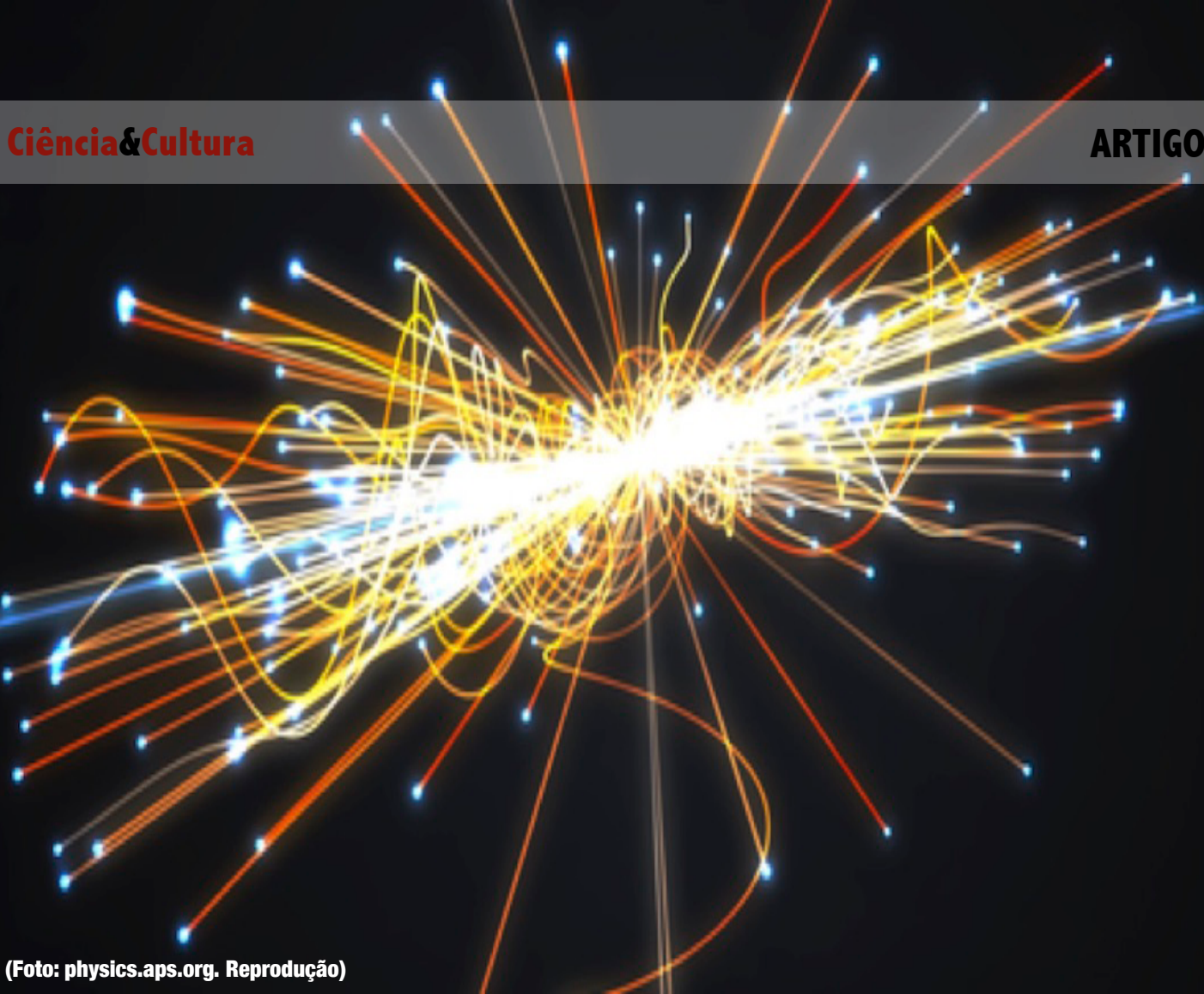




(Foto: physics.aps.org. Reprodução)

