



## **PERFIL ACADÊMICO E REDES DE COLABORAÇÃO INTERNACIONAL DE DOUTORES EM QUÍMICA: UM ESTUDO DOS EGRESSOS DO PROGRAMA PDSE DA CAPES (2013-2016)**

*ACADEMIC BACKGROUND AND INTERNATIONAL COLLABORATION NETWORKS OF CHEMISTRY PHDS: A STUDY WITH GRADUATES OF THE CAPES PDSE PROGRAM (2013-2016)*

 **Jonas Pertusatti**

Doutor em Educação em Ciências  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Porto Alegre, RS, Brasil  
[jonaspertusatti@gmail.com](mailto:jonaspertusatti@gmail.com)

 **Ivan Rocha Neto**

Doutor em Eletrônica – University of Kent at Canterbury - UK  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (Professor Colaborador)  
Porto Alegre, RS, Brasil

**Resumo:** Este artigo investiga o perfil de formação e a produção científica de doutores em Química egressos do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) da CAPES, titulados entre 2013 e 2016. Utilizando dados do portal Dados Abertos CAPES e da Web of Science, o estudo avalia a produção científica e mapeia as redes de colaboração internacional desses pesquisadores sob a perspectiva da Análise de Redes Sociais. Os resultados indicam que a experiência internacional proporcionada pelo PDSE contribuiu significativamente para o aumento das colaborações internacionais e da visibilidade da produção científica brasileira. A análise das redes de coautoria revela uma expansão das conexões internacionais, e a variação na densidade das redes sugere que a duração da bolsa pode influenciar a robustez das colaborações. Este estudo destaca a importância das políticas públicas de incentivo à mobilidade acadêmica e ao estabelecimento de redes de colaboração internacional para o fortalecimento da ciência brasileira no cenário global.

**Palavras-chave:** redes de colaboração; produção científica; doutorado sanduíche; Química.

**Abstract:** This article investigates the educational background and scientific output of Chemistry PhDs who graduated from 2013 to 2016 and participated in the CAPES Abroad Sandwich Doctoral Program (PDSE). Using data from the CAPES Open Data portal and the Web of Science, the study assesses their scientific production. It maps their international collaboration networks from a Social Network Analysis perspective. The results indicate that the global experience provided by the PDSE significantly enhances international collaborations and the visibility of Brazilian scientific output. The co-authorship network analysis reveals an expansion of international connections, with variations in network density suggesting that the duration of the scholarship may influence the robustness of collaborations. This study underscores the importance of public policies that promote academic mobility and the establishment of international collaboration networks to strengthen Brazilian science on the global stage.

**Keywords:** collaboration networks; scientific output; sandwich PhD; chemistry.

**Para citar – ABNT NBR 6023:2018**

PERTUSATTI, Jonas; ROCHA NETO, Ivan. Perfil acadêmico e redes de colaboração internacional de doutores em Química: um estudo dos egressos do programa PDSE da CAPES (2013-2016). *Cadernos de Pós-graduação*, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 122-143, jul./dez. 2024: <https://doi.org/10.5585/cpg.v23n2.27085>

## Introdução

A internacionalização da ciência tem se mostrado um aspecto essencial para o avanço da pesquisa científica e para a formação de redes de colaboração internacional. Esse processo não apenas amplia o horizonte acadêmico, mas também favorece e estimula o intercâmbio de conhecimentos, metodologias e tecnologias entre os países, potencializando a inovação e o desenvolvimento científico (Santin; Vanz; Stumpf, 2016b). Essa integração global é importante para a solução de problemas complexos, como as mudanças climáticas e a saúde pública, que demandam uma abordagem interdisciplinar e colaborativa (Da Cunha-Melo, 2015). À vista disso, programas de pós-graduação que incentivam a internacionalização têm demonstrado um impacto significativo na visibilidade, no impacto e na qualidade da pesquisa produzida no Brasil (Ghenou et al., 2020).

De acordo com Da Cunha-Melo (2015), a internacionalização das universidades e institutos de pesquisa precisa envolver a implementação de políticas e a criação de indicadores que avaliem o grau de internacionalização em diferentes níveis – organizacional, regional, setorial e global. A internacionalização da produção científica brasileira, segundo Santin, Vanz e Stumpf (2016b), reflete as políticas e estratégias adotadas pelo governo para aumentar a participação do Brasil no cenário científico global. Essas políticas incluem programas de intercâmbio e colaboração internacional e financiamento para projetos de pesquisa conjuntos que levam a formação de redes de pesquisa que conectam cientistas brasileiros com seus pares em outros países.

A colaboração entre cientistas brasileiros e estrangeiros, conforme McManus et al. (2020), enriquece a qualidade da pesquisa e facilita o acesso a recursos e infraestrutura que podem não estar disponíveis localmente. No entanto, os autores destacam que ainda persistem desigualdades significativas na participação e no acesso a esses recursos, o que pode limitar o potencial de colaboração e inovação. Santin, Vanz e Stumpf (2016a), ao analisarem as redes de colaboração na produção científica em Biologia Evolutiva, destacam que a colaboração internacional está presente em mais da metade das publicações e desempenha um papel significativo na consolidação de relações colaborativas ao longo do tempo. Essas redes de colaboração acadêmica e científica são fundamentais para a transferência de conhecimento e tecnologia, potencializando a inovação científica.

No Brasil, a implementação de programas de mobilidade internacional de estudantes e pesquisadores, como o Ciências sem Fronteiras (CsF), o CAPES-Print, e o Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) reflete os esforços contínuos para promover a integração dos pesquisadores brasileiros no cenário científico global. Esses programas visam não apenas proporcionar aos estudantes experiências acadêmicas internacionais, mas também fomentar a formação de redes de colaboração

que transcendem fronteiras nacionais, enriquecendo a qualidade e a visibilidade da produção científica nacional.

Destaca-se que o PDSE é o programa da CAPES com maior número de bolsistas de pós-graduação no exterior nos últimos anos (CAPES, 2024a), e concede bolsas individuais para proporcionar a doutorandos brasileiros uma experiência internacional durante o doutoramento em instituições do Brasil. A duração da bolsa, quando da implantação do programa em 2011, poderia ser de até um ano, no entanto, a partir de 2023, passou a ser de no mínimo três e no máximo seis meses (CAPES, 2024b). Diante disso, a avaliação de sua eficácia e efetividade é importante para compreensão e aprimoramento dessa política pública (Flores; Costa; Fontolan, 2023; Vargas et al., 2017).

Como forma de compreender as redes de colaboração científica, como os pesquisadores se conectam, compartilham conhecimento e experiências, uma abordagem que tem sido amplamente aplicada é a Análise de Redes Sociais (ARS) (Grácio, 2018; Lima; Carvalho; Teixeira, 2024). O estudo de Souza, Barbastefano e Lima (2012) sobre as redes de colaboração científica na área de química no Brasil exemplifica a aplicação dessa metodologia para investigar as coautorias dos artigos publicados, revelando padrões de colaboração, identificando autores e instituições centrais e avaliando a evolução das redes de pesquisa ao longo do tempo. Nessa linha, Lima, Carvalho e Teixeira (2024), destacam o mapeamento das redes de coautoria internacional de bolsistas do Programa de Pós-Doutorado no Exterior da CAPES (PPDE), e utiliza a ARS para analisar a evolução das redes de coautoria antes e após a finalização das bolsas, permitindo uma visualização das conexões estabelecidas e da importância relativa de diferentes países na rede.

A ARS é uma metodologia utilizada para investigar a estrutura e a dinâmica das relações entre diferentes atores dentro de uma rede. Ao permitir o mapeamento e a análise em nível macro e micro das redes de colaboração, pode servir como uma ferramenta eficaz para o planejamento e a avaliação de políticas públicas de internacionalização, orientar a formulação de estratégias para fortalecer as colaborações existentes e identificar novas oportunidades de parceria internacional (Grácio, 2018; Lima; Carvalho; Teixeira, 2024).

