual predomínio da China em relação ao volume de documentos publicados. A uma taxa anual de 11,8%, a China superou em 2020 os 100 mil documentos publicados durante um ano na área de Química. Embora os Estados Unidos apresentem o segundo volume mais expressivo de publicações na área, demonstraram um crescimento menos acentuado, a uma taxa de 2,5%, que aparentemente tende à estabilidade, com produção anual de aproximadamente 40 mil documentos nos últimos 5 anos (Figura 1). Para os demais países, também se observam curvas com inclinação menos pronunciada, que indicam números que se aglutinam abaixo dos 20 mil documentos anuais.

A produção brasileira superou os sete mil documentos anuais na área e apresentou uma taxa de crescimento de 7,1%, que é semelhante à taxa média de crescimento do conjunto dos nove países em estudo, de 7,0%. Chama a atenção que a curva nacional se sobrepõe visualmente com a curva da Austrália em praticamente toda a série averiguada (Figura 1). A taxa brasileira observada está próxima ao crescimento médio geométrico anual de 6,29% relatado por Menezes e Caregnato (2018) para a produção científica em Química no período de 2004-2013, conforme dados do WoS. Entretanto, a taxa de crescimento de 5,0% para a produção mundial na área foi 2 pontos aquém da taxa representativa para o conjunto de países deste estudo.

TABELA 1. Percentual de Documentos, taxa de crescimento anual e Índice-H dos países escolhidos para análise.

Região	País	Documentos (%)	Taxa de crescimento anual (2001-2020)	Índice-H na área de Química
Ásia	China	19,10%	11,8%	652
América do Norte	EUA	13,88%	2,5%	1.076
Europa Ocidental	Alemanha	5,72%	2,4%	657
Europa Oriental	Rússia	3,30%	2,5%	256
Oriente Médio	Irã	1,81%	14,2%	213
América latina	Brasil	1,61%	7,1%	249
Oceania	Austrália	1,57%	6,3%	408
África/Oriente Médio	Egito	0,75%	9,0%	176
África	África do Sul	0,39%	8,7%	171
Demais países		48,14%	-	-

FIGURA 1. Evolução da Produção científica (Documentos) na área de Química dos 9 países analisados, por ano de publicação.



Fonte: os autores (2023)

Para a caracterização dos dados, foram calculadas as estatísticas descritivas, produzidos histogramas de frequência e testados os pressupostos de normalidade dos indicadores para o conjunto de países por meio do teste Shapiro-Wilk. Foi observado o comportamento não paramétrico para todos os indicadores, tanto por meio dos histogramas de frequência (que não apresentaram o formato característico de sino) quanto pelos testes de Shapiro-Wilk (p -valores $< 0,05$), conforme a Tabela 2. Assim sendo, para o conjunto de valores assimétricos observados, a mediana e os quartis despontam como as medidas que melhor representam a tendência central e a dispersão dos dados, respectivamente, visto que a média aritmética e a variância são influenciadas pelos valores extremos (KRZYWINSKI; ALTMAN, 2014).

TABELA 2. Estatísticas descritivas dos indicadores.

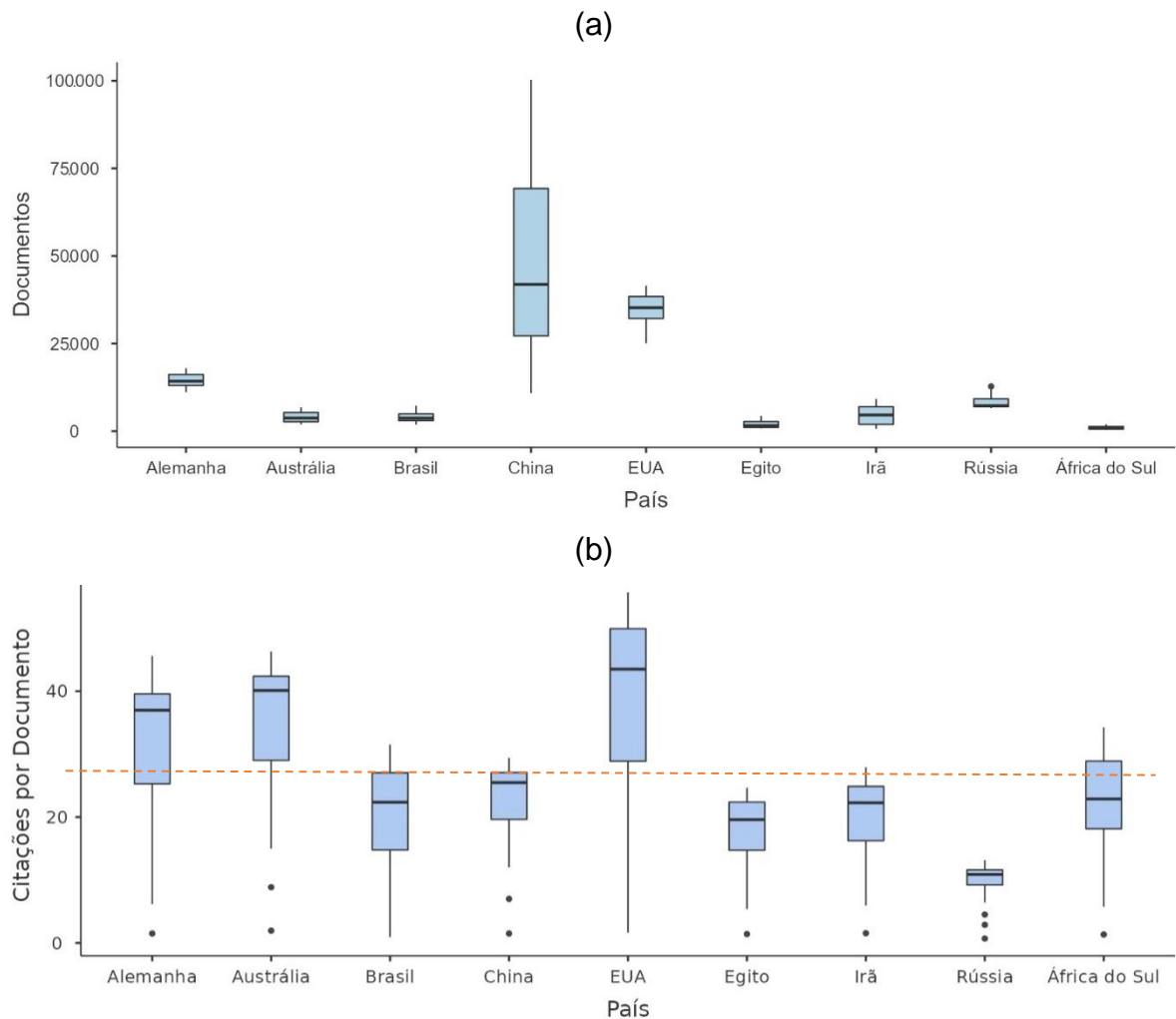
	Mediana	Min	Max	Quartis		Shapiro-Wilk	
				Q1	Q3	W	p
Documentos	6.243,00	364	100.289	2.222,80	14.801,80	0,686	$< 0,001$
Citações	83.989,50	2.601	1.698.166	34.824,30	448.649,80	0,663	$< 0,001$
Autocitações	26.668,00	714	1.047.918	10.098,50	116.782,00	0,61	$< 0,001$
Citações por Documento	23,2	0,7	55,7	13	30,2	0,975	0,003
PIB per capita (USD)	8638,5	1.017	69.451	4070,5	40.156,30	0,784	$< 0,001$

Nota: Min = Valores mínimos, Max = Valores máximos, 1ºQ = primeiro quartil e 5ºQ = quinto quartil

Tendo em vista a distribuição não paramétrica dos dados, os gráficos boxplot (ou diagrama de caixas) se mostraram elucidativos para comparar o comportamento dos indicadores entre os países. O intervalo interquartilico (tamanho da caixa) pode ser considerado uma estatística mais robusta para medir variabilidade, uma vez que não sofre influência de *outliers* (KRZYWINSKI; ALTMAN, 2014). Para o indicador Documentos (Figura 2a), destacamos a alta dispersão dos dados da China frente aos demais países, representada pelo intervalo interquartilico, o que demonstra mais uma vez o crescimento atípico da produção chinesa. Nota-se também uma assimetria positiva nas caixas da maioria dos países. Ou seja, durante a metade do período, nos últimos 10 anos, o número de Documentos publicados anualmente já supera a mediana da série histórica analisada. Para EUA e Irã, entretanto, observa-se maior simetria na distribuição dos dados dentro do intervalo interquartilico, enquanto para a Rússia foi detectada a presença de um ponto *outlier*.

