



Números da Física no Brasil 2020

Peter A. Schulz - UNICAMP

Números da Física no Brasil 2020

Peter A. Schulz (Unicamp)

Índice

| | |
|--|----|
| Números da Física no Brasil 2020 | 1 |
| Prefácio..... | 2 |
| Preâmbulo | 3 |
| Mapeamento das atividades de pesquisa | 3 |
| O que é a física? Problemas de indexação e a necessidade de grandes números..... | 4 |
| Panorama mundial da produção científica em Física e Astronomia | 5 |
| O Brasil no mundo | 6 |
| Panorama geral do impacto da produção científica em física e astronomia..... | 8 |
| O impacto agregado da produção científica brasileira | 9 |
| Panorama das colaborações em física e astronomia | 11 |
| Conclusões preliminares..... | 13 |
| Perfis de pesquisa dos países | 14 |
| A física nas instituições brasileiras | 17 |
| Os impactos e os diferentes papéis das colaborações da física no Brasil | 19 |
| Cenários diferentes de acordo com a base de dados: Web of Science versus Scopus | 22 |
| A física dentro e fora de seus departamentos e a interdisciplinaridade dos físicos | 24 |
| Pesquisa em ensino | 26 |
| A comunidade de física no Brasil: formação e distribuição de recursos humanos..... | 26 |
| Cursos de graduação em física no Brasil | 27 |
| Bacharelado e Licenciatura | 29 |
| Breve panorama da pós-graduação | 31 |
| Pós-graduação lato sensu em física..... | 32 |
| Os físicos no Brasil | 33 |
| A questão do pós-doutorado no Brasil..... | 35 |
| Breves conclusões finais..... | 36 |
| Referências | 37 |

Prefácio

A Sociedade Brasileira de Física tem a satisfação de apresentar nesse documento uma atualização de dados referentes à nossa comunidade, apresentados pela última vez em 2015. Esses dados são muito importantes para um melhor conhecimento sobre a nossa comunidade. Esse conhecimento permite recomendar ações no sentido de aperfeiçoar a atuação da SBF em vários setores.

Nossa comunidade é multifacetada e está organizada em doze Comissões de Área da SBF. Essas comissões e o número de membros está mostrada na tabela abaixo, retirado da base de dados dos sócios (adimplentes ou não) da SBF em junho de 2021.

| Síntese por Comissão Temática | | Total: 09836 | |
|-------------------------------|---|--------------|--------|
| Comissão | | Total | % |
| ATO | Física Atômica e Molecular | 708 | 7.198% |
| BIO | Física Biológica | 539 | 5.479% |
| FMC | Física da Matéria Condensada e de Materiais | 2368 | 24.07% |
| PTC | Física de Partículas e Campos | 1070 | 10.87% |
| PLA | Física de Plasmas | 211 | 2.145% |
| EST | Física Estatística e Computacional | 1089 | 11.07% |
| FMA | Física Matemática | 298 | 3.029% |
| MED | Física Médica | 470 | 4.778% |
| FEM | Física na Empresa | 149 | 1.514% |
| NUC | Física Nuclear e Aplicações | 646 | 6.567% |
| OTI | Ótica e Fotônica | 715 | 7.269% |
| PEF | Pesquisa em Ensino de Física | 1573 | 15.99% |

Esses números, apesar de trazerem alguma informação, são obviamente insuficientes para traçar um panorama mais geral. O mapeamento das atividades de pesquisa e ensino em Física no país e nossa inserção no panorama mundial, usando dados colhidos em várias fontes, são descritos nas páginas a seguir.

Queremos agradecer a Peter Schulz por ter aceito nosso pedido de realizar a atualização do seu documento anterior, mostrando a evolução ocorrida em cinco anos. O presente documento apresenta uma série de dados que certamente trarão subsídios para iniciativas futuras da SBF.

São Paulo, junho de 2021.



Rogerio Rosenfeld

Presidente

Sociedade Brasileira de Física

Preâmbulo

O presente mapeamento da atividade em Física no Brasil baseia-se na coleta e análise de dados em bases de dados como a Web of Science (WoS) e a Scopus, na análise dos dados do relatório técnico da Fundação Cesgranrio de 2019 (a partir dos dados do ENADE) e de dados e documentos da Sociedade Brasileira de Física (SBF) e da CAPES. Ao longo do relatório são apresentadas e discutidas as limitações dos dados disponíveis, principalmente para os indicadores de ensino e extensão, apontando claramente a necessidade de a SBF desenvolver iniciativas nesse sentido, centralizando dados das instituições de ensino e/ou pesquisa, e realizando surveys entre os associados, a exemplo da American Physical Society. Uma introdução histórica e o cenário anterior podem ser apreciados no relatório de 2016, elaborado em função do trigésimo aniversário da SBF¹.

O presente relatório introduz o problema da definição das atividades de pesquisa envolvendo a comunidade de física, bem como os desafios para o mapeamento dessa atividade a partir de seus resultados. Em seguida, para contextualizar a situação do Brasil, é apresentado um panorama global, sobre produção científica em física. Os indicadores referentes ao Brasil são comparados aos de outros países, levando-se em conta a produção científica e seu impacto ponderado, as características das colaborações e o perfil da atividade, quanto às diferentes subáreas.

Em seguida, são apresentados e discutidos os indicadores das principais instituições brasileiras em física, bem como a física fora dos departamentos de física e os movimentos interdisciplinares dos profissionais em física, buscando dar subsídios para entender melhor a atividade de pesquisa da comunidade.

O ensino de física, tanto na graduação, quanto na pós-graduação, é discutido em seguida, tendo em vista a menor disponibilidade de dados em comparação com os referentes à pesquisa (em particular sobre graduação). Complementando, percebe-se dificuldade maior no mapeamento da distribuição de físicos em atividades não ligadas às instituições de ensino (diferentes níveis) e/ou pesquisa não corporativas. A importância do papel de pós-doutores nos ambientes de ensino e pesquisa merece uma atenção mais específica.

Por fim, são apresentadas sugestões de discussões no âmbito da SBF.

Mapeamento das atividades de pesquisa

A partir dos dados e indicadores bibliométricos da WoS e Scopus, é possível mapear a evolução de um recorte da produção científica relacionada com a Física no Brasil, fazer avaliações comparativas com outros países nessa área do conhecimento, bem como mapear onde essa atividade ocorre com maior intensidade no nosso país. Esse procedimento, no entanto, precisa ser devidamente justificado, em função dos recortes de dados estabelecidos e a dinâmica da comunidade científica envolvida. Longe de números absolutos com suas inconsistências (que serão devidamente mencionadas e comentadas ao longo do relatório), os dados são úteis para perceber tendências e

¹ http://www.sbfisica.org.br/arquivos/SBF_50_anos_Fisica_em_numeros.pdf

correlações entre indicadores, podendo informar ações de políticas dos atores envolvidos, seja na forma de políticas públicas ou das associações da comunidade científica, como, no caso, a SBF.

O uso apenas de bases bibliográficas internacionais (como WoS e Scopus) em mapeamentos da atividade de pesquisa, embora tenha se tornado prática corrente em avaliações dentro e fora das comunidades científicas, é amplamente criticada por estudos quantitativos de ciência. Mugnaini e colaboradores (2019) destacam que:

“estudos bibliométricos precisam delinear um contexto mais amplo da produção científica nacional, iluminando espaços de discussão excluídos da chamada corrente principal. Esses esforços visam informar a política científica nacional ou quaisquer exercícios avaliativos que insistam em ignorar a ciência que não está presente nessas bases, se furtando de avaliá-la”.

No entanto, o amplo levantamento feito por esses autores junto à plataforma Lattes indica que, para a grande área de Ciências Exatas e da Terra, ao contrário de outras grandes áreas, 90% ou mais da produção científica é publicada em periódicos indexados, justificando o procedimento adotado para esse relatório.

O que é a física? Problemas de indexação e a necessidade de grandes números.

Dados e indicadores de produção científica são normalmente selecionados por áreas e categorias de pesquisa nas bases de dados, permitindo buscas gerais, para, posteriormente, aplicar filtros de endereços, instituições, autores, fontes, etc. Essas áreas e categorias referem-se às fontes (periódicos e outras) em que os documentos (artigos, artigos de revisão, anais de congresso, capítulos de livros, livros) são publicados. Essas fontes são indexadas a áreas, sendo que periódicos podem ser indexados a mais de uma área. Além disso, essa indexação é diferente em cada base de dados. Na WoS Física é separado de Astronomia e Astrofísica, enquanto na Scopus essas áreas estão integradas numa categoria geral. A tabela abaixo mostra as diferenças de classificação e agrupamento entre a WoS e a Scopus

| Categorias WoS (Physics) | Áreas Scopus (Physics and Astronomy) |
|-----------------------------------|--|
| Physics Applied | Acoustics and Ultrasonics |
| Physics Atomic Molecular Chemical | Astronomy and Astrophysics |
| Physics Condensed Matter | Atomic and Molecular Physics, and Optics |
| Physics Fluids and Plasmas | Condensed Matter Physics |
| Physics Mathematical | General Physics and Astronomy |
| Physics Multidisciplinary | Instrumentation |
| Physics Nuclear | Nuclear and High Energy Physics |
| Physics Particle and Fields | Physics and Astronomy (miscellaneous) |
| | Radiation |
| | Statistical and Nonlinear Physics |
| | Surfaces and Interfaces |

Tabela 1: classificação de áreas na WoS and Scopus

Algumas dessas categorias são evidentes: “Physics Mutidisciplinary” na WoS e “General Physics and Astronomy” enquadram, por exemplo, a Physical Review Letters ou Physics Letters. No entanto, revistas canônicas como as diferentes “Physical Reviews” já tem indexação menos clara. A “Physical Review A”, que cobre física atômica, molecular e óptica e informação quântica está na WoS como “Physics Atomic Molecular Chemical”. Essa base resolve o problema indexando a PRA também na categoria separada “Optics”, que, no entanto, inclui revistas que não são necessariamente próximas à Física. A PRE, dedicada a física estatística, não-linear e biológica e de matéria mole aparece na WoS sob Física Matemática e Física de Fluidos e Plasmas, enquanto na Scopus aparece como física da matéria condensada e física estatística e não-linear. Em resumo, as classificações dos periódicos nas bases de dados apresentam ambiguidades entre si, bem como com as dos editores das próprias revistas. Um outro exemplo significativo é a revista “Sensors and Actuators”, que está indexada na WoS nas categorias Engenharia Elétrica e Eletrônica e Instrumentos e Instrumentação, enquanto na Scopus está sob Física da Matéria Consensada e, obviamente, Instrumentação, que em si é uma área englobada à Física (mas não na WoS!)².

Esses problemas de indexação tornam inviáveis chegar a números absolutos, para a atividade das instituições e membros da comunidade voltada à Física através de buscas de áreas, sendo que algumas dessas limitações serão detalhadas ao longo do relatório. O detalhamento mais preciso necessitaria a busca de publicações por organizações com endereços consolidados nas bases (o que nem sempre ocorre, nem mesmo na WoS), bem como por sub-organizações (Institutos, faculdades e departamentos), que ainda é bastante imprecisa nas bases de dados. Esse aspecto é particularmente importante para a busca da produção científica associada à Física, mas realizada em instituições ou departamentos de outras áreas, desde Engenharia Elétrica até Agronomia e Medicina.

Apesar disso, quando os indicadores gerais de produção em uma dada categoria são expressivos, as ambiguidades mencionadas tendem a ter relevância suprimida na construção de panoramas, mapeamentos e avaliações comparativas da atividade de pesquisa relacionadas a uma área do conhecimento, no caso a Física. Em que pese a cobertura de periódicos maior na base Scopus, também serão apresentados resultados importantes obtidos a partir da WoS e da Scielo.

Além disso, as ambiguidades e imprecisões das bases são úteis para perceber os deslocamentos interdisciplinares da física, como em alguns estudos de caso apontados ao longo do relatório.

Panorama mundial da produção científica em Física e Astronomia

A produção de documentos (artigos, anais de conferência, artigos de revisão, entre outros) na área de Física e Astronomia apresenta mudanças importantes nos últimos anos com mudanças na liderança mundial. A figura 1 apresenta a evolução anual de documentos indexados dos 10 países com maior produção acumulada no período 2010 a 2019 (nessa lista o Brasil ocupa o 16º lugar). É importante observar que os números apresentados se referem a artigos com pelo menos um coautor com um endereço institucional do país selecionado.

² As classificações de periódicos em diferentes áreas obedecem a critérios históricos, sendo que no caso da Scopus é plausível que as classificações sejam influenciadas pela editora Elsevier, responsável pela base Scopus.

Observa-se na figura 1 a estabilidade, ou mesmo diminuição, no número de artigos publicados por parte dos países europeus, EUA e Japão, enquanto a produção da Índia, Rússia e, principalmente a China, aumentaram expressivamente nos últimos anos. A China, vindo de um patamar relativamente baixo no final do século passado, ultrapassou os EUA no início da segunda década desse século, com a diferença se acentuando continuamente. Mais recentemente, Índia e Rússia também ultrapassaram os principais países europeus e o Japão.

É importante observar que o impacto das publicações desses países ainda se apresenta modesto, mas com tendência de alta importante, junto com outros países emergentes em pesquisa científica.