Em vista disso, este artigo propõe um estudo descritivo de abordagem quantitativa para investigar o perfil de formação dos doutores em Química egressos do PDSE, titulados entre 2013 e 2016. Além disso, visa avaliar a produção científica e mapear as redes de colaboração internacionais desses pesquisadores, utilizando dados da *Web of Science*®. Este estudo busca contribuir para compreender como a formação acadêmica internacional influencia as diferentes trajetórias de pesquisa, as publicações científicas e a construção de redes de colaboração internacionais, elementos essenciais para o fortalecimento da ciência brasileira no cenário global.

## Metodologia

Para este estudo, foi utilizado como recorte informações sobre o perfil de formação acadêmica e produção científica de doutores na área de Química, ex-bolsistas do programa Doutorado Sanduíche no Exterior da CAPES (PDSE), a partir de informações obtidas no portal Dados Abertos CAPES<sup>1</sup>, na base *Web of Science*<sup>®</sup> (WoS) e no *Journal Citation Reports*<sup>®</sup>.

Para a composição da amostra estudada, foram extraídas informações do portal Dados Abertos CAPES, especificamente da guia Grupos dos seguintes subgrupos: (i) Catálogo de Teses e Dissertações – Brasil (CT), com atualização de janeiro de 2022, e (ii) Bolsas Ativas<sup>2</sup> em Programas de Mobilidade Internacional (BMI), com atualização de março de 2021, referentes aos períodos de interesse no estudo. A partir dos dados do CT, foram selecionados doutores titulados entre 2013 e 2016, na Grande Área de Conhecimento "Ciências Exatas e da Terra" e na Área de Conhecimento "Química", totalizando 2.436 doutores. A escolha da janela temporal, de 2013 a 2016, corresponde ao período da avaliação quadrienal dos programas de pós-graduação brasileiros realizada pela CAPES.

Das listagens de ex-bolsistas de mobilidade internacional da CAPES, obtidas no BMI, foram selecionados os ex-bolsistas do PDSE com os seguintes critérios:

- i. Grande Área de Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra;
- ii. Área do conhecimento: Química;
- iii. Nome do Programa: PDSE - Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior;
- iv. Valor total recebido em moeda funcional: maior que zero.

A partir do cruzamento dos dados obtidos do CT e do BMI, obteve-se uma amostra contendo 198 doutores em Química que foram bolsistas do PDSE. A chave para o cruzamento dessas bases foi o nome e a instituição à qual cada indivíduo estava vinculado. Considerando que a duração das bolsas do PDSE variou entre 4 e 12 meses, os ex-bolsistas foram separados em três grupos para análise de acordo com a duração da bolsa: Grupo 1 (4 a 6 meses), Grupo 2 (7 a 9 meses) e Grupo 3 (10 a 12 meses).

Para a avaliação cientométrica da produção científica e para o mapeamento e análise das redes de colaboração internacional desenvolvidas pelos ex-bolsistas do PDSE, a estratégia de coleta de dados centrou-se na investigação por autoria, partindo-se do Currículo Lattes (CL) de cada ex-bolsista. No CL, na seção “Artigos completos publicados em periódicos”, buscou-se identificar artigos com o atalho direcionando para o WoS. O artigo foi então localizado na página do WoS e,

<sup>1</sup> O portal Dados Abertos CAPES (<https://dadosabertos.capes.gov.br/>), divulga informações sobre as atividades da CAPES de fomento a bolsas de estudos no Brasil e no exterior, a partir de 1984, sobre as Teses e Dissertações da Pós-Graduação brasileira, entre outros dados.

<sup>2</sup> Uma bolsa ativa é aquela cujo beneficiário tenha recebido recursos com data de referência dentro do período de análise.

dentre os autores, abria-se o perfil do autor de interesse para obter o *Web of Science ResearcherID*<sup>3</sup>. Posteriormente, realizou-se a busca da produção científica relativa a cada autor, disponível na “Coleção principal da *Web of Science*”, filtrando-se o campo “Identificadores de Autor” com o respectivo *ResearcherID*, o “Tipo de documento” limitado a Artigos, e o campo “Ano da publicação” ao período de 2010 a 2023. Os registros com todos os metadados foram exportados e sintetizados em uma única tabela para análise. Foram excluídos do estudo os ex-bolsistas cujo CV não apresentava artigos com atalho para o WoS, bem como aqueles para os quais foram identificados múltiplos *ResearcherIDs*, com base nos artigos listados no CV. Após a aplicação desses critérios, o grupo amostral final foi constituído por 168 indivíduos.

A partir das tabelas de metadados dos artigos dos ex-bolsistas obtidas no WoS, foram produzidas listas de adjacências dos países de afiliação dos autores de cada artigo utilizando o Microsoft Excel®, extraindo-se esse dado da coluna endereço. As publicações foram classificadas em Colaboração Nacional (CN), com apenas autores afiliados no Brasil, e Colaboração Internacional (CI), com autores afiliados no Brasil e em outros países. Foram ainda calculados os percentuais de CI ano a ano para cada grupo e verificadas as semelhanças estatísticas entre os grupos usando estatística descritiva e análise de variância (ANOVA), realizadas com o software estatístico Jamov (versão 2.3.21.0).

Para o mapeamento das redes de coautoria, as listas de adjacências das publicações em CI de cada grupo foram separadas em dois períodos de análise distintos: Período 1 (2010-2016), que abrange os sete anos anteriores à conclusão do doutoramento para o conjunto dos indivíduos de cada grupo, e Período 2 (2017-2023), que corresponde aos sete anos posteriores às titulações. As listas de adjacências de CI foram importadas para o software Gephi® (versão 0.10.1 202301172018), para a estruturação e visualização dos grafos das redes de colaboração internacional e cálculo das métricas de interesse para análise sob a perspectiva da metodologia da Análise de Redes Sociais (ARS). Os grafos foram construídos utilizando o algoritmo Force Atlas2, integrado ao Gephi, que define a aproximação ou repulsão entre os nós pela força das conexões entre eles. Foram derivadas três medidas quantitativas globais sobre as redes: grau médio, grau ponderado médio e densidade dos grafos. Além disso, foram analisadas métricas locais, como grau, grau ponderado, excentricidade e medidas de centralidade de proximidade, de intermediação e de autovetor, que indicam quantitativamente o comportamento da colaboração científica entre os países nas redes de coautorias desenvolvidas pelos ex-bolsistas do PDSE na área de Química.

<sup>3</sup> Um *Web of Science ResearcherID* é um código identificador que conecta um autor às suas publicações no ecossistema *Web of Science*.

## Resultados e discussão

Entre 2013 e 2016, o Brasil formou 2.436 doutores na área de Química em 40 diferentes instituições das cinco regiões brasileiras. O Sudeste foi responsável pela formação de 57% desses doutores, com destaque para as instituições paulistas, seguido pela região Sul com 19%, Nordeste com 15%, Centro-Oeste e Norte com 4% cada. Dentre esses doutores, 198 pesquisadores participaram do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) da CAPES, desenvolvendo atividades acadêmicas e científicas em instituições estrangeiras por períodos entre 4 e 12 meses. Assim, esses ex-bolsistas foram subdivididos em três grupos para análise de acordo com a duração da bolsa, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Distribuição dos ex-bolsistas do PDSE conforme a duração da bolsa

Grupos	Duração da Bolsa	Ex-bolsistas	%
Grupo 1	4 a 6 meses	59	30%
Grupo 2	7 a 9 meses	46	23%
Grupo 3	10 a 12 meses	93	47%
<b>Total</b>		<b>198</b>	<b>100%</b>

Fonte: Os Autores (2024).