Para o indicador Citações por Documento (Figura 2b), constata-se a diferença na distribuição dos dados entre os países desenvolvidos (Alemanha, Austrália e EUA) e os em desenvolvimento (África do Sul, Brasil, China, Egito, Irã e Rússia). Os boxplot revelam que praticamente a totalidade dos dados destes países concentra-se abaixo da linha do primeiro quartil dos primeiros (linha tracejada). Ou seja, as Citações por Documento de Alemanha, Austrália e EUA superam as dos demais em 75% das vezes. Entendendo o impacto da produção científica como a utilização das informações divulgadas em novas produções, o que é evidenciado principalmente pelas citações (SANTIN *et al.*, 2016), pode-se inferir o grande prestígio, a influência e a alta qualidade da maioria dos trabalhos publicados pelos países desenvolvidos sobre a Química mundial.

FIGURA 2. Gráfico boxplot da produção científica na área de Química, Documentos, (a), e Citações por Documentos (b) para os 9 países analisados.



Fonte: os autores (2023)

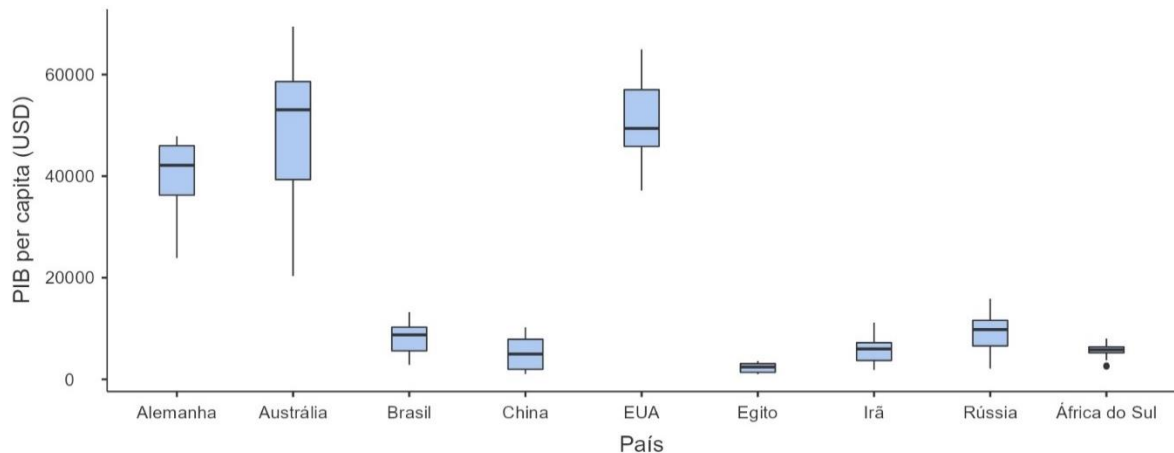
Podemos agregar a essas observações o Índice-H dos países na área de química (Tabela 1). Proposto por Jorge Hirsch em 2005, o Índice-H é dependente tanto do número de publicações científicas como do impacto delas sobre pares via citações. Assim, um determinado ator (pesquisador, instituição, área, país, etc.) tem um índice-H se H de seus artigos (N_p) tiverem pelo menos H citações cada um e os outros artigos ($N_p - H$) tiverem menos que H citações cada (SILVA; GRÁCIO, 2021). A vantagem deste índice é sua simplicidade e objetividade, resumindo em um único número a produtividade e a relevância do trabalho científico – embora não se deva basear uma avaliação em um único e isolado indicador. Neste ponto, os EUA se destacam com índice-H de maior valor (1.076 pontos), portanto, pelo menos 1.076 Documentos apresentam um mínimo de 1.076 citações cada. Isto demonstra, de

forma semelhante às Citações por Documento, o alto impacto da produção deste país na comunidade científica da área. Por outro lado, nota-se que, apesar da semelhança entre os índices-H da Alemanha (657 pontos) e da China (652 pontos), o país germânico apresenta 75% dos valores do indicador Citações por Documento acima da mediana do valor chinês (Figura 2b). De forma análoga, Brasil, Irã e Rússia apresentaram índices-H semelhantes de, respectivamente, 249, 213 e 256 pontos, mas há uma expressiva diferença nas medianas de Citações por Documento: 22,4 para o Brasil, 22,3 para o Irã e 10,9 para a Rússia. A África do Sul e o Egito, por sua vez, apresentaram semelhanças tanto no índice-H (171 e 176 pontos, respectivamente) como nas medianas de Citações por Documento, de 22,9 para a África do Sul e 19,6 para o Egito. Além disso, apesar da semelhança entre o Brasil e a Austrália quanto ao número de documentos publicados, fica evidente a preponderância australiana em relação ao impacto (Citações por Documento) e ao índice-H de 408 pontos, ou seja, 1,6 vezes maior que o brasileiro.

A distribuição do PIB per capita dos 9 países é mostrada na Figura 3. Percebe-se uma diferença, desta vez muito mais evidente, entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Com valores de PIB per capita que superam US\$ 35.000 anuais, fica nítida a superioridade econômica de Alemanha, Austrália e EUA frente aos demais países, para os quais os valores de PIB per capita ainda permanecem, em maioria, inferiores a US\$ 15.000 anuais. Então, confrontando as Citações por Documento (Figura 2b) com o PIB per capita (Figura 3), depreende-se a tendência dos países com o PIB per capita mais alto apresentarem também maior impacto nos seus trabalhos frente à comunidade científica internacional. Isto corrobora o clássico “Efeito Matheus”¹³ na ciência (MERTON, 1968; MINGERS; LEYDESDORFF, 2015) e concorda com a literatura, que já demonstrou que a maioria dos “países ricos” geram contribuições importantes para a produção científica mundial, tanto em termos de publicações como em registros de patentes (AL; TAŞKIN, 2015).

¹³ Do evangelho de Mateus (25:29): “Porque a todo o que tem, dar-se-lhe-á, e terá em abundância; mas ao que não tem, até aquilo que considera ter ser-lhe-á tirado.”.

FIGURA 3. Gráfico de boxplot para o PIB per capita dos países no período 2001-2020.



Fonte: os autores (2023)

Outro ponto de destaque é a relação entre os indicadores Citações e Autocitações. De forma geral, as Autocitações correspondem a 40% das Citações. A Austrália, com 17%, é o país com a menor proporção, seguida por Alemanha, Brasil, Egito e EUA com cerca de 30%, Irã e Rússia, em torno de 40%, e pela China com a proporção mais elevada, de 60%.

Para identificar a variabilidade estatística entre os indicadores dos 9 países, empregamos o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Este teste compara k amostras (pareadas ou não) partindo da hipótese nula de que não há diferenças significativas entre as medianas dos grupos (CABRAL JÚNIOR *et al.*, 2020). No presente estudo, a comparação se dá entre as medianas dos indicadores cientométricos Documento, Autocitações, Citações por Documento e PIB per capita dos países. O teste de Kruskal-Wallis apontou que, em pelo menos um par de países, houve diferenças estatisticamente significativas para todos os indicadores avaliados (p -valor $< 0,001$), ou seja, a hipótese nula foi rejeitada. Então, a partir do teste de comparações múltiplas Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF), foi possível identificar as semelhanças e diferenças entre cada par de países para cada indicador (Tabela 3). Detendo-se às semelhanças estatísticas do Brasil frente aos demais países, observou-se que para o indicador Documentos houve semelhança com dados da Austrália, corroborando as observações iniciais, e também com os dados Iranianos. As Citações por Documento brasileiras não se diferenciaram estatisticamente das da Alemanha, China e África do Sul, diferentemente das Autocitações, cuja semelhança entre Brasil e Austrália foi identificada. Por fim, o teste corrobora as observações dos

boxplot em relação ao PIB per capita. Desse modo, há diferenças significativas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (ainda que entre Alemanha e EUA não tenha sido detectada semelhança).

