

Indicadores bibliométricos de colaboração científica institucional na Física de Altas Energias brasileira (1983-2013)¹

Gonzalo Ruben Alvarez²

Samile Andrea de Souza Vanz³

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil)

Recibido: Mayo: 25 de 2017 – Revisado: Junio: 24 de 2017 - Publicado: Octubre 12 de 2017

Referencia norma APA: Alvarez, G., & de Souza, S. (2017) Indicadores bibliométricos de colaboração científica institucional na Física de Altas Energias brasileira (1983-2013). *Rev. Guillermo de Ockham*, 15(2), In press.



This work is licensed under CC BY-NC-ND

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise bibliométrica fundamentada no indicador de colaboração institucional dos artigos científicos brasileiros de Física de Altas Energias (FAE) indexados pelo *Science Citation Index* (SCI) da *Web of Science* (WoS) no período de 1983-2013. Fizeram parte do estudo todas as publicações em periódicos abrangidos na categoria de assunto *Physics, Particles & Fields*. Os dados foram organizados e analisados com auxílio dos *softwares* Bibexcel, UCINET e Excel 2007. Dentre os 5.886 artigos, 4.018 foram publicados em colaboração interinstitucional, sendo 1.130 em coautoria entre instituições brasileiras e 2.888 em coautoria com instituições estrangeiras. Apenas 1.868 artigos (31,74%) foram escritos por uma única instituição, representando, possivelmente, o grupo que realiza pesquisas teóricas na área. Foram identificadas 1.175 instituições, dentre elas 1.021 são instituições estrangeiras (86,89%) e 154 são instituições brasileiras (13,11%). Conclui que há um volume pequeno de instituições brasileiras que atuam na pesquisa na área de FAE e existe forte internacionalização da pesquisa brasileira na área. A análise de redes revela a existência de quatro *clusters* conforme regiões geográficas do Brasil, demonstrando que a proximidade geográfica entre dois ou mais parceiros serve como estímulo para a colaboração.

Palavras-chave: Bibliometria. Física de Altas Energias brasileira. Colaboração científica.

¹ Artigo derivado da dissertação de mestrado “Produção científica, colaboração e impacto da Física de Altas Energias brasileira indexada na *Web of Science* (1983-2013)” e do projeto “As redes de colaboração científica no Brasil” financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

² Doutorando em Comunicação e Informação, gonzalorubenalvarez@gmail.com, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação, Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Informação, Av. Ramiro Barcelos, n.º 2705, Porto Alegre CEP 90035007, RS, Brazil

³ Doutora, samile.vanz@ufrgs.br, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação, Departamento de Ciências da Informação, Programa de Pós-Graduação em Comunicação e Informação, Av. Ramiro Barcelos, n.º 2705, sala 214, Porto Alegre CEP 90035007, RS, Brazil

Bibliometric indicators of institutional scientific collaboration for Brazilian research on High Energy Physics (1983-2013)

Abstract

This paper presents a bibliometric analysis based on the institutional scientific collaboration indicators of Brazilian High Energy Physics (HEP) papers indexed by the Science Citation Index (SCI) of the Web of Science (WoS) during 1983 and 2013. All publications in journals that included the category of Physics, Particles & Fields were part of the study. The data were organized and analyzed using the softwares Bibexcel, UCINET and Excel 2007. Among the 5,886 articles, 4,018 were published in inter-institutional collaboration: 1,130 were coauthored by Brazilian institutions and 2,888 were coauthored with foreign institutions. Only 1,868 articles (31.74%) were written by a single institution, possibly representing the group that conducts theoretical research in the area. Among the 1,175 institutions which were identified, 1,021 are foreign institutions (86.89%) and 154 are Brazilian institutions (13.11%). The conclusion is that there is a small volume of Brazilian institutions that work in HEP and there is a strong internationalization of Brazilian research in the area. The analysis of networks reveals the existence of four clusters, according to Brazil geographical regions and demonstrates that the geographical proximity between two or more partners stimulates the collaboration.

Keywords: Bibliometrics. Brazilian High Energy Physics. Scientific collaboration.

Indicadores bibliométricos de colaboración científica institucional en la Física de Altas Energías brasilera (1983-2013)

Resumen

Este trabajo presenta un análisis bibliométrico fundamentado en el indicador de colaboración institucional de los artículos científicos brasileiros de Física de Altas Energías (FAE) indexados por el *Science Citation Index* (SCI) de la *Web of Science* (WoS) en el período de 1983-2013. Hicieron parte del estudio todas las publicaciones en revistas englobadas en la categoría de asunto *Physics, Particles & Fields*. Los datos fueron organizados y analizados con auxilio de los *softwares* Bibexcel, UCINET y Excel 2007. De entre los 5.886 artículos, 4.018 fueron publicados en colaboración interinstitucional, siendo 1.130 en coautoría entre instituciones brasileiras y 2.888 en coautoría con instituciones extranjeras. Apenas 1.868 artículos (31,74%) fueron escritos por una única institución, representando, posiblemente, el grupo que realiza investigaciones teóricas en la área. Fueron identificadas 1.175 instituciones, de entre ellas 1.021 son instituciones extranjeras (86,89%) y 154 son instituciones brasileiras (13,11%). Concluye que hay un volumen pequeño de instituciones brasileiras que actúan en la investigación en la área de FAE y existe fuerte internacionalización de la investigación brasileira en la área. El análisis de redes revela la existencia de cuatro *clusters* conforme regiones geográficas del Brasil, demostrando que la proximidad geográfica entre dos o más socios sirve como estímulo para la colaboración.

Palabras clave: Bibliometría. Física de Altas Energías brasilera. Colaboración científica.

Introdução

A profissionalização da Ciência tem origem na França no século XVII e com ela surgiram as primeiras investigações científicas em colaboração. Foi a partir deste momento que os grupos de pesquisadores organizaram-se formalmente em comunidades científicas (Beaver & Rosen, 1978). Entidades importantes como a *Royal Society*, que incentivou o trabalho cooperativo ainda em 1662 na Inglaterra, apoiaram a atividade científica em colaboração por vislumbrarem nesta prática uma estratégia para promover novas pesquisas (Meadows, 1999). A partir do século XX, o trabalho científico em colaboração aumentou continuamente (Maltrás Barba, 2003; Solla Price, 1976).

