THARSILA REIS DE MEDEIROS

A IMPLANTAÇÃO DA CIÊNCIA DE BASE TECNÓGICA: UM ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DA FÍSICA EXPERIMENTAL COM ACELERADORES DE PARTÍCULAS NA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (1934 - 1982)

CAMPINAS

2012

NÚMERO: 279/2012
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

THARSILA REIS DE MEDEIROS

A IMPLANTAÇÃO DA CIÊNCIA DE BASE TECNÓGICA: UM ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO DA FÍSICA EXPERIMENTAL COM ACELERADORES DE PARTÍCULAS NA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (1934 – 1982)

TESE DE DOUTORADO APRESENTADA AO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTORA EM POLÍTICA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA.

ORIENTADORA: PROFª DRª LEA MARIA LEME STRINI VELHO

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA THARSILA REIS DE MEDEIROS E ORIENTADA PELA PROFA. DRA. LEA MARIA LEME STRINI VELHO.

_____

CAMPINAS / 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA POR
HELENA FLIPSEN - CRB8/5283 - BIBLIOTECA CENTRAL “CESAR LATTES” DA UNICAMP

M467i

Medeiros, Tharsila Reis de.
A implantação da ciência de base tecnológica : um estudo do desenvolvimento da física experimental com aceleradores de partículas na Universidade de São Paulo (1934-1982) / Tharsila Reis de Medeiros. -- Campinas, SP : [s.n.], 2012.

Orientador: Léa Maria Leme Strini Velho.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.

1. Sala, Oscar. 2. Universidade de São Paulo. 3. Aceleradores eletrostáticos. 4. Aceleradores de partículas. I. Velho, Léa Maria Leme Strini, 1952-. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital:

Título em Inglês: The introduction of the technology-based science: a study of the development of experimental physics with particle accelerators in the University of São Paulo (1934-1982)
Palavras-chave em Inglês:
Sala, Oscar
Universidade de São Paulo
Accelerators, Electrostatic
Accelerators, Particle
Titulação: Doutor em Política Científica e Tecnológica
Banca examinadora:
Léa Maria Leme Strini Velho [Orientador]
Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa
Maria Margaret Lopes
Maria Gabriela Silva Martins da Cunha Marinho
Osvaldo Frota Pessoa Júnior
Data da defesa: 03-12-2012
Programa de Pós-Graduação: Política Científica e Tecnológica

UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM
POLÍTICA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

AUTORA: Tharsila Reis de Medeiros

"A Implantação da Ciência de Base Tecnológica: um Estudo do Desenvolvimento da Física Experimental com Aceleradores de Partículas na Universidade de São Paulo (1934-1982)"

ORIENTADORES:

Prof. Dr. Tamás József Márton Károly Szmrecsányi (*in memoriam*)

Profa. Dra. Léa Maria Leme Strini Velho

Aprovada em: 03/ 12 / 2012

EXAMINADORES:

Profa. Dra. Léa Maria Leme Strini Velho - Presidente

Profa. Dra. Silvia Fernanda de Mendonça Figueirôa

Profa. Dra. Maria Margaret Lopes

Profa. Dra. Maria Gabriela Silva Martins da Cunha Marinho

Prof. Dr. Osvaldo Frota Pessoa Junior

Campinas, 03 de dezembro de 2012

Aos meus professores Tamás Szmrecsányi e Amélia Império Hamburger (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Em oito anos de trabalho, foram muitas as pessoas e instituições envolvidas, direta ou indiretamente, na elaboração dessa pesquisa, que se fez por meio de vários recomeços e de longos períodos de incertezas. Talvez seja por isso que não me recorde de todas elas, às quais presto meus agradecimentos, mesmo algumas não estando citadas nas linhas a seguir.

Inicio meus agradecimentos com duas pessoas que sempre demonstraram, ao longo do período relativamente curto de convívio acadêmico que mantivemos, um grande entusiasmo pela pesquisa, orientando-me na elaboração da mesma durante um certo tempo. Infelizmente, faleceram antes da pesquisa ser concluída, porém imprimiram sua marca em vários aspectos do trabalho. Ao professor Tamás Szmrecsányi, agradeço pelo suporte ideológico, pelas lições de história econômica, pelo respeito e pela dedicação por ele destinados a essa pesquisa. Sua conduta profissional e seu legado intelectual certamente embasarão minhas ações ao longo da vida. À professora Amélia Império Hamburger, agradeço pelo carinho, pelas tardes que passamos juntas trocando ideias, pelo acesso aos arquivos e à infraestrutura do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP).

À professora Lea Velho, presto meus agradecimentos pelo valioso estímulo que me deu nos últimos tempos, de fundamental importância à concretização desse trabalho.

À Valdirene Pinotti, responsável pela secretaria de pós-graduação do Instituto de Geociências da Unicamp, agradeço pelo apoio incondicional que sempre me ofereceu, principalmente naqueles momentos de incertezas que marcaram o período de elaboração da tese. Mesmo estando distante da querida Val, os contatos telefônicos que mantivemos me deram forças para prosseguir em frente.

À minha mãe, Sandra Medeiros, agradeço pelo amor, pela amizade e pelo constante apoio emocional que me concedeu ao longo da vida. Creio ser ela a única pessoa que sempre acreditou que eu, um dia, seria capaz de finalizar essa pesquisa. Graças à sua fé que hoje temos essa tese em mãos.

Ao Gustavo Morais, meu namorado, agradeço pelo companheirismo de todos esses anos, pelos conselhos que me fizeram ordenar melhor as prioridades de vida. Além do apoio

emocional, há outro motivo para agradecê-lo: foi ele o responsável pelo tratamento cuidadoso das imagens inseridas no presente trabalho.

A Adolfo Leirner, Dirceu Pereira, Rudolph Thom, Mario Ferraretto, Silvio Paciornik, Claudio Mammana e Nobuko Ueta, agradeço pelas entrevistas concedidas, vitais à narrativa que me propus a fazer.

A Mario Capello, agradeço pelos materiais gentilmente fornecidos à pesquisa (foto e recorte de jornal), ambos anexados ao trabalho. À Sra. Rosinha, esposa de Oscar Sala, também agradeço pelas duas fotos concedidas.

Agradeço ao Departamento de Física Nuclear do IFUSP pelo acesso aos seus arquivos e, em especial, às suas secretárias, que me auxiliaram na busca de materiais relevantes à pesquisa.

Agradeço à Biblioteca Mário de Andrade por seu ambiente estimulante, que, ao me tirar da procrastinação, pôs fim aos vários recomeços mencionados anteriormente.

"As pesquisas de fronteira da ciência, frequentemente, requerem técnicas que estão além das possibilidades da tecnologia existente no momento. O cientista, em seu objetivo de conhecer e compreender a natureza, é forçado, e em geral o faz com sucesso, a utilizar toda a sua força de imaginação para ampliar também as próprias fronteiras da tecnologia. Esta é a razão 'do porque' de inúmeras invenções tecnológicas terem a sua origem não no desejo de atender a um objetivo prático, mas sim na necessidade do desenvolvimento de ferramentas adequadas para a investigação dos profundos mistérios da natureza".

Oscar Sala (1974, p.817)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

"A implantação da ciência de base tecnológica: um estudo do desenvolvimento da física experimental com aceleradores de partículas na Universidade de São Paulo (1934 – 1982)"

RESUMO

TESE DE DOUTORADO

Tharsila Reis de Medeiros

O tema central do presente trabalho reside no desenvolvimento da física experimental com aceleradores de partículas na Universidade de São Paulo (USP), mais especificamente nos empreendimentos científicos do físico Oscar Sala. O ponto de partida da narrativa aqui proposta se encontra em 1934, ano em que a atividade de investigação científica do recém criado Departamento de Física da USP deu seus primeiros passos em direção à Física dos Raios Cósmicos, sendo este seu principal ramo de pesquisa experimental nos próximos dez anos. Argumenta-se que esse período foi de fundamental importância à posterior inserção da USP na era dos aceleradores de partículas, devido à continuidade instrumental verificada entre a Física Nuclear e a dos Raios Cósmicos. Foi nesse último ramo que Oscar Sala realizou sua iniciação científica, começando, logo após a Segunda Guerra Mundial, seu primeiro empreendimento científico – projetar e construir, na sua própria universidade e com a colaboração de empresas instaladas em São Paulo, um acelerador de partículas do tipo Van de Graaff. Constata-se que a consolidação do Laboratório do Acelerador Eletrostático se tornou possível graças à filantropia científica norte americana e à cooperação científica firmada com o Departamento de Física Nuclear da Universidade de Wisconsin. Em meados dos anos 1960, a obsolescência do acelerador Van de Graaff engendrou, naquele mesmo laboratório, um processo de atualização tecnológica pautado na aquisição de uma nova máquina eletrostática, do acelerador Pelletron, e na informatização do trabalho experimental. Demonstra-se que a reprodução daquela mesma estratégia utilizada na construção do primeiro acelerador eletrostático foi descartada, devido à incapacidade da indústria nacional de fornecer os materiais necessários à construção de uma máquina tecnologicamente mais sofisticada que a anterior, aliada às mudanças de orientação na política nacional de ciência e tecnologia, que garantiram os recursos financeiros necessários à estruturação do novo laboratório. Como frutos dessa experiência, além da produção de conhecimentos e artefatos de informática, atividade então incipiente no país, foram elaboradas, pela própria equipe de Oscar Sala, soluções tecnológicas originais para os diversos problemas apresentados pelo Pelletron em sua fase inicial de funcionamento. Por fim, observa-se, em 1982, o início do último empreendimento científico de Sala, direcionado à expansão do Laboratório Pelletron através do acoplamento de mais um acelerador ao arranjo experimental. Conclui-se que fatores de ordem material diferenciam o desenvolvimento da Física Nuclear em São Paulo daquele verificado nos países desenvolvidos. Nesses últimos países, a estrutura industrial deu suporte ao desenvolvimento da tecnologia dos aceleradores de partículas; já no Brasil, os laboratórios dirigidos por Oscar Sala se tornaram núcleos de inserção de novas tecnologias no setor produtivo nacional.

Palavras-chave: Aceleradores eletrostáticos, Universidade de São Paulo, Oscar Sala.

UNIVERSITY OF CAMPINAS

INSTITUTE OF GEOSCIENCE

"The introduction of the technology-based science: a study of the development of experimental physics with particle accelerators in the University of São Paulo (1934 - 1982)"

ABSTRACT

TESE DE DOUTORADO

Tharsila Reis de Medeiros

The central theme of this work is founded on the development of experimental physics with particle accelerators in the University of São Paulo (USP), and specifically on the scientific accomplishments of the physicist Oscar Sala. Here, our narrative begins in 1934, year in which the scientific investigations of the recently created Department of Physics of USP gave their first steps towards Cosmic Ray Physics, the latter becoming the department's main branch of experimental research for the following ten years. We discuss that this period was essentially important for the insertion of USP in the epoch of particle accelerators, due to the instrumental continuity between Nuclear Physics and Cosmic Rays. It was in the second branch that Oscar Sala carried out his scientific initiation, starting, after the Second World War, his first scientific enterprise – to project and build, in his own university and with the collaboration of companies settled in São Paulo, a Van de Graaff-type particle accelerator. We discuss that the consolidation of the Electrostatic Accelerator Laboratory was viable thanks to north-American scientific philanthropy and to scientific cooperation established with the Nuclear Physics Department of the University of Wisconsin. In the mid-1960s, the disuse of the Van de Graaff accelerator engendered, in that same lab, a process of technological renovation based on the acquisition of a new electrostatic machine, the Pelletron accelerator, and the digitalization of experimental work. We demonstrate that the reproduction of the same strategy used in the construction of the first electrostatic accelerator was put aside, due to national industry's incapability to supply the materials needed for the construction of a more technologically advanced machine than the last, allied to changes in national policies of science and technology, which guaranteed the financial resources needed for the organization of the new lab. As consequence to this experience, more than the production of knowledge and computing artifacts, an activity until then just commencing in the country, Oscar Sala's own team developed original technological solutions to the many problems presented by the Pelletron in its initial usage. Finally, we observe, in 1982, the beginning of Sala's last scientific enterprise: the expansion of the Pelletron Laboratory by joining yet another accelerator to the experimental arrangement. We conclude by stating that factors of a material order differentiate the development of Nuclear Physics in São Paulo from that observed in developed countries. These countries presented an industrial structure that sustained the development of particle accelerator technology whilst, in Brazil, the laboratories directed by Oscar Sala became the centre of insertion of new technologies in the national production sector.

Key-words: electrostatic accelerators, University of São Paulo, Oscar Sala.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 1 - As (Des)conexões entre Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico no Brasil Contemporâneo 9

1.1) Uma Síntese do Desenvolvimento Industrial Brasileiro (1885-1980) 9

1.2) O Discurso e a Prática da Política Nacional de Ciência e Tecnologia (1951-1979) 18

1.3) A Hegemonia Paulista no Processo de Desenvolvimento Econômico, Científico e Tecnológico Nacional 28

CAPÍTULO 2 - O Interagir entre Ciência e Tecnologia no Desenvolvimento Histórico da Física Nuclear 35

2.1) A Problemática das Interações entre Ciência & Tecnologia 35

2.2) A Física Nuclear e suas Práticas Materiais 40

CAPÍTULO 3 - A Gênese da Capacitação Tecnológica do Departamento de Física da Universidade de São Paulo 57

3.1) A Dinâmica Social do Aprendizado Tecnológico no Estudo dos Raios Cósmicos 57

3.2) As Interações entre Físicos e Industriais no Esforço de Guerra Brasileiro 67

3.3) Rumo à Era dos Aceleradores de Partículas 70

CAPÍTULO 4 - Laboratório do Acelerador Eletrostático: Alguns Traços de sua Trajetória Histórica 75

4.1) A Concepção do Projeto do Acelerador Eletrostático 75

Quadro 4.2: Artigos Referentes ao Estágio de Oscar Sala na Universidade de Wisconsin .. 79

Figura 4.2: Esquema do Cósmotron 79

4.2) A Construção do Laboratório 80

4.3) Os Mecanismos de Suporte ao seu Funcionamento 89

CAPÍTULO 5 - A Criação do Laboratório Pelletron como Processo de Atualização Tecnológica 105

5.1) O Processo Decisório em Linhas Gerais 105

5.2) As Relações Fornecedor-Usuário entre National Electrostatics Corporation e USP .. 108

5.3) O Caráter Político do Processo de Informatização do Trabalho Experimental 115

5.4) Perspectivas de Ampliação do Laboratório 129

CONCLUSÃO 131

FONTES 135

ENTREVISTAS 147

Entrevista com o prof. Dr. Adolfo Leirner 147

Entrevista com o prof. Dr. Dirceu Pereira 155

Entrevista com a profª Drª Nobuko Ueta 179
ICONOGRAFIA 193

LISTA DE FIGURAS E QUADROS

Figura 2.1: Evolução dos Níveis de Energia dos Aceleradores de Partículas entre 1930 e 1960..... 53

Figura 4.1: *Design* Horizontal do Acelerador Eletrostático de 4,5 MeV da Universidade de Wisconsin..... 77

Figura 4.2: Esquema do Cósmotron..... 79

Figura 4.3: Matéria Publicada no Jornal O Estado de São Paulo sobre a Construção do Acelerador Van de Graaff..... 83

Quadro 3.1: Produção Científica de Giuseppe Occhialini em São Paulo (1938-1942)..... 63

Quadro 3.2: Artigos Referentes à Descoberta dos Chuveiros Penetrantes Publicados na Physical Review..... 65

Quadro 4.1: Artigos Referentes ao Estágio de Oscar Sala na Universidade de Illinois..... 76

Quadro 4.2: Artigos Referentes ao Estágio de Oscar Sala na Universidade de Wisconsin.... 79

Quadro 4.3: Trabalhos Realizados pelo Laboratório do Acelerador Eletrostático e Apresentados nas Reuniões Anuais da SBPC da Década de 1950..... 91

INTRODUÇÃO

Selecionada para marcar o início desse trabalho, a citação de Oscar Sala já oferece ao leitor indícios do eixo estruturante do mesmo, pautado na instrumentação científica como elemento de ligação entre o desenvolvimento das ciências experimentais e o progresso técnico (em seu sentido "furtadiano"). Servindo como bens de capital ao empreendimento científico, essencialmente coletivo e organizado, os instrumentos científicos não apenas capacitam o pesquisador a medir e observar categorias específicas de fenômenos naturais, como também contribuem para estabilizar e legitimar os conhecimentos por eles produzidos em laboratório. Assim sendo, ao depender de instrumentos específicos, técnicas e configurações de trabalho, a vida nos laboratórios científicos modernos está profundamente relacionada à manipulação de produtos industriais e ao uso de modelos industriais de organização do trabalho.

Essa é uma das possíveis formas de relacionamento entre a produção do conhecimento científico e a atividade industrial, ainda pouco analisada, porém recentemente mais explorada nos estudos históricos e sociológicos das ciências. Um dos expoentes dessa nova vertente historiográfica é Jeff Hughes, cujos estudos demonstram o impacto dos artefatos eletrônicos produzidos industrialmente sobre o desenvolvimento dos instrumentos de observação e medição utilizados pela Física Nuclear em seus primórdios, nas décadas de 1920 e 1930. Nesse caso específico, o progresso técnico alcançado pela indústria eletrônica europeia e norte-americana possibilitou a criação de novos instrumentos científicos e, consequentemente, de novas práticas de laboratório.

Assim como outros que marcam o desenvolvimento histórico da Física Nuclear, esse episódio refuta aquela visão estereotipada pautada em uma relação linear e unidirecional entre a indústria e a ciência, segundo a qual novos produtos e processos produtivos são o resultado direto da pesquisa científica. Seguindo essa linha argumentativa, o Capítulo 2 do presente estudo se ocupa em estabelecer uma discussão ampla sobre a questão das interações entre ciência e tecnologia e outra, mais específica, sobre as relações firmadas entre o progresso técnico e o estabelecimento das práticas materiais da Física Nuclear.

Essa discussão se faz necessária diante do tema aqui proposto, centrado no desenvolvimento da física experimental com aceleradores de partículas na Universidade de São Paulo. Conforme se apresenta no capítulo anteriormente citado, o processo de desenvolvimento tecnológico deste instrumento científico constitui a essência da história não somente da Física Nuclear, como também da Física de Altas Energias, na qual se observa uma forte junção entre ciência básica e engenharia, tendo como pano de fundo o desenvolvimento das forças produtivas da sociedade. Entretanto, se as práticas materiais da Física Nuclear se apoiam em produtos que são a face exterior da civilização industrial, como desenvolvê-las em um país cuja estrutura industrial carecia das principais soluções tecnológicas necessárias a esse processo?