TABELA 3. Comparações múltiplas DSCF país a país para alguns dos indicadores em estudo. Os valores destacados demonstram a semelhança estatística.

		Documentos		Autocitações		Citações por Documento		PIB per capita (USD)	
		W	p	W	p	W	p	W	p
Alemanha	Austrália	-7,65	<,001	-6,5	<,001	1,951	0,906	35,577	0,224
	Brasil	-7,65	<,001	-6,94	<,001	-4,36	0,053	-76,51	<,001
	China	5,815	0,001	4,705	<,001	-3,96	0,115	-76,51	<,001
	EUA	7,651	<,001	6,274	<,001	2,907	0,504	50,496	0,011
	Egito	-7,65	<,001	-7,23	<,001	-4,82	0,019	-76,51	<,001
	Irã	-7,65	<,001	-6,92	<,001	-4,48	0,041	-76,51	<,001
	Rússia	-7,19	<,001	-6,92	<,001	-6,16	<,001	-76,51	<,001
	África do Sul	-7,65	<,001	-7,65	<,001	-3,98	0,112	-76,51	<,001
Austrália	Brasil	0,23	1	-5,74	1	-4,94	0,014	-76,51	<,001
	China	7,651	<,001	7,46	<,001	-4,78	0,021	-76,51	<,001
	EUA	7,651	<,001	6,962	<,001	2,104	0,862	-0,077	1
	Egito	-5,7	0,002	-6,92	<,001	-5,36	0,005	-76,51	<,001
	Irã	0,918	0,999	-4,59	0,581	-5,13	0,009	-76,51	<,001
	Rússia	7,536	<,001	-5,66	0,008	-6,35	<,001	-76,51	<,001
	África do Sul	-7,61	<,001	-7,08	<,001	-4,78	0,021	-76,51	<,001
Brasil	China	7,651	<,001	7,651	<,001	0,976	0,999	-35,96	0,212
	EUA	7,651	<,001	7,154	<,001	4,858	0,017	76,509	<,001
	Egito	-6,04	<,001	-6,5	<,001	-1,99	0,896	-70,39	<,001
	Irã	0,65	1	0,65	0,71	-0,98	0,999	-35,58	0,224
	Rússia	7,268	<,001	1,071	0,004	-5,16	0,008	14,154	0,986
	África do Sul	-7,61	<,001	-6,92	<,001	0,803	1	-36,72	0,188
China	EUA	-1,8	0,94	3,481	0,964	4,667	0,027	76,509	<,001
	Egito	-7,65	<,001	-7,65	<,001	-4,17	0,078	-37,49	0,166
	Irã	-7,65	<,001	-7,65	<,001	-2,41	0,744	0,8799	0,999
	Rússia	-7,42	<,001	-7,65	<,001	-6,24	<,001	44,758	0,041
	África do Sul	-7,65	<,001	-7,65	<,001	-0,65	1	0,6886	1
EUA	Egito	-7,65	<,001	-7,65	<,001	-5,28	0,006	-76,51	<,001
	Irã	-7,65	<,001	-7,23	<,001	-5,01	0,012	-76,51	<,001
	Rússia	-7,65	<,001	-7	<,001	-6,31	<,001	-76,51	<,001
	África do Sul	-7,65	<,001	-7,65	<,001	-4,82	0,019	-76,51	<,001
Egito	Irã	4,131	0,084	5,164	<,001	2,028	0,885	59,295	<,001
	Rússia	7,651	<,001	6,656	<,001	-5,16	0,008	66,18	<,001
	África do Sul	-4,4	0,049	-5,09	<,001	2,544	0,683	69,623	<,001

Irã	Rússia	4,935	0,014	0	1	-5,62	0,002	41,315	0,084
	África do Sul	-6,12	<,001	-6,5	<,001	1,262	0,993	-0,306	1
Rússia	África do Sul	-7,65	<,001	-6,92	<,001	5,7	0,002	-41,32	0,084

Nota. * p < ,05, ** p < ,01, *** p < ,001

A fim de compreender a associação linear entre os indicadores, foi construída a matriz de correlação de Spearman, recomendada para distribuições não paramétricas, conforme a Tabela 4.

TABELA 4. Matriz de correlações entre os principais indicadores (para correlações não significativas p-valor > 0,05).

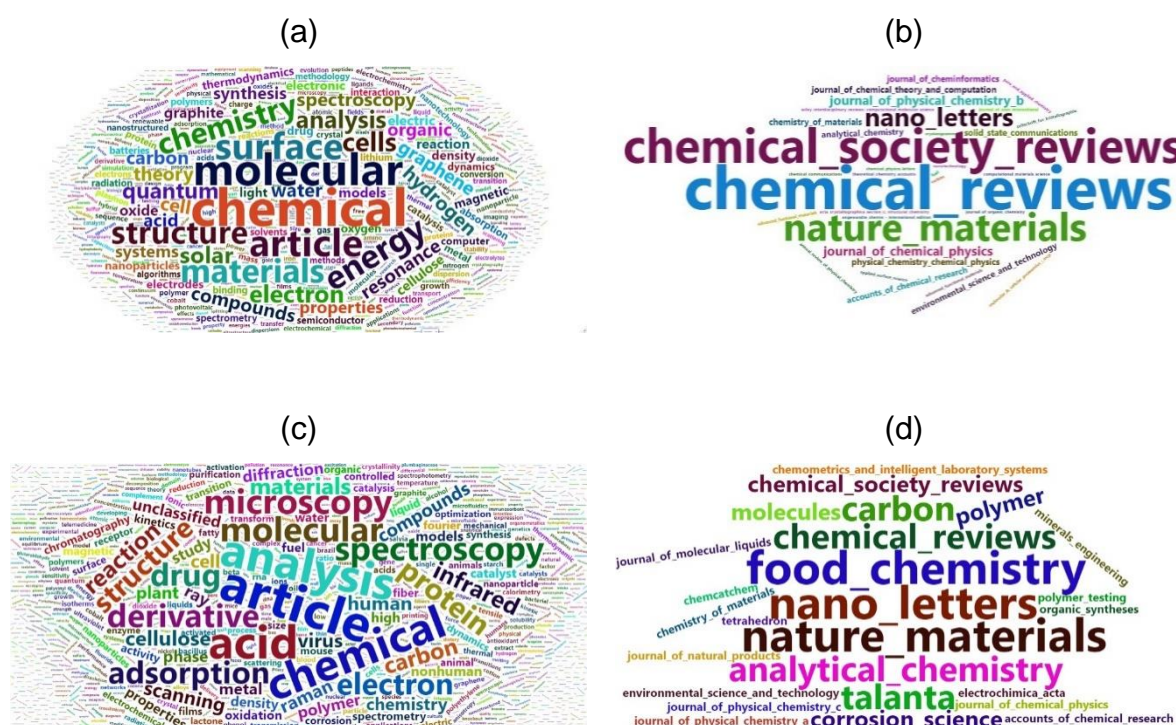
		Documentos	Citações	Citações por Documento	Autocitações	PIB per capita (USD)
Documentos	Rho de Spearman	—				
	p-value	—				
Citações	Rho de Spearman	0,809***	—			
	p-value	<,001	—			
Citações por Documento	Rho de Spearman	0,031	0,507***	—		
	p-value	0,681	<,001	—		
Autocitações	Rho de Spearman	0,881***	0,948***	0,328***	—	
	p-value	<,001	<,001	<,001	—	
PIB per capita (USD)	Rho de Spearman	0,487***	0,519***	0,247***	0,406***	—
	p-value	<,001	<,001	<,001	<,001	—

