

# A física de plasmas no Instituto de Física da UFRGS: 1974–1989

Plasma physics at the UFRGS Physics Institute: 1974–1989

Luiz Fernando Ziebell<sup>\*1</sup>, Carlos Alberto dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Porto Alegre, RS, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal Rural do Semiárido, Departamento de Ciências Naturais, Matemática e Estatística, Mossoró, RN, Brasil.

Recebido em 22 de fevereiro de 2024. Aceito em 26 de fevereiro de 2024.

A pesquisa em física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul teve início em 1960, logo depois da criação do Instituto de Física, no final de 1959. A primeira área de concentração foi a física nuclear teórica, a partir da qual emergiram várias outras áreas. Em 1974 foi criado o grupo de pesquisa em física de plasmas, com alguns pesquisadores oriundos da física nuclear. Os primeiros 25 anos da história desse grupo são abordados neste trabalho, com ênfase na produtividade científica em termos de dissertações de mestrado, teses de doutorado, relatos em eventos científicos e publicações em periódicos de circulação internacional. Uma breve análise bibliométrica mostra a maturidade científica do grupo e o grau de adesão às ideias e diretrizes que motivaram sua criação. Finalmente, os registros históricos mostram que o desenvolvimento do grupo constitui um exemplo bem-sucedido de planejamento institucional, em contraposição a situações em que novas linhas de pesquisa surgem quase como resultado de geração espontânea, de simples ramificação de grupos já existentes.

**Palavras-chave:** Física de plasmas, Instituto de Física, UFRGS.

The research in physics at the Federal University of Rio Grande do Sul started in 1960, soon after the creation of the Institute of Physics, by the end of 1960. The first area of concentration was theoretical nuclear physics, which in the sequence originated several other research areas. In 1974 was created the plasma physics group, incorporating some researchers originated from nuclear physics. The initial 25 years of the history of this group are discussed in this work, with emphasis on the scientific productivity in the form of master dissertations, doctoral thesis, contributions to scientific events, and publications in journals with international circulation. A brief bibliometric analysis shows the scientific maturity attained by the group and the degree of adherence to the ideas and principles which motivated its creation. Finally, the historical registers show that the development of the group constitutes a well-succeeded example of institutional planning, in contrast with situations in which new research lines appear almost as a result of spontaneous generation, by simple ramification of groups already existent.

**Keywords:** Plasma physics, Instituto de Física, UFRGS.

## 1. Introdução

O projeto de pesquisa em física na UFRGS surgiu em 1953, com a criação do Centro de Pesquisas Físicas (CPF-URGS) [1, p. 20–3]. No entanto, as circunstâncias institucionais, sobretudo a falta de pessoal com formação científica, não favoreceram o surgimento de pesquisa em física até 1959, quando o CPF-URGS deu lugar ao IF-UFRGS [4, p. 30]. Além de catedráticos da Faculdade de Filosofia, sem formação pós-graduada em física, mas que deram suporte acadêmico e administrativo à iniciativa, a universidade contou com o empenho pessoal de dois jovens bacharéis em física, Darcy Dillenburg e Gerhard Jacob [1, p. 89], que estavam fazendo um curso de aperfeiçoamento na USP vinculado ao projeto do reator nuclear daquela universidade. Foi essa circunstância casual que levou o IF-UFRGS a ter a física nuclear

teórica como sua primeira área de pesquisa. Uma visão geral das diversas áreas implementadas desde então é apresentada no livro comemorativo dos 50 anos do instituto [1].

A linha do tempo da pesquisa no IF-UFRGS seguiu uma rota similar àquelas observadas nas várias instituições do gênero. À medida que novos temas de pesquisa vão surgindo e seus registros na literatura tornam-se cada vez mais instigantes, parte dos pesquisadores muda de área de interesse, em busca da inovação. Ao longo da primeira década do Instituto de Física da UFRGS (IF-UFRGS), entre 1959 e 1969, a física nuclear teórica era a área predominante, mas outras áreas começaram a surgir, como astronomia [5, p. 148], óptica e laser [6, p. 129], correlações angulares e espectroscopia Mössbauer [7, p. 159]. No início da segunda década, alguns pesquisadores liderados por Darcy Dillenburg começaram a perceber a importância da física de plasmas, inicialmente por causa das pesquisas em torno da fusão

\*Endereço de correspondência: [luiz.ziebell@ufrgs.br](mailto:luiz.ziebell@ufrgs.br)

nuclear e da febre em torno dos tokamaks [8–10]. Para além dessas inspirações, os pesquisadores do IF-UFRGS que terminaram por criar o grupo de plasma também começaram a perceber outros aspectos academicamente interessantes.

A física de plasmas é uma área da física com um evidente caráter interdisciplinar. Ela abrange tanto aspectos relacionados a conhecimentos básicos sobre complexos fenômenos que ocorrem no Universo, como aqueles ligados com o comportamento da magnetosfera terrestre, do vento solar, ou de plasmas astrofísicos, quanto aspectos extremamente desafiadores e importantes para o futuro da humanidade, como é o supracitado caso da fusão nuclear controlada. A física de plasmas engloba, também, aspectos relacionados a fenômenos e processos de interesse tecnológico para os dias de hoje. Pela abrangência de temas com que lida, e por tratar em muitos desses temas com sistemas extremamente complexos, constitui-se em área muito apropriada para o desenvolvimento de recursos humanos, oferecendo oportunidade de aprendizagem e geração de conhecimento em abordagens matemáticas complexas e em métodos numéricos de modelagem de sistemas físicos. Os métodos e abordagens desenvolvidos no contexto da física de plasmas podem ser facilmente estendidos para outros contextos, em dinâmica de fluidos, em meteorologia, em telecomunicações, entre outros.

A argumentação apresentada no parágrafo anterior era recorrente entre as pessoas que idealizaram a criação de grupo de pesquisa em física de plasmas no IF-UFRGS, segundo se depreende em conversas com pessoas que vivenciaram aquela época. Um dos autores do presente trabalho (LFZ), que teve contato com a área durante quase toda a sua vivência acadêmica, recorda que teve muitas conversas com pessoas que participaram da fundação do grupo de plasmas, e ouviu muitas vezes a apresentação desse tipo de argumento.

O argumento também é visto claramente exposto em um texto do próprio Darcy Dillenburg, em discurso proferido por ele em 2003, quando foi homenageado em um encontro da área de física de plasmas, promovido pela Sociedade Brasileira de Física (SBF)<sup>1</sup>. O texto foi posteriormente publicado em inglês [11], do qual extraímos esse trecho:

Há um dia em 1974 que me pareceu importante e que registrei cuidadosamente em minha memória. O Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, fundado 15 anos antes, estava fazendo pesquisa teórica em física nuclear e teoria quântica de campos, e pesquisa experimental em correlações angulares perturbadas, efeito Mössbauer e ótica quântica. A física

da matéria condensada era coberta tanto experimentalmente quanto teoricamente, e a Astronomia estava indo bem (...). Mas uma preocupação crescente na época, frequentemente discutida com meus colegas e bons amigos Gerhard Jacob e Theodor Maris, era como alargar o espectro de atividades de pesquisa de maneira a reforçar o ensino de graduação e Pós-Graduação em temas da física clássica (sem h cortado), nos aproximando de aplicações importantes (como fusão), e atraindo mais estudantes interessados em física de boa qualidade com possíveis aplicações. Naquele dia chegamos a uma decisão: entraríamos em física de plasmas (...). Fomos para a biblioteca, pegamos alguns livros que estavam disponíveis, e escolhemos um. Um grupo de cerca de 10 físicos teóricos e estudantes de Pós-Graduação de diferentes níveis começaram em seguida uma série de seminários semanais para aprender física de plasmas a partir do princípio. [Tradução nossa].