Para responder tal questão, torna-se necessária uma discussão prévia sobre os entraves estruturais impostos ao desenvolvimento tecnológico no Brasil, então realizada no capítulo inicial, cujo título é portador de uma ambiguidade aparente: podem estar, em nosso país, a infraestrutura de ciência e tecnologia e o tecido industrial organicamente desarticulados entre si e, ao mesmo tempo, unidos de forma simbiótica? A resposta pode ser positiva, caso consideremos esferas distintas de relacionamento. Sabe-se que, no campo do desenvolvimento das forças produtivas, a desarticulação foi a expressão maior do processo de formação do capitalismo industrial no país. Por outro lado, as conexões estruturadas através de relações de causalidade se fizeram presentes no campo ideológico brasileiro a partir do pós Segunda Guerra Mundial, ganhando maior força e expressão política com o Regime Militar. A consolidação da crença de que o desenvolvimento da tecnologia de base científica seria o principal elemento indutor da riqueza nacional propiciou a formação dos alicerces ideológicos necessários à institucionalização das ciências e à posterior inclusão da ciência e da tecnologia nos planos nacionais de desenvolvimento.

Como não poderia deixar de ser, sempre há exceções à regra, então verificadas no processo de desenvolvimento econômico do Estado de São Paulo. Ao contrário do restante do país, São Paulo, desde o início do período republicano, canalizou parte de seu excedente social ao desenvolvimento científico e tecnológico, através da montagem de centros de pesquisa e de ensino que se tornaram referências nacionais. A infraestrutura de ciência e tecnologia paulista se voltou não somente a pesquisas básicas, como também se engajou na resolução de problemas

práticos decorrentes dos intensos processos de industrialização e urbanização pelos quais passou São Paulo no século XX.

Nesse ambiente institucional fértil e prenhe de consequências foi criada, em 1934, a Universidade de São Paulo, como elemento central de uma estratégia cujo maior objetivo seria a consolidação econômica e cultural de seu Estado. *Alma Mater* desse novo empreendimento, a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras se incumbiu de desenvolver as ciências básicas, então chamadas de "desinteressadas", obtendo o auxilio inicial de renomados cientistas europeus, dentre os quais situava-se Gleb Wataghin. Logo que assumiu a direção do Departamento de Física da nova instituição, Wataghin deu inicio ao trabalho experimental no campo da Física dos Raios Cósmicos, tendo com auxiliares aqueles que, posteriormente, se tornariam importantes vetores de difusão das práticas materiais da física experimental moderna no Brasil: Oscar Sala, Marcelo Damy e Cesar Lattes.

O estudo dos dez primeiros anos daquele trabalho experimental é de extrema relevância ao tema dessa tese, por se tratar de período no qual ocorreu a capacitação tecnológica necessária à inserção da USP na era dos aceleradores de partículas. Conforme ressaltado no Capítulo 3, havia uma continuidade instrumental entre a Física Nuclear e a dos Raios Cósmicos, então propiciada por uma série de técnicas e artefatos eletrônicos, muitos dos quais importados devido à ausência de uma indústria eletrônica consolidada no Brasil. Marcelo Damy aprendeu tais técnicas consertando rádios, Occhiallini as trouxe consigo da Itália. Ainda nessa época, eram os próprios físicos que construíam seus instrumentos científicos, tendência essa reforçada no Brasil pela carência de técnicos em eletrônica no mercado de trabalho local.

Nos Capítulos 4 e 5, será feita uma análise dos empreendimentos científicos de Oscar Sala, ligados à construção e à organização de laboratórios de pesquisa em Física Nuclear. Um elemento importante desse esforço de compreensão está no estudo da cooperação científica firmada entre os departamentos de Física Nuclear das universidades de Wisconsin e São Paulo, ao possibilitar uma troca perene de materiais e conhecimentos científicos e tecnológicos entre essas duas instituições. Dos EUA, Sala também recebeu apoio financeiro, através dos auxílios da Fundação Rockefeller, da National Science Foundation e da Força Aérea Americana, sem os quais a manutenção das pesquisas no Laboratório do Acelerador Van de Graaff seria

impossibilitada. Os recursos oriundos dos organismos nacionais de fomento à pesquisa científica e tecnológica eram minguados, o que levou Sala a atuar ativamente na esfera política, sendo um dos responsáveis pela criação e direção da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Ainda no Capítulo 4, serão mostradas as interações firmadas entre o desenvolvimento do trabalho experimental no Laboratório do Acelerador Van de Graaff e a indústria nacional. Se por um lado a construção desse acelerador demandou da indústria nacional uma série de materiais nunca antes produzidos localmente, por outro ofertou àquela mesma estrutura industrial conhecimentos tecnológicos avançados, dentre os quais se destacaram os relacionados ao vácuo.

Conforme observado no quinto e último capítulo, em meados dos anos 1960, a própria produção de conhecimentos pelo acelerador Van de Graaff já se encontrava saturada, exigindo de Sala e colaboradores um novo esforço de atualização tecnológica pautado não somente na substituição do antigo acelerador por um novo, como também na informatização do trabalho experimental. Aponta-se que uma estratégia baseada na produção local do novo acelerador foi descartada, devido ao seguintes fatores: 1) a indústria nacional não seria capaz de fornecer os materiais necessários à construção da nova máquina; 2) naquele momento, já havia nos países desenvolvidos, em especial nos Estados Unidos, empresas especializadas na produção de aceleradores de partículas que poderiam atender às necessidades materiais dos físicos nucleares de São Paulo; 3) a importação da nova máquina encontrava suporte nas condições de contorno favoráveis, então propiciadas pela política de ciência e tecnologia do Regime Militar.

Embora, à primeira vista, tal estratégia possa transparecer uma relação passiva com uma máquina tecnologicamente mais avançada, o resultado foi a geração de soluções tecnológicas próprias, necessárias à resolução de problemas apresentados pelo novo acelerador em seu período inicial de funcionamento. Ademais, observa-se que a estratégia de atualização tecnológica traçada por Sala também estimulou a produção de conhecimentos e artefatos de informática, atividade então incipiente no país.

Encontra-se em 1982 o ponto final desta narrativa, ano em que Oscar Sala deu início ao seu último empreendimento científico, baseado na construção de uma nova máquina, do

Acelerador Linear Supercondutor, a ser realizada no próprio Instituto de Física e com a pretensa colaboração da indústria nacional. Conclusões finais pontuam a última seção dessa tese que se assume duplamente ambiciosa: por se propor a discutir período histórico tão extenso, assim se tornando superficial em muitos aspectos; e por acreditar na possibilidade de se transformar em germe de pesquisas futuras mais bem sucedidas no alcance de seus propósitos.

Sobre as fontes das informações e os procedimentos metodológicos adotados, a realização do presente trabalho teve como base a pesquisa bibliográfica, a análise documental e a consulta e realização de entrevistas. A ampla pesquisa bibliográfica efetuada se mostrou importante principalmente à estruturação dos dois primeiros capítulos, escritos exclusivamente com base em fontes secundárias. Como forma de facilitar a gestão das informações contidas em tais fontes, todas elas foram devidamente fichadas e arquivadas.

As fontes primárias aqui utilizadas são constituídas por arquivos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP). Por intermédio de Carlos Henrique de Brito Cruz, então diretor científico da FAPESP, requisitamos o acesso aos processos referentes a pesquisas financiadas por aquela instituição e relacionadas aos empreendimentos científicos de Oscar Sala. Tais pesquisas puderam ser identificadas através da consulta aos relatórios anuais das atividades da FAPESP das décadas de 1960 e 1970, nos quais há uma listagem dos auxílios concedidos a todas as áreas do conhecimento. Após a seleção dos processos relevantes e a identificação de suas respectivas numerações, funcionários da FAPESP se encarregaram de fazer a fotocópia de todos eles, porém excluindo de cada um a parte referente ao parecer técnico. Portanto, tivemos acesso somente ao projeto de pesquisa e ao relatório final de cada processo selecionado.

Também tivemos acesso ao Arquivo Instituto de Física da USP, então mantido nas dependências do Departamento de Física Geral do IFUSP sob a responsabilidade da professora Amélia Império Hamburger. Nele encontramos cartas, documentos e fotos que abrangem os anos de 1935 a 1953. No arquivo morto do Departamento de Física Nuclear do IFUSP, descobrimos uma caixa contendo uma série de cartas trocadas entre Oscar Sala e a empresa fabricante do acelerador Pelletron, a National Electrostatics Corporation (NEC), nos anos de 1966 a 1970. Nesse mesmo arquivo, também encontramos um catálogo de produtos da NEC e um relatório das

atividades realizadas pelo Laboratório do Acelerador Eletrostático no ano de 1963, então destinado ao Escritório de Pesquisas Científicas da Força Aérea norte-americana.

Inicialmente, contamos com as entrevistas realizadas no âmbito do projeto "História da Ciência no Brasil", desenvolvido entre os anos de 1975 e 1978 e coordenado por Simon Schwartzman. Atualmente disponibilizadas pelo Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil da Fundação Getúlio Vargas, as entrevistas concedidas por Oscar Sala, Gleb Wataghin, José Goldemberg e Paulus Pompéia foram consultadas. Além dessas, foram utilizadas outras entrevistas relevantes, realizadas no contexto dos mais variados projetos de pesquisa em história oral.

Posteriormente, objetivamos realizar entrevistas com físicos que foram orientandos de Oscar Sala e com engenheiros envolvidos nas pesquisas em instrumentação científica desenvolvidas nos dois laboratórios estudados. Das quatro entrevistas gravadas, duas foram concedidas pelos físicos Dirceu Pereira e Nobuko Ueta, ambos ex-orientandos de Sala que vieram a se tornar professores do Departamentos de Física Nuclear do IFUSP. Uma outra entrevista foi concedida pelo engenheiro eletrônico e médico Adolfo Leiner; e a última foi realizada em conjunto com Claudio Mammana, Silvio Paciornik e Mario Ferraretto, ambos integrantes, nos anos 1970, do Setor de Matemática Aplicada do Departamento de Física Nuclear do IFUSP. As três primeiras entrevistas foram transcritas e se encontram no anexo do presente trabalho. Entretanto, por questões de ordem técnica, a última entrevista não pôde ser transcrita, porém se constitui em fonte oral valiosa, utilizada na estruturação do Capítulo 5.

Cabe ressaltar que as entrevistas foram realizadas de acordo com os métodos estabelecidos pela história oral temática[1]. Partindo do princípio da existência de diferenças entre a língua falada e a língua escrita, optamos não só pela realização da transcrição literal, que

[1]Segundo Meihy (2005, p.162), "a história oral temática é a que mais se aproxima das soluções comuns e tradicionais de apresentação dos trabalhos analíticos em diferentes áreas do conhecimento acadêmico. Quase sempre, ela equipara o uso da documentação oral ao uso das fontes escritas. A história oral temática é quase sempre usada como técnica, pois articula, na maioria das vezes, diálogos com outros documentos. (…) Por partir de um assunto específico e previamente estabelecido, a história oral temática se compromete com o esclarecimento ou a opinião do entrevistador sobre algum evento definido. A objetividade portanto é direta. A hipótese de trabalho nesse ramo da história oral é testada com insistência e o recorte do tema deve ficar de tal maneira específico que conste das perguntas a ser feitas ao colaborador".

representou a etapa inicial do processo de confecção do texto final, como também pela textualização das entrevistas, realizada com a ajuda e a permissão dos próprios entrevistados. Foi nessa segunda etapa que adequamos a língua falada à língua escrita. As entrevistas se tornaram objeto de análise só após a textualização ter sido concluída e aprovada pelos entrevistados.

Por fim, na seção iconografia, buscamos agrupar imagens relacionadas às discussões tecidas ao longo do trabalho, mesclando fontes iconográficas originais com as impressas[2], então encontradas nos acervos pessoais de Oscar Sala e Mario Capello, nos arquivos do IFUSP e em algumas referências bibliográficas. Várias fotos foram adquiridas já em formato digital através dos *websites* do American Institute of Physics (AIP)[3] e da revista Life[4]. Infelizmente, a quase totalidade das imagens utilizadas não trazia o nome do fotógrafo ou mesmo a data e o local em que foram tiradas, o que imprime limitações à análise iconográfica que se buscou fazer.

[2]As fontes iconográficas originais se referem a fotografias de época mantidas em coleções públicas e privadas. Já as fontes iconográficas impressas são representadas por publicações que contenham imagens fotográficas (Kossoy, 2001).

[3]http://photos.aip.org/ (último acesso em 13/01/2013).

[4]http://images.google.com/hosted/life/817d51f253a2b879.html (último acesso em 13/01/2013).

CAPÍTULO 1 - As (Des)conexões entre Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico no Brasil Contemporâneo

1.1) Uma Síntese do Desenvolvimento Industrial Brasileiro (1885-1980)

A partir do último quarto do século XIX, as tecnologias de base científica, que surgiram no bojo da Segunda Revolução Industrial, começaram a propiciar uma avalanche de novos produtos e processos de produção[5] que invadiu o cotidiano de diversos contextos nacionais, inserindo-os em um fluxo intenso de mudanças que viria a modificar todos os níveis da experiência social[6]. Tais mudanças foram mitigadas pelo uso de diversos produtos, a exemplo do telefone, do avião, dos automóveis, da iluminação elétrica, do rádio, do televisor, dos refrigerantes gasosos, do fogão a gás, das comidas enlatadas, dos eletrodomésticos, da escova de dentes, do raio-X, dentre muitos outros que revolucionaram não só o estilo de vida dos povos das nações desenvolvidas, como também impuseram às sociedades tradicionais um complexo processo de modernização.

Nessa linha argumentativa, Furtado (1992, p.7) alegava que "a propagação de novas técnicas, inerente ao capitalismo, é antes de tudo a difusão de uma civilização que impõe às populações padrões de comportamento em permanente modificação". No desenrolar deste processo de universalização de um novo sistema de valores, muitas áreas experimentaram as novas tecnologias de base científica quase exclusivamente através da utilização de novos bens de

[5]Os elementos que configuram uma revolução industrial não se resumem a novos produtos e processos de produção, mas se estendem ao domínio das inovações em materiais e fontes de energia. Em se tratando da Segunda Revolução Industrial, ocorrida durante cinco ou seis décadas, entre 1870/1880 e 1920/1930, de acordo com os países e os setores sob análise, os novos materiais foram um de seus principais elementos, representados pela borracha, pelos metais não ferrosos (especialmente o alumínio) e sobretudo pelo aço - "uma das principais matérias-primas da moderna civilização industrial, indispensável para a fabricação da maior parte dos bens de capital, assim como de vários bens de consumo duráveis" (Szmrecsányi, 2001, p.186). Com relação às novas fontes de energia, a eletricidade possibilitou o surgimento de novos produtos, novos processos de produção, novos ramos industriais (a exemplo da indústria elétrica) e de novas práticas econômicas e sociais.

[6]"Estimuladas sobretudo por um novo dinamismo no contexto da economia internacional, essas mudanças irão afetar desde a ordem e as hierarquias sociais até as noções de tempo e espaço das pessoas, seus modos de perceber os objetos ao redor, de reagir a estímulos luminosos, a maneira de organizar suas afeições e de sentir a proximidade ou o alheamento de outros seres humanos. De fato, nunca em um período anterior, tantas pessoas foram envolvidas de modo tão completo e tão rápido num processo dramático de transformações de seus hábitos cotidianos, suas convicções, seus modos de percepção e até seus reflexos instintivos. Isso não apenas no Brasil, mas no mundo tomado agora como um todo integrado" (Sevcenko, 1998, p.7-8).

consumo, então importados das economias desenvolvidas, enquanto seus sistemas de produção permaneceram essencialmente nos padrões tradicionais. A esta forma desequilibrada de assimilação do progresso técnico7 e geradora do subdesenvolvimento8, Celso Furtado atribuiu o termo "modernização".

Às economias subdesenvolvidas, que participavam da divisão internacional do trabalho como exportadoras de produtos primários, restava a via da industrialização substitutiva de importações como alternativa não geradora de rupturas com o estilo de vida então vigente. Tendo em vista que a sociedade brasileira foi previamente moldada pelo processo de modernização, a formação de seu sistema industrial não poderia deixar de seguir a "lógica substitutiva" - sempre que a capacidade de importar entrava em crise, melhoravam as condições para que se ampliassem as atividades industriais.

Em fins do século XIX, naquele mesmo contexto marcado pelas profundas transformações decorrentes da Segunda Revolução Industrial, surgiram as seguintes condições históricas que propiciaram o início do processo de industrialização9 no Brasil: a abolição do regime de trabalho escravo, a concentração de renda no centro-sul do país (em especial na área cafeeira da região de São Paulo) e o incentivo à entrada de trabalhadores europeus.

Como bem ressaltou Dean (1975, p.251), "com o advento da abolição, o Brasil se viu repentinamente libertado também dos principais obstáculos ao desenvolvimento da industrialização capitalista". Através da disseminação do trabalho assalariado na sociedade brasileira, as bases para a constituição de um mercado consumidor interno foram firmadas, sendo a figura do imigrante estrangeiro muito significativa neste processo, pois representava a junção ideal entre a capacidade

[7]Segundo Furtado (1992, p.7), o progresso técnico "manifesta-se sob a forma de processos produtivos mais eficazes e também de novos produtos que são a face exterior da civilização industrial".

[8]Daí que o desenvolvimento e o subdesenvolvimento não devem ser vistos como etapas distintas da evolução humana, mas "considerados como dois aspectos de um mesmo processo histórico ligado à criação e à forma de difusão da tecnologia moderna" (Furtado, 1975, p.8).

[9]Segundo Cohn (1990, p.283), "a industrialização é um processo: é um conjunto de mudanças dotado de certa continuidade e de um sentido. Seu sentido é dado pela transformação global de um sistema econômico-social de base não industrial (no caso brasileiro, de base agrário-exportadora). É por operar num sistema que a industrialização implica em um conjunto articulado de mudanças, e é por essa via que ela se distingue da simples criação de indústrias".

produtiva10 e a disposição para o consumo de produtos manufaturados de pouca sofisticação, então ao alcance das indústrias locais. Este padrão de consumo divergia daquele ostentado pelos grupos senhoriais, que se constituíam em exigentes consumidores de produtos importados, então avessos à produção nacional (Cohn, 1990).

Aliás, enquanto consumidores, os cafeicultores e a classe média urbana (empregada essencialmente no setor de serviços) nutriam fortes convicções livre-cambistas, por considerarem a indústria nascente "artificial" em um país cuja vocação agrícola deveria ser mantida e aprofundada. Alegava-se que tal artificialismo era derivado do fato de que, além de ter que importar máquinas, equipamentos e matérias-primas indispensáveis à sua operação, a indústria nacional em seus primórdios produzia artigos de qualidade inferior e preço superior se comparados a seus similares importados. Portanto, diante do "sacrifício" que era consumir o produto nacional, esses grupos sociais se opunham com veemência a qualquer tipo de política que visasse o desenvolvimento e a proteção da indústria nascente (Singer, 1984).