Nota. * p < ,05, ** p < ,01, *** p < ,001

A magnitude das correlações foi interpretada da seguinte forma: abaixo de 0,30 são fracas; entre 0,30 e 0,60 correspondem a moderadas; e acima de 0,60 são fortes (XIE *et al.*, 2019; ARAÚJO *et al.*, 2022;). As correlações se mostraram positivas, em diferentes magnitudes, para todos os pares de indicadores. A produção científica (Documentos) apresentou associação linear forte e estatisticamente significativa com Citações (Rho = 0,809, p<0,05) e Autocitações (Rho = 0,881, p<0,05). Contudo, foi detectada uma correlação fraca e sem significância estatística com Citações por Documento (Rho = 0,031, p>0,05). Também é forte e estatisticamente significativa a correlação entre Citações e Autocitações (Rho = 0,948, p<0,05), sinalizando que o total de Citações está fortemente associado a e é dependente das Autocitações (ainda que correlação não implique causalidade). Quando avaliados produção científica e

PIB per capita, observou-se que se correlacionam moderadamente, com significância estatística ($Rho = 0,487$, $p < 0,05$). Com isso, podemos inferir que a intensidade desta associação linear pode ter sofrido uma distorção em virtude dos dados da China. Embora apresente o maior volume de Documentos (aproximadamente 40% do total entre os 9 países) e seja a segunda maior economia do planeta, seu PIB per capita permanece em patamares emergentes por conta da expressiva população do país. Essas observações estão de acordo com a literatura, que já mostrou correlações positivas e estatisticamente significativas entre índices cientométricos normalizados em diversas intensidades (GRÁCIO; OLIVEIRA, 2014), bem como entre indicadores de desenvolvimento econômico e produção intelectual (AL; TAŞKIN, 2015).

FIGURA 4. Palavras-chave do Index (a) e Título dos periódicos (b) para os 100 artigos mais citados na área de Química; e Palavras-chave do Index (c) e Título dos periódicos (d) para os 100 artigos mais citados com autores tendo o Brasil como país de afiliação. Todos da área de Química e do período entre 2001 e 2020.



Fonte: os autores (2023)

Por fim, foram produzidas nuvens de palavras (NP) para obter uma representação visual da frequência de palavras e termos mais utilizados nas principais publicações da área de química do período de 2001 a 2020. Foram considerados os dados bibliográficos de 200 artigos para a geração de 4 NP: para os 100 artigos mais

citados no mundo, foi gerada uma NP com as Palavras-chave do Index (Figura 4a) e outra com os Títulos dos periódicos (Figura 4b); em seguida, para os 100 artigos mais citados de autores com afiliação brasileira, foi elaborada uma NP com as Palavras-chave do Index (Figura 4c) e outra com os Títulos dos periódicos (Figura 4d).

Na NP de palavras-chave dos 100 artigos mais citados (Figura 4a), notam-se termos conceituais típicos da química, como: molecular, superfície, estrutura, energia, materiais, entre outros. Por outro lado, para os 100 artigos mais citados com autores com afiliação brasileira (Figura 4c), percebe-se a frequência de termos relacionados a técnicas instrumentais amplamente utilizadas da área, como: espectroscopia, microscopia, cromatografia, infravermelho, difração, entre outros. Nas NPs elaboradas com os títulos dos periódicos, constata-se em ambos os grupos alta frequência de periódicos voltados a artigos de revisão. O fato não surpreende, visto que artigos de revisão são fundamentais para a consolidação e síntese do conhecimento científico.

Em suma, diante da atual profusão de informações, utilizar uma abordagem qualitativa e visual, pode auxiliar a interpretação de diversos contextos. Assim, as NP podem fornecer a profissionais, gestores e formuladores de políticas de educação, ciência e tecnologia entendimentos essenciais para fundamentar o desenho e a avaliação de políticas científicas integradas ao *mainstream* da ciência.

CONCLUSÕES

Avaliar o impacto e a qualidade da produção científica é um desafio constante para pesquisadores, instituições, agências de fomento e órgãos governamentais responsáveis por definir planos e ações para o desenvolvimento do país. Diante disso, visando ampliar o entendimento que a área de Química brasileira apresenta em nível internacional, este estudo se propôs a analisar, de forma comparativa, indicadores cientométricos de produção e de citação e o PIB per capita de países selecionados, para o período de 2001 a 2020.

Destaca-se que a produção científica brasileira na área de Química cresceu a uma taxa anual de 7,1% no período de 2001 a 2020 – taxa muito próxima à média de crescimento de 7,0% do conjunto de países observados. A China conta com o maior número de documentos publicados e com um crescimento de 11,8%. Os EUA apresentam o segundo maior volume de publicações anuais, mas tendem à estabilidade, com uma taxa de crescimento de 2,5%. Os demais países apresentaram crescimentos moderados, embora nos últimos 10 anos a produção anual tenha

superado a mediana da série histórica analisada. As Citações por Documento dos países desenvolvidos superaram a dos em desenvolvimento em 75% das vezes. Isto evidencia a tendência dos países com elevado PIB per capita apresentarem trabalhos com maior impacto na comunidade científica internacional, fato também corroborado pelo índice-H destes países.

Os testes estatísticos identificaram diferenças significativas entre todos os indicadores avaliados, bem como semelhanças dos indicadores do Brasil com Austrália e Irã, quanto ao número de publicações, e com Alemanha, China e África do Sul, para as Citações por Documento. As correlações de Spearman se mostraram positivas em diferentes magnitudes para todos os pares de indicadores. Além disso, evidenciaram uma forte dependência entre Citações e Autocitações e uma correlação moderada entre produção científica e PIB per capita.

As nuvens de palavras evidenciaram que os artigos analisados trazem termos conceituais e técnicas instrumentais típicas da área de Química. Também se observa uma alta frequência de periódicos de revisão para os artigos mais citados no período. Os resultados podem auxiliar o desenho e a avaliação de políticas científicas.

Outros estudos podem avançar na avaliação de políticas e programas específicos, avaliando sua influência em relação à produtividade, ao impacto científico e à efetividade dos seus resultados. Além disso, trabalhos futuros podem identificar os fatores que influenciam a produção científica em qualidade, visibilidade e impacto.

Portanto, este estudo contribuiu para observarmos indicadores cientométricos abrangentes que possibilitam a comparação da produção científica entre países. Assim, compreende-se quanto é produzido pelas diversas áreas do conhecimento e seus impactos, o que oferece subsídio com evidências para tomada de decisões que podem definir os rumos do desenvolvimento científico brasileiro.