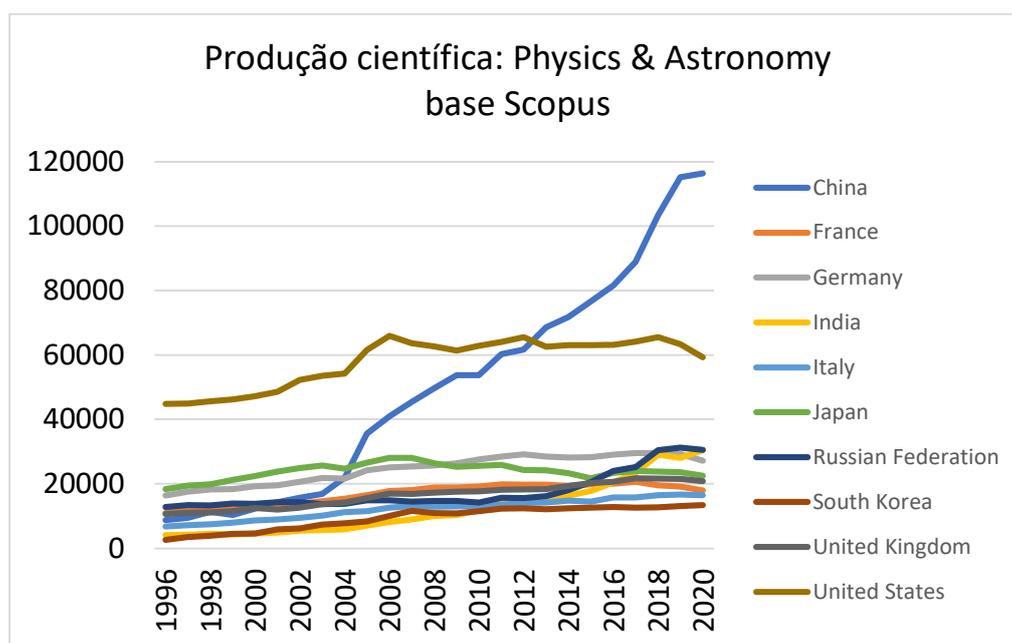


Figura 1 – Evolução da produção científica em Física e Astronomia dos 10 países mais produtivos (base Scopus)

O Brasil no mundo

O Brasil apresenta uma produção científica em Física e Astronomia crescente desde meados da década de 1970, impulsionada inicialmente pelo primeiro programa de pós-graduação (Schulz, 2016), tornando-se expressiva nas últimas décadas. A Figura 2 apresenta a evolução da produção científica do Brasil na área em comparação com outros países, que merecem nossa atenção. Os países latino-americanos representados juntos com o Brasil, são aqueles que no último decênio estão entre os países com uma produção de pelo menos 1000 documentos anuais: México, Argentina, Chile e Colômbia. São destacados também Coreia do Sul, Taiwan e Espanha, que apresentavam indicadores de produção muito parecidos com os do Brasil até o início da década de 1980 (Manganote, Schulz &

Brito Cruz, 2016). Em complemento, destacamos mais dois países emergentes de importância crescente em contextos diferentes: Singapura e Irã.

O Brasil continua sendo o líder destacado em produção científica na área no cenário latino-americano. Observa-se também que os acentuados cortes no financiamento da pesquisa nos últimos cinco anos ainda não se refletem nos indicadores de produção científica brasileiros em Física e Astronomia. Embora seja previsível o atraso desse feito, é necessária uma análise mais profunda do que esses indicadores de fato mostram sobre a realidade da comunidade científica de cada país.

Em relação à Coreia do Sul, Espanha e Taiwan, observa-se que os dois primeiros, notadamente a Coreia, suplantaram amplamente o Brasil em produção científica em Física e Astronomia, apesar dos indicadores equivalentes em 1980. Por outro lado, o desenvolvimento da produção em Taiwan, sempre comparável ao do Brasil, apresenta um declínio nos últimos anos. Singapura apresenta um aumento mais lento e a partir de uma base mais modesta, mas aparece aqui para fins de discussão futura dos impactos da produção científica de diferentes países. Por fim, em uma escala de produção ainda modesta, quando comparado com a Índia e Rússia, merece destaque o aumento notável das contribuições do Irã nos últimos 15 anos. Em 2000, a produção iraniana era uma ordem de grandeza menor que a brasileira, mas suplantou o Brasil em 2015. Em escala menor no gráfico, a Colômbia decuplicou sua produção de documentos indexados nesses últimos 15 anos.

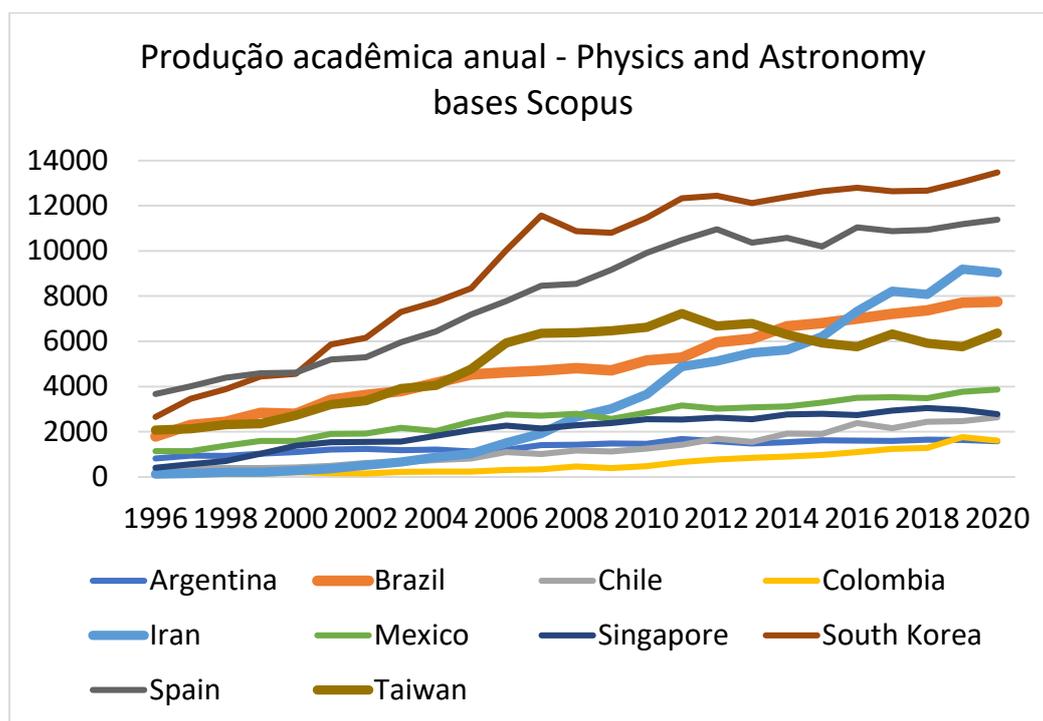


Figura 2 – Evolução da produção científica brasileira comparada a de outros países (base Scopus)

Panorama geral do impacto da produção científica em física e astronomia.

O principal indicador bibliométrico para avaliação e monitoramento da pesquisa foi o de número de artigos publicados. A partir do final do século XX e, principalmente, com o advento dos rankings globais de universidades, indicadores baseados no número de citações aos artigos publicados. No início desse movimento, citações eram tomadas como aproximação para indicador de qualidade. Com o passar do tempo, citações foram mais apropriadamente interpretadas como indicadores de impacto e aos poucos suas métricas foram sendo aperfeiçoadas, levando em conta fatores como as diferenças nas culturas de citação entre as diferentes áreas do conhecimento. A interpretação de métricas, tanto de produção, quanto de impacto, e seus problemas são amplamente discutidas em estudos quantitativos de ciência (Leydesdorff, Wouters & Bornmann, 2016). Apesar desses problemas, novas métricas trazem informações relevantes para compor panoramas e diagnósticos da produção científica. Nesse contexto, são particularmente úteis as medidas de impacto ponderado por áreas e subáreas do conhecimento (citações em ciências da saúde são mais numerosas do que em matemática, por exemplo) e ano de publicação (publicações mais recentes têm menos citações do que as acumuladas por artigos mais antigos). Um exemplo são as médias de citações ponderadas providas pelo CWTS (Center for Science and Technology Studies) para os artigos indexados na WoS, que permitem uma melhor contextualização do impacto de artigos científicos (Silva, Schulz & Noyons, 2019). A plataforma Scival, baseada na base Scopus, fornece o impacto ponderado por área (Field Weighted Citation Impact), que é a razão das citações recebidas relativas à média mundial esperada para a área e ano de publicação. A média mundial é normalizada a 1,00. Uma observação importante da própria plataforma é que para países ou instituições com baixa produção acadêmica, um pequeno número de publicações altamente citadas pode distorcer favoravelmente o indicador (Schulz, 2020). A figura 3 apresenta a evolução do impacto ponderado em física e astronomia dos mesmos 10 países da figura 1. É curiosa a diminuição do impacto das publicações com participação dos EUA, que para o início do século apresentavam um impacto 60% acima da média mundial e mais recentemente essa média caiu para cerca de 40% acima da média mundial. O Japão, sempre próximo à média mundial, também apresenta uma queda de impacto, assim como a França. Por outro lado, países como Rússia, Índia, e principalmente China, apresentam um sistemático aumento de impacto ponderado no período ilustrado.

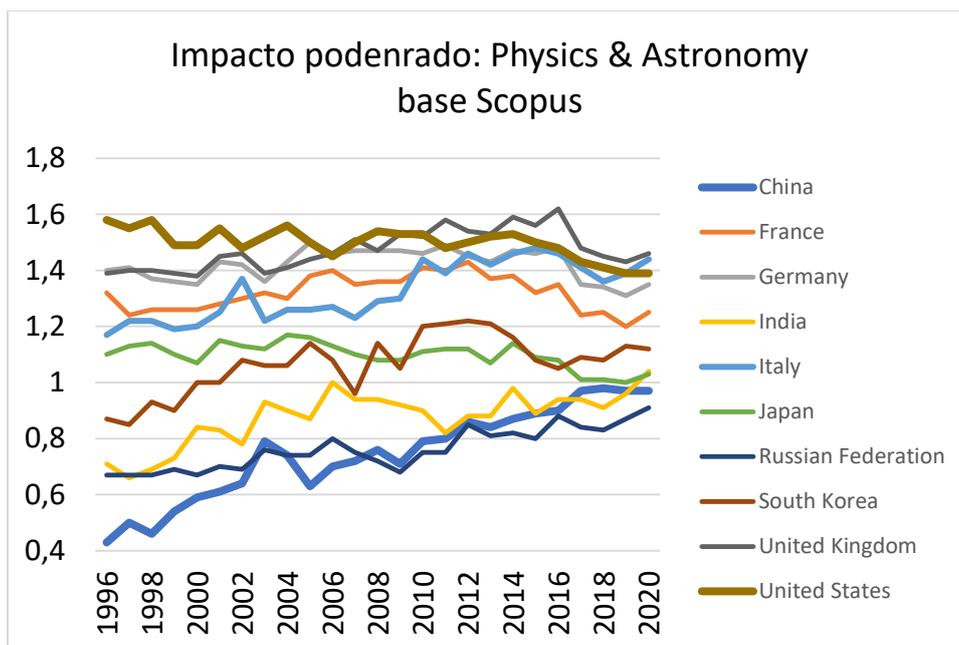


Figura 3 – Impacto ponderado das publicações em física e astronomia dos 10 países com maior produção científica na área (base Scopus)

A figura 3, considerando a figura 1, evidencia um dos problemas dessa métrica, pois a China, por exemplo, com seu impressionante aumento de produção científica, influencia fortemente o próprio cálculo da média mundial de impacto.

O impacto agregado da produção científica brasileira

Na figura 4, são apresentados os impactos ponderados da produção com participação brasileira em comparação com o mesmo grupo de países com as produções científicas apresentadas na figura 2. De um modo geral, os artigos com participação brasileira apresentam um discreto aumento de impacto ponderado ao longo do período, ultrapassando discretamente a média mundial nos últimos anos. Esse impacto é similar aos da Coreia do Sul, Taiwan e México. Por outro lado, o impacto ponderado do Irã aumentou de forma sistemática e surpreendente nos últimos anos, ultrapassando, por exemplo, o dos EUA. Esse é um primeiro alerta em relação a essas métricas. O efeito de um pequeno número de publicações altamente citadas, em um conjunto de baixa produção científica, pode ser observado para o caso colombiano³, que para o ano de 2013 apresenta o incrível impacto ponderado de 2,36 (136% acima da média mundial). Outro exemplo é o caso chileno, sistematicamente apresentando um impacto acima significativamente acima da média mundial em virtude do grande peso em astronomia no total da produção científica, com publicações de alto impacto devido às colaborações envolvendo os grandes observatórios internacionais localizados naquele país (Silva & Schulz, 2018).

³ A produção científica em F&A com endereços colombianos agrega 10 mil documentos no período 2010-2019, um sexto do conjunto brasileiro de 65 mil publicações no mesmo período.

O caso de Singapura é distinto, sua produção científica é significativamente maior do que a chilena, colombiana e argentina e o comportamento do impacto ponderado ao longo do tempo é bem mais regular e com flutuações anuais pequenas.

Esse conjunto de dados sugere que medidas de impacto precisam ser cuidadosamente contextualizados com o objetivo de construir diagnósticos e estabelecer comparações, que informem políticas de CT&I, bem como avaliações. Um dos principais aspectos a ser considerados relacionam-se aos tipos de colaborações e participações nas mesmas.

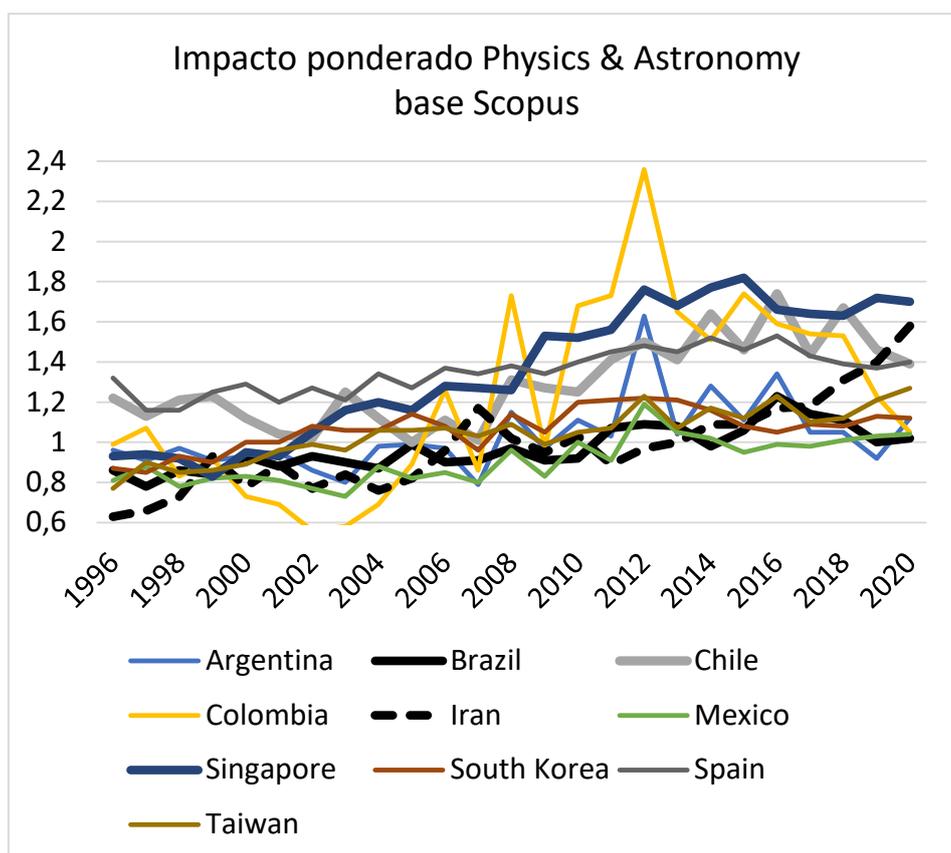


Figura 4 – Impacto ponderado das publicações em física e astronomia do Brasil e os países representados na figura 2 (base Scopus).