Capa. *Fireball* (bola de fogo) é uma região energética e densa gerada em eventos nucleares específicos

César Lattes: a Colaboração Brasil-Japão e a Física de partículas elementares

* Antonio Augusto Passos Videira

** Karin Fornazier Guimarães

Resumo

A Colaboração Brasil-Japão (CBJ), uma das mais longevas cooperações científicas já mantidas pela Física brasileira, foi uma importante contribuição dada por César Lattes. Criada a partir de conversas informais mantidas entre o físico brasileiro Giuseppe Ochiellini e Hideki Yukawa, ela deveria estudar o comportamento da matéria em níveis energéticos e de densidade extremamente elevados, a fim de que fosse possível determinar as leis responsáveis pelo surgimento de novas partículas elementares. Fato interessante e pouco conhecido ainda hoje é que a CBJ não era motivada apenas por questões científicas. Entre os cientistas japoneses havia uma motivação filosófica explícita e favorável à dialética marxista, à qual permaneceu indiferente aos colegas brasileiros.

Palavras-chave: César Lattes; Colaboração Brasil-Japão, Física; Física de partículas.

As bolas de fogo e a produção de partículas

Nas áreas da física nuclear e de partículas elementares, o termo *fireball* (bolas de fogo, em português) alude a uma região energética e densa, gerada em eventos nucleares específicos, notadamente em colisões de íons pesados relativísticos. Esse termo é recorrentemente adotado para caracterizar os estados iniciais (e efêmeros) de energia e de densidade extremas, assumidos pela matéria, durante tais colisões. Nessas colisões, percebe-se a liberação significativa de energia, culminando na instauração de um estado de matéria delineado como uma “bola de fogo”, em virtude das temperaturas e das densidades muito altas. As condições atingem extremos tais que prótons e nêutrons, constituintes normais dos núcleos atômicos, podem reunir-se de maneira temporária, propiciando a formação de um estado de matéria aquecida e altamente excitada, conhecido (atualmente) como plasma de quarks e glúons.

A pesquisa em Física nuclear de altas energias (outra denominação para Física de partículas elementares), em especial aquela realizada nos experimentos conduzidos em aceleradores de partículas, como no Grande Colisor de Hádrons (*Large Hadron Collider*, ou simplesmente LHC) no Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN, no original em francês), propõe-se a investigar e entender esse estado da matéria em condições extremas, de modo

a aperfeiçoar a compreensão das propriedades fundamentais da matéria e das transições de fase que se desdobram em níveis energéticos elevados. A análise da “bola de fogo” figura como elemento essencial nessas investigações, que buscam decifrar os primórdios do Universo e os fenômenos extremos associados às colisões de partículas elementares (Figura 1).

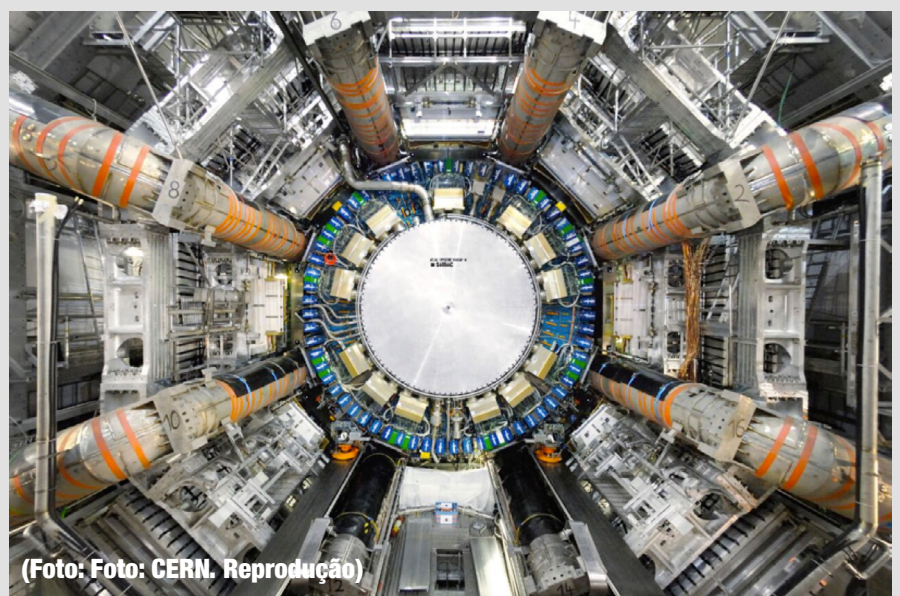
O termo “bolas de fogo” parece ter surgido de forma espontânea ao longo do tempo, à medida que os cientistas começaram a descrever esses estados na tentativa de explicar a profusão de partículas que emergiam dessas colisões, violando, aparentemente, o princípio de conservação de momento.