REFERÊNCIAS

- AL, U.; TAŞKIN, Z. Relationship between Economic Development and Intellectual Production. **Collnet Journal of Scientometrics and Information Management**, v. 9, n. 1, p. 25–35, 2015. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09737766.2015.1027102>> DOI: <https://doi.org/10.1080/09737766.2015.1027102>
- ARAÚJO, R. E. de; SILVA, H. A. da; SALVIO, G. M. M. Statistical Correlation Between Socioeconomic Indicators And Protected Natural Areas Around The World. **Revista Árvore**, v. 46, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/4FZKp8zwwg3QnB6BJ4dsFGtP/abstract/?lang=en>>. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-908820220000001>
- DE BARROS, E. F.; CALABRÓ, L.; GHENO, E. M.; SOUZA, D. O. Planetary Health : A Scientometric Analysis of Scientific Publications. **Education**, v. 9, n. 2, p. 35–40, 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/349004070_Planetary_Health_A_Scientometric_Analysis_of_Scientific_Publications>. DOI: <http://dx.doi.org/10.5923/j.edu.20190902.03>
- BONAMIN, S.; ZANATTA, C. T. I.; DA SILVA, S. V.; CAMILOTTI, V.; MENDONÇA, M. J. *et al.* Avaliação comparativa da resistência de união ao microcissalhamento de um cimento resinoso autoadesivo na dentina e no esmalte: Estudo in vitro. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e50811726569, 2022. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26569>>. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.26569>
- CABRAL JÚNIOR, J. B.; LUCENA, R. L. Analysis Of Precipitations By Non-Parametric Tests Of Mann-Kendall And Kruskal-Wallis. **Mercator**, v. 19, n. 1, p. 1–14, 2020. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/journal/2736/273661636001/273661636001.pdf>>. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19001>
- CARVALHO, A. M. X. D.; MENDES, F. Q.; BORGES, P. H. D. C.; KRAMER, M. A brief review of the classic methods of experimental statistics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, n. 1, p. e56882, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/asagr/a/v9xbXfYZWD6b53CwPyfxJKG/>>. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.56882>
- FORTUNATO, S.; BERGSTROM, C. T.; BÖRNER, K.; EVANS, J. A.; HELBING, D. *et al.* Science of science. **Science**, v. 359, n. 6379, 2018. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aao0185?casa_token=hDdIJNXT RZ0AAAAA:-yTXLKU2JTYpl6Aj9yCyF2ZZAYtWe9a2THEtMKMQyfet4vYL0mr-c6mFxzixcYztLcfyAAWARzsP>. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aao0185>
- GHENO, E. M.; GUARAGNA, R. M.; DA MATA, L. F. S., DUARTE, L. F., SOUZA, D. O. *et al.* Sistema de avaliação da CAPES: indicadores e procedimentos de monitoramento e avaliação de desempenho. **Em Questão**, v. 25, n. 3, p. 184–213, 2019. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/journal/4656/465660194009/465660194009.pdf>>. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aao0185>

<https://doi.org/10.19132/1808-5245253.184-213>

GRÁCIO, M. C. C.; OLIVEIRA, E. F. T. Indicadores cientométricos normalizados: um estudo na produção científica brasileira internacional (1996-2011). **Perspectivas em Ciencia da Informacao**, v. 19, n. 3, p. 118–133, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pci/a/wdcRpCW6FvF8QMPBGxWBXXg/abstract/?lang=pt>>. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-5344/1898>

KRZYWINSKI, M.; ALTMAN, N. Visualizing samples with box plots. **Nature Methods**, v. 11, n. 2, p. 119–120, 2014. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/nmeth.2813>>. DOI: <https://doi.org/10.1038/nmeth.2813>

LETA, J.; THIJS, B.; GLÄNZEL, W. A macro-level study of science in Brazil: seven years later. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 18, n. 36, 2013. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/147/14726166004.pdf>>. DOI: <http://dx.doi.org/10.5007/1518-2924.2013v18n36p51>

MCMANUS, C.; BAETA NEVES, A. A.; MARANHÃO, A. Q.; SOUZA FILHO, A. G.; SANTANA, J. M. International collaboration in Brazilian science: financing and impact. **Scientometrics**, v. 125, n. 3, p. 2745–2772, 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-020-03728-7>>. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03728-7>.

MENEZES, S. D.; CAREGNATO, S. E. Produção científica brasileira em Química entre 2004 e 2013: análise dos artigos indexados na Web of Science. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 23, n. 53, p. 25–38, 2018. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/181947>>. DOI: <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2018v23n53p25>

MERTON, R. K. The matthew effect in science. **Science**, v. 159, n. 3810, p. 56–62, 1968. Disponível em: <<http://www.garfield.library.upenn.edu/merton/matthew1.pdf>>. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.159.3810.56>

MINGERS, J.; LEYDESDORFF, L. A review of theory and practice in scientometrics. **European journal of operational research**, v. 246, n. 1, p. 1-19, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037722171500274X>>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.04.002>.

MONTEIRO, A. L.; FURLAN, M.; SUAREZ, P. A. Z. Sistema Nacional de Pós-Graduação e a área de Química na CAPES. **Quimica Nova**, v. 40, n. 6, p. 618–625, 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/dKtsgfpBNkgTPBysFrwM7ZS/?lang=pt>>. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170079>

PARRA, M. R.; COUTINHO, R. X.; PESSANO, E. F. C. Um Breve Olhar Sobre A Cienciometria: Origem, Evolução, Tendências E Sua Contribuição Para O Ensino De Ciências. **Revista Contexto & Educação**, v. 34, n. 107, p. 126–141, 2019. Disponível em: <<http://revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/article/view/7267>>.

DOI: <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2019.107.126-141>

QUEIROZ, K.; CALABRÓ, L. A formação de mestres e doutores e sua produção científica no âmbito da Chamada Pública voltada à prevenção e ao combate ao vírus Zika. **#Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/tear/article/view/5290>>. DOI: <https://doi.org/10.35819/tear.v10.n2.a5290>

ROSS, S. D.; CRUZ, B. de P. A. Análise Quantitativa de Textos: Apresentação e Operacionalização da Técnica via Twitter. **Administração: Ensino e Pesquisa**, v. 22, n. 1, 2021. Disponível em: <<https://raep.emnuvens.com.br/raep/article/view/1859>>. DOI: <https://doi.org/10.13058/raep.2021.v22n1.1859>

SANTIN, D. M.; VANZ, S. A. de S.; STUMPF, I. R. C. Internacionalização da produção científica brasileira: políticas, estratégias e medidas de avaliação. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 30, p. 81–100, 2016. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/151494>>. DOI: <https://doi.org/10.21713/2358-2332.2016.v13.923>

SCHWARTZMAN, S. Pesquisa e Pós-Graduação no Brasil: duas faces da mesma moeda?. **Estudos Avançados**, v. 36, n. 104, p. 227–254, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ea/a/mM4ZbvgxfKYSjWv6bwL7fMg/>>. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2022.36104.011>

SILVA, D. D.; GRÁCIO, M. C. C. Dispersion measures for h-index: a study of the Brazilian researchers in the field of mathematics. **Scientometrics**, v. 126, n. 3, p. 1983–2011, 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-020-03848-0>>. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03848-0>

WALTMAN, L. A review of the literature on citation impact indicators. **Journal of informetrics**, v. 10, n. 2, p. 365-391, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751157715300900?casa_token=Ih5UJLhsNXgAAAAA:1FRrXf0BpFU1nRI4vB6PHr3kycJFSda1Olv75upwvkMnm6-EQkqOCV2SaKXmLXjGCKoo3del>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.02.007>

XIE, J.; GONG, K.; CHENG, Y.; KE, Q. The correlation between paper length and citations: a meta-analysis. **Scientometrics**, v. 118, n. 3, p. 763–786, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-019-03015-0>>. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03015-0>

4.2 ARTIGO 2

4.2.1 Título: Perfil Acadêmico e Redes de Colaboração Internacional de Doutores em Química: Um Estudo dos Egressos do PDSE (2013-2016)

Este artigo busca responder ao segundo objetivo específico desta pesquisa: Investigar a formação acadêmica, indicadores cientométricos e redes de colaboração dos doutores em Química egressos do programa de Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES (PDSE).

O artigo foi submetido para publicação e, portanto, as páginas 77 a 100 permanecerão restritas até a concretização da publicação.

4.3 ARTIGO 3

4.3.1 Título: Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES em Química: Uma Análise sobre a Produção Científica de Egressos e Não Egressos do Programa

Este artigo visa responder ao terceiro objetivo específico deste trabalho: Analisar comparativamente o impacto do PDSE sobre a produção científica e os indicadores cientométricos dos doutores em Química, tanto egressos quanto não egressos do programa.

O artigo foi submetido para publicação e, portanto, as páginas 102 a 127 permanecerão restritas até a concretização da publicação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese teve como principal objetivo investigar o desempenho da produção científica brasileira em Química e o impacto da formação acadêmica no exterior sobre a produção científica dos doutores em Química que participaram do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) da CAPES. Para isso, foram desenvolvidos três estudos distintos, porém complementares.