Dentro do cenário brasileiro, o impacto ponderado na área de física e astronomia é sistematicamente maior do que a média considerando todas as áreas, de acordo com a classificação da Scopus, figura 5. O impacto da produção científica com autores afiliados a instituições brasileiras vem aumentando sistematicamente e, no caso de física e astronomia coloca-se acima da média mundial na última década (é preciso, no entanto, considerar o efeito da participação em grandes colaborações nesses valores).

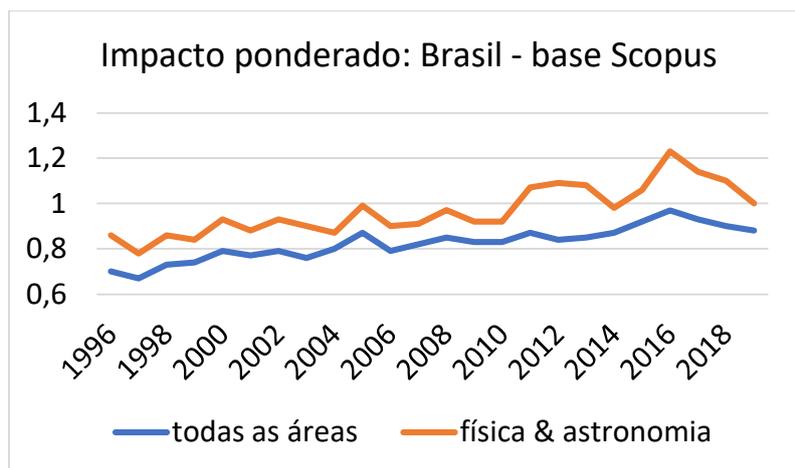


Figura 5 – impacto ponderado da área de física e astronomia, comparada com o impacto médio considerando todas as áreas de conhecimento, para o Brasil -base Scopus

Panorama das colaborações em física e astronomia

Colaborações são essenciais na pesquisa em todas as áreas do conhecimento, mas instituições e países têm culturas de colaboração diferentes, privilegiando diferentes tipos de colaboração (internacionais, nacionais, intra-institucionais), dependendo de contextos geopolíticos. Diferentes tipos de colaboração podem ter diferentes objetivos (pesquisa de fronteira ou “catch up”, formação profissional, transferência de competências, utilização de grandes instalações de pesquisa) e a participação nas colaborações podem ainda ser centrais ou periféricas (como nas grandes colaborações experimentais em física de altas energias). Assim, um detalhamento do panorama das colaborações pode ser de grande relevância no entendimento do papel e desempenho de uma comunidade científica.

De um modo geral, os indicadores sugerem uma correlação entre colaboração internacional e impacto das produções científicas resultantes e grandes diferenças entre os sistemas nacionais de pesquisa. Na figura 6 estão representados os indicadores de impacto ponderado e percentual de colaboração internacional das respectivas produções científicas dos 10 países mais produtivos das figuras 1 e 3. Essa amostragem apresenta uma correlação entre os dois indicadores, mas diferentes agrupamentos. Os países mais colaborativos internacionalmente são os europeus, que pode ser característica desse espaço geopolítico. O conjunto desses países apresentam uma rede de instituições intensivas de pesquisa apenas comparável com o estadunidense. O extenso parque de instituições intensivas em pesquisa nos EUA provavelmente favoreça mais as colaborações apenas nacionais, hipótese para o menor percentual norte americano comparado com os percentuais de colaboração internacional de países europeus. Países afastados apresentam uma participação internacional significativamente menor, sendo a China o país mais fechado. É importante ter em mente que o percentual de colaboração internacional nesse recorte de países não ultrapassa a marca de 66% da produção científica em física e astronomia. Percentuais ainda maiores não são necessariamente um indicador positivo do sistema de pesquisa de um país.

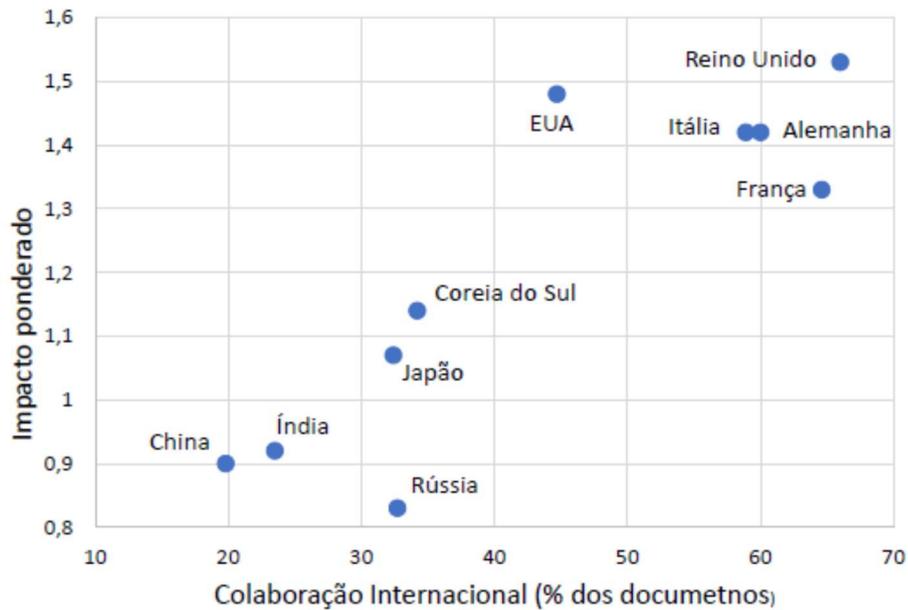


Figura 6- Impacto em função de colaboração internacional para os 10 países das figuras 1 e 3
(Física e astronomia, base Scopus) (2010-2019)

Na figura 7 observa-se que o Brasil apresenta ao longo do tempo uma estabilidade do grau de internacionalização medido pelo percentual de colaborações internacionais, com uma tendência de aumento nos últimos dez anos. Esse grau de internacionalização é significativamente maior do que o da Coreia do Sul e de Taiwan na maior parte do período. No entanto, seria interessante entender o movimento de internacionalização recente de Taiwan. Nota-se o aumento sistemático das colaborações internacionais de Singapura, que como já se viu, apresenta o mesmo aumento sistemático de seu impacto ponderado no mesmo período. Por outro lado, o elevado patamar de colaboração internacional do Chile (85%) pode propiciar altos níveis de impacto de sua produção científica, mas também uma exagerada dependência de seu sistema nacional de pesquisa de (talvez também no caso colombiano) grandes colaborações internacionais.

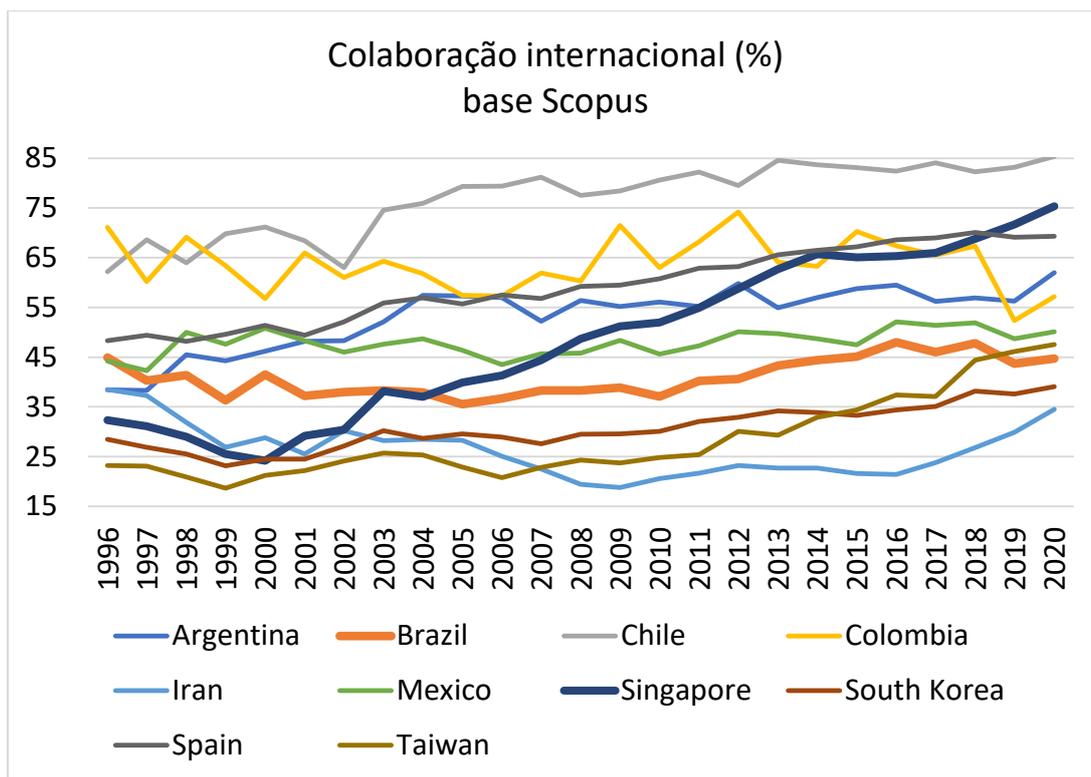


Figura 7 – Evolução da colaboração internacional do Brasil e dos outros países representados nas figuras 2 e 4.

Conclusões preliminares

Os indicadores bibliométricos precisam ser apreciados com cautela e não tomados pelos seus valores de face. No entanto, algumas tendências podem ser observadas de forma consistente e percepções podem ser construídas. A produção científica brasileira em física e astronomia continua sendo, por ampla margem, a maior da América Latina. A crise de financiamento de pesquisa nos últimos cinco anos, ainda não apresenta reflexos na produção indexada internacionalmente. Será importante observar os próximos anos para entender como esses indicadores podem ajudar na construção de diagnósticos.

É igualmente importante discutir as mudanças recentes do cenário internacional de pesquisa na área e a evolução de diferentes países em distintos contextos e entender suas políticas de ciência e tecnologia comparada com a nossa, em que pesquisa é fortemente vinculada à formação de recursos humanos na pós-graduação. É necessário entender também os diferentes aspectos e propósitos das colaborações internacionais e nacionais.

Impactos altos podem ser enviesados por baixas produções acadêmicas ou altas concentrações em uma área específica. Assim, é importante observar as séries históricas e as flutuações nos indicadores.

Alguns desses aspectos podem ser aprofundados na análise no âmbito das instituições de pesquisa do país e das subáreas, como no próximo capítulo.

Perfis de pesquisa dos países

Uma análise importante de dados bibliométricos são os perfis de pesquisa dos países, que revelam suas diferentes tradições acadêmicas, bem como conexões com os contextos sociais e econômicos, independentemente do volume ou impacto da produção científica (Schulz & Manganote, 2012). O perfil da distribuição dos esforços de pesquisa de um dado país pode ser aproximado pela distribuição das publicações indexadas dentro das diferentes categorias e áreas, lembrando que a WoS ou a Scopus podem representar apenas um recorte, uma parte, do empreendimento científico como um todo. Como mencionado, no caso de física e astronomia essa ressalva não é tão crítica (Mugnaini e colaboradores, 2019).

A análise de como o esforço de pesquisa é distribuído entre as subáreas da física e astronomia ajuda-nos a entender as comunidades científicas nos diferentes países, suas prioridades, bem como os impactos por citações. As subáreas de física e astronomia da Scopus, tabela 1, são em sua maioria autoexplicativas, salvo “física e astronomia gerais” e “física e astronomia (miscelânea)”. A primeira engloba periódicos multiáreas, como a Physical Review Letters, de alto impacto em geral, mas também a Revista Brasileira de Ensino de Física (também indexada na área de educação). A miscelânea inclui, por exemplo, a Applied Physics Letters, pois, de fato, é um periódico que publica artigos de diferentes subáreas (matéria condensada, atômica, molecular & óptica, instrumentação, superfícies e interfaces). Desse modo, artigos de matéria condensada podem estar em revistas classificadas, tanto em matéria condensada, quanto na área geral ou na miscelânea (bem como, eventualmente, em instrumentação ou superfícies e interfaces).

Os perfis de pesquisa, no entanto, não se referem a números absolutos, cujos significados e obtenção são elusivos. A hipótese subjacente é de que o conjunto de publicações em revistas classificadas em uma determinada subárea é representativa para essa subárea. A figura 8 apresenta o perfil do Brasil e de outros nove países do total de outros 19 representados nas figuras 1 e 2, considerando a produção científica agregada dos anos entre 2010 a 2019. Os perfis são apresentados em ordem decrescente dos percentuais para cada subárea do caso brasileiro (linha preta grossa). As flutuações para cima(baixo) significam concentrações maiores(menores) da produção proporcional de diferentes países em relação ao caso brasileiro. Observa-se que a liderança em quase todos os países e de matéria condensada (salvo Chile e Colômbia), variando entre 44% do total de artigos com endereços sul-coreanos e 32% do total de artigos com endereços dos EUA.

Salvo oscilações menores, o perfil brasileiro é parecido com o de grande parte dos países. Mais interessante é observar as flutuações mais pronunciadas, não só em relação ao Brasil, mas também em relação a outros países. Entre os perfis peculiares, o que mais chama a atenção é o chileno, com uma concentração superior a 45% da produção científica total do país em astronomia e astrofísica, com grande impacto no impacto ponderado daquele país. Notável também é o caso colombiano, cuja proporção em nuclear e altas energias é significativamente maior em relação a todos os outros países.

Deve ser mencionada também, a concentração da Índia e da China (e, menos pronunciado, da Coreia do Sul) em instrumentação, bem superior à de outros países. Menos evidente na escala da figura,

observa-se uma participação bem superior em física estatística e não linear nos perfis brasileiro e argentino, quando comparado a de outros países, provavelmente característica das tradições acadêmicas locais.