O Grupo de Física de Plasmas do IF-UFRGS, como grupo de pesquisas reconhecido institucionalmente, iniciou suas atividades naquele ano de 1974 mencionado por Darcy Dillenburg, e como se vê, sua criação foi motivada pela ideia de dinamizar atividades em uma área de física clássica, alargando o leque de opções dentro de uma instituição cujas atividades de pesquisa na área teórica estavam até então principalmente relacionadas com a física quântica, focadas mais especialmene em física nuclear. Tendo a formação do grupo partido dessa motivação inicial, pesquisadores de outras áreas migraram para a área de plasmas, e desde a formação dos primeiros grupos de discussão a respeito do tema investiram com afinco na formação de recursos humanos. Em consequência, os primeiros doutores na nova área começaram a ser formados já a partir de 1979, tendo alguns permanecido na instituição que os formou e outros migrado para outras instituições.

A criação e o desenvolvimento desse grupo são o objetivo do presente trabalho. Procuramos apresentar alguns aspectos a respeito da criação e dos passos iniciais do grupo, discutindo a formação de colaborações nacionais e internacionais, explicitando a evolução e a diversificação dos temas abordados nas pesquisas do grupo, e apresentando brevemente um panorama a respeito dos trabalhos desenvolvidos no âmbito do grupo, na forma de teses e dissertações, bem como na forma de trabalhos publicados.

A estrutura do artigo é a seguinte: na seção 2 apresentamos a gênese e o desenvolvimento de colaborações com pesquisadores de instituições nacionais e internacionais. Na seção 3 comentamos sobre os principais temas abordados nas atividades de pesquisa desenvolvidas no âmbito do grupo de plasma do IF-UFRGS no período

<sup>1</sup> X Latin American Workshop on Plasma Physics, 7th Brazilian Meeting on Plasma Physics, Dezembro de 2003, São Pedro, SP, Brasil.

1974–1989. Na seção 4 analisamos a produção acadêmica proveniente do grupo, na forma de teses e dissertações e na forma de artigos publicados. Finalmente, apresentamos comentários finais na seção 5.

## 2. Colaborações Nacionais e Internacionais

A forma como foi criado o grupo de plasmas no IF-UFRGS favoreceu a ocorrência de colaborações bem sedimentadas já desde o seu início. Como comentado na seção de introdução, a criação do grupo partiu de uma ideia compartilhada por um grupo de pessoas, que começou na sequência a agir de modo a pôr em prática a ideia. Uma destas pessoas era o Dr. Darcy Dillenburg, que havia sido um dos fundadores do IF-UFRGS, e que veio a ser o líder do grupo de plasmas durante todo o restante de sua vida acadêmica. Foram organizados seminários regulares cujo objetivo era estudar os fundamentos da física de plasmas. Participavam desses seminários pesquisadores de outras áreas, motivados a aprender sobre um tema novo e fornecer massa crítica para o desenvolvimento da nova área de atividade no instituto, e também pesquisadores interessados em desenvolver pesquisas na nova área. Segundo relatos de pessoas que participaram desses seminários, havia uma bibliografia indicada, normalmente um livro sobre os fundamentos da disciplina. O material a ser abordado em cada seminário era proposto com antecedência de uma semana, e todos os participantes procuravam estudar o assunto. Chegado o dia do seminário, o apresentador do dia era sorteado entre os participantes. Esse método bastante agressivo de aquisição de conhecimento conduzia de forma natural a discussões que tendiam a convergir após algum tempo. Dessa forma criou-se bem rapidamente um núcleo com alguma bagagem a respeito dos fundamentos da área, embora ainda sem experiência em pesquisa.

Em paralelo à realização desses seminários envolvendo pesquisadores locais, foi também adotada uma outra estratégia nessas etapas iniciais do grupo. Convênios foram estabelecidos com instituições do exterior e pesquisadores da área de plasma foram convidados para estadas no IF-UFRGS. Alguns desses visitantes tiveram impacto bem perceptível na história do grupo. O primeiro a ser mencionado é o Dr. John D. Gaffey Jr., conhecido como Jack Gaffey, formado na Universidade da Califórnia em San Diego, EUA. Após um pós-doutorado na University of Maryland in College Park, MD, EUA., Jack foi convidado a colaborar com o recém-criado grupo da UFRGS, como professor visitante. Durante sua estada como visitante, que se estendeu de 1976 a 1980, Jack orientou os trabalhos de tese de Doutorado de Eda H. da Jornada e de Ruth de S. Schneider, professoras do Departamento de Física da UFRGS que tinham feito Mestrado na área de Física Nuclear e estavam mudando de área, e participando da criação do novo grupo. Jack

foi também coorientador do Mestrado de Américo T. Bernardes, junto com Eda Jornada em seu primeiro trabalho de orientação logo em seguida a seu Doutorado. Américo tinha feito a graduação em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), veio para a UFRGS para o Mestrado, posteriormente fez um Doutorado na USP, e é atualmente professor na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

Outro visitante dessa época inicial que esteve envolvido em orientações foi o Dr. Pitter Graeff, da München Universität, Munique, Alemanha Ocidental. Durante duas visitas, em 1977 e 1978, o Dr. Graeff ministrou minicursos e apresentou seminários. Muito interessado em pautas ambientais, envolveu-se com pessoas que participaram da fundação da Associação Gaúcha de Proteção ao Ambiente Natural (AGAPAN), entidade que foi precursora em lutas em prol do meio ambiente, tão caras à sociedade dos tempos atuais. Nesse contexto de atividades, orientou o trabalho de Mestrado de Beate Frank, concluído em 1981, que tratava de convecção induzida pelo sol, em chaminés solares, e que não é tradicionalmente considerada como produção intelectual do grupo de física de plasmas.

Foi também durante o período final dos anos 1970 que esteve como professor visitante no IF-UFRGS o Dr. Jan Mondt, de nacionalidade holandesa. Ficou no IF durante 1978–1979, e orientou o Doutorado de João Goedert, concluído em junho de 1979. A tese de João Goedert tratava de instabilidades em plasmas que eram devidas a anisotropia de temperaturas em meios não homogêneos. Ao que se sabe, essa tese pode ser considerada a primeira na área de plasmas inteiramente produzida no Brasil, sendo apresentada pouco tempo depois da tese de Iberê Caldas, defendida na USP em 1979, a qual teve o trabalho de tese realizado no Max-Planck-Institut für Plasma Physik, Garching, Alemanha, durante estada do Dr. Caldas na Alemanha.