Para responder à primeira parte deste objetivo, foi avaliado de forma comparativa o desempenho da produção científica brasileira em Química em relação aos principais países com produção nesta área, empregando-se dados disponíveis no portal SCImago Journal & Country Rank, na base de dados Scopus e no portal UNdata. Foram utilizados indicadores cientométricos de produção e impacto, além do PIB per capita dos países, para o período de 2001 a 2020. Esses dados foram analisados por meio de estatísticas descritivas e inferenciais, gráficos boxplot, testes de hipótese como Kruskal-Wallis e comparações múltiplas, teste Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF), e correlação de Spearman. Adicionalmente, foram produzidas nuvens de palavras para observar a frequência das palavras-chave e dos periódicos dos artigos mais citados na área.

Dentre os principais resultados, verificou-se que a produção científica brasileira na área de Química cresceu a uma taxa anual de 7,1% de 2001 a 2020, próxima à média de crescimento dos países observados (7,0%). A China apresentou o maior crescimento anual (11,8%) e o maior número de publicações, seguida pelos EUA com o segundo maior volume de publicações anuais, mas com uma taxa de crescimento menor (2,5%) tendendo à estabilidade. As citações por documento dos países desenvolvidos superaram as dos países em desenvolvimento em 75% das vezes, evidenciando o maior impacto desses países na ciência global. A correlação do PIB per capita com a produção científica dos países mostrou-se positiva, porém fraca.

Com uma análise detalhada e comparativa dos indicadores cientométricos dos países avaliados, este estudo contribui para uma maior compreensão da produção científica nacional em Química em nível global. Os resultados podem subsidiar o desenho e a avaliação de políticas científicas, ajudando na formulação de estratégias para melhorar a visibilidade e o impacto das publicações brasileiras. Todavia, a utilização de uma amostragem não probabilística, focada nos países com

maior produção científica em suas respectivas regiões geográficas, e a não consideração de outros fatores que possivelmente impactam a produção científica dos países, como o número de pesquisadores por habitante, podem limitar a generalização dos resultados.

Para atender à segunda parte do objetivo geral desta tese, foram realizadas duas avaliações que focam em diferentes aspectos da produção e colaboração científica dos doutores em Química que participaram do PDSE. Primeiramente, foi investigada a formação acadêmica e a produção científica de doutores em Química egressos do PDSE, titulados entre 2013 e 2016, utilizando dados da Web of Science. A produção científica e o mapeamento das redes de colaboração internacional desses pesquisadores foram avaliados comparando-se grupos de ex-bolsistas conforme o tempo de permanência no exterior em função da bolsa. Foi empregado a Análise de Redes Sociais (ARS) para identificar os principais países parceiros e calcular métricas globais e locais das redes para avaliar a robustez das colaborações ao longo do tempo. Foi constatado que a participação no PDSE aumentou significativamente as colaborações internacionais dos ex-bolsistas, refletida no crescimento da produção científica e das redes de coautoria. A distribuição geográfica das colaborações, principalmente entre Estados Unidos e países europeus como Espanha, França, Alemanha, Itália e Reino Unido, indica uma preferência por instituições desses países. Por outro lado, não foi encontrado efeito estatisticamente significativo da duração da bolsa na produção científica e no impacto das publicações, embora grupos com bolsas mais curtas tenham mostrado um aumento expressivo na colaboração científica internacional.

Os achados desta investigação contribuem para a compreensão das dinâmicas de colaboração científica e como a internacionalização afeta a produção científica. Assim, podem auxiliar a formulação e avaliação de políticas públicas de incentivo à mobilidade acadêmica e ao estabelecimento de redes de colaboração internacional, que aumentem a visibilidade da produção científica e fortaleçam a integração da ciência brasileira no cenário global. Os dados utilizados permitiram, porém, analisar apenas os ex-bolsistas com publicações indexadas na Web of Science, excluindo aqueles sem publicações ou com publicações em outras bases de dados.

Por fim, investigou-se o impacto do PDSE na produção científica e na colaboração internacional de doutores em Química, titulados entre 2013 e 2016,

comparando ex-bolsistas do PDSE com doutores que não participaram do programa. Utilizou-se indicadores cientométricos da plataforma SciVal® e a metodologia de Diferenças em Diferenças (DiD) para se inferir causalidade ao impacto da bolsa sanduíche sobre a produção científica e a colaboração internacional dos beneficiários do programa. Os ex-bolsistas do PDSE apresentaram uma produção científica significativamente maior do que o grupo de controle, tanto em termos de quantidade de publicações quanto de impacto medido pelo Field-Weighted Citation Impact (FWCI). A porcentagem de publicações em colaboração internacional foi superior entre os ex-bolsistas do PDSE, indicando que o programa promoveu uma maior inserção dos pesquisadores brasileiros em redes globais de pesquisa. A aplicação do método DiD confirmou que a participação no PDSE teve um impacto positivo estatisticamente significativo na produção científica e na colaboração internacional.

Este estudo contribui para a literatura sobre internacionalização da ciência, fornecendo evidências empíricas sobre os efeitos positivos da mobilidade acadêmica internacional na produção científica e na colaboração. As informações obtidas se mostram relevantes para subsidiar a formulação de políticas públicas que incentivem a mobilidade acadêmica e a colaboração internacional, destacando a eficácia do PDSE. O fortalecimento das redes de colaboração internacional e o aumento na produção científica de alta qualidade beneficiam a ciência brasileira, promovendo maior visibilidade e impacto global. Esta análise foi, entretanto, restrita a dados disponíveis na plataforma SciVal (base Scopus) que não captura todas as publicações dos pesquisadores analisados. Além disso, o método DiD pode ser sensível a eventos externos que afetem diferencialmente os grupos de tratamento e controle enviesando os resultados.

Em vista disso, futuros trabalhos poderiam expandir as análises realizadas para incluir mais países, diferentes áreas do conhecimento e bases de dados, proporcionando uma visão mais abrangente da produção científica dos pesquisadores brasileiros. Bem como, investigar o impacto de diferentes tipos de suporte institucional e políticas de financiamento na manutenção e expansão das colaborações internacionais. Além disso, enfim, a aplicação de métodos qualitativos poderia enriquecer a compreensão dos impactos subjetivos e qualitativos da formação internacional na trajetória dos pesquisadores.

6 REFERÊNCIAS

ADAMS, J. The fourth age of research. **Nature**, v. 497, n. 7451, p. 557–560, 2013.

BAETA NEVES, A. A.; MCMANUS, C.; CARVALHO, C. H. de. Impacto da pós-graduação e da ciência no Brasil: uma análise à luz dos indicadores. **Revista NUPEM**, v. 12, n. 27, p. 254–276, 2020. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7884879&info=resumen&idioma=E> NG. Acesso em: 22 fev. 2023.

BARROS, E. F. De *et al.* Planetary Health : A Scientometric Analysis of Scientific Publications. **Education**, v. 9, n. 2, p. 35–40, 2019. Disponível em: Acesso em: 10 maio 2022.

BRASIL. Lei nº 13.005, de 25 de junho de 2014. Aprova o Plano Nacional de Educação - PNE e dá outras providências. **Diário Oficial da União: Edição Extra de 26/06/2014 - nº 120-A**, Brasília, 26 jun. 2014. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/lei/l13005.htm. Acesso em: 4 jan. 2024.

BROADUS, R. N. Toward a definition of “bibliometrics”. **Scientometrics**, v. 12, n. 5–6, 1987.

CAPES. **Documento de Área - Área 04: Química**. Brasília: CAPES, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/avaliacao/sobre-a-avaliacao/areas-avaliacao/sobre-as-areas-de-avaliacao/colegio-de-ciencias-exatas-tecnologicas-e-multidisciplinar/ciencias-exatas-e-da-terra/quimica>. Acesso em: 21 fev. 2024.

CAPES. **Evolução do SNPG no decênio do PNPG 2011-2020**. Brasília: CAPES, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/plano-nacional-de-pos-graduacao>. Acesso em: 5 mar. 2022.