Essa região altamente energética e densa de partículas é chamada de “bola de fogo”, porque as partículas colidem e se dispersam de tal forma que permitem o surgimento de uma esfera de matéria altamente excitada e quente. O interesse

“A matéria não seria, portanto, uma substância estática; seria energia dinâmica e condensada.”

na ideia de *fireball* pode originar a especulação sobre a formação de quarks e glúons, bem como suas propriedades, ou seja, sobre aquela que se imagina ser a estrutura “última” da matéria.

O termo *fireball* foi, ao que tudo indica, usado pela primeira vez em referência a eventos nucleares. A explosão de uma bomba nuclear é frequentemente descrita como uma bola de fogo, pois a explosão inicial cria uma enorme esfera de gás ionizado quente que se expande rapidamente. Na Física de partículas elementares (aqui não se deve confundir esta área de pesquisa com raios cósmicos, apesar de ambas se interessarem por fenômenos que acontecem a energias muito elevadas), o termo “*fireball*” começou a ser usado por essa mesma época, quando os físicos



(Foto: Foto: CERN. Reprodução)

Figura 1. *Large Hadron Collider* (LHC) no Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN).

passaram a estudar colisões de alta energia entre núcleos atômicos em aceleradores de partículas, existindo menções ao termo que remontam aos anos 1950. A partir do momento em que a expressão “bolas de fogo” começou a ser usada, ela era compreendida como um estágio intermediário, produzido pelo choque de duas partículas elementares, dando origem, por exemplo, a mésons. No caso desta “classe” de partículas, o estudo dos fenômenos associados às bolas de fogo seria relevante para determinar a dinâmica que governa a produção múltipla de mésons, um fenômeno que atraía a atenção dos físicos desde a década de 1930.

Diferentemente da crença, adotada por cientistas europeus e norte-americanos, que acreditavam na existência de um limite no valor da energia, a partir do qual a natureza seria simples [1], isto é, nenhum fenômeno novo interessante ocorreria, alguns físicos japoneses se opunham à existência de um tal valor máximo. Os físicos japoneses (Fujimoto, Taketani, Osada, entre outros), membros da CBJ, acreditavam que a produção múltipla de mésons seria determinada por um tipo de substância diferente das até então conhecidas. Eles recusavam as descrições fenomenológicas como correspondendo aos últimos estágios na descrição dos fenômenos nucleares e subnucleares (Figura 2).

Partidários da filosofia proposta por Mituo Taketani, que chegou a ser diretor do Instituto de Física Teórica (IFT) justamente na época em que a ideia da CBJ estava sendo proposta (aproximadamente entre os anos



(Foto: Arquivo/Unicamp. Reprodução)

Figura 2. César Lattes e Akinori Ohsawa comemoram primeiros resultados da Colaboração Brasil-Japão.

de 1958 e 1961), Yoichi Fujimoto e seus colegas defendiam que a causa do processo de criação de partículas, tais como mésons π , deveria ser substancial, o que corresponderia ao segundo estágio no processo de desenvolvimento da ciência no esquema filosófico proposto por Taketani, claramente inspirado na dialética marxista. A CBJ também pode ser vista como um exemplo muito interessante das sempre complexas e ricas interações entre a Filosofia e a Física.