Deve ser ainda mencionada a presença no IF-UFRGS da Dra. Maria Z. Caponi, de nacionalidade argentina, que estava na época em atividade na University of Maryland, e que esteve junto com seu marido Enrique em visita ao IF-UFRGS, em 1977, ministrando seminários e mini-cursos. Registros no IF-UFRGS indicam que Enrique Caponi ministrou um curso sobre hidrodinâmica para estudantes da Pós-Graduação em física, enquanto Maria Caponi aparece como coautora de dois trabalhos publicados por integrantes do grupo de plasmas, nessa fase de implantação do grupo [12, 13].

Outras duas visitas também devem ser mencionadas nessa época, as quais se destacam pelos seus efeitos a longo prazo nas atividades do grupo. Uma foi a do Dr. Ching-Sheng Wu, da University of Maryland (UMD). Em sua primeira visita ao IF-UFRGS, ocorrida em 1978, o Dr. C.S. Wu veio acompanhado de um jovem pesquisador vinculado ao Naval Research Laboratory, Washington DC, EUA, o Dr. Henry P. Freund. Nessa primeira visita o Dr. Wu ministrou seminários e minicursos,

e envolveu participantes locais na elaboração de um trabalho de pesquisa, que é o primeiro a aparecer na lista de publicações do grupo, disponível no endereço institucional<sup>2</sup>. Trata-se de um estudo a respeito da excitação de ondas de baixa frequência por feixes de íons com grande dispersão em velocidades [14]. Os integrantes locais se envolveram nos cálculos teóricos, sob a supervisão do Dr. Wu, e obtiveram as soluções numéricas correspondentes, fazendo uso de um minicomputador HP que havia sido adquirido pelo IF-UFRGS e era compartilhado pelos diversos grupos de pesquisa, mediante um calendário para marcação de horários de uso semanais. Essa visita dos Drs. Wu e Freund consolidou uma colaboração da UFRGS com a UMD que havia se iniciado com a vinda do Dr. Gaffey como visitante de permanência mais longa, e da Dra. Caponi, como mencionado anteriormente. Essa colaboração rendeu frutos acadêmicos logo de início, se desenvolveu ao longo de muitos anos, e continua a existir.

Os Drs. Wu e Freund retornaram ao IF-UFRGS em maio de 1981, e depois disso o Dr. Wu realizou várias visitas, a última delas em abril de 1995. Por outro lado, pesquisadores ligados ao grupo de plasmas do IF-UFRGS foram para a UMD para a realização de pós-Doutorado, como a Dra. Eda Jornada entre 1983 e 1984, como um dos autores do presente trabalho (LFZ), entre 12/1989 e o início de 1991, e como o Dr. Felipe Rizzato, que passou um período na UMD entre 1988 e 1990, logo após sua conclusão do Doutorado na UFRGS. Após seu retorno, Felipe Rizzato foi aprovado em concurso para docente na UFRGS. De maneira geral, a colaboração entre o IF-UFRGS e a UMD na área de plasma pode ser classificada como vinculada ao estudo de plasmas espaciais, de ondas e instabilidades em plasmas, e de sistemas não lineares em geral.

Uma outra colaboração que rendeu frutos duradouros, essa ligada à área da fusão nuclear controlada, iniciou-se com a visita dos Drs. Ignácio Fidone e Giovanni Granata, do Centre d'Études Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, França. Esses dois cientistas estiveram no IF-UFRGS entre setembro e novembro de 1978, e retornaram para uma visita mais curta em setembro de 1980. Em sua primeira visita o Dr. Fidone ministrou um mini-curso sobre emissão e absorção de radiação em plasmas, frequentado por professores do instituto que estavam se iniciando na área, como foi o caso de LFZ. Ainda podem ser encontradas no IF-UFRGS cópias das notas manuscritas utilizadas pelo Dr. Fidone para ministrar seu curso, que foi bastante intensivo. Além das aulas do curso, integrantes locais foram engajados na realização de pesquisas visando publicação de um artigo, aprendendo assim fundamentos da área de forma intensiva e aplicada à busca de resultados. Nesse sentido, a visita do Dr. Fidone seguiu uma sistemática similar à adotada na visita do Dr. Wu, com minicurso e engajamento na pesquisa. No desenvolvimento da parte numérica do

trabalho iniciado durante a estada de Fidone e Granata, ocorreu a visita em novembro de 1978 de um então jovem doutor que colaborava com o grupo do Dr. Fidone, o Dr. René-Luc Meyer, da Université de Lorraine, em Nancy, França. O resultado dessa visita constituiu-se em outro dos primeiros trabalhos publicados pelo grupo [15].

Na sequência, LFZ realizou estágio de pós-Doutorado em Fontenay-aux-Roses, entre 1984 e 1986, e um seu orientando fez o mesmo entre 1988 e 1989. Esse orientando, Paulo Ricardo da S. Rosa, ainda como estudante de Doutorado tornou-se professor da Universidade de Mato Grosso do Sul (UFMS), a partir de onde manteve colaboração com o grupo da UFRGS em pesquisas sobre aquecimento e geração de corrente em plasmas termonucleares, até sua recente aposentadoria.

Os visitantes mencionados individualmente nos parágrafos anteriores tiveram papel importante no estabelecimento do grupo no IF-UFRGS. Além desses, muitos outros pesquisadores estiveram em visita ao IF-UFRGS posteriormente, ou receberam visitas de pesquisadores do IF-UFRGS, ou mantiveram colaboração à distância. Entretanto, pode-se dizer que essas outras colaborações já ocorreram em uma fase em que o grupo se encontrava consolidado, tendo, portanto, já um caráter diferente daquelas que foram destacadas nos parágrafos anteriores. Seria o caso, por exemplo, do Dr. Marc Feix, da Université de Orléans, França, que esteve no IF-UFRGS para uma curta visita na década de 1980, e recebeu o Dr. João Goedert (do Depto. de Física da UFRGS) para um pós-doutorado em Orléans, entre 1993 e 1994, já fora do período abrangido pelo presente artigo.

O Dr. João Goedert também realizou estágio de pós-doutorado no Los Alamos National Laboratory (LANL), EUA, onde publicou artigo com J.P. Mondt, que havia sido seu orientador de Doutorado na UFRGS e que na década de 1980 estava radicado no LANL, e com o Dr. H.R. Lewis. Esses trabalhos com o Dr. Lewis inauguraram uma outra vertente das atividades do grupo, à qual o Dr. Goedert se dedicou por algum tempo, que foi a investigação sobre quantidades invariantes em física de plasmas. Outras colaborações significativas foram iniciadas ou se desenvolveram já na década de 1990, ou mais recentemente, com ou sem visita presencial de pesquisadores, em um sentido ou outro. Por estarem fora do período abrangido pelo presente trabalho, não serão aqui abordadas.