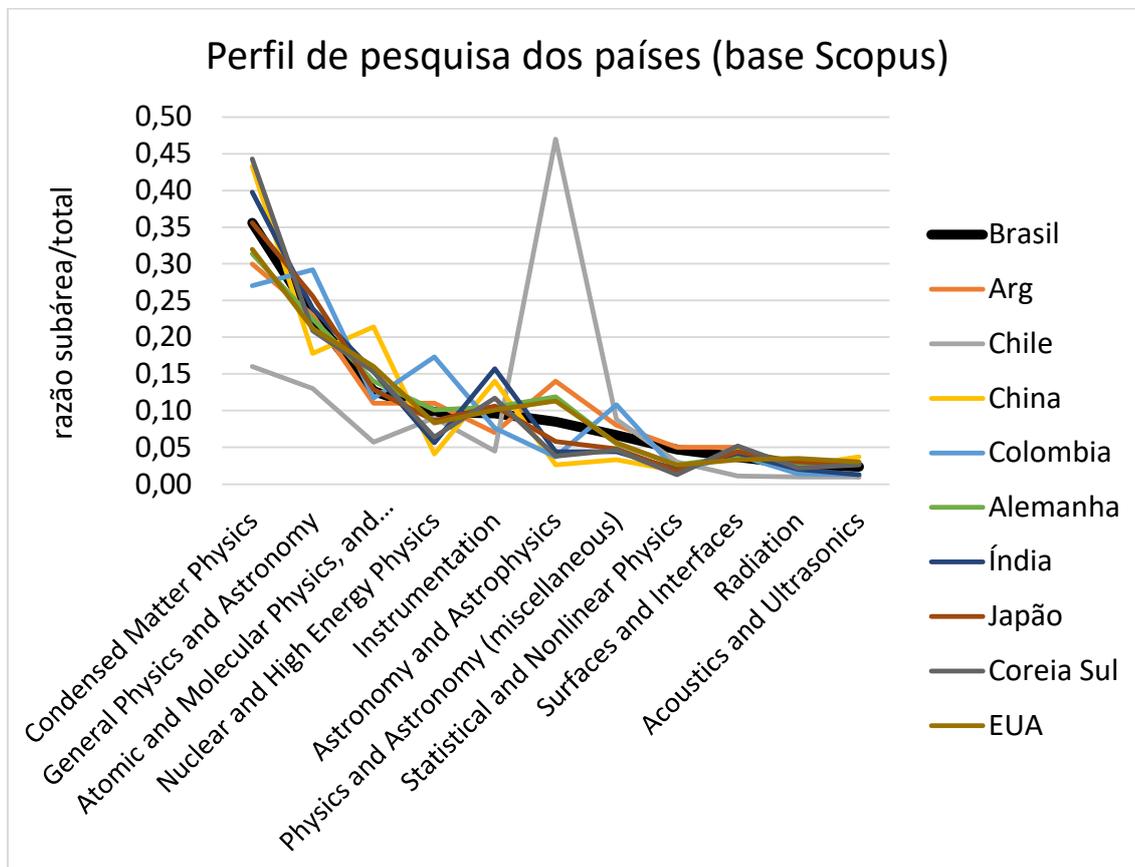


Figura 8 – perfis de pesquisa de diferentes países em subáreas de física & astronomia em comparação com o Brasil. (Produção agregada: 2010-2019)

As diferentes subáreas apresentam comportamento dinâmico ao longo dos anos e o perfil agregado da figura 8 não mostra essa evolução. A figura 9 mostra a evolução anual da publicação nas seis subáreas de periódicos mais frequentes para o Brasil no quadro agregado. Observa-se o notável avanço de instrumentação nos últimos anos, mudando o perfil de pesquisa dos últimos dois anos consideravelmente, considerando um aumento bem mais lento (diminuição em nuclear e altas energias) nas outras subáreas.

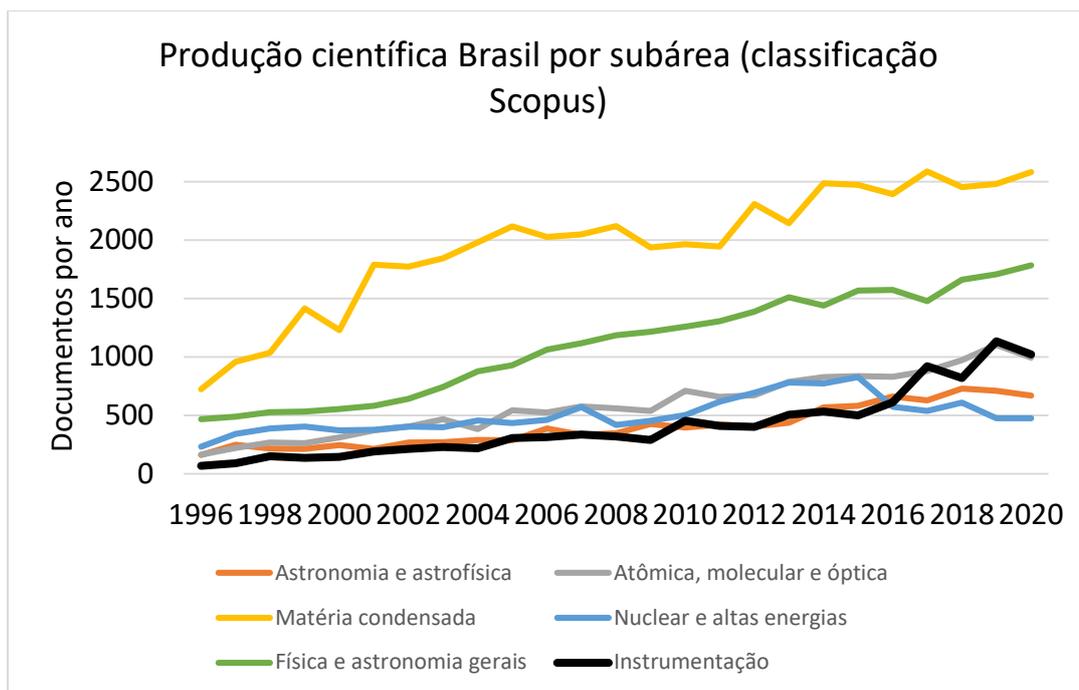


Figura 9 – evolução temporal das publicações em seis subáreas de física e astronomia na base Scopus, com mudança no perfil de pesquisa.

A figura 9 e a tabela 2 mostram uma correspondência parcial entre a produção científica por subáreas, segundo a Scopus, e o número de associados da SBF, de acordo com suas áreas. Cerca de um quarto dos associados estão na área de Matéria Condensada e Materiais, seguido de Pesquisa em Ensino de Física (14,6%), Física Estatística e Computacional (11,5%), Física de Partículas e Campos (11,2%) e Física Atômica e Molecular. Nota-se que a participação dominante na produção científica em matéria condensada se correlaciona com o maior número de físicos nessa área no Brasil. Semelhante correspondência, entre produção e número de associados, é vislumbrada para física atômica e molecular. No entanto, as diferenças de classificação das áreas e diferenças entre práticas de publicação, não permitem projeções semelhantes para as outras áreas. A diferença nas práticas de publicação é a provável razão pela sub-representação da área de ensino de Física (ver texto específico abaixo).

| Área | Número de Associados | Porcentagem |
|---|----------------------|-------------|
| Física Atômica e Molecular | 618 | 7,3% |
| Física Biológica | 489 | 5,8% |
| Física da Matéria Condensada e de Materiais | 2184 | 25,7% |
| Física de Partículas e Campos | 954 | 11,2% |
| Física de Plasmas | 191 | 2,2% |
| Física Estatística e Computacional | 978 | 11,5% |
| Física Matemática | 160 | 1,9% |
| Física Médica | 414 | 4,9% |
| Física na Empresa | 73 | 0,9% |
| Física Nuclear e Aplicações | 567 | 6,7% |
| Ótica e Fotônica | 629 | 7,4% |
| Pesquisa em Ensino de Física | 1240 | 14,6% |

Tabela 1 – Número de associados em cada uma das áreas da SBF. Fonte: SBF.

Tabela 2 – Associados da SBF por áreas. Relatório da Comissão de Física da Matéria Condensada e Materiais: <http://www.sbfisica.org.br/v1/home/images/comissoes-de-area/FMC-2019.pdf>

A física nas instituições brasileiras

O levantamento das publicações da área de física e astronomia na base Scopus com a participação de instituições brasileiras, entre 2010 e 2019, aponta 30 instituições com pelo menos 1000 documentos publicados nesse período, de um total de 267 instituições com pelo menos um artigo em algum periódico de alguma subárea correspondente. Como a indexação é pela classificação em áreas dos periódicos, produções mais baixas apresentam ambiguidades, como, por exemplo, a Fiocruz Amazônia, para a qual se registra um artigo em uma revista classificada em acústica e ultrassônica, uma das subáreas de física e astronomia, mas que é multiárea. É o caso desse único artigo, pouco relacionado à física.

Na Figura 10 é apresentada a evolução temporal, a partir de 1996, das 20 instituições brasileiras com maior produção científica em física e astronomia, segundo a classificação Scopus, no período 2010-2019. Dessas instituições, 17 são universidades públicas e a lista é completada por dois institutos de pesquisa públicos (CBPF e INPE) e uma universidade confessional (PUC-Rio). Os números no gráfico referem-se às instituições como um todo e não aos institutos ou departamentos de física nessas instituições. Parte apreciável da produção não está associada apenas aos respectivos institutos de física, como será analisado mais adiante em alguns estudos de caso. Além disso, a liderança da USP corresponde à soma dos diferentes campi, notadamente São Paulo (Butantã) e São Carlos.

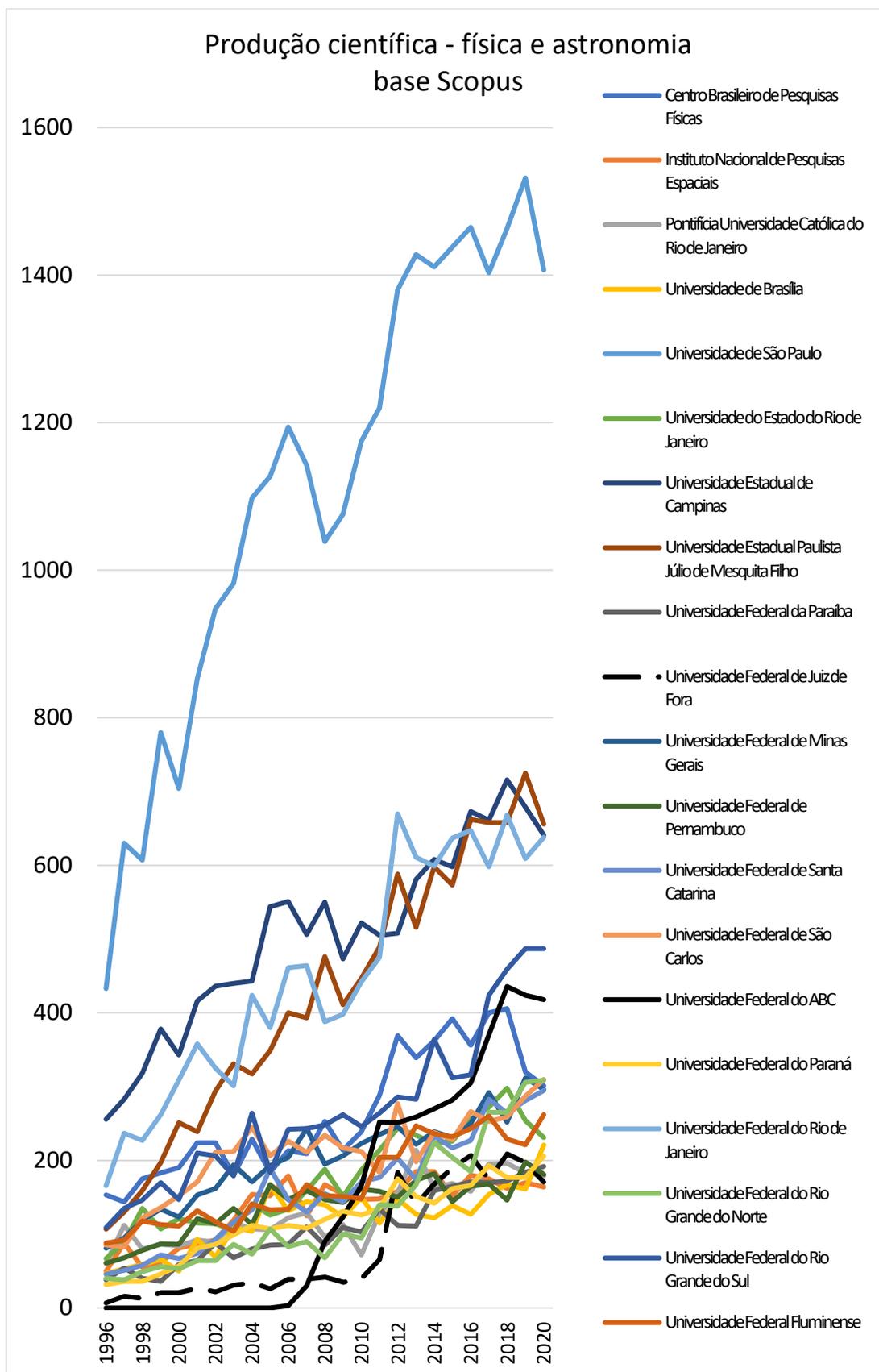


Figura 10 – Evolução da produção científica classificada como física e astronomia das 12 principais instituições brasileiras na área (base Scopus).

A figura 10, mesmo considerando as observações acima, revela informações relevantes. Uma observação adicional é que as flutuações ano a ano são esperadas pela própria dinâmica do desenvolvimento de pesquisas entre o seu início e registro da produção resultante. Com isso em mente, o cenário delineado pelos dados dos anos mais recentes, revela grupos distintos de instituições no que tange à produção. A USP isola-se na liderança, seguida de um segundo grupo de três universidades (UFRJ, Unesp e Unicamp). A seguir, um segundo grupo de três instituições (CBPF, UFABC e UFRGS), seguido por um terceiro grupo de cinco universidades (UERJ, UFF, UFRN, UFSC e UFSCar).

Os dados revelam que essas 20 instituições representadas na figura 9, embora concentradas na região sudeste (13, em três estados: MG, RJ e SP), as instituições líderes em pesquisa em física e astronomia espalham-se pela região Sul (3, uma em cada estado), nordeste (3, em três estados) e centro-oeste (1).

O panorama da figura 10 é incompleto, pois o corte no ranking omite algumas informações relevantes, resumidas a seguir. Além do CBPF e INPE, aparecem também, entre as 50 maiores instituições brasileiras em física e astronomia, outros sete institutos de pesquisa: IPEN, ITA, Observatório Nacional, CNPEM, Inmetro, CNEM e IME. A lista é completada por outras universidades (públicas) em outros estados (como a UFC) e regiões (a UFPA na região norte). Na posição 58 dessa lista aparece a segunda universidade privada depois da PUCRJ: a Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Destacada no gráfico temos a UFABC, que apresenta dois saltos de produção, o primeiro quando de sua implantação em 2005, e o segundo com o início de sua participação em grandes colaborações internacionais em física de altas energias. São participações nessas colaborações as responsáveis também pelo notável salto nos indicadores da UFJF a partir de 2010, colocando-a rapidamente entre as 20 maiores em produção científica de acordo com a métrica utilizada. No entanto, o peso dessas grandes colaborações na produção e impacto de algumas instituições merecerão atenção especial mais abaixo.