Física de partículas elementares e Filosofia

Físico teórico de formação e atuação, Taketani, desde a sua juventude, interessava-se por Filosofia, em particular pelo marxismo. Até o final da sua vida, no ano 2000, Taketani se posicionou em favor da dialética. Inspirado na versão proposta por Hegel, mas adaptada pela dupla Marx e Engels, ele afirmava que a evolução e a transformação da Física

ocorreriam necessariamente em três estágios. O primeiro estágio, o fenomenológico, corresponderia à descrição de fenômenos individuais. O segundo, denominado substancialista, estaria relacionado à determinação dos tipos de coisas que constituem objetos, tais como as partículas elementares. Já ao terceiro estágio (o essencialista) caberia formular a lei fundamental que determina o comportamento dos objetos segundo as interações que estes últimos mantêm entre si.

Uma das motivações de Taketani e colegas era saber como ter segurança de que as ciências progredem. Com a crescente matematização da Física, isso estava cada vez mais difícil de ser percebido, uma vez que as estruturas matemáticas empregadas pelos físicos poderiam ser muito diferentes entre elas, exigindo um trabalho de “tradução” para que se soubesse se elas se referiam aos mesmos fenômenos.

Taketani gostaria que a Física não ficasse muito dependente da Matemática,

uma vez que a Física é o estudo da natureza como um todo, evitando que modelos matemáticos, ainda que complexos e elaborados, fossem tomados como a própria natureza. Nas palavras de Taketani: "(A) Física desenvolveu-se tanto que o pensamento formal nunca poderia compreendê-la. (O pensamento formal) surgiu em consequência da chamada matematização que insiste que 'equação é tudo'" [2]. Daí a importância que a dialética do Engels tinha para ele, compreendida como favorável à tese de que existia um mundo externo independente dos seres humanos.

A filosofia do ex-diretor do IFT defendia que nada é fixo e definitivo. Taketani valorizava a produção de novos fenômenos e entidades físicas, como as partículas elementares. A experiência e o laboratório eram relevantes no processo, raramente linear, de construção do conhecimento. As bases da busca pelos elementos últimos da estrutura da matéria estariam em constante transformação. Uma concepção de mundo para a qual a imutabilidade seria necessária estaria sendo substituída por uma concepção onde a natureza seria percebida como processo. Ou ainda: uma visão estática de natureza estaria sendo substituída por outra dinâmica. A matéria não seria, portanto, uma substância estática; seria energia dinâmica e condensada.

Em consonância com essas ideias, a observação seria progressivamente acompanhada pelos avanços tecnológicos presentes no laboratório: aquilo que é observado é criado por meio da técnica. A natureza

não se restringiria apenas aquilo alcançado pela observação, mas também por aquilo que decorre da verificação experimental: saber é prever mais do que ver. O conhecimento seria ação efetiva, ou seja, ação concretamente realizada.

É certo que a ciência avança pela criação de novos conceitos, mas é igualmente correto pensar ser necessário mostrar que esses conceitos são adequados à descrição dos fenômenos naturais, ou seja, que eles realmente dizem respeito à natureza. Daí toda a relevância dada por Taketani ao laboratório. Sem a referência à natureza, esta ciência deixaria de fazer sentido, fazendo com que ela adotasse uma atitude solipsista. Taketani preocupava-se em fazer com que a Física não perdesse a capacidade de realizar autênticas descobertas: descobrir novidades no comportamento e na estrutura da natureza.

Lattes e a Colaboração Brasil-Japão

Mais da metade da vida profissional de César Lattes foi passada no contexto da Colaboração Brasil-Japão (1962-~2004), da qual ele foi um dos criadores e o líder brasileiro desde o seu começo. Lattes defendia a tese de que os objetivos da CBJ eram basicamente os mesmos de Gleb Wataghin, desde quando este estava à frente no Departamento de Física da Universidade de São Paulo (USP)

"Saber é prever mais do que ver."

e onde ele se formou em Física aos 19 anos [i].