A mudança da pesquisa científica feita por pesquisadores isolados (*Little Science*) para a pesquisa feita entre equipes de pesquisadores (*Big Science*) aportou novos conhecimentos relacionados às redes de colaboração científica. Beaver (2001) afirma que o modelo *teamwork* ou colaborações gigantes surgiu com o desenvolvimento da Física de Altas Energias (FAE), e que logo passou para outras áreas como a Biologia Molecular e Biomedicina, apresentando como exemplo, o Projeto do Genoma Humano. Em áreas experimentais, o compartilhamento de infraestrutura, laboratórios e ideias é uma realidade há muitos anos (Braun, Gómez, Méndez, & Schubert, 1992). No caso da FAE, a complexidade dos experimentos relacionados aos aceleradores de partículas causou uma transformação no paradigma de cooperação entre os cientistas. A estrutura dessas máquinas obrigou a construção de importantes laboratórios nacionais nos Estados Unidos, Alemanha e Japão e em especial, o *European Organization for Nuclear Research* (CERN), um laboratório multinacional localizado na Suíça (Chaves & Shellard, 2005). O número de autores por artigo tem aumentado significativamente, pois as pesquisas experimentais só podem ser realizadas graças ao trabalho em colaboração de grandes equipes, levando à publicação de artigos com mais de 100 autores (Kretschmer & Rousseau, 2001).

A colaboração científica pode ser definida como a interação entre dois ou mais cientistas dentro de um espaço social determinado, que permite a distribuição e o intercâmbio de tarefas com a finalidade de alcançar um objetivo previamente estabelecido (Sonnenwald, 2007; Katz & Martin, 1997). “A colaboração, portanto, envolve o empréstimo de capital material ou intelectual, sob a forma de instrumentos, técnica, espaço e credibilidade.” (Vanz & Stumpf, 2010, p. 45). Conforme Katz e Martin (1997), o fenômeno traz benefícios para os pesquisadores em termos de partilha de conhecimentos, técnicas e habilidades. Também permite a troca de ideias e pontos de vista, podendo gerar novos conhecimentos ou perspectivas.

A colaboração mobiliza os cientistas e reflete relações dentro de uma comunidade profissional hierarquicamente estratificada (Beaver & Rosen, 1979). Katz e Martin (1997) categorizam alguns níveis de colaboração: entre departamentos de uma mesma instituição, entre diferentes instituições, diferentes estados e nações, diferentes setores – quando a colaboração envolve universidades, empresas e governo. No caso da colaboração institucional, os autores acrescentam que ela pode acontecer de forma inter ou intra, ou seja, interinstitucional quando reúne pesquisadores de diferentes instituições e intrainstitucional quando ocorre entre indivíduos filiados a uma mesma instituição.

A colaboração diminui exponencialmente com a distância geográfica que separa os parceiros em uma investigação e a maioria dos cientistas colabora mais com aqueles que fazem parte do seu ambiente cotidiano (Bozeman & Lee, 2003). O modelo de colaboração intrainstitucional é bastante comum no Brasil, que publica cerca de 96% de seus artigos em colaboração entre indivíduos. Quando o foco recai sobre a colaboração entre diferentes instituições este percentual baixa para 43% (Vanz, 2009), o que denota alta colaboração de indivíduos filiados a mesma instituição.

Independentemente do modelo, o aumento da colaboração estimulou a intensificação das atividades científicas brasileiras e a maior visibilidade internacional, dada a quantidade considerável de artigos e citações em revistas de alto fator de impacto (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior [CAPES], 2013). No caso da FAE, a participação em colaborações internacionais, associada à ampliação do número de programas de pós-graduação e de grupos de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) são os responsáveis pela expansão da atividade na área (Alvarez & Vanz, 2016). Chaves e Shellard (2005) expressam que, apesar das recentes participações de pesquisadores brasileiros da FAE em projetos experimentais internacionais, o Brasil ainda precisa definir políticas coerentes e consistentes que permitam a sua consolidação mundial em termos de cooperação. Tais políticas estariam vinculadas ao atendimento de várias necessidades: ao investimento contínuo exigido pela pesquisa de fronteira; à manutenção da infraestrutura de pesquisa para uso compartilhado (recursos físicos e intelectuais); à criação de Laboratórios Nacionais para a realização dos experimentos e construção dos instrumentos; à absorção de tecnologia que permita melhorar o grau de competitividade de empresas nacionais; ao apoio e ao incentivo às pesquisas e desenvolvimento da indústria que busquem a inovação tecnológica; à criação de programas que contribuam na formação de cientistas brasileiros no exterior; à aproximação entre os físicos (programas de pós-graduação) e a indústria.

Conforme Bourdieu (2004), o grau de autonomia de uma ciência depende da necessidade de recursos econômicos que ela exige para se concretizar. Dessa maneira, se deduz que, devido aos custos dos experimentos e à necessidade de financiamento externo, o grau de autonomia na FAE seja baixo e menor do que em outras áreas. A análise da colaboração entre instituições nacionais e internacionais torna-se elemento fundamental para indicar a relação e possível dependência do Brasil a outros países.

A análise da colaboração científica brasileira da FAE pode trazer elementos para ampliar a discussão sobre as políticas científicas da área. Neste sentido, este artigo tem como objetivo apresentar indicadores bibliométricos acerca da colaboração institucional em nível internacional e nacional a partir dos artigos publicados em revistas indexadas pela *Web of Science* (WoS) no período de 1983-2013.

Metodologia

A coleta dos dados e *download* dos artigos da produção científica da FAE brasileira para o período de 1983-2013 foi realizada em dezembro de 2014 no *Science Citation Index* (SCI) da base multidisciplinar WoS. A estratégia de busca utilizada foi a seguinte expressão: CU=(Brazil OR Brasil) AND WC=(Physics, Particles & Fields). Após a importação dos 6.350 registros bibliográficos, foi efetuada a organização das informações em um arquivo único (.txt). Na padronização dos nomes das instituições foi utilizada a Lista de Autoridades do Grupo de Pesquisa Comunicação Científica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A variável *Author Address* (C1) da WoS foi utilizada para analisar a colaboração institucional em nível internacional e nacional entre as diferentes instituições coautoras. Apenas 5.886 artigos apresentaram informações referentes ao endereço institucional no campo C1. Os 464 restantes não incluíram informações sobre o endereço na WoS. A parcela de trabalhos com insuficiência de dados (7,30%) foi desconsiderada no estudo da colaboração institucional. A coautoria internacional corresponde ao percentual de artigos assinados por no mínimo uma instituição brasileira e uma estrangeira. A coautoria nacional corresponde ao percentual de artigos assinados por mais de uma instituição brasileira.