### 3. Os Primeiros Temas Investigados

Conforme mencionado na introdução, a formação do grupo de física de plasmas no IF-UFRGS veio acompanhada de uma motivação para encontrar temas de pesquisa orientados de modo a oferecerem opção de formação de recursos humanos, buscando tanto temas voltados para a compreensão de fenômenos naturais ligados a plasmas quanto temas que permitissem o acompanhamento de avanços na área de fusão nuclear

<sup>2</sup> <http://www.if.ufrgs.br/plasma/>.

controlada e em outras áreas de tecnologia envolvendo plasmas.

Como veremos a seguir, nota-se que a estratégia adotada de busca de colaboradores já com experiência na área para alavancar o avanço local, e o perfil dos colaboradores que vieram a participar, mostram consonância com esses objetivos. É difícil a posteriori avaliar se o perfil dos primeiros visitantes e colaboradores do grupo foi realmente fruto de escolha consciente, ou se houve alguma dose de acaso, mas o fato é que se observa desde as primeiras produções do grupo uma adequação aos objetivos propostos. Observa-se também desde o início uma concentração em atividades de cunho teórico, que se perpetuou ao longo dos anos. Esse aspecto pode ter sido resultado de decisão consciente de concentrar esforços em temas que pudessem produzir resultados de relevância suficiente para dar origem a publicações em periódicos respeitados da área, sem necessidade de recursos vultosos como poderiam ser necessários para montagem de um laboratório capaz de levar a resultados competitivos em nível internacional. Pode ter sido também resultado do perfil dos pesquisadores locais envolvidos na criação do grupo.

Com relação a isso, o próprio Darcy Dillenburg declarou anos depois que havia intenção de começar com pesquisa teórica e que atividades experimentais viriam a seguir, mas que a maior aposta quanto a isso, que na época era doutorando na Ruhr University Bochum, Alemanha, decidiu seguir carreira na área de engenharia nuclear [11]. Analisando a situação com a perspectiva do tempo decorrido, podemos supor que pode ter havido uma combinação dos dois fatores mencionados, na orientação das atividades do grupo, desde seus primórdios.

Buscando as primeiras publicações na área de plasmas que apresentam autores filiados à UFRGS, seja na Web of Science ou na lista de publicações constantes na página do grupo, vemos que os primeiros registros se referem a apresentações em conferências. O primeiro registro que encontramos é um trabalho de 1975 apresentado na reunião da American Physical Society (APS), que tem como autores J.D. Gaffey e C.S. Liu, afiliado à University of Maryland at College Park, EUA. Esse primeiro artigo tem como um dos autores Jack Gaffey já filiado à UFRGS, mas não tem entre seus autores nenhum integrante oriundo da instituição brasileira. Há outros artigos desse tipo no ano de 1976, de autoria de Gaffey e Liu, e de autoria de Gaffey e Enrique Caponi, ambos apresentados na reunião da APS. Não vamos nos concentrar nesses trabalhos, que podem ser considerados importados pelo visitante recém-chegado na época, e vamos examinar com mais atenção os primeiros trabalhos que tem entre seus autores integrantes locais, da UFRGS.

Os primeiros trabalhos desse tipo são datados de 1976 e apareceram na revista *Ciência e Cultura* e no livro de resumos da X Reunião Anual da SBF, ocorrida em Brasília [16–18]. Esses trabalhos tiveram por tema ondas em plasmas fracamente magnetizados, instabilidades

causadas por feixes de íons, e distribuições de partículas alfa em plasmas termonucleares, respectivamente.

Na sequência, vemos na lista de publicações do grupo o aparecimento de trabalhos apresentados em um encontro da área de plasmas realizado em Trieste, na Itália, de autoria de Eda Jornada, Jack Gaffey e Maria Caponi [19] e de Ruth Schneider e Jack Gaffey [20]. Vemos também dois trabalhos apresentados em uma conferência sobre aspectos teóricos da fusão controlada, realizada em San Diego, na Califórnia. Esses trabalhos têm a autoria de Eda Jornada e Ruth Schneider, ambas com Jack Gaffey [21, 22]. Examinando os títulos dos trabalhos apresentados nessas duas conferências, vemos que em todos estão presentes palavras como “instabilidades”, “aquecimento”, “partículas alfa”, “feixes de íons”, “fusão nuclear”, indicando bem os temas iniciais abordados pelo grupo.

A lista de trabalhos apresentados em conferências prossegue a partir daí, alternando eventos nacionais e internacionais, e gradativamente apresentando novos tópicos. E foi por essa época que apareceu o primeiro trabalho publicado pelo grupo em periódico de circulação internacional. Foi o trabalho diretamente originado da primeira visita de C.S. Wu ao IF-UFRGS, mencionado na seção 2. Foi publicado na revista *Physics of Fluids* e teve como autores C.S. Wu, D. Dillenburg, J.D. Gaffey Jr., J. Goedert, L.F. Ziebell e H.P. Freund [14]. O título era “Excitation of low frequency waves by streaming ions via anomalous cyclotron resonance”, e novamente vemos aí a presença de instabilidades em plasmas (na excitação de ondas) e feixes de íons. Esse trabalho foi logo seguido por outro, de Freund, Wu, Lee e Dillenburg, também em *Physics of Fluids*, e que marca já no título o aparecimento de um outro tema que acabou bastante presente na atuação do grupo ao longo dos anos, a emissão de radiação, uma vez que menciona “spontaneous synchrotron emission” (emissão espontânea de radiação de síncrotron). L.C. Lee era um físico então ligado à UMD, e que foi coautor em mais um outro trabalho do grupo da UFRGS, mas nunca visitou a instituição.

A esses primeiros trabalhos seguem-se alguns outros ligados aos temas já mencionados, instabilidades, feixes de partículas, emissão de radiação, incluindo o já mencionado trabalho desenvolvido durante a visita de Fidone, Granata e Meyer [15], até que em 1981 emerge um novo tema que também se fez presente ao longo da trajetória do grupo, o dos lasers de elétrons livres. Foi em um trabalho que teve H.P. Freund como primeiro autor e a participação de D. Dillenburg, E. da Jornada, B. Liberman e R.S. Schneider, publicado em *Physical Review A* [23].

Prosseguindo com o exame da bibliografia produzida pelo grupo dentro do período investigado no presente artigo, que vai até o final da década de 1980, vemos que os temas abordados na fase inicial continuaram sendo objeto de investigação, às vezes sendo ramificados em subtemas que capturaram o interesse do grupo. Ao

mesmo tempo, outros temas surgiram no período. Por exemplo, podemos citar uma linha de abordagem de problemas mais matemáticos, iniciada com o trabalho de H.R. Lewis, do LANL, e de J. Goedert, do IF-UFRGS, sobre invariantes exatos em situações com potencial dependente do tempo [24].