CAPES. **GEOCAPES - Sistema de Informações Georreferenciadas**. 2023. Disponível em: <https://geocapes.capes.gov.br/geocapes/>. Acesso em: 7 jan. 2024.

CAPES. **História e missão**. 2024a. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/historia-e-missao>. Acesso em: 9 jan. 2024.

CAPES. **Plano Nacional de Pós-Graduação - PNPg**. 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/plano-nacional-de-pos-graduacao-pnpg>. Acesso em: 2 fev. 2024.

CAPES. **Plataforma Sucupira - Painel de Dados do Observatório da Pós-Graduação**. 2024c. Disponível em: <https://sucupira-v2.capes.gov.br/sucupira4/painel/ReportSection3e288b99d39bb09ac116>. Acesso em: 3 fev. 2024.

CAPES. Portaria nº 1, de 3 de Janeiro de 2020. Estabelece as modalidades de bolsas de estudos no exterior e no Brasil. **Diário Oficial da União: Seção 1 - 03/01/2020 , págs. 29 à 32 / Retificado no DOU - Seção 1 - 08/01/2020, pág. 19**, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/bolsas/prestacao-de-contas/valores-de-bolsas>. Acesso em: 9 dez. 2023.

CNPQ. **Plataforma Lattes - Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil (DGP)**. 2024. Disponível em: <https://lattes.cnpq.br/web/dgp/home>. Acesso em: 15 fev. 2024.

CURTY, R. G.; DELBIANCO, N. R. The different metrics of metric information studies: Epistemological evolution, interrelationships and representations. **Encontros Bibli**, v. 25, p. 1–21, 2020.

DA CUNHA-MELO, J. R. Indicadores efetivos da internacionalização da ciência. **Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgioes**, v. 42, p. 20–25, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69912015000800020&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 18 jul. 2020.

DA SILVA, M. R.; HAYASHI, C. R. M.; HAYASHI, M. C. P. I. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, v. 2, n. 1, 2011. Disponível em: <https://revistas.ffclrp.usp.br/incid/article/view/52>. Acesso em: 23 ago. 2022.

DE ALMEIDA, E. C. E.; GUIMARÃES, J. A. Brazil's growing production of scientific articles-how are we doing with review articles and other qualitative indicators? **Scientometrics**, v. 97, p. 287–315, 2013. Disponível em: Acesso em: 27 fev. 2024.

DE SANTIAGO, M. **Manual de indicadores de internacionalización de la ciencia y la tecnología**. Chile: Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología

(RICYT), 2007. Disponível em: <https://www.riicyt.org/en/category/manuals/>. Acesso em: 5 mar. 2022.

DE SOUZA, C. D.; DE FILIPPO, D.; CASADO, E. S. The role of the internationalization of higher education in Brazilian scientific production. **Ensaio**, v. 28, n. 108, p. 784–810, 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/ensaio/a/3HBfLJVN6YwRvdwWgVGr7LH/abstract/?lang=es>. Acesso em: 27 ago. 2022.

EKUNI, R. Internacionalização via doutorado sanduíche. **Revista Internacional de Educação Superior**, v. 5, p. e019010, 2019. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/riesup/article/view/8652856>. Acesso em: 18 jan. 2023.

FILGUEIRAS, C. A. L. A ideia de nacionalidade e o desenvolvimento da química no Brasil: um longo percurso de dois séculos da ciência no país. **Ciência e Cultura**, v. 74, n. 3, p. 1–26, 2022.

FILGUEIRAS, C. A. L. A química no Brasil de hoje. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 147–152, 1999. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421999000100024&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 11 jul. 2022.

FIORIN, J. L. Internacionalização da produção científica: a publicação de trabalhos de Ciências Humanas e Sociais em periódicos internacionais. **Rbpg**, v. 4, n. 8, p. 263–281, 2007. Disponível em: <https://rbpg.capes.gov.br/index.php/rbpg/article/view/133>. Acesso em: 26 ago. 2022.

FIRDAUS, F.; ZULFADILLA, Z.; CANIAGO, F. Research Methodology : Types in the New Perspective. **MANAZHIM**, v. 3, n. 1, p. 1–16, 2021. Disponível em: <https://ejournal.stitpn.ac.id/index.php/manazhim>.

FLORES, A. B.; COSTA, J. P. da; FONTOLAN, M. A internacionalização da pós-graduação no Brasil: a experiência do doutorado pleno e doutorado sanduíche no exterior. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, v. 28, p. e023028, 2023. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-40772023000100327&tlng=pt. Acesso em: 20 fev. 2024.

FORTUNATO, S. *et al.* Science of science. **Science**, v. 359, n. 6379, 2018. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aao0185>. Acesso em: 1 set. 2022.

FREIRE, P. K.; SOUZA, D. O. G.; CALABRÓ, L. Programa De Excelência Acadêmica/Capes: Uma Análise Cientométrica Sob a Produção Dos Ppgs De Astronomia/Física. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 92718–92735, 2020.

GHENO, E. M. *et al.* Impacto da internacionalização na visibilidade da produção científica do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: BIOQUÍMICA/UFRGS (2007-2016). **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 25, p. 01–25, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/1518-2924.2019.e65382>. Acesso em: 10 maio 2022.

GHENO, E. M. *et al.* Sistema de avaliação da CAPES: indicadores e procedimentos de monitoramento e avaliação de desempenho. **Em Questão**, v. 25, n. 3, p. 184–213, 2019. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/EmQuestao/article/view/86490>. Acesso em: 10 maio 2022.

GRÁCIO, M. C. C. Colaboração científica. **Brazilian Journal of Information Science: research trends**, v. 12, n. 2, 2018.

GRÁCIO, M. C. C.; DE OLIVEIRA, E. F. T. Indicadores cientométricos normalizados: um estudo na produção científica brasileira internacional (1996-2011). **Perspectivas em Ciencia da Informacao**, v. 19, n. 3, p. 118–133, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-99362014000300007&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 10 abr. 2022.

HICKS, D. *et al.* Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics. **Nature**, v. 520, n. 7548, p. 429–431, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/520429a>. Acesso em: 27 ago. 2022.

JARDE, A.; LOSILLA, J. M.; VIVES, J. Suitability of three different tools for the assessment of methodological quality in ex post facto studies. **International Journal of Clinical and Health Psychology**, v. 12, n. 1, p. 97–108, 2012. Disponível em: <http://www.google.com>.

KHOMYAKOV, M.; DWYER, T.; WELLER, W. Internationalization of higher education: Excellence or network building? What do BRICS countries need most?. **Sociologias**, v. 22, n. 54, 2020.

KING, D. A. **The scientific impact of nations**. [S. l.]: Nature Publishing Group, 2004. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/430311a>. Acesso em: 25 ago. 2022.

LEITE, P.; MUGNAINI, R.; LETA, J. A new indicator for international visibility: exploring Brazilian scientific community. **Scientometrics**, v. 88, n. 1, p. 311–319, 2011. Disponível em: <https://link-springer-com.ez45.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11192-011-0379-9>. Acesso em: 18 nov. 2023.

LETA, J.; THIJS, B.; GLÄNZEL, W. A macro-level study of science in Brazil: seven years later. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 18, n. 36, 2013.

LEYDESDORFF, L.; WAGNER, C. S. International collaboration in science and the formation of a core group. **Journal of Informetrics**, v. 2, n. 4, p. 317–325, 2008. Disponível em: Acesso em: 1 mar. 2024.

MACHADO JUNIOR, C. *et al.* As Leis da Bibliometria em Diferentes Bases de Dados Científicos. **Revista de Ciências da Administração**, p. 111–123, 2016.

MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciência da Informação**, v. 27, n. 2, p. nd-nd, 1998.

MARCHELLI, P. S. Formação de doutores no Brasil e no mundo: algumas comparações. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 2, n. 3, p. 7–29, 2005.