A distribuição geográfica das instituições brasileiras de origem dos ex-bolsistas do PDSE mostra uma maior concentração nas regiões Sudeste e Sul, com 64% e 21% dos indivíduos, respectivamente (Figura 1). As instituições paulistas lideram o ranking, mas há uma dispersão considerável dos ex-bolsistas entre instituições de diversos estados brasileiros (Tabela 2).

**Figura 1** - Distribuição geográfica dos estados das instituições de origem dos ex-bolsistas do PDSE



Fonte: Os Autores (2024).

**Tabela 2** - Instituições de origem dos ex-bolsistas do PDSE

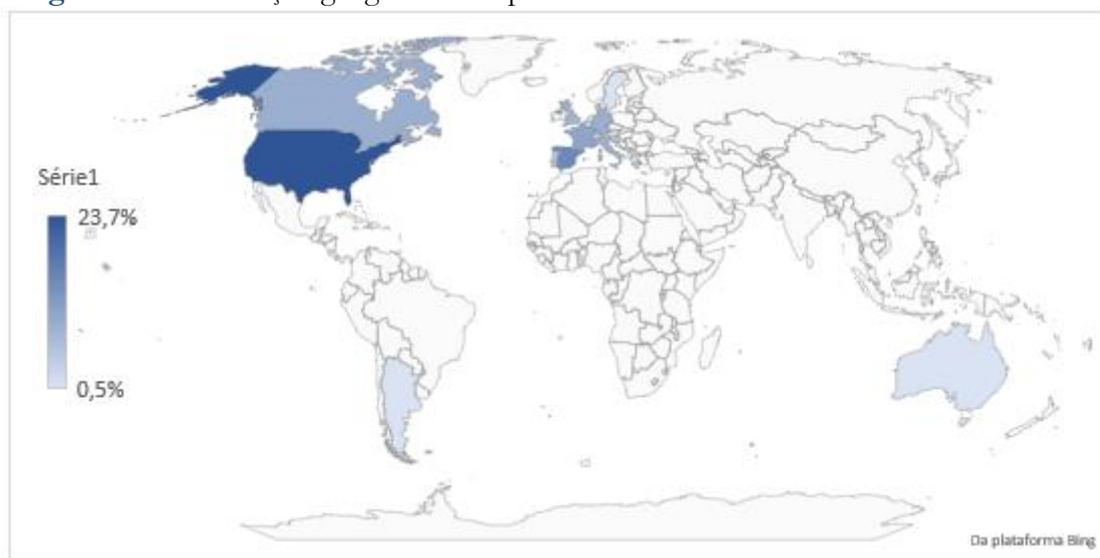
<b>Instituição de Origem</b>	<b>Ex-bolsistas</b>	<b>%</b>
Universidade de São Paulo	27	13,6%
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	24	12,1%
Universidade Federal de São Carlos	22	11,1%
Universidade Federal do Rio Grande Do Sul	14	7,1%
Universidade Federal do Paraná	12	6,1%
Universidade Estadual de Campinas	12	6,1%
Universidade Federal do Rio De Janeiro	8	4,0%
Universidade Federal do Abc	8	4,0%
Universidade Federal Fluminense	8	4,0%
Universidade Federal do Ceará	7	3,5%
Universidade Federal do Rio Grande Do Norte	6	3,0%
Universidade Federal de Santa Catarina	5	2,5%
Universidade Estadual de Maringá	5	2,5%
Universidade Federal de Juiz de Fora	5	2,5%
Universidade de Brasília	4	2,0%
Universidade de Franca	4	2,0%
Universidade Federal de Santa Maria	4	2,0%
Universidade Federal de Alagoas	4	2,0%
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	4	2,0%
Instituto Militar de Engenharia	3	1,5%
Universidade do Estado do Rio de Janeiro	3	1,5%
Universidade Federal do Pará	3	1,5%
Universidade Federal de Minas Gerais	2	1,0%
Universidade Estadual de Londrina	2	1,0%
Universidade Federal de Alfenas	1	0,5%
Universidade Federal de Pernambuco	1	0,5%
<b>Total Geral</b>	<b>198</b>	<b>100%</b>

Fonte: Os Autores (2024).

Os 198 ex-bolsistas distribuíram-se por 18 países diferentes para desenvolver suas atividades acadêmicas e científicas (Figura 2). Os Estados Unidos receberam 23,7% dos estudantes, enquanto no Canadá estiveram 9,1% dos bolsistas. A Europa foi o destino preferido de 65,7% dos ex-bolsistas, com destaque para Espanha (15,2%), França (10,6%), Alemanha (9,1%), Itália (8,6%), Reino Unido (8,1%) e Portugal (5,6%). Esses dados sugerem a opção por vários países com produção científica consolidada na área, todavia, nota-se que a China, o país com a maior produção científica em Química na última década (Pertusatti; Rocha Neto, 2023), não esteve entre os destinos

escolhidos pelos ex-bolsistas. Infere-se disso que a barreira linguística pode ser um dos maiores entraves para a opção por este país.

**Figura 2** - Distribuição geográfica dos países destino dos ex-bolsistas do PDSE



Fonte: Os Autores (2024).

Os ex-bolsistas foram recebidos em 129 instituições distribuídas de ensino e pesquisa nos 18 países mencionados. A Tabela 3 mostra as 15 instituições que mais receberam estes estudantes e, ressalta-se, nenhuma delas recebeu mais do que 3,5% dos estudantes. Esta grande desconcentração dos locais de estudo pode ser vista como benéfica para ampliação das redes de colaboração acadêmico científicas e na diversificação dos temas de pesquisa destes pesquisadores.

**Tabela 3** - Instituições estrangeiras que mais receberam ex-bolsistas do PDSE

Instituição de Estudo	Pais de Estudo	Ex-bolsistas	%
University of California	Estados Unidos	7	3,5%
Universitat de Barcelona	Espanha	7	3,5%
University of Toronto	Canadá	6	3,0%
Universidad Rey Juan Carlos	Espanha	5	2,5%
Leibniz-Gemeinschaft	Alemanha	4	2,0%
The University of Manchester	Reino Unido	4	2,0%
Università di Pisa	Itália	3	1,5%
Université Claude Bernard Lyon 1	França	3	1,5%
Universidade de Aveiro	Portugal	3	1,5%
Université Joseph Fourier - Grenoble I	França	3	1,5%
Consejo Superior de Investigaciones Cientificas	Espanha	3	1,5%
Università Degli Studi di Udine	Itália	3	1,5%
Università Degli Studi di Perugia	Itália	3	1,5%
Aarhus Universitet	Dinamarca	3	1,5%
Universidade de Lisboa	Portugal	3	1,5%
Outras		138	64,7%
<b>Total</b>		<b>198</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Os Autores (2024).

Com relação à produção científica, para o período de 2010 a 2023, foram identificados na base WoS um total de 2.258 artigos publicados por 168 (84,8%) dos ex-bolsistas do PDSE em estudo. Destes artigos, 98% foram publicados em língua inglesa, o que certamente proporciona uma maior difusão das pesquisas realizadas. Esses artigos foram publicados em 624 periódicos científicos, sendo que os 10 periódicos mais utilizados para divulgação das pesquisas correspondem a cerca de 18,7% das publicações (Tabela 4). É interessante notar que os dois periódicos mais demandados para as publicações dos grupos em análise são nacionais, mantidos pela Sociedade Brasileira de Química (SBQ). O *Journal of the Brazilian Chemical Society* (JBACS), com 122 artigos, apresenta, no entanto, os textos em inglês, enquanto a Química Nova (QN), com 53 artigos publicados, apresenta os resumos em inglês e os textos em português, espanhol ou inglês. Ainda que essas características possibilitem uma maior visibilidade das pesquisas publicadas nesses veículos brasileiros, isso não se reflete nos Fatores de Impacto (FI), que, em 2023, estavam abaixo da mediana no ranking dos periódicos em suas áreas do conhecimento, quartis Q3 para o JBACS e Q4 para a QN. Por outro lado, entre os dez periódicos apresentados nesta pequena amostra (Tabela 4), 70% deles estão posicionados nos quartis 1 e 2 por FI em suas respectivas categorias. Este valor vai ao encontro do percentual reportado por Menezes e Caregnato (2018), que é de 76,7% dos

periódicos nos quartis 1 e 2 por FI para aqueles que mais publicaram artigos da Química brasileira, evidenciando, portanto, a relevância internacional desta área de pesquisa.

