

FÍSICA DE PARTÍCULAS E CAMPOS

Membros da CPC Atual (CPC-VIII):

Coordenador: Manoel M. Ferreira Jr. (UFMA) até 07/2019

Teoria de Campos e Física Matemática: Ilya Shapiro (UFJF) até 07/2020

Física Experimental de Altas Energias: Andre Sznajder (UERJ) até 07/2020

Fenomenologia de Partículas Elementares: Eduardo Fraga (UFRJ) até 07/2019

Cosmologia e Gravitação: Sergio Joras (UFRJ) até 07/2019

1) INTRODUÇÃO E ESTADO DA ARTE

A Comissão de Partículas e Campos (CPC) congrega quatro grandes áreas: fenomenologia das partículas elementares, física experimental de altas energias, teoria de campos e cosmologia/gravitação. Na verdade, essa divisão demarca os 4 principais núcleos das áreas, havendo atualmente outras subdivisões relevantes, cujas pesquisas são realizadas em superposições, intersecções e extensões destas 4 áreas. A “astrofísica” e “astropartículas” são bons exemplos de temas interdisciplinares que perpassam e atingem os 4 núcleos centrais. Dos atuais membros da SBF, atualmente cerca de **954** pertencem à área de Partículas e Campos, correspondente a 11,2% do total de sócios. Esse número é cerca de 20% superior ao declarado no relatório SBF/2014, revelando o crescimento numérico da área no país. Há ainda uma lista de e-mails, “AltasEnergias”, que opera como veículo de conexão e troca de mensagens relevantes entre os membros da área.

A Física de Partículas e Campos & interações fundamentais mantém-se como umas principais áreas de investigação no cenário internacional, por envolver questões científicas de primeira grandeza na atualidade, passando pela assimetria entre matéria e anti-matéria, a matéria escura e suas interações, a física além do Modelo Padrão, a evolução acelerada do Universo e a energia escura, o plasma de quarks e gluons e o confinamento na QCD, as astropartículas e conexões com Cosmologia e Física além do Modelo Padrão, ondas gravitacionais, etc... Várias destas questões tem sido abordadas em grandes e relevantes colaborações internacionais, tais como o LHC, o LIGO, DES, J-Plus, CTA, entre outras, que contam com interessante e crescente participação de físicos brasileiros.

Um dos grandes destaques em nossa área foi o anúncio do Prêmio Nobel de Física de 2017 para a descoberta de ondas gravitacionais pelos detectores LIGO e VIRGO. Temos no Brasil dois grupos trabalhando nessa colaboração, liderados por Odylio Aguiar (INPE) e Riccardo Sturani (UFRN). Essa descoberta abriu uma nova janela para a astronomia que permitirá testar previsões teóricas que vão desde a física de objetos compactos, passando pela própria teoria padrão do campo gravitacional, a Relatividade Geral, até a Cosmologia. Cabe destacar também o primeiro evento de fusão de estrelas de nêutrons, detectado em 17/08/2017, que também foi observado no óptico por vários telescópios. Apenas esse evento permitiu medir a diferença entre as velocidades de propagação das ondas eletromagnéticas (c) e das ondas gravitacionais (c_g), resultando em uma diferença inferior a 1 parte em 10^{15} . Esse resultado teve um profundo impacto em teorias que modificam a Relatividade Geral, que prediz $c = c_g$, eliminando, assim, vários modelos alternativos. Espera-se que centenas de eventos de fusão de buracos negros e/ou estrelas de nêutrons sejam detectados com o reinício das observações no primeiro semestre de 2019. No caso das ondas gravitacionais emitidas por fusão de estrelas de nêutrons, os dados obtidos já estão trazendo informações sobre a equação de estado das interações fortes e, possivelmente, ajudarão a elucidar a composição da matéria em seu interior. Além disso, limites

restritivos sobre o número de dimensões extras tem sido impostos comparando a distância até o evento de colisão inferida pela onda gravitacional e sua contraparte eletromagnética.