Os *softwares* Bibexcel (análises descritivas), UCINET (redes de colaboração) e Microsoft Excel 2007 foram utilizados no tratamento dos dados coletados. A apresentação dos indicadores bibliométricos em intervalos de dez anos propicia o estudo e a compreensão acerca da evolução da colaboração científica institucional da FAE brasileira no período abrangido. Em concordância com a estratégia utilizada por outros pesquisadores como

Kretschmer e Rousseau (2001), Vanz (2009) e Bonilla-Calero (2009), este trabalho empregou a contagem total, ou seja, um artigo para cada instituição coautora.

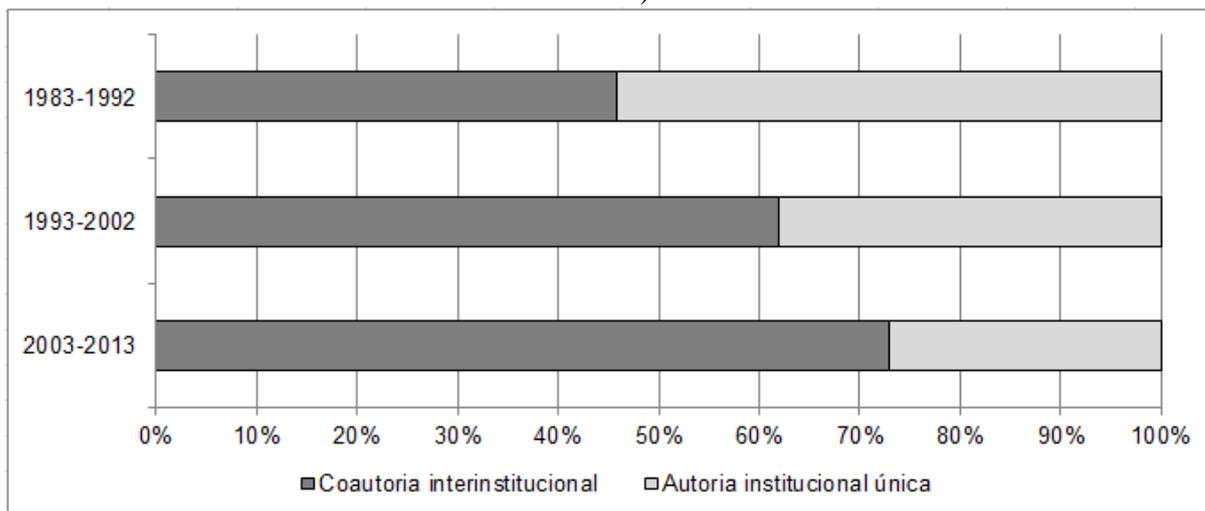
Resultados e discussão

Dentre os 5.886 artigos da FAE brasileira analisados, 4.018 artigos, representando 68,26%, foram publicados em coautoria entre diferentes instituições. Quando os dados são analisados por períodos, verificou-se o crescimento contínuo do percentual de publicações em coautoria interinstitucional: 1983-1992 (45,76%), 1993-2002 (61,90%), 2003-2013 (72,87%).

Dentre o conjunto de 5.886 artigos, 1.868 (31,74%) foram escritos por uma única instituição, representando, possivelmente, o grupo que realiza pesquisas teóricas na área. Tal resultado não exclui, no entanto, a colaboração entre indivíduos filiados a uma mesma instituição. A taxa encontrada é superior aos 16,72% apresentados por Bonilla-Calero (2009) para os trabalhos da Física de Partículas e Campos espanhola escritos sem coautoria no período de 2000-2005 e levemente inferior aos 33,90% exibidos por Vanz (2009) para os artigos da Física brasileira indexados no SCI entre 2004 e 2006.

Apesar da colaboração científica entre instituições ou países em diversos campos ter aumentado consideravelmente nos últimos anos, devido a fatores como a necessidade de compartilhamento de recursos e facilidade de comunicação e deslocamento (Luukkonen, Tijssen, Persson, & Sivertsen, 1993; Glänzel & Schubert, 2004), há uma parcela de artigos de autoria única e em colaboração em níveis secundários: entre indivíduos no mesmo grupo de pesquisa ou departamento; entre departamentos na mesma instituição (Subramanyam, 1983; Katz & Martin, 1997). A Figura 1 apresenta o decréscimo consecutivo da alíquota de trabalhos sem coautoria institucional na FAE brasileira: (54,24%) em 1983-1992, (38,10%) em 1993-2002, (27,13%) em 2003-2013.

Figura 1
Coautoria institucional distribuída por períodos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

Na análise dos 5.886 artigos que compõem o *corpus* da pesquisa foram identificadas 1.175 instituições brasileiras e estrangeiras. Dentre o conjunto, 1.021 são instituições estrangeiras (86,89%). A elevada alíquota de instituições estrangeiras realça a existência de um volume pequeno de instituições brasileiras que atuam na pesquisa na área de FAE e também, evidencia a forte internacionalização da pesquisa brasileira na área, o que pode demonstrar a dependência de uma infraestrutura técnica e de laboratórios e ainda, a necessidade da divisão dos custos de experimentos tão onerosos (Braun et al., 1992; Bourdieu, 2004).

A análise detalhada dos artigos revela uma média de 17,05 entidades por trabalho no período de 1983-2013 (Tabela 1). No entanto, há uma forte oscilação do número de instituições por artigo. O valor central da mediana indica que 50% dos artigos tem menos de duas instituições e que 50% dos artigos tem mais de duas instituições. Mais uma vez, o fato de a média apresentar uma dimensão maior do que a mediana e a moda implica uma distribuição assimétrica, o que é confirmado pelo coeficiente com valor positivo (3,42). O papel dos artigos com um grande número de instituições – os *outliers*, aqueles trabalhos com mais de 100 instituições de vínculo dos autores - foi determinante para o acréscimo da média.

Tabela 1
Distribuição das instituições nos artigos da FAE brasileira indexados na WoS (1983-2013)

	1983-1992	1993-2002	2003-2013	1983-2013
Média de inst. por artigo	3,74	6,38	22,91	17,05
Mediana	1	2	2	2
Moda	1	1	2	1
Assimetria	4,96	3,21	2,72	3,42
N. mínimo de instituições	1	1	1	1
N. máximo de instituições	54	65	227	227
N. de artigos	295	1.743	3.848	5.886

Fonte: dados da pesquisa

Na análise por série temporal comprovou-se o crescimento constante da média de instituições por artigo: 1983-1992 (3,74), 1993-2002 (6,38), 2003-2013 (22,91). Em termos comparativos, a média de 17,05 para o período de 1983-2013 se mostra superior aos 11 exibidos por Bonilla-Calero (2009) para os artigos em coautoria institucional da Física de Partículas espanhola indexados no SCI entre 2000 e 2005 e aos 3,6 apresentados por Vanz (2009) para os trabalhos em colaboração da Física brasileira no período de 2004-2006. Observa-se uma grande diferença entre o número mínimo e máximo de instituições, ocasionando intervalos altos para os três períodos (53, 64, 226).