Uma outra linha que pode ser mencionada é o estudo de sólitons e sistemas não lineares de maneira geral, iniciada com o trabalho de Doutorado de Felipe B. Rizzato [25]. Ou ainda a abordagem de problemas ligados à camada limite geofísica, mais na área de física de fluidos do que de plasmas, como dois trabalhos de 1988, de O.L.L. Moraes (então estudante de Doutorado) [26] e de O.L.L. Moraes e João Goedert [27]. Esses dois trabalhos, por sinal, podem ser considerados exemplo da premissa inicial invocada na formação do grupo, de criar no IF uma área de pesquisa em tema de física clássica com interface em áreas correlatas, como a meteorologia. E foi ainda em 1989, ao final do período coberto no presente artigo, que surgiu o primeiro trabalho dedicado ao estudo de propriedades dispersivas em plasmas não homogêneos, que veio a ser um dos temas estudados pelo grupo nos anos subsequentes [28]. Esse trabalho contou com a participação de L.F. Ziebell e R.S. Schneider, e foi parte do trabalho de tese de Doutorado de Rafael Alves Caldela Filho, professor na Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

Com essa análise baseada nos primeiros artigos publicados pelo grupo de plasmas do IF-UFRGS, podemos considerar encerrada a tarefa de identificar os primeiros temas de pesquisa abordados pelo grupo. A seguir vamos abordar de forma mais abrangente a bibliografia produzida pelo grupo no período considerado.

## 4. Bibliografia do Grupo no Período Considerado

Ao analisar a produção bibliográfica do grupo, vamos dividir a atenção entre trabalhos apresentados na forma de dissertações e teses e trabalhos publicados. As listas de dissertações e teses defendidas no âmbito do grupo no período considerado podem ser vistas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

### 4.1. Dissertações e teses

Vamos aqui apresentar e discutir a produção de dissertações e teses originadas do grupo de física de plasmas do IF-UFRGS, no período que vai desde sua criação até 1989. Vamos começar com as dissertações. Novamente, faremos uso das informações que constam na página do grupo.

Conforme se pode ver nessa lista, foram seis as dissertações produzidas no período. A primeira delas foi a de Luiz F. Ziebell, um dos autores do presente trabalho. Teve o título de *Teoria da Emissão de Cíclotron em Plasmas Magnetizados*, foi apresentada em 28 de junho

de 1979, e teve a orientação de D. Dillenburg [29]. Luiz F. Ziebell havia ingressado no grupo como estudante na Iniciação Científica. Tendo feito o Doutorado também na área, como veremos a seguir, foi o primeiro integrante do grupo que seguiu atividade na UFRGS a ter toda a sua formação acadêmica na Pós-Graduação na área de plasma. Após o Doutorado, seguiu atuando como docente no Departamento de Física da UFRGS, onde continua em atividade.

A segunda dissertação concluída foi a de Américo T. Bernardes. O título foi *Instabilidades Eletrostáticas de Baixa Frequência em Plasmas Anisotrópicos no Espaço de Velocidades*. Foi apresentada em 8 de julho de 1980, e teve orientação conjunta de J.D. Gaffey Jr. e E.H. da Jornada [30]. Como já mencionado na seção 3, Américo tinha feito a graduação em Engenharia Elétrica na UFJF. Após seu Mestrado na UFRGS fez Doutorado na USP, em área diferente da área de plasmas, e é atualmente professor na UFOP.

Cerca de dois anos depois, em 16 de agosto de 1982, ocorreu a apresentação da dissertação de João Francisco D. da Fonseca, com orientação de D. Dillenburg, e intitulada *Efeitos de Inhomogeneidade do Plasma sobre a Absorção de Ondas em Frequências Próximas à Girofrequência dos Elétrons* [31]. Após o Mestrado, João Francisco tornou-se professor da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), onde concluiu o Doutorado em 1998, na área de Meteorologia, e onde é atualmente professor.

A dissertação seguinte foi a de Rafael A. Caldela Filho, que era professor da FURG e estava em Porto Alegre com apoio do Programa Institucional de Capacitação Docente (PICD), da CAPES. O título foi *Emissão de Radiação de Cíclotron por um Plasma com uma Componente Tênu de Elétrons Fugitivos*, e a apresentação foi em 28 de dezembro de 1982, com orientação conjunta, de D. Dillenburg e R.S. Schneider [32]. Rafael também fez o Doutorado na UFRGS, na área de plasma, como será visto a seguir. Alguns anos depois transferiu-se para a UFPel, onde encerrou sua atuação docente.

A quinta dissertação apresentada no período foi a de Felipe B. Rizzato, oriundo da graduação na própria UFRGS. Foi intitulada *Equação Quase-Linear para Oscilações em Magnetoplasmas na Aproximação Fracamente Relativística*, teve orientação de D. Dillenburg e R.S. Schneider, e foi apresentada em 30 de julho de 1985 [33]. Felipe prosseguiu seus estudos na área de plasma, fez Doutorado na UFRGS, foi para o exterior para um pós-doutorado, e retornou para fazer concurso e tornar-se professor da UFRGS. Aposentou-se em anos recentes e atualmente ainda atua como pesquisador junto ao grupo de plasma, como Docente Convocado da UFRGS.

A última dissertação apresentada pelo grupo no período foi a de Luis G. Pereira, desenvolvida sob orientação de J. Goedert e apresentada em 15 de setembro de 1989 [34]. O título foi *Invariantes Transcendentais para Sistemas Hamiltonianos Unidimensionais*, e vemos que esse foi um dos trabalhos produzidos pelo grupo com

**Tabela 1:** Dissertações de Mestrado concluídas no grupo de física de plasmas do IF-UFRGS, 1974–1989.

Autor	Título	Data da defesa	Orientação
Luiz F. Ziebell	Teoria da Emissão de Cíclotron em Plasmas Magnetizados	28/6/1979	D. Dillenburg
Américo T. Bernardes	Instabilidades Eletrostáticas de Baixa Frequência em Plasmas Anisotrópicos	8/7/1980	J.D. Gaffey Jr. Eda H. da Jornada
João F.D. da Fonseca	Efeitos de Inhomogeneidade do Plasma sobre a Absorção de Ondas em Frequências Próximas à Girofrequência dos Elétrons	16/8/1982	D. Dillenburg
Rafael A. Caldela Fo.	Emissão de Radiação de Cíclotron por um Plasma com uma Componente Tênu de Elétrons Fugitivos	28/12/1982	D. Dillenburg R.S. Schneider
Felipe B. Rizzato	Equação Quase-Linear para Oscilações em Magnetoplasmas na Aproximação Fracamente Relativística	30/7/1985	D. Dillenburg R.S. Schneider
Luis G. Pereira	Invariantes Transcendentais para Sistemas Hamiltonianos Unidimensionais	15/9/1989	J. Goedert

**Tabela 2:** Teses de Doutorado concluídas no grupo de física da plasmas do IF-UFRGS, 1974–1989.

Autor	Título	Data da defesa	Orientação
João Goedert	Efeitos de Raios de Larmor Finitos nas Instabilidades por Temperatura Iônica Anisotrópica em Plasmas Inomogêneos de Alto Beta	29/6/1979	J.P. Mondt
Eda H. da Jornada	Instabilidades Eletrostáticas Ocasionadas por Feixes de Íons em Plasmas	6/11/1979	J.D. Gaffey Jr.
Ruth de S. Schneider	A Distribuição de Velocidade e Fenômenos de Transporte associados a Partículas Alfa em Plasmas Termonucleares	27/12/1979	J.D. Gaffey Jr.
Luiz F. Ziebell	Amplificação da Radiação de Cíclotron Eletrônica em Plasmas Termonucleares	8/4/1983	D. Dillenburg
Felipe B. Rizzato	Propagação de Ondas Eletromagnéticas Não Lineares em Plasmas de Múltiplas Espécies	10/6/1988	D. Dillenburg R.S. Schneider
Osvaldo L.L. Moraes	Espectro de Turbulência na Baixa Atmosfera: Uma Representação Físico-Matemática	5/1/1989	J. Goedert

uma abordagem matemática mais geral, não exatamente vinculada a plasmas, conforme já comentado na seção 3.