O que garantia a proteção da produção local contra a competição estrangeira era a combinação entre os elevados valores tanto dos custos de transporte quanto das tarifas alfandegárias11, que onerava de forma proibitiva o preço dos produtos importados, principalmente daqueles de menor valor, então consumidos pela nova massa de assalariados. Desta forma, surgem fortes estímulos ao desenvolvimento industrial brasileiro, materializados na indústria têxtil e em outros ramos da indústria leve – composta por produtores de alimentos, objetos de vestuário, toucador, velas, móveis, etc. Nesta fase, firmada em pequenas unidades de produção atomizadas, a atividade industrial assumia caráter semi-artesanal, pois nelas se utilizavam, em geral, muito trabalho manual e pouca maquinaria, sendo operadas por seus donos e familiares, com o eventual

[10]Frequentemente mais alfabetizados que a classe brasileira inferior, os imigrantes trouxeram um conjunto de habilidades manuais e técnicas que pouco se viam no Brasil. Segundo Dean (1975, p.252), "a importação desse acúmulo de capital humano constituiu um golpe tremendo, mais valioso do que as reservas de ouro ou mesmo do que a maquinaria".

[11]"As altas tarifas sobre os bens manufaturados, pesadamente protecionistas, foram decididas principalmente pela necessidade que tinha o governo de pagar os seus empréstimos estrangeiros em ouro. A República, como o Império, carecia de poder político, ou mesmo de vontade, de tributar as rendas ou a terra, e recorria quase sempre a banqueiros estrangeiros para consolidar as suas dívidas. Por conseguinte, raríssimos eram os artigos importados isentos de direitos, alguns dos quais atingiam 500% ad valorem. Os deputados que favoreciam os industriais geralmente conseguiam uma redução diferencial para as importações de combustíveis e matérias-primas" (Dean, 1975, p.254).

auxílio de empregados (Singer, 1984; Cohn, 1990).

Com relação à produção interna de bens de capital12, na República Velha, seu modesto aparecimento demonstrou pouca aderência com as funções que lhe cabe exercer no processo de acumulação de capital (tais como a geração de excedentes, a incorporação e difusão do progresso técnico, etc), funcionando quase como uma atividade complementar à economia de exportação13 e de importância secundária ao processo de industrialização, visto que grande parte das necessidades por maquinaria era suprida através de importações.

Tanto a expansão da infraestrutura de transportes e o beneficiamento dos produtos de exportação, como a reparação de peças de equipamentos militares e a fabricação de equipamentos voltados ao atendimento das necessidades da construção civil, se constituíam nas principais fontes de demanda por bens de capital, então supridas, salvo raríssimas exceções, por pequenas empresas de propriedade nacional, que desenvolviam as atividades básicas na construção de equipamentos mecânicos (forjaria, fundição, usinagem e a caldeiraria), sem importação institucionalizada de tecnologia (sob a forma de entrada de empresas estrangeiras ou através de acordos de licença) (Erber, 1974). Sobre este aspecto, Dean (1971, p.16) ressaltou que "dada a simplicidade dos bens, a produção podia se desenvolver com base em conhecimentos técnicos que, por força da experiência, já eram de domínio público, ou [a tecnologia] foi importada 'incorporada' em imigrantes ou em equipamentos que eram aqui copiados".

[12]Segundo Erber (1974, p.1-2), o setor de bens de capital "desempenha um papel crítico na incorporação de novos conhecimentos tecnológicos no sistema produtivo, permitindo modificar as características dos bens produzidos e introduzir novos bens na produção". Entretanto, este setor "não só atua na incorporação do progresso como é elemento primordial em sua difusão, graças às suas ligações funcionais com o resto do sistema econômico. Sendo a fornecedora de meios de produção para os demais setores da economia, ela recolhe as solicitações de inovação em seus produtos, provindas de todas essas fontes e, ao incorporar o progresso tecnológico na indústria de bens de capital, quer seja ele autônomo, quer solicitado por uma indústria compradora de bens de capital, tende a se propagar em cadeia ao resto da economia, traduzindo-se em maior produtividade dos fatores de produção e/ou melhor qualidade dos bens finais".

[13]Conforme ressaltado por Dean (1975, p.256), "as técnicas mecânicas foram aplicadas no setor de exportação muito antes de quaisquer outras, principalmente porque os seus produtos, tendo de competir no mercado internacional, precisavam ser eficientemente produzidos. O fabrico do açúcar, o acondicionamento da carne, o descaroçamento e o enfardamento do algodão, o curtume dos couros e o beneficiamento do café, portanto, figuravam entre as primeiras linhas de produção que seriam realizadas com vapor e energia elétrica. É interessante notar que no processamento do café – descascar, separar, secar e classificar – não havia máquinas europeias ou norte-americanas fabricadas com essas finalidades, e os inventores brasileiros criaram o seu próprio equipamento, acicatado pela escassez de escravos e, mais tarde, pela necessidade de poupar mão de obra assalariada".

Outro fator indutor da industrialização no contexto brasileiro estava na política de desvalorização cambial que, ao buscar proteger as receitas em moeda nacional dos cafeicultores diante de eventuais reduções do preço do café no mercado internacional, indiretamente beneficiava a indústria nacional, pois, em contrapartida, os produtos importados também passavam a custar mais caro, onerando assim o consumo da coletividade. Foi o que Furtado (2007) denominou de "socialização das perdas"14.

De forma sintética, Cohn (1990, p.295) destacou, nos seguintes termos, as principais características da industrialização ocorrida no período da República Velha:

> "Não encontramos, por certo, na República Velha, um Estado industrializante; mas tampouco podemos identificá-lo sumariamente com interesses anti-industriais, pois, como vimos, ainda que por vias indiretas, as suas medidas acabaram redundando em benefícios do setor industrial, e, por essa via, acabavam chamando a atenção para a sua importância. Tudo isso sugere que o primeiro meio século de crescimento industrial no Brasil caracterizou-se fundamentalmente pelo seu caráter não integrado e relativamente 'espontâneo', no sentido de não resultar tanto da ação de um empresariado industrial organizado e coeso, nem, muito menos, de uma ação estatal deliberadamente voltada para o apoio à industrialização, mas de fecundação de um núcleo econômico excepcionalmente sensível para uma série de condições propícias ao aparecimento de uma indústria progressivamente voltada para a substituição de importações; o que, desde logo, significa que o crescimento da produção estava na dependência da expansão do consumo, ou, dito de outra forma, que o elemento dinâmico do processo era dado pelo crescimento e diversificação de uma área de consumo não satisfeita em face da carência de recursos para importar".

Enquanto nos países desenvolvidos o progresso tecnológico se constitui em fator primordial ao desenvolvimento industrial, nos países de desenvolvimento dependente são as modificações no perfil da demanda que impulsionam o processo de industrialização[15]. No Brasil, foi a renda auferida com a exportação de uns poucos produtos primários, principalmente do café, que garantiu o aumento do poder aquisitivo de sua população e, consequentemente, o alargamento do mercado

[14]"Como as importações eram pagas pela coletividade em seu conjunto, os empresários exportadores estavam na realidade logrando socializar as perdas que os mecanismos econômicos tendiam a concentrar em seus lucros. É verdade que parte dessa transferência de renda se fazia dentro da própria classe empresarial, na sua qualidade dupla de exportadora e consumidora de artigos importados. Não obstante, a parte principal da transferência teria de realizar-se entre a grande massa de consumidores de artigos importados e os empresários exportadores. Para dar-se conta do vulto dessa transferência, bastaria atentar na composição das importações brasileiras no fim do século XIX e começo do XX, quando metade delas era constituída por alimentos e tecidos" (Furtado, 2007, p.238).

[15]"Num esforço de simplificação, poderíamos definir o processo de desenvolvimento autônomo como aquele no qual a ordenação dos fatores primários de impulsão seria a seguinte: progresso tecnológico – acumulação de capital – modificações estruturais decorrentes de alterações no perfil da demanda. No extremo oposto, teríamos o processo de desenvolvimento essencialmente dependente, no qual a sequência é inversa: modificações na composição da demanda – acumulação de capital – progresso tecnológico. Entre essas duas situações extremas se ordenam as distintas situações concretas com que nos defrontamos no mundo contemporâneo" (Furtado, 1968, p.22).

consumidor então indispensável à sustentação e ampliação de suas atividades industriais. Daí a industrialização ocorrida entre 1885 e 1930 ter sido uma consequência secundária da reorganização capitalista da cafeicultura. Porém, a formação de um mercado consumidor interno é condição necessária mas não suficiente à industrialização. Nesse sentido, Furtado complementou sua argumentação alegando que:

> "Um certo protecionismo desempenhou, por toda parte, papel fundamental na primeira fase de industrialização. No caso brasileiro, se bem o protecionismo não haja assumido forma coerente, a instabilidade cambial desempenhou, em fases decisivas, o papel de linha complementar de defesa da indústria nacional" (Furtado, 1968, p.24).

O papel da intervenção do Estado na atividade industrial, que antes era passivo, sofreu sensível modificação ideológica e prática na década de 1930. A crise de 1929 pôs em evidência a vulnerabilidade da economia brasileira, então dependente, em boa medida, da exportação de um único produto, o café. Soma-se a isto o fato do próprio setor industrial ter passado por um vigoroso crescimento ao longo do período, o que influenciou as medidas governamentais voltadas ao estímulo das atividades industriais. Segundo Corsi (1997), esse contexto propiciou o início do amadurecimento na esfera governamental de um projeto de desenvolvimento nacional pautado na industrialização, mas que, até o final do Estado Novo, tinha sido apenas esboçado em suas linhas mestras.

> "No discurso oficial, o desenvolvimento econômico aparece como condição necessária e suficiente para se alcançar a independência nacional e propiciar um bom nível de vida aos trabalhadores. O discurso coloca-o como peça chave para a resolução dos problemas do país, como elemento que deveria congregar a todos. Ou seja, o desenvolvimento baseado na indústria iria identificar-se com os interesses do conjunto das classes sociais, equiparando-se desta forma no verdadeiro interesse nacional" (Corsi, 1997, p.15).

Em especial, os esforços do Governo Vargas para instalar a grande siderurgia no país fizeram transparecer, da forma mais clara, a existência de um projeto de desenvolvimento nacional baseado na indústria. Apesar do convite feito por Vargas, a recusa das empresas Du Pont e United States Steel de instalarem filiais no Brasil, alidada à debilidade do capital privado nacional, fizeram com que o Estado assumisse a responsabilidade pela construção da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Realizada com base no capital público nacional e na concessão de financiamento público e acesso à tecnologia por parte dos Estados Unidos, a concretização da CSN representou uma mudança qualitativa no processo de industrialização, por ser a primeira empresa de capital monopolista a surgir na estrutura industrial brasileira.

Outras incursões diretas do Estado na atividade industrial ocorreram durante a Segunda Guerra Mundial, a exemplo da Fábrica Nacional de Motores – a primeira a produzir automóveis em vez de meramente montá-los, em sua totalidade, com peças trazidas do exterior. No pós guerra, destacam-se os investimentos estatais realizados visando a produção de energia, através da criação da Petrobras e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco.

Percebe-se assim o surgimento de um setor monopolista do capitalismo industrial brasileiro, que pontuou o fim de um período (1933-55) marcado por uma industrialização extensiva ao longo da estrutura já montada anteriormente ou complementar à mesma. No início desse último período sob análise, ainda nos anos 1930, os setores que apresentavam as maiores taxas anuais de crescimento eram todos pertencentes ao ramo produtor de bens intermediários, a saber: as indústrias de borracha, de cimento, de mobiliário, de papel e siderúrgica. Porém, a participação destes mesmos setores no conjunto da produção industrial brasileira ainda era muito pequena em fins daquela década, então caracterizada pelo predomínio da indústria têxtil e de outros segmentos produtores de bens de consumo não duráveis. Apesar desta baixa participação na estrutura industrial, "trata-se do surgimento de um germe da indústria de base, cujo desenvolvimento só se dará plenamente a partir do período seguinte (1956-67)" (Singer, 1984, p.217).

Entre 1939 e 1952, a taxa média de crescimento da produção industrial brasileira foi de 8,3% ao ano, sendo as indústrias de borracha, de material de transporte, metalúrgica, de minerais não metálicos, química e farmacêutica as que mais se desenvolveram nesses anos. Entretanto, estes também se tornaram setores muito representativos na pauta de importações brasileira, pois, como seus processos produtivos foram concebidos nos países centrais, sua própria expansão implicava em uma crescente necessidade de importação de bens de capital e matérias-primas originários desses mesmos países.

Tendo em vista que o processo de modernização gera uma crescente necessidade de importação de tecnologia incorporada em produtos e processos produtivos, a tendência é que a disponibilidade de divisas do país não consiga sustentar o intenso crescimento da demanda por importações. No período (1933-55), esta disponibilidade estava comprometida, quer seja pela grande depressão e pela Segunda Guerra Mundial, quer seja pela deterioração dos termos de troca de um país agrário-exportador como o Brasil.

Diante desta conjuntura desfavorável, só restava ao Brasil dar continuidade à substituição de importações como forma de garantir a continuidade do processo de industrialização. A indústria instalada no país deveria se capacitar na produção daquilo que antes era importado, ou seja, na fabricação de sua maquinaria e dos insumos indispensáveis à sua própria expansão, além dos novos produtos continuamente elaborados pelos países centrais e incorporados aos hábitos de consumo dos brasileiros. Foi na última metade da década de 1950 que alternativas a estes pontos de estrangulamento se apresentaram sob a forma de uma mudança da estrutura interna do setor industrial, que propiciou efeitos sobre o aumento do tamanho, do grau de organização e de complexidade tecnológica das unidades produtivas (Cohn, 1990).

Tais transformações podem ser percebidas nas taxas de crescimento por setores de atividade entre 1957 e 1962. Neste intervalo de intenso crescimento industrial, que atingiu a marca de 11,9% ao ano, os setores que mais se destacaram, por crescerem acima desta media, foram material de transporte, material elétrico, química, mecânica, metalurgia e borracha, ou seja, setores produtores de bens de capital, bens intermediários e duráveis de consumo. Neste sentido, conforme apontou Singer (1984, p.226):

> "As indústrias que mais se expandiram, entre 1957 e 1962, são todas (com exceção da mecânica) criações da Segunda Revolução Industrial, cuja tecnologia foi aperfeiçoada após a Primeira Guerra Mundial, tendo por condição fundamental a produção em larga escala. Nessas indústrias, a presença do capital estrangeiro sempre foi conspícua no Brasil e seu desenvolvimento acelerado após 1956 se deu sob a égide das multinacionais".

Em consonância com o aprofundamento da ação do Estado no processo de industrialização, a estratégia de desenvolvimento do Governo de Juscelino Kubitschek era composta não só por seus próprios investimentos em áreas básicas para a continuidade da expansão industrial, como também por um esforço em atrair um maior fluxo de investimentos estrangeiros diretos através da concessão de uma série de condições favoráveis aos mesmos. Daí o período (1956-67) ser caracterizado pela expansão do capital monopolista multinacional e estatal, em detrimento do capital nacional que, em geral, ainda permanecia destituído do aporte de recursos necessário aos investimentos de grande vulto e longos prazos de maturação então representativos desta nova etapa do processo de industrialização.

O que distingue esse período do anterior é, de fato, o domínio das empresas multinacionais, que passaram a dirigir os setores que apresentavam as maiores taxas de crescimento e o maior nível tecnológico, tendo como principal objetivo o atendimento do mercado interno. A este respeito, Cohn (1990, p.314) pontuou que:

> "O importante, para os nossos propósitos, é ressaltar três consequências básicas desse fenômeno. Em primeiro lugar, verifica-se que, atingindo um certo estágio de sua evolução, o processo de substituição de importações converte-se num processo de 'substituição de empresários', também em termos de vinculação nacional. Em segundo lugar, e relacionado com isso, o controle dos postos-chave da indústria instalada no país (também no que se refere às opções no plano da tecnologia adotada) passa ao poder de grupos localizados nos centros dominantes do capitalismo internacional. Finalmente, este esquema tende a conduzir a um agravamento do desequilíbrio externo da economia nacional, de vez que as remessas de recursos para o exterior (lucros, royalties, etc.) através das empresas estrangeiras instaladas no país em breve superam os montantes nele introduzidos pelo investimento original".

Em síntese, podemos afirmar que o período 1956-67 foi marcado pela integração final do mercado nacional e pelo estabelecimento da hegemonia do capital monopolista, em especial do capital multinacional. O período seguinte (1968-80) representou uma mudança qualitativa na inserção do Brasil na divisão internacional do trabalho, então mitigada pelas próprias multinacionais.

Esse fenômeno, ao qual Singer (2006) atribuiu o termo "subdesenvolvimento industrializado", atingiu os países de industrialização recente a partir de meados dos anos 1960 e os transformou em exportadores de produtos industriais, assim modificando aquela velha inserção dos mesmos no comércio internacional, até então baseada, em sua quase totalidade, na venda de produtos primários. Aproveitando-se dos baixos níveis salariais e da infraestrutura industrial já montada nesses países, as multinacionais puderam alocar internacionalmente determinadas linhas de produção, assim ampliando enormemente suas margens de lucro.

Dessa forma, abriu-se uma nova possibilidade de desenvolvimento a países como o Brasil: a de crescer não mais mediante substituição de importações, mas através da diversificação e ampliação das exportações, aproveitando as oportunidades de um mercado mundial em forte expansão. A partir da segunda metade dos anos 1960, a ideologia do desenvolvimento voltado para fora passou a influenciar a política econômica brasileira, que começou a incentivar a exportação de manufaturados através da concessão de uma série de incentivos fiscais e creditícios. Como resultado, a participação dos produtos industriais no valor total exportado cresceu ano após ano:

9,3% em 1964; 15,1% em 1967; 25,9% em 1972; 29,8% em 1975 e 45,5% em 1979-80.

As multinacionais, que no período anterior (1956-67) restringiram ao mercado interno a comercialização de sua produção, então composta, em grande parte, por bens de capital e duráveis de consumo, posteriormente fizeram do Brasil uma de suas principais bases de exportação. Porém, segundo Singer (1984), essa nova tendência do desenvolvimento nacional traz consequências negativas para diferentes classes sociais:

> "Do ponto de vista do capital nacional e, em particular, do que se poderia chamar de comunidade técnico-científica, ela prolonga e tende a perpetuar a dependência tecnológica, já que as multinacionais (todas estrangeiras) mantém a produção de tecnologia em geral nos países em que estão situadas suas matrizes" (Singer, 1984, p.232).

A própria questão da dependência tecnológica nacional, além de suscitar intensos debates na comunidade técnico-científica, exerceu influência determinante sobre o início da inserção do desenvolvimento científico e tecnológico autóctone nos planos nacionais de desenvolvimento, tema esse tratado na próxima seção.