2) EVENTOS NACIONAIS TRADICIONAIS

A comissão coordena atualmente dois eventos da comunidade, com apoio da SBF: a ESCOLA DE VERÃO JORGE ANDRÉ SWIECA DE PARTÍCULAS E CAMPOS (EVJASPC, bienal) e o ENCONTRO NACIONAL DE FÍSICA DE PARTÍCULAS E CAMPOS (ENFPC, anual). A EVJASPC teve a sua vigésima edição realizada recentemente, entre 27 de janeiro e 09 de fevereiro de 2019, em Campos do Jordão, SP. Em 2018, ocorreu o XXXIX ENFPC em Campos do Jordão, SP. Em 2019, teremos a XIL edição do ENFPC, que ocorrerá conjuntamente com o XL BRAZILIAN MEETING ON NUCLEAR PHYSICS, pela primeira vez.

O ENFPC tem sido o fórum nacional unificador de discussões na nossa área, ocorrendo preferencialmente no mês de setembro, em cidades do interior de Minas Gerais ou São Paulo, contando com 200 - 250 participantes. A Comissão de organização do evento é composta pela Comissão de Partículas e Campos e pesquisadores representativos da comunidade. O evento tem consistido de 8 palestras plenárias e 16 palestras paralelas, distribuídas entre temas das 4 áreas principais. Nas últimas edições do evento, a inscrição e seleção de trabalhos seguiu, além da divisão clássica nas 4 sub-áreas do Encontro, uma distribuição segundo temas de pesquisa, com superposições entre as diferentes sub-áreas, definidos pelo Comitê Organizador do evento como segue:

GRC01: Astrophysics

GRC02: Dark matter and dark energy

GRC03: Gravitational waves, black holes, numerical relativity, and analogue models

GRC04: Modified theories of gravity

GRC05: Primordial universe, inflation and CMB

GRC06: Quantum fields in curved spaces and quantum gravity

GRC07: Other developments in general relativity and cosmology

PHE01: AdS/QCD duality, holography and hadronic models

PHE02: Astroparticle physics

PHE03: Beyond the standard model

PHE04: Collider phenomenology

PHE05: Dark matter phenomenology

PHE06: DIS, small-x and diffractive phenomena

PHE07: Heavy ion physics

PHE08: Neutrino physics

PHE09: Phase transitions in hot and dense systems

PHE10: Other phenomenological developments

EXP01: Collider physics & data analysis

EXP02: Detector R&D

EXP03: CP violation

EXP04: Neutrino experiments

EXP05: Cosmic rays

EXP06: Other experimental developments

QFT01: Non commutativity; non locality; Lorentz, CPT and other symmetries violation

QFT02: Perturbative and non-perturbative methods in field theory

- QFT03: Quantum fields at finite temperature
 QFT04: Quantum fields with boundary conditions and Casimir effect
 QFT05: Supersymmetry, string theory and gauge/string dualities
 QFT06: Topological objects in field theory
 QFT07: Other theoretical developments

Como mostra a Tabela 1, o número de participantes no ENFPC tem caído desde 2010, ano em que contou com 268 participantes. Esse decréscimo tem sido também registrado em outros eventos da SBF, sendo atribuído ao grande número de eventos nacionais que se tornaram frequentes a partir de 2008 e também ao mais fácil acesso aos eventos internacionais. A partir de 2015, o decréscimo do número de participantes tem sido agravado devido à redução do financiamento ao evento.

ANO/EDIÇÃO	LOCAL	DATA	PARTICIPANTES
2014 – XXXV ENFPC	Caxambu, MG	15 a 19/09/2014	232
2015 – XXXVI ENFPC	Caxambu (MG)	14 a 18/09/2015	200
2016 – EF/2016	NATAL (RN)	3 a 7/09/2016	-
2017- XXXVIII ENFPC	Passa Quatro (MG)	18 a 22/09/2017	205
2018 – XXXIX ENFPC	Campos do Jordão	24 a 28/09/2018	195

Tabela 1: Edições do ENFPC e números de participantes

Na Tabela 2, conferimos o número de participantes nas últimas 4 edições do evento (2014, 2015, 2017, 2018). Os 205 participantes da edição/2017 estavam assim divididos: 114 foram pesquisadores doutores, 46 alunos de Doutorado, 26 alunos de Mestrado, e 20 bolsistas de IC, divisão básica que se mantém nos outros anos. No que concerne à distribuição de participantes por estado, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais são os 3 estados com maior número de participantes, seguidos por Maranhão, Paraíba, Pará e Espírito Santo.

