

César Lattes e as técnicas de produção e detecção de mésons: a prática científica como objeto histórico

César Lattes and the techniques of production and detection of mesons: scientific practice as historical object

Heráclio Tavares*¹, Ivã Gurgel¹, Antonio A. P. Videira²

¹Universidade de São Paulo, Instituto de Física, São Paulo, SP, Brasil.

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Recebido em 07 de agosto de 2020. Revisado em 08 de outubro de 2020. Aceito em 08 de outubro de 2020.

O objetivo deste artigo é apresentar as pesquisas do físico brasileiro César Lattes que, na década de 1940, o levaram a produzir, capturar e identificar os mésons pi e mi. Através do uso de documentos primários inéditos, como os programas das disciplinas que cursou e os cadernos do *Lawrence Radiation Laboratory*, depositados em arquivos no Brasil e nos Estados Unidos, analisamos as habilidades experimentais que ele adquiriu e aperfeiçoou, combinando instrumentos disponíveis em diferentes instituições e testando previsões teóricas que começavam a circular. Deste modo, tomamos a prática científica de Lattes como objeto histórico, salientando suas estratégias de detecção, que condicionaram a escolha de laboratórios para desenvolver suas pesquisas.

Palavras-Chaves: César Lattes, Práticas científicas, Raios cósmicos, Aceleradores de partículas, História da Física no Brasil.

The main goal of this article is to present the scientific investigations of the Brazilian physicist César Lattes in the 1940s, which lead him to produce, capture and identify pi and mu mesons. Using unpublished primary sources hold by archives in Brazil and the United States, as the syllabus of the courses Lattes took and the notebooks from the Lawrence Radiation Laboratory, we analyze the experimental skills he had developed and improved. He has combined scientific instruments from different institutions using in his experiments theories that were recently appearing to reach his goals. Thus, we take Lattes' scientific practice as a historical object, focusing on his strategies of detection which have conditioned his choices of the laboratories to develop his work.

Keywords: César Lattes, Scientific practices, Cosmic rays, Particle accelerators, History of Physics in Brazil.

1. Introdução

Em estudos históricos da ciência, a nacionalidade do cientista é uma dimensão pouco considerada nas análises, o que acarreta certa omissão a respeito das condições locais de sua prática. Episódios históricos que transcendem o espaço territorial de um país acabam tendo um valor especial por mostrar como culturas se encontram e formam a singularidade híbrida que chamamos de ciência. Compreendida como parte de uma dada cultura, a ciência permite que formas de pensar e agir com diferentes origens se manifestem em suas práticas [1]. Esta é uma perspectiva que pode ser adotada em relação a um dos cientistas mais conhecidos do Brasil, César Lattes.¹

Pesquisadores de diferentes campos de conhecimento realizaram trabalhos sobre a trajetória de Lattes, mas isso não esgotou a forma como podemos compreender os episódios nos quais ele esteve envolvido, ainda mais

se utilizarmos vestígios históricos inéditos. Se entendermos que a postura científica adotada por Lattes foi moldada a partir de aspectos de pesquisa incorporados dos diferentes laboratórios pelos quais passou, veremos que a capacidade para produzir, capturar e identificar mésons foi construída em seu trânsito por instituições na Europa e nas Américas, entre 1941 e 1948. A sala de aula e o laboratório foram os espaços principais de seu aprendizado e da expressão do amadurecimento de sua prática científica. As *ferramentas científicas*, teóricas e experimentais, utilizadas e uma predisposição perceptiva para interpretar os dados visuais de uma maneira específica são as chaves para uma compreensão mais alargada do trabalho de Lattes.

Nossa análise contempla o desenvolvimento da capacidade crítica e interpretativa de Lattes, que envolve seus professores e cursos realizados, bem como suas escolhas profissionais quanto aos laboratórios nos quais ia atuar, considerando as *ferramentas científicas* neles existentes. *Ferramentas científicas* são os instrumentos e técnicas de análise dos quais um cientista lança mão para investigar a natureza. Na visão de Martin Krieger elas são “[...] a set of tools [that] provides a provisional way of taking

* Endereço de correspondência: heraclio.tavares@gmail.com

¹ Compreender e apresentar a ciência como cultura também se tornou um objetivo educacional [2].

hold of the world and doing something with it. Toolkits have a small number of tools and we adapt those tools to new situations.” [3, p. xviii]. O *toolkit* é formado pelo físico, que seleciona as *ferramentas científicas* que possuem as características que ele julga apropriadas para lidar com certo problema. O cientista deve desenvolver as habilidades necessárias para manusear estas *ferramentas* e tem liberdade para trocá-las, de acordo com a situação em que ele trabalha.

Pensando em como historicizar este processo de surgimento e amadurecimento de um conjunto sistematizado de saberes, o que fica evidente é a relação de influência recíproca entre o espaço no qual o conhecimento é construído, as *ferramentas científicas* utilizadas e os suportes nos quais os cientistas registram suas ações. Aos olhos do historiador, essa relação pode estar em uma ementa de disciplina oferecida a jovens estudantes, pensada a partir de uma agenda de pesquisa desejada pelo professor-pesquisador; pode ter sido elaborada em momentos despretensiosos, em casa, após um dia de trabalho, ao escrever uma carta a um colega demonstrando em pequenos desenhos, esboços ou diagramas algumas hipóteses de decaimentos de partículas ao mesmo tempo em que relata os detalhes técnicos da experiência realizada na última manhã; ou, ainda, pode estar organizada em dados inseridos em tabelas seguindo uma lógica pré-estabelecida pelo chefe de um laboratório. Neste artigo, usamos todos esses vestígios históricos.

A relação entre *ferramentas científicas*, seus diferentes espaços de manipulação e os registros dessas ações é, na visão de David Gooding:

[...] a play of operations in a field of activities, which I call **experimenter’s space**. The place of experiment is not so much a physical location (workbench, laboratory, field station) as a set of intersecting spaces in which different skills are exercised. [...] But this **ranges over several fields of activity**. The space of concrete manipulations; mental spaces in which exploratory imaging and modeling take place; [...] the social place in which observers negotiate interpretations of each other’s actions; the physical space of the laboratory or field, in which observations are fashioned, and the rhetorical and literary space in which they are reported and put to work in arguments [4, p. 75, grifos nossos].

Neste sentido, os vestígios históricos que nos chegaram sobre a situação que analisamos possuíam uma função específica em seu tempo de uso original. Ao tomarmos os experimentos em sua historicidade através de cadernos de laboratório, temos uma forma de acessar o passado que apenas recentemente vem ganhando força entre historiadores das ciências [5]. É impossível compreender os experimentos que deram certo com a chegada de Lattes no grupo de emulsões liderado por Eugene Gardner

no *Lawrence Radiation Laboratory*, na Universidade de Berkeley, sem antes entender as falhas dos anteriores. Perceber o que mudou com a chegada do físico brasileiro através dos registros de ações cotidianas descortina o processo ocorrido nos bastidores do resultado publicado e nos possibilita uma melhor compreensão de sua participação nos eventos de comprovação experimental da existência dos mésons. Pensando neste tipo de vestígio, histórico, Frederic Holmes afirma que: “*It is there that novel thoughts and methods originate and take shape.*” Ele continua, salientando que estudos a partir de cadernos de laboratórios “[...] will be worth their weight, I believe, not only for the richness with which they can portray what the individual scientist have done, but as contributions to understanding the nature of creative thinking itself.” [6, p. 67]. Holmes acredita que é possível encontrar padrões de pensamento que perpassam todo o processo inventivo ao longo das rotinas dos cientistas ao escrutinizarmos os vestígios de seu trabalho diário, revelando detalhes da relação entre, no nosso caso, o ato de formular as experiências e os dados que delas emergem.

Se analisadas sob a luz da história da escrita científica [7],² as múltiplas caligrafias registradas nos grandes, pesados e volumosos cadernos de capa dura do grupo de Gardner mostram uma sensível diferença se comparados aos cadernos usados em laboratórios antes da Segunda Guerra Mundial, momento no qual a prática da física nuclear possuía um caráter autoral mais individualizado ou com um número de membros de um grupo bem limitado. Chamamos atenção para o fato de que a natureza dos registros dos cadernos de Berkeley indica um uso coletivo, coerente com o momento histórico da prática em física nuclear no qual eles estavam inseridos, que precisava de equipes com um grande número de cientistas e de equipamentos com dimensões consideráveis reunidos em um só lugar. Diferentes cientistas usavam os mesmos cadernos de maneira a dispor os dados de suas tarefas a todos os membros do grupo, concentrados em um só local, mantendo a coesão dos passos da investigação. Assim, é possível entender os cadernos do *Radiation Laboratory* para além de seus conteúdos, tomando-os através da historicidade dos regimes de práticas que regem as inscrições que eles contêm.

² Esse não é um campo muito explorado na História das Ciências. O trabalho de Kevin Lambert analisa a relação entre a escrita científica e seu espaço de execução [8], representando uma exceção no campo. Lambert se debruça sobre os cadernos de William Thomson, mais conhecido como Lord Kelvin, físico matemático britânico que viveu entre 1824 e 1907, levando em conta suas diferentes dimensões materiais e as consequências para seu manuseio, relacionando-as aos potenciais locais em que Kelvin os utilizava, o que condicionava o tipo de escrita possível. Cadernos pequenos serviam para cálculos rápidos em viagens e reflexões mais livres, o que era diferente de anotações mais cuidadosas e/ou escrita de artigos, cujos registros eram feitos em cadernos com dimensões maiores e em situações controladas. Autores como Roger Chartier e Hayden White [9 e 10] possuem trabalhos em História social da leitura e da escrita e podem oferecer, também, caminhos a seguir na História da escrita científica.

Ao olharmos estas inscrições com cuidado, encontramos o nome do físico brasileiro sendo mencionado em diversas situações, por diferentes membros da equipe de Gardner. Algumas dessas inscrições nos mostram a importância que seu trabalho na Universidade de Bristol teve em Berkeley, quando vemos transcrições de partes de conteúdos do caderno individual que Lattes manteve no *H. H. Wills* nos cadernos coletivos que existiam no *Radiation Laboratory*. Outras, como as indicações de suas sugestões de arranjos experimentais, são indícios de que a participação de Lattes na observação de mésons em Berkeley foi mais substancial do que uma simples “troca de receita” da revelação química das emulsões nucleares para que os grãos de brometo de prata ionizados fossem visíveis ao microscópio.³ Eventualmente, encontramos a própria caligrafia de Lattes e podemos seguir seus rastros de maneira direta, formando uma imagem mais precisa de sua participação nesses experimentos. A análise deste material nos leva a crer que apenas os físicos ligados pessoalmente à formulação dos arranjos das experiências eram os que assinavam as publicações.⁴

Nas circunstâncias de surgimento da física de partículas que analisamos neste artigo, o processo de criação científica aparece nos esboços dos arranjos instrumentais, na escrita de medidas das características dos fenômenos observados indiretamente e nas discussões sobre as considerações ou não dos avanços teóricos da época nas experiências. O ato de preencher as folhas em branco dos cadernos de laboratório em uma atividade científica se torna:

The most compelling opportunity for general insight into human activity that our field offers is the exploration of the intricate interplay between thought and action, between mind and hand – the encounter between conceptualization and operation – in situations in which actions are more likely than in most other realms of activity to be informed by creative thought, and where creative thought is more likely than in most other realms of contemplation to be tempered by the demands of physical reality [6, p. 62].

Há uma dimensão desta tarefa criativa que não pode ser verbalizada ou posta oralmente, aproximando-se do trabalho artístico. Na análise deste tipo de fonte primária, deparamo-nos, vez ou outra, com aspectos que tangenciam o não dizível, dando-nos indícios de, por exemplo, quem era o responsável por rascunhar as imagens de arranjos experimentais discutidos em reuniões devido à sua habilidade para desenhar (ver Figura 1).

Nas próximas seções, analisamos o processo histórico de desenvolvimento de habilidades experimentais de



Figura 1: Desenho da vista exterior do *Lawrence Radiation Laboratory*, da Universidade de Berkeley, feito por Eugene Gardner [13].

César Lattes através dos vestígios históricos deixados pelos grupos de pesquisa aos quais ele se vinculou, da correspondência trocada com seus colegas e de fontes primárias dos mais distintos tipos produzidas ao longo de seu trânsito por diferentes espaços de atividade, nos quais ele desenvolveu e aperfeiçoou habilidades para manusear seu conjunto de *ferramentas científicas*.

2. Gleb Wataghin, Giuseppe Occhialini e a Institucionalização da Física no Brasil: César Lattes na Universidade de São Paulo

Com a criação da Universidade de São Paulo (USP) em 1934, a física passou a ter um novo abrigo institucional para seu ensino e pesquisa no Brasil. Para que este ambiente em São Paulo funcionasse em nível satisfatório, os conteúdos que estavam sendo discutidos na Europa e os instrumentos para a realização de experiências precisavam ser introduzidos. O ítalo-ucraniano Gleb Wataghin trabalhou para realizar esta introdução. Físico teórico, Wataghin era especialista em teoria quântica de campos, dedicando-se ao problema de infinitos que surgiam ao tratar interações de partículas em altas energias. Antes de sua vinda para o Brasil, Wataghin tinha trânsito pelas três áreas de pesquisa de onde emergiu, posteriormente, a física de partículas: física nuclear, estudos de raios cósmicos e eletrodinâmica quântica [14, 15].

Ao chegar na USP, ele criou e assumiu a condução das cadeiras de física experimental, física teórica e de mecânica celeste, e estabeleceu uma linha de pesquisa em raios cósmicos com seus primeiros orientandos [16, 17]. Wataghin foi o proponente da maior parte dos programas das disciplinas de física ministradas na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL) e neles é clara

³ Sugerido por Peter Galison [11, p. 213 e 214].

⁴ O fenômeno da múltipla autoria começou a ser observado somente a partir dos anos 1960, através do uso de câmara de bolhas como detectores e da gradual inserção de detectores construídos com circuitos eletrônicos [12].

sua preocupação em apresentar tópicos atuais. Em 1936, o programa para a disciplina “Physica Theorica” [sic],⁵ em sua parte três, incluía uma introdução à “Mecânica Atômica”, que cobria os seguintes conteúdos:

Dualidade onda-corpúsculo. Efeito Compton. Difração e interferência das ondas eletrônicas. Conceções de de Broglie. Equação de Schrödinger. Atomo de hydrogenio. Serie de Balmer. Principio de exclusão de Pauli, Classificação periodica. Principio de indeterminação [sic, 18].

Em 1937, o programa do 3º ano para a disciplina “Theorias Physicas e Historia da Physica” [sic] também continha, nas partes dois e três, o conteúdo de “Physica atomica” [sic], incluindo, naquele momento, os seguintes tópicos:

Principio de complementaridade (de Bohr). Propriedades fundamentaes do electron e equações de Dirac. (...) Bases Experimentais da theoria do núcleo. Radioactividade e sua explicação theorica. Neutrons, protons e neutrinos. Modelo de Gamow. Theorias de Heisenberg e Majorana. Radioactividade artificial. Theoria de Fermi [sic, 19].