1.2) O Discurso e a Prática da Política Nacional de Ciência e Tecnologia (1951-1979)

No período posterior à Segunda Guerra Mundial, diversos processos de institucionalização das ciências ocorreram nos países periféricos, nutridos pela crença de que uma política de apoio formal à ciência possuiria o poder de solucionar os problemas materiais mais urgentes de uma sociedade. O desenvolvimento dos conhecimentos científicos e seu emprego no progresso tecnológico eram assim vistos como um panaceia universal, capaz de corrigir todos os males do subdesenvolvimento, porém sem a necessidade de implementar qualquer modificação estrutural no sistema capitalista, na divisão internacional do trabalho. Sob esta perspectiva ideológica, o que distingue os países centrais dos periféricos é a capacidade que os primeiros possuem de produzir, transmitir e utilizar os conhecimentos científicos e tecnológicos de forma autônoma, capacidade esta inerente a seus cidadãos que "são capazes de realizar plenamente o seu potencial como seres humanos" (Nussenzveig, 1994, p.73).

Portanto, para que os países periféricos se desenvolvessem, seria necessário que o "tradicionalismo" de suas estruturas sociais e econômicas cedesse lugar à "modernidade" intrínseca

à ciência e à tecnologia. Como bem enfatizado por Schwartzman (1980), raciocínios como este, de simples entendimento e ampla aceitação, não passam de mitos, de formas pelas quais as sociedades percebem e justificam suas crenças no progresso. Através de uma combinação de afirmações empíricas, normativas e preditivas, os mitos capturam parte significativa da realidade social, transformando-a em verdades generalizadas.

Inserido neste contexto teórico ideológico, um dos trabalhos pioneiros desenvolvidos na América Latina e que influenciou a prática do planejamento estatal em ciência e tecnologia foi o de Jorge Sabato e Natalio Botana intitulado "A Ciência e a Tecnologia no Desenvolvimento Futuro da América Latina". Ao conceberem como um processo político consciente a ação de inserir a ciência e a tecnologia na trama do desenvolvimento, Sabato e Botana (1968) converteram o Estado no promotor mais importante do processo de inovação, capaz de estabelecer metas e delinear estratégias visando o fomento das interações entre a infraestrutura científico-tecnológica e a estrutura produtiva de uma sociedade.

No Brasil dos anos 1950, foram realizadas ações estatais visando tanto o desenvolvimento industrial quanto a institucionalização das ciências, porém sem de fato estimularem a geração de inovações tecnológicas pela indústria nacional. Com relação à planificação da ciência e da tecnologia, o Congresso Nacional, em 15 de janeiro de 1951, aprovou o criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), cuja finalidade seria tanto a promoção, coordenação e estímulo das pesquisas científicas e tecnológicas realizadas no país quanto a condução da política nuclear brasileira. Um detalhe importante está na associação desta iniciativa governamental ao clima de nacionalismo e ao debate sobre a segurança nacional então presentes na sociedade brasileira do pós Segunda Guerra Mundial, elementos estes perceptíveis em trecho da proposta de criação desta instituição apresentado a seguir:

> "A criação do novo órgão corresponde à urgente imperativa da nossa evolução histórica, que terá no Brasil o mesmo salutar efeito verificado em outros países, contribuindo, decisivamente – se lhe não faltarem os indispensáveis recursos – para o aproveitamento das riquezas potenciais, o alevantamento do padrão de vida das populações e o fortalecimento da integridade da Pátria Brasileira, ao mesmo tempo que virá realçar nossa contribuição para o bem-estar humano. Todos os países vanguardeiros da civilização procuram dar o máximo desenvolvimento à cultura, incrementando a ciência, a técnica e a indústria, como bases de seu progresso e de seu prestígio. Para comprová-lo bastaria um simples realce de olhos sobre o que se tem registrado mormente sob o aguilhão da guerra em todas as épocas e em todas as Nações cultas" (Silva *et al.*, 2000, p.184).

No que se refere ao desenvolvimento industrial, o Governo Kubitschek instituiu o Conselho de Desenvolvimento Econômico, órgão então responsável pela formulação do Plano de Metas que, segundo Lessa (1981, p.27), foi "a mais sólida decisão consciente em prol da industrialização na história econômica do país". Neste momento, era incorporada à retórica oficial do governo o desenvolvimentismo – a ideologia de transformação da sociedade brasileira definida pelo projeto econômico composto dos seguintes pontos fundamentais:

> "(a) a industrialização integral é a via de superação da pobreza e do subdesenvolvimento brasileiro; (b) não há meios de alcançar uma industrialização eficiente e racional no Brasil através das forças espontâneas do mercado; (c) o planejamento deve definir a expansão desejada dos setores econômicos e os instrumentos de promoção dessa expansão; e (d) o Estado deve ordenar também a execução da expansão, captando e orientando recursos financeiros, e promovendo investimentos diretos naqueles setores em que a iniciativa privada seja ineficiente (Bielschowsky, 1996, p.7)".

Sob o impulso do Plano de Metas, a industrialização brasileira sofreu profundas modificações estruturais, sendo atribuída prioridade absoluta à construção dos estágios superiores da pirâmide industrial verticalmente integrada e do capital básico de apoio a esta estrutura. Contribuíram para a consecução de tais transformações as bases instrumentais herdadas do Governo Vargas, no qual ocorreu a primeira aproximação à política de desenvolvimento (Lessa, 1981). No decorrer do segundo governo varguista, foram tomadas as seguintes iniciativas governamentais que vieram a ser de vital importância para o salto industrial posterior:

> "(1) a Instrução 70 da SUMOC (Superintendência da Moeda e do Crédito), que disciplinava a alocação de importações de forma mais racional e definida em função dos interesses industriais; (2) a criação do Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDE), com a função primordial de apoiar a ampliação da infraestrutura de transportes e energia; (3) A Instrução 113 da SUMOC, que permitia às empresas estrangeiras sediadas no país importarem máquinas e equipamentos sem cobertura cambial, sempre que as autoridades governamentais estimassem 'conveniente' para o desenvolvimento do país" (Serra, 1998, p.88).

Com relação à ciência e à tecnologia, as diretrizes de política econômica contidas no Plano de Metas, principalmente as relativas ao capital estrangeiro e à importação de bens de capital (consubstanciadas nas Instruções 113 e 70 da SUMOC), traziam implícitas soluções para o suprimento de tecnologia requerida pela etapa do processo de industrialização que se propunha inaugurar, então fundada no capital monopolista. O tratamento liberal e os incentivos concedidos ao capital estrangeiro, ao induzirem a implantação no país de filiais de empresas de economias já industrializadas, geraram efeitos de duas naturezas. De um lado, "criaram um canal de transferência

de conhecimentos técnicos para o país, como decorrência da necessidade de que a matriz suprisse a subsidiária da tecnologia requerida para sua instalação e operação". De outro, "afetavam favoravelmente a capacidade nacional de importar bens de capital, seja pelo aporte de divisas propiciado pela inversão externa, seja pelo ingresso de máquinas e equipamentos como parte do mesmo investimento estrangeiro" (Guimarães e Ford, 1975, p.393).

Em síntese, o Plano de Metas caracterizou-se pela escolha de um objetivo central: responder às exigências tecnológicas do sistema produtivo, acelerando a incorporação e a difusão de inovações no âmbito deste sistema, mas indiferente à opção entre produção interna e importação de tecnologia. Por conseguinte, o Governo Kubitschek optou, implicitamente, no que concerne à política científica e tecnológica, pelo que Guimarães e Ford (1975) classificou de "política de resposta". O desenvolvimento científico e tecnológico não foi, pois, uma meta específica do referido governo. Apesar de sua incursão no campo da energia nuclear, o Plano de Metas atribuiu à infraestrutura científico-tecnológica a tarefa de ministrar um ensino meramente profissionalizante, voltado para a formação de quadros técnicos necessários à operação da estrutura produtiva industrial em processo de expansão e diversificação (Ferreira, 1983).

Compreendida como uma das características historicamente enraizadas da estrutura social brasileira, a carência de recursos humanos qualificados era então vista pelo Governo Kubitschek como um ponto de estrangulamento, que poderia vir a prejudicar a meta geral de expansão econômica. Entretanto, nada se fez para sanar o problema primordial da má distribuição de renda no país, ocupando posição de reduzido destaque as inversões e gastos sociais. Em 1950, a taxa de analfabetismo assumia a calamitosa marca de 56,6% (Lessa, 1981). Nesse mesmo contexto de euforia desenvolvimentista, a "ciência nacional" permaneceu desvinculada das necessidades tecnológicas do sistema produtivo no decorrer dos anos 1950. Os reflexos da "política de resposta" adotada pelo Plano de Metas se manifestaram de dois modos sobre o CNPq, evidenciados por Ferreira (1983, p.80) nos seguintes termos:

> "Em primeiro lugar, o rebaixamento de seu poder político, a tal ponto que não desempenha qualquer papel na estruturação e execução do Programa de Metas mesmo que confinado ao aspecto tecnológico, em contraste com a situação vivida no Governo Vargas, quando o seu presidente tinha acesso direto ao Presidente da República, preocupava-se com a formação de quadros qualificados para a pesquisa e se dedicava à montagem de um programa de pesquisa e desenvolvimento autônomo para a utilização da energia nuclear. O outro efeito que também reflete o nível de prioridade atribuído à pesquisa, diz respeito à perda de substância do CNPq,

> caracterizada pelo forte declínio dos recursos atribuídos ao Conselho, que se mede por sua proporção relativamente ao orçamento da União, que se reduz em mais da metade entre 1956 e 1961".

Dados fornecidos por Lopes (1964) demonstram o estado de penúria pelo qual passou o CNPq no Governo JK: de 1956 a 1960, a dotação orçamentária do CNPq decresceu de 0,28% do orçamento da União para 0,09%, e o número de bolsistas enviados ao exterior passou de 86 para 26. Ademais, durante esta fase ocorreu uma intensa emigração de cientistas e técnicos de qualificação superior para outros países, principalmente para os Estados Unidos.

Embora a estrutura industrial ainda apresentasse algumas desconexões, em termos qualitativos, o Brasil abre a década de 1960 com o perfil industrial de uma economia madura (Lessa, 1981). Uma nova fase da política econômica brasileira teve início nos primeiros anos da década de 1960, caracterizada pelo deslocamento do núcleo de preocupações do desenvolvimento industrial para a atenuação da alta de preços. Os problemas de curto prazo tornaram-se prioritários, postergando para outras circunstâncias a inclusão da ciência e da tecnologia no planejamento econômico. Apesar de sua execução ter sido impedida pela crise política vigente na época, o Plano Trienal, embora sem considerar o desenvolvimento científico e tecnológico como um objetivo explícito, inova ao dar destaque a metas importantes, sob este aspecto, nos capítulos dedicados à educação, agricultura e energia nuclear (Guimarães e Ford, 1975).

Instaurado em 1964, o novo regime político buscou legitimar-se através da ideologia cuja ênfase residia no planejamento, na subordinação do poder ao saber e no mito da eficiência. Tratava-se, segundo Ianni (1981), de substituir o "político" pelo "técnico", a "demagogia" pela "ciência" e o "carisma" pela "eficiência". A ideologia nacional desenvolvimentista gerada e difundida pelo aparato estatal pós-1964 opunha-se ao nacional desenvolvimentismo que integrava o pacto populista. Este, conforme observado por Morel (1979), seria identificado como emocional e irracional. O "novo" nacionalismo possuía um matiz mais técnico, atuando, de um lado, como elemento de desmobilização política da sociedade civil e, de outro, como fundamento das medidas estatais de estabilidade política e crescimento econômico. Dentro deste quadro definido pela baixa informação política e pelo consenso limitado, os planos econômicos foram estabelecidos de forma antipopular, por grupos restritos de técnicos e políticos, embora com aceitação generalizada no plano ideológico, devido à necessidade de fortalecimento da nação.

Todo um esforço de modernização e racionalização do aparato estatal foi empreendido pelos governos pós-1964. A partir de então, a ênfase dada às realizações científicas e tecnológicas torna-se coerente com a tentativa de projetar uma imagem de nação moderna, potência emergente, legitimando assim o regime interna e internacionalmente. Em um período de relativa estagnação econômica que acompanhou o início do Regime Militar, além de suas funções políticas, o desenvolvimento científico e tecnológico encontrou respaldo na ideologia então corrente acerca do desenvolvimento econômico do país.

Prova disto é a incursão do principal banco de investimento brasileiro no campo da ciência e da tecnologia – sendo este fato o de maior relevo desse novo período. Através da análise dos resultados obtidos com a execução do Plano de Metas, os técnicos do BNDE extraíram as seguintes conclusões essenciais:

> "(1) crescimento futuro da economia nacional estaria basicamente determinado por sua capacidade de absorver inovações tecnológicas. O novo núcleo dinâmico da economia distinguia-se pela elevada densidade tecnológica e requeria, para sua expansão, um fluxo continuado de inovações; (2) a expansão do sistema industrial, em situação de menor dependência, demandaria uma participação ativa da empresa nacional, tanto na geração quanto na absorção de tecnologias do exterior, o que significaria, por um lado, contar com o apoio de uma infraestrutura científico-tecnológica que prepararia o pessoal técnico habilitado à pesquisa e desenvolvimento, como ainda prepararia os serviços tecnológicos e laboratoriais que viesse a requerer. E, além disso, com o apoio financeiro, e de outros tipos, a viabilizar a sua participação em projetos de risco, como a pesquisa (Ferreira, 1983, p.88).

Ademais, alegavam que o valor da tecnologia importada onerava cada vez mais o balanço de pagamentos, com despesas maciças em *know-how*, assistência técnica e aluguel de marcas e patentes. A partir dessas conclusões, decidiu-se que o BNDE examinaria sua possível contribuição à montagem da infraestrutura científico-tecnológica e ao engajamento da empresa nacional no processo de desenvolvimento tecnológico. Aproximaram-se dos técnicos do BNDE cientistas e professores militares que há muito tempo reivindicavam um instrumento vigoroso de apoio à ciência e à tecnologia que complementasse o esforço até então isolado do CNPq, além daquele realizado pela Campanha de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), então vinculada ao Ministério da Educação e Cultura.

Deste trabalho em conjunto resultou, em 1964, a proposta de instituir no BNDE o Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico (FUNTEC), que, segundo Ferreira (1983, p.89):

> "(...) se converte nos 12 anos seguintes no mais poderoso e eficaz mecanismo de financiamento da formação de pesquisadores e de profissionais de alta qualificação, via instalação e manutenção de cursos de pós-graduação, de projetos de pesquisas científicas e tecnológicas e da infraestrutura laboratorial correspondente; da implantação de serviços tecnológicos, atuando, assim, pelo lado da oferta. Do lado da demanda, busca interessar a empresa nacional nas atividades de pesquisa e desenvolvimento, oferecendo colaboração financeira em condições compatíveis com os riscos da pesquisa, e mais, o apoio junto à universidade e institutos especializados para a obtenção eventual de colaboração técnica".

Ou seja, de acordo com os economistas do BNDE, o FUNTEC assumiu assim o papel de:

> "ponte lançada entre a atividade econômica prática e a Universidade. Noutros termos, aquela conexão que, noutros países, se estabelece diretamente, ou quase, entre a empresa e os centros de preparação de pessoal de nível superior e de pesquisa, tende, no Brasil, a fazer-se pela intermediação de organismos como o BNDE e outros bancos de investimento" (Oliveira e Cardoso, 1970, p.73).

Ainda no ano de 1964, a legislação orgânica do CNPq foi reformada, passando o BNDE a ocupar a condição de membro nato do seu mais alto órgão decisório – o Conselho Deliberativo. Como resultado desta mesma reformulação, o CNPq amplia sua área de competência, passando a formular a política científica e tecnológica nacional mediante programas periodicamente revistos, articulando-se com ministérios e órgãos do governo nas questões científicas e tecnológicas. Ademais, o CNPq também assume o dever de: incentivar as pesquisas, visando o aproveitamento das riquezas potenciais do país, sobretudo as que podem contribuir para a economia, a saúde e o bem-estar; incentivar e auxiliar financeiramente a realização de pesquisas em universidades e institutos; e colaborar com as indústrias, fornecendo assistência técnico-científica (Morel, 1979).

Todas essas iniciativas governamentais confluíram para o que veio a ser o "divisor de águas" da história da política científica e tecnológica no Brasil – o Programa Estratégico de Desenvolvimento 1968-70 (PED). Em 1968, o PED define, pela primeira vez ao nível do governo federal, uma política explícita de ciência e tecnologia com objetivos e um programa de ação que seriam, em boa medida, mantidos nos planos posteriores. Até então, "o padrão de acumulação de capital no Brasil, as características de seu sistema político e a forma de inserção do país no sistema internacional não propunham ao Estado razões econômicas e políticas suficientes e necessárias a uma maior intervenção na área de ciência e tecnologia, a não ser em casos específicos de alcance limitado", cujo exemplo clássico reside na política nuclear (Erber, 1980, p.52).

Diante do fracasso da estratégia de desenvolvimento do Governo Castelo Branco (1964-

1967), baseada na tese do combate à inflação como chave para se desvendar o enigma do atraso econômico, o discurso oficial inova ideologicamente através de uma notável transformação retórica: materializa-se no PED a prioridade estratégica do desenvolvimento científico e tecnológico. De acordo com o referido programa, o fator determinante da desaceleração do ritmo de crescimento residia no esgotamento do processo de substituição de importações, que deveria ser complementado por uma "substituição de tecnologia", visto que "a tecnologia importada nem sempre é adequada a constelações de fatores do país importador". Além disso, "a própria absorção de tecnologia requer, à medida que a indústria se integra, pesquisas e desenvolvimentos locais" (Brasil, 1968, p.4).

Nesse sentido, conforme ressaltado pelo PED:

> "A substituição de importações de produtos industriais, na forma do intenso processo desenvolvido no pós-guerra, não é suficiente para assegurar um desenvolvimento auto sustentável, devido particularmente às suas implicações no tocante à criação de mercado e à adequação da tecnologia instalada. Será preciso complementá-la através da substituição de tecnologia, tomada esta, racionalmente, no sentido de adaptação de tecnologia importada e gradual criação de um processo autônomo de avanço tecnológico. Será difícil encontrar experiência de algum país em que o crescimento rápido e auto sustentado não tenha sido apoiado num processo interno de desenvolvimento tecnológico" (Brasil, 1968, p.8).