As teses de Doutorado finalizadas no período considerado foram também seis. A primeira delas foi a de João Goedert, que como já foi comentado na seção II foi talvez a primeira tese de Doutorado da área de plasmas desenvolvida inteiramente no Brasil. Teve o título *Efeitos de Raios de Larmor Finitos nas Instabilidades por Temperatura Iônica Anisotrópica em Plasmas Inomogêneos de Alto Beta*, foi defendida em 29 de junho 1979, e teve a orientação de J.P. Mondt [35].

No mesmo ano de 1979 houve mais duas defesas de Doutorado. Uma delas, a segunda do grupo, foi a de Eda H. da Jornada, *Instabilidades Eletrostáticas Ocasionadas por Feixes de Íons em Plasmas*, defendida em 6 de novembro de 1979, e que teve a orientação de J.D. Gaffey Jr. [36]. Eda era oriunda da área de física nuclear e prosseguiu por alguns anos em atividade

na área de plasma. Transferiu-se posteriormente para o Departamento de Matemática da própria UFRGS e deixou de realizar trabalho de pesquisa na área de plasma.

A terceira tese de Doutorado de 1979, e a terceira do grupo, foi a de Ruth S. Schneider, também desenvolvida sob orientação de J.D. Gaffey Jr. O título foi *A Distribuição de Velocidade e Fenômenos de Transporte Associados a Partículas Alfa em Plasmas Termonucleares*, e a defesa foi em 27 de dezembro de 1979 [37]. Assim como Eda Jornada, Ruth também era oriunda da área de física nuclear, e após o doutorado continuou em atividade junto ao grupo de plasmas até seu falecimento em 2008.

Na sequência veio a tese de Luiz F. Ziebell, que teve como título, *Amplificação da Radiação de Cíclotron Eletrônica em Plasmas Termonucleares*, foi orientada por D. Dillenburg, e apresentada em 8 de abril de 1983.

O intervalo de tempo entre a quarta e a quinta tese do período foi de cinco anos. Em 10 de junho de 1988 Felipe B. Rizzato defendeu sua tese, intitulada *Propagação de Ondas Eletromagnéticas Não Lineares em Plasmas de Múltiplas Espécies*, com orientação de D. Dillenburg e R.S. Schneider.

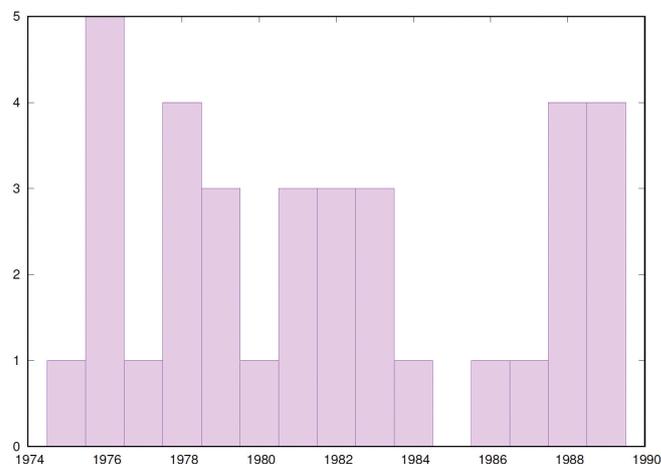
Finalmente, a sexta tese do período considerado foi apresentada em 5 de janeiro de 1989, por Osvaldo L.L. Moraes. O tema representou uma incursão do grupo na área da meteorologia, servindo como mais um exemplo que se ajusta a ideias que nortearam a formação do grupo, já comentadas na seção 1. O título foi *Espectro de Turbulência na Baixa Atmosfera: Uma Representação Físico-Matemática*, e a orientação foi de J. Goedert. Osvaldo tinha feito o bacharelado em física na UFRGS e um mestrado na mesma instituição sob orientação do Dr. Mario Epstein, a respeito da dispersão de poluentes na atmosfera. Mario Epstein posteriormente se desligou da Universidade para exercer outras atividades, e Osvaldo foi acolhido no grupo de plasma para o doutoramento, em tema que de certa forma dava sequência a seu interesse por problemas em física atmosférica. Após o doutoramento, tornou-se professor da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Ao longo de sua carreira, exerceu diversas atividades, tendo sido Coordenador do Centro de Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE de 2011 a 2013. Foi também Diretor do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) e Coordenador do Comitê Permanente da Organização Meteorológica Mundial (OMM) para Redução de Riscos de Desastres, e atualmente é Diretor do Departamento de Clima e Sustentabilidade do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. Trata-se de um caso de pesquisador que transcendeu os limites da vida acadêmica, apoiado em uma formação de caráter um tanto interdisciplinar, e que serve de exemplo do tipo de formação e oportunidade que se pensava colocar à disposição de estudantes quando da formação do grupo de plasmas no IF-UFRGS.

#### 4.2. Artigos publicados no período 1974–1989, e bibliometria

A página do grupo lista no período compreendido entre 1974 e 1989 um total de 52 apresentações em congressos e conferências e de 40 artigos publicados em periódicos. Não vamos nos alongar em análise a respeito dessas informações, concentrando a discussão em informações coletada em publicações que apareçam indexadas na Web of Science (WoS), reconhecido instrumento para cientometria. Para isso, utilizamos os seguintes argumentos de busca: no campo de “Author”, colocamos “dillenburg d OR jornada e OR schneider r OR liberman b OR goedert j OR ziebell lf OR rizzato f OR gaffey j OR mondt j OR caponi m”, delimitando o período entre 01 de janeiro de 1974 e 31 de dezembro de 1989, e restringindo a filiação à UFRGS. Ou seja, incluímos todos os pesquisadores que eram integrantes

do grupo de plasmas do IF-UFRGS no período, ou que eram estudantes e vieram a integrar o grupo posteriormente, e ainda pesquisadores estrangeiros que foram integrados ao grupo por um período estendido. Além disso, refinamos a busca selecionando apenas artigos que tinham autores com filiação à UFRGS, para eliminar eventuais artigos que possam ter sido publicados pelos pesquisadores estrangeiros durante o período, mas que não fossem fruto de sua vinculação com o grupo da UFRGS. Com esses critérios de busca encontramos na WoS 35 publicações. Entretanto, por inspeção direta da lista de artigos obtidos, eliminamos mais um, de 1975, por se tratar de artigo publicado por D. Dillenburg e T.J. Maris sobre um tema de teoria de campos, que era a área de atuação de Darcy Dillenburg antes da criação do grupo de plasmas. Um gráfico mostrando o número de artigos listados na WoS que foram publicados no período de nossa análise aparece na Figura 1.