Estes assuntos representavam o que de mais atual existia na física àquela época, o que tornava fundamental a atualidade dos periódicos disponíveis na biblioteca para o sucesso do formato de aula, que partia de exemplos de experiências científicas contemporâneas. Já em 1935, o Departamento liderado por Wataghin contava, por exemplo, com assinaturas do *Proceedings of the Royal Society*, *Review of Modern Physics*, *Nature* e *The Physical Review* [20]. Havia também um sistema de empréstimo de publicações com a biblioteca do Observatório Nacional, na Cidade do Rio de Janeiro, que possuía edições da *Arkiv för Matematik och Fysik* [21].⁶ Além desses periódicos, Wataghin possuía apoio da direção da FFCL para solicitar a compra dos livros que julgasse mais adequados para seu Departamento [23], não importando o idioma, tendo em vista que, segundo Paulus Pompeia, estudante do físico ítalo-ucraniano na

segunda metade dos anos 1930, seu professor “[...] exigia de nós que nós lêssemos em italiano, em inglês, em francês e até em alemão.” [24, p. 179]. Parece que o único contratempo para manter a biblioteca do Departamento de Física atualizada foi a eclosão da Segunda Guerra Mundial, quando o Governo dos EUA proibiu a circulação internacional de publicações estadunidenses no campo da física por questões de segurança [25]. Marcello Damy de Souza Santos, em entrevista, destaca o impacto que os conteúdos tratados por Wataghin, com apoio nestas publicações, imprimiram em sua geração:

O que nos impressionou profundamente é que Wataghin se referia – ao falar, por exemplo, de átomos, das partículas que constituíam os átomos etc – às pesquisas que estavam sendo feitas. Então nós aprendíamos pela primeira vez que a Física era uma ciência viva, que estava sendo cultivada. E coisa surpreendente, é que os capítulos mais fascinantes da Física ainda estavam para ser descobertos, porque [...] as novas linhas da Física Atômica, Nuclear, etc, acabavam de ser estabelecidas através de pesquisas e de laboratórios no exterior [26].

Em 1937, o Departamento de Física ganhou um reforço para o desenvolvimento da física experimental com a chegada de Giuseppe P. S. Occhialini. Físico italiano, graduado em 1929 no Instituto de Física em Arcetri, ligado à Universidade de Florença, escreveu dissertação sobre raios cósmicos sob a orientação de Bruno Rossi, que reorientara pesquisas para o uso do método de coincidências. Em pouco tempo seu grupo o aperfeiçoou, posicionando contadores Geiger-Müller, atrelados a eletroscópios, de forma alinhada para a detecção de múltiplas coincidências de eventos em raios cósmicos. A Escola de Física de Arcetri construiu alguns desses arranjos e Occhialini, sendo um dos principais assistentes de Rossi, tornou-se especialista na sua montagem, que tinha a vantagem de produzir dispositivos mais baratos [27].

No verão de 1930, Rossi visitava o *Physikalische Technische Reichsanstalt*, em Berlim-Charlottenburg, na Alemanha, onde estava o laboratório de Walther Bothe, para aperfeiçoar o uso de contadores Geiger-Müller e eletroscópios, quando teve a oportunidade de conhecer vários físicos europeus. Um deles foi Patrick Blackett, que tinha reconhecida habilidade com a câmara de Wilson. Neste contato, Rossi pediu a Blackett que aceitasse em seu laboratório um de seus assistentes para que este aprendesse e levasse a técnica da câmara de nuvens para Arcetri [28]. Occhialini foi o enviado por Rossi, em 1931, ao *Cavendish Laboratory*, local de trabalho de Blackett.

O *Cavendish Laboratory* estava ligado à tradição da utilização de técnicas instrumentais que geravam a visualização dos eventos físicos estudados [29]. Com a chegada de Occhialini, este espaço, ligado à tradição visual de análise de dados, passou a contar com um

⁵ Mantivemos a grafia original de todos os documentos primários utilizados. Quando as palavras usadas apenas tiverem uma grafia distinta da que adotamos atualmente, usaremos o advérbio latino “sic” [*sic erat scriptum*, assim estava escrito]. Eventuais equívocos quanto à gramática ou ao conteúdo que comprometam a correta compreensão da passagem, quando não percebidos pelos autores dos documentos, serão indicados entre colchetes junto à sua correção.

⁶ É razoável imaginar que este sistema de empréstimos se estendia à biblioteca do Instituto Oswaldo Cruz, conhecido como Instituto de Manguinhos, que possuía o *Zeitschrift für Physik* [22, p. 17]. Consideramos que as bibliotecas do Rio de Janeiro podiam ser visitadas, eventualmente, pelos físicos da USP, levando-se em conta que eles participavam das reuniões promovidas pela Academia Brasileira de Ciências, situada na referida cidade, ao longo dos anos 1930 e 1940.

expert no método de coincidências. Blackett e Occhialini elaboraram um arranjo no qual uma câmara de Wilson era posta entre dois contadores. A ideia era fazer ajustes eletrônicos para que a câmara de Wilson expandisse – e gerasse as condições para o aparecimento dos rastros – apenas se as partículas carregadas passassem por ambos os contadores [27]. A este arranjo de equipamentos, eles adicionaram campos magnéticos e máquinas fotográficas que disparavam automaticamente quando os traços gerados pelas passagens das partículas eram criados. Dentre os traços fotografados por Blackett e Occhialini, alguns foram interpretados como causados pelas passagens de elétrons positivos, que eles relacionaram à previsão de Paul Dirac sobre o antielétron, conhecido posteriormente como pósitron.⁷

Com a chegada de Occhialini ao Brasil, as técnicas de adaptação de contadores Geiger-Müller a câmaras de Wilson e a eletroscópios passaram a estar ao alcance de estudantes em São Paulo.⁸ O fato de o laboratório de física da USP ser relativamente equipado e de já existir pessoal competente realizando trabalhos impressionou Occhialini: “[...] *the first impression I had was of richness inside the laboratory. Everything which had been absolutely unobtainable for us [na Itália] was there.*” [32]. Sua habilidade para construir instrumentos reforçou estas características do laboratório do Departamento de Física da USP, e deu a Wataghin uma dupla vantagem. Por um lado, ela servia como argumento de economia frente aos dirigentes da USP: “[...] a experiência tem demonstrado”, afirmou Wataghin ao diretor da FFCL-USP, “que os aparelhos fabricados no Laboratório têm um preço de custo muito inferior aos similares comprados feitos.” [33]. Por outro, ela colocava os físicos da USP diretamente em contato com os problemas técnicos que poderiam surgir, gerando maior compreensão do fenômeno a ser estudado. De uma forma geral, estas eram as circunstâncias históricas do Departamento de Física da USP quando Lattes nele ingressou em 1941.

Uma das primeiras disciplinas que César Lattes cursou foi “Física Geral e Experimental”, com Marcello Damy. O programa da disciplina era bastante completo para um curso introdutório de Física, iniciando-se com procedimentos de medida e apresentando tópicos relativos à mecânica: cinemática, dinâmica e mecânica de fluidos. Este último ponto era bastante detalhado, contemplando dinâmica e atrito em fluidos. Vale notar que a seção finaliza com discussões sobre bomba de difusão a alto vácuo, assunto de vanguarda à época, para então voltar a tópicos de física clássica como ondas, acústica e ótica [34]. Lattes tirou a nota máxima em seu

exame parcial [35], terminando o curso com o melhor aproveitamento da turma [36].

Em seu segundo ano, Lattes complementou sua formação em física básica com um curso novo de Física Geral e Experimental, que contemplava termodinâmica, eletricidade-magnetismo e ótica física. É interessante que cada um destes temas era abordado em seu estado da arte, chegando a assuntos de mecânica estatística no primeiro, discutindo-se o efeito fotoelétrico no segundo, enquanto que os raios-X foram tratados no terceiro [37]. Quando perguntado sobre como havia sido seu curso de graduação, Lattes respondeu que:

Havia matemática e física, umas quatro, cinco cadeiras por ano. No primeiro ano, era física geral e experimental, cálculo vetorial e tensorial, cálculo diferencial (cálculo integral vinha depois) e geometria projetiva. Eram umas seis horas de aulas por dia, com aulas de laboratório que pegavam praticamente o dia todo, com nós mesmos montando as coisas [38, p. 8].

Não há registros dos programas de todas as disciplinas cursadas por Lattes. Contudo, sabe-se que entre 1941 e 1942 ocorreu um rearranjo da estrutura curricular do curso e o conteúdo ligado à física atômica de caráter experimental foi alocado no curso chamado “Física Superior”, direcionado a estudantes da 3ª série e ministrado por Occhialini. É interessante ver os pontos do conteúdo deste curso na parte chamada “Física Nuclear e Atomica” [sic], que começou a ser oferecido logo após Lattes ter se tornado estudante. Alguns deles, como, por exemplo, “Transmutações produzidas por Protons e Deuterons” [sic], tratavam aspectos de experiências que só podiam ser feitas com aceleradores de partículas, apesar de não existir esta *ferramenta científica* no Brasil àquela época [39].⁹

Um documento que chama bastante atenção sobre este assunto é o que revela que, em 1939, Wataghin já tinha a intenção de adquirir um aparelho de alta tensão para produzir feixes de prótons. Occhialini estava em viagem pela Europa e Wataghin lhe escreveu pedindo para que checasse um modelo da companhia holandesa Philips [41]. Ele pensava em introduzir experiências de bombardeamento artificial de elementos com aceleradores no seu programa de pesquisa em meados do mesmo ano, o que estava em absoluto acordo com os conteúdos das disciplinas de seu departamento e com o

⁹ Se compararmos o curso de física da USP ao da Faculdade Nacional de Filosofia [FNF], no Rio de Janeiro, criado em 1939, sobre o qual temos poucas informações, encontramos diferenças entre os ambientes de ensino descritas por Jayme Tiomno, que se formou na FNF em 1941, e nela atuou como professor assistente entre 1942 e 1945. Além da falta de livros didáticos introdutórios na FNF, os estudantes não tinham acesso a periódicos e obras importadas. A inexistência de professores pesquisadores limitava o ensino à reprodução de conteúdos, diferente do que ocorria na USP [40].

⁷ Este trabalho rendeu o prêmio Nobel de Física de 1948 a Blackett, que, em seu discurso, mencionou por diversas vezes a importante colaboração de Occhialini, preterido na premiação [30].

⁸ Segundo Lattes conta em entrevista: “O Occhialini veio e trouxe a experiência com câmaras de Wilson, que ele tinha adquirido com o Patrick M. S. Blackett. O Occhialini também impressionou pelo seu interesse em literatura, poesia e cinema.” [31, p. 13].

que ocorria em países do Hemisfério Norte. Vale lembrar que Wataghin circulava por locais nos quais havia físicos que já possuíam claro interesse no desenvolvimento de aceleradores.

Para pôr seu programa de pesquisa em prática, que continha investigações sobre raios cósmicos e a intenção de construir e/ou comprar aceleradores, Wataghin precisava de financiamento. Ele poderia comprar uma máquina de alta tensão caso o conseguisse. Outra possibilidade era enviar um pesquisador de seu departamento para aprender a construir um acelerador em centros de referência. A eclosão da Segunda Guerra Mundial em 1939 o forçou a adiar seus planos para um período após o término do conflito.

No final de 1945, Wataghin foi convidado pela Fundação Rockefeller para apresentar seus trabalhos em três congressos diferentes que iam ser realizados nos EUA. Sua estadia nesse país também contava com financiamento para ele retomar seu projeto de ter um acelerador na USP. Neste sentido, Wataghin procurou Ernest Lawrence, construtor do ciclotron do *Radiation Laboratory*, e explicou que:

The University of S. Paulo (Brazil), to which I belong, is planning now the construction of a nuclear Physics Laboratory. For that purpose, the Department of Physics was given about USA \$1.000.000 by the Brazilian Government and USA \$75.000 by the Rockefeller Foundation. [...] We are now in this country [USA] as guests of that Foundation, and the principal purpose of our trip is to buy equipment, get some advice on how to plan our new laboratory and visit American universities. We hope to buy a 100 MEV betatron (GE) and to build a 60" cyclotron [sic, 42].¹⁰

A resposta de Lawrence não tardou a ocorrer. O físico estadunidense expressou entusiasmo em poder receber Wataghin em seu laboratório para lhe dar as orientações solicitadas, mostrar o ciclotron de 60", e fez uma oferta ao físico ítalo-ucraniano: "[...] *it is quite possible by that time we may be able to take you up the hill and show you the 184" instrument which is now under construction.*" Lawrence acrescentou que Wataghin ia ficar muito interessado em um problema que um grupo de físicos de seu laboratório estava trabalhando e envolvia: "[...] *the frequency modulation to overcome the difficulty of increase of mass with energy and it now appears that it will be possible to reach considerably higher energies than heretofore.*" [45]. Literalmente, Lawrence estava dando acesso a Wataghin ao projeto do sincrociclotron que os cientistas de seu laboratório estavam desenvolvendo.

Aparentemente, a visita de Wataghin ao *Radiation Laboratory* foi bem sucedida. Os frutos deste contato

iam brotar em meados de 1947, quando Lattes escolheu como *ferramenta científica* fundamental para o prosseguimento de suas pesquisas o sincrociclotron de Berkeley. Antes disso, Lattes teve oportunidade de se aperfeiçoar no uso de um acelerador de menor porte e da emulsão nuclear, um promissor detector que ressurgia à época, enquanto esteve vinculado ao *H. H. Wills Laboratory*, da Universidade de Bristol, instituição na qual o físico brasileiro realizou suas primeiras observações de mésons.

3. César Lattes em Bristol: da Concepção de Usuário e de “tempo de máquina” ao Especialista em Emulsões Nucleares

Com a rendição do governo italiano na Segunda Guerra em setembro de 1943, Occhialini voltou às suas atividades como pesquisador. Ele havia se isolado em Itatiaia, cidade no interior do Estado do Rio de Janeiro, quando o Brasil entrou no conflito em 1942. Em Itatiaia, Occhialini trabalhou como guia de montanhas, explorando sua paixão por montanhismo. Em sua volta à física, ele foi convidado por Carlos Chagas Filho para trabalhar em seu laboratório na Universidade do Brasil com técnicas de processamento de filmes fotográficos. Occhialini já tinha tido contato com esta técnica em 1936, em Florença, quando recebeu parte de seu material que havia ficado no *Cavendish Laboratory*:

There was a moment in which I got interested in working while I was in Florence in photographic detection of particles for I thought that this was the chief thing. Then I wrote Blackett and Blackett sent me through a girl, called Mary Hartley, two boxes of infrared halftone plates. It was the kind of thing that was at this moment starting. I put ... alpha particles I don't know how I tried them, but when I developed them they were black. This had been my first attempt at nuclear emulsion effort, possibly in 1936, which I had to take up again eight years afterwards [32].