**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

Periódicos	Artigos publicados	%	FI 2023*	Quartis - FI 2023*
Journal of The Brazilian Chemical Society	122	5%	1.3	Q3
Química Nova	53	2%	0.5	Q4
Molecules	40	2%	4.2	Q2
Microchemical Journal	40	2%	4.9	Q1
Talanta	31	1%	5.6	Q1
Analytical Methods	30	1%	2.7	Q2
Natural Product Research	29	1%	1.9	Q3
Journal Of Natural Products	27	1%	3.3	Q2
Carbohydrate Polymers	26	1%	10.7	Q1
Food Chemistry	24	1%	8.5	Q1
Outros (614 periódicos)	1.836	81%		
<b>Total</b>	<b>2.258</b>	<b>100%</b>		

Fonte: Os Autores (2024).

\*Valores obtidos do *Journal Citation Reports* (<https://jcr.clarivate.com/jcr/>)

Com o objetivo de comparar a produção científica dos ex-bolsistas em cada um dos três grupos, calculou-se a proporção anual de artigos por autor (A/A) da seguinte forma: soma do número de artigos de cada grupo dividida pelo número de ex-bolsistas com publicações em cada ano considerado, de 2010 a 2023. As médias de A/A (M) e os desvios-padrão (DP) foram: Grupo 1 (M = 1,85; DP = 0,419); Grupo 2 (M = 2,34; DP = 0,580); Grupo 3 (M = 2,03; DP = 0,591). Conduziu-se, então, uma ANOVA a um fator para comparar as médias dos três grupos. Inicialmente, foram verificados os pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias. O teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,970$ ,  $p = 0,324$ ) indicou que a premissa de normalidade foi atendida, o teste de Levene ( $F(2, 39) = 0,766$ ,  $p = 0,472$ ) também indicou que a premissa de igualdade das variâncias foi satisfeita. O resultado da ANOVA ( $F(2, 39) = 2,99$ ,  $p = 0,062$ ), no entanto, não revelou um efeito estatisticamente significativo nas médias da proporção de A/A entre os três grupos.

Visando comparar também o impacto, em termos de citações, da produção científica dos ex-bolsistas em cada um dos três grupos, calculou-se a proporção anual de citações por artigos (C/A) da seguinte forma: soma das citações de cada grupo dividida pelo número de artigos correspondentes a estas citações para cada ano de 2010 a 2023. De forma semelhante, uma ANOVA a um fator foi realizada para comparar as médias de C/A dos três grupos. As estatísticas obtidas

foram as seguintes: Grupo1 (M = 20,98; DP = 11,599); Grupo 2 (M = 21,80; DP = 11,261); Grupo 3 (M = 26,15; DP = 12,574). O teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,948, p = 0,053$ ) e o teste de Levene ( $F(2, 39) = 0,0374, p = 0,963$ ) indicaram que as premissas de normalidade e homogeneidade das variâncias foram satisfeitas. O resultado da ANOVA ( $F(2, 39) = 0,772, p = 0,469$ ), porém, também não apontou diferenças estatisticamente significativas no impacto das citações em relação aos três grupos em análise. Esses achados não permitem inferir que o tempo de permanência no exterior via bolsa de doutorado sanduíche promova um incremento no desempenho das publicações e citações.

Com relação à colaboração internacional (CI), os dados mostram que esse é um elemento significativo na produção científica dos ex-bolsistas do PDSE. Identificou-se que 152 (90,5%) dos 168 ex-bolsistas com publicações indexadas na WoS apresentaram trabalhos resultantes de colaboração com pesquisadores de outros países. Em volume de produção, foram localizadas 784 (34,7%) publicações em CI, envolvendo 60 países parceiros. Considerando-se as publicações em CI por grupo (Tabela 5), o Grupo 1 apresentou 188 (35,4%) artigos com 36 países, o Grupo 2, 229 (34,5%) artigos com 39 países, e o Grupo 3 em 375 (34,2%) artigos com 48 países. Essas taxas evidenciam uma tendência relativamente forte à colaboração internacional nas pesquisas dos ex-bolsistas do PDSE em Química, especialmente quando comparada à taxa de 24,7% para a CI da Química brasileira (Menezes; Caregnato, 2018), de aproximadamente 30% para a produção científica brasileira em anos anteriores (Leta; Thijs; Glänzel, 2013), ou de outras áreas do conhecimento (Gheno et al., 2020; Santin; Vanz; Stumpf, 2016a).

**Tabela 5** - Distribuição da colaboração internacional dos ex-bolsistas do PDSE

Grupos	Tipo de Colaboração		Total*
	Colaboração Internacional - CI	Colaboração Nacional - CN	
Grupo 1	188	343	531
Grupo 2	229	434	663
Grupo 3	375	720	1.095
Total	784	1.474	2.258

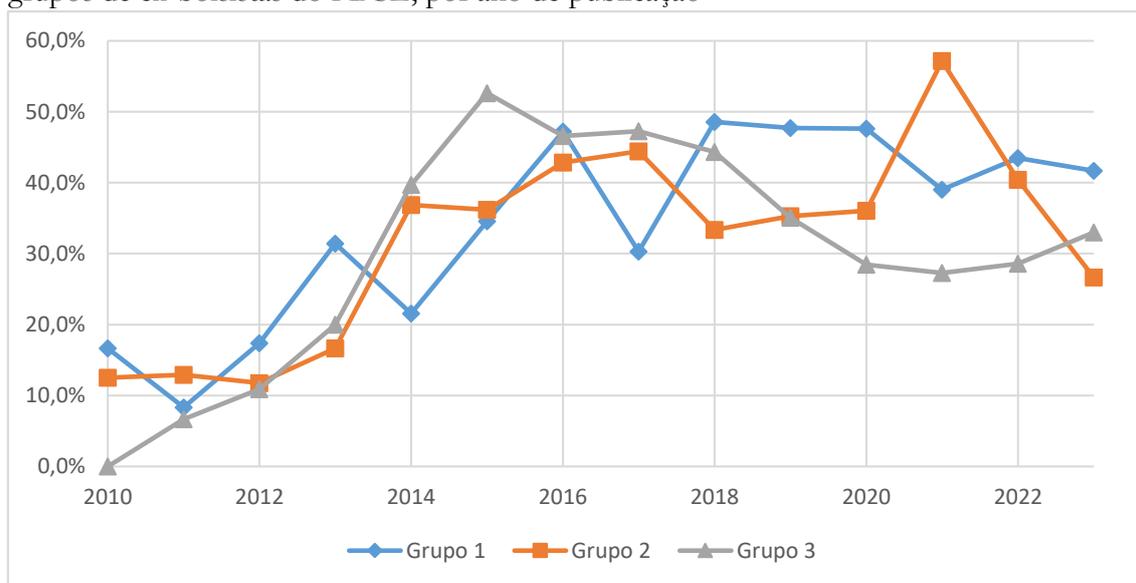
**Fonte:** Os Autores (2024).

\*Os valores individuais na tabela somam 2.289, pois há 8 em CI e 23 em CN nos quais ex-bolsistas de grupos diferentes são autores desses artigos.