ANO/EDIÇÃO	PARTICIPANTES	SP	RJ	MG	MA	PB	PA	ES	RS	BA	CE	RN	PE	SC	PR
2014 – XXXV ENFPC	232	63	78	19	7	9	7	3	6	2	5	3	2	2	1
2015 – XXXVI ENFPC	200	55	67	26	11	9	2	4	1	3	2	3	1	2	3
2017- XXXVIII ENFPC	205	60	53	33	15	6	1	6	2	6	1	1	-	1	1
2018 – XXXIX ENFPC	195	57	37	29	16	6	7	3	9	4	5	7	5	1	1

Tabela 2: Número de participantes no ENFPC e distribuição por estados

3) GRANDE COLABORAÇÕES INTERNACIONAIS

Um dos destaques da área de Partículas e Campos na atualidade tem sido a participação de pesquisadores brasileiros em colaborações internacionais. Neste ínterim, iniciamos destacando as 4 grandes colaborações internacionais **CMS, ATLAS, ALICE e LHCb**, montadas para analisar a enorme quantidade de dados gerados pelo **Large Hadron Collider (LHC)**, o maior acelerador de partículas já construído, que viabilizou a descoberta do bóson de Higgs em 2012 (Prêmio Nobel em 2013) e continua a perscrutar diversos problemas da física de fronteira e da física além do Modelo Padrão. Vale ressaltar que uma parte dos físicos teóricos e experimentais de nossa comunidade tem se dedicado a trabalhar na decodificação e interpretação dos dados coletados nestes 4 grandes detectores e experimentos do LHC.

Também merece destaque a participação de físicos e astrônomos brasileiros no "**Dark Energy Survey**" (DES-Brazil), um projeto internacional baseado no telescópio Blanco de 4m, localizado no Cerro Tololo Interamerican Observatory, Chile. Essa colaboração iniciou suas observações em 2012, visando determinar a abundância e propriedades da energia escura, componente que representa mais de 70% do conteúdo do Universo, sendo considerada a responsável pela expansão ACELERADA do Universo. Além disso, o Brasil é responsável pelo desenvolvimento de um portal científico para a colaboração, que permite análise dos dados coletados e simulados. O DES terminou suas observações em janeiro de 2019 e as publicações referentes ao primeiro ano de dados representam o estado da arte na combinação de dados de distribuição de galáxias, de lenteamento gravitacional fraco e de supernovas do tipo Ia para a determinação de parâmetros cosmológicos.

Cabe destacar também a recente entrada de grupos brasileiros no Large Synoptic Survey Telescope (LSST), colaboração internacional que está em construção no CTIO e será o sucessor do DES. Além disso, há brasileiros participando do Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI), em construção nos EUA e que será o sucessor do Sloan Digital Sky Survey para levantamentos que usam espectroscopia para medir o redshift de objetos.

No que concerne à Cosmologia, o Brasil, através do Observatório Nacional e da USP, tem liderança no projeto internacional **Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey (J-PAS)**, que também ataca o problema da Energia Escura com um sistema inédito de uso de espectrofotometria, constituído de mais de 50 filtros na região ótica do espectro. O projeto já obteve dados preliminares desde 2018 e começará a varredura de mais de 8000 graus quadrados a partir do próximo ano. O potencial do J-PAS para todas as áreas da astronomia o torna o projeto de maior legado científico liderado pela astronomia brasileira até o momento. O Brasil faz parte ainda do projeto-filho do J-PAS, chamado **Javalambre Photometric Local Universe Survey (J-PLUS)**, também localizado na Serra do Javalambre, Espanha. O J-PLUS utiliza um telescópio menor, mas com um grande número de filtros (12) que já cobriu mais de 1000 graus quadrados desde o início de sua operação, em 2018. Este projeto é focado no estudo do Universo Local, porém com implicações em diversas áreas da astronomia, desde estudos do sistema solar até a física de estruturas em grande escala. Vale a pena ainda destacar, que a comunidade nacional, através da UFRN, é corresponsável pela construção do EELT-HIRES, um espectrógrafo de alta resolução no ótico e infravermelho, com capacidade ímpar de testar a física e evolução de estrelas e galáxias, assim como de detectar possíveis variações de constantes fundamentais da natureza, com importantes implicações para a física fundamental.