MARGINSON, S. What drives global science? The four competing narratives. **Studies in Higher Education**, v. 47, n. 8, p. 1566–1584, 2022. Disponível em: Acesso em: 22 fev. 2023.

MATTEDI, M. A.; SPIESS, M. R. A avaliação da produtividade científica. **Historia, Ciências, Saude - Manguinhos**, v. 24, n. 3, p. 623–643, 2017. Disponível em: Acesso em: 19 jul. 2020.

MCMANUS, C. *et al.* International collaboration in Brazilian science: financing and impact. **Scientometrics**, v. 125, n. 3, p. 2745–2772, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03728-7>.

MCMANUS, C.; BAETA NEVES, A. A.; PRATA, A. T. Scientific publications from non-academic sectors and their impact. **Scientometrics**, v. 126, n. 11, p. 8887–8911, 2021.

MCMANUS, C.; NOBRE, C. A. Brazilian scientific mobility program - Science without borders – Preliminary results and perspectives. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 1, p. 773–786, 2017.

MENDES BRAGA, M. Formação E Trabalho De Mestres E Doutores Em Química Titulados No Brasil. **Quim. Nova**, v. 25, n. 4, p. 696–712, 2002.

MENEGHINI, R. Avaliação da produção científica e o Projeto SciELO. **Ciência da Informação**, v. 27, n. 2, p. nd-nd, 1998. Disponível em: Acesso em: 19 jul. 2020.

MENEZES, S. D.; CAREGNATO, S. E. Produção científica brasileira em Química entre 2004 e 2013: análise dos artigos indexados na Web of Science. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 23, n. 53, p. 25–38, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/181947>. Acesso em: 2 jul. 2022.

MERTON, R. K. The matthew effect in science. **Science**, v. 159, n. 3810, p. 56–62, 1968. Disponível em: Acesso em: 1 set. 2022.

MINGERS, J.; LEYDESDORFF, L. **A review of theory and practice in scientometrics**. [S. l.]: Elsevier, 2015.

MIRANDA, C.; SANTOS, D. Tradições e contradições da pós-graduação no Brasil. **Educação & Sociedade**, v. 24, n. 83, p. 627–641, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/es/a/pXxfJjdHPRrpRbZvCHKLfsp/?lang=pt>. Acesso em: 26 fev. 2024.

MONTEIRO, A. L.; FURLAN, M.; SUAREZ, P. A. Z. Sistema Nacional de Pós-Graduação e a área de Química na CAPES. **Química Nova**, v. 40, n. 6, p. 618–625, 2017. Disponível em: http://quimicanova.s bq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=6626&nomeArquivo=AG20170136.pdf. Acesso em: 18 mar. 2022.

MOROSINI, M. C. *et al.* Estratégias de internacionalização de universidades brasileiras participantes do Programa Capes PrInt. **Education Policy Analysis Archives**, v. 31, 2023. Disponível em: <https://epaa.asu.edu/index.php/epaa/article/view/7886>. Acesso em: 25 fev. 2024.

MOROSINI, M. C. Internacionalização na produção de conhecimento em IES Brasileiras: cooperação internacional tradicional e cooperação internacional horizontal. **Educação em Revista**, v. 27, n. 1, p. 93–112, 2011. Disponível em: Acesso em: 17 jul. 2020.

MOROSINI, M. C. Qualidade da educação superior e contextos emergentes. **Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)**, v. 19, n. 2, p. 385–405, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/aval/a/qZF8Fpz8MjgWHNdC38frh5Q/?lang=pt>. Acesso em: 5 out. 2022.

MUGNAINI, R.; LEITE, P.; LETA, J. Fontes De Informação Para Análise De Internacionalização Da Produção Científica Brasileira. **PontodeAcesso**, v. 5, n. 3, p. 87, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/revistaici/article/view/5684>. Acesso em: 23 ago. 2022.

NAKAGAKI, S. *et al.* Panorama da química inorgânica no Brasil revisitado: Período de 2002 a 2016. **Química Nova**, v. 40, n. 6, p. 680–687, 2017. Disponível em: http://quimicanova.sbq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=6615&nomeArquivo=AG20170091.pdf. Acesso em: 27 nov. 2023.

OLIVEIRA, L. H. M. De; CARVALHO, R. S. Um Olhar Sobre A História Da Química. **Revista Ponto de Vista**, v. 3, n. 1, p. 27–37, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/RPV/article/view/9740>. Acesso em: 11 jul. 2022.

PARRA, M. R.; COUTINHO, R. X.; PESSANO, E. F. C. UM BREVE OLHAR SOBRE A CIENCIOMETRIA: ORIGEM, EVOLUÇÃO, TENDÊNCIAS E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS. **Revista Contexto & Educação**, v. 34, n. 107, p. 126–141, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoeducacao/article/view/7267>. Acesso em: 20 ago. 2022.

QUEIROZ, K. R. de; CALABRÓ, L. A formação de mestres e doutores e sua produção científica no âmbito da Chamada Pública voltada à prevenção e ao combate ao vírus Zika. **#Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, 2021. Disponível em:

<https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/tear/article/view/5290>. Acesso em: 9 jun. 2022.

ROOS, D. H. *et al.* Brazilian scientific production in areas of biological sciences: A comparative study on the modalities of full doctorate in Brazil or abroad. **Scientometrics**, v. 98, n. 1, p. 415–427, 2014.

ROSA, C. C. da R. *et al.* O Perfil Dos Gestores Do Programa De Internacionalização (CAPES-PrInt). **Revista Estudos e Pesquisas em Administração**, v. 5, n. 3, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/repad/article/view/13276>. Acesso em: 25 fev. 2024.

RUBÉN URBIZAGÁSTEGUI ALVARADO. A Cientometria como um campo científico. **Informação & Sociedade - Estudos**, v. 20, n. 3, p. 41–1001, 2010.

SANTIN, D. M.; DE SOUZA VANZ, S. A.; STUMPF, I. R. C. Internacionalização da produção científica em Ciências Biológicas da UFRGS: 2000-2011. **Transinformação**, v. 27, n. 3, p. 209–218, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/tinf/a/Y8ztZPL7ZWmLCSpxtnNw8rn/?lang=pt>. Acesso em: 18 ago. 2022.

SANTIN, D. M.; VANZ, S. A. de S.; STUMPF, I. R. C. Internacionalização da produção científica brasileira: políticas, estratégias e medidas de avaliação. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 30, p. 81–100, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/151494>. Acesso em: 21 ago. 2022.

SANTOS, R. N. M. Dos. Produção Científica: Por Que Medir? O Que Medir?. **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**2, v. 1, n. 1, p. 22–38, 2003. Disponível em: Acesso em: 27 out. 2021.

SCHWARTZMAN, S. Pesquisa e Pós-Graduação no Brasil: duas faces da mesma moeda?. **Estudos Avancados**, v. 36, n. 104, p. 227–254, 2022. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/ea/a/mM4ZbvgxfKYSjWv6bwL7fMg/>. Acesso em: 22 fev. 2023.

SILVA, D. D.; GRÁCIO, M. C. C. Dispersion measures for h-index: a study of the Brazilian researchers in the field of mathematics. **Scientometrics**, v. 126, n. 3, p. 1983–2011, 2021.

VARGAS, V. A. *et al.* O Perfil da Produção Científica dos Egressos do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior da Capes Scientific Production of Capes Doctorate Sandwich Scholarship Program Alumni. **Anais do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 1–12, 2017.

VELHO, L. Formação de doutores no país e no exterior: estratégias alternativas ou complementares?. **Dados**, v. 44, n. 3, p. 607–631, 2001.

WALTMAN, L. A review of the literature on citation impact indicators. **Journal of Informetrics**, v. 10, n. 2, p. 365–391, 2016. Disponível em: Acesso em: 1 set. 2022.

ZIMMERMAN, J. B. *et al.* **Designing for a green chemistry future**. [S. l.]: American Association for the Advancement of Science, 2020. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aay3060>. Acesso em: 17 fev. 2023.