As publicações encontradas podem ser analisadas de diferentes maneiras. Podemos começar examinando como foi a distribuição temporal dessas publicações. Vemos que houve um artigo por ano em 1975, 1977, 1980, 1984, 1986 e 1987, dois artigos em 1983, quatro artigos em 1979, 1981 e 1982, quatro artigos em 1978, 1988 e 1989, e cinco artigos em 1976. Há apenas um ano sem publicação no período, 1985. Como estamos tratando de números relativamente pequenos, é natural esperar alguma flutuação ao longo dos anos. Pode-se considerar que a taxa de publicação foi relativamente distribuída ao longo dos anos investigados, em torno da média de 34 artigos/15 anos, aproximadamente 2,27 artigos por ano. Não há concentração clara nos anos iniciais, que poderia indicar efeito imediato da experiência dos visitantes que estavam junto ao grupo naquela fase inicial, e não há um crescimento claro relativamente aos anos finais. O grupo iniciou sob um certo tratamento de choque, inserindo-se na pesquisa motivada pelos visitantes, e



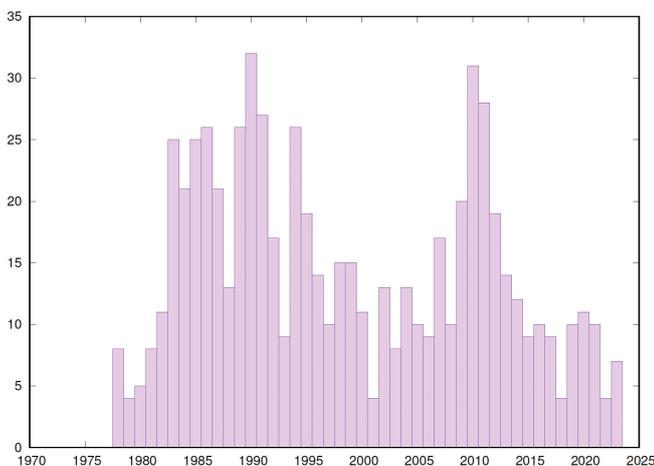
**Figura 1:** Número de artigos publicados com autoria ou co-autoria de integrantes do grupo de plasmas do IF-UFRGS, no período 1974–1989, segundo dados obtidos na Web of Science.

manteve-se ao longo dos anos seguintes mais ou menos no mesmo grau de produtividade na obtenção de resultados aptos a serem publicados em periódicos de circulação internacional.

Do ponto de vista dos temas abordados, vemos que dos 34 artigos do período 16 estão classificados na área de “Physics Fluids Plasmas”, 13 como “Physics Multidisciplinary”, quatro como “Mechanics”, dois em cada uma das áreas “Astronomy Astrophysics”, “Optics”, “Physics Atomic Molecular Chemical”, e um como “Meteorological Atmospheric Sciences”. Tais categorias não são mutuamente exclusivas, de modo que pode haver artigos classificados em mais de uma categoria. Entretanto, a classificação é útil para dar uma ideia da abrangência dos assuntos investigados.

Do ponto de vista das instituições envolvidas, a WoS informa que 100 % dos artigos do período tem filiação à UFRGS (o que é natural, dado o critério de busca utilizado), 28,57% (10 artigos) tem autores filiados à UMD, 11,43% (4 artigos) tem pesquisadores vinculados ao NRL, 5,71% (2 artigos) tem vinculação ao Commissariat d’Energie Atomique da França (instituição à qual está ligado o Centre d’Études Nucléaires de Fontenay-aux-Roses), e ainda há um artigo com autor vinculado à Université de Lorraine e um com autor vinculado à FURG. Novamente, destacamos que se trata da afiliação dos autores, de modo que trabalhos com mais de um autor podem aparecer vinculados a mais de uma instituição.

Um outro indicador a ser examinado é o que diz respeito às citações. Segundo as informações que aparecem na WoS, os 34 artigos do período considerado receberam 658 citações até a data de hoje, sendo 11 provenientes de autocitações. Um gráfico mostrando as citações obtidas por esses artigos no período 1974–2023 pode ser visto na Figura 2. A média é de 18,8 citações por artigo, com índice  $H=12$ . Examinando-se individualmente os cinco



**Figura 2:** Citações obtidas entre 1974 e 2023, pelos artigos publicados com autoria ou coautoria de integrantes do grupo de plasmas do IF-UFRGS, no período 1974–1989, segundo dados obtidos na Web of Science.

artigos mais citados, vemos que o absoluto campeão de citações é o artigo de Felipe Rizzato, de 1988, sobre ondas eletromagnéticas não lineares em plasmas com elétrons, pósitrons e íons, que atingiu 182 citações [38]. Em segundo e terceiro lugares vem artigos sobre lasers de elétrons livres, ambos com a participação de D. Dillenburg, Eda Jornada, Bernardo Liberman e Ruth Schneider, que obtiveram 80 e 76 citações, respectivamente [23, 39]. Em quarto lugar vemos um artigo que conta com a participação de Ruth Schneider e Luiz F. Ziebell, como integrantes da UFRGS entre os autores, que tratava de instabilidade de ondas do tipo cíclotron associadas a elétrons fracamente relativísticos, com 72 citações [40]. O quinto artigo dessa lista é um trabalho de 1980, originado durante a visita de Fidone, Granata e Meyer ao IF-UFRGS, que conta com a participação de Eda Jornada, Ruth Schneider e Luiz F. Ziebell, que aborda o tema de emissão de radiação do tipo cíclotron em plasmas em tokamaks, e que teve 35 citações [15].

## 5. Comentários Finais

No presente artigo apresentamos um relato a respeito do processo de criação do grupo de pesquisa em física de plasmas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e analisamos alguns aspectos relativos aos primeiros 25 anos de existência do grupo. Verificamos que a criação do grupo foi motivada por um processo consciente de busca de abertura da instituição para novos horizontes, tendo parcialmente como motivação a busca de caminhos acadêmicos alternativos para formação de estudantes. De acordo com relatos de pessoas que vivenciaram a época de formação do grupo, integrantes da instituição conceberam a ideia de criação de uma nova área de pesquisa, e agiram de maneira consequente visando a efetivação dessa ideia.

Ao longo do relato apresentado, comentamos sobre a formação de um núcleo de pesquisadores que buscou ativamente o aprendizado de fundamentos da área, através de seminários de estudo. Ao mesmo tempo em que ocorriam esses seminários envolvendo um grupo local de pesquisadores, o relato evidencia que foram estabelecidos contatos com instituições do exterior, buscando a vinda de pesquisadores que pudessem dar suporte ao grupo que se formava. O relato apresentado mostra que a formação do grupo pode ser considerada um exemplo bem-sucedido de planejamento institucional, em contraposição à situação bem comum de criação de novas áreas ou grupos de pesquisa por ramificação espontânea de grupos já existentes.