É importante observar ainda que artigos em colaboração são computados para todas as instituições envolvidas.

Os impactos e os diferentes papéis das colaborações da física no Brasil

A análise do impacto da produção científica em física e astronomia deve ser considerada em associação com as colaborações entre as instituições para melhor entender nossa atividade de pesquisa para apoiá-la e promovê-la através de políticas públicas ou ações de associações com a SBF.

Como observam Sidone, Haddad e Mena-Chalco (2016), “a recente evolução da ciência brasileira é caracterizada pelo crescimento acelerado da produção científica e pela intensificação da colaboração entre seus pesquisadores”. O crescimento da produção científica em física e astronomia está bem caracterizado nos dados expostos acima, ainda que o crescimento talvez tenha se desacelerado. Os autores desse trabalho de 2016 destacam a concentração da atividade de pesquisa na região sudeste e apontam a importância das colaborações, pois “no âmbito do sistema científico, é imprescindível

fomentar a difusão da reconhecida excelência dos grandes centros urbanos do Sudeste para centros menos privilegiados de outras regiões”. “Além disso, é preciso associar o crescimento da atividade científica ao incremento de sua qualidade”.

A colaboração internacional do Brasil, visto a partir de indicadores agregados, encontra-se em nível intermediário em relação a outros países, no entanto apresenta distorções institucionais. O impacto da produção das principais instituições brasileiras é fortemente correlacionado com a colaboração internacional, ainda que vieses importantes, quanto ao tipo de colaboração internacional, existam e devem ser levadas em conta nas discussões de avaliação e propostas de políticas científicas.

Há ainda mais a ser feito com as colaborações nacionais no sentido proposto por Sidone, Haddad e Mena-Chalco (2016) e a análise mais aprofundada dos dados da base Scopus, através das ferramentas da plataforma Scival, corroboram essa hipótese. A tabela 3, propõe a comparação dos impactos ponderados em função dos tipos de colaboração envolvidos na produção, entre Brasil e Alemanha, com impactos ponderados (2010-2019) gerais de 1,42 e 1,07, respectivamente.

| | Alemanha | Brasil |
|--|--------------|--------------|
| Colaboração internacional (% do total da produção/impacto ponderado dessa produção) | 60% / 1,61 | 44% / 1,61 |
| Colaboração apenas nacional (% do total da produção/impacto ponderado dessa produção) | 13,9% / 1,27 | 28,6% / 0,67 |
| Colaboração apenas institucional (% do total da produção/impacto ponderado dessa produção) | 20 % / 1,14 | 22,8% / 0,65 |

Tabela 3 – Comparação entre Brasil e Alemanha das proporções de diferentes tipos de colaborações e os respectivos impactos resultantes. (base Scopus 2010-2019) Não estão incluídos os dados restantes relacionados às autorias únicas.

Os dados sugerem que há espaço para aumentar as colaborações internacionais, mas são as nacionais e institucionais que merecem mais atenção. O impacto dos documentos científicos com participação brasileira em colaborações internacionais é equivalente ao do caso alemão. No entanto, o impacto das colaborações locais alemãs é o dobro da dos equivalentes brasileiros. É imperativo discutir o papel das colaborações nacionais e locais no desenvolvimento da física no Brasil, do papel da pós-graduação e das agências de fomento. É importante mencionar ainda que, o impacto das colaborações internacionais brasileiras é fortemente enviesado para cima pelo grande número de grandes colaborações em altas energias, nas quais os pesquisadores brasileiros assumem, muitas vezes, apenas papéis periféricos (Manganote, Schulz & Brito Cruz, 2016).

O detalhamento do cenário nacional, quanto aos tipos de colaboração, é feito para as 10 instituições com maior produção no período 2010-2019 na base Scopus. A figura 11, mostra a distribuição da produção científica dessas 10 instituições quanto ao tipo de colaboração, dispostas em ordem crescente de colaboração internacional. Observa-se que oito delas apresentam percentuais de

colaboração internacional acima da média nacional em torno de 45%, chegando o CBPF a 80% de sua produção total em colaborações internacionais.

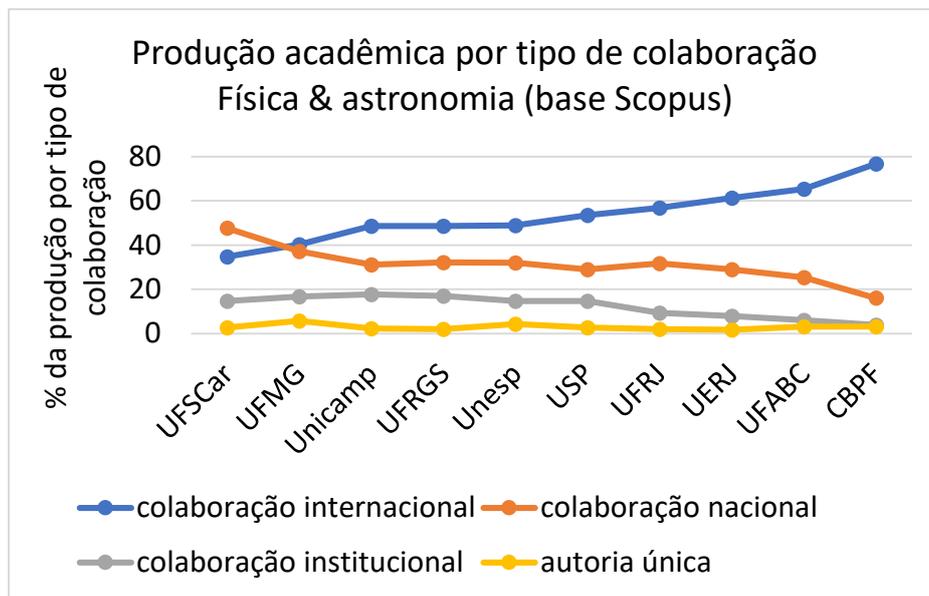


Figura 11 – Distribuição da produção de instituições de pesquisa brasileiras em física e astronomia de acordo com o tipo de colaboração.

A figura 12 apresenta os impactos ponderados por tipo de colaboração envolvida na produção em ordem crescente de impacto devido às colaborações internacionais.

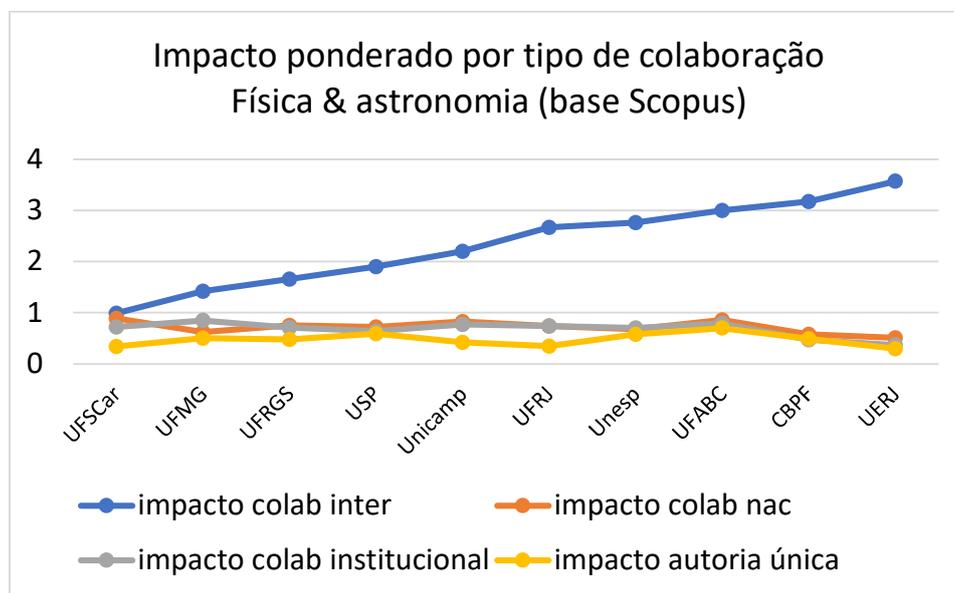


Figura 12 – impacto ponderado em função do tipo de colaboração envolvida na produção.

Observa-se que todas as instituições representadas na figura 12 apresentam impacto ponderado acima da média mundial (=1), com valores surpreendentemente elevados (acima de 2,5) para cinco delas. Esses índices são comparáveis ou superiores aos de instituições como Caltech, MIT, UC

Berkeley e Universidade de Cambridge. Muitas vezes, esses números são tomados como indicadores de grande excelência (outro conceito mal definido), mas precisam ser colocados em perspectiva com grande cuidado. No caso dessas cinco instituições brasileiras, os impactos são altamente inflacionados pela participação nas grandes colaborações de física de altas energias com artigos altamente citados e coautorias de centenas ou milhares de autores de dezenas ou centenas de instituições (Manganote, Schulz & Brito Cruz, 2016). Usando critérios de autoria fracionada, por outro lado, os impactos dessas instituições brasileiras se equalizam perto da média mundial com índices similares aos de universidades de países com grande tradição acadêmica⁴.

Deve-se buscar, portanto, dar mais atenção também à qualificação das produções advindas de colaborações nacionais ou locais, levando em conta, no entanto, que essas produções acadêmicas podem ter funções estratégicas outras que não a de gerar citações (Schulz, 2019), demonstrando grande importância na formação de recursos humanos e difusão do conhecimento técnico-científico para diferentes públicos.

Cenários diferentes de acordo com a base de dados: Web of Science versus Scopus

Os dados e indicadores apresentados até aqui referem-se à base Scopus, que delinea um certo quadro comparativo entre diferentes países, ou entre diferentes instituições brasileiras consistente dentro da mesma base. Boa parte da comunidade de física do Brasil, no entanto, referencia-se pela Web of Science, percebida como mais seletiva e, portanto, mais adequada para fins de avaliação da área. Nesse sentido, é importante compará-las adequadamente, para melhor entender o panorama da física no Brasil. As classificações dos periódicos associados à pesquisa em física, seguem visões completamente diferentes nas duas bases, como se depreende da tabela 1. A WoS parece ter uma classificação mais conservadora, semelhante à separação das diferentes Physical Reviews da American Physical Society e das publicações do American Institute of Physics. Talvez não seja mera coincidência, pois a WoS tem sua origem no Institute for Scientific Information, organização também estadunidense. Por outro lado, a Scopus é mantida pelo grupo editorial Elsevier de origem europeia e a classificação mais multidisciplinar e temática segue, portanto, uma orientação diferente. Dadas as importâncias, tanto intrínseca (pesquisa bibliográfica), quanto atribuída (pesquisa bibliométrica e avaliação), estudos comparativos das duas bases são frequentes na literatura de estudos quantitativos de ciência (Zhu & Liu, 2020).

A base WoS é, de fato, mais restrita, mas expandiu-se em 2014, com uma cobertura de cerca de 13 mil periódicos em sua coleção principal e 160 mil anais de conferências. A Scopus supera hoje os 20 mil periódicos na sua base. Existe, evidentemente, uma grande sobreposição, embora seja considerável o número de periódicos indexados em um e não em outra. A figura 13, mostra a evolução de documentos com endereços institucionais brasileiros entre 2010 e 2019, considerando todas as áreas do conhecimento.

⁴ <http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/acontece/1083-o-virus-dos-indicadores>

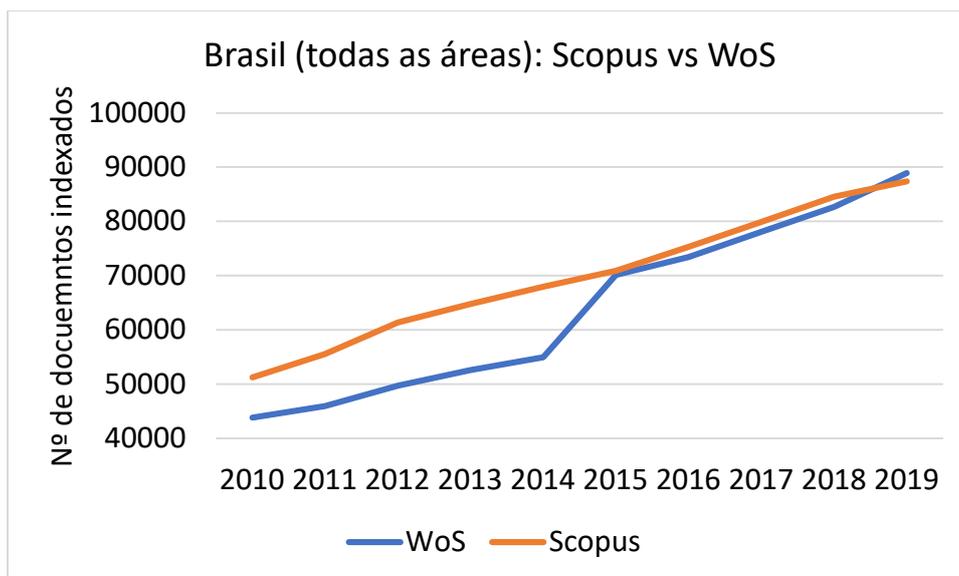


Figura 13 – evolução da presença brasileira nas bases Scopus e WoS para todas as áreas do conhecimento

Observa-se um crescimento contínuo da produção científica brasileira ao longo dos anos, de acordo com as duas bases. Contrariando o senso comum no mundo acadêmico, o número de registros pela Scopus é, nos últimos anos, muito semelhante com o salto de cobertura de periódicos e anais da WoS em 2014. Isso, não significa, no entanto, que os números absolutos se refiram às mesmas publicações, embora se espere que a sobreposição seja grande.

Ao delimitar uma área de conhecimento específica, como a física, não só a cobertura de cada base é relevante, mas também as diferentes classificações dos periódicos em áreas. O impacto dessas diferenças revela-se também no ranking das instituições mais produtivas. Considerando o recorte da WoS, a ordem das principais instituições de pesquisa, figura 9, apresenta inversões de posições, ainda que dentro do mesmo conjunto.

No que se refere aos endereços institucionais brasileiros como um todo, a figura 14 apresenta a evolução do número de documentos na área física e astronomia na base Scopus e nas categorias de física da WoS.