O início da CBJ ocorreu ao mesmo tempo em que Lattes estava envolvido em outra colaboração internacional, mais abrangente, já que envolvia mais países: a *International Collaboration of Flight Emulsions*, também conhecida como ICEF. O seu líder, à época, era Marcel Schein, que trabalhava na Universidade de Chicago (EUA), desde o início da Segunda Guerra Mundial. No entanto, antes mesmo de a ICEF começar a analisar as suas emulsões, Lattes recebeu uma carta de Yukawa, de 16 de abril de 1959, que atuou como um porta-voz de um pequeno grupo de físicos, mais interessados em explorar as características e facilidades do laboratório de física cósmica, sediado em Chacaltaya (Bolívia) (Figura 3).

A resposta de Lattes, naquela altura, não foi conclusiva. Ele, talvez por ainda estar organizando a sua própria equipe de colaboradores, preferiu ganhar tempo:

"Eu discuti a sua carta com os meus colegas e sentimos que seria sensato adiar a nossa decisão sobre o assunto [de criar uma colaboração científica em raios cósmicos envolvendo cientistas dos dois países] até depois dos Encontros Internacionais sobre Raios Cósmicos e Física de Altas Energias que terão lugar na URSS em julho [de 1959]. Participarei de ambas as reuniões e então entrarei em contato



(Foto: Arquivo/Unicamp. Reprodução)

Figura 3. Lattes durante pesquisas em Chacaltaya.

com o Dr. Nishimura. Nosso grupo de emulsões está ficando em boa forma agora. Temos 14 microscópios de varredura e 2 de espalhamento, 14 scanners, dos quais 8 bastante experientes. Nossas instalações de processamento são pequenas: 750 cm² de 600 [chapas de] emulsões por vez. Nosso pessoal científico: 12 físicos, dos quais apenas três (U. Camerini, A.

Wataghin e eu) temos experiência com física de altas energias". [ii]

Lattes e Jun Nishimura, o representante japonês, se encontraram em Moscou três meses depois da carta de Yukawa. O encontro entre eles aconteceu durante a 6^a International Cosmic Ray Conference (ICRC), na capital da então União Soviética. Naqueles anos, não era fácil para os físicos japoneses participarem das reuniões científicas internacionais: faltava-lhes verba para isso. Para a reunião na

antiga capital soviética, os físicos japoneses conseguiram superar esse obstáculo e obtiveram recursos financeiros suficientes para custear a viagem de Minoru Oda e Nishimura. A reunião entre este último e Lattes não correu conforme o desejado. Eles não se entenderam devido a diferenças culturais e barreiras linguísticas. O impasse somente foi resolvido dois anos mais tarde, quando, durante a 7^a ICRC, no Japão, Lattes, alguns de seus assistentes e Giuseppe Occhialini tiveram outra reunião com o grupo japonês, representado pessoalmente por Yukawa. Anos depois, Lattes descreveu a reunião na capital japonesa com as seguintes palavras:

"[...] numa conferência internacional de raios cósmicos no Japão, nos reunimos numa mesa, o Occhialini, o Fujimoto, o professor Taketani, que é o papa da física teórica japonesa, e arrumamos para fazer a colaboração Brasil-Japão sobre raios cósmicos, que começou em 1962 e continua até hoje. É um acordo que funciona muito bem, mas nada está por escrito, nada é preto no branco. É financiado, no Brasil, com verbas do CNPq, da FAPESP, da Comissão de Energia Nuclear. E lá existem os equivalentes". [iii]

Ao longo de suas pouco mais de quatro décadas de funcionamento, a CBJ esteve sempre marcada por

essa informalidade. Nenhum acordo oficial foi assinado entre os dois países de modo a estabelecer as bases oficiais da colaboração. Provavelmente, o prestígio científico dos seus líderes, entre os quais Yukawa, detentor de um prêmio Nobel (Física, 1949), era considerado garantia suficiente da viabilidade da colaboração. O mesmo acontecera com a ICEF. Essa informalidade combinava bem com a personalidade de Lattes, avesso a formalidades burocráticas.