Depois do período de trabalho no laboratório de Carlos Chagas Filho, Occhialini voltou a São Paulo e ofereceu um curso sobre o uso da técnica de raios-X no Departamento de Física da USP, onde o único estudante matriculado foi César Lattes. No final de 1944, o físico italiano embarcou para a Inglaterra para trabalhar nos esforços de guerra ao lado dos Aliados a convite de Patrick Blackett. Ele desembarcou na cidade de Cardiff, em janeiro de 1945, e recebeu a notícia de que não poderia se unir às atividades militares contra o Eixo devido à sua nacionalidade. Occhialini ficou por alguns meses sem vínculos duradouros, trabalhando por curtos períodos no *Department of Scientific and Industrial Research* em Londres e no *Research Laboratories*

¹⁰ Sobre este financiamento, ver também [43, 44].

of the *General Electric Company* em Wembley [46].¹¹ Essa situação durou até o momento em que Blackett conseguiu uma verba da *Royal Society* e a cedeu a Occhialini nas seguintes condições:

He [Blackett] said, “Look here, you are going to investigate now for me what are the possibilities of the technique in Bristol. You are sent by me with this money.” I went there. I got interested, and then discovered that – well, **there was work on result of nuclear emulsions, but there was no work on nuclear emulsions.** People there had simply a group of emulsions which was exposed to the Liverpool cyclotrons. And it was the joint work in which there was [Cecil] Powell, the brother of [Walter] Heitler, Hans Heitler, [Thomas G.] Pickavance, [Alan] Nunn May, [James] Chadwick, and another one whose name I have forgotten. They were working on butterflies [48, grifos nossos].

Occhialini percebeu que as chapas fotográficas, conhecidas como *halftone*, que Cecil Powell, físico que trabalhou no *Cavendish Laboratory* e estava, desde 1928, no *H. H. Wills Laboratory*, usava não era um instrumento científico confiável. Isso porque os rastros escuros de ionização dos cristais de brometo de prata (presentes na composição química da *halftone*) causados pela passagem de partículas carregadas não eram contínuos, o que prejudicava a precisão das medidas de suas características ao microscópio. Para solucionar este problema, a equipe de Powell sugeriu à companhia inglesa Ilford, fabricante das chapas *halftone*, que aumentasse a densidade de brometo de prata na composição com o intuito de gerar rastros mais visíveis. Estas novas placas, que, na verdade, passaram a ser chamadas de emulsões nucleares, foram entregues a Powell no final de 1945, início de 1946.

Diante da necessidade de calibrar estas emulsões, Occhialini disse a Powell que a equipe do *H. H. Wills* precisava de mais pessoas e microscópios: “*You need more than one microscope. You didn’t need a gun, you needed a full battery of guns. You needed an Army.*” [48]. O que Occhialini tinha em mente era convidar alguns de seus ex-estudantes brasileiros para tomarem parte da empreitada em Bristol. Quando saiu do Brasil, Occhialini deixou para trás uma câmara de nuvens comandada por contadores Geiger que não funcionava bem. Lattes trabalhou nesta câmara durante todo o ano de 1945 [49], reestabelecendo seu funcionamento [38]. Esta câmara foi importante para que Lattes comparasse os resultados que ela gerou aos resultados alcançados por Occhialini em Bristol usando a nova emulsão produzida

pela Ilford, tipo B1, cujas microfotografias dos eventos o físico italiano enviou ao brasileiro juntamente com um convite para este trabalhar no *H. H. Wills*. Lattes ficou impressionado com as possibilidades de estudo em física nuclear que a emulsão com alta densidade de brometo de prata oferecia e se preparou para ir para a Inglaterra.

Ao chegar a Bristol, Lattes escreveu ao físico José Leite Lopes, que conhecera em 1943, durante um curso de mecânica celeste que Wataghin ministrava na USP [50]:

Cheguei há poucos dias e comecei a trabalhar com o Prof. C. F. Powell sobre o método das chapas fotográficas aplicado à física nuclear. Vamos iniciar experiências sobre o *scattering* nêutron-próton em condições muito melhores do que as dos trabalhos anteriores [51, p. 72].

A respeito destes “trabalhos anteriores”, Lattes se referia às experiências que Powell realizou com chapas fotográficas *halftone*, que, apesar de estarem sendo substituídas nos laboratórios ingleses, àquela época, por chapas mais eficazes, inexistiam na USP. Aos poucos, o físico brasileiro ia se adaptando ao novo ambiente científico, que se diferenciava bastante do seu de origem. Na carta seguinte que Lattes enviou a Leite Lopes, percebemos que as universidades inglesas possuíam excelentes condições instrumentais, por um lado, e que, por outro, a Segunda Guerra Mundial dificultou a manutenção da oferta de uma formação teórica de qualidade, desfrutada pelo brasileiro em São Paulo. “[...] Livros bons são coisa rara aqui,” explicou Lattes a seu amigo, continuando a relatar, surpreso, que “[...] imagine que não consigo encontrar o Dirac, Heitler, Gamov etc.” [51, p. 77], indicando a solidez do ambiente de ensino e pesquisa em física que Wataghin construiu. Na mesma missiva, Lattes indicou a Leite Lopes as alterações que seu plano de trabalho sofreu:

Eu não estou trabalhando no N-P *scattering* por enquanto, pois trata-se de experiências já iniciadas há muito tempo. Logo que o ciclotron de Liverpool esteja em condições, iniciaremos (Powell, Heitler, Occhialini e eu) o estudo do *scattering* de nêutrons de 17 MeV da reação $B + D$ (de 5 MeV do ciclotron). Nessa experiência usaremos um novo tipo de placa que permite uma precisão muito melhor do que as antigas [51, p. 74].

Como dito nesta carta a Leite, Lattes chegou a Bristol e havia planos para que ele trabalhasse com o ciclotron de Liverpool, que tinha a supervisão de James Chadwick. Nesta situação, Lattes não tinha apenas o acelerador de Liverpool como *ferramenta científica* disponível para usar na calibração da nova emulsão da Ilford, que era de sua responsabilidade [52], mas contava também com o acelerador Cockcroft-Walton do *Cavendish Laboratory*:

¹¹ Sobre o curso de raios-X, ver [47]. Antes de ir para Europa, Occhialini recebeu uma oferta de uma bolsa da Fundação Rockefeller para ir para a Universidade de Ohio, mas ele preferiu ficar no Brasil e esperar seu salvo conduto para ir para a Inglaterra [46].

Em Cambridge, estou estudando reações provocadas por deuteronos de 1 MeV produzidos pelo gerador de alta tensão. No momento estou interessado em “*targets*” leves (D, Li, Be, B, F); vou procurar esclarecer alguns pontos obscuros relativos a essas reações [e], ao mesmo tempo, determinar a relação *energy-range* para partículas alfa, prótons e deuteronos nas placas que serão usadas no futuro (até pouco tempo atrás, as placas foram tratadas com desprezo pela maioria dos físicos nucleares [...]). Vou estudar também, desintegrações produzidas por nêutron na própria placa, carregando a mesma com sais de D,¹² Li, Be, etc. Essas experiências de Cambridge serão feitas por [Peter] Cuer [...] e por mim [51, p. 74 e 75].¹³

Neste trecho, Lattes descreveu a Leite Lopes o plano de pesquisa no qual foi de fato inserido. Estas experiências podem ser entendidas dentro de uma agenda de pesquisas sobre transmutação artificial de elementos, que era conduzida, principalmente, por físicos do *Cavendish Laboratory* nos anos 1930 [11], [54 e 55]. Em maio de 1946, Powell, Occhialini, D. Livesey (do *Cavendish Laboratory*) e L. Chilton (do Laboratório da Ilford) publicaram artigo no qual o objetivo era medir os traços de prótons e de partículas alfa e mostrar que era possível determinar suas energias através de seus alcances na nova emulsão da Ilford tipo B1, que eles empregavam pela primeira vez: “*A concentrated half-tone emulsion [...] which contains about eight times the normal quantity of silver halide for a given amount of gelatine, and which [...] gives results greatly superior to the ‘half-tone’ emulsion.*” [56, p. 102]. Este foi um artigo de demonstração para a comunidade científica do potencial deste detector. Powell não levou adiante sua calibração, delegando-a a Lattes, assim que este chegou a Bristol.

Para a realização do trabalho de que fora incumbido, Lattes ia usar as mesmas *ferramentas científicas* que Powell utilizara antes de sua chegada: o acelerador Cockcroft-Walton do *Cavendish Laboratory*, o ciclotron de Liverpool,¹⁴ e a emulsão Ilford tipo B1.¹⁵ Ao longo de 1946, Lattes, Peter Fowler e Cuer realizaram experiências cujos resultados foram publicados em janeiro de 1947, primeiro artigo de Lattes com dados de experiências com aceleradores. Nele, eles comparam os

resultados que obtiveram sobre as transmutações obtidas do bombardeamento de boro, lítio e berílio com o feixe de deutério do acelerador de Cambridge aos de experiências realizadas por outros físicos. Eles também descrevem as mudanças que fizeram no arranjo anteriormente usado por Powell, envolvendo o alvo para o feixe de deutério e a posição da placa de emulsão.¹⁶

Em março de 1947, com dados desta mesma experiência, Lattes e seus companheiros assinalam que:

The method employed was to determine the mean range in the emulsion of homogeneous groups of alpha particles from the natural radioactive elements, and of protons from various well-known disintegration reactions. In the latter experiments, homogeneous beams of primary deuteronos of known speed were employed, and the disintegration particles were observed in conditions of good geometry. It was thus possible to calculate the energy of the groups of particles, produced by various transmutations, from the known masses of the reacting nuclei. Experiments with 900 keV deuteronos enabled us to determine the range in the emulsion of twelve homogeneous groups of protons, of various energies in the interval from 2 to 13 MeV, and to construct a curve showing the relation between energy and range [58, p. 301].

Eles compararam a relação entre alcance e energia de prótons na emulsão tipo B1 à mesma relação na nova emulsão Ilford tipo C2 e inferiram que: “[...] *the atomic composition of the others [emulsion] types, C1, C2, E2, etc., is so nearly equal to that of B1 that the present results may be generally applied without serious errors.*” [58, p. 302]. Ou seja, a partir deste trabalho, eles tinham parâmetros para a identificação do traço causado por um próton, projetado com energia entre 2 e 13 MeV, na emulsão tipo B1 e similares. Neste espaço de reprodutibilidade de experiências, Lattes adquiriu familiaridade com o uso de aceleradores pensando em arranjos experimentais com emulsões e adquiriu capacidade interpretativa de dados ao microscópio, medindo os rastros deixados pelas partículas e contando grãos de brometo de prata ionizados.¹⁷

¹² Acreditamos que Lattes tenha se equivocado neste elemento e que ele tenha querido dizer boro (B), ou houve um problema de digitação na edição do trabalho citado.

¹³ Lattes usou apenas a emulsão tipo B1, da Ilford, neste trabalho, conforme é dito na passagem de uma das publicações com dados desta experiência: “*Although out[r] observations are confined to the B1 type of the ‘Nuclear Research’ emulsions, we may assume that they will apply to the other types, after small corrections.*” [53, p. 896]. Os outros tipos de emulsões referidos são C2 e E1.

¹⁴ Que acabou não sendo usado por Lattes, até onde sabemos.

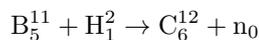
¹⁵ Lattes e Peter Cuer ainda fizeram uma investigação do alcance de partículas emitidas pelo samário na emulsão tipo B1 [57].

¹⁶ Lattes pôs um triângulo móvel, cujas faces eram cobertas com camadas dos elementos químicos utilizados (boro, lítio e berílio), para servir de alvo no lugar de uma peça fixa que tinha que ser substituída toda vez que era desejada uma transmutação com elementos diferentes, obrigando os cientistas a abrirem a câmara de vácuo. A angulação da placa de emulsão nuclear na experiência conduzida por Lattes também foi ligeiramente distinta da que Powell adotou. Isso era para que ela fosse exposta a um espectro mais amplo do feixe resultante das reações [53].

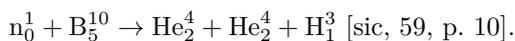
¹⁷ Lembramos que alguns dos espaços de experiência que Gooding sugere são “[...] *The space of concrete manipulations*” e “[...] *the physical space of the laboratory or field, in which observations are fashioned.*” [4, p. 75].

Em meio a este trabalho de calibração das emulsões da Ilford, Lattes fez uma experiência fora do programa de investigação do *H. H. Wills Laboratory*, mas que atendia aos seus anseios por estudar colisões causadas por nêutrons provenientes de raios cósmicos. Sua ideia era obter dados sobre os nêutrons liberados pela reação causada pelo feixe de deutério de 900 keV do acelerador Cockcroft-Walton direcionado a átomos do isótopo boro 11 (B^{11}), depositados sobre uma das faces do bloco móvel que servia como alvo. Os nêutrons liberados nesta reação iam viajar através da fenda do aparato e alcançar uma emulsão especial preparada pela Ilford, a pedido de Lattes, que incluía bórax ($Na_2B_4O_7$), cuja fórmula contém quatro átomos de boro 10 (B^{10}). Os nêutrons provenientes das colisões causadas pelo feixe do acelerador Cockcroft-Walton tinham energias maiores do que os nêutrons liberados pelas colisões provocadas por partículas alfa emitidas por elementos radioativos. Segundo o próprio Lattes:

No mesmo experimento [feito com Cier e Fowler], coloquei, na direção do feixe de nêutrons da reação:



(que dá um pico de nêutrons em aproximadamente 13 MeV), chapas carregadas com bórax, que a Ilford preparou a meu pedido. A ideia, que funcionou bem, era obter a energia e o momento dos nêutrons – independentemente de sua direção de chegada (que não era conhecida) – através da reação:



As energias das partículas resultantes iam ser medidas através do alcance de seus traços deixados nas suas passagens pela emulsão, já que eram partículas carregadas. Lattes somou as energias das partículas resultantes, duas alfas (He^4) e um trítio (H^3), e, pela lei de conservação de energia, aproximou seu resultado à energia conhecida do feixe de nêutrons projetado. Ele chegou a um resultado bastante satisfatório, que indicava que a medida da soma das energias das partículas resultantes era $13,8 \pm 0,5$ MeV e a do nêutron incidente era de $13,4 \pm 0,5$ MeV [60].

Contudo, a ideia era medir a energia de nêutrons provenientes de raios cósmicos, sobre os quais não se sabe a direção de sua chegada, já que eles não deixam rastros na emulsão. Lattes tinha que criar uma forma de medir indiretamente a energia destes nêutrons. Ele partiu da experiência com o acelerador Cockcroft-Walton para desenvolver uma técnica e usá-la, posteriormente, com as emulsões carregadas com boro 10 expostas a raios cósmicos. Esta técnica consistiu na feitura de um diagrama de momento das três partículas resultantes – duas alfas (He^4) e um trítio (H^3) – e da realização

da sua soma vetorial. O resultado desta soma podia ser tomado como equivalente ao valor do momento do nêutron que incidiu na emulsão (com características conhecidas) proveniente da transmutação causada pelo feixe de deutério do acelerador. Através desta técnica, o teste com os dados do acelerador Cockcroft-Walton alcançou um resultado em magnitude e direção bastante satisfatório, possibilitando ser tomado como parâmetro para a aplicação da mesma técnica em raios cósmicos.