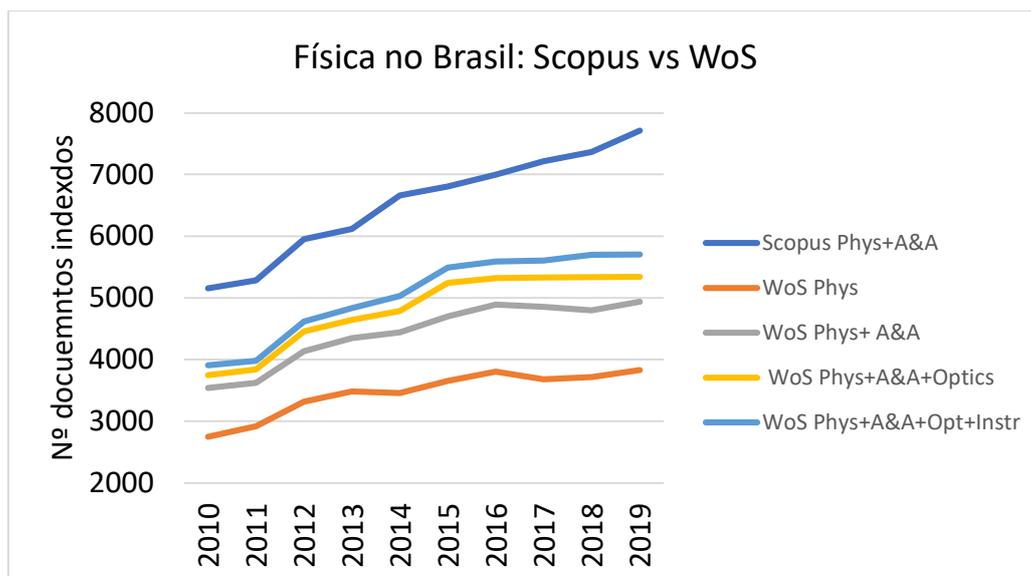


Figura 14 – Produção científica em física e astronomia no Brasil, comparando Scopus e WoS

Em tendência oposta ao agregado da produção científica brasileira, figura 13, a diferença entre as produções indexadas nas duas bases vem aumentando. Mesmo quando se soma as categorias WoS não contidas nas de física, como óptica, astronomia e astrofísica e instrumentação, que são subáreas de física e astronomia na Scopus. Além disso, o panorama dado pela WoS é de estagnação da produção científica, enquanto pela Scopus teríamos um crescimento contínuo dessa produção. Uma hipótese, quanto a essas tendências (e não a diferença em números absolutos), poderia ser uma mudança no comportamento da comunidade de físicos em relação aos periódicos utilizados para disseminar os resultados da pesquisa. Uma segunda hipótese complementar seria uma transição dessa mesma comunidade para fronteiras interdisciplinares, fazendo com que as categorias mais tradicionais da WoS não são mais apropriadas para apreender a atividade de pesquisa da comunidade de física brasileira. Essas hipóteses são discutidas em um estudo de caso sobre a Unicamp.

A física dentro e fora de seus departamentos e a interdisciplinaridade dos físicos

O estudo de caso escolhido é o da Unicamp em função da familiaridade do autor desse relatório com a instituição. Os resultados sugerem que esse levantamento deveria ser feito para as outras instituições de pesquisa brasileiras, pois traz dados que podem ser úteis para a percepção da própria comunidade, possíveis ações da SBF, além de apontar cuidados adicionais no uso de bases de dados bibliográficos para avaliações.

O procedimento de busca inicial aqui não é por áreas ou categorias de conhecimento, mas por endereço da instituição. A figura 15 resume os dados minerados.

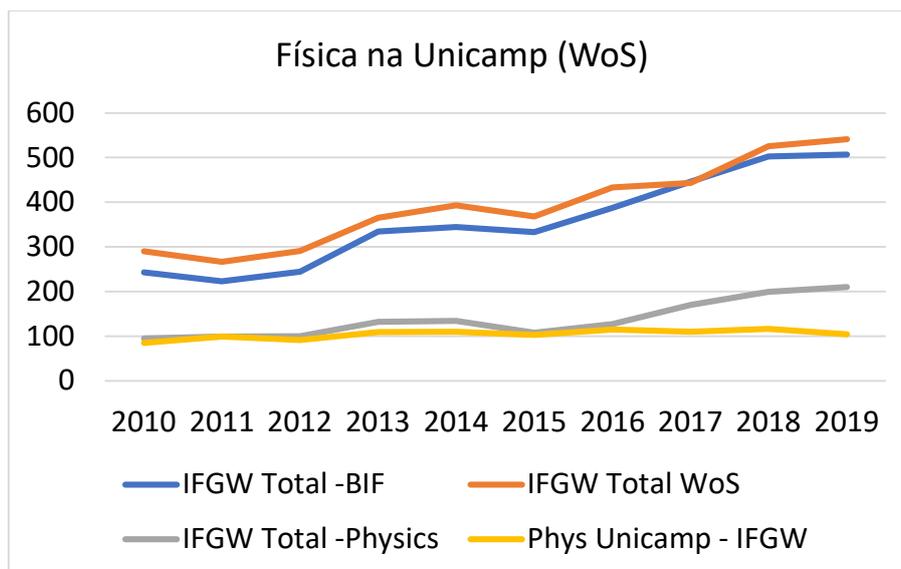


Figura 15 – mapeamento do Instituto de Física e da física na Unicamp

A referência inicial é o levantamento da Biblioteca do instituto de Física da Unicamp (curva azul), que mostra uma produção crescente nos últimos anos desse instituto (dados atualizados até 2019). A curva laranja corresponde à busca avançada de endereços na plataforma WoS, capturando as principais variações na declaração ode endereço nos artigos. O comportamento das duas curvas é muito similar, apesar das flutuações nos números absolutos. Em seguida, temos a produção do IFGW não classificada nas oito categorias WoS para física. A proporção é crescente nos últimos anos, ultrapassando 30% do total geral. As principais categorias WoS extrafísica são: ciência dos materiais, óptica, físico-química, astronomia & astrofísica, engenharia elétrica e instrumentação, além de nanociência (periódicos que tendem a ser multidisciplinares). Trata-se da migração para periódicos com temas ligados à física, mas não assim classificados pela WoS. Observa-se que as subáreas da Scopus parecem atender melhor à efetiva produção científica da comunidade de físicos dessa instituição. Merece destaque que, ainda que em menor número é cada vez mais significativa a publicação em periódicos em categorias tais como biologia, ecologia, ciência de alimentos e neurociências. Ainda que centrados em poucos pesquisadores, esses dados revelam movimentos interdisciplinares a partir da física. Igualmente relevante é a produção em categorias de física, segundo a WoS, fora do Instituto de Física na Unicamp, ainda que constante ao longo dos anos. A questão da multidisciplinaridade crescente na física de um modo geral é destacada no último relatório de área da CAPES de 2019, sem, no entanto, apresentar indicadores.

Em resumo, esse exemplo aponta para a necessidade de uma discussão aprofundada sobre a própria identidade da física no Brasil com algumas perguntas centrais. A discussão sobre a atividade de pesquisa em física não pode se limitar apenas aos programas de pós-graduação e institutos e departamentos de física. Também é necessário discutir quais interfaces interdisciplinares estão se formando em torno da física. Qual é o mapa da pesquisa em física feita por não físicos? Quais são as subáreas que mereçam nova ou maior atenção, como é o caso da instrumentação, necessitando um possível redesenho das comissões de área? Como os cortes em ciência e tecnologia afetam as diferentes instituições de ensino e pesquisa em física?

Pesquisa em ensino

A pesquisa em ensino de física no Brasil, apesar de sua importância, não é claramente perceptível nas bases de dados internacionais como a Scopus ou Web of Science. Nessas bases, apenas a Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) está presente, indexada duplamente nas categorias/áreas de Física e Educação. Uma publicação importante no cenário nacional, como o Caderno Catarinense de Ensino de Física, ou periódicos mais recentes voltados ao ensino de ciências, não estão ainda indexados nessas bases, somente na Scielo. É importante lembrar que esses periódicos são voltados tanto para o ensino de física, quanto para a pesquisa em ensino de física. Apesar das limitações de recorte, lembrando que números absolutos não são o objetivo central desse relatório, a importância da área pode ser mapeada pelo destaque da RBEF.

Na base Scopus, educação é somente uma subárea de ciências sociais, e não é possível isolar essas subáreas, como no caso das subáreas da física, pela plataforma Scival. As contribuições em educação precisam, portanto, ser mineradas do conjunto geral de periódicos. No entanto, dentro da área geral de ciências sociais, o destaque da RBEF se sobressai: é a terceira no ranking de periódicos com publicações de autores brasileiros em ciências sociais como um todo.

A relevância da RBEF já foi apresentada em outro contexto (SCHULZ, 2019), mas um levantamento detalhado dos artigos do Caderno Catarinense de Física, bem como dos artigos de ensino de física nos periódicos nacionais mais recentes voltados ao ensino de ciências poderia ser um objeto de estudo da comissão de pesquisa em ensino de física da SBF. A publicação de artigos com coautorias brasileiras em periódicos tradicionais, como o American Journal of Physics mantém-se estável ao longo dos anos. No entanto, é notável o aumento de artigos com autorias brasileiras publicados na Physics Education a partir de 2015, ainda que o total absoluto seja modesto.

A comunidade de física no Brasil: formação e distribuição de recursos humanos

A atividade de pesquisa em física discutida até agora é apenas um dos aspectos relevantes para o mapeamento dessa área do conhecimento no país. A formação de pessoas ligadas à atividade, sua distribuição pelo país e pelas instituições, levantamento de dos tipos de atividades, onde e como são formados os físicos e o ensino de física no nível médio, são tão ou mais relevantes para pensar o impacto da física na sociedade.

Os dados apresentados a seguir são oriundos de um relatório abrangente realizado recentemente pela Fundação Cesgranrio⁵, bem como de registros da Sociedade Brasileira de Física. Ao final, comparações com levantamentos similares realizados pela American Physical Society serão discutidas.

⁵ <https://www.cesgranrio.org.br/pdf/Enade/1%20-%20RELATORIO%20DIGITAL%20DE%20FISICACOMPLETO.pdf>

Cursos de graduação em física no Brasil

As figuras 16, 17 e 18 apresentam dados compilados no relatório da Fundação Cesgranrio, sendo a fonte o INEP. Os dados referentes aos números de cursos, estudantes matriculados e concluintes são os agregados dos cursos de licenciatura e bacharelado, mas separados em instituições públicas e privadas e por modalidade de ensino, presencial e a distância.

O cenário que emana desses gráficos é o papel preponderante das instituições públicas na formação de físicos no Brasil. Para a física, as instituições públicas invertem a relação para o ensino superior no Brasil com um todo, no qual 75% dos matriculados estão em instituições privadas. Além disso, observa-se o crescimento em anos recentes da modalidade de ensino à distância. No caso das instituições públicas, crescem as matrículas em ambas as modalidades, enquanto nas instituições de ensino privadas, parece ocorrer uma troca na oferta, migrando do presencial para o à distância (como será visto mais abaixo, a modalidade de ensino à distância limita-se apenas à licenciatura).

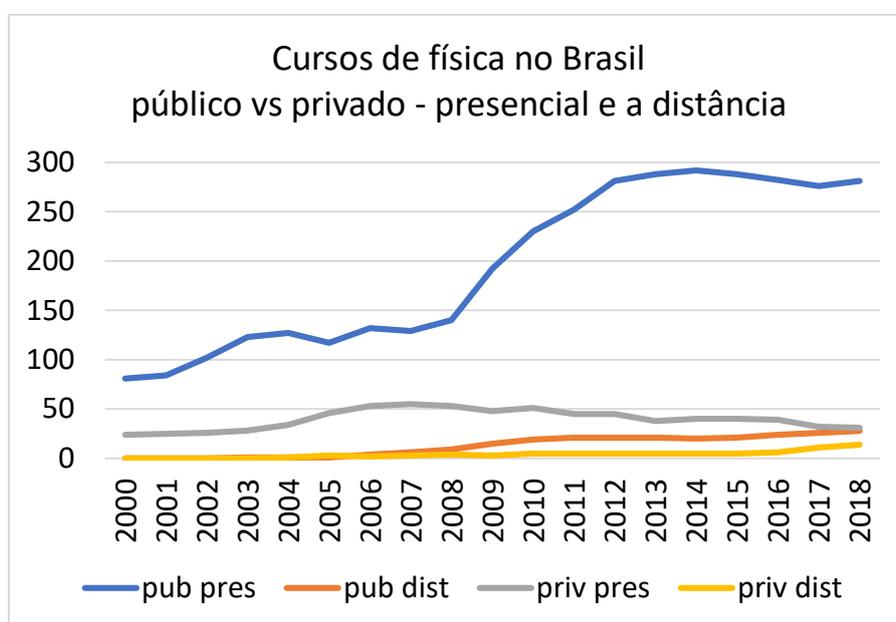


Figura 16 – Evolução anual do número de cursos de graduação em física no Brasil (licenciatura e bacharelado) Relatório Fundação Cesgranrio, fonte de dados: INEP

Do total dos cursos presenciais, a grande maioria é de licenciatura (242), sendo 80 de bacharelado, segundo a atualização mais recente disponível, a sinopse estatística do INEP de 2019⁶. Segundo essa mesma sinopse mais recente, dos 80 cursos de bacharelado, 60 são em física, 11 em física médica, 6 em física aplicada e 3 em astronomia. Nota-se também a presença de 10 cursos em engenharia física.