O objetivo da CBJ inicialmente era pesquisar as interações nucleares a partir de valores de energia $E \geq 10^{15}$ e V, ou seja, o foco da colaboração estava voltado para energias elevadíssimas e que não eram produzidas em laboratório, como ainda hoje não o são. As tarefas da CBJ eram, então, conduzidas principalmente pelos físicos japoneses, que já conheciam as técnicas, desde as observações feitas no monte Norikuma, nos anos 1950. Devido à inexperiência dos membros brasileiros da CBJ, a participação brasileira, ao menos nos estágios iniciais da colaboração, foi modesta. O Brasil seria responsável pelo fornecimento de chumbo para a construção das câmaras de emulsão a serem instaladas em Chacaltaya. Além do chumbo, seria de responsabilidade da parte brasileira o financiamento da estada e do transporte dos japoneses.

Tanto a ICEF como a CBJ recorriam aos raios cósmicos para tentar descobrir as propriedades dos elementos constituintes do núcleo atômico, bem como a dinâmica, isto é, os

processos físicos, subjacentes ao estrato subnuclear da matéria. Em artigo de revisão, publicado em 1980, 18 anos após o início da CBJ, Fujimoto e Lattes, acompanhados de S. Hasegawa, enfatizaram que, para conhecer a estrutura subnuclear das partículas elementares, seria necessário escolher fenômenos com energias acima daquelas obtidas pelas “grandes máquinas”:

“Os grandes aceleradores foram gradualmente desempenhando papéis importantes na física das partículas desde a descoberta artificial dos mésons pi em 1948 pelo ciclotron de Berkeley. A busca por níveis de energia não alcançados pelos aceleradores de partículas foi uma marca registrada da CBJ. Assim, os experimentos com raios cósmicos tiveram que focar a atenção nos fenômenos de energia tão alta que não seriam alcançados pelos aceleradores. Juntamente com as restrições naturais inerentes aos raios cósmicos, escolhemos como tema do experimento da Colaboração os fenômenos hadrônicos acima de vários TeV. Um fenômeno típico desta região energética já era conhecido: a produção múltipla de hádrons”. [iv].

Conclusão

A Colaboração Brasil-Japão, desde o seu início e até o seu término já nos primeiros anos do século XXI, sempre atuou em Chacaltaya, de modo a aproveitar as excelentes condições locais para a observação de fenômenos com energias muito elevadas, não alcançáveis pelos maiores colisores (os aceleradores de partículas) existentes, seja nos Estados Unidos, seja na Europa. A natureza boliviana permite o estudo de fenômenos, dificilmente observáveis em outras regiões.

Os experimentos montados em Chacaltaya procuravam coletar dados empíricos capazes de fazer com que a Física de partículas elementares ultrapassasse o segundo estágio ou etapa em que ela se encontrava, segundo a perspectiva filosófica de Taketani. Nos termos da maioria dos físicos da área de partículas elementares: a etapa fenomenológica; já no vocabulário de Taketani e dos membros japoneses da CBJ, o substancialista. Segundo estes últimos, uma descrição fenomenológica não representava o progresso almejado, pois não poderia ser considerada uma autêntica lei científica. Para a descrição fenomenológica poder ser uma lei de fato, era preciso conhecer a dinâmica subjacente aos processos de produção de mésons, descritos por conceitos como *fireballs*. As “bolas de fogo” seriam, portanto, uma etapa intermediária, funcionando como uma “ponte” entre os fenômenos observados e a lei

“A investigação a respeito daquilo que constituiria a natureza não terminaria jamais.”

fundamental. Para que o terceiro estágio fosse alcançado, era necessário ter acesso às energias fornecidas pelos raios cósmicos “capturados” na Bolívia.