Na prospecção de raios cósmicos e na área de AstroPartículas, o Brasil teve e tem papel relevante no observatório internacional **Pierre Auger**, na Argentina, em operação desde 2004. Decorrente de uma

colaboração entre pesquisadores de 17 países, o observatório possui 3 mil quilômetros quadrados, sendo a maior instalação do mundo voltada para a detecção e o estudo de raios cósmicos de altíssima energia. Além do CBPF, oito instituições brasileiras participam da iniciativa. Destacamos ainda uma publicação da colaboração Auger na revista Science de setembro de 2017, relatando a medida de uma anisotropia na direção de raios cósmicos com energias superiores a 8 EeV que indica uma origem extragaláctica desses raios. Existe também forte participação brasileira no futuro **Cherenkov Telescope Array (CTA)**, uma grande colaboração internacional que consiste num arranjo de mais 100 telescópios instalados no hemisfério sul e norte, para detectar raios gamma de altíssima energia, com precisão e sensibilidade 10 vezes maior que a atualmente empregada.

Está também em discussão a possibilidade de construção de um laboratório subterrâneo em um túnel sob os Andes. O projeto **Águas Negras Deep Experiment Site (ANDES)** - <http://andeslab.org/> - poderá hospedar experimentos para a detecção de matéria escura e neutrinos. A comunidade latino-americana está iniciando discussões sobre um planejamento estratégico para infraestrutura em grandes experimentos em Física de Altas Energias e Cosmologia. Um primeiro workshop será realizado em abril desse ano sobre esse tema - <http://www.ictp-saifr.org/lasf4ri>

Ainda no que se refere a astropartículas, há colaborações para investigar neutrinos. Somos continuamente atravessados por neutrinos originados do Sol e outras fontes siderais. Neutrinos são também abundantemente produzidos nas reações de fissão nuclear que ocorrem em reatores nucleares. O experimento **CONNIE (Coherent Neutrino-Nucleus Interaction Experiment)** baseia-se na detecção dos neutrinos gerados no reator da usina nuclear de Angra II, utilizando um arranjo de CCDs (Charge Coupled Devices) como detector. O objetivo principal é observar, pela primeira vez, o espalhamento coerente, previsto pelo Modelo Padrão, mas ainda não medido devido à baixa sensibilidade dos detectores de neutrinos em baixas energias. Há físicos brasileiros também em colaborações internacionais para investigação de neutrinos, tal como a **DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment)**, localizado no estado de Dakota do Sul (USA), a 1.5 km de profundidade do solo, sendo composta de 4 detectores que envolvem 68.000 toneladas de argônio líquido para detectar neutrinos associados com fenômenos raros, como o decaimento do próton.

4) EXPANSÃO DA ÁREA NOS ÚLTIMOS ANOS NO PAÍS

A área de Física de Partículas e Campos sofreu expansão numérica pelo país, contando atualmente com diversos grupos de pesquisa ativos de norte a sul do Brasil. Nos últimos 10 anos, a área de Teoria de Campos passou por um processo de crescimento, disparado por novas contrações em departamentos e institutos já tradicionais na área, a exemplo da UFRJ, CBPF, UERJ, ON, USP, IFT/SP, UNICAMP, UFPB, assim como pela criação de novas universidades, como a UFABC, que conta atualmente com expressivo e muito atuante núcleo de pesquisadores de Partículas e Campos. Houve expansão da área em universidades do interior do Rio de Janeiro (UFRRJ), de Minas Gerais e, principalmente, no Norte-Nordeste do Brasil, onde se formaram novos grupos, bastante produtivos. Especificamente na área de cosmologia, os grupos da UFES, Observatório Nacional, CBPF e UFRJ, mantêm atividades de destaque em pesquisa.

No NE há hoje grupos de Teoria de Campos na UFPA, UFMA, UFPI, UFC, UECE, UFRN, UFPB, UFCG, UFPE, UFAL, UFBA. Existem grupos ativos em Cosmologia/Gravitação na UFRN, UFPA, UFPB e UFPE, e grupos de Fenomenologia de Partículas atuando na UFPB e na UFRN. Todos esses grupos contam com jovens pesquisadores e bolsistas de produtividade do CNPq. Há de se comentar também o papel estruturante destes grupos de pesquisa em novos programas de Pós-graduação em Física, criados nos últimos 15 anos. É importante ressaltar que, pela 1ª vez no Norte-Nordeste, alguns programas de Pós-graduação

criaram e atingiram o conceito de excelência nacional da CAPES (5), tendo como pilar estruturante grupos de Teoria de Campos e Gravitação, a exemplo do PPGF/UFPA e PPGF/UFMA, mostrando que grupos teóricos da área são também bem sucedidos no suporte qualificado à pós-graduação. Atualmente há cerca de 50 bolsistas de produtividade atuantes na área de física de partículas e Campos no Norte-Nordeste do país, assim distribuídos: UFPA (6), UFMA (7), UFC (4), UECE (3), UFCA (1), IFCE (1), UFRN (7), UFPB (12), UFCG (3), UFPE (3), UFAL (1), UFBA (2).