⁶ <http://inep.gov.br/sinopses-estatisticas-da-educacao-superior>

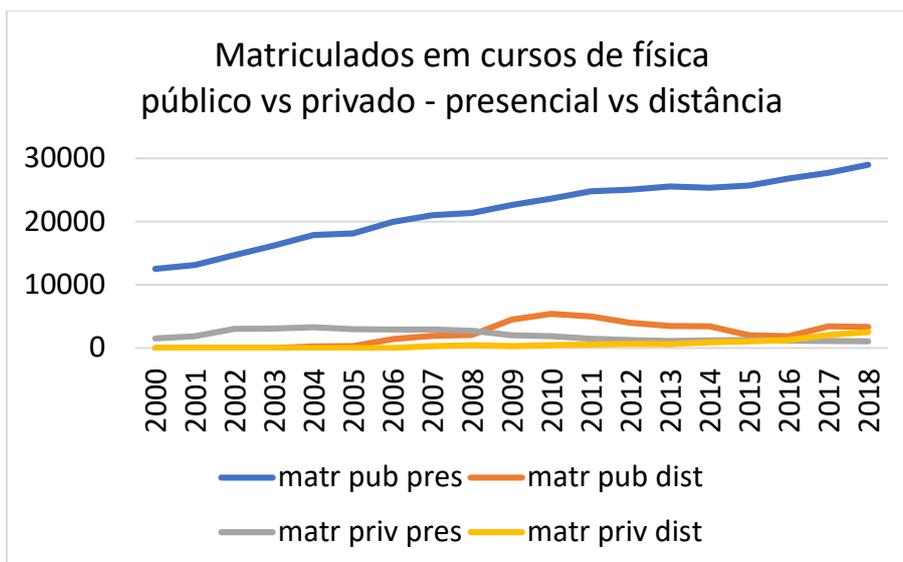


Figura 17 - Evolução anual do número de matriculados em cursos de graduação em física no Brasil (licenciatura e bacharelado) Relatório Fundação Cesgranrio, fonte de dados: INEP

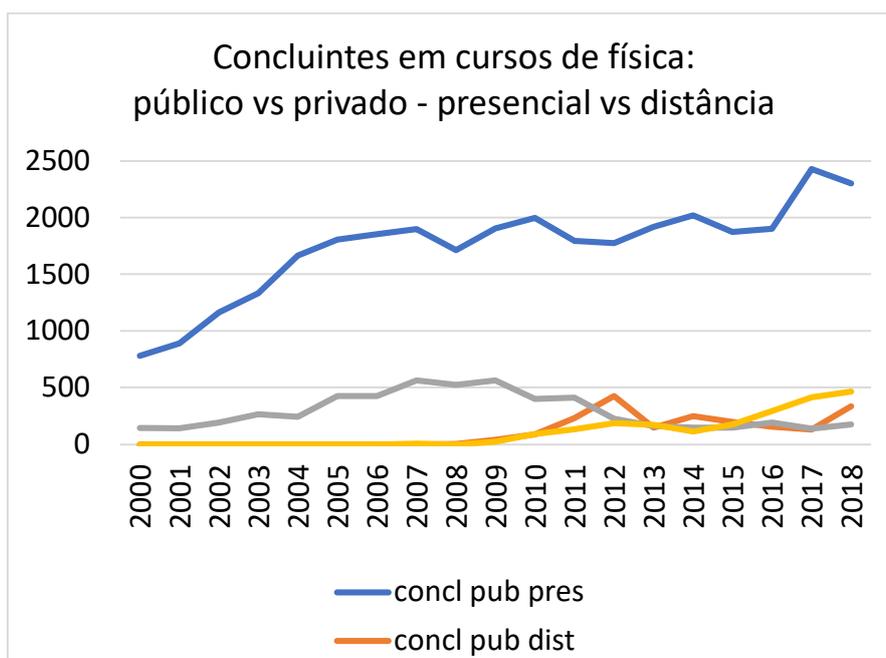


Figura 18 - Evolução anual do número de concluintes em cursos de graduação em física no Brasil (licenciatura e bacharelado) Relatório Fundação Cesgranrio, fonte de dados: INEP

Os dados para 2019 mantem-se estáveis em relação ao de 2018, mas na seção abaixo, esses dados mais recentes serão discriminados para observar melhor algumas tendências.

Bacharelado e Licenciatura

A discriminação dos dados apresentados em bacharelado e licenciatura revela novos aspectos importantes para consideração. As figuras 19 e 20 apresentam a evolução dos concluintes ao longo do tempo. A figura 19 mostra o cenário para a formação em licenciatura, com amplo domínio das instituições públicas no ensino presencial, acompanhado de uma diminuição significativa da participação das instituições privadas a partir de 2009, quando os cursos distância começam a aparecer, inicialmente nas instituições públicas, para em seguida ser a opção preferencial em instituições privadas nos últimos anos.

Um dado relevante é o salto no número de concluintes em instituições públicas entre 2009 e 2010, que, como mostrado na figura 20, é acompanhado por uma diminuição simétrica no número de concluintes nos cursos de bacharelado em física. O relatório da Fundação Cesgranrio apresenta, mas não analisa esses dados. A origem dessa mudança brusca no perfil pode ser um problema na coleta e classificação dos dados.

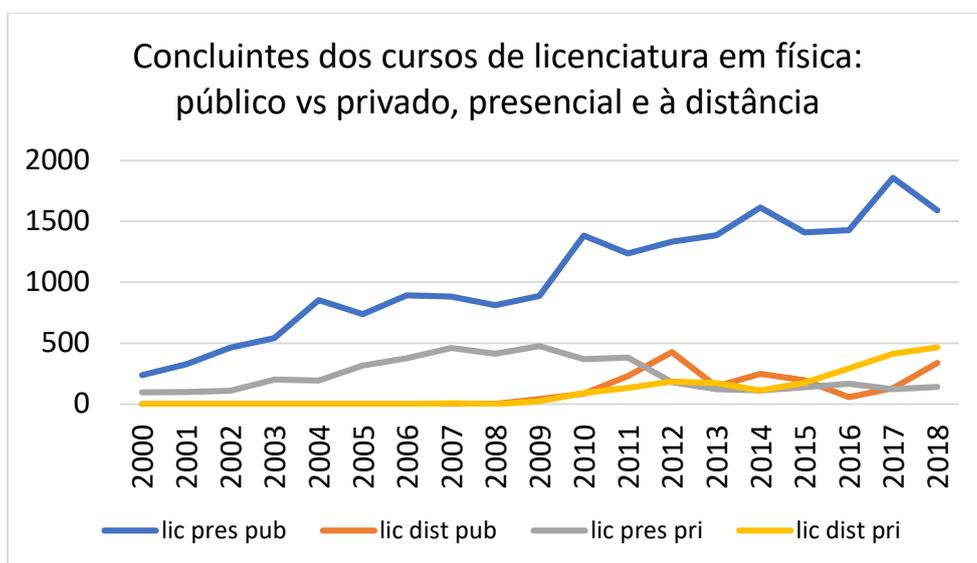


Figura 19 – Evolução anual do número de concluintes em cursos de licenciatura em física no Brasil. Relatório Fundação Cesgranrio, fonte de dados: INEP

A evolução do número de concluintes dos cursos de bacharelado em física é apresentada na figura 20, na qual se observa a queda abrupta de formados entre 2009 e 2010 como mencionado acima. A participação de instituições privadas na formação de bacharéis em física no Brasil é muito pequena, menos do que 5% do total. Além disso, é importante observar que não há cursos de bacharelado à distância, ao contrário do crescimento dessa modalidade em licenciatura.

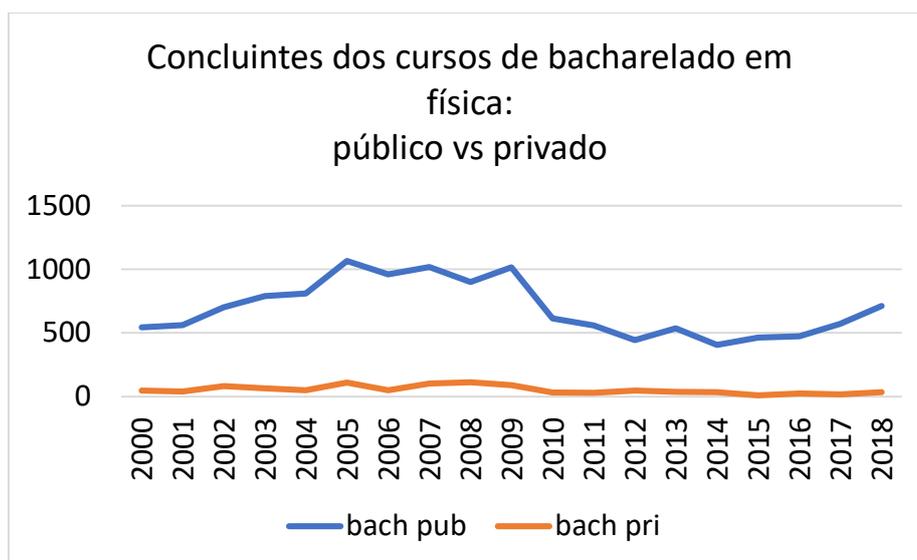


Figura 20 – Evolução anual do número de concluintes em cursos de bacharelado em física no Brasil. Relatório Fundação Cesgranrio, fonte de dados: INEP

Os dados para 2019 na sinopse estatística do INEP mostram os seguintes números para matriculados(concluintes) nos cursos presenciais: licenciatura, 24.000(1831); bacharelado, 7690 (691). Esses números mantem-se estáveis em relação a 2018. No entanto, é importante observar que as modalidades de física médica e física aplicada são expressivos nesse total. Em 2019, das 7690 matrículas em bacharelado, 442 são em física aplicada e 1061 em física médica, somadas essas modalidades correspondem a 19,5% do total. Quanto ao número de concluintes por modalidade, em 2019, do número total, 38 são em física aplicada e 103 em física médica, 20% do total. As razões concluintes/matriculados, não indicam uma diminuição na evasão para essas modalidades em comparação com o bacharelado tradicional.

Vale mencionar que constam da sinopse estatística a modalidade engenharia física, com 10 cursos e 97 concluintes em 2019.

Os dados das figuras 16 a 20 revelam um cenário importante, cujo detalhamento está esquematizado na lista abaixo.

- A grande maioria dos cursos, matriculados e concluintes concentram-se em instituições públicas, em clara oposição aos números totais para o ensino superior brasileiro com 75% dos estudantes em instituições privadas.
- A maioria dos cursos é de licenciatura, que apresentam uma rápida expansão entre 2008 e 2010, resultado da expansão do sistema público de ensino superior, tanto federal, quanto de alguns estaduais.
- O número de cursos de bacharelado, apesar de um significativo aumento no início do século, manteve-se relativamente estável ao longo do período. Dos 281 cursos registrados no INEP em 2018, apenas 75 eram de bacharelado, sendo 69 em instituições públicas e 6 em instituições privadas.
- Todos os cursos à distância são de licenciatura.
- Apesar do aumento significativo no número de cursos entre os anos 2008 e 2010, o número de matriculados, ainda que continuamente crescente, não apresenta o mesmo salto. Além

disso, o número de concluintes apresenta, após um crescimento no início do século, um período de estagnação, com um aumento significativo apenas a partir de 2016. Isso pode ser reflexo de criação dos novos cursos, cuja consolidação e demanda podem demorar em se afirmar.

- Observa-se uma significativa diminuição nos cursos em instituições privadas, que apresentam uma inversão no número de concluintes, quanto à modalidade de ensino, com ampla vantagem da modalidade à distância em anos recentes.
- A maioria dos cursos de graduação concentram-se em universidades públicas, mas com participação crescente em licenciatura nos Institutos Federais.
- O grande desafio contínuo ao longo do período é o alto índice de evasão com uma razão concluintes/matriculados sempre abaixo de 10% (o desejável seria entre 20% e 25%). A evasão é, em geral, maior nas instituições públicas, tanto nos cursos de bacharelado, quanto de licenciatura. A evasão em licenciatura também é sistematicamente menor do que nos cursos de bacharelado.
- A evasão nos cursos de licenciatura em instituições privadas é muito menor, com razões entre os números de concluintes e o número de matriculados próximos ao desejável (25%).
- Esses indicadores são especialmente preocupantes, pois, segundo o mesmo relatório da Fundação Cesgranrio, apenas 39,1% dos docentes no ensino médio, que ministram aulas de física, possuíam formação adequada em 2018. Observa-se, no entanto, que esse indicador apresentou, ao longo do século, lenta, mas constante melhora (em 2000, o número de docentes com formação adequada, correspondia a 29,1% do total).
- A SBF deveria criar uma instância para analisar e consolidar esses dados, buscando discutir as diferenças curriculares e condições de ensino nos cursos de licenciatura em física no Brasil, procurando entender as diferenças nas taxas de evasão, concomitantemente à qualidade e adequação do ensino oferecido.

Breve panorama da pós-graduação

O Brasil apresentou, durante os últimos 20 anos, um aumento no número de programas de pós-graduação em física (mestrado e doutorado) de 23 em 2000 para 47 em 2018. A esses programas somam-se 2 cursos de doutorado, 12 de mestrado e 2 de mestrado profissional em 2018. A evolução no número de matriculados e titulados está representada na figura 21 (dados do INEP). O número de matriculados nos cursos de mestrado é naturalmente menor do que o de cursos de doutorado, dada a duração bem maior desse último. A relação se inverte, portanto, no número de concluintes. Observa-se também que a razão entre concluintes e matriculados indica baixa evasão na pós-graduação, ao contrário do que se verifica nos cursos de graduação.

Embora expressivos, esses números estabilizaram-se nos últimos anos, notadamente para o mestrado já a partir de 2011. A tendência de queda em anos mais recentes é possivelmente reflexo dos cortes em ciência & tecnologia e ensino público. Será importante observar o comportamento a partir de 2019 e anos seguintes. Por outro lado, é notável (e bem-vindo) o recente aumento expressivo de matriculados e titulados nos cursos de mestrado profissional (observa-se um possível erro de coleta de dados em 2015).

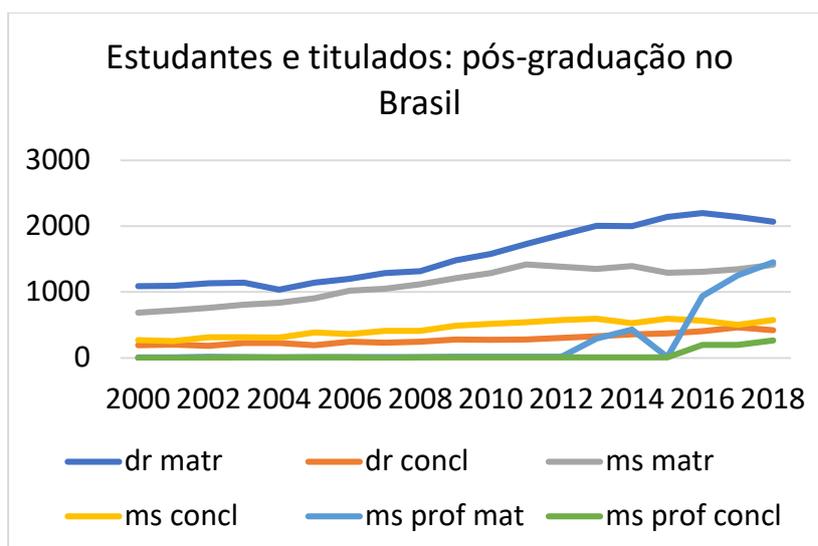


Figura 21 – Números de matriculados e concluintes de mestrado, mestrado profissional e doutorado no Brasil. Relatório Fundação Cesgranrio, fonte de dados: INEP

O último relatório da área de física & astronomia da CAPES (2019) relata um total de 60 programas de pós-graduação em física e astronomia, sem especificar quantos em astronomia ou física e quais seria suas notas. Além disso, traz poucas informações, pouco acrescentando ao panorama possibilitado pelos dados do INEP, a não ser a confirmação dos indicadores de concentração na região sudeste desses programas, em concordância com os indicadores de produção científica discutidos mais acima. Essa concentração também se evidencia pela distribuição de doutores em física pelo Brasil, como apresentado abaixo.