Para avaliar se o tempo da bolsa no exterior gera algum efeito na produção em CI de cada grupo de ex-bolsistas do PDSE, traçou-se o gráfico dos percentuais anuais de produção em CI em função do tempo, Figura 3. Nota-se, que no primeiro período, de 2010 a 2016, as publicações em CI mantiveram tendência de alta e cresceram até patamares entre 40 e 50% para ambos os grupos.

No restante do período observado, de 2017 a 2023, essas taxas de CI permaneceram acima de 25% para todos os grupos. Entretanto, após 2018, as taxas de CI do grupo que teve os menores tempos de bolsa no exterior, são maiores que aquelas do Grupo 3, que permaneceram entre 10 e 12 meses no país de estudo. Logo, isso sugere que um período maior de bolsa sanduíche no exterior, a longo prazo, não reflete consideravelmente nos níveis de produção científica em CI.

**Figura 3** - Evolução do percentual de publicações em Colaboração Internacional (CI) para os três grupos de ex-bolsistas do PDSE, por ano de publicação



Fonte: Os Autores (2024).

Com o intuito de comparar estatisticamente o efeito dos diferentes tempos de bolsa no desempenho da produção científica em CI dos três grupos, foram obtidas, para os percentuais anuais de CI no período, as seguintes médias (M) e desvios-padrão (DP): Grupo 1 (M = 33,9%; DP = 13,4), Grupo 2 (M = 31,6%; DP = 13,7), e Grupo 3 (M = 30,0%; DP = 16,0). De forma análoga às comparações anteriores, foi conduzida uma ANOVA a um fator para comparar as médias anuais de publicações em CI dos três grupos. Os pressupostos para a realização da ANOVA foram atendidos, dado que os resultados dos testes de Shapiro-Wilk ( $W = 0,956$ ,  $p = 0,109$ ) e de Levene ( $F(2, 39) = 0,165$ ,  $p = 0,849$ ) indicaram que há distribuição normal e igualdade das variâncias no conjunto dos dados. Com as premissas confirmadas e aplicada a ANOVA ( $F(2, 39) = 0,262$ ,  $p = 0,771$ ), de forma equivalente aos outros testes de hipóteses realizados, o resultado desta comparação também não mostrou um efeito estatisticamente significativo dos diferentes tempos de bolsa no exterior em relação às publicações em CI dos grupos de ex-bolsistas do PDSE.

Não obstante, esses achados refletem a importância das experiências internacionais proporcionadas pelo PDSE na construção de redes de colaboração científica. As taxas observadas para os grupos são, inclusive, superiores à taxa de 24,7% para a coautoria internacional da produção científica brasileira na área de Química reportada por Menezes e Caregnato (2018). Não se pode afirmar, entretanto, que um tempo maior usufruído no exterior em virtude da bolsa sanduíche tenha levado a uma maior produção em colaboração internacional entre um ou outro dos grupos estudados.

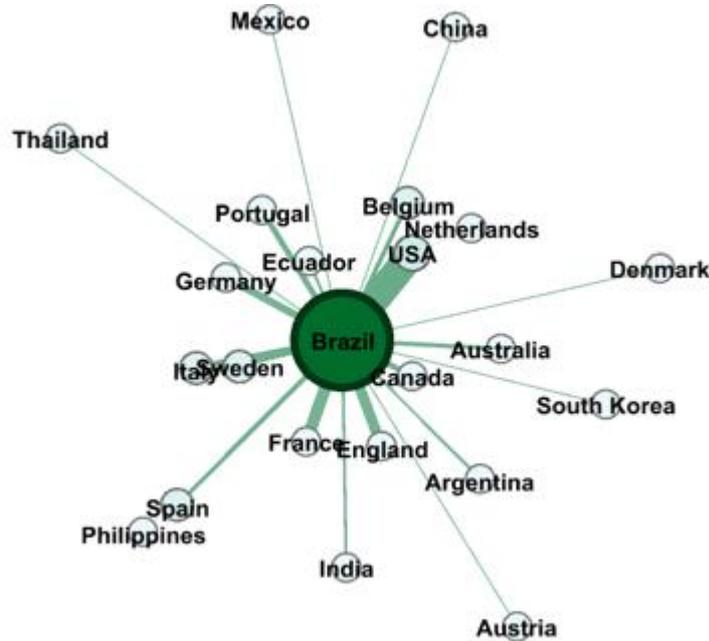
O estudo prossegue, então, com a análise das redes de coautoria internacional formadas pelos três grupos de ex-bolsistas do PDSE em dois períodos distintos: Período 1 (2010-2016) e Período 2 (2017-2023), Figura 4. Esta abordagem permitiu a visualização das conexões entre os países e a identificação dos principais parceiros internacionais dos ex-bolsistas durante e após o doutoramento dos indivíduos de cada grupo.

Cabe destacar que, sinteticamente, uma Rede Social pode ser definida como uma estrutura composta por indivíduos, ou atores, que são conectados por um ou mais tipos de relações (Newman, 2003), como os artigos publicados em coautorias, por exemplo. O estudo destas redes busca analisar as características individuais de seus componentes, bem como as características estruturais da rede e são tipicamente representadas utilizando a teoria dos grafos.

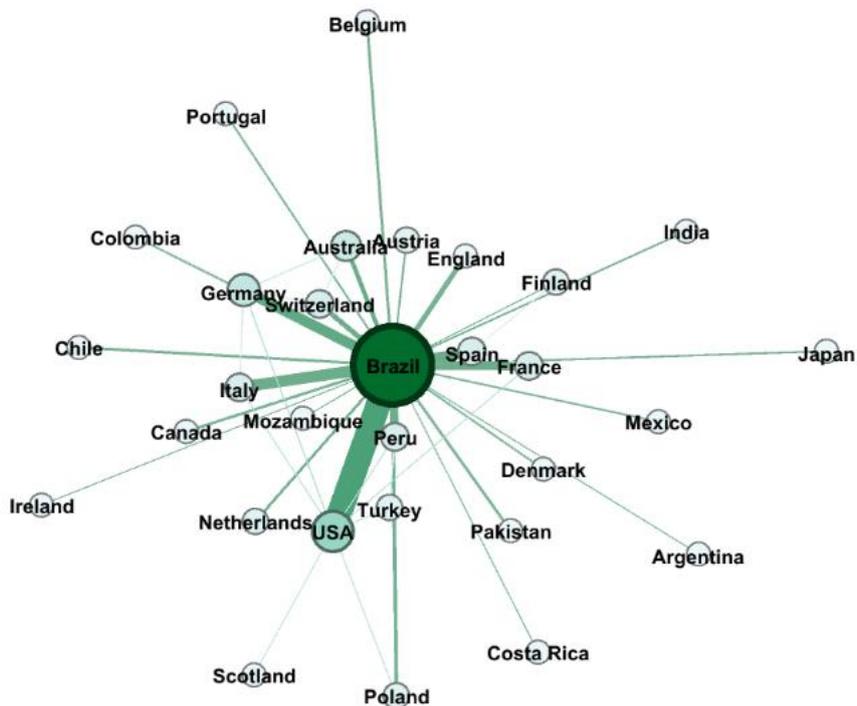
Nas redes em análise, os diversos autores de um artigo são representados nos grafos pelo respectivo país de afiliação, nos vértices ou nós da estrutura. O tamanho do nó e a intensidade da cor estão relacionados ao seu grau, isto é, a quantidade de conexões estabelecidas por determinado país. Cada aresta que une os nós mostra uma relação de coautoria e sua espessura é proporcional ao número de coautorias entre os dois países. Se um artigo possui autores de três ou mais afiliações diferentes, as ligações entre os nós que representam esses países formarão uma espécie de polígono fechado conectando estes países, no caso de três países, por exemplo, formarão um triângulo. Além disso, as redes de coautoria científica são do tipo não direcionais, ou seja, não há diferença na ordem da conexão de um nó ao outro. Para estruturação dos grafos apresentados na Figura 4, o algoritmo parte do princípio de que os nós tendem a repelir uns aos outros, entretanto, quando há conexões entre eles surgem forças de aproximação. O balanceamento deste conjunto de forças gera a visualização, aproximando os nós que se relacionam e distanciando os demais.