Podemos ainda mencionar diversos eventos e workshops realizados pela área nos últimos anos, a exemplo da “Oficina Nacional de Teoria Quântica de Campos”, evento organizado por pesquisadores de Teoria de Campos, que teve 6 edições realizadas pelo país: UFG (2011), UFCG (2012), UNB (2013), UFMA (2014), UFF (2016) e UFMA (2017), demonstrando um elevado nível de atividade da área. Neste contexto, também é digno de nota os eventos de caráter internacional realizados anualmente no PPGF/UFPA, como o Amazonian Workshop on Black Holes and Analogue Models of Gravity, que teve sua 5ª e 6ª edição em 2018 e 2019, e o Amazonian Symposium on Physics (ASP), que teve sua 4ª edição em 2017. Na área de cosmologia/gravitação, merecem destaque a realização de eventos tradicionais, como as Escolas Jayme Tiomno de Cosmologia, José Plínio Batista e o CosmoSul.

Outro ponto digno de nota é a existência de dois INSTITUTOS INTERNACIONAIS em plena atuação no cenário da Física brasileira. O ICTP South American Institute for Fundamental Research (ICTP-SAIFR), um novo instituto para física teórica, localizado em São Paulo e criado em colaboração com o International Centre for Theoretical Physics (ICTP), com apoio da FAPESP. Mantém uma intensa agenda de eventos e atividades anuais. O segundo instituto é o IIP /UFRN (International Institute of Physics), localizado em Natal, sendo um instituto de vocação internacional em tópicos na fronteira da física, incluindo várias linhas de pesquisa em física de partículas e campos. Também possui uma agenda permanente de eventos internacionais de alta qualidade. O IIP/UFRN também tem um papel importante na redução das assimetrias científicas entre sul/sudeste e nordeste do país.

5) DADOS SOBRE A PRODUÇÃO INDEXADA DA ÁREA DE PARTÍCULAS E CAMPOS

A ÁREA DE FÍSICA DE PARTÍCULAS E CAMPOS está associada aos primórdios do desenvolvimento da física brasileira. Apesar de congregarem cerca de apenas 11% dos sócios da SBF, a área responde por aproximadamente 35% da produção indexada da física brasileira nas revistas do Physical Review e cerca de 30% do total da física brasileira no Web of Science (dados da Coleção Principal do repositório internacional WEB OF SCIENCE). Iniciamos examinando a produção indexada da área de Partículas e Campos nas revistas do Physical Review. Observamos que de 2010 a 2018, há registro de 6192 artigos nas várias revistas do Physical Review assinados por físicos associados a instituições brasileiras (“affiliation”). No mesmo período, ocorreram 1956 publicações de brasileiros no Physical Review D (31,6%), 432 publicações no Physical Review C (7%) e 3 Phys. Rev. Accel. Beams. Os dados de publicação por ano mostram que o número de papers no Physical Review cresceu cerca de 30%, enquanto o número de papers no PRD praticamente dobrou de 2010 a 2018. Estes dados estão ilustrados nos gráficos da Fig. 1 e Fig.2

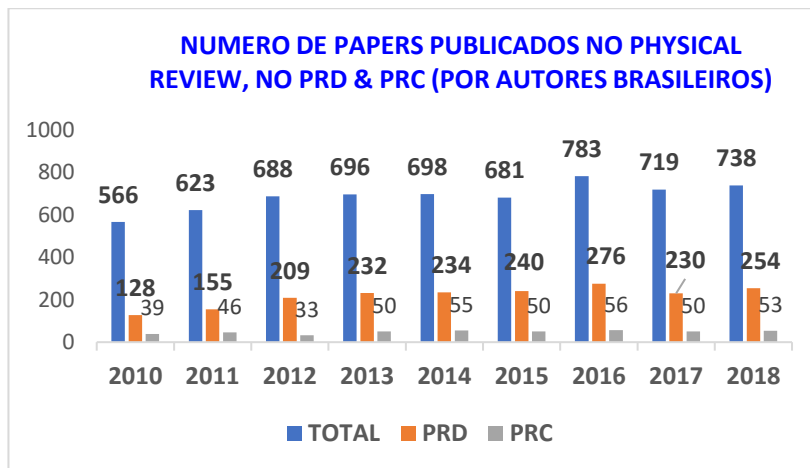


Figura 1: NUMERO DE PAPERS PUBLICADOS NO PHYSICAL REVIEW, NO PRD & PRC (POR AUTORES BRASILEIROS)