Os princípios que norteavam a CBJ estabeleciam que a natureza é dinâmica, o que faria com que – ao menos, em princípio – a ciência fosse capaz de apresentar novidades até então desconhecidas. Assim, a investigação a respeito daquilo que constituiria a natureza não terminaria jamais. A perspectiva reducionista não seria aceita pelo grupo de físicos brasileiros e japoneses. Apenas o estudo da natureza poderia dizer o que ela é.

Agradecimentos

Agradeço os financiamentos dados pelas seguintes agências: CNPq (nº 303.597/2022-5), Capes (por meio do projeto Capes-Print, nº 88887.900637/2023-00) e Faperj (programa Prociência). Também quero registrar a hospitalidade da Faculdade de Filosofia e Ciências Sociais da Universidade Católica Portuguesa (polo Braga), onde uma primeira versão deste texto foi escrita.

* **Antonio Augusto Passos Videira** é professor titular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), além de professor no Programa de Ensino e História da Matemática (UFRJ), professor convidado no Instituto de Biofísica (UFRJ) e pesquisador colaborador no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF).

** **Karin Fornazier Guimarães** é pós-doc no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP) na área de Cosmologia e neutrinos massivos. Participa ativamente junto ao experimento MeerKAT (Análise de dados, Separação de componentes, RFI), é colaboradora do CosmoGlobe (Universidade de Oslo) e desenvolve estudos sobre a História da Ciência.

Notas

[i] LATTES; FUJIMOTO; HASEGAWA, 1980, p. 154 [2].

[ii] TAKETANI, 1971, p. 27 [3]. Este artigo foi originalmente escrito em 1936.

[iii] “Um grande número de pessoas, incluindo o autor, pensa que Fermi foi o primeiro a introduzir as ideias termodinâmicas no problema da produção múltipla e assim iniciou o estudo da bola de fogo (E. Fermi, *Prog. Theor. Phys.* 5 (1950), 570). Mas, recentemente, o autor foi informado do artigo de G. Wataghin pelo professor Lattes. Em seu relatório ao Simpósio de Raios Cósmicos, Rio de Janeiro, 1941 (os anais foram publicados pela Academia Brasileira de Ciências, 1943), apresentou a ideia

de bola de fogo exatamente da mesma forma que estive agora explanando” (Fujimoto, 1973, p. 29, tradução nossa) [1].

[iv] TAVARES, 2017, p. 210 [4]. Na resposta de Lattes, chama-nos atenção o fato de que a equipe brasileira era constituída por pessoas ainda pouco experientes. Os dois nomes mencionados por Lattes eram físicos com larga trajetória em Física de partículas. O curioso na resposta de Lattes é que Ugo Camerini e Andrea Wataghin (o filho mais de velho de Gleb Wataghin) não estavam mais trabalhando no Brasil, ainda que os seus afastamentos fossem, naquela época, temporários. Ambos não voltariam a trabalhar em instituições brasileiras. Camerini se fixou na Universidade de Wisconsin, enquanto Wataghin filho ficou na Itália, na Universidade de Gênova.

Referências

[1] FUJIMOTO, Y. Concept of Fire-Ball. *Supplement of the of Theoretical Physics*, n. 54, p. 17-30, 1973.

[2] LATTES, C. M. G.; FUJIMOTO, Y.; HASEGAWA, S. Hadronic interactions of high energy cosmic-ray observed by emulsion chambers. *Physics Reports*, v. 65, n. 3, p. 151-229, out. 1980.

[3] TAKETANI, M. Dialectics of nature: on quantum mechanics. *Progress of Theoretical Physics*, v. 50, p. 27-36, 1971.

[4] TAVARES, H. D. Estilo de pensamento em física nuclear e de partículas no Brasil (1934-1975): César Lattes entre raios cósmicos e aceleradores. Rio de Janeiro: HCTE/UFRJ, 2017.