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

**Grupo 1 - Período 1**

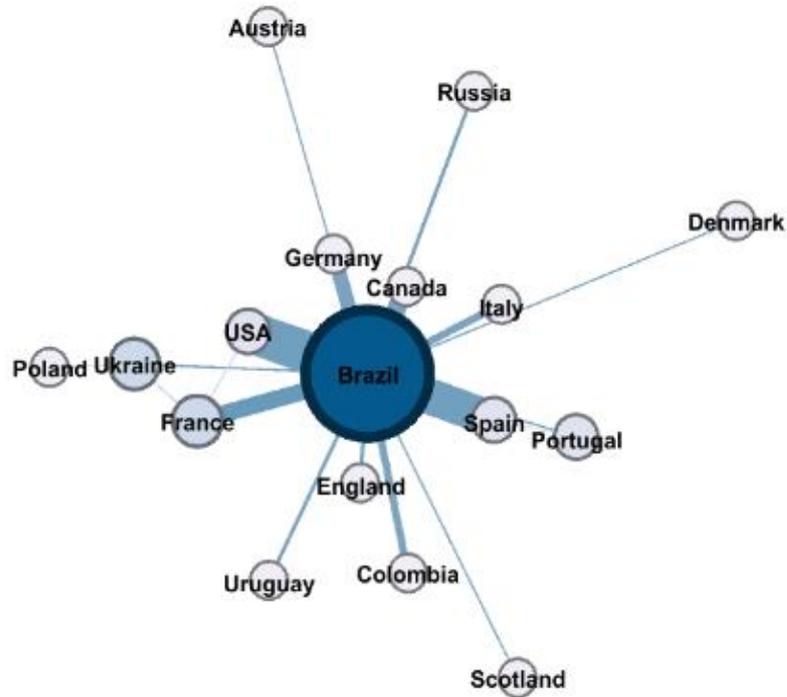


**Grupo 1 - Período 2**

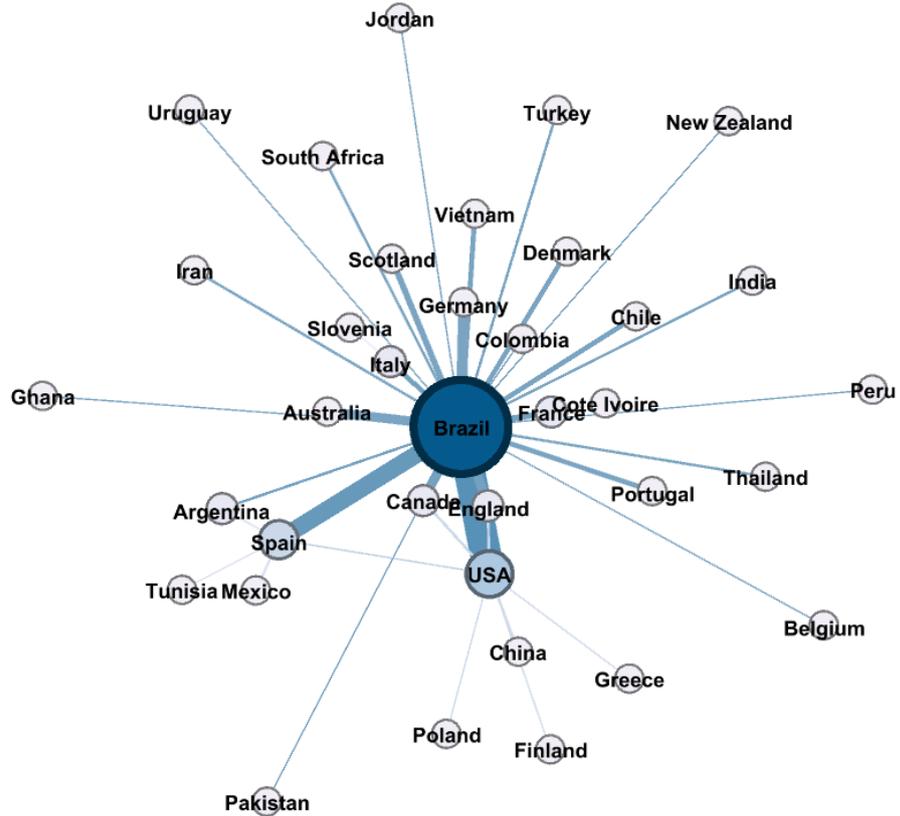


Fonte: Os Autores (2024).