Occhialini ia escalar no Pic du Midi de Bigorre, nos Pirineus franceses, que possui cerca de 2.800 metros acima do nível do mar, no outono de 1946, e Lattes pediu-lhe para levar emulsões para serem expostas a raios cósmicos. Algumas destas emulsões estavam carregadas com boro 10 (B^{10}), outras não. A inclusão de boro 10 na emulsão fez com que a ionização dos grãos de brometo de prata fosse mantida por mais tempo. Com o processo químico de revelação das emulsões, o boro evitava que os grãos ionizados se recombinassem e a cor escura que eles adquiriam era mantida por mais tempo. Após ter recolhido as emulsões expostas no Pic du Midi, Occhialini começou a analisá-las ao microscópio e percebeu a existência de alguns traços inesperados. Imediatamente ele procurou Lattes: “*Look here, can you tell me what is this funny thing? Lattes looks at it. [Lattes:] ‘Elementary, this is a meson entering’, and so on.*” [48].

O grupo de Powell voltou suas atenções para estas placas e encontrou dois traços de uma partícula secundária, cuja origem e massa foram interpretadas, neste momento, erroneamente. Em maio de 1947 saiu o primeiro artigo com esses dados: “*We have attempted to interpret these two events in terms of an interaction of the primary meson with a nucleus in the emulsion which leads to the ejection of a second meson of the same mass as the first.*” [61, p. 695]. Apesar de o grupo de Bristol ter afirmado que esta segunda partícula tinha a mesma massa que a do méson incidente, as evidências não eram muito consistentes, já que os traços deixados por esta segunda partícula não terminavam na emulsão. Isso deixava em aberto a determinação de sua massa, característica importante para precisar sua identidade. Os poucos dados do Pic du Midi também não permitiam uma análise minuciosa sobre o processo de surgimento da segunda partícula. É interessante perceber que os registros neste ponto nos permitem testemunhar a ciência em ação, já que estas afirmações foram revistas algumas semanas depois da publicação deste artigo, em um trabalho seguinte.

Para realizar esta revisão, era necessário coletar mais eventos para uma análise detalhada. Se esta coleta pudesse ser feita em um local com altitude mais elevada do que os cerca de 2.800 metros do Pic du Midi, as chances para capturar traços inteiros das passagens e dos decaimentos dos mésons seriam aumentadas, pois o fluxo de raios cósmicos é maior em locais de grande altitude. Lattes encontrou nos mapas do Departamento de Geografia da Universidade de Bristol um local adequado

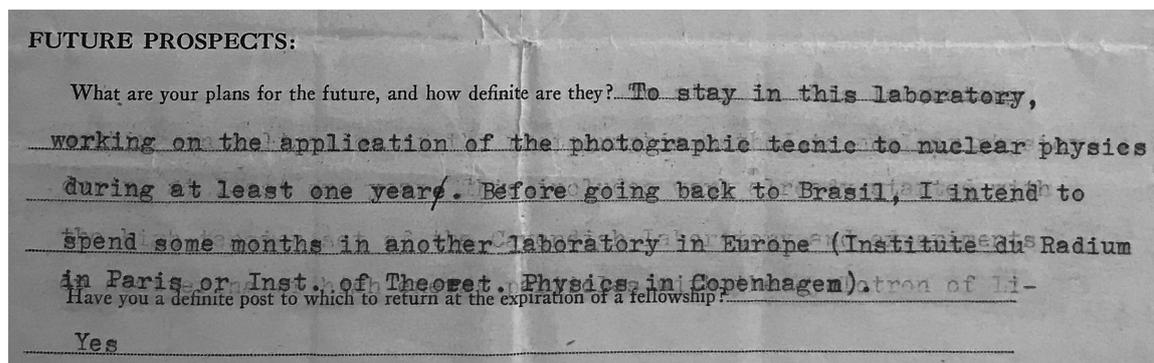


Figura 2: Detalhes dos planos de trabalho de César Lattes contidos em seu pedido de bolsa à Fundação Rockefeller para ser utilizada no ano de 1948. Data indicada de preenchimento, 16 de setembro de 1946. Data indicada de submissão, 03 de janeiro de 1947 [64].

para fazer uma segunda exposição de emulsões B1 carregadas com boro [62]. O Monte Chacaltaya, próximo a La Paz, Bolívia, fica a aproximadamente 5.500 metros acima do nível do mar, e oferecia as condições para a continuidade do processo de compreensão do então desconhecido decaimento do méson pi em méson mi.¹⁸

Lattes deixou Bristol de avião no dia 07 de abril de 1947. Vale a pena lermos o trecho da carta que Lattes enviou a Wataghin no dia 21 de março, ainda quando planejava a expedição, explicando a exposição das emulsões nucleares a raios cósmicos em Chacaltaya que ia realizar:

Chegarei no Rio dia 8 de manhã e seguirei para Cochabamba logo que seja possível (dentro de uma semana no máximo); demorar-me-ei na Bolívia cerca de 15 dias e voltarei ao Brasil. Durante minha permanência no Brasil terei que estudar as placas já reveladas e enviar metade para Bristol; depois de cerca de dois meses voltarei à Bolívia para processar às placas expostas em abril e depositar novas placas. **Por enquanto os planos são tais que deveria voltar para Bristol dentro de dois e meio ou tres meses, à partir de minha saída. Poderei ficar mais se necessário para as experiências ou para meus interesses pessoais. [...] Espero receber notícias suas antes de embarcar. Do contrário encontra-nos emos logo no Brasil** [sic, 63, grifos nossos].

Ainda há outros indícios que nos levam a crer que Lattes esteve com Wataghin neste período e que um

¹⁸ A nomenclatura usada à época era por conta da massa, estimada teoricamente entre a do próton e a do elétron, que o méson possuía. Hoje, a classificação dessas partículas é de acordo com suas interações. Atualmente, o méson pi é uma partícula da classe dos mésons, que, por sua vez, é um tipo de hádron. Estes interagem seguindo as regras da força forte. O méson mi é conhecido nos dias atuais como múon e é tido como um lépton, interagindo de acordo com a orientação da força fraca.

dos assuntos conversados foi o melhor laboratório para que o jovem brasileiro usufrísse, em 1948, uma bolsa que a Fundação Rockefeller aprovara a concessão no início de 1947.¹⁹ Ao analisarmos o documento original de pedido de bolsa à Fundação Rockefeller, cuja data de preenchimento é de setembro de 1946 e a de submissão de janeiro de 1947, tomamos conhecimento de que Lattes considerava passar um período no *Institute du Radium* em Paris ou no *Institute of Theoretical Physics* em Copenhague. Estes são os locais de destino desejados indicados no documento encaminhado à Rockefeller. Porém, por baixo dos nomes destes institutos é possível ler, por estarem mal apagadas, as palavras “cíclotron” e “*Radiation Laboratory*”, o que revela que a primeira opção de Lattes era o laboratório de Ernest Lawrence. Por algum motivo, Lattes alterou seu destino pretendido antes de encaminhar o pedido de bolsa à Rockefeller (ver Figura 2).

Acreditamos que Lattes iria para Paris ou Copenhague, após seu período em Bristol, caso ele não tivesse participado diretamente da observação dos mésons nos meses iniciais de 1947, e, principalmente, se um artigo teórico sobre a produção de mésons usando aceleradores não tivesse sido publicado enquanto estava no Brasil. Os físicos da Universidade de Chicago W. McMillan e E. Teller enviaram à *Physical Review*, em março de 1947, um manuscrito no qual defendem que a energia de 380 MeV do feixe de partículas alfa do sincrocíclotron do *Radiation Laboratory* (95 MeV de cada um dos dois prótons e dois nêutrons) somada à energia interna dos núcleons dos núcleos dos átomos de elementos que podiam ser usados como alvo para o feixe era suficiente para produzir mésons. Grosso modo, eles propuseram que a chamada energia de Fermi fosse levada em conta na produção de mésons com aceleradores, tendo seu trabalho publicado em 01 de julho de 1947 [65].

Parece-nos que esta publicação foi crucial para os desdobramentos seguintes, ajudando-nos a compreender

¹⁹ “[...] fui passear no Guarujá e tal e depois fomos pegar as chapas”, lembra-se Lattes, em entrevista, sobre essa situação [38, p. 23].

a forma como as decisões relacionadas à condução de pesquisas por físicos formados no grupo da USP, liderado por Wataghin, eram tomadas. Havia neste grupo uma refinada habilidade para reunir informações teóricas e experimentais que circulavam para antever resultados possíveis a partir da conjugação de diferentes *ferramentas científicas* disponíveis em laboratórios pelo mundo. Desde que Wataghin acionasse sua rede de contatos procurando líderes científicos no Hemisfério Norte, como ele fez desde o final dos anos 1930, e que autoridades governamentais oferecessem apoio político e financeiro, quando necessário, para que físicos da USP fossem recebidos em institutos de pesquisa no exterior, nada impedia a execução destes planos.

Em 21 de julho de 1947, logo após a publicação do trabalho de McMillan e Teller, Wataghin fez o primeiro contato com Lawrence tratando a possibilidade de Lattes ir trabalhar em Berkeley, oferecendo a evidência documental de mais uma reviravolta sobre o uso da bolsa Rockefeller que o físico brasileiro havia assegurado. Antes do envio desta carta, Wataghin e Lattes, muito provavelmente, se encontraram no Brasil para tomar uma decisão a respeito do uso da bolsa Rockefeller. Neste momento, ela estava sendo claramente direcionada à investigação dos mésons:

I take the liberty to write to you today in order to inquire whether you could consider the possibility for my assistant Dr. C. M. G. Lattes to work in Berkeley during one year as a Rockefeller-fellow. He [...] worked during the last year at the University of Bristol with Profs. Powell and Occhialini with the method of photographic plates. I guess Dr. Gardner from your Institute was in contact with the Bristol group and is familiar with the work of Lattes [66].

Wataghin considerou a possibilidade da ida de Lattes para Berkeley para trabalhar no grupo de Eugene Gardner, a quem creditou o acompanhamento dos resultados publicados pela equipe de Bristol. Na verdade, além de Gardner, o próprio Lawrence acompanhava as publicações de Lattes: “[...] *we would be glad to have Dr. Lattes with us. His published work is very interesting and I am sure there would be much for him to do here especially in collaboration with Dr. Gardner*” [67]. Lattes estava a par do trabalho realizado no *Radiation Laboratory* e conhecia os detalhes técnicos do acelerador lá existente.²⁰

Em meio a estes desdobramentos, Lattes escreveu a Leite Lopes revendo os resultados que o grupo de Bristol havia publicado na edição da *Nature* de maio

de 1947 [61]. Se em maio eles pensavam que os mésons primário e secundário possuíam a mesma massa, em julho, após terem analisado parcialmente os dados de Chacaltaya, o quadro era outro. Nesta carta, Lattes fala sobre os:

[...] 7 casos já encontrados [a partir de dados de Chacaltaya], em que o méson secundário termina na emulsão. Alcance (Range) homogêneo = 606 ± 8 microns. Energia ~ 4 Mev. Massa do secundário definitivamente menor do que a do primário (*grain counting* mostra isso de maneira definitiva). [sic, 51, p. 89].

Lattes também indica que o decaimento do méson pi no méson mi não ocorre na colisão daquele com um núcleo na emulsão, como afirmado no artigo de maio de 1947, pois “O μ -decay é, pois, muito comum e, pela evidência que temos, todos os mesons que não são capturados sofrem μ -decay antes de darem β -decay.” [51, p. 90]. Leite Lopes afirmou que discutiu com o físico austríaco, radicado na Argentina, Guido Beck, por carta, os aspectos teóricos das forças nucleares destes resultados parciais do grupo de Bristol:

In my letter of October 1, 1947, I discussed with Beck the results which were sent me by Lattes. Theoretically, the picture of nuclear forces was dominated by a theory proposed by Chr[istian] Møller and Leon Rosenfeld and modified by Julian Schwinger, which assumed the existence of two kinds of mesons, vector mesons and pseudoscalar mesons, with different masses [70, p. 3].²¹

Resultados experimentais podiam ajudar a solucionar esta questão e os físicos brasileiros estavam participando tanto à frente dos experimentos quanto como publicando artigos sobre teoria das forças nucleares.

Enquanto os últimos acertos para a ida de Lattes para Berkeley estavam sendo feitos, ele visitou Copenhague no final de 1947 para ministrar palestras sobre suas pesquisas. Lattes explicou pessoalmente a Niels Bohr o que estava fazendo em Bristol, já que este enviara dois emissários ao *H. H. Wills Laboratory* para que

²¹ Leite Lopes publicou seus cálculos sobre o problema tratado nesta carta em [71]. Algumas das cartas que Leite enviou a Beck, mencionando os problemas tratados nesta passagem, podem ser vistas em fac-símile em [70]. Infelizmente, a carta de 01 de outubro não foi publicada e deve estar em meio aos documentos de Leite Lopes, depositados no Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil da Fundação Getúlio Vargas (CPDOC-FGV), no Rio de Janeiro. Além de estes documentos ainda não estarem organizados, também não estão abertos à consulta pública. Agências de financiamento brasileiras e instituições de pesquisa devem ser mobilizadas para que a coleção de documentos de José Leite Lopes, que viveu de 1918 a 2006, sendo testemunha e um dos participantes centrais da física brasileira por quase todo o século XX, seja organizada o mais breve possível, possibilitando que historiadores da ciência alarguem nossa compreensão sobre nosso passado científico.

²⁰ Prova disso é a citação de um trabalho de Gardner sobre a desintegração de núcleos com um feixe de deutério de 200 MeV, que estava no prelo, no artigo publicado por Lattes com o grupo de Bristol em outubro de 1947 [68]. O artigo do grupo de Eugene Gardner no prelo pode ser visto em [69].

identificassem quem estava por trás dos resultados de impacto do grupo. “Eu estava em Bristol com as chapas de Chacaltaya e eles [emissários de Bohr] me viram contando, fazendo medidas. Veio em seguida um convite para eu ir fazer seminário no Instituto de Física e na Sociedade de Física Dinamarquesa” [38, p. 24], recorda-se o físico brasileiro.²² Além das palestras, Lattes revelou seu plano de ir para os EUA a Bohr:

O Bohr me perguntou se eu ia aos EUA, porque as coisas em Bristol estavam quentes. Respondi que a energia do acelerador de Berkeley parecia não ser suficiente para a produção de mésons. Mas, na verdade, era suficiente se levássemos em consideração a energia interna da partícula incidente e do alvo, chamada de energia de Fermi. Saí de Bristol no melhor da festa [73].²³

A resposta de Lattes a Bohr parece ser a confirmação do quanto o artigo de McMillan e Teller foi importante para sua decisão de ir para Berkeley. Wataghin estava em viagem pela Europa entre dezembro de 1947 e janeiro de 1948 [75], e acompanhou Lattes em Copenhague. De lá, escreveu a Lawrence, mencionando um dos assuntos que havia discutido com Bohr na presença de Lattes:

I am writing to you from the Institute of Prof. Bohr, where Dr. Lattes and myself had the opportunity to discuss some of the recent experiments concerning the existence of several types of mesons (Lattes, Occhialini & Powell) and the production of mesons by the primary radiation [76].