As análises descritivas demonstram que a colaboração interinstitucional na FAE brasileira acontece de maneira acentuada, confirmando a presença de grandes consórcios institucionais com base na porcentagem de artigos com ≥ 51 instituições, (11,64%) do total das colaborações (Tabela 2). Em estudo da coautoria internacional na Física e subcampos por meio dos artigos indexados no SCI e *Physics Briefs* no período de 1981-1985, Braun et al. (1992) alegam que a ciência se tornou uma verdadeira associação de empresas e instituições acadêmicas, independentemente das fronteiras geográficas e geopolíticas.

Uma análise mais detalhada dos artigos com o maior número de instituições coautoras (227, 226) mostrou que os mesmos foram publicados nos renomados periódicos *Physical Review D*, *Journal of High Energy Physics* e *European Physical Journal C* pelo grupo da Colaboração ATLAS do CERN no biênio 2012-2013. Na Tabela 2, apresenta-se a distribuição dos artigos de acordo com o número de instituições coautoras (primeira coluna) por períodos.

Número total de instituições e volume de artigos correspondente na FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)

N° inst.	1983-1992		1993-2002		2003-2013		1983-2013	
	N° artigos	%	N° artigos	%	N° artigos	%	N° artigos	%
1 inst.	160	54,24	664	38,10	1.044	27,13	1.868	31,74
2 inst.	61	20,68	516	29,60	1.082	28,12	1.659	28,19
3 inst.	20	6,78	229	13,14	624	16,22	873	14,83
4 inst.	12	4,07	77	4,42	224	5,82	313	5,32
5 a 10 inst.	6	2,03	88	5,05	184	4,78	278	4,72
11 a 15 inst.	28	9,49	17	0,98	39	1,01	84	1,43
16 a 20 inst.	3	1,02	17	0,98	9	0,23	29	0,49
21 a 50 inst.	1	0,34	32	1,84	64	1,66	97	1,65
≥ 51 inst.	4	1,36	103	5,91	578	15,02	685	11,64
Total	295	100,00	1.743	100,00	3.848	100,00	5.886	100,00

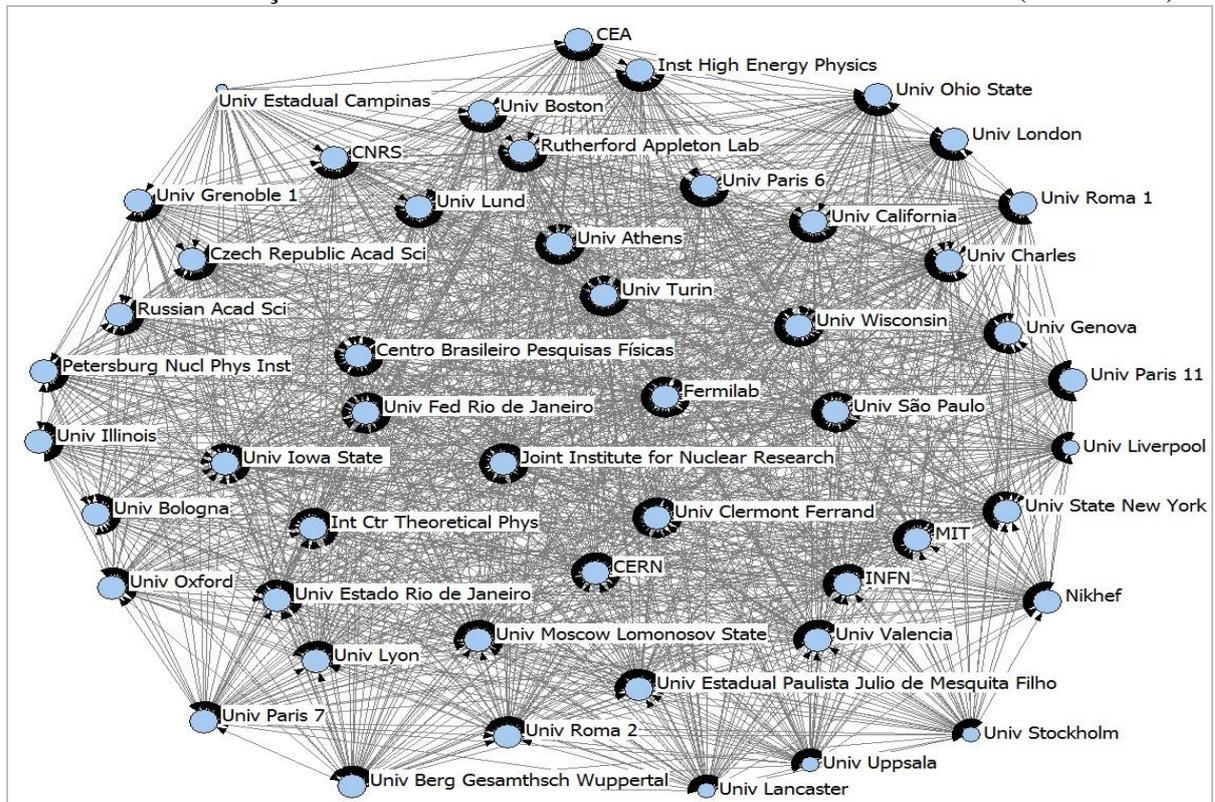
Fonte: dados da pesquisa

A diminuição percentual do número de artigos com autoria institucional única se contrapõe ao aumento do número de artigos com ≥ 51 entidades: (1,36%) em 1983-1992, (5,91%) em 1993-2002, (15,02%) em 2003-2013. A partir do considerável crescimento do último período, infere-se uma maior participação das instituições brasileiras nos grandes projetos multinacionais da FAE. Décadas passadas, Solla Price (1976) sustentava a ideia de que um número reduzido de laboratórios especializados como, por exemplo, o Brookhaven nos Estados Unidos, viabiliza a colaboração entre pesquisadores de diferentes instituições por meio da troca de informações e conhecimentos.