Grupo 2 - Período 1

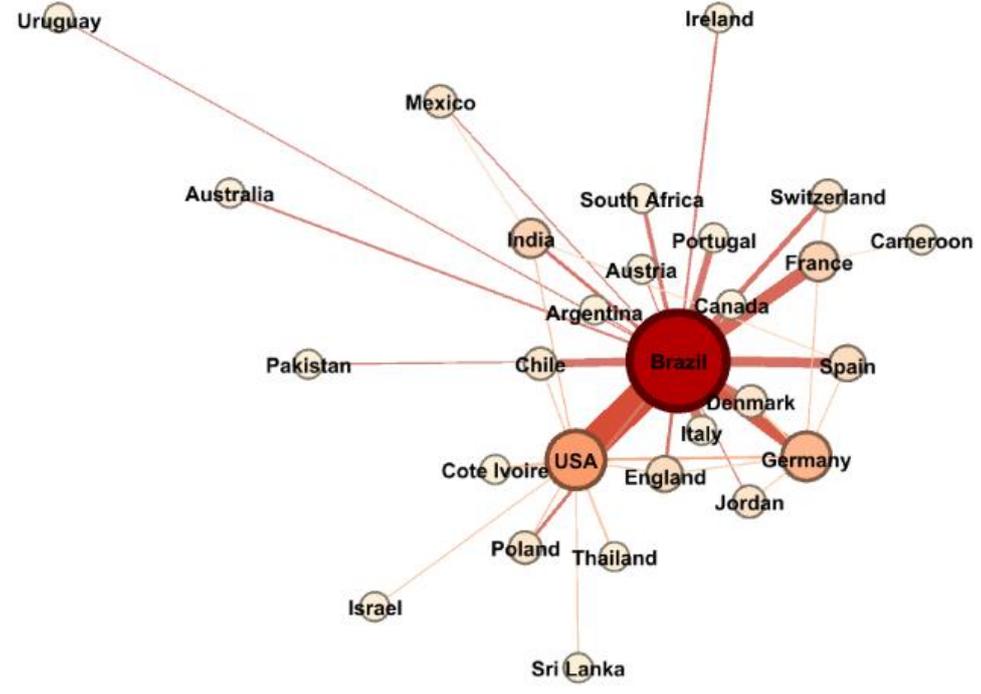


Grupo 2 - Período 2

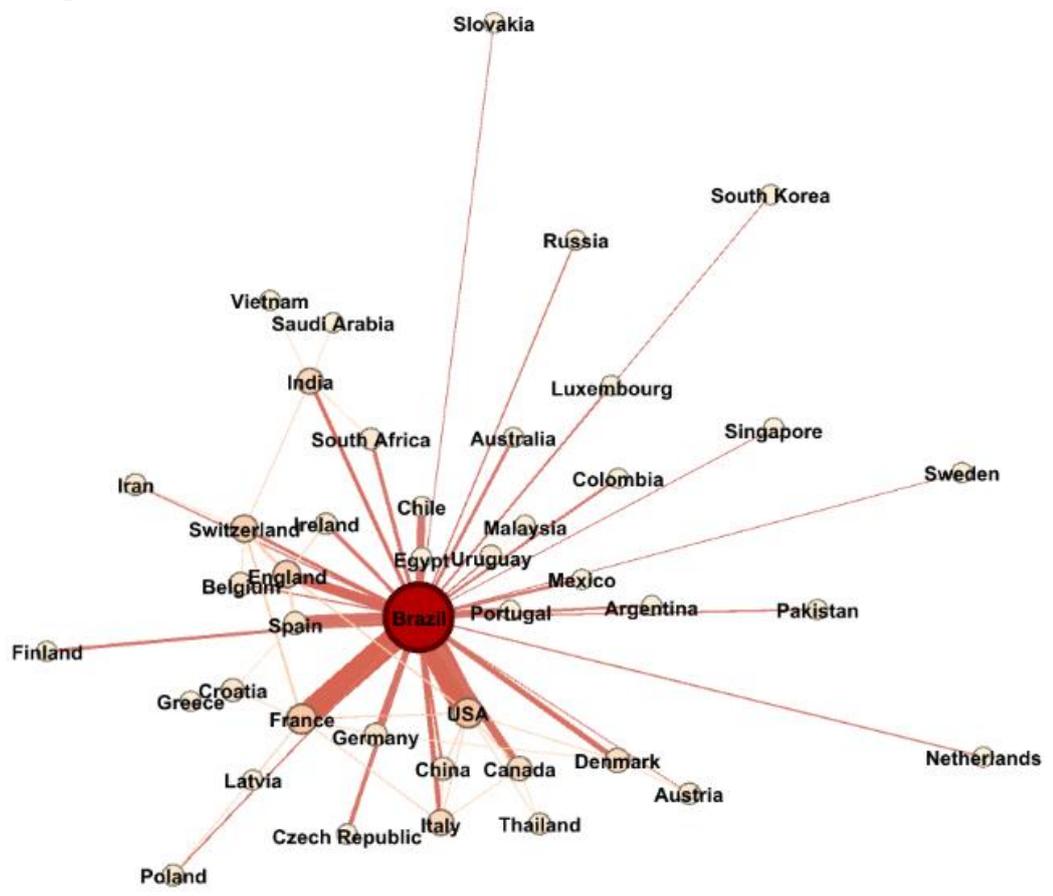


Fonte: Os Autores (2024).

Grupo 3 - Período 1



Grupo 3 - Período 2



Fonte: Os Autores (2024).



A Análise de Redes Sociais (ARS), por sua vez, é o processo de investigação das estruturas sociais que conectam os indivíduos em uma rede. Na ARS as características estruturais (o conjunto de relações) são tão ou mais importantes do que as características específicas de cada indivíduo (Grácio, 2018; Santin; Vanz; Stumpf, 2016a). As medidas derivadas da ARS podem ser divididas em:

- i. Métricas Globais - possibilitam a comparação de uma rede com outra, tais como: o número de Nós, de Arestas, o Grau Médio, Grau Ponderado Médio e a Densidade do Grafo;
- ii. Métricas Locais - utilizadas para se comparar o comportamento dos atores que compõem a rede. São elas: o Grau, o Grau Ponderado, a Excentricidade, as Centralidades de Proximidade, de Intermediação e de Autovetor.

As métricas globais das redes de coautoria internacional para os três grupos, em ambos os períodos, são apresentadas na Tabela 6. Observa-se que, em geral, houve uma expansão no tamanho das redes e no número de conexões entre os países no Período 2, ou seja, aumento no número de nós e arestas, indicando um aumento nas colaborações internacionais após a conclusão da bolsa sanduíche e também do doutoramento.

**Tabela 6** - Métricas globais das redes de coautoria internacional

Grupo	Período	Nós	Arestas	Grau Médio	Grau Ponderado Médio	Densidade do Grafo
Grupo 1	Período 1	23	24	2,087	7,043	0,095
	Período 2	30	43	2,867	10,867	0,099
Grupo 2	Período 1	17	19	2,235	10,706	0,14
	Período 2	36	39	2,167	7,8333	0,062
Grupo 3	Período 1	28	40	2,857	11,357	0,106
	Período 2	43	66	3,07	15,256	0,073

Fonte: Os Autores (2024).

O Grau mede o número de conexões diretas que um nó (autor ou país) possui. Um grau alto indica que o nó é altamente conectado e possivelmente influente dentro da rede. O Grau Ponderado, por sua vez, considera o volume das conexões, o número de artigos compartilhado por um par de países em uma rede de coautoria, dando uma noção mais ampla da força dos relacionamentos ocorridos (Newman, 2003). Quando se fala em Graus médios e Graus Ponderados médios, considera-se essas métricas de forma global, para o conjunto de atores da rede. Isso posto, nos Grupos 1 e 3, tanto o Grau Médio quanto o Grau Ponderado Médio aumentaram, sugerindo colaborações mais frequentes e intensas. Para o Grupo 2, contudo, apesar de um crescimento no

número de nós e arestas no segundo período, houve uma leve diminuição no Grau Médio e Grau Ponderado Médio. Esses comportamentos sugerem que a duração da bolsa pode influenciar de maneira distinta as colaborações internacionais.

A densidade das redes se refere à proporção de conexões existentes sobre o número de conexões possíveis na rede (Newman, 2003), seu valor pode variar entre 0 e 1. Nos casos analisados, o Grupo 1, apresentou um leve aumento da densidade no Período 2, sugerindo um fortalecimento das conexões entre os países. Já para os Grupos 2 e 3, a densidade diminuiu, apesar do aumento no número de nós e arestas, indicando que o aumento das colaborações não foi suficiente para manter a coesão observada no Período 1, ou seja, houve uma expansão da rede com novas colaborações que não necessariamente se conectam entre si.

Com relação às métricas locais das redes de coautoria, foram analisados os seguintes parâmetros: Grau, Grau Ponderado, Excentricidade e Centralidades de Proximidade, de Intermediação e de Autovetor.

Em todos os grupos, houve um aumento geral nos graus e graus ponderados dos nós, indicando uma maior participação e colaboração dos pesquisadores ao longo do tempo. Durante o Período 1, para ambos os grupos, alguns dos países que apresentavam número de conexões significativas foram os Estados Unidos, os europeus, Alemanha, França, Espanha, Inglaterra, além da Índia. No Período 2, os Estados Unidos mantêm o maior número de vínculos nos grupos e em sequência aos europeus, nota-se a presença de Austrália e Canadá.

A excentricidade, que traduz a ideia de o quanto um nó está distante dos demais (Hage; Harary, 1995; Lima; Carvalho; Teixeira, 2024), manteve-se relativamente constante, com pequenas variações, indicando que a distância entre os pesquisadores nas redes não mudou drasticamente ao longo do tempo.

A Centralidade de Proximidade mede a distância média de um nó para todos os outros nós na rede. Nós com alta centralidade de proximidade podem alcançar todos os outros nós de forma eficiente, o que é útil para a disseminação rápida de informações. A Centralidade de Intermediação avalia a frequência com que um nó aparece nos caminhos mais curtos entre outros nós e altos valores indicam que o nó atua como uma ponte, facilitando a comunicação e a transferência de conhecimento entre diferentes partes da rede (Lima; Carvalho; Teixeira, 2024; Newman, 2003; Souza; Barbastefano; Lima, 2012). A Centralidade de Autovetor classifica a influência de um nó numa rede, é uma medida relativa que é tanto mais alta quanto mais um nó central estiver relacionado com outros nós também centrais (Lima; Carvalho; Teixeira, 2024; Newman, 2003).