Segundo Lessa (1988), por meio do PED, diz-se oficialmente que:

> "(a) o padrão de industrialização anterior é inadequado, por não garantir o desenvolvimento auto sustentado indispensável para a superação do atraso econômico da nação; (b) a industrialização anterior foi inadequada, porque não gerou amplo mercado interno (de massa) nem internalizou a tecnologia adequada; (c) faltou algo ao padrão anterior. Faltou um processo interno de desenvolvimento tecnológico, fator que agregado à industrialização constitui a receita historicamente comprovada para o crescimento rápido e auto sustentado; (d) logo, a Nação deverá complementar a política de fomento à industrialização mediante uma política de substituição de tecnologia que atue em duas frentes: adaptação de tecnologia importada e gradual constituição de um processo autônomo de avanço tecnológico" (Lessa, 1988, p.59).

"Renovar a fé" – este foi o sentido principal, na visão de Lessa (1988), da descoberta da tecnologia pela retórica oficial. A garantia de longo prazo de viabilidade da Nação (o crescimento rápido e auto sustentado) surgiria de algo até então desconsiderado: da produção interna de tecnologia. No intuito de se alcançar este objetivo maior, foram tomadas, no Governo Costa e Silva (1967-1969), importantes medidas visando "racionalizar" e tornar mais "eficientes" a formação de recursos humanos e o desempenho da infraestrutura científico-tecnológica: a reforma universitária, o regime de tempo integral, o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Iniciativas importantes que, aliás, atenderam a antigas reivindicações da comunidade científica (Morel, 1979).

Ao mesmo tempo em que estas medidas foram tomadas, o governo brasileiro agia de forma contrária à orientação da política científica e tecnológica corrente. A produção científica do país foi sensivelmente prejudicada pelo afastamento compulsório de inúmeros cientistas e pesquisadores e pelas restrições impostas à atividade profissional de tantos outros por razões de caráter político e ideológico. O caráter permissivo de tais ações repressivas não somente afetou os acadêmicos mais antigos, como também gerou importantes efeitos de encadeamento, dado o caráter coletivo do trabalho científico e o papel de liderança intelectual que os atingidos com frequência exerciam em uma comunidade que já não era tão grande.

Na área tecnológica, enquanto a política explícita postulava a busca de maior autonomia tecnológica como elemento de reforço da capacidade de competição da empresa nacional, as demais políticas econômicas "tinham como efeito aumentar a importância da tecnologia vinda do exterior, embutida em bens de capital ou sob a forma de acordos, quer pelo estímulo à entrada de capitais estrangeiros, quer pelo estímulo aos empresários nacionais a usar tecnologia importada como elemento de expansão da competição, entre si e com seus concorrentes estrangeiros" (Erber, 1980, p.65).

Enquanto no PED a maior capacitação científica e tecnológica tinha por objetivo o desenvolvimento de tecnologias mais ajustadas à dotação de fatores de produção do país, de modo a assegurar maior absorção de mão de obra e criar um mercado de massas para garantir um crescimento auto sustentado, nos planos posteriores (I e II Plano Nacional de Desenvolvimento) a ênfase recai sobre o fortalecimento da empresa nacional (Guimarães e Ford, 1975). Na década de 1970, cada vez mais é submersa aquela preocupação inicial do PED com tecnologias intensivas em trabalho e enfatizada como diretriz para uma política científica e tecnológica a busca de tecnologias de ponta (energia nuclear, pesquisa espacial, oceanografia, petroquímica, eletrônica, computação, aeronáutica, etc.) acoplada à ideia de fortalecimento da empresa nacional.

De acordo com a estratégia de desenvolvimento do II PND, torna-se impossível a construção da grande empresa nacional em posição competitiva se não for internalizada a produção

científica e tecnológica. O fortalecimento do capital nacional privado nada mais é que o primeiro momento de uma estratégia que aponta a Nação Potência. Aliás, o que diferencia a nova estratégia do Regime Militar de indesejáveis identificações com proposições pré-1964 é a prioridade atribuída ao desenvolvimento científico e tecnológico.

Então em voga nas esferas acadêmica e política dos anos 1970, o debate sobre a questão da autonomia tecnológica não teceu maiores discussões sobre o modo como se dariam as interações entre ciência e tecnologia no Brasil (Erber, 1979). A percepção dos construtores sociais brasileiros acerca de tais interações estava calcada em um modelo linear, no qual a progresso científico contribuiria unilateralmente para o desenvolvimento tecnológico. Uma mostra deste modo de pensar está na citação apresentada a seguir, concebida por dois economistas do BNDE em artigo sobre o FUNTEC: "parece claro que o impacto social das inovações tecnológicas só se torna possível com o avanço científico" (Oliveira e Cardoso, 1970, p.75).

Este novo paradigma do desenvolvimento econômico brasileiro peca justamente por não considerar que o desenvolvimento científico é endógeno à dinâmica econômica capitalista, tanto em termos de níveis de acumulação de capital como do próprio progresso técnico, que serve de base ao desenvolvimento dos instrumentos utilizados pelas ciências experimentais. O objetivo dessa tese é justamente demostrar que em um país de industrialização tardia, os entraves ao desenvolvimento científico se encontram não só na escassez de recursos, como também no baixo nível de conhecimentos tecnológicos acumulado pela estrutura industrial brasileira. Retomaremos esta discussão sobre a problemática das interações entre ciência e tecnologia, de forma mais aprofundada, no próximo capítulo.

1.3) A Hegemonia Paulista no Processo de Desenvolvimento Econômico, Científico e Tecnológico Nacional

Ao longo do Século XX, o desenvolvimento do capitalismo industrial no Brasil propiciou, como uma contrapartida natural[16], o agravamento dos desequilíbrios regionais de desenvolvimento. Possuidora de vantagens geográficas que a fizeram estar mais próxima do mercado consumidor com maior poder aquisitivo a nível nacional, a indústria paulista superou a sua principal rival, a indústria carioca, entre 1920 e 1938, assim fazendo de São Paulo o polo de crescimento mais dinâmico da economia brasileira[17]. Sobre esse processo de polarização e seus condicionantes gerais, Cohn (1990, p.308) salientou que:

> "(...) a área mais industrializada do Centro-sul não apenas se desenvolvia mais rapidamente do que o resto do país, em termos comparativos, mas na realidade o fazia, em parte, às custas dessas mesmas áreas atrasadas. Isso, porque a tendência à concentração regional de indústrias, se abandonada à sua ação espontânea, tende a ser auto cumulativa: novas indústrias tendem a instalar-se onde já haja facilidade de mercado, mão de obra, matérias-primas e energia, como também complementação produtiva, reforçando assim a concentração regional do parque manufatureiro".

Então guiada por um processo de causação circular cumulativa[18], a atuação das forças de mercado sobre a dinâmica regional brasileira desencadeou crescente concentração industrial em São Paulo, ao ponto de sua capital responder sozinha, em 1970, por 44% da produção industrial

[16]Segundo Perroux (1967, p.164), "o fato, rudimentar mas consistente, é esse: o crescimento não surge em toda a parte ao mesmo tempo; manifesta-se com intensidades variáveis, em pontos ou polos de crescimento; propaga-se segundo vias diferentes e com efeitos finais variáveis no conjunto da economia". As próprias características inerentes aos recursos produtivos – a escassez, a imperfeita mobilidade espacial, assim como sua distribuição desigual no espaço geográfico – dão origem ao fenômeno da concentração espacial das atividades econômicas.

[17]Na literatura econômica nacional, dentre as várias explicações encontradas para a ascensão de São Paulo como principal centro de acumulação do capital industrial, destaca-se a de Paul Singer, segundo a qual "o fator isoladamente mais importante que privilegiou São Paulo como zona industrial é sua situação geográfica, que lhe assegurou acesso a uma área, onde se encontrava a maior parte do mercado interno brasileiro. (...) Por qualquer ângulo que se encare o fenômeno, seja o de crescimento da população, seja o da sua capacidade aquisitiva monetária, a conclusão é uma só: entre 1890 e 1900, graças ao deslocamento territorial da cafeicultura, o mercado interno potencial para a indústria passa a se localizar em proporção cada vez maior na zona tributária de São Paulo. O que certamente contribui para explicar como São Paulo, apesar da desvantagem inicial, pôde sobrepujar o Rio como centro industrial" (Singer, 2004, p.184, 186-187).

[18]Como bem vislumbrou o próprio criador do princípio da causação circular cumulativa, "se as forças de mercado não fossem controladas por uma política intervencionista, a produção industrial, o comércio, os bancos, os seguros, a navegação e, de fato, quase todas as atividades econômicas que, na economia do desenvolvimento, tendem a proporcionar remuneração bem maior do que a média, e, além disso, outras atividades como a ciência, a arte, a literatura, a educação e a cultura superior se concentrariam em determinadas localidades e regiões, deixando o resto do país de certo modo estagnado" (Myrdal, 1972, p.51-52).

brasileira. Embora este tenha sido o ápice da concentração industrial na Região Metropolitana de São Paulo[19], seu Estado como um todo alcançou o fim do século passado sendo não apenas o responsável por uma participação dominante no produto interno bruto brasileiro, em torno de 37%, como também por praticamente metade da produção científica e tecnológica nacional. Segundo dados apresentados em Medeiros (2003), entre 1988 e 1996, a participação média de São Paulo no total de patentes e artigos científicos realizados no país foi, respectivamente, de 54% e 47%. Bem aquém desse desempenho ficou Rio de Janeiro ocupando a segunda colocação, sendo o produtor de 11% das patentes e 17% dos artigos científicos nacionais.

As origens dessa liderança paulista no campo científico e tecnológico estão não apenas relacionadas ao vigoroso processo de acumulação de capital ocorrido em seu território no decorrer do século XX, mas também à política científica e tecnológica levada a cabo por seus governantes naquele mesmo período. A este respeito, Szmrecsányi (1996, p.17) apontou que as seguintes condições materiais, políticas e sociais, então encontradas em São Paulo na Primeira República, podem explicar a referida hegemonia:

> "1. O Estado de São Paulo, ao contrário dos demais, tinha recursos para tanto. Tratava-se da região mais rica do país e, graças a constituição de 1891, seu governo passou a dispor de fundos necessários para investimentos em pesquisa científica e tecnológica; 2. suas elites tinham um projeto econômico e político bem definido, e estavam devidamente preparadas e organizadas para colocá-lo em prática; a organização era dada pelos graus de coesão, suporte e articulação do PRP, enquanto que o preparo se manifestava principalmente no plano intelectual (vários de seus membros, inclusive entre os governantes, tinham obtido graus universitários, e até doutorado no exterior); 3. as condições sociais do Estado, graças à migração em massa de trabalhadores estrangeiros, eram muito favoráveis à realização desse projeto, e não ofereciam resistências nem apresentavam obstáculos ao mesmo".

Dentre as motivações iniciais que levaram o governo de São Paulo a destinar parcela do excedente social ao desenvolvimento científico e tecnológico, destacam-se aquelas derivadas da própria sustentação do ciclo expansivo da cafeicultura, seja através do combate às pragas que assolavam as plantações, seja por meio do controle das epidemias que comprometiam a

[19]"Fato incontestável é que até o final da década dos 60 um histórico processo de concentração econômica e demográfica ocorreu na Área Metropolitana de São Paulo, que, em 1970, chegou a participar com 44% da produção industrial do país. A partir de então, iniciou-se um processo de reversão desta polarização, em função do qual esta participação reduziu-se para 26%, em 1990. Entretanto, tal não implicou em uma sustentada desconcentração para a Nação como um todo. Na primeira fase, o processo de reversão da polarização se fez com um relativo espraiamento industrial para o próprio interior do Estado de São Paulo e para quase todos os demais Estados brasileiros. Na segunda fase, no entanto, vem ocorrendo uma relativa reconcentração no polígono definido por Belo Horizonte – Uberlândia – Londrina/ Maringá – Porto Alegre – Florianópolis – São José dos Campos – Belo Horizonte, dentro do qual estão sendo formados os principais polos de alta tecnologia" (Diniz, 1993, p.35-36).

produtividade da força de trabalho local. Com esse intuito foram criadas inicialmente, em fins do Império, duas instituições voltadas à resolução de problemas vinculados à cafeicultura paulista, a saber: a Estação Agronômica, fundada em 1887 na cidade de Campinas, e a Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo (CGG), cuja sede foi inaugurada em 1886 na própria capital do Estado.

Segundo assinalado por Dantes (2004), a CGG aliava os objetivos práticos à atividade científica, constituindo-se no primeiro espaço paulistano dedicado às ciências naturais.

> "Sua criação visava à resolução, por estudos científicos, de um problema que vinha afligindo de forma crescente os cafeicultores, a determinação de novas terras para o cultivo. Seu primeiro objetivo era, assim, descobrir áreas férteis a partir do levantamento das terras desconhecidas do Oeste do território paulista. (…) Mas, desde o início – ultrapassando esses objetivos mais pragmáticos –, atuou como um centro de estudos naturalistas, contemplando várias áreas científicas: botânica, zoologia, geologia, geografia, meteorologia" (Dantes, 2004, p.381).

Já no início do período republicano, ocorreu a criação, pelo governo do Estado de São Paulo, da Escola Prática de Agricultura "Luís de Queiroz", sediada em Piracicaba desde 1901, vindo posteriormente a tornar-se na principal faculdade de Agronomia do país. É importante ressaltar que sua atuação "estava diretamente integrada ao projeto de diversificação da agricultura regional, uma postura de incontestável importância face às recorrentes crises da economia cafeeira" (Szmrecsányi, 1996, p.9).

Com esse mesmo intuito de sustar fatores desestabilizadores da economia cafeeira, foram iniciadas as atividades do Instituto Biológico de Defesa Agrícola e Animal em 1927, na capital paulista, como "um dos desdobramentos das atividades de uma comissão de cientistas que trabalhou, de 1924 a 1927, na identificação e combate a uma praga que dizimava os cafezais paulistas" (Dantes, 2004, p.387) – ao inseto popularmente conhecido como "a broca do café".

A natureza ao mesmo tempo básica e aplicada da pesquisa científica então realizada pelo Instituto Biológico foi ressaltada por Szmrecsányi (1996, p.7), ao ser constatado que sua criação:

> "(...) procurou aliar objetivos científicos relacionados à defesa sanitária das culturas e dos rebanhos, com finalidades práticas como a produção de soros e vacinas, a orientação de campanhas de combate às epifitias e epizootias, a divulgação dos resultados das pesquisas efetuadas e outras formas de assistência técnica aos produtores. Devido ao alto nível de pessoal científico que conseguiu arregimentar, esse instituto não tardou a transformar-se no principal centro de pesquisas fitopatológicas do país" (Szmrecsányi, 1996, p.7).

Outra instituição que, além de se voltar à resolução de problemas aplicados[20], acabou se transformando em centro de pesquisa científica básica foi o Serviço Sanitário do Estado de São Paulo, criado em 1892 com o intuito de combater o avanço das epidemias que afligia várias localidades do Estado. As ações voltadas para a solução desse problema maior partiam de um conjunto de seções técnicas, inicialmente composto por quatro laboratórios – o Farmacêutico, o Vacinogênico, o de Análises Clínicas e o Bacteriológico. Além de atuarem como centros de formação de especialistas, esses laboratórios se transformaram nos primeiros centros de pesquisa médica em São Paulo.

As mesmas preocupações governamentais com a medicina social e a saúde pública se materializaram na criação de outras instituições importantes, tais como a Faculdade de Medicina e Cirurgia de São Paulo, o Instituto de Higiene, o Instituto Bacteriológico e o Vacinogênico (estes dois últimos desmembrados do próprio Serviço Sanitário), que juntas integravam uma infraestrutura científica de fundamental valia para o sucesso das políticas de saúde pública praticadas em São Paulo na Primeira República.

Nesse mesmo período, o início do ensino profissionalizante de engenharia em São Paulo se fez com a criação de sua Escola Politécnica, que coincidiu no tempo tanto com a já mencionada expansão da economia cafeeira no Estado, como com os processos de urbanização e industrialização que dela resultaram. Inclusive, foram esses complexos processos sociais e econômicos que engendraram diversas demandas à Escola Politécnica, então atendidas seja através da formação de profissionais especializados, seja por meio das pesquisas aplicadas que se voltavam à resolução dos problemas decorrentes de tais processos. Portanto, suas atividades, desde seus primórdios, caracterizavam-se "por um ensino de caráter eminentemente aplicado, e ao mesmo tempo, firmemente ancorado nas ciências exatas e experimentais, muito funcional tanto para a

[20]"Os problemas de saúde pública de São Paulo começaram a aflorar e a avolumar-se com a expansão da economia cafeeira, que, ao induzir a vinda de milhares de trabalhadores do exterior, contribuiu poderosamente para aumentar, adensar e redistribuir espacialmente a sua população. Esta passou, crescentemente, a localizar-se em áreas infestadas, insalubres e/ou sem a necessária infraestrutura e preparo para poder acolhê-la. Os problemas em questão, que se materializavam sob a forma de diversas epidemias, precisou ser solucionado com rapidez e eficiência, para não prejudicar a economia cafeeira, cuja expansão predominantemente horizontal e extensiva, não podia prescindir das entradas adicionais de trabalhadores imigrantes. Isto acarretava a necessidade de adoção de uma política sanitária capaz de erradicar por completo e definitivamente as epidemias, a fim de se poder continuar atraindo mais colonos estrangeiros para São Paulo, e também com vistas a mantê-los sadios e aptos ao trabalho" (Szmrecsányi, 1996, p.9).

formação de quadros como ao desenvolvimento de tecnologia para a indústria moderna" (Szmrecsányi, 1995, p.25). Apesar desses aspectos positivos, o mesmo ensino não deixava de ser principalmente livresco e a atividade de pesquisa básica, exígua. A Física, por exemplo, era entendida mais como uma matéria básica necessária ao ensino profissionalizante do que como uma ciência em si (Schwartzman, 1979).

Já sua pesquisa aplicada, desde o início, voltava-se a trabalhos relacionados à constituição e ao próprio funcionamento da infraestrutura urbana de transporte e energia. Nesse sentido, segundo ressaltado em Schwartzman (1979, p.113), a Escola Politécnica:

> "(...) trabalhava muito próxima das empresas responsáveis pelas construções ferroviárias, pela geração de energia elétrica e pelo sistema de bondes da cidade. O Laboratório de Resistência de Materiais da Escola era utilizado para o teste de equipamentos e materiais tanto para os setores ferroviário quanto para os de energia elétrica".

Esse mesmo laboratório, que em 1934 se desmembrou da Politécnica vindo a transformar-se em Instituto de Pesquisas Tecnológicas, também teve importante papel no processo de transferência da tecnologia do concreto, através da introdução de novos materiais e de novos processos construtivos nas obras de São Paulo. Ademais, a realização de testes e ensaios, além da adaptação e criação de tecnologias, acabaram levando à padronização, criação e adoção de normas técnicas no setor da construção civil, mais tarde, na década de 1940 (Gitahy, 1994).