O artigo também apresenta comentários sobre os primeiros temas de pesquisa abordados pelo grupo, e a conexão desses temas com os visitantes e com as instituições colaboradoras, que foram fruto da execução do planejamento feito pelos criadores do grupo. São comentados também os trabalhos publicados pelo grupo ao longo do período analisado, bem como as teses e

dissertações concluídas no período. Aspectos bibliométricos da produção do grupo são discutidos, buscando evidenciar o grau de maturidade científica adquirida e o grau de adesão que o desenvolvimento do grupo teve às ideias e diretrizes originais que levaram a sua criação.

*In memoriam*: Ruth Schneider (1942–2008); Darcy Dillenburger (1930–2015); João Goedert (1943–2022).

## Agradecimentos

Este trabalho foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001. LFZ agradece o apoio do CNPq (Brazil), via Bolsa de Pesquisa No. 303189/2022-3.

## Referências

- [1] C.A. dos Santos, em: *Instituto de Física da UFRGS: 50 anos de inovação científica, pedagógica e tecnológica*, editado por C.A. dos Santos (UFRGS, Porto Alegre, 2013).
- [2] C.A. dos Santos, *Rev. Bras. Ensino de Física* **39**, e2601(2017).
- [3] C.A. dos Santos, *Rev. Bras. História da Ciência* **6**, 589 (2023).
- [4] C.A. dos Santos, *Rev. Bras. Ensino de Física* **42**, e20190332 (2020).
- [5] J.R. Ducati, em: *Instituto de Física da UFRGS: 50 anos de inovação científica, pedagógica e tecnológica*, editado por C.A. dos Santos (UFRGS, Porto Alegre, 2013).
- [6] M. Zwanziger, em: *Instituto de Física da UFRGS: 50 anos de inovação científica, pedagógica e tecnológica*, editado por C.A. dos Santos (UFRGS, Porto Alegre, 2013).
- [7] P.J. Viccaro, em: *Instituto de Física da UFRGS: 50 anos de inovação científica, pedagógica e tecnológica*, editado por C.A. dos Santos (UFRGS, Porto Alegre, 2013).
- [8] C.A. dos Santos, *O vaivém da fusão nuclear*, disponível em: <https://cienciahoje.org.br/coluna/o-vaivem-da-fusao-nuclear/>
- [9] C.A. dos Santos, *A Física na Escola* **20**, 1 (2022).
- [10] I.C. Nascimento, I.L. Caldas e R.M.O. Galvão, *J. Fusion Energy* **12**, 295 (1993).
- [11] D. Dillenburger, *Braz. J. Phys.* **34**, 1830 (2004).
- [12] E.H. da Jornada, J.D. Gaffey Jr. e M.Z. Caponi, *J. Plasma Phys.* **21**, 193 (1979).
- [13] E.H. da Jornada, J.D. Gaffey Jr. e M.Z. Caponi, *J. Plasma Phys.* **26**, 193 (1981).
- [14] C.S. Wu, D. Dillenburger, J.D. Gaffey Jr., J. Goedert, L.F. Ziebell e H.P. Freund, *Phys. Fluids* **21**, 1318 (1978).
- [15] I. Fidone, G. Granata, R.L. Meyer, E.H. da Jornada, R.S. Schneider e L.F. Ziebell, *Phys. Fluids* **23**, 1336 (1980).
- [16] B. Liberman, em: *X Reunião Anual da SBF* (Brasília, 1976).
- [17] R.S. Schneider e J.D. Gaffey Jr., em: *X Reunião Anual da SBF* (Brasília, 1976).
- [18] J.D. Gaffey, E.H. Jornada e M.Z. Caponi, *Bull. Amer. Phys. Soc.* **21**, 1182 (1976).
- [19] E.H. da Jornada, J.D. Gaffey Jr. e M.Z. Caponi, em: *Third International (Kiev) Conference* (Trieste, 1977).
- [20] R.S. Schneider and J.D. Gaffey Jr., em: *Third International (Kiev) Conference*, (Trieste, 1977).
- [21] E.H. da Jornada and J.D. Gaffey Jr., em: *Annual Meeting on Theoretical Aspects of Controlled Thermonuclear Fusion* (San Diego, 1977).
- [22] R.S. Schneider e J.D. Gaffey Jr., em: *Annual Meeting on Theoretical Aspects of Controlled Thermonuclear Fusion* (San Diego, 1977).
- [23] H.P. Freund, P. Sprangle, D. Dillenburger, E.H. da Jornada, B. Liberman e R.S. Schneider, *Phys. Rev. A* **24**, 1965 (1981).
- [24] H.R. Lewis e J. Goedert, *Physica* **18D**, 213 (1986).
- [25] F.B. Rizzato, R.S. Schneider e D. Dillenburger, *Plasma Phys. Contr. Fusion* **29**, 1127 (1987).
- [26] O.L.L. Moraes, *Bound. Layer Met.* **43**, 223 (1988).
- [27] O.L.L. Moraes e J. Goedert, *Bound. Layer Met.* **45**, 83 (1988).
- [28] R.A. Caldela Filho, R.S. Schneider e L.F. Ziebell, *J. Plasma Phys.* **42**, 165 (1989).
- [29] L.F. Ziebell, *Teoria da emissão de cíclotron em plasmas magnetizados*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (1979).
- [30] A.T. Bernardes, *Instabilidades eletrostáticas de baixa frequência em plasmas anisotrópicos no espaço de velocidades*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (1980).
- [31] J.F.D. da Fonseca, *Efeitos de inhomogeneidade do plasma sobre a absorção de ondas em frequências próximas à girofrequência dos elétrons*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (1982).
- [32] R.A. Caldela Filho, *Emissão de radiação de cíclotron por um plasma com uma componente tênue de elétrons fugitivos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (1982).
- [33] F.B. Rizzato, *Equação quase-linear para oscilações em magnetoplasmas na aproximação fracamente relativística*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (1985).
- [34] L.G. Pereira, *Invariantes transcendentais para sistemas hamiltonianos unidimensionais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (1989).
- [35] J. Goedert, *Efeitos de raios de Larmor finitos nas instabilidades por temperatura iônica anisotrópica em plasmas inhomogêneos de alto beta*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (1979).
- [36] E.H. da Jornada, *Instabilidades eletrostáticas ocasionadas por feixes de íons em plasmas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (1979).

- [37] R.S. Schneider, *A distribuição de velocidade e fenômenos de transporte associados a partículas alfa em plasmas termonucleares*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (1979).
- [38] F.B. Rizzato, J. Plasma Phys. **40**, 289 (1988).
- [39] H.P. Freund, P. Sprangle, D. Dillenburg, E.H. da Jornada, R.S. Schneider e B. Liberman, Physical Review A **26**, 2004 (1982).
- [40] H.K. Wong, C.S. Wu, F.J. Ke, R.S. Schneider e L.F. Ziebell, J. Plasma Phys. **28**, 503 (1982).