Pós-graduação lato sensu em física

O relatório da Fundação Cesgranrio apresenta, sem maior aprofundamento, dados de um aspecto que talvez não receba a devida atenção: os cursos de especialização em física, cuja oferta cresceu consideravelmente a partir dos anos 1990. Em 2018 essa oferta foi de 244 cursos, 181 na modalidade presencial e 63 na modalidade a distância, número que suplanta amplamente o número de programas strictu sensu.

A grande maioria dos cursos de especialização é em ensino de física (226), mas registraram-se também 18 em áreas de pesquisa em 2018. O maior número deles encontra-se na região Sudeste, seguida de perto pelo Nordeste. Possivelmente, o mesmo curso é oferecido em vários lugares/regiões, assim a soma total de oferecimentos contabilizados alcança o impressionante número total 570 cursos.

Os físicos no Brasil

A estimativa do número de físicos, de bacharéis a doutores tem sido bastante imprecisa, com indicadores conflitantes, dependendo da fonte⁷. O número de associados (incluindo inativos da SBF registra 12.900 sócios, sendo 5239 doutores, concentrados, como indicado pela distribuição de programas de pós-graduação, na região sudeste (3091), nordeste (971), Sul (621), Centro-Oeste (288) e Norte (186).

A soma dos titulados com doutorado entre 2000 e 2018, segundo o INEP (ano a ano na figura 21), é de 5327, tornando, portanto, esse número (próximo ao número de associados da SBF com esse título), apenas um limiar inferior do número de doutores em física no Brasil. A comunidade de física no Brasil, somando os estudantes de pós-graduação e graduação em modalidade presencial (como considerado em algumas estimativas anteriores), ultrapassa a marca de 40 mil membros.

Dados sobre a área de atuação em função da escolaridade e gênero são desatualizados. O levantamento disponível refere-se ao censo demográfico de 2010, apresentados na tabela 4, capturada do relatório da Fundação Cesgranrio.

| Áreas de Ocupação | Masculino | | | Feminino | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Graduação | Mestrado | Doutorado | Graduação | Mestrado | Doutorado |
| Área de Ensino | 41,0% | 44,0% | 72,8% | 47,7% | 51,3% | 69,5% |
| Professores do Ensino Pré-Escolar | 3,2% | 3,4% | 2,4% | 2,0% | 2,8% | 3,9% |
| Professores do Ensino Médio | 21,5% | 17,3% | 8,5% | 6,6% | 21,5% | 12,1% |
| Professores do Ensino Fundamental | 10,5% | 8,2% | 1,7% | 6,6% | 10,5% | 3,7% |
| Professores do Ensino Superior | 5,0% | 14,8% | 59,8% | 1,6% | 16,5% | 49,8% |
| Professores de Formação Profissional | 0,7% | 0,3% | 0,3% | 0,1% | 0,0% | 0,0% |
| Área de Educação | 1,9% | 2,1% | 0,6% | 3,8% | 2,2% | 2,4% |
| Área de Tecnologia da Informação | 2,4% | 4,9% | 0,7% | 2,1% | 1,7% | 0,0% |
| Área Financeira/Atuarial | 2,2% | 1,5% | 0,8% | 3,1% | 0,7% | 1,1% |
| Área de Gestão em Serviços | 1,3% | 0,1% | 0,0% | 1,2% | 0,0% | 0,0% |
| Área Militar | 2,9% | 1,3% | 0,5% | 0,6% | 0,0% | 0,0% |
| Físicos e Astrônomos | 2,0% | 3,9% | 5,2% | 1,9% | 0,4% | 7,4% |
| Diretores e Gerentes (exceto área de educação e serviços) | 5,5% | 3,2% | 1,5% | 1,9% | 2,1% | 2,6% |
| Outras - Ensino Superior | 5,7% | 10,1% | 1,9% | 3,4% | 6,9% | 4,4% |
| Outras - Ensino Médio | 11,9% | 6,2% | 0,8% | 10,8% | 11,8% | 0,9% |
| Outras - Sem Escolaridade Definida | 23,1% | 22,7% | 15,1% | 22,3% | 22,9% | 11,7% |
| Total | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 2010

Tabela 4 – Ocupação dos físicos por nível de formação e gênero no Brasil em 2010.

O percentual médio de ocupação de físicos e físicas doutore(a)s no Brasil na área de ensino é de 70%, sendo 59,8% (49,8%) de homens(mulheres) no ensino superior. A classificação do IBGE dificulta entender como é de fato a atuação nas outras áreas, se associadas à formação ou não.

⁷ Ver relatório anterior: http://www.sbfisica.org.br/arquivos/SBF_50_anos_Fisica_em_numeros.pdf

O levantamento de ocupação de físicos realizado pela American Physical Society (dados de 2015-2016)⁸ aponta duas realidades bem diferentes: uma ocupação bem maior no setor privado (não acadêmico) e a importância dos pós-doutorado como área de atuação, da qual se pode inferir seu impacto tanto na produção científica, quanto no ensino superior. A figura 22 mostra a ocupação de recém doutores em física nos EUA. Observa-se uma baixa taxa de desemprego, principalmente devido a ocupação temporárias, no caso o pós-doutoramento.

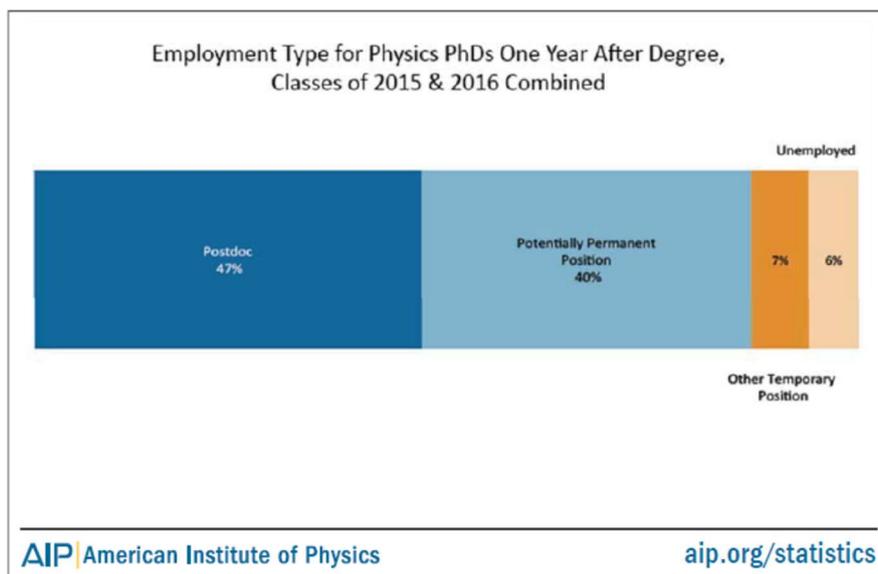


Figura 22 – dados sobre ocupação de doutores em física nos EUA, logo após a obtenção do título.

A distribuição de ocupações por setores nos EUA, figura 23, revela uma distribuição de doutores em física bem menos concentrada na área acadêmica, com cerca de um terço no setor privado não acadêmico.

⁸ <https://www.aip.org/statistics/reports/employment-and-careers-physics>

**Type of Employment of New Physics PhDs by Employment Sector,
Classes of 2015 & 2016 Combined**

| Sector of Employment | Initial Employment Type | | | Overall % |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|-----------|
| | Postdoc % | Potentially Permanent % | Other Temporary % | |
| Academic | 75 | 16 | 70 | 49 |
| Private | 1 | 73 | 22 | 34 |
| Government | 20 | 7 | 5 | 14 |
| Other | 4 | 4 | 3 | 3 |
| | 100% | 100% | 100% | 100% |

Note: Data includes only US-educated physics PhDs who remained in the US after earning their degrees. Data are based on the responses of 593 postdocs, 514 individuals working in potentially permanent positions, and 93 individuals working in "other temporary positions."

AIP American Institute of Physics
aip.org/statistics

Figura 23 – ocupação de recém doutores em física nos EUA por setor.

A questão do pós-doutorado no Brasil

O cenário brasileiro em relação ao pós-doutorado é oposto. Uma amostragem significativa é dada pelo mapa de investimentos do CNPq⁹. Existem ao todo 451 bolsas dessa modalidade vigentes no país, sendo apenas 25 em física, frente, por exemplo, aos 265 concluintes do doutorado em 2018.

A presença expressiva de pós-doutorandos tem impactos positivos profundos sobre os ambientes de ensino e pesquisa, segundo estudos que vem sendo realizados nos EUA para outras áreas dentro das ciências naturais (Feldon et al., 2019). Tanto a produção científica, quanto o seu impacto, são incrementados com a participação desses pesquisadores mais maduros que os doutorandos e integralmente voltados à pesquisa, sem dividir suas atenções, como no caso de docentes, com atividades de ensino e administrativas. Além disso, o impacto sobre a formação pode ser particularmente positivo, como aponta o estudo de Feldon e colaboradores (2019). Esse papel precisa passar a ser discutido no Brasil.

Em que pese a sustentabilidade dessa força de trabalho em outros lugares (Alund et. Al, 2020), posdocs são parte crucial dos ecossistemas acadêmicos. Nesse sentido, as discussões correntes sobre aumentar a produção científica, bem como seu impacto, via diretrizes da CAPES ou requisitos das agências de fomento, são no mínimo incompletas – correndo o risco de redundante fracasso – se pensarmos em metas por comparação com países e instituições com ambientes acadêmicos completamente diferentes.

⁹ <http://efomento.cnpq.br/efomento/distribuicaoGeografica/distribuicaoGeografica.do?metodo=apresentar>

Breves conclusões finais

Ao longo do presente relatório, conclusões preliminares são apresentadas. Nessa seção, algumas delas são reforçadas com sugestões para a SBF.

Os dados atualizados de produção científica na área de física, segundo bases de dados internacionais, ainda não apontam os impactos generalizados dos cortes de financiamento e ataques às universidades dos últimos anos. No entanto, indicadores de formação de mestres e doutores parecem já mostrar os impactos negativos.

A atuação em pesquisa parece diversificar-se de modo crescente nos últimos anos, o presente relatório apresenta alguns indicadores, que corroboram apontamentos no último documento da área da CAPES.

A SBF deve estar atenta a essas mudanças, em particular ao desenvolvimento da subárea/categoria de instrumentação. Pode ser um caminho de aproximação com empresas, tanto em parcerias de pesquisa, incentivo a startups (inovação), bem como modalidade de ensino, tanto de graduação, quanto de pós-graduação (strictu e lato sensu)

Em vista das mudanças aventadas no parágrafo acima, poderia ser interessante discutir as comissões da SBF, bem como seu papel e atualização e normatização de seus documentos de áreas e relatórios.

A coleta e análise de dados mostra tanto a existência de incompatibilidades entre bases de dados, quanto desatualização ou ausência dos mesmos. A exemplo da APS/AIP, seria interessante fomentar a criação de um centro de pesquisa de dados.

A formação e distribuição de recursos humanos carece de dados consolidados, que precisam ser extraídos de fontes gerais, como o INEP ou bases censitárias. Seria recomendável que a SBF criasse uma comissão ou grupo de trabalho para coleta independente desses dados a partir das instituições de ensino e pesquisa e acompanhamento contínuo dos indicadores, a exemplo do parágrafo anterior voltado aos indicadores de pesquisa.

Na formação de recursos humanos merece especial atenção a alta evasão crônica nos cursos de física, tanto de bacharelado, quanto de licenciatura, em especial nas instituições públicas. Além disso, o papel dos cursos de especialização precisa também ser entendido e acompanhado, dada sua presença expressiva e disseminada pelo Brasil.

É imprescindível nas discussões estratégicas levar em conta as diferenças estruturais entre os ambientes de ensino e pesquisa no Brasil e de outros países, como, por exemplo, as diferenças na presença de atores importantes com os pós-doutorandos nesses ambientes.

A física no Brasil em 2020: em momento oportuno será igualmente imprescindível refletir a respeito dos impactos da pandemia sobre as atividades de pesquisa e ensino em física. Merece destaque, em relação a vários aspectos levantados sobre colaboração, interdisciplinaridade, migração para novas frentes e impacto, a fundamental participação de físicos na criação e expansão do Observatório

Covid-19 BR¹⁰. A expertise construída com essa iniciativa pode ser muito útil para a organização de projetos de coleta e análise de dados sobre pesquisa e ensino mencionadas acima.

Referências

Alund, M. et al. Academic ecosystems must evolve to support a sustainable postdoc workforce. **Nature Ecology & Evolution**, v. 4, 777-781, 2020: <https://www.nature.com/articles/s41559-020-1178-6>

Feldon, D.F. et al. Postdocs' lab engagement predicts trajectories of PhD students' skill development. **PNAS**, v. 116(42), p. 20910-20916, 2019: <https://www.pnas.org/content/116/42/20910>

Leydesdorff, L., Wouters, P. & Bornmann, L. Professional and citizen bibliometrics: complementarities and ambivalences in the development and use of indicators—a state-of-the-art report. **Scientometrics**, v. 109, p. 2129-2150, 2061.

Manganote, E.J.T., Schulz, P.A. & Brito Cruz, C.H. Effect of high energy physics large collaborations on higher education institutions citations and rankings. **Scientometrics**, v. 109, p. 813-826, 2016.

Mugnaini, R. et al. Panorama da produção científica do Brasil além da indexação: uma análise exploratória da comunicação em periódicos. **Transinformação**, v.31, e190033, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0889201931e190033>

Schulz, P.A. & Manganote, E.J.T. Revisiting country research profiles: Learning about the scientific cultures. **Scientometrics**, v. 93, p. 517-531, 2012.

Schulz, P.A. & Silva, F.S.V. Astronomia chilena: efeito da concentração da produção científica sobre os indicadores de um país. **Em Questão**, v. 24, p. 71-87, 2018. <http://dx.doi.org/10.19132/1808-5245240.71-87>

Schulz, P.A.B. Os impactos e influências da Revista Brasileira de Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, e20180225, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0225>

Sidone, O.J.G. et al. A ciência nas regiões brasileiras: evolução da produção e das redes de colaboração científica. **Transinformação**, v. 28. P. 15-31, 2016. <https://doi.org/10.1590/2318-08892016002800002>

Silva, F.S.V., Schulz, P.A. & Noyons, E.C.M. Co-authorship networks and research impact in large research facilities: benchmarking internal reports and bibliometric databases. **Scientometrics**, v. 118, p. 93-108, 2019.

Zhu, J. & Liu, W. A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. **Scientometrics**, v. 123, p. 321-335, 2020.

¹⁰ <https://covid19br.github.io/>