A análise detalhada dos 4.018 artigos publicados em colaboração evidencia a dimensão da colaboração com instituições estrangeiras, tendo em vista que 1.130 trabalhos (28,12%) foram escritos em coautoria entre pesquisadores filiados somente a instituições nacionais e 2.888 (71,88%) escritos em coautoria entre pesquisadores filiados a instituições nacionais e internacionais. Nagpaul e Sharma (1994) expressam que a Física Nuclear e a Física de Partículas ou FAE são os dois subcampos mais importantes da Física em termos de colaboração transnacional, justificando assim o alto índice de coautoria com instituições internacionais encontrado nas publicações da FAE brasileira.

Por intermédio de Análise de Redes Sociais (ARS), buscou-se aprofundar o conhecimento sobre a colaboração interinstitucional na FAE brasileira. O conjunto de dados apresentado na Figura 2 constitui a rede de colaboração correspondente às 50 instituições coautoras nacionais e internacionais mais produtivas (até 368 artigos) no período de 1983-2013.

Figura 2
 Rede de colaboração interinstitucional da FAE brasileira indexada na WoS (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

De acordo com a classificação de Maltrás-Barba (2003), a estrutura da rede em estudo é do tipo democrática, na qual todas as instituições participam simultaneamente da divulgação das descobertas científicas por meio dos trabalhos em colaboração. Wasserman e Faust (1994) comentam que em ARS, o ambiente social é definido pelas relações estabelecidas a partir da interação entre as unidades. O tamanho e o posicionamento dos nós indicam o peso das instituições com referência ao número de artigos publicados em coautoria. Verificou-se que da totalidade de entidades do grafo, 45 possuem o mesmo nível de conexão dentro da rede da FAE: grau de centralidade - *degree centrality* - (0.980), proximidade - *closeness* - (0.987), intermediação - *betweenness* - (0.005), denotando a solidez dos vínculos e a participação dessas instituições nos mesmos consórcios. As cinco instituições nacionais com maior número de contribuições na série temporal analisada foram distinguidas dentro desse seletivo grupo: Universidade de São Paulo (USP), Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), e Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Em termos de

relacionamentos, o grafo evidencia a robustez estrutural da rede interinstitucional (coautoras nacionais e internacionais) da FAE brasileira.

A respeito da densidade da rede de coautoria, o indicador de 0.997 confirma a existência de um grande *cluster* de instituições altamente conectadas. Nas extremidades, visualizam-se alguns poucos nós em tamanho menor com ligações mais fracas: UNICAMP (Brasil), Univ. Stockholm e Univ. Uppsala (Suécia), Univ. Lancaster e Univ. Liverpool (Inglaterra). O nível de agrupamento institucional na FAE revela a alta concentração da pesquisa em um número reduzido de instituições, com destaque preponderante para as universidades. Alguns centros especializados de países com tradição na Física Nuclear e na FAE emergem no grafo principal: *Centre National de la Recherche Scientifique* (CNRS) e *Commissariat à L'énergie Atomique* (CEA) (França), *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare* (INFN) (Itália), *Joint Institute for Nuclear Research* (JINR) e *Institute for High Energy Physics* (IHEP) (Rússia). O papel de laboratórios experimentais norte-americanos e europeus na constituição de parcerias institucionais, Fermilab (EUA) e CERN (Suíça), é claramente discernível. As seis entidades nacionais mais produtivas da rede de coautoria pertencem aos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. A disposição espacial das instituições brasileiras supõe pensar que o CBPF, a UFRJ e a UERJ cooperam mais entre elas no Rio de Janeiro e a USP e a UNESP mais em São Paulo, evidenciando-se que a proximidade geográfica é um dos fatores principais na colaboração (Katz, 1994).

Com relação aos parceiros da FAE no período observado, a lista das primeiras instituições que publicaram em coautoria com universidades e institutos brasileiros inclui nomes conhecidos no mundo da investigação científica. Em análise da colaboração nacional entre 1998 e 2007, Adams e King (2009) descobriram que as principais coautoras do Brasil são instituições consideradas referência na pesquisa de excelência internacional, sendo elas: Univ. Paris 6 e CNRS (França), INFN (Itália), Univ. Oxford (Inglaterra), Univ. Lund (Suécia). Com base na filiação dos autores das publicações da FAE mundial indexadas na SPIRES em 2005, Mele, Dallman, Vigen, & Yeomans (2006) realçam a importância da contribuição do INFN para a área em termos de financiamento. Vanz (2009) destaca que a Física é responsável por grande parte da colaboração brasileira com instituições estrangeiras, chegando a 89,7% do total das colaborações que o Brasil mantém com o JINR da Rússia. Outras entidades mencionadas pela autora – IHEP (87,5%), INFN (80%), Univ. Lund (71,6%) – também são claramente distinguidas no grafo principal da FAE (Figura 2). Os resultados denotam a maturidade e a qualidade da FAE brasileira, que segundo Chaves et al. (2007)

refletem no número de colaborações internacionais e publicações em coautoria com centros prestigiosos.

Colaboração interinstitucional em nível nacional na FAE brasileira

A análise detalhada do conjunto de 2.998 artigos publicados exclusivamente por pesquisadores brasileiros (1.130 em coautoria interinstitucional e 1.868 em autoria institucional única) revela 154 entidades brasileiras, representando uma média de 1,49 instituições por trabalho no período de 1983-2013. Os resultados mostram um decréscimo significativo da média de instituições coautoras quando comparada à média da colaboração que envolve instituições internacionais (17,05). Tal resultado revela a baixa dispersão da pesquisa da FAE quando analisada somente a colaboração entre instituições brasileiras. Novamente, as medidas descritivas obtidas indicam uma distribuição assimétrica, o que é confirmada pelo coeficiente com valor positivo (1,56). A mediana e a moda são constantes (1), confirmando a tênue colaboração institucional quando considerados somente os artigos nacionais. O número máximo de instituições por artigo na série temporal foi registrado em cinco (Tabela 3), muito diferente do número máximo de 227 instituições envolvendo a colaboração com instituições estrangeiras (Tabela 1).

Tabela 3
Distribuição das instituições nos artigos da FAE brasileira em colaboração nacional indexados na WoS (1983-2013)

	1983-1992	1993-2002	2003-2013	1983-2013
Média de inst. por artigo	1,15	1,35	1,60	1,49
Mediana	1	1	1	1
Moda	1	1	1	1
Assimetria	2,29	2,04	1,30	1,56
N. mínimo de instituições	1	1	1	1
N. máximo de instituições	3	5	5	5
N. de artigos	187	929	1.882	2.998

Fonte: dados da pesquisa

Na análise por série temporal, observou-se um moderado crescimento da média de instituições por artigo; 1983-1992 (1,15), 1993-2002 (1,35), 2003-2013 (1,60). O número máximo de entidades por registro variou de três em 1983-1992 para cinco em 2003-2013, ocasionando intervalos baixos (2, 4, 4) em relação aos dados apresentados na Tabela 1. A escassa representatividade do número de entidades nacionais (13,11%) com relação à

totalidade de instituições pode ser considerada outro indicador da forte colaboração internacional da pesquisa brasileira da FAE em termos de coautoria.