Aos nossos olhos, Wataghin tentava legitimar ainda mais a presença do físico brasileiro em Berkeley, que estava para ocorrer em poucas semanas. Na realidade, o que temos neste momento histórico é a reunião e projeção de ideias que iam definir a formação do campo de física de partículas. Grosso modo, o grupo da USP estava travando conhecimento com o grupo de Copenhague sobre o que havia sido feito experimentalmente

²² O que Lattes diz estar contando eram os grãos de brometo de prata ao longo de sucessivos intervalos de 50 microns no traço que as partículas carregadas deixavam na emulsão, para estimar o *grain density* de cada trajetória. Essa técnica possuía variações, e seu emprego remonta a 1910, através do físico japonês S. Kinoshita [72, p. 52]. Nas palavras de Lattes etc.: *We define grain density in a track as the number of grains per unit length of the trajectory. Knowing the range-energy curve for the emulsion, we can make observations on the tracks of fast protons to determine a calibration curve showing the relation between the grain-density in a track and the rate of loss of energy of the particle producing it. With this curve, the observed distribution of grains along the track of a meson allows us to deduce the total loss of energy of the particle in the emulsion. The energy taken in conjunction with the observed range of the particle then gives a measure of its mass* [61, p. 694].

²³ Sobre a história difundida de que Niels Bohr não teria achado justo Lattes não ganhar o prêmio Nobel de física de 1950, ver [74].

pelo grupo de Bristol e o que podia ou não ser feito no laboratório onde atuava o grupo de Berkeley. Após receber a permissão da *Atomic Energy Commission* dos EUA [77] para trabalhar no *Radiation Laboratory*, o caminho para a costa oeste estadunidense estava aberto para Lattes.

4. O Nascimento da Física de Partículas Experimental: César Lattes em Berkeley

Ao longo do primeiro semestre de 1947, a equipe de Eugene Gardner realizou um amplo plano de pesquisa usando o sincrocíclotron do *Radiation Laboratory* [78]. Até abril deste ano, por exemplo, um dos projetos era estudar a seção de choque necessária para a formação de “estrelas” (desintegrações nucleares). Nos meses seguintes, a equipe de Gardner trabalhou na escrita de um artigo sobre a presença de estrelas nas emulsões e em problemas que tratavam o comportamento dos feixes de deutério e de partículas alfa quando projetados contra as placas tipo NTA, produzidas pela Kodak [79]. Em termos materiais, Gardner tinha acesso aos cientistas desenvolvedores das emulsões fotográficas tanto da Ilford, na Inglaterra, como da Kodak, nos EUA. Além disso, sua oficina produzia as peças necessárias para montar os arranjos que comporiam as experiências junto com as *ferramentas científicas* centrais: o sincrocíclotron e as emulsões nucleares.

Gardner contava ainda com a engenhosidade de físicos de vários laboratórios pelo mundo, que lhe escreviam cartas com sugestões de arranjos para produzir e capturar mésons [80 e 81]. Essas informações eram administradas por Gardner de uma maneira simples e eficiente. Ele, ou algum membro de sua equipe, colava as cartas com sugestões e comentários sobre as experiências conduzidas nos cadernos usados pelo grupo. Isso indica que havia uma preocupação em estender as discussões com colaboradores externos entre todos os membros de sua equipe, ressaltando o aspecto coletivo da investigação, em um momento histórico de transição da prática da física nuclear feita por um único cientista (ou por um grupo reduzido), que conduzia trabalhos com um caráter autoral, para a dos grupos de pesquisa com um grande número de participantes. Pela extensão de suas características físicas, os cadernos do grupo de Gardner dificilmente circulavam por ambientes diferentes do próprio laboratório, apresentando-se como um item essencial para a condução da rotina das experiências por conterem, literalmente, todas as entradas dos experimentos passados e os que eram planejados para o futuro.

Ao analisarmos estes cadernos, fica evidente que o processo criativo era colaborativo, com vários físicos do grupo dando sugestões para o desenrolar das pesquisas e realizando inscrições científicas de diferentes ordens. Em outubro de 1947, por exemplo, Edwin Mattison

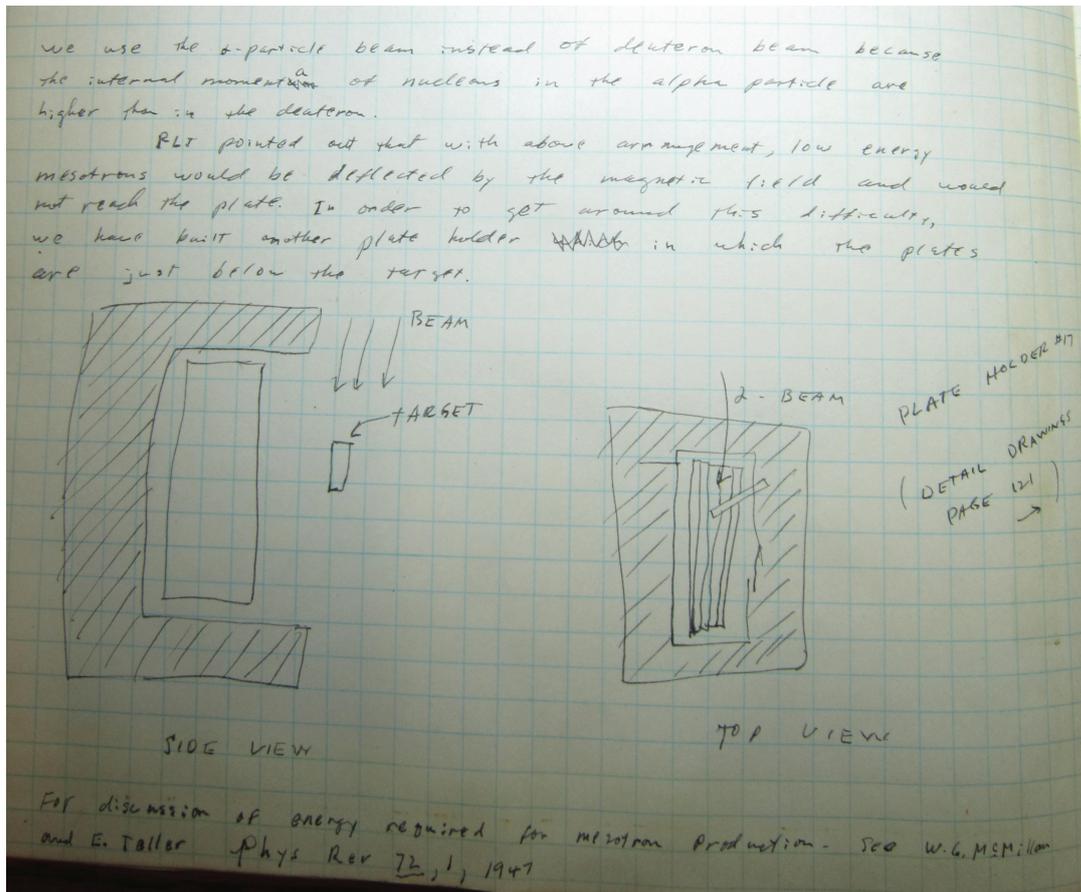


Figura 3: Arranjo do aparato sugerido por E. McMillan, desenhado por E. Gardner, para tentar capturar mésons. 13 de outubro de 1947 [82].

McMillan sugeriu que as emulsões fossem postas na vizinhança do alvo de carbono. Esperava-se que os resultados das colisões entre as partículas alfa do feixe e os átomos do alvo gerassem mésons positivos e negativos que seriam espalhados pelos arredores do ponto de colisão, sem que houvesse uma tentativa de direcionar as partículas usando um campo magnético (ver Figura 3). Esse era um esforço inicial para checar se os mésons estavam mesmo sendo produzidos [83]. A sugestão de E. McMillan tinha como base o uso da chamada energia de Fermi. Gardner deixou isso bem claro quando registrou a razão da escolha do feixe de partículas alfa neste experimento: “We use the alpha particle beam instead of [the] deuteron beam because the internal momenta of nucleons in the alpha particle are higher than in the deuteron.” [82]. O que de mais significativo emergiu deste experimento foi que a equipe de Gardner percebeu que “[...] the mesotrons might not have been observed even though they are being made.” [84].

No início de novembro de 1947, foi a vez de Lawrence sugerir um arranjo visando à produção de mésons. Ele indicou, inicialmente, um experimento onde duas fendas, alocadas em série, seriam usadas para direcionar o feixe de partículas a uma abertura em um compartimento revestido de chumbo no qual estariam posicionados o

alvo de carbono e as emulsões fotográficas. O compartimento de chumbo era para evitar que partículas residuais alcançassem as emulsões, já que os detectores estavam posicionados dentro do tanque do acelerador. Contudo, o funcionamento do sincrocíclotron ainda não era muito bem compreendido naquele momento, além de terem ocorridos problemas na montagem do arranjo. Os cientistas da equipe de Gardner perderam a localização do feixe quando tentavam posicionar as fendas e eles “[...] decided not to use [a] second slot. There is not enough time to locate another slot and then locate [the] scatterer. [We] Will use [a] slot [of] 1/2 dia[meter] at [the] exit part.” [ver Figura 4]. O experimento foi levado adiante e o químico responsável pelo estudo das características das emulsões, Albert Oliver, resumiu os resultados da seguinte forma:

The experiment involving the greater amount of time due to erection of extensive shielding from neutrons was unsuccessful principally because the shielding erected was ineffective, partly because half the plates were developed incorrectly, and possibly also because of errors in exposure time or erection of defining holes [86].

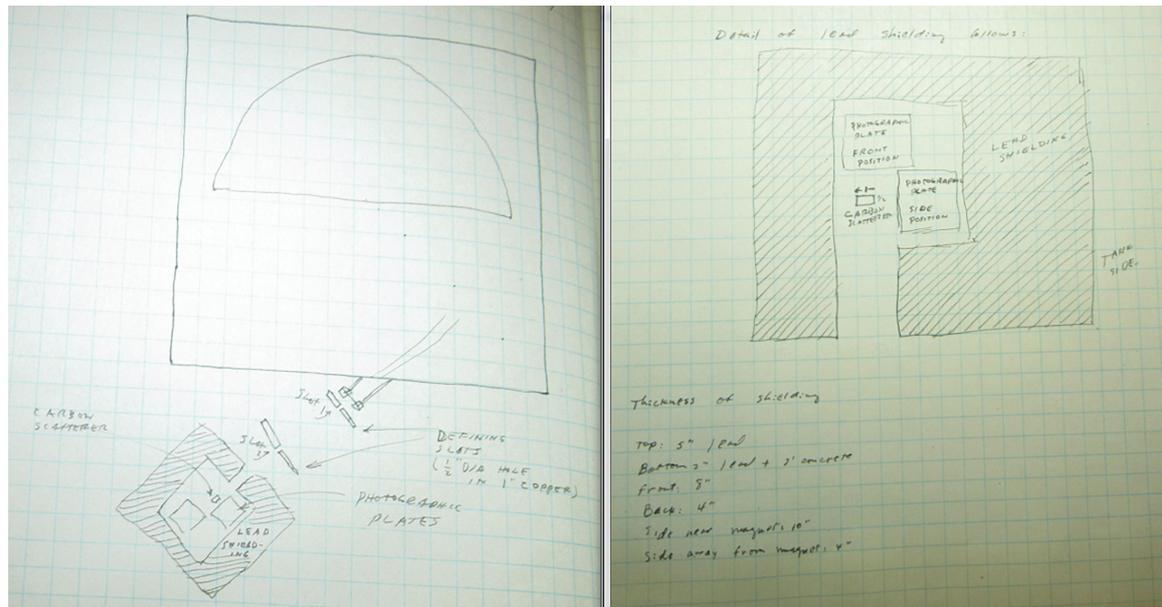


Figura 4: Experimento para tentar produzir e capturar mésons, sugerido por Ernest Lawrence. À direita, detalhe do compartimento de chumbo com as emulsões e o alvo de carbono em seu interior. Registro feito em 02 de novembro de 1947 [85].

Especificamente neste caso, eles ainda tentavam encontrar os procedimentos adequados de revelação (chamados de “receita”) de cada um dos tipos de emulsão. Mesmo tendo ao seu alcance as receitas de revelação de emulsões do grupo de Bristol [87], os experimentos feitos pela equipe de Gardner pareciam carecer de habilidades que não circulavam em livros ou por cartas. Apesar destes e de outros esforços para produzir, capturar e observar mésons, o relatório mensal de atividades da equipe de Gardner, de dezembro de 1947, indica que:

Photographic plates were placed at various radii on both sides of the target in order to record either positive or negative mesotrons over a considerable energy range. The plates show a rather high neutron background. [...] No evidence of mesotron production has yet been found [88].

Independente do processo de produção de mésons, que a equipe de Gardner acreditava estar alcançando, observá-los ao microscópio era outra questão, como o final deste relatório e as entradas nos cadernos indicam [84, 88].

No final de 1947, a busca experimental controlada por mésons exigia não apenas uma engenharia fina para a montagem de arranjos para sua produção e captura. Era necessária, também, a combinação de conhecimentos práticos como, por exemplo, saber distinguir na emulsão um traço deixado por um méson daqueles deixados por um próton ou por uma partícula alfa ao olhá-los ao microscópio. Neste momento, ainda havia a necessidade de uma cultura experimental de laboratório que fosse transmitida pessoalmente. Prova disso é que o trabalho

intitulado *Photography as an Aid to Scientific Work*, da Ilford, enviado por C. Waller ao Departamento de Física da Universidade de Berkeley, não levou o grupo do *Radiation Laboratory* a encontrar mésons, reforçando a necessidade presencial de quem dominava esta técnica [89]. Afinal, o que faltava para que o grupo de Gardner conseguisse detectar mésons? Aos olhos dos membros do *Radiation Laboratory*, a resposta parecia estar do outro lado do Atlântico.

Havia um canal de troca de informações entre o grupo de Bristol e o de Berkeley, através do envio de correspondência entre seus líderes, Powell e Gardner. Em uma dessas cartas, Powell demonstrou satisfação por ter “[...] heard recently that the arrangements for Lattes’ stay in Berkeley have now be completed.” A intenção de realizar uma circulação da prática científica relacionada ao uso de emulsões era evidente. Powell continuou esta carta dizendo que: “[...] so he [Lattes] will be able to discuss matters of common interest with you.” [90]. A empolgação em Berkeley com a ida de Lattes para os EUA era grande: “I was delighted to hear of Lattes’ coming trip to Berkeley. You may be sure that he will be most welcome” [91], escreveu Gardner em resposta a Powell.

Após passar as festas de fim de ano de 1947 no Brasil e de ter se casado, Lattes escreveu a Lawrence detalhando suas intenções e dizendo que concordava em trabalhar com Gardner:

As you probably know, I spent the last two years in Bristol, working in collaboration with Dr. Occhialini and Dr. Powell on the photographic technique. I would like to go on working with the same technique so that

I welcome your suggestion of working in collaboration with Dr. Gardner in Berkeley [sic, 92].

Uma das habilidades que Lattes possuía, que inexistia em Berkeley, e que foi desenvolvida na prática rotineira da técnica que ele mencionou a Lawrence na carta acima, era a percepção visual para identificar traços de mésons ao olhar emulsões nucleares ao microscópio. Ele adquiriu esta habilidade através de muitas horas de contagem de grãos de brometo de prata e de medição de rastros de partículas, em um espaço de prática que envolvia *ferramentas científicas* específicas, o microscópio e a emulsão nuclear, e uma disposição visual elaborada na perspectiva daquilo que David Gooding chama de *mental space* [4].