Através dessa breve análise de alguns fatos que constituem a gênese da comunidade científica e tecnológica de São Paulo, verifica-se a veracidade da máxima defendida por Herrera (1976), segundo a qual o desenvolvimento científico e tecnológico tem sido uma consequência, e não a causa, das profundas transformações estruturais geradas pelo processo de desenvolvimento econômico, ainda que logo contribua de forma decisiva no acelerar dessas mudanças. A capacidade de uma sociedade para incorporar a ciência e a tecnologia como fatores dinâmicos de seu progresso depende de condições políticas, econômicas e sociais que a própria ciência não pode criar.

Passadas quatro décadas da proclamação da República e do início da realização de políticas ativas de ciência e tecnologia em seu território, São Paulo não apenas ostentava um significativo conjunto de institutos de pesquisa de renome nacional, com também abrigava uma rede de escolas superiores que, junto com a criação da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, iriam dar origem,

em 1934, à fundação da Universidade de São Paulo (USP).

Viabilizada por meio do esforço de alguns intelectuais ligados à elite paulista para fundar uma universidade que, além de perpetuar sua hegemonia econômica, fizesse de São Paulo um polo cultural a nível nacional, a criação da USP teve como *alma mater* a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, local onde seriam realizadas as pesquisas científicas puras, ou os "altos estudos desinteressados", inicialmente promovidas por uma equipe de renomados cientistas europeus (Schwartzman, 1979). Dessa experiência institucional ímpar no cenário científico nacional, conjugada com toda a infraestrutura científica e tecnológica construída ao longo da República Velha e anteriormente ressaltada, emergiu São Paulo como a principal Unidade da Federação em termos de produção de conhecimentos científicos e tecnológicos.

Nesse sentido, Szmrecsányi (1996) apontou que, desde a Segunda Guerra Mundial, a defasagem entre São Paulo e os demais Estados brasileiros só fez aumentar, através da criação em seu território de entidades como a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), e de mais duas universidades estaduais, além da própria fundação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) na cidade de São José dos Campos. Decerto, a liderança paulista em ciência e tecnologia se relaciona não somente à liderança econômica do Estado, como também à promoção de políticas públicas de investimento, "que contribuíram para que as instituições paulistas passassem a ter condições de funcionamento diferenciadas em relação ao contexto nacional" (Dantes, 2004, p.400).

CAPÍTULO 2 - O Interagir entre Ciência e Tecnologia no Desenvolvimento Histórico da Física Nuclear

2.1) A Problemática das Interações entre Ciência & Tecnologia

Repleta de matizes ideológicos, a problemática das interações entre ciência e tecnologia se difunde e ganha popularidade numa era em que essas duas entidades, essencialmente indissociáveis, atuam ativamente no desenvolvimento das forças produtivas da sociedade. Na atual civilização industrial, as palavras "ciência" e "tecnologia" se referem a dois complexos de atividades, conhecimentos, indivíduos, instituições e valores, cujos significados cambiantes se entrelaçam na busca pela compreensão de suas reais interações.

Possuidores de interesses essencialmente teóricos – sociólogos, economistas, filósofos e historiadores – têm formulado uma vasta e heterogênea literatura sobre a questão, largamente utilizada por aqueles responsáveis pela elaboração de políticas públicas de fomento à ciência e à tecnologia. Já os cientistas e engenheiros interpretam a relação em questão a partir de suas respectivas experiências de vida profissional. Por fim, situa-se o ideário popular, tecido por aqueles cujas vidas são cotidianamente afetadas pelo desenvolvimento científico e tecnológico.

Com base nos respectivos interesses, todos estes grupos sociais defendem seus próprios pontos de vista no debate, contribuindo com uma vasta gama de métodos e terminologias para a compreensão das interfaces entre ciência e tecnologia. Seus pontos de vista variam não apenas de acordo com a materialidade da produção da vida em sociedade, mas também com a mutabilidade da própria natureza das relações entre ciência e tecnologia face à mudança histórica[21].

[21] Sobre essa impossibilidade de traçar limites e congruências historicamente imutáveis entre ciência e tecnologia, Mayr (1976, p.670-671) argumentou que: *"Our words 'science' and 'technology', then, may have equivalents in other languages, but what these terms have meant to their users in various cultures and epochs has depended on the given realities of the moment. This historical relativity of the concepts again underscores the futility of our attempts to construct permanent and universal definitions of the two concepts. But such strictly philological problems do not exhaust the question. In addition, we should consider the values associated with the words. (...) The value ratings of the concepts 'science' and 'technology' are historical variables; this is reflected in the everyday language, in the public beliefs, and in the ideologies and philosophies of each historical era".*

Dentre os artefatos tecnológicos desenvolvidos ao longo do século XX, foi a bomba atômica que causou maior impacto sobre o imaginário coletivo. O Projeto Manhattan e sua inovação "lapidar" exerceram influência determinante sobre a concepção do processo inovativo no pós Segunda Guerra Mundial. A reação em cadeia da qual se originou a bomba atômica – física básica → desenvolvimento em larga escalar realizado em grandes laboratórios → aplicações e inovações (civis e militares), sejam de produto ou de processo – foi então tomada como o modelo padrão de desenvolvimento tecnológico pela "sabedoria popular" (Freeman, 1995). Especialmente endossado pelo influente relatório de Vannevar Bush, "*Science, The Endless Frontier*", o modelo linear dominou por quase três décadas o pensar sobre as interações entre ciência e tecnologia, servindo de base para o planejamento e a prática da política científica e tecnológica não só nos Estados Unidos, mas em vários outros países também tensionados pelo contexto da Guerra Fria.

Neste enfoque, de forma extremamente simplista, a ciência é concebida como uma força exógena prenhe de consequências, porém destituída de causas econômicas ou antecedentes, e a tecnologia como mera aplicação do conhecimento científico preexistente. Daí a estrutura do modelo linear ser pautada em duas máximas, referentes à natureza da pesquisa básica. A primeira afirma que a realização da pesquisa básica não envolve fins práticos, ou seja, seu principal objetivo é o entendimento da natureza e de suas leis gerais. O cientista poderia até mesmo perder sua criatividade se indicasse prematuramente qualquer utilidade prática de suas pesquisas. A segunda máxima aponta para o fato da pesquisa básica ser a precursora do progresso tecnológico. Neste sentido, Stokes (2005, p.19) mencionou que:

> "A visão de Bush do relacionamento entre a ciência fundamental e a inovação tecnológica continha um elemento adicional estritamente ligado a seu segundo cânone da pesquisa básica – o de que aqueles que investem em ciência básica obterão seu retorno em tecnologia à medida que os avanços da ciência forem convertidos em inovações tecnológicas pelos processos de transferência de tecnologia. Ele exprimiu essa crença de maneira tortuosa, dizendo que 'a nação que depende de outras para obter seu conhecimento científico básico novo será lenta em seu progresso industrial e fraca em sua situação competitiva no comércio mundial'".

Uma das visões críticas ao modelo linear pertence a Rosenberg (2006), ao apontar o caráter endógeno da ciência através da identificação de algumas cadeias causais que, mediadas pela tecnologia, estendem-se da vida econômica até a ciência e vice-versa. Uma dessas causalidades defendidas se baseia no fato do conhecimento tecnológico preceder o conhecimento científico, não só em épocas passadas, mas também no presente.

> "Em vista disso, a tecnologia tem servido como um imenso repositório de conhecimentos empíricos a serem analisados e avaliados pelo cientista. Ainda está longe de ser incomum que os engenheiros, em muitos ramos, resolvam problemas para os quais não há explicações científicas, e que a solução da engenharia dê origem a pesquisas científicas subsequentes que em algum momento forneçam uma explicação" (Rosenberg, 2006, p.219-220)

Um outro tema central na argumentação de Rosenberg está na importante influência exercida pelo progresso tecnológico sobre a formulação da agenda posterior da ciência, pois "uma grande quantidade de pesquisas científicas tende a ser empreendida com a intenção consciente de proporcionar ao conhecimento acréscimos percebidos como essenciais para a exploração da nova tecnologia", então portadora de altos retornos potenciais (Rosenberg, 2006, p.234). Daí ser essencial compreender um grande avanço tecnológico não como ponto final de uma cadeia causal, mas como o marco inicial de uma série de novos desenvolvimentos de grande importância. Nesse sentido, Rosenberg (2006, p.224) enfatizou que "a trajetória natural dos melhoramentos tecnológicos identifica e define os limites de novos melhoramentos, o que, por seu turno, orienta o foco da pesquisa científica subsequente".

Discutida por Stokes (2005), uma outra debilidade do modelo linear está no estabelecimento da mútua exclusão entre a pesquisa básica e a pesquisa aplicada, ou seja, reside na impossibilidade das metas de entendimento fundamental e de utilização prática do conhecimento serem atingidas simultaneamente em uma só pesquisa. Ao dar como exemplo o trabalho de pesquisa de Pasteur, direcionado tanto ao entendimento dos processos microbiológicos que descobriu como ao controle de tais processos em vários produtos, em animais e seres humanos, Stokes (2005) apontou para a existência de pesquisas que buscam não só expandir as fronteiras do entendimento, mas que também são inspiradas por considerações de uso, assim destruindo um dos pilares de sustentação do modelo linear.

Ainda sobre os problemas oriundos da diferenciação firmada, em categorias estanques, entre as pesquisas básica e aplicada, Rosenberg (2006, p.225) enfatizou a dificuldade de se estabelecer tal distinção, pois:

> "progressos fundamentais frequentemente ocorrem enquanto se está trabalhando em problemas práticos aplicados. Tentar traçar essa linha de separação com base nos motivos da pessoa que realiza a pesquisa – se existe uma preocupação com a obtenção de informação útil (aplicada) em oposição a uma busca puramente desinteressada de novo conhecimento (básica) – representa, na minha opinião, uma busca sem perspectiva de sucesso. Quaisquer que sejam as intenções *ex ante* ao empreender a pesquisa, o tipo de conhecimento realmente adquirido é

altamente imprevisível".

Através da análise dos discursos feitos por notórios engenheiros e cientistas norte-americanos entre 1880 e 1945, Kline (1995) observou que foi no adjetivo "aplicado" que se depositou um vasta gama de significados, a partir dos quais eram construídas as ideologias sobre as interações entre ciência e tecnologia. Os cientistas se utilizavam do argumento da dependência epistemológica da ciência aplicada com relação à ciência pura a fim de conquistarem o apoio financeiro necessário às suas atividades de pesquisa. Por sua vez, os engenheiros se auto-intitulavam como "cientistas aplicados" no intuito de elevarem seu *status* profissional a um nível superior ao das artes mecânicas, numa época em que a ciência adquiria crescente prestígio da imprensa e ampla utilização na indústria.

O essencial a ser destacado é o não delinear das fronteiras entre o puro e o aplicado que se verificou, após a Primeira Guerra Mundial, no discurso de alguns cientistas, em especial no dos experimentais. O físico Ernest Lawrence, consagrado pelo desenvolvimento do acelerador de partículas Ciclotron, é citado por Kline (1995) como um experimental que admitia a mútua interação entre ciência e tecnologia através da instrumentação.

Compartilhando da mesma visão de Lawrence, Solla Price[22] (1984) argumentou, embasado em diversos exemplos históricos, que os avanços na instrumentação e nas técnicas experimentais – o que ele denominou de instrumentalidades – têm sido de grande importância em estimular e possibilitar tanto avanços decisivos nas ciências básicas quanto inovações radicais nas aplicações práticas. Não existe, segundo o autor, uma sequencia linear traçada da ciência básica[23] para a tecnologia via ciência aplicada – o básico e o aplicado estão ligados inseparavelmente pela tecnologia através das técnicas dos experimentais e inventores. Sobre as técnicas da ciência, Price

[22]Antes de se notabilizar por seus trabalhos em história da ciência e da tecnologia, Derek de Solla Price estudou Física e Matemática na Universidade de Londres, obtendo desta mesma instituição seu Ph.D. em Física Experimental em 1946. Decerto, esta iniciação nas ciências experimentais moldou sua concepção de prática científica como estreitamente ligada à tecnologia por meio dos instrumentos científicos.

[23]Dentre as várias definições do "básico" e do "aplicado", destaquemos as de Solla Price (1984, p.7), segundo o qual a ciência aplicada seria *"an attack by the methods of science on a particular technology. When we study the world of nature, the result is basic science. The English call it "pure" science, but that is a backhanded put-down, since by implication any other sort of science is dirty, sullied, and impure. When we study the artifactual world of techniques, the result is applied science. It can therefore be seen that the common view, in which basic science is directly applied to technology by inserting a stage labeled "applied science" is incorrect. The arrow of derivation runs from the technology to applied science, not the other way around".*

(1984, p.13) enfatizou que:

> *"they are not of themselves part of the knowledge system of science. They are clearly technology, an understanding of the way to do things, and often in their beginning, as with the telescope and voltaic pile, no one properly understands how and why they do work as they do, but only that they work and that they produce something new. We need a new term for these important techniques that help make new science. It will not do to call them instruments. (...) I advocate the use of the term instrumentality to carry the general connotation of a laboratory method for doing something to nature or to the data in hand".*

Se as técnicas da ciência não fazem parte de seu próprio sistema de conhecimento, passíveis de serem absorvidas no ambiente tecnológico formado por um sistema industrial local, então a prática científica experimental se torna endógena ao progresso técnico, isto é, ao desenvolvimento econômico. Daí a possibilidade de se fazer uma história econômica da ciência e da tecnologia, ao incorporar na narrativa novos elementos de natureza econômica,

> "capazes de melhor iluminar não apenas o mútuo relacionamento de ambas, mas também o contexto em que elas se desenvolvem, e o próprio sentido da evolução de cada uma. (...) Na verdade, tanto no caso da ciência como da tecnologia, é o desenvolvimento econômico que tem proporcionado, além dos meios materiais necessários para o progresso de ambas, muitos dos estímulos orientadores do seu direcionamento e das variações de sua intensidade" (Szmrecsányi, 2000, p.400-1).

Ademais, além de propiciar a junção da história da ciência e a da tecnologia em uma única narrativa, a análise histórica da cultura material das ciências nos traz um melhor entendimento sobre a prática científica estabelecida nos laboratórios, moldada pelo trabalho dos experimentais, teóricos, engenheiros e construtores de instrumentos, socialmente imersos na civilização industrial (Gordaroulis, 1994). É essa compreensão das instrumentalidades por meio da história econômica a opção ideológica norteadora do presente estudo.

O desenvolvimento histórico da física nuclear pode ser tomado como um dos melhores exemplos contestadores do modelo linear. Apesar de existirem evidências de que a física nuclear teórica e a experimental sejam duas disciplinas científicas relativamente autônomas entre si[24], ou mesmo de suas intrincadas interações, pode-se afirmar, no geral, que a teoria fenomenológica da

[24]Sobre a historiografia da física nuclear, Hughes (2000b, p.518) apontou que *"the role of experiment often remains in the background, for example, and the development of instrumentation is shown as essentially progressive and unproblematic. Instruments such as the Geiger counter or the Wilson cloud chamber are often seen as relatively straightforward windows on to nature, and tend to feature in terms of their contribution to the development of theory, when there is actually much evidence to suggest that experimental and theoretical nuclear physics have been relatively autonomous scientific disciplines".*

física nuclear tem sido guiada pela prática experimental. De fato, os responsáveis pela detecção de novas partículas ou novos fenômenos nucleares, pelo acesso a novos domínios do conhecimento, são, sem dúvida, as novas tecnologias empregadas no desenvolvimento de uma instrumentação nova ou aprimorada (Schweber, 1997). Daí a possibilidade de refutar o modelo linear com o desenvolvimento histórico de uma ciência de base tecnológica, como é o caso da física nuclear. Tal é o propósito das páginas a seguir.

2.2) A Física Nuclear e suas Práticas Materiais

Poucas vertentes das ciências físicas exerceram tanto impacto sobre a sociedade e o imaginário popular do Século XX quanto a radioatividade e suas ramificações disciplinares. Impacto este também extensivo ao próprio desenvolvimento interno das ciências físicas, por marcar sua passagem do clássico ao moderno. Ao tornar a noção de verdade relativa, sua função de criar uma visão de mundo unificada foi perdida, fazendo despontar desta mudança paradigmática uma nova mecânica, a quântica, e com ela o indeterminismo e uma crise do princípio da causalidade (Osietzki, 1994).

Com sua ênfase na estrutura elétrica interna à matéria e suas explicações sobre as propriedades atômicas e moleculares através das forças e partículas subatômicas, a radioatividade transformou tanto a química quanto a física, fazendo emergir duas novas disciplinas científicas – a física nuclear e a dos raios cósmicos. Posteriormente, a partir dessas duas erigiu, na segunda metade do Século XX, aquela que seria um dos símbolos da *Big Science* – a física de altas energias. O que cria um *continuum* entre todos esses desdobramentos disciplinares da radioatividade reside nas tradições experimentais mantidas por seus praticantes.

No início do século XX, partindo de diferentes combinações de habilidades químicas e físicas, poucos eram os grupos que se debruçavam no estudo sistemático das propriedades das novas substâncias radioativas – os "Curies" em Paris; Ernest Rutherford e Frederick Soddy na McGill University, em Montreal; Julius Elster e Hans Geitel em Wolfenbüttel, na Alemanha; Stefan Meyer e Egon von Schweider em Viena; e outros poucos na Europa e nos Estados Unidos. Esses

trabalhos iniciais buscavam caracterizar as radiações emitidas pelas novas substâncias através de seu comportamento em campos eletromagnéticos e seus efeitos elétricos medidos por eletroscópios e eletrômetros.

Pela própria origem da radioatividade estar atrelada aos trabalhos do físico parisiense Antoine Henri Becquerel, a França foi não só o primeiro centro de estudos como também liderou a produção industrial de fontes radioativas naturais empregadas no trabalho experimental da área. O entusiasmo pelos raios-X descobertos pelo alemão Wilhelm Conrad Röntgen levou Becquerel a observar, em 1896, que os sais de urânio produziam uma radiação análoga às dos raios-x e capaz de impressionar chapas fotográficas. Uma série de trabalhos sobre a radiação do urânio seguiu os de Becquerel, com destaque para os de Marie Curie e seu marido Pierre Curie. Os Curies não só se ativeram ao urânio, como também descobriram elementos muito mais radioativos que ele, dentre os quais se destacam o polônio e o rádio.

Ansiosa tanto em promover quanto em controlar o campo no qual ela e seu marido eram os líderes, Marie Curie rapidamente desenvolveu um processo industrial de extração para o rádio, atribuindo sua execução à empresa francesa Société Centrale de Produits Chimiques. Na Alemanha, Friedrich Giesel, da companhia química Buchler & Co, também começou a produzir materiais radioativos para venda no início de 1903. Instaurou-se assim um mercado para o rádio, impulsionado pela demanda crescente tanto dos pesquisadores experimentais como daqueles desejosos em aplicar as novas substâncias radioativas na medicina.