Uma análise mais detalhada dos artigos da FAE com o maior número de instituições nacionais coautoras (5) revelou que todos são resultado de pesquisas teóricas e foram publicados nos periódicos internacionais *Physical Review D* (2), *Journal of High Energy Physics* (2), *Modern Physics Letters A* (2), *European Physical Journal C*, *European Physical Journal A*, *International Journal of Modern Physics A* nos períodos 1993-2002 (3) e 2003-2013 (6). Na Tabela 4, apresenta-se a frequência de artigos publicados em colaboração interinstitucional em nível nacional e autoria única por períodos.

Tabela 4
Número de instituições nos artigos da FAE brasileira em colaboração nacional indexados na WoS (1983-2013)

N° de inst.	1983-1992		1993-2002		2003-2013		1983-2013	
	N° artigos	%	N° artigos	%	N° artigos	%	N° artigos	%
1 inst.	160	85,56	664	71,47	1.044	55,47	1.868	62,31
2 inst.	26	13,90	217	23,36	607	32,25	850	28,35
3 inst.	1	0,53	40	4,31	180	9,56	221	7,37
4 inst.	..	..	5	0,54	45	2,39	50	1,67
5 inst.	..	..	3	0,32	6	0,32	9	0,30
Total	187	100,00	929	100,00	1.882	100,00	2.998	100,00

Fonte: dados da pesquisa

Nota: .. Não se aplica dado numérico.

Ao investigar a produção científica em FAE publicada exclusivamente por brasileiros no período de 1983-2013, observa-se que os 1.868 artigos escritos por uma única instituição assumem uma grande representatividade (62,31%) dentre o conjunto de 2.998 artigos publicados exclusivamente por brasileiros. A alíquota encontrada é amplamente superior aos 31,74% apresentados na Tabela 2, que apresentou o contexto de colaboração que envolvia instituições internacionais. Na série temporal avaliada, houve um decréscimo consecutivo da taxa de trabalhos sem coautoria nacional: (85,56%) em 1983-1992, (71,47%) em 1993-2002, (55,47%) em 2003-2013.

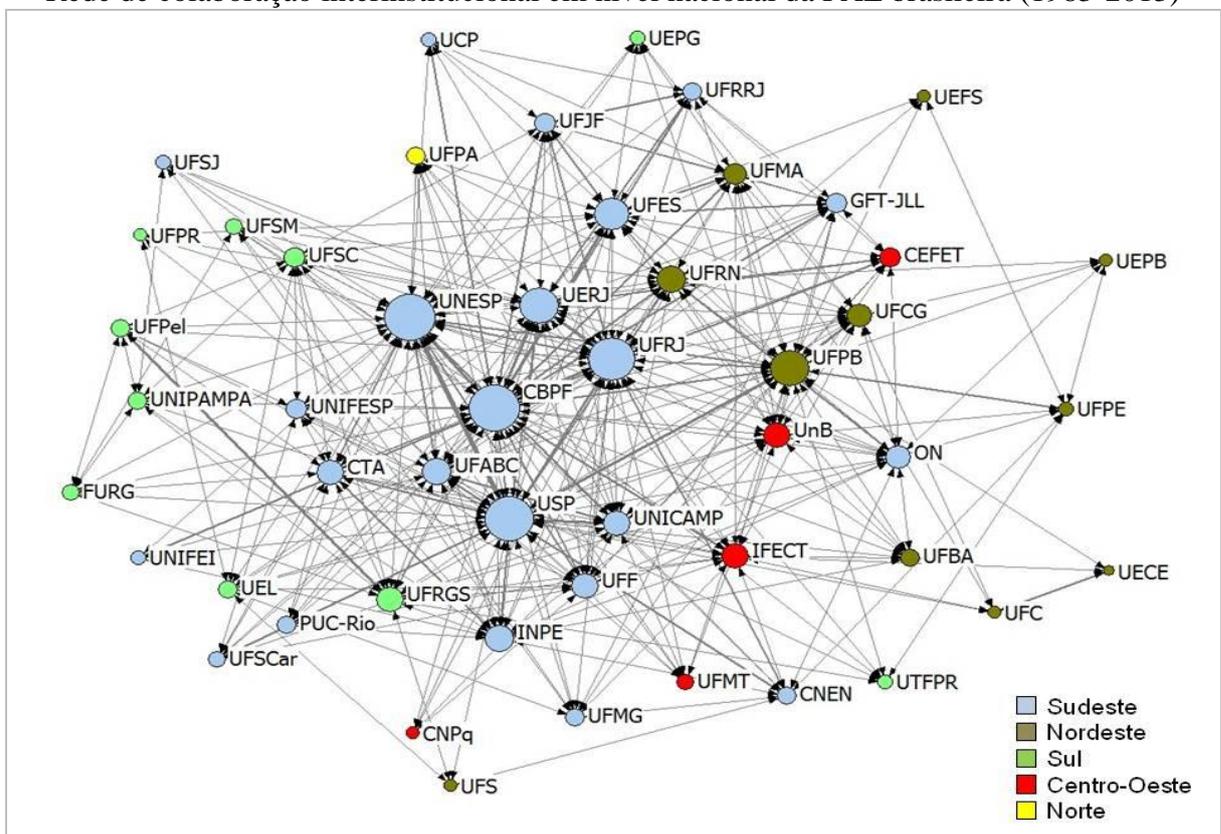
A queda percentual do número de artigos com autoria institucional única se contrapõe ao acréscimo do número de artigos com duas entidades (13,90%) em 1983-1992, (23,36%) em 1993-2002, (32,25%) em 2003-2013. O mesmo fenômeno foi observado com a taxa de trabalhos publicados por três instituições nos diferentes períodos: (0,53%), (4,31%) e (9,56%)

respectivamente. A respeito das publicações com quatro entidades, registrou-se um moderado crescimento entre 1993-2002 (0,54%) e 2003-2013 (2,39%). Nos artigos com cinco instituições, a taxa se manteve estável (0,32%).