O físico brasileiro era visto como uma autoridade no uso de emulsões. Antes de sair da Inglaterra em direção aos EUA, ele visitou o laboratório da Ilford em Londres, no final de 1947, e se interessou pelas novas emulsões que lá estavam sendo desenvolvidas. Esta visita não ficou em segredo, já que quem o recebeu foi C. Waller, que se comunicava constantemente com Gardner. “*The emulsion we have called F.3, batch 2.1801*”, explicou Waller em carta a Gardner ao falar das novas emulsões que seu laboratório estava trabalhando, “*has rather similar sensitivity to C.2 with considerably finer grain. C.3 batch 2.1800 is a somewhat more strongly sensitized version of C.2; both have the normal chemical composition.*” Waller disse ainda que estava enviando duas dúzias das emulsões C3 e F3 a Berkeley, explicando que: “*I understand that Mr. C. M. G. Lattes is shortly visiting you and on his visit here about a month ago he expressed considerable interest in them.*” [93]. É possível inferir, deste modo, que Lattes era visto no meio científico como um dos principais detentores da habilidade prática para identificar problemas e sugerir soluções relacionadas ao uso de emulsões em física nuclear.²⁴

Lattes chegou a Berkeley por volta do dia 10 de fevereiro de 1948.²⁵ Após sua chegada, a sucessão de eventos científicos importantes foi bem rápida, o que mostra o quanto sua presença alterou a rotina do *Radiation Laboratory*. No primeiro registro que encontramos com sua caligrafia nos cadernos do laboratório, ele fez uma lista das numerações das placas expostas, tipos B2 e C2, ambas com 50 microns de espessura, indicando seus tempos de exposição ao feixe de partículas alfa, os tempos que as placas deveriam ficar sob o efeito do revelador D-19 e sua correspondente proporção na mistura com água (ver Figura 5). Nos dias subsequentes, Lattes analisou a composição atômica das emulsões

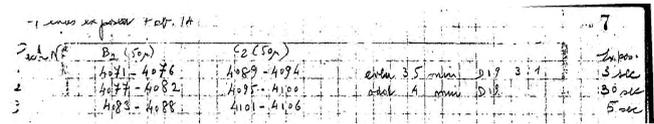


Figura 5: Primeiro registro feito por César Lattes nos cadernos do *Lawrence Radiation Laboratory*, contendo lista de placas de emulsões tipos B1 e C2, e parte dos procedimentos adotados para suas revelações. Registro feito em 14 de fevereiro de 1948 [97, p. 7].

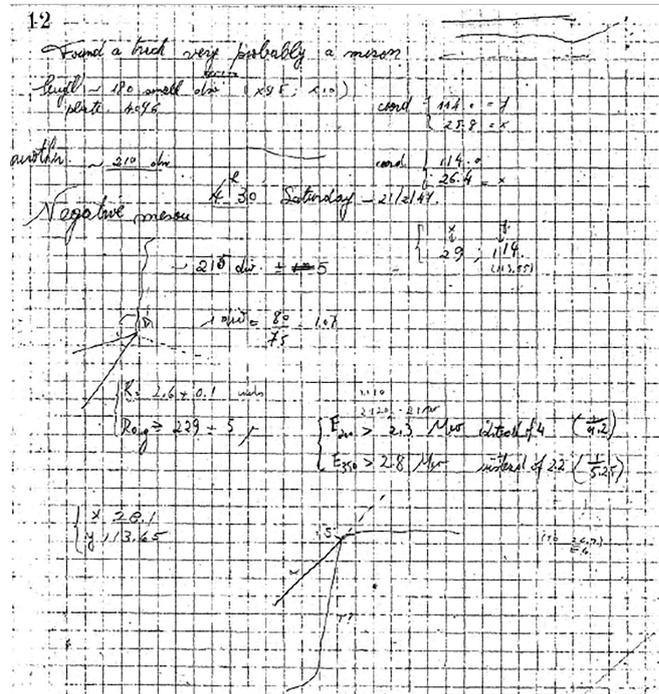


Figura 6: Registro feito por César Lattes das primeiras observações de traços provocados por mésons negativos em emulsões nucleares no *Lawrence Radiation Laboratory*. Contém as coordenadas de suas localizações e suas energias estimadas [97, p. 12].

Ilford, calculando o número de átomos/cm³ de cada um dos elementos químicos presentes em emulsões de concentração três e duas vezes maior do que a normal. Inicialmente, o impacto no processo de revelação das emulsões parece ter sido essencial para impedir a recombinção dos grãos de brometo de prata, mantendo-os com a cor escurecida por mais tempo.

Na madrugada de 21 de fevereiro de 1948, um sábado, às 04 h 30 m, Lattes registrou em um dos cadernos de controle de experimentos do laboratório: “*Found a track very probably a meson*” (ver Figura 6). Logo em seguida, é possível ver a inscrição da observação de traços de mais dois mésons negativos, localizados perto da superfície da emulsão (ver Figura 7). Lattes descreveu suas primeiras impressões sobre o que observou e inseriu os dados no diagrama de alvo (*target diagram*), espécie de controle visual dos eventos (ver Figura 8), para que

²⁴ Mais elementos corroboram esta visão: “[...] your experience with photographic plates will make you very valuable to us here” escreveu Gardner ao físico brasileiro [94]. Os registros de recebimento no *Radiation Laboratory* das emulsões C.3 e F.3 podem ser vistos em [95].

²⁵ Eugene Gardner indica que a data esperada para a chegada de Lattes é 10 de fevereiro de 1948 [96].

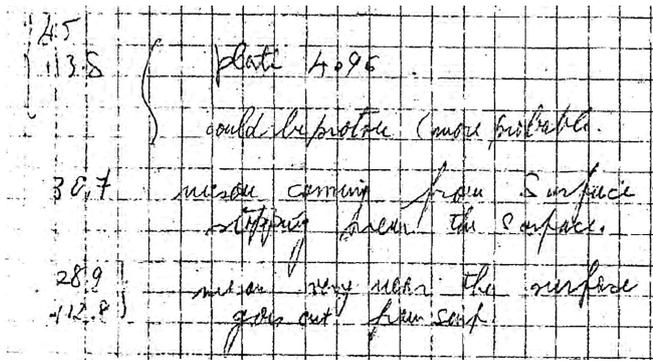


Figura 7: Inscrição da observação de traços de dois mésons negativos e o registro de que um terceiro traço visto poderia ter sido feito por um próton [97, p. 13].

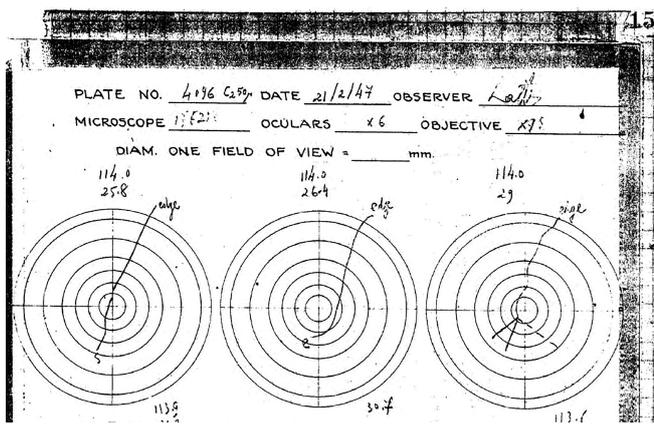


Figura 8: Registros nos diagramas de alvo das coordenadas dos traços dos mésons negativos encontrados na emulsão tipo C2, em 21 de fevereiro de 1948, por César Lattes [97, p. 15].

outros membros do grupo os localizassem. As varreduras nas emulsões continuaram nos dias seguintes e mais mésons foram encontrados.

No dia 26 de fevereiro de 1948, ocorreu a primeira reunião da equipe após a produção e observação dos mésons negativos. Nos cadernos do *Radiation Laboratory*, há o registro de que foi constatado que, apesar de Lattes ter conseguido observá-los, eles ainda estavam envoltos em muito *background*: “When Mr. Lattes found the first mesotron tracks last Saturday night, the background was terrible. The first attempt was to get the background down.” [98]. Foi decidido que bloqueadores iam ser postos para tentar diminuir esse *background* e que a equipe ia tentar produzir e observar mésons negativos posicionando o alvo de carbono a diferentes distâncias da posição inicial [99]. Contudo, se compararmos a imagem do arranjo feita no caderno à feita no relatório de circulação interna [100, p. 4], vemos que a imagem deste já não possui as múltiplas posições das emulsões que o primeiro contém, revelando que as diferentes distâncias de posicionamento de emulsões possuíam um caráter de teste.

Na reunião que deu origem a este relatório, Gardner apresentou o arranjo dado ao sincrocíclotron em seu formato final, que chegaria ao público:

The circulating beam of 380 Mev alpha particles inside the cyclotron passes through a thin target, producing mesons and other particles. The negative mesons are sorted out by the magnetic field and roughly focused on the edge of a stack of photographic plates as shown [sic, 100, p. 4].

Já a apresentação de Lattes sobre seu trabalho nesta reunião reforça alguns dos nossos argumentos. Segundo Lattes:

The identification of the particles responsible for the tracks on the photographic plates were first made on the basis of the appearance of the tracks; they show the same type of scattering and variation of grain density with residual range found in cosmic rays mesons tracks by other observers. Their appearance is sufficiently characteristic that an experienced observer can recognize them on sight [100, p. 5, grifos nossos].

A habilidade visual que Lattes possuía para “saber ver” o méson foi essencial. Com o avançar das investigações, outros parâmetros, como o ângulo de deflexão da partícula causada pelo ímã e a contagem de grãos, foram usados para a confirmação de sua identidade. O físico brasileiro sabia muito bem a importância que sua investigação possuía, anotando ao final de sua apresentação que: “[...] this work is believed to mark the beginning of meson study under controllable laboratory conditions.” [100, p. 6].²⁶ E foi exatamente isso que ocorreu.

A produção, captura, observação e o estudo de mésons negativos corria bem. A equipe de Gardner decidiu procurar também pelos mésons positivos, o que era um pouco mais difícil, porque, quando eles são defletidos pelos ímãs, os prótons e as partículas alfa – por terem a mesma carga – também o são, e geram um *background* na entrada da emulsão. Ao longo do mês de março de 1948, diferentes arranjos foram testados com o intuito de se produzir, capturar e observar mésons positivos. A equipe de Gardner variava a distância entre o alvo e a emulsão, deixando espaço nos cadernos para que posteriores anotações fossem feitas com os resultados das exposições. Como podemos ver na Figura 9, estas exposições não obtiveram sucesso.

Ao longo dos meses de abril e maio de 1948, vários outros arranjos foram testados com o intuito de encontrar mésons positivos. Ao compararmos os desenhos dos arranjos experimentais dos cadernos do grupo de

²⁶ Esse trabalho foi publicado em [101].

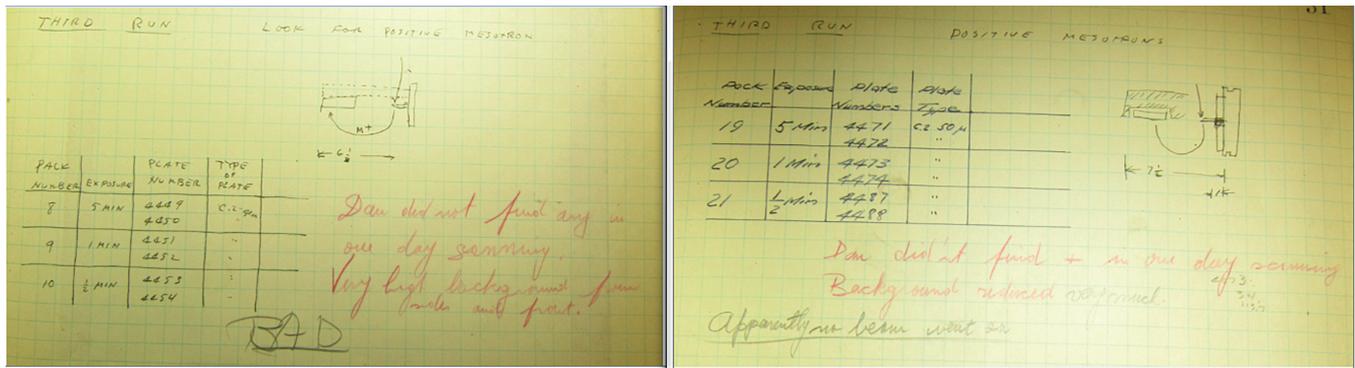


Figura 9: Buscas por mésons positivos com os detalhes dos arranjos das exposições e os números e respectivos tipos de emulsões utilizadas. Entradas na cor vermelha indicam que estas buscas não obtiveram sucesso [102].

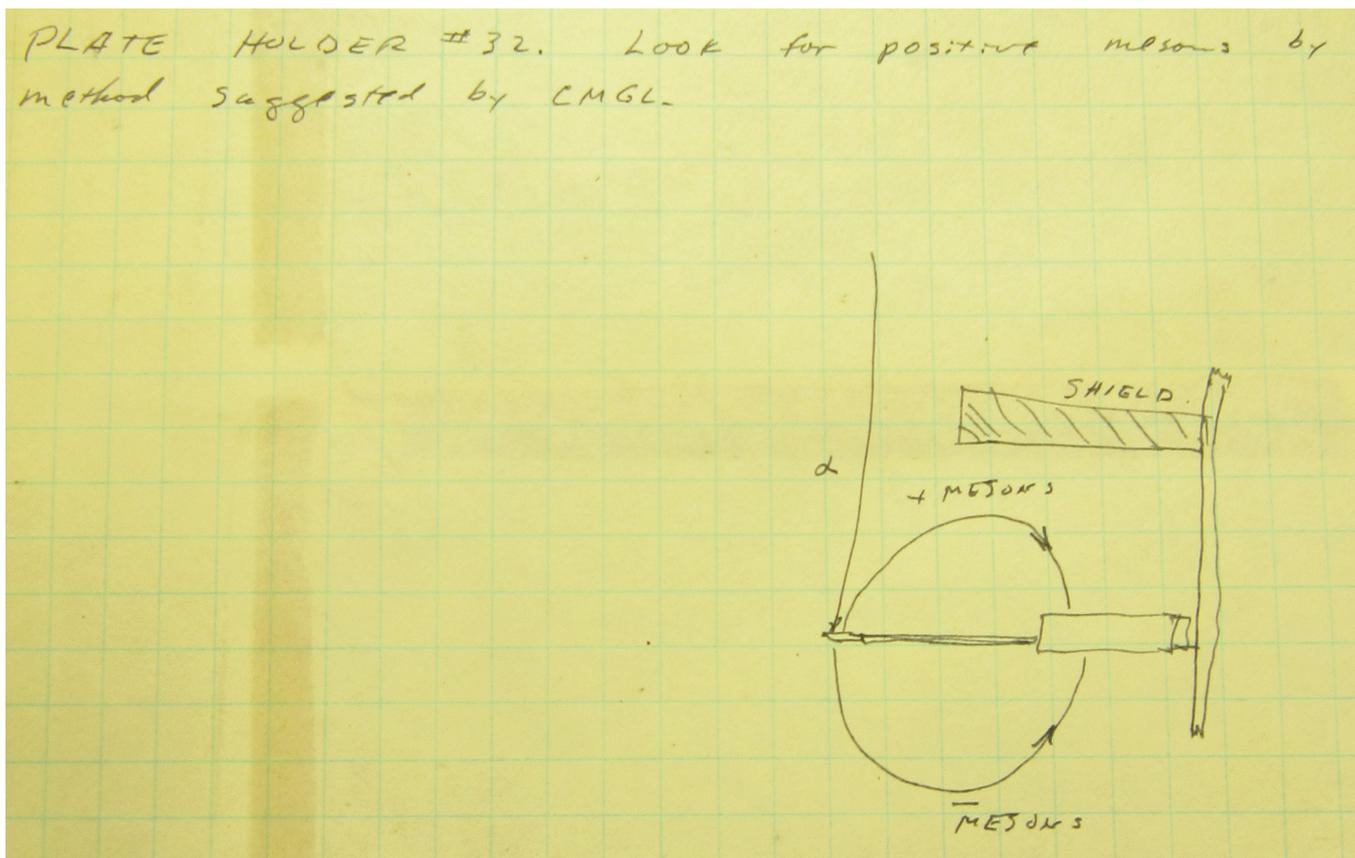


Figura 10: Arranjo para captura de mésons positivos que apresentou os melhores resultados. Detalhe nas iniciais do nome de quem sugeriu o arranjo. CMGL correspondem a Cesare Mansueto Giulio Lattes. Em 03 de abril de 1948 [104].