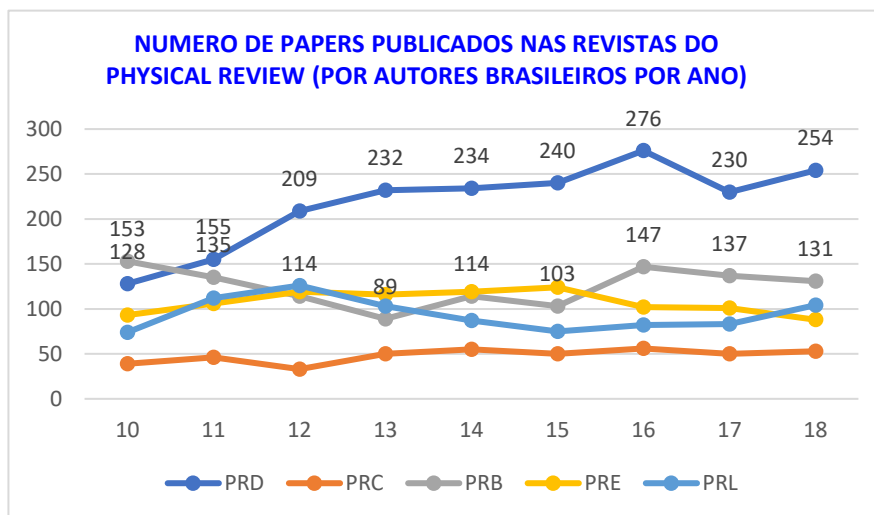


Figura 2: NUMERO DE PAPERS PUBLICADOS NAS REVISTAS DO PHYSICAL REVIEW (POR AUTORES BRASILEIROS POR ANO)

Se em 2010 as publicações no PRD respondiam por 22% do total, a partir de 2014 passaram a representar 35% da publicação brasileira nas revistas do Physical Review. É digno de nota destacar que, desde 2013, as publicações no PRD e PRC (Partículas & Campos e Nuclear) representam mais de 40% do total da publicação brasileira no Physical Review. O gráfico da Fig. 3 ilustra bem o cenário.

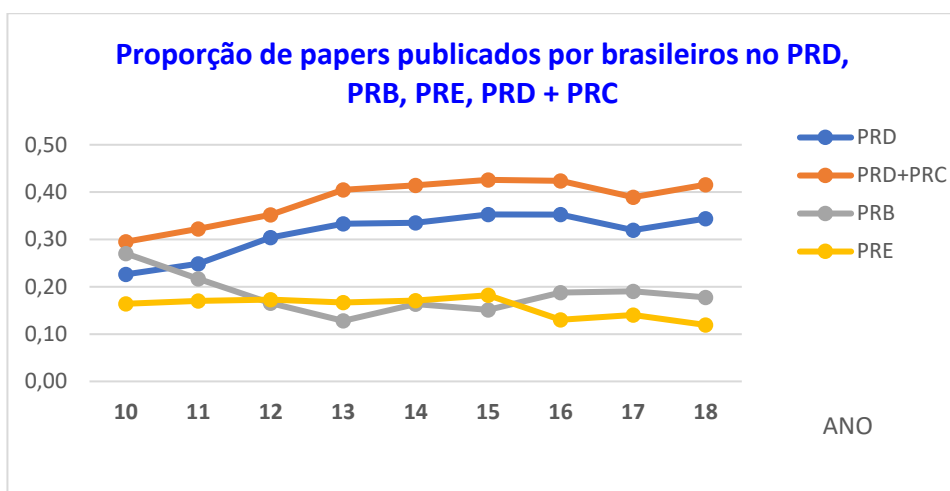


Figura 3: Proporção das publicações no PRD, PRB, PRE, PRD + PRC

É importante ainda ressaltar que no período de 2010 a 2018 ocorreram 846 publicações assinadas por brasileiros no Physical Review Letters, das quais mais de 50% correspondem a publicações da área de Física de Partículas e interações fundamentais, montante que se for contabilizado, eleva a participação de Partículas & Campos e Nuclear a aproximadamente 45% do total. Finalizamos exibindo um quadro comparativo da produção total brasileira no Physical Review, cuja proporção subiu de 2,9% em 2010 para 3,6% em 2018, tal como ilustrado na Tabela 3.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL (BR)	566	623	688	696	698	681	783	719	738
TOTAL MUNDIAL	19566	20028	20525	19298	18689	18288	19209	19815	20257
PROPORÇÃO BRASIL/MUNDO	2,9%	3,1%	3,4%	3,6%	3,7%	3,7%	4,1%	3,6%	3,6%