Apesar do aumento do número de publicações em coautoria da FAE por período analisado, nota-se a prevalência dos artigos de autoria única em nível nacional. A taxa de trabalhos em colaboração entre duas ou mais instituições (37,69%) é pouco representativa quando comparada aos 68,26% exibidos na Tabela 2. Infere-se a preferência pela colaboração interinstitucional em nível internacional na Física de Altas Energias brasileira por causa dos custos econômicos e pela necessidade de maior infraestrutura e da divisão do trabalho no interior dos *teamworks* para a realização dos experimentos com os aceleradores de partículas.

Através de ARS, procurou-se aprofundar o conhecimento sobre a colaboração interinstitucional em nível nacional da FAE brasileira. Os dados ponderados na análise corresponderam às 50 instituições coautoras brasileiras mais produtivas (até 12 artigos). Na Figura 3, apresenta-se o grafo correspondente à rede de colaboração interinstitucional em nível nacional da FAE brasileira, com destaque para os estados onde estão localizadas estas instituições.

Figura 3
 Rede de colaboração interinstitucional em nível nacional da FAE brasileira (1983-2013)



Fonte: dados da pesquisa

A rede composta pelas instituições nacionais com ≥ 12 artigos totalizou 50 nós e 664 laços. O tamanho e o posicionamento dos nós indicam o peso das entidades com relação ao número de trabalhos publicados em coautoria. A baixa densidade (0.271) confirma a escassa robustez estrutural da rede de colaboração das instituições nacionais da FAE em relação à apresentada na Figura 2.

A partir de análise da estrutura da rede, verificou-se a existência de quatro *clusters* conforme regiões geográficas do Brasil na série temporal estudada. Esse indicador mostra que a proximidade entre dois ou mais parceiros serve como estímulo para a colaboração (Katz, 1994). As instituições com maior grau de centralidade (*degree centrality*), proximidade (*closeness*) e intermediação (*betweenness*) pertencem à região Sudeste (*cluster* azul): CBPF (0.740, 0.851, 0.068); UNESP (0.740, 0.851, 0.073); USP (0.720, 0.841, 0.078); UFRJ (0.680, 0.822, 0.063). Observa-se que a USP e a UNESP apresentam o maior grau de intermediação (0.078 e 0.073), significando que esses atores desempenham o papel de conectar os diferentes grupos existentes e de controlar as informações que circulam na rede e o trajeto que elas podem percorrer (Marteleto, 2001; Otte & Rousseau, 2002). Já a UFRJ ostenta o menor grau de proximidade dentre as quatro instituições (0.822), indicando que ela está menos relacionada com os outros nós. Verificou-se que as quatro entidades citadas são também as que detêm as primeiras posições no *ranking* de produtividade. Nesse agrupamento, nota-se uma supremacia de instituições (universidades públicas e centros de pesquisa) do eixo Rio de Janeiro-São Paulo. Percebe-se que existe uma intensa colaboração entre esses dois tipos de entidades. Em nível estadual, notou-se uma maior desconcentração da atividade científica em São Paulo, visto que as instituições do interior contribuem substancialmente para a produtividade da FAE. Segundo a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo [FAPESP] (2011), o bom desempenho do estado é consequência de políticas públicas bem-sucedidas. A agência de fomento citada acrescenta que o mesmo dinamismo não ocorre em igual proporção em outros estados como Rio de Janeiro e Belo Horizonte, onde as pesquisas se concentram nas capitais.

O *cluster* marrom encontra-se representado pelas instituições da região Nordeste, dentre elas: Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A UFPB apresenta o maior grau de centralidade do grupo (0.540). Além disso, é a quinta instituição mais produtiva, servindo de ponte para conectar as entidades periféricas da região com o *cluster* principal. O *cluster* verde é conformado por instituições da região Sul, sendo algumas delas: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(UFRGS), Universidade Estadual de Londrina (UEL), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) e Universidade Federal de Pelotas (UFPel). A UFRGS exibe o maior grau de centralidade, proximidade e intermediação dentro desse conglomerado (0.340, 0.692, 0.020). O posicionamento da entidade destacada no grafo principal denota uma preferência pela colaboração com universidades e centros de pesquisa paulistas. Em nível estadual, constatou-se uma maior descentralização da atividade científica no Rio Grande do Sul, dado que as instituições do interior - UFSM, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), UNIPAMPA, UFPel - contribuem abertamente para a produção da FAE. O *cluster* vermelho exibe o conjunto de instituições do Centro-Oeste: Universidade de Brasília (UnB), Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFECT), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), CNPq. A disposição dos nós no grafo indica uma maior colaboração com entidades das regiões Sudeste e Nordeste. Por último, na parte superior da Figura 2 distingue-se em amarelo a única entidade representante da região Norte: Universidade Federal do Pará (UFPA), demonstrando maior proximidade com as instituições do núcleo central (*cluster* azul) em termos de colaboração.

Em comparação com os dados da Figura 2, percebeu-se uma variação no *ranking* institucional, o CBPF e a UERJ descenderam para o terceiro e sétimo lugar respectivamente, enquanto a UNESP e a UFPB subiram para o segundo e quinto. Esses dados indicam que as duas primeiras entidades são mais representativas na rede de colaboração interinstitucional geral (que inclui a colaboração em nível internacional) e as duas últimas na rede de colaboração interinstitucional em nível nacional.

Considerações finais

Na análise dos 5.886 artigos que compõem o *corpus* da pesquisa foram identificadas 1.175 instituições brasileiras e estrangeiras. Dentre o conjunto, 1.021 são instituições estrangeiras (86,89%) e 154 são instituições brasileiras (13,11%). A elevada alíquota de instituições estrangeiras realça a existência de um volume pequeno de instituições brasileiras que atuam na pesquisa na área de FAE e evidencia a forte internacionalização da pesquisa brasileira na área. Tal resultado pode demonstrar a dependência de uma infraestrutura técnica e de laboratórios, mas sem dúvida, é um modelo normal na Física de Altas Energias devido aos altos custos dos experimentos.

A diminuição percentual do número de artigos sem coautoria institucional se contrapõe com o aumento do número de artigos com ≥ 51 entidades: (1,36%) em 1983-1992, (5,91%) em 1993-2002, (15,02%) em 2003-2013. A partir do considerável crescimento do

último período, infere-se uma maior participação das instituições brasileiras nos grandes projetos multinacionais da FAE como o consórcio ATLAS CERN.