Dentro do que Hughes (2003) denominou de “economia política do rádio”, a habilidade de produzir resultados estáveis e confiáveis dependia tanto da quantidade e da qualidade do material radioativo à disposição dos experimentais quanto do poder de conquistá-lo para o laboratório. Por exemplo, foi com o brometo de rádio disponível comercialmente que os químicos ingleses Frederick Soddy e William Ramsay demonstraram, através de seus trabalhos em espectroscopia, que a radiação alfa emitida pelo rádio se transformava em hélio.

Uma significativa alteração na “geografia da radioatividade” ocorreu, em 1907, com o retorno de Ernest Rutherford à Inglaterra, inicialmente assumindo o cargo de professor de física experimental na Universidade de Manchester e, posteriormente, no Cavendish Laboratory da

Universidade de Cambridge. Enquanto os Curies seguiam fortemente a tradição positivista, atendo-se aos dados experimentais sem mais incursões em abstrações teóricas, Rutherford – treinado na física ionista de Cambridge – promoveu um enfoque teórico reducionista no estudo da radioatividade. Extremamente produtivo em articular uma descrição abstrata e explicativa do fenômeno da radioatividade, Rutherford iniciou seus trabalhos com a teoria da transmutação atômica, culminando, em 1911, no modelo nuclear. Para ele, o embasamento epistemológico da radioatividade estava firmemente atrelado ao trabalho de laboratório, e os conceitos e artifícios da matemática deveriam ser subjugados às técnicas práticas da experimentação (Hughes, 1998a).

Laureado com o Prêmio Nobel de química em 1908, Rutherford se tornou autoridade máxima em radioatividade a nível mundial. Ao obter acesso a uma grande quantidade de material radioativo fornecido pela Academia de Ciências de Viena, através de Stefan Meyer, o Grupo de Manchester obteve uma série de novos resultados, incluindo neles a identificação espectroscópica da partícula alfa com o núcleo de hélio ionizado, realizada por Rutherford e Royds.

No decorrer da Primeira Guerra Mundial, Rutherford iniciou uma nova linha de experimentos, ao bombardear núcleos mais leves com partículas alfa emitidas por elementos radioativos, assim inaugurando um novo estilo de argumentação baseado na constatação de que todas as medições e interações físicas poderiam ser consideradas como processos de espalhamento. Terminado o conflito bélico, Rutherford fez do Cavendish Laboratory o principal centro mundial de estudos nucleares, agregando ao seu redor um pequeno grupo de físicos que, dentro dos métodos relativamente baratos da pesquisa nuclear da época, eram criativos no desenvolvimento de experimentos de desintegração e espalhamento.

Apesar de ser um centro irradiador de novas técnicas experimentais, o Cavendish Laboratory ainda era dependente das fontes radiativas naturais para a aquisição de dados nucleares. Naquela época, a fonte radioativa mais intensiva e monopolizada pelos Curies era o rádio, cuja oferta pequena refletia em seu elevado preço. Já as fontes que estavam em posse de Rutherford emitiam tal baixa intensidade de raios alfa, beta e gama que uma análise acurada dos resultados do bombardeamento nuclear era visivelmente difícil. As limitações em termos de energia e intensidade prejudicavam especialmente os experimentos de desintegração (Kevles, 1995).

Em Viena, outras fontes de radiação começaram a ser estudadas. Dirigido por Stefan Meyer, o Institut für Radiumforschung iniciou suas atividades em 1910, agregando uma variedade de pesquisas, dentre as quais destaca-se o trabalho em radiação atmosférica desenvolvido por Vitor Hess, revelador da existência de radiação penetrante na atmosfera, posteriormente denominada de "raios cósmicos".

Com o aumento da visibilidade pública da radioatividade veio o crescimento do número de pessoas dispostas a pesquisar nesse campo. E em decorrência do maior número de pesquisadores e da variedade de seus trabalhos, novos jornais especializados começaram a demarcar as fronteiras da disciplina emergente, a exemplo do *Le Radium* (1903), do *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* (1904) e do inglês de curta duração *Ion: A Journal of Electronics, Atomistics, Ionology, Radioactivity and Raumchemistry* (1908). Longe de serem instâncias sociais de um internacionalismo benigno, numerosos congressos, inaugurados pelo de Solvay em 1911, tornaram-se essenciais na criação de uma cultura material e de um mundo cognitivo difusos entre os praticantes da radioatividade, especialmente através da negociação de padrões e unidades de medida (Hughes, 2003).

Entre os anos 1928 e 1933, uma diversificação na prática teórica e experimental permitiu que vários grupos novos entrassem no campo da pesquisa nuclear. Ao contrário daqueles atuantes nesse campo desde seus primórdios, os novos pesquisadores não se identificaram com as tradições da radioatividade, denominando sua própria linha de pesquisa de "física nuclear". Promovida pelo grupo de Enrico Fermi em 1931, a conferência de Roma dedicada à *Fisica Nucleare* denota um "senso emergente de identidade disciplinar". Tal senso demarcou um novo espaço disciplinar, agregando, dentre outros, uma série de premiados com o Nobel de física na década de 1930 – Heisenberg (1932), Chadwick (1935), Fermi (1938), Lawrence (1939) – o que assinala uma crescente importância da física nuclear em setores importantes da comunidade científica (Hughes, 2003).

De fato, o processo de expansão e consolidação de uma comunidade internacional de físicos nucleares não foi apenas consequência de fatores sociais, mas da conjugação destes com os de caráter material. Conforme observou Hughes (2000a), em virtude das novas tecnologias da prática experimental estarem baseadas em habilidades amplamente distribuídas pela sociedade industrial,

novos pesquisadores puderam entrar no campo da física nuclear, que, por volta de 1930, estavam distribuídos, dentre outros, nos novos grupos de Berkeley, Washington, Roma, Berlin e Halle. Por exemplo, as mesmas habilidades usadas por milhares de amadores e entusiastas por rádios na construção e modificação de circuitos sem fio poderiam ser utilizadas, em um laboratório de física, na construção de circuitos para contadores elétricos de partículas.

É nesse ponto que se insere a tecnologia eletrônica como introdutora de um novo conjunto de instrumentos, praticas experimentais e estruturas industriais na sociedade do século XX. Com seu início no desenvolvimento da transmissão sem fio, esse campo de pesquisa notavelmente fundiu as práticas de laboratório com a tecnologia industrial. A criação dos tubos eletrônicos permitiu grandes avanços na tecnologia de cabos, rádio e *wireless,* solucionando três dos principais problemas concernentes aos primeiros instrumentos elétricos e eletromecânicos construídos em fins do século XIX – as dificuldades de amplificar um sinal fraco, de converter uma corrente alternada fraca em uma direta e de gerar sinais de alta frequência.

Por volta de 1920, os amplificadores de corrente direta emergiam como um elemento de grande importância nos ambientes laboratoriais e industriais. Especialmente após 1930, as válvulas encontraram muitos outros usos além daqueles em comunicações e os componentes eletrônicos começaram a ser destinados às aplicações em medida e controle. Circuitos complexos e válvulas especiais começaram a ser comumente utilizados na produção de aparelhos estáveis, duráveis e seguros em virtude dos melhoramentos empreendidos no design de circuitos e na fabricação das válvulas.

Estritamente associada à produção das válvulas a vácuo, outra tecnologia essencial tanto nas indústrias como nos laboratórios do século XX foi, e ainda é, a tecnologia do vácuo. Com o desenvolvimento das válvulas a vácuo, as teorias do mundo microscópico começaram a desempenhar um papel cada vez mais essencial na construção dos instrumentos. Entretanto, a explosão dessa nova geração de instrumentos só foi possível através da produção industrial em larga escala de válvulas a vácuo, então estimulada pelos diferentes usos encontrados pelas mesmas na Segunda Guerra Mundial (Brenni, 1997).

Durante as décadas de 1920 e 1930, a maior parte do material empregado nas investigações do Cavendish Laboratory era, de uma forma ou de outra, produzida pela indústria, o que demonstra uma certa dependência estrutural perante o progresso técnico. As bases materiais da física nuclear englobavam uma ampla gama de produtos industriais – de baterias, resistores, capacitores, medidores, solventes para limpar aparelhos, passando por eletrômetros, eletroscópios, câmaras de nuvens, bombas de vácuo e materiais radioativos, até chegar nos aceleradores de partículas, equipamentos de baixa temperatura, eletroímãs – sem os quais sua existência seria inviabilizada (Hughes, 1998b).

O importante a se destacar é que o progresso técnico alcançado pela indústria eletroeletrônica britânica não encontraria aplicabilidade no cenário da pesquisa nuclear sem a existência de uma *wireless culture* nutrida pelos radioamadores, socialmente disseminada e formadora de indivíduos aptos a adaptar, modificar e combinar criativamente tais produtos industriais nos experimentos de desintegração. Por outro lado, a adoção gradual, na década de 1930, das novas tecnologias eletrônicas pela física nuclear experimental – materializadas nos contadores Geiger, nos amplificadores de válvula, nos circuitos eletrônicos de contagem e nas câmaras de Wilson – ocorreu, em parte, como uma reação às controvérsias que pairavam, desde a década anterior, sobre o método de contagem de partículas baseado nas cintilações.

Método dominante nos experimentos de desintegração ao longo da década de 1920 em Cambridge, a técnica das cintilações demandava certas condições especiais para sua execução, durante a qual os fragmentos resultantes da desintegração de um núcleo atingiam uma tela de sulfato de zinco, causando minúsculos *flashes* de luz ou "cintilações" então contadas através de um microscópio. O primeiro e mais importante item do protocolo rigoroso a ser seguido, e que garantia sua integridade, era a execução do experimento em uma sala escura, preferencialmente à noite. Para que seus olhos se acostumassem com o ambiente sem luz, o observador deveria permanecer na escuridão por aproximadamente 20 minutos antes de começar a fazer as contagens. Devido às dificuldades de continuar o processo de contagem por mais de 2 minutos, pois os olhos ficavam rapidamente fatigados, eram recomendados frequentes períodos de descanso ao observador. Como era necessário que se aplicasse tempo na adaptação dos olhos na escuridão, duas pessoas eram demandadas, uma para remover a fonte de radiação e fazer os ajustes experimentais e outra para fazer a contagem. O método era trabalhoso, mas compensador na época, pois poucas técnicas então

disponíveis poderiam fornecer informações comparáveis sobre a estrutura interna do átomo. E foi com o método das cintilações que Cambridge estabeleceu sua liderança nos estudos experimentais sobre o núcleo atômico.

Entretanto, em 1923, a hegemonia de Cambridge nos experimentos de desintegração foi desafiada com a entrada do Institut für Radiumforschung de Viena no ramo das cintilações, cujos resultados experimentais alcançados por Hans Pettersson e Gerhard Kirsch diretamente contradiziam aqueles encontrados por Rutherford e seu suplente James Chadwick em mais de quinze anos de trabalho. Iniciou-se assim uma disputa longa, áspera e crescentemente pública entre os pesquisadores de Cambridge e Viena, focada nos protocolos e nos méritos relativos aos instrumentos e arranjos experimentais utilizados por cada grupo. A questão girava em torno de qual dos dois protocolos era o melhor e o impasse continuou até a substituição gradual das cintilações por métodos eletrônicos de contagem, mais confiáveis e de mais fácil replicação, ao eliminarem os erros derivados da observação humana e dos protocolos rigorosos então seguidos.

Uma segunda controvérsia, formada principalmente entre Charles Ellis do Cavendish Laboratory e Lise Meitner de Berlin, em torno da natureza e explicação do espectro da radiação-β, corria em paralelo com a de Cambridge-Viena. Nesse caso, o debate era centrado na interação conplexa entre a modelagem atômica e os dados experimentais, englobando também as técnicas experimentais. Assim como na controvérsia da desintegração, a controvérsia da radiação-β, ao lançar dúvidas sobre as técnicas chave da pesquisa em radioatividade, foi fonte de uma ansiedade profunda entre os envolvidos, ocasionando uma crise de certeza aos obstinados em dar algum sentido ao complexo universo do núcleo atômico.

Esse ambiente de incertezas criado por estas controvérsias, além de ter levado à utilização dos métodos eletrônicos de contagem, gerou uma redefinição do papel da teoria matemática dentro da própria tradição experimental. Formadora de uma posição de indiferença, ceticismo e até mesmo de hostilidade com relação à mecânica quântica no início da década de 1920, uma cultura experimental então fortemente enraizada no Cavendish Laboratory adquiriu novos valores, passando a aceitar a teorização matemática da estrutura nuclear já em fins da mesma década. Informados pelas recentes ideias sobre o comportamento da radiação e da matéria desenvolvidas pela mecânica quântica de Schrödinger, Dirac, Heisenberg, Gamow, Bohr e outros, os físicos

começaram a ver o núcleo não simplesmente como um conglomerado de partículas, mas como um fenômeno quântico complexo. Formou-se assim uma nova divisão do trabalho entre teóricos e experimentais na física nuclear, diferente daquela verificada em sua predecessora, a radioatividade.

A mecânica quântica rapidamente se tornou um elemento central na pesquisa nuclear, não somente como uma descrição matemática do núcleo, mas como fonte de predições a serem testadas pelos experimentais em suas práticas de laboratório e como base para linhas de pesquisa completamente novas. O novo entendimento do núcleo incorporado na mecânica quântica permitiu aos experimentais tanto reinterpretar os resultados existentes como redirecionar suas pesquisas a fim de explorar novos fenômenos, tal como a ressonância.

Pode-se atribuir essa rápida transformação da pesquisa nuclear experimental em Cambridge e outros lugares, em especial, aos trabalhos do jovem físico teórico russo George Gamow. Com as controvérsias anteriormente destacadas servindo de contexto, o trabalho teórico de Gamow ofereceu novos meios de se entender a desintegração radioativa, constituindo-se em fonte potencial a ser utilizada na interpretação do fenômeno da desintegração artificial[25].

A receptividade dos físicos experimentais de Cambridge à teoria quântica do núcleo de Gamow dependeu nem de sua verdade auto evidente nem de sua familiaridade, mas, entretanto, de sua utilidade. Desse episódio, Hughes (1998a) inferiu que, em um tempo de crise epistemológica, a mecânica de ondas forneceu novos recursos interpretativos que se mostraram significativos ao oferecer novos meios de se seguir em frente, fazendo das controvérsias experimentais da década de 1920 algo irrelevante. A apropriação do trabalho de Gamow pelos experimentais de Cambridge

[25]Sobre o trabalho de Gamow e sua aproximação com os resultados obtidos pelas pesquisas realizadas em Cambridge, Hughes (1998a, p.351-2) destacou que: *"He quickly found a way to apply the tools of wave mechanics to Rutherford's model, and developed a theory of radioactive α-decay based on the new mathematical techniques. (...) Published on 24 November 1928, Gamow's letter reviewed the earlier work on tunnelling, then offered a brief analysis of the probabilities of penetration of the nuclear potential barriers of the elements by incident α-particles from ThC' and RaC'. He pointed out the 'most satisfactory agreement' between his predictions and Rutherford's observation, and stressed that it was 'quite impossible to bring the theory into agreement with the observations of Pettersson and Kirsch, which not only show numbers of disintegration ten or more times as great as Rutherford's light elements, but also show a considerable probability of disintegration for elements as heavy as iron' – something effectively ruled out by Gamow's calculations. In a fuller account submitted to the Zeitschrift für Physik on 10 November, Gamow extended his analysis to the probability of nuclear penetration by the α-particles of polonium, then beginning to be used with electrical counters in artificial disintegration work. He found that these results, too, were in agreement with the Cambridge experiments (and with those of Bothe and Fränz), but stood in 'fragrant contradiction' to those of the Viennese, as he pointedly emphasized".*

simultaneamente salvou seu programa de pesquisa e legitimou o de Gamow.

Além de ter possibilitado a reinterpretação do decaimento radioativo e da própria constituição nuclear, o trabalho de Gamow também contribuiu para uma linha de pesquisa emergente no Cavendish Laboratory, centrada no desenvolvimento técnico de um acelerador linear para a produção artificial de partículas rápidas. Mantendo estreitos vínculos com a indústria elétrica britânica e tendo como integrantes Ernest Walton e John Cockcroft, este programa de pesquisa contou com a participação de Gamow a partir de 1929, quando ele, em mais uma de suas visitas a Cambridge, trouxe consigo uma série de gráficos e cálculos ainda não publicados sobre a penetração da barreira potencial nuclear por partículas positivamente carregadas. Discussões entre Gamow e Cockcroft[26] produziram uma série de cálculos indicando uma probabilidade de 6 em 1000 para que prótons de alta energia (300 kV) fossem capazes de penetrar na barreira nuclear e causar uma desintegração[27].

Realizada com sucesso por Walton e Cockcroft na primavera de 1932, a desintegração do núcleo de lítio com o uso de prótons acelerados artificialmente por uma máquina de alta voltagem inaugurou uma nova era na física nuclear, na qual os experimentais não mais dependiam da ocorrência natural de partículas-α, então utilizadas como projéteis nos experimentos de espalhamento. A "economia política do rádio" cedeu seu lugar a uma outra associação entre conhecimento e poder, fortemente atrelada ao progresso técnico alcançado pela civilização industrial. Iniciou-se, a partir daí, um novo modo de produção do conhecimento físico, tanto realizado em larga escala como intensivo em capital e tecnologia.

O essencial a ser destacado sobre as origens dos aceleradores de partículas na década de

[26]Filho de um industrial do ramo têxtil algodoeiro, o inglês Sir John Douglas Cockcroft (1897 - 1967) nunca demonstrou interesse pelos negócios de sua família, dando preferência às ciências exatas. Após ter cursado matemática na Universidade de Manchester, Cockcroft ingressou no College of Technology, da mesma cidade, para estudar engenharia elétrica. Concluído este curso, trabalhou como engenheiro na Metropolitan-Vickers Electrical Company, com a qual manteve estreitos vínculos ao longo de sua posterior carreira acadêmica (Boorse *et al.,* 1989).

[27]Sobre essa interação prenhe de conseqüências entre a teoria matemática abstrata e a instrumentação em física nuclear, (Hughes, 1998a, p.356) assinalou que: *"development work therefore began to concentrate on the acceleration of protons a la Gamow. The culmination of Cockcroft and Walton's work in the successful disintegration of lithium nuclei using artificially accelerated protons in the spring of 1932 was much more than the triumph of technique which its key protagonists and their publicists portrayed it as: it was also a massive vindication of the new covenant between abstract mathematical theory and machine physics, and a stunning exemplar of fruitfulness of the new mechanics in providing resources for the hitherto embattled experimentalists".*

1930 é que elas não podem ser simplesmente reduzidas, a partir de uma perspectiva internalista, a impulsos científicos, mas também devem ser interpretadas como um produto criado por determinada fase da civilização ocidental. O significado dos instrumentos científicos de uma disciplina não pode ser meramente confinado ao espectro técnico ou científico de sua performance.