Nas redes avaliadas, as centralidades de Proximidade e Intermediação aumentaram em alguns nós, especialmente aqueles que serviram como pontes entre diferentes grupos de

pesquisadores. A Centralidade de Autovetor aumentou para alguns países, especialmente aqueles com forte presença nas redes, como os Estados Unidos e a Alemanha, refletindo sua importância nas colaborações. As Centralidades de Intermediação e de Autovetor confirmam, portanto, que os Estados Unidos desempenham um papel central nas redes de coautoria, sendo um importante mediador nas conexões entre outros países e contribuindo significativamente para a disseminação de informações e colaborações na área de Química.

Esses resultados, a estrutura das redes de coautoria e as métricas locais e globais, sugerem que a duração da bolsa pode ter um impacto na formação dessas redes. Dessa forma, as medidas indicam que o Grupo 1, com bolsas de estudo mais curtas, mostrou um aumento significativo na colaboração científica internacional entre os períodos, refletido em quase todas as métricas analisadas. O Grupo 2, com durações intermediárias de bolsas, apresentou uma diminuição na maioria das métricas, sugerindo uma possível dispersão nas colaborações. O Grupo 3, com as bolsas mais longas, teve um aumento nas métricas de grau e grau ponderado, mas uma rede mais espalhada e menos centralizada, como indicado pelas excentricidades e centralidades.

A participação no PDSE, pode-se afirmar, teve um impacto positivo na internacionalização e na colaboração dos pesquisadores brasileiros na área de Química. As redes de coautoria cresceram em termos de número de participantes e intensidade das colaborações, embora a densidade das redes tenha variado, refletindo a complexidade das interações científicas ao longo do tempo. Esta maior propensão a colaborar internacionalmente pode ser atribuída às oportunidades de *networking* e à exposição a diferentes culturas e infraestruturas científicas durante seus períodos de estudo no exterior.

Por fim, ressalta-se a necessidade de estratégias de suporte contínuo para manter e fortalecer as colaborações estabelecidas durante o doutorado sanduíche. Nesse sentido, a ARS sobre a dinâmica das colaborações pode auxiliar a identificação de países e instituições centrais nas redes de coautoria, orientar esforços para ampliar e consolidar parcerias estratégicas e subsidiar o desenvolvimento de ações e políticas voltadas à promoção da internacionalização da ciência.

## Conclusão

A análise do perfil de formação, da produção científica e das redes de coautoria dos doutores em Química egressos do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE), titulados entre 2013 e 2016, revelou que a internacionalização proporcionada pelo PDSE teve um impacto significativo na trajetória acadêmica desses pesquisadores, evidenciado pelo aumento nas

colaborações internacionais e na produção científica indexada na base *Web of Science* entre 2010 e 2023.

Os resultados mostram que os ex-bolsistas do PDSE, independentemente da duração da bolsa, demonstraram maior propensão à colaboração internacional em relação à média nacional. Este fato destaca a importância das experiências internacionais no fortalecimento das redes de colaboração científica, promovendo um ambiente de maior visibilidade e impacto para a ciência brasileira no cenário global.

A análise das redes de coautoria internacional indicou uma expansão das conexões entre os países, especialmente após a conclusão do doutorado. Não obstante, a maioria dos bolsistas ter escolhido países europeus para o desenvolvimento dos trabalhos referentes à bolsa sanduíche, os Estados Unidos emergiram como um parceiro central, demonstrando a relevância das colaborações com instituições norte-americanas para os ex-bolsistas brasileiros. A variação na densidade das redes de coautoria sugere que a duração da bolsa pode influenciar a robustez dessas colaborações, apontando para a necessidade de estratégias de suporte contínuo para manter e fortalecer essas parcerias.

Este estudo contribui para a compreensão de como a formação acadêmica internacional influencia as trajetórias de pesquisa e a construção de colaborações internacionais. Os achados ressaltam a importância de políticas públicas que incentivem a mobilidade acadêmica e o estabelecimento de redes de colaboração, essenciais para o desenvolvimento sustentável e competitivo da ciência brasileira.

As implicações desses resultados sugerem a necessidade de fomentar programas de internacionalização mais amplos e contínuos, que não apenas proporcionem experiências internacionais aos pesquisadores, mas também ofereçam suporte para a manutenção e ampliação das redes de colaboração estabelecidas. Dessa forma, é possível maximizar os benefícios da internacionalização para a ciência e a inovação no Brasil.

## Referências

- CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. GEOCAPES - Sistema de Informações Georreferenciadas. Brasília, DF: CAPES, 2024a. Disponível em: <https://geocapes.capes.gov.br/geocapes/>. Acesso em: 07/jun./24.
- CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Programa de Doutorado-sanduiche no Exterior (PDSE). Brasília, DF: CAPES, 2024b. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/bolsas/bolsas-e-auxilios-internacionais/encontre-aqui/paises/multinacional/programa-de-doutorado-sanduiche-no-exterior-pdse>. Acesso em: 15/jun./24.
- CUNHA-MELO, J. R. DA. Indicadores efetivos da internacionalização da ciência. *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*, v. 42, p. 20–25, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-69912015S01007>.
- FLORES, A. B.; COSTA, J. P. Da; FONTOLAN, M. A internacionalização da pós-graduação no Brasil: a experiência do doutorado pleno e doutorado sanduiche no exterior. *Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior (Campinas)*, v. 28, p. e023028, 2023. <https://doi.org/10.1590/s1414-40772023000100046>.
- GHENO, E. M.; VANZ, S. A. DE S.; MARTINS, L. A. M.; DUARTE, L. F.; SOUZA, D. O.; CALABRÓ, L. 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. <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2020.e65382>.
- GRÁCIO, M. C. C. Colaboração científica. *Brazilian Journal of Information Science: research trends*, v. 12, nº 2, 2018. <https://doi.org/10.36311/1981-1640.2018.v12n2.04.p24>.
- HAGE, P.; HARARY, F. Eccentricity and centrality in networks. *Social Networks*, v. 17, nº 1, p. 57–63, 1995. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(94\)00248-9](https://doi.org/10.1016/0378-8733(94)00248-9).
- 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, nº 36, 2013. <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2013v18n36p51>.
- LIMA, L. G. A. De; CARVALHO, R. B. De; TEIXEIRA, M. do R. F. Internacionalização: Mapeamento de redes de coautoria internacional de bolsistas do Programa de Pós-Doutorado no exterior da CAPES na área de saúde. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, p. e024005, 2024. <https://doi.org/10.21723/riace.v19i00.18123>.
- 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, nº 3, p. 2745–2772, 2020. <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, nº 53, p. 25–38, 2018. <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2018v23n53p25>.

NEWMAN, M. E. J. The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*, v. 45, n° 2, p. 167–256, 2003. <https://doi.org/10.1137/S003614450342480>.

PERTUSATTI, J.; ROCHA NETO, I. Produção Científica Brasileira na Área de Química: Um Estudo Estatístico em Duas Décadas. *Enciclopédia Biosfera*, v. 20, n° 44, p. 299-315, 2023. [https://doi.org/10.18677/EnciBio\\_2023B23](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2023B23).

SANTIN, D. M.; VANZ, S. A. de S.; STUMPF, I. R. C. Collaboration networks in the Brazilian scientific output in evolutionary biology: 2000-2012. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 88, n° 1, p. 165–178, 2016a. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201620140620>.

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, 2016b. <https://doi.org/10.21713/2358-2332.2016.v13.923>.

SOUZA, C. G. De; BARBASTEFANO, R. G.; LIMA, L. S. De. Redes de colaboração científica na área de química no Brasil: um estudo baseado nas coautorias dos artigos da revista Química Nova. *Química Nova*, v. 35, n° 4, p. 671–676, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000400003>.

VARGAS, V. A.; VIEIRA, A. C.; VIEIRA, G. T.; ROSA, M.; SCHETINGER, C. O Perfil da Produção Científica dos Egressos do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior da Capes. Em: *Anais do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. 2017. Disponível em: <https://www.abrapec.com/enpec/xi-enpec/anais/listaresumos.htm>. Acesso em: 16/out./20.