A análise detalhada do conjunto de 2.998 artigos publicados exclusivamente por pesquisadores brasileiros revela uma média de 1,49 instituições por trabalho no período de 1983-2013. Os resultados mostram um decréscimo significativo da média de instituições coautoras quando comparada à média da colaboração que envolve instituições internacionais (17,05). Tal resultado revela a baixa dispersão da pesquisa da FAE quando analisada somente a colaboração entre instituições brasileiras. Os 1.868 artigos escritos por uma única instituição assumem uma grande representatividade (62,31%) dentre o conjunto de 2.998 artigos publicados exclusivamente por brasileiros. A alíquota encontrada é amplamente superior aos 31,74% correspondentes a este conjunto de artigos no contexto de colaboração que envolve instituições internacionais. Na série temporal avaliada, houve um decréscimo consecutivo da taxa de trabalhos sem coautoria nacional: (85,56%) em 1983-1992, (71,47%) em 1993-2002, (55,47%) em 2003-2013. Apesar do aumento do número de publicações em coautoria da FAE por período analisado, nota-se a prevalência dos artigos de autoria única em nível nacional.

A análise de redes revela a existência de quatro *clusters* conforme regiões geográficas do Brasil, demonstrando que a proximidade entre dois ou mais parceiros serve como estímulo para a colaboração. Os dados indicam que o CBPF e a UERJ são mais representativas na rede de colaboração interinstitucional geral (que inclui a colaboração em nível internacional) e as UNESP e a UFPB na rede de colaboração interinstitucional em nível nacional.

Considera-se que estes resultados possam contribuir para maior conhecimento da FAE brasileira e fomentar políticas e investimentos em variados âmbitos científicos como cursos de pós-graduação, infraestrutura nacional, colaboração internacional e inovação tecnológica. Conjuntamente, o aumento da participação dos pesquisadores locais nas colaborações multinacionais e a intensificação das atividades científicas na subárea experimental pode conceder ao Brasil o *status* dos países desenvolvidos.

Referências

- Adams, J., & King, C. (2009). *Global Research Report: Brazil: Research and collaboration in the new geography of science*. Leeds: Thomson Reuters.
- Alvarez, G. R., & Vanz, S. A. de S. (2016). O desenvolvimento da Física de Altas Energias no Brasil: produção científica, programas de pós-graduação e grupos de pesquisa. *Revista Brasileira de Pós-Graduação*, 13(31), 433-460.
- Beaver, D. de B. (2001). Reflections on scientific collaboration (and its study): past, present, and future. *Scientometrics*, 52(3), 365-377.
- Beaver, D. de B., & Rosen, R. (1978). Studies in scientific collaboration: Part I the professional origins of scientific co-authorship. *Scientometrics*, 1(1), 65-84.
- Beaver, D. de B., & Rosen, R. (1979). Studies in scientific collaboration: Part III Professionalization and the natural history of modern scientific co-authorship. *Scientometrics*, 1(3), 231-245.
- Bonilla-Calero, A. I. B. (2009). *La colaboración e la visibilidad en las disciplinas de Física en Science Citation Index y arXiv (2000-2005)* (Tesis doctoral). Universidad Carlos III de Madrid, Getafe, España.
- Bourdieu, P. (2004). *Os usos sociais da ciência: Por uma sociologia clínica do campo científico*. São Paulo: Editora UNESP.
- Bozeman, B., & Lee, S. (2003, February). The impact of research collaboration on scientific productivity. In *Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science*. Symposium conducted at the meeting of *American Association for the Advancement of Science*, Denver.
- Braun, T., Gómez, I., Méndez, A., & Schubert, A. (1992). International co-authorship patterns in physics and its subfields, 1981–1985. *Scientometrics*, 24(2), 181-200.
- Chaves, A., & Shellard, R. C. (2005). *Física para o Brasil: Pensando o futuro*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física.
- Chaves, A., Fazzio, A., Melo, C. P., Almeida, R. M., Faria, R. M., & Shellard, R. C. (2007). *Física para um Brasil Competitivo*. Brasília: Sociedade Brasileira de Física. Disponível em http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/publicacoes/FisicaCapes.pdf
- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (2013). *Documento de área 2013*. Brasília: Autor.
- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2011). Análise da produção científica a partir de publicações em periódicos especializados. In *Indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação em São Paulo 2010* (Cap. 4). São Paulo: Autor.
- Glänzel, W., & Schubert, A. (2004). Analyzing scientific networks through coauthorship. In H. F. Moed, W. Glänzel, & U. Schmoch (Eds.), *Handbook of quantitative science and technology research* (pp. 257-276). Dordrecht: Kluwer Academic.

- Katz, J. S., & Martin, B. R. (1997). What is research collaboration? *Research Policy*, 26(1), 1-18.
- Kretschmer, H., & Rousseau, R. (2001). Author inflation leads to a breakdown of Lotka's law. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 52(8), 610-614.
- Luukkonen, T., Tijssen, R. J. W., Persson, O., & Sivertsen, G. (1993). The measurement of international scientific collaboration. *Scientometrics*, 28(1), 15-36.
- Maltrás Barba, B. (2003). *Los indicadores bibliométricos: Fundamentos y aplicación al análisis de la ciencia*. Madrid: Trea.
- Marteletto, R. M. (2001). Análise de redes sociais – aplicação nos estudos de transferência da informação. *Ciência da Informação*, 30(1), 71-81.
- Meadows, A. J. (1999). *A comunicação científica*. Brasília: Briquet de Lemos.
- Mele, S., Dallman, D., Vigen, J., & Yeomans J. (2006). Quantitative analysis of the publishing landscape in High-Energy Physics. *Journal of High Energy Physics*, 12, 1-23.
- Nagpaul, P., & Sharma, L. (1994). Research output and transnational cooperation in physics subfields: a multidimensional analysis. *Scientometrics*, 31(1), 97-122.
- Otte, E., & Rousseau, R. (2002). Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. *Journal of Information Science*, 28(6), 441-453.
- Solla Price, D. J. de. (1976). *O desenvolvimento da ciência*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.
- Sonnenwald, D. H. (2007). Scientific collaboration. *Annual Review of Information Science and Technology*, 41(1), 643-681.
- Subramanyam, K. (1983). Bibliometric studies of research collaboration: a review. *Journal of Information Science*, 6, 33-38.
- Vanz, S. A. de S. (2009). *As redes de colaboração científica no Brasil: (2004-2006)* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. Disponível em <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17169>
- Vanz, S. A. de S., & Stumpf, I. R. C. (2010). Colaboração científica: revisão teórico conceitual. *Perspectivas em Ciência da Informação*, 15(2), 42-55.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge: Cambridge University Press.