Gardner ao que foi publicado, é possível perceber a engenhosidade experimental de Lattes nos detalhes dos registros. No congresso sobre física nuclear de Pasadena, na Califórnia, ocorrido em junho do mesmo ano, Lattes elencou as diferentes posições de emulsões nos arranjos experimentais nos quais se esperava que mésons positivos fossem direcionados após sua produção no alvo. A maior parte destes arranjos gerava resultados razoáveis. A exposição em que mésons positivos são ejetados na direção contrária à do feixe foi a que apresentou melhores

resultados, de modo a: “[...] allow[s] the collection of both positive and negative mesons on the same plate; the positive mesons entering the back edge of the plate, the negative mesons entering the front edge” [103]. Este arranjo foi sugerido por Lattes, e é possível vê-lo em um dos esboços feitos por Gardner (ver Figura 10).²⁷

²⁷ É interessante comparar o arranjo em seu esboço [104] ao publicado [101].

Em Berkeley, Lattes alcançou resultados importantes e ganhou prestígio. Ele não apenas sugeriu arranjos para os experimentos, como os que vimos acima, mas teve, também, algumas de suas anotações pessoais transcritas de seus cadernos de Bristol para os do *Radiation Laboratory*, como no caso do cálculo da massa do méson positivo através do ângulo de deflexão de seu trajeto do alvo à emulsão [105], e seus registros acerca da relação alcance-energia dos traços dos mésons nas emulsões [106]. A importância que o brasileiro alcançou ainda pode ser percebida através da *Conference on Nuclear Particle Plates*, ocorrida em Rochester, no Estado de Nova York, em abril de 1948, que contou com a presença de Gardner, Lattes e químicos da Kodak. Este foi um evento de grande interesse para a indústria nesta área, devido à comercialização das emulsões para que as pesquisas em física de partículas pudessem continuar [107]. Os registros da conferência dizem que:

Dr. Gardner stated that the mesons had been observed using Ilford C2 plates and that these plates were exposed and processed under direction of Dr. C. M. G. Lattes who was well versed in the most up-to-date techniques for handling the Ilford plates to get most of them [108, p. 1].

Durante o debate ocorrido após sua fala, Gardner tratou a expectativa de que as emulsões da Kodak tivessem regiões pequenas, pontuais, compostas por metal pesado, como ouro e chumbo, em sua composição para que servissem de alvos para os mésons. A ideia era que as partículas provenientes das colisões entre o feixe do acelerador e o alvo atingissem estas pequenas regiões dos átomos destes elementos nas emulsões, gerando “[...] centers of stars and would enable the experimenter to see the type of star originating from particular atoms.” [108, p. 3]. Após este pedido, que os representantes da Kodak disseram ser realizável, Gardner acrescentou que o pessoal da Kodak “[...] should talk directly to Dr. C. M. G. Lattes about this problem, since he was the one mainly interested and he is the one who will use the plates” [108, p. 4]. Assim foi feito. Um dos diretores do departamento de pesquisa da Kodak escreveu posteriormente a Lawrence dizendo que: “Dr. Lattes made some suggestions for types of plates to be used in specific problem in which he is interested, and those of us concerned here you may be sure will do our best to provide Dr. Lattes the best plates we can make for his investigational work” [109].

Um dos físicos contemporâneos de Lattes em Berkeley, Wolfgang Panofsky, reconheceu que o físico brasileiro foi um dos primeiros, se não o primeiro, “usuário” de acelerador, cujos interesses foram tão e somente voltados para a produção dos dados que esta *ferramenta científica* podia fornecer, sem se envolver com os pormenores de seu funcionamento:

He [Lattes] was one of the early people in what is now the “user tradition” in physics. He had no interest whatever in the cyclotron, in what made it go, in what is needed to really run it, how you have to use the talents of engineers and technicians and so forth to make things go. I mean, he was really extraordinarily naive. He just used the pions coming out of the target. [...] I mean, he had this idea, which is very prevalent today, which is more workable today than it was then, that you could essentially simply delegate the purely mechanical, the purely engineering operations to others [110].

Entendemos que o surgimento da figura de “usuário” de acelerador de partículas foi muito por conta das dificuldades que as pesquisas em física nuclear e em física de partículas²⁸ ofereciam quando eram feitas somente com raios cósmicos. Entre estas dificuldades, podemos mencionar a de controlar os eventos investigados e ter como resultado uma produção de dados quantitativamente pequena. Embora os aceleradores sanassem estas dificuldades, os cientistas que os utilizavam prescindiam da habilidade para observar mésons usando emulsões nucleares, que foi desenvolvida entre 1946 e 1948 na tradição de raios cósmicos, a partir da experiência visual acumulada na observação de outras partículas em experimentos com aceleradores de pequeno porte. Lattes foi o agente histórico que transitou por estas diferentes técnicas para colidir partículas usando emulsões nucleares, extraíndo o máximo de cada uma destas *ferramentas científicas* disponíveis em seu tempo.

5. Considerações Finais: Emulsões Nucleares Entre Raios Cósmicos e Aceleradores

Na segunda metade dos anos 1940, a comunidade de físicos de raios cósmicos, formada, grosso modo, por físicos nucleares que usavam instrumentos eletrônicos de baixa complexidade, já possuía anos de existência e um *habitus* constituído. Neste período ainda não havia uma comunidade consolidada de físicos usuários de aceleradores, mas, sim, um seleto grupo de construtores de máquinas de baixa energia ao mesmo tempo em que físicos teóricos, experimentais e engenheiros se organizavam para desenvolver um acelerador com alcance energético que permitisse produzir mésons em laboratório.

César Lattes iniciou seu curso de graduação em física tendo ao seu alcance uma excelente biblioteca, que, além de possuir um sistema de empréstimo com instituições no Rio de Janeiro, contava com livros recentemente

²⁸ A física de partículas já era praticada nesta época, mas ainda inexistia como campo bem delimitado.

publicados e com coleções de periódicos importantes à época, um laboratório experimental bastante funcional, conteúdos na estrutura curricular que eram discutidos nos centros de pesquisa do Hemisfério Norte e um ambiente de discussão fecundo, formado por professores estrangeiros, como Occhialini e Wataghin, e seus assistentes brasileiros da primeira turma de física da USP, Marcello Damy e Paulus Pompeia. Todos eles eram físicos que realizavam experiências com raios cósmicos, criando uma tradição em física experimental na USP que guiou os primeiros passos de Lattes.

A análise que apresentamos nos permite inferir que Wataghin continha em sua forma de pensar experiências em física nuclear a *ferramenta* “acelerador de partículas” desde antes de sua chegada ao Brasil. Nos anos seguintes, a ideia de ter um acelerador em seu laboratório foi se concretizando, seja através dos conteúdos das disciplinas criadas, seja em negociações para sua construção ou compra. Nestas circunstâncias históricas, Lattes foi estudante e assistente de Wataghin, sendo treinado em um espaço de tradição na investigação de raios cósmicos ao mesmo tempo em que acompanhava os esforços de seu mentor para ter um acelerador de partículas, cujos experimentos possíveis eram trabalhados, teoricamente, em sala de aula. Faltava a Lattes a experiência no uso de aceleradores.

Como vimos, havia uma necessidade na comunidade de físicos nucleares em ter um detector de partículas diferente da câmara de nuvens e contadores Geiger, que pareciam estar perto do limite do que poderiam oferecer para o avanço do conhecimento neste campo em meados dos anos 1940. Regatadas do ostracismo na segunda metade dos anos 1930, as emulsões nucleares iam cumprir bem este papel. A ida de Lattes para Bristol parece estar vinculada à sua percepção da importância de gerar e trabalhar com dados que permitissem análises de características de fenômenos nucleares diferentes das até então estudadas. Neste processo, Lattes inaugurou a figura de usuário de aceleradores usando o Cockcroft Walton do *Cavendish Laboratory*, interessando-se apenas nos dados que a máquina podia oferecer. Neste laboratório, ele manuseou pela primeira vez o conjunto de *ferramentas científicas* composto por acelerador, emulsão e microscópio, realizando neles pequenos ajustes, como a inserção do bloco móvel para servir de alvo para o feixe do acelerador Cockcroft Walton e a inserção de boro na emulsão B1.

Seu tempo em Bristol ainda foi importante por ter lhe permitido realizar transições entre o uso de aceleradores e de raios cósmicos usando emulsões nucleares como *ferramenta científica* agregadora. Lattes aprendeu a “ver” os mésons em Bristol, através de longas rotinas de pesquisa, investindo horas contando grãos de brometo de prata e medindo rastros de partículas ao microscópio. Esta habilidade visual e o domínio na técnica de revelação das emulsões fez dele o cientista mais capacitado naquele período para identificar problemas e sugerir

soluções relacionadas a este modo de detecção em física nuclear. Era Lattes quem dominava o uso das *ferramentas científicas* que à época tinham a capacidade técnica para gerar mésons. Sua transferência para Berkeley se explica pela necessidade da comunidade de físicos de “aprender a ver” seus traços, o que tornava sua presença imprescindível.

É interessante repararmos que a troca de informações que antecedeu a ida de Lattes para os EUA envolveu, principalmente, os líderes dos grupos de Bristol, Copenhague, Berkeley e de São Paulo. Havia uma legitimação coletiva das autoridades científicas interessadas no tema, o que facilitava o trânsito de Lattes por diferentes laboratórios no mundo para explorar as especificidades técnicas das *ferramentas científicas* disponíveis. É necessário entendermos que seu trabalho teve bastante reconhecimento em meio aos desdobramentos dos acontecimentos, sendo expresso não apenas pela mídia, como já foi exaustivamente anotado pela historiografia brasileira sobre Lattes, mas, sobretudo, por grandes físicos de diferentes laboratórios, bem como pelos químicos fabricantes das emulsões fotográficas.

Após Lattes ter contribuído para a inauguração do estudo sistemático no campo de física de partículas usando o sincrocíclotron de Berkeley, a comunidade de físicos em torno de aceleradores começou a tomar forma rapidamente. Os participantes desta nova comunidade tinham que ter tato para lidar com uma grande quantidade de dados, estar inseridos em equipes numerosas e ter paciência para aguardar o aumento da energia que suas máquinas podiam proporcionar para poderem avançar a fronteira de conhecimento no campo. Nesta chave interpretativa, os cadernos do *Radiation Laboratory* contêm não apenas o conteúdo científico desta mudança organizacional da prática da física nuclear e da nascente física de partículas, mas também o regime de inscrições em que ela ocorreu, revelando que sua forma estava ligada ao seu conteúdo, na medida em que a autoria individual começa a ficar diluída nas várias caligrafias dos participantes deste processo.

A nosso ver, a existência de um físico com a trajetória de César Lattes desafiava a necessidade de separação entre “físicos de raios cósmicos” e “físicos de aceleradores”, que era a forma que a comunidade de físicos nucleares se organizava até então. Do contrário, como entender os trabalhos do físico brasileiro? Lattes deve ser enquadrado como membro da comunidade de físicos de aceleradores que começava a se formar a partir de suas atividades em Berkeley ou devemos vê-lo como um jovem que continuou a tradição em raios cósmicos de Occhialini e Wataghin?

Como a maioria dos físicos que atuava nos anos 1940 usava estas *ferramentas* para causar colisões entre partículas (raios cósmicos e aceleradores) de forma separada, isso aumenta ainda mais a importância da percepção que Lattes teve em uni-las usando a emulsão nuclear. É este bom trânsito na escolha da técnica

experimental que ia usar que tornou o trabalho de Lattes importante.²⁹ Como ele reunia as habilidades científicas que eram características de diferentes grupos, ele esteve em condições de sintetizá-las e contribuiu significativamente para o início das pesquisas no campo de física de partículas.

A capacidade de César Lattes colocar em prática uma cultura científica híbrida foi adquirida através de diferentes fatores de sua trajetória biográfica que dificilmente podem ser adequadamente explicados. Contudo, não deixa de ser notável o quanto o *estilo científico* de Lattes, semeado em São Paulo, reflete a cultura brasileira, que, moldada a partir de diferentes matrizes, aprendeu a sintetizar em práticas coerentes valores, modos de pensar e outros traços culturais que, em uma primeira aproximação, mostrar-se-iam inconciliáveis.

Agradecimentos

Heráclio Tavares agradece à FAPESP pela bolsa de pós-doc processo número 2018/05959-8 e à CAPES pelo financiamento para realizar buscas documentais nos EUA, processo número 99999006960-2015-04. Antonio Augusto Videira Agradece ao CNPq pela bolsa de pesquisa nível 1D, número 304.945/2014-5. Os autores agradecem à Paloma Porto pela indicação da existência da referência [64] e aos dois pareceristas da RBEF que estimularam o aprofundamento de algumas ideias, contribuindo para o aperfeiçoamento deste artigo.

Referências³⁰

- [1] L. Nyhart, em: *A Companion to the History of Science*, editado por B. Lightman (Wiley Blackwell, Oxford, 2016).
- [2] J. Zanetic, *Física Também é Cultura*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo (1990).
- [3] M. Krieger, *Doing Physics: How Physicists Take Hold of the World* (Indiana University Press, Bloomington, 1984).
- [4] D. Gooding, em: *Science as Practice and Culture*, editado por A. Pickering (The University of Chicago Press, Chicago, 1992).
- [5] F. Holmes, em: *Reworking the Bench. Research Notebooks in the History of Science*, editado por F. Holmes, J. Renn e J. Rheinberg (Kluwer Academic Publishers, New York, 2003).
- [6] F. Holmes, *History of Science* **19**, 60 (1981).

²⁹ Galison anota que: “Lattes’s pilgrimage to the Gardner group at the Lawrence Radiation Laboratory in Berkeley was but one in a long series of productive transfers between cosmic rays and accelerators” [11, p. 318].