Tabela 3: Publicações brasileiras no Physical Review x total das publicações mundiais no Physical Review.

Dado que o PHYSICAL REVIEW não representa a totalidade das bases de publicação da física mundial, convém analisar também dos dados contidos no Web of Science, que captura dados gerais de publicação indexada em todas as áreas do conhecimento. Na COLEÇÃO PRINCIPAL do Web of Science, nos últimos 9 anos (2010-2018), há registro de 542.727 documentos assinados por pesquisadores brasileiros, onde se registra um substancial crescimento (de 75%) na produção anual brasileira (em todas as áreas), quando se compara 2010 a 2018. No que tange à área de física, a produção foi de 38.890 documentos neste período. Passou de cerca de 3657 documentos indexados em 2010 para 4742 documentos em 2018, um crescimento de 30%. Esses dados estão ilustrados na Tabela 4.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL	43789	45832	49586	52512	54587	69725	72936	76720	77040
FISICA	3657	3736	4179	4436	4491	4860	4880	4909	4742
FPC, ASTRONOMIA, ASTROFISICA	1053	959	1058	1135	1292	1404	1545	1583	1516
FPC, NUCLEAR, ASTRONOMIA, ASTROFISICA	1182	1124	1196	1364	1457	1436	1566	1603	1526
PROPORÇÃO	0,32	0,30	0,29	0,31	0,32	0,30	0,32	0,33	0,32

Tabela 4: Publicação brasileira no Web of Science

Dentro da área de Física, as subáreas de Astronomia, Astrofísica, Física de Partículas e Campos (FPC) e Nuclear (com a qual tem significativa intersecção de interesses), são tipicamente associadas às revistas e publicações da área das interações fundamentais. A produção em tais áreas teve crescimento de 30% entre 2010 e 2018, correspondendo, na média, a 30% do total da produção da Física brasileira neste período. Os dados da Tabela 4 são ilustrados no gráfico da Fig. 4.

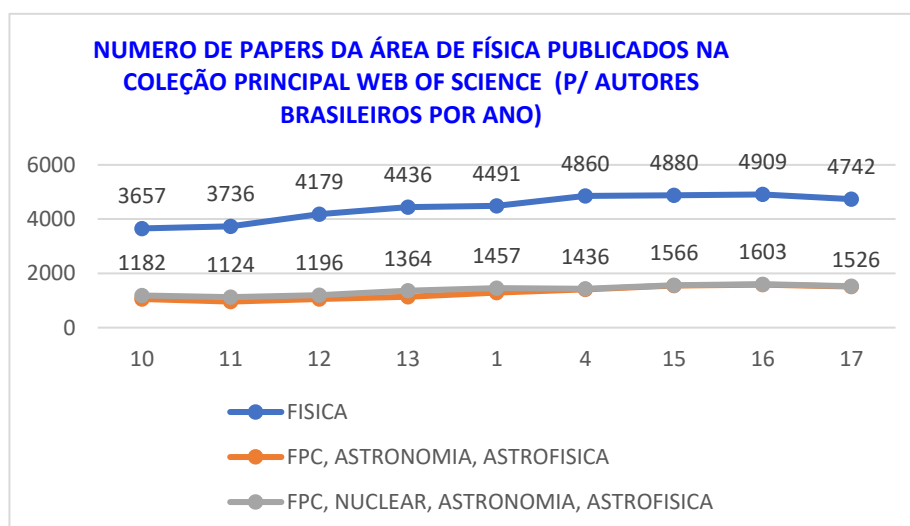


Figura 4: NUMERO DE PAPERS DA ÁREA DE FÍSICA PUBLICADOS NA COLEÇÃO PRINCIPAL WEB OF SCIENCE (POR AUTORES BRASILEIROS POR ANO)