³⁰ As fontes primárias citadas que não contam com link direto para acesso estão disponíveis em um arquivo em PDF no site do grupo de Teoria e História dos Conhecimentos <<https://portal.if.usp.br/tehco/>>, especificamente na seção de artigos publicados pelos seus membros, cujo link é <<https://portal.if.usp.br/tehco/pt-br/node/333>>.

- [7] F. Holmes, *Isis* **78**, 220 (2012).
- [8] K. Lambert, em: *History of Science Society Annual Meeting* (San Francisco, 2015).
- [9] R. Chartier, *A História Cultural: entre Práticas e Representações* (Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1990).
- [10] H. White, *Trópicos do Discurso. Ensaios Sobre a Crítica Literária* (Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014).
- [11] P. Galison, *Image and Logic* (The University of Chicago Press, Chicago, 1997).
- [12] P. Galison, em: *Scientific Authorship*, editado por M. Biagioli e P. Galison (Routledge, New York, 2003).
- [13] E. Gardner, *Lawrence Radiation Laboratory* (Research and Development Records and Administrative Files of Eugene Gardner, National Archives and Records Administration, San Bruno), pasta 30, caixa 2.
- [14] L. Brown e H. Reichenberg, *The Origin of the Concept of Nuclear Forces* (Institute of Physics Publishing, Bristol, 1996).
- [15] L. Brown e L. Hoddeson, em: *The birth of particle physics. Based on the Lectures and Round Table Discussion of the International Symposium on the History of Particle Physics, Held at Fermilab*, editado por L. Brown e L. Hoddeson (Cambridge University Press, Cambridge, 1983).
- [16] H.D. Tavares, A. Bagdonas e A.A.P. Videira, *Historical Studies in the Natural Sciences* **50**, 248 (2020).
- [17] L.V. Souza da Silva, *Ciência, Universidade e Diplomacia Científica: A Trajetória Brasileira de Gleb Vasilievich Wataghin (1934–1971)*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo (2020).
- [18] G. Wataghin, *Physica Theorica III Parte*, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/III-/IF-DF-III-01-11-0000-00118-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [19] G. Wataghin, *Theorias físicas e história da física*, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/III-/IF-DF-III-01-11-0000-00119-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [20] J. Pachov para F.J. Larrabure (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1935), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/index.php/correspondencia-comercial-de-jose-pachov-a-fernando-jorge-larrabure>, acessado em 19/09/2020.
- [21] L.I. Gama para A. de Moraes (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1950), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/index.php/carta-de-lelio-igama-a-abraham-de-moraes>, acessado em 19/09/2020.
- [22] B. Gross, *Bernhard Gross (depoimento, 1976)* (CPDOC, Rio de Janeiro, 2010), disponível em: <http://www.fgv.br/cpdoc/acervo/historia-oral/entrevista-tematica/bernhard-gross>, acessado em 19/09/2020.
- [23] P.M.S. Ayrosa para Gleb Wataghin (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1937), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/index.php/oficio-de-plinio-marques-da-silva-ayrosa-a-gleb-wataghin>, acessado em 19/09/2020.
- [24] P.A. Pompeia, *Paulus Aulus Pompeia – depoimento, 1977* (CPDOC, Rio de Janeiro, 1986).
- [25] J. E. Blackburn Jr. (Universidade de São Paulo,

- São Paulo, 1943), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/index.php/correspondencia-comercial-de-j-e-blackburn-jr>, acessado em 19/09/2020.
- [26] J. Mariani, *Cientistas Brasileiros: César Lattes & José Leite Lopes*, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DB3PzzIrTc>, acessado em 28/07/2020.
- [27] M.C. Bustamante, em: *The Scientific Legacy of Beppo Occhialini*, editado por P. Redondi, G. Sironi, P. Tucci e G. Vegni (Springer-Verlag, Bologna, 2006).
- [28] L. Bonolis, *Annals of Science* **71**, 386 (2014).
- [29] P. Galison e A. Assmus, em: *The Uses of Experiment: Studies in the Natural Sciences*, editado por D. Gooding, T. Pinch e S. Schaffer (Cambridge University Press, Cambridge, 1989).
- [30] P.M.S. Blackett, *Nobel Lecture*, disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/blackett-lecture.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [31] C.L. Vieira, M. Nussenzveig e F.S. Barros, *Ciência Hoje* **19**, 10 (1995).
- [32] G. Occhialini, *Interview of Giuseppe Occhialini by Charles Weiner*, disponível em: <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/31789-4>, acessado em 28/07/2020.
- [33] G. Wataghin para A. Ellis Jr. (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1939), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/I-01/IF-DF-I-01-00-0000-00141-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [34] M.D.S. Santos, *Física geral e experimental – 1º ano*, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/III-/IF-DF-III-01-11-0000-01114-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [35] *Física geral e experimental (1º ano)*, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/III-/IF-DF-III-01-13-0000-01369-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [36] M.D.S. Santos, *Nota de aproveitamento*, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/III-/IF-DF-III-01-13-0000-01374-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [37] M.D.S. Santos, *Física geral e experimental – 2º Ano*, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/III-/IF-DF-III-01-11-0000-01121-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [38] *Entrevista concedida a Micheline Nussenzveig e Cássio Leite Vieira (Ciência Hoje) e Fernando de Souza Barros (Instituto de Física, UFRJ)* (Arquivo Central do Sistema de Arquivos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas), caixa 5, documento 7.
- [39] G. Occhialini, *Física superior*, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/III-/IF-DF-III-01-11-0000-01112-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [40] K.F. Guimarães, A.A.P. Videira, *Ciência e Sociedade* **5**, 1 (2018).
- [41] G. Wataghin para G. Occhialini (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1939), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/I-02/IF-DF-I-02-00-0000-00221-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [42] G. Wataghin e M.S. Santos para E. Lawrence (The Bancroft Library, University of California, Berkeley, 1945), correspondência, rolo 27, caixa 18, pasta 13.
- [43] W. Weaver para G. Wataghin e M. Dany (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1947), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/VI-0/IF-DF-VI-05-51-0000-00516-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [44] H.M. Miller Jr. para M.D.S. Santos (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1947), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/I-02/IF-DF-I-02-00-0000-02228-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [45] E. Lawrence para G. Wataghin e M.S. Santos (The Bancroft Library, University of California, Berkeley, 1945), correspondência, rolo 27, caixa 18, pasta 13.
- [46] L. Gariboldi e P. Tucci, em: *The Scientific Legacy of Beppo Occhialini*, editado por P. Redondi, G. Sironi, P. Tucci e G. Vegni (Springer-Verlag, Bologna, 2006).
- [47] A.M.R. de Andrade, em: *The Scientific Legacy of Beppo Occhialini*, editado por P. Redondi, G. Sironi, P. Tucci e G. Vegni (Springer-Verlag, Bologna, 2006).
- [48] G. Occhialini, *Interview of Giuseppe Occhialini by Charles Weiner*, disponível em: <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/31789-5>, acessado em 28/07/2020.
- [49] M.D.S. Santos, em: *César Lattes 70 anos: A Nova Física Brasileira*, editado por A. Marques (CBPF, Rio de Janeiro, 1994).
- [50] G. Wataghin, *Relatório (Bolsa de Estudo Fundação Zerrener)*, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/III-/IF-DF-III-02-21-0000-00211-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [51] J.L. Lopes, em: *César Lattes 70 anos: a nova física brasileira*, editado por A. Marques (CBPF, Rio de Janeiro, 1994).
- [52] H. Muirhead, em: *Topics on Cosmic Rays. 60th Anniversary of C. M. G. Lattes*, editado por J. Bellandi Filho e A. Pemmaraju (Editora da UNICAMP, Campinas, 1984), v. 1.
- [53] C.M.G. Lattes, P.H. Fowler e P. Cuer, *Proceedings of the Physical Society of London* **59**, 883 (1947).
- [54] M.L.E. Oliphant, A.E. Kempton e L. Rutherford, *Proceedings of the Physical Society of London A* **150**, 241 (1935).
- [55] J.D. Cockcroft e W.B. Lewis, *Proceedings of the Physical Society of London A* **154**, 261 (1936).
- [56] C.F. Powell, G.P.S. Occhialini, D.L. Livesey e L.V. Chilton, *Journal of Scientific Instruments* **23**, 102 (1946).
- [57] C.M.G. Lattes e P. Cuer, *Nature* **158**, 197 (1946).
- [58] C.M.G. Lattes, P.H. Fowler e P. Cuer, *Nature* **159**, 301 (1947).
- [59] C.M.G. Lattes, *César Lattes. Entrevistado por Jesus de Paula Assis. Descobrimo a Estrutura do Universo* (Editora Unesp, São Paulo, 2001).
- [60] C.M.G. Lattes e G.P.S. Occhialini, *Nature* **159**, 331 (1947).
- [61] C.M.G. Lattes, H. Muirhead, G.P.S. Occhialini e C.F. Powell, *Nature* **159**, 694 (1947).
- [62] C. Aguirre, em: *César Lattes 70 anos: a nova física brasileira*, editado por A. Marques (CBPF, Rio de Janeiro, 1994).
- [63] C. Lattes para G. Wataghin (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1946), correspondência, disponível

- em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/I-02/IF-DF-I-02-00-0000-02132-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [64] *Personal History and application for a fellowship* (Rockefeller Archive Center, Sleepy Hollow, 1946), número localizador 244, caixa 81, pasta 1541.
- [65] W.G. Mcmillan e E. Teller, *Physical Review* **72**, 1 (1947).
- [66] G. Wataghin para E. Lawrence (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1947), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/I-02/IF-DF-I-02-00-0000-02180-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [67] E. Lawrence para G. Wataghin (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1947), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/I-02/IF-DF-I-02-00-0000-02192-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [68] C.M.G. Lattes, G.P.S. Occhialini e C.F. Powell, *Nature* **160**, 487 (1947).
- [69] W.W. Chupp, E. Gardner e T.B. Taylor, *Physical Review* **73**, 742 (1948).
- [70] J.L. Lopes, *Série Ciência e Sociedade* **009**, 1 (1997).
- [71] J.L. Lopes, *Nature* **160**, 866 (1947).
- [72] C.L. Vieira, *Um Mundo Inteiramente Novo se Revelou: Uma História da Técnica das Emulsões Nucleares*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (2009).
- [73] *Entrevista concedida a Micheline Nussenzveig e Cássio Leite Vieira (Ciência Hoje) e Fernando de Souza Barros (Instituto de Física, UFRJ)*, disponível em: <https://bibliotecaquimicaufmg2010.files.wordpress.com/2012/02/entrevista.doc>, acessado em 28/07/2020.
- [74] M.L.F. Nascimento, *Ciência e Sociedade* **3**, 35 (2015).
- [75] G. Wataghin para L.S. Lopes (Universidade de São Paulo, São Paulo, 1948), correspondência, disponível em: <http://acervo.if.usp.br/uploads/IF/DF/I-02/IF-DF-I-02-00-0000-02251-0.pdf>, acessado em 28/07/2020.
- [76] G. Wataghin para E. Lawrence (The Bancroft Library, University of California, Berkeley, 1947), correspondência, rolo 15, caixa 10, pasta 35.
- [77] D. Lilienthal para C. Martins (The Bancroft Library, University of California, Berkeley, 1947), correspondência, rolo 15, caixa 10, pasta 35.
- [78] *Status of the UCRL research work on July 09* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), caixa 1, pasta: 6 Photoemulsion method of meson detection.
- [79] *Alpha Particles and Deuterons Tracks in Eastman NTA Photographic Plates* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno), caixa 1, pasta: Typescripts of publications and correspondence Robert L. Brock.
- [80] B. Wright para R. Thornton (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), correspondência, caixa 5, livro 09, página 174.
- [81] N. Page para E. Gardner (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), correspondência, caixa 5, livro 09, página 282.
- [82] *[Arranjo do aparato sugerido por E. McMillan, desenhado por E. Gardner, para tentar capturar mésons]* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), caixa 5, livro 9, página 120.
- [83] E. Gardner para B. Wright (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), correspondência, caixa 5, livro 09, página 175.
- [84] Film Program (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), caixa 5, livro 09, página 211.
- [85] *[Experimento sugerido por Ernest Lawrence]* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), caixa 5, livro 09, página 221.
- [86] *Analysis of plates exposed on Nov. 03, 1947, and the experiment with them* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), caixa 5, livro 09, página 227.
- [87] *[Nota escrita à mão por Eugene Gardner sobre os procedimentos adotados por Cecil Powell para revelar emulsões fotográficas]* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), caixa 6, livro 10, página 95.
- [88] Film Program (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), caixa 6, livro 10, página 88.
- [89] C. Waller para Departamento de Física da Universidade de Berkeley (Research and Development Records and Administrative Files of Eugene Gardner, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1946), correspondência, caixa 2, pasta 26.
- [90] C. Powell para E. Gardner (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), correspondência, caixa 6, livro 10, página 188.
- [91] E. Gardner para C. Powell (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1947), correspondência, caixa 6, livro 10, página 215.
- [92] C. Lattes para E. Lawrence (The Bancroft Library, University of California, Berkeley, 1948), correspondência, rolo 15, caixa 10, pasta 35.
- [93] C. Waller para E. Gardner (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1948), correspondência, caixa 5, livro 09, página 133.
- [94] E. Gardner para C. Lattes (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1948), correspondência, caixa 5, livro 09, página 147.

- [95] *Special receiving record* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1948), caixa 5, livro 09, página 283.
- [96] *[Registro em 05 de fevereiro de 1948]* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1948), caixa 7, livro 13, página 1.
- [97] *Caderno de Berkeley* (Arquivo Central do Sistema de Arquivos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas), volume 15.
- [98] *Meeting on Thursday* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1948), caixa 7, livro 13, página 27.
- [99] *[Desenho de arranjo com emulsões a várias distâncias do alvo]* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1948), caixa 7, livro 12, página 36.
- [100] E. Gardner e C.M.G. Lattes, disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/3jd6q00p#page-1>, acessado em 28/07/2020.
- [101] E. Gardner e C.M.G. Lattes, *Science* **107**, 270 (1948).
- [102] *Buscas frustradas por mésons positivos* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno), caixa 7, livro 12, página 27 e 31.
- [103] *The detection of positive mesons produced by the 184 cyclotron for oral presentation at the Pasadena meeting 24-28 June 1948* (Research and Development Records and Administrative Files of Eugene Gardner, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1948), caixa 1, pasta 10.
- [104] *Look for positive mesons suggested by CMGL* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1948), caixa 7, livro 12, página 154.
- [105] *Mass by bending in magnetic field and range in Emulsion* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno), caixa 6, livro 11, página 267.
- [106] *Range energy* (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno), caixa 6, livro 11, página 270.
- [107] E. Gardner para J. Webb (Logbooks of Meson detection experiments by Gardner Research Group, National Archives and Records Administration, San Bruno, 1948), correspondência, caixa 7, livro 13, página 131.
- [108] *Conference on nuclear particle plates* (The Bancroft Library, University of California, Berkeley, 1948), rolo 13, caixa 06, pasta 25.
- [109] Cy para E. Lawrence (The Bancroft Library, University of California, Berkeley, 1948), correspondência, rolo 13, caixa 06, pasta 25.
- [110] W. Panofsky, *Interview of Wolfgang Panofsky by Elizabeth Paris and Jean Deken*, disponível em: <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4994-2>, acessado em 28/07/2020.