No caso dos aceleradores de partículas, sua relevância para a produção do conhecimento desafiou os tradicionais critérios de eficiência do trabalho científico. A produtividade de um instituto de pesquisa no domínio da física nuclear deixou de ser apenas uma função das qualificações de seu grupo de pesquisadores, passando a agregar uma nova variável – os equipamentos técnicos. Evidentemente, essa modificação nos critérios avaliativos da produtividade científica diretamente incidiu na estrutura da competitividade científica a nível internacional (Osietzki, 1994).

Foi nesse novo contexto, em plena a Grande Depressão, que a física norte-americana iniciou sua liderança mundial. Da junção entre ciência "pura", tecnologia e engenharia – então gerida e mitigada por Ernest Lawrence[28] – emergiu, na década de 1930, o Radiation Laboratory como centro nacional e internacional da ciência nuclear. Dispondo de uma excepcional infraestrutura industrial e humana existente na Califórnia daquela época, Lawrence e o ciclotron deram maior prestígio à física norte-americana.

A indústria eletroeletrônica, além de propiciar o ambiente tecnológico adequado à construção do ciclotron, ofereceu o *pool* de trabalhadores por ela fomentado – muitos dos físicos e engenheiros que trabalhavam nos laboratórios da Southern California Edison Company, Westinghouse e General Electrics vieram a trabalhar com Lawrence no Radiation Laboratory. A transmissão de alta voltagem, central ao desenvolvimento da geração de energia hidroelétrica na Califórnia do início do século XX, constituiu-se na primeira tecnologia significativa para o progresso do Radiation Laboratory. Seu desenvolvimento envolveu o California Institute of Technology e a Universidade de Stanford, gerando a perícia e o *know-how* posteriormente

[28] *"Adoption of such scale in scientific instrumentation brought Lawrence into closer touch with the culture of the larger industrial technology of his time, first as a supplicant later as a taskmaster. (...) His growing comfort with the captains of industry reflected many shared values: the esteem of growth as a end, a respect for the power and finance, the faith in applications of science, and the appreciation of the art of marshaling capital, labor and knowledge to build new enterprises"* (Seidel, 1992, p.36).

apropriados por Lawrence.

A tecnologia de rádio, também presente no ambiente tecnológico californiano e aplicada na construção do ciclotron, permitiu o uso de campos elétricos de radiofrequência no acelerar dos prótons e de um enorme ímã para curvar sua trajetória em grandes círculos. Tal ímã, desenvolvido pela Federal Telegraph Company de Palo Alto para gerar ondas de rádio intercontinentais, foi reconfigurado pela Pelton Waterwheel Company de São Francisco no intuito de atender as necessidades técnicas do ciclotron (Seidel, 1992).

Através de sua popularidade adquirida no Radiation Laboratory, o ciclotron atingiu tamanho *status* que, aparentemente, não precisaria ter aplicações práticas para legitimar-se. Devido ao seu significado simbólico, basicamente calcado no termo "competição", ter um ciclotron era meta desejável por qualquer instituto de pesquisa, pois garantiria ao seu possuidor uma distinção e, *a priori*, uma posição de liderança no domínio da física nuclear.

Baseado na imagem do ciclotron como mais eficiente que o rádio no tratamento do câncer, o discurso firmado em torno de suas aplicações médicas representou uma mediação entre ambições científicas e industriais (Osietzki, 1994). Enquanto a terapia de nêutrons empregada na cura do câncer garantia ao Radiation Laboratory recursos financeiros oriundos do governo, de entidades filantrópicas e até mesmo da Fundação Rockefeller, abrindo novas possibilidades de se utilizar ciclotrons cada vez maiores na produção em massa de radioisótopos, seus resultados práticos eram desapontadores e, no pior dos casos, desastrosos aos pacientes (Seidel, 1992).

De fato, a existência prévia de um mercado para os elementos radioativos naturais e de um amplo interesse industrial na aplicação das descobertas realizadas pela física nuclear fez com que as rivalidades internacionais se acirrassem ainda mais no decorrer dos anos 1930, principalmente entre Lawrence e Fermi. Seguindo os preceitos da política científica fascista, ambiciosa em aumentar o número das invenções patenteadas feitas na Itália, Fermi registrou imediatamente sua descoberta do método de moderação dos nêutrons, sendo extremamente reticente em comunicar a seus pares os resultados de suas pesquisas que poderiam ter algum valor comercial. O método de Fermi era aparentemente promissor na produção de elementos radioativos artificiais mais baratos e variados, úteis ao diagnóstico e tratamento médico. Apresentada em Turchetti (2006), essa competição

internacional então existente entre os grupos de pesquisa, produtores de conhecimentos em seus contextos locais, demonstra perfeitamente as ligações estabelecidas entre as descobertas científicas e o mundo da indústria e dos negócios.

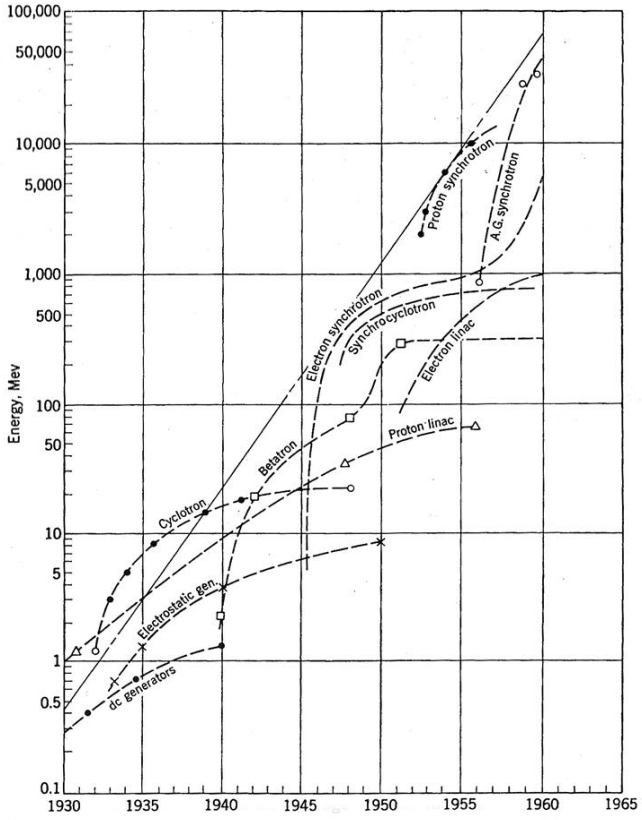
Uma característica presente no ciclotron e que se tornou uma constante nos aceleradores da física nuclear é a legitimação de seu desenvolvimento por suas aplicações práticas, tanto civis como militares. Uma demanda formada por institutos de pesquisa, indústrias e hospitais estimulou a prática de patentes e a produção comercial de aceleradores. De certa forma, seus níveis de energia cada vez maiores foram impulsionados por uma cultura exaltadora de superlativos fortemente enraizada na sociedade norte-americana. O gráfico a seguir indica o acentuado crescimento dos níveis de energias alcançados pelos aceleradores entre os anos de 1930 e 1960.

O primeiro a se aventurar nesse novo ramo industrial foi o engenheiro mecânico e físico norte-americano Robert J. Van de Graaff. Foi com a invenção de um gerador eletrostático de alta voltagem que Van de Graaff obteve seu título de Ph.D. em física pela Universidade de Oxford em 1928. Sob o estímulo de Karl Compton, então presidente do Massachusetts Institute of Technology (MIT), Van de Graaff se tornou pesquisador associado do MIT em 1931, com o firme propósito de iniciar uma série de desenvolvimentos a partir de sua invenção inicial. Sua primeira patente foi depositada nos EUA sob o nº 1.991.236 em 1935, após uma árdua descrição detalhada do conceito do acelerador eletrostático, que contou com a orientação experiente de Vannevar Bush, então vice-presidente do MIT.

Em parceria com John Trump, Van de Graaff adaptou os princípios de seu gerador de alta voltagem para a produção de raios-X intensos e penetrantes a serem utilizados no tratamento de tumores profundos. A primeira instalação clínica foi um enorme gerador de raios-X de 1 MeV montado no Huntingon Memorial Hospital de Boston, em 1937. Terminada a Segunda Guerra Mundial, mais especificamente em 1946, Van de Graaff, Trump e o engenheiro elétrico inglês Denis Robinson fundaram a High Voltage Engineering Corporation (HVEC) – a primeira companhia organizada com o expresso propósito de fabricar aceleradores de partículas. A Companhia de Van de Graaff e associados fez uma sucessão de avanços na tecnologia de aceleradores eletrostáticos tanto para a física nuclear, como para os setores médico e industrial. Seu nome ficou associado a toda uma classe de aceleradores eletrostáticos, que obteve grande êxito na

exploração detalhada de propriedades nucleares graças à sua excelente estabilidade, resolução em energia e custo moderado (Burrill, 1967, 1980).

Figura 2.1: Evolução dos Níveis de Energia dos Aceleradores de Partículas entre 1930 e 1960



Fonte: Livingston & Blewett (1962, p.6).

Um outro modelo de acelerador importante aos estudos nucleares, indústria e medicina foi o Betatron, cujo nome deriva do tipo de partículas que acelera - elétrons - também conhecidas na nomenclatura da radioatividade natural como partículas beta. Construído e posto em operação, inicialmente na Universidade de Illinois em 1940, pelo físico norte-americano Donald William Kerst, o Betatron entrou em obsolescência na década de 1950, deixando, porém, um legado de métodos magnéticos de aceleração ainda hoje amplamente empregados nos grandes aceleradores[29].

[29]Nas memórias biográficas de Willian Kerst (1911-1993), resgatadas por Sessler & Symon (1997, p.236), destaca-se que o Betatron "*was the first new accelerator to be constructed on the basis of a careful scientific analysis and a*

Demonstrando espantoso sucesso já em seu primeiro modelo, ao produzir raios-x como uma intensidade expansível equivalente a dos raios-γ emitidos por um grama de rádio, o Betatron rapidamente se transformou num produto comercialmente vendido. Kest transferiu sua base de operações para o laboratório de pesquisa da General Electric Company, onde contou com a colaboração da experiente equipe de pesquisadores da GE no desenvolvimento de um Betatron de 20 MeV, finalizado em 1942. Os engenheiros da GE deram continuidade às pesquisas, lançando comercialmente um Betatron de 100 MeV em 1945. A produção comercial de Betatrons, principalmente na escala de energia de 20 MeV, também começou a ser realizada pelas empresas norte-americanas Westinghouse e Allis-Chalmers[30], e na Europa pela Philips de Eindhoven. Modelos com escalas de energia cada vez maiores e destinados aos estudos nucleares foram desenvolvidos por Kerst em Illinois, chegando a atingir na década de 1950 o patamar máximo de 300 MeV (Livingston & Blewett, 1962).

Com o aumento da energia dos aceleradores, novas linhas de pesquisa tornaram-se possíveis. O rápido desenvolvimento da eletrônica durante a Segunda Guerra Mundial e a consolidação das ligações estabelecidas com a indústria permitiram o desenvolvimento de novas e mais sofisticadas formas de instrumentação, tanto na linha dos detectores como na dos aceleradores, que juntos formavam o eixo central das ferramentas de trabalho em física nuclear. Ao mesmo tempo, as pesquisas em raios cósmicos continuaram em pequena escala, utilizando os métodos tradicionais então materializados nas câmaras de Wilson e nas chapas fotográficas. Mesmo nesse caso, as lições aprendidas com a guerra e os novos contatos políticos e industriais exerceram um impacto considerável: por exemplo, o uso de materiais fotográficos novos e mais sensíveis em colaboração com a indústria fotográfica permitiu a descoberta de novos fenômenos, como o meson-π em 1948 (Hughes, 2003; Andrade, 1999).

---

completaly engineered design. Its success represented a turning point in the technology of particle accelerators from cut and try methods to scientifically engineered designs. All later accelerators have been influenced by this early work of Kerst. It is only in the light of these later developments that we see the importance of Betatron not merely as a valuable instrument in itself but as a milestone in the development of particle accelerators generally".

[30]Mais conhecida pela fabricação de tratores agrícolas, Allis-Chalmers Manufacturing Co. integrou o complexo industrial militar estadunidense durante a Segunda Guerra Mundial, produzindo motores elétricos para os submarinos da Marinha e bombas para a separação isotópica de urânio, como parte do Projeto Manhattan.

Seguindo a tendência da produção artificial de mesons-π e outras partículas dos raios cósmicos no início da década de 1950, a física de partículas elementares se tornou cada vez mais associada com os grandes aceleradores de partículas (daí a sua outra denominação: física de altas energias) e distante, tanto em termos organizacionais, intelectuais como ideológicos, da física nuclear. Depois do envolvimento da física nuclear e seus aceleradores no esforço de guerra estadunidense[31] e do subsequente holocausto nuclear promovido em Hiroshima e Nagasaki, os aceleradores do pós-1945 foram publicamente promovidos como símbolos de uma pesquisa científica completamente livre de aplicações, cujo objetivo último seria a investigação dos constituintes fundamentais da matéria. Entretanto, no contexto da Guerra Fria, seus níveis de energia cada vez mais elevados, embora justificados pela ideologia da ciência pura, foram financiados e publicamente exaltados pelo governo norte-americano como símbolos de sua superioridade científica e tecnológica (Osietzki, 1994).

Seduzidos pelos superlativos da física de altas energias, os historiadores deixaram inexplorado o desenvolvimento da física nuclear experimental no pós-1950. Sabe-se que a física nuclear continuou sua trajetória, utilizando seus aceleradores com níveis de energia relativamente baixos e acoplados a equipamentos de detecção cada vez mais sofisticados no explorar das reações de espalhamento, dos momentos nucleares, dos níveis de energia e spins, das reações induzidas por íons pesados, etc.

Em fins da década de 1950, ocorreu uma significativa inovação na tecnologia dos aceleradores eletrostáticos, denominada Tandem. Trata-se do acoplamento de dois ou mais aceleradores Van de Graaff, produzindo uma aceleração final igual à soma das acelerações de cada seção. A High Voltage Engineering Corporation foi a primeira empresa a explorar comercialmente o Tandem, tendo como concorrente, a partir de 1965, a National Electrostatics Corporation (NEC) de Raymond Herb.

Famoso pelo *design* e desenvolvimento de aceleradores eletrostáticos pressurizados desde a década de 1930 – Herb foi um inovador na tecnologia do vácuo e de aceleradores. Estabeleceu

[31]Construídos pelo Radiation Laboratory, vários calutrons – máquinas da mesma família dos ciclotrons – foram utilizados como separador eletromagnético de isótopos na produção do urânio-235, então empregado como combustível nuclear pelo Projeto Manhattan (Seidel, 1992).

estreitos laços cooperativos com laboratórios de física nuclear de outros países e organizou um intenso intercâmbio de pesquisadores e alunos de pós-graduação com a Universidade de Basiléia, Suíça; Tata Institute de Bombay, Índia; e mais ativamente com a Universidade de São Paulo. Herb passou toda sua vida na Universidade de Wisconsin, local por ele escolhido para a instalação da NEC, tanto por lealdade ao seu estado natal como pelo desejo de oferecer emprego aos cientistas e engenheiros em Wisconsin, estimulando assim a economia local.

Numa época em que a demanda por aceleradores para a pesquisa nuclear tinha se contraído, a fabricação de Pelletrons pela NEC era um negócio altamente arriscado, pois não havia um mercado óbvio para tal modelo de acelerador. A primeira universidade a adquirir um Pelletron para pesquisas nucleares foi a de São Paulo, em parte devido à estreita cooperação firmada entre Herb e Oscar Sala desde fins da década de 1940. Até 1996, ano em que Herb faleceu, a NEC tinha produzido 130 pelletrons, destinados tanto à física nuclear como à indústria, abrindo novas e diversas áreas de aplicação, tais como implantação de íons, irradiação, ciência de materiais, pesquisas em astrofísica, espectrometria de massa, artes, etc. (Barschall, 1997).

Dentro desta lacuna deixada na história da física nuclear é que se insere o presente estudo. Uma narrativa do desenvolvimento da física nuclear experimental na Universidade de São Paulo, das ligações estabelecidas entre Oscar Sala e a comunidade científica internacional, a política científica nacional e a indústria em muito contribui para a historiografia da física nuclear.

CAPÍTULO 3 - A Gênese da Capacitação Tecnológica do Departamento de Física da Universidade de São Paulo

3.1) A Dinâmica Social do Aprendizado Tecnológico no Estudo dos Raios Cósmicos

Em São Paulo, ao longo da década de 1930, a pesquisa em raios cósmicos se firmou em torno de um dos pioneiros da física moderna no Brasil – Gleb Wataghin. Seguindo as recomendações de Francesco Cerelli, da Academia Italiana de Ciências, e do físico Enrico Fermi, o matemático Teodoro Ramos – então encarregado das contratações do corpo docente da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL) da Universidade de São Paulo – convidou Wataghin para dirigir o Departamento de Física desta instituição recém-criada. Recomendações estas indicativas de sua projeção e dos contatos que mantinha tanto na comunidade científica italiana quanto na europeia.

Três anos após ter concluído seu doutorado em física pela Universidade de Turin, Wataghin participou de sua primeira conferência internacional, a da cidade italiana de Como, em 1927, conhecendo naquela ocasião os principais expoentes da física da época – Rasseti, Bohr, Dirac, Fermi, Pauli, Schrödinger, Heisenberg. Em um outro congresso, realizado em Solvay no ano de 1930, suas ideias sobre a existência de um comprimento mínimo fundamental nos choques entre partículas, anteriormente publicadas no *Zeitschrift für Physik*, foram amplamente discutidas, disto resultando uma troca de correspondências com Fermi.

Em 1933, ano anterior ao início de suas atividades na Universidade de São Paulo, Wataghin passou por aquelas que seriam experiências marcantes em sua carreira acadêmica. Uma delas foi a passagem de alguns meses no Radiation Laboratory, em Cambridge, com Rutherford, durante a qual ampliou seus contatos, conhecendo Hans Geiger e estreitando os vínculos de amizade com Dirac. A outra experiência foi sua visita a Niels Bohr, em Copenhagen – reduto daqueles que lançavam, naquela época, as bases da mecânica quântica.

Portador de experiências e contatos sociais a nível internacional, Wataghin desembarcou no Brasil, em 1934, com a incumbência de ministrar aulas de física teórica e experimental e de montar um laboratório para a prática experimental. Embora sendo físico teórico, empenhou-se em criar um

laboratório para medidas de raios cósmicos, por ser este campo um dos mais promissores e importantes no estudo dos fenômenos produzidos por partículas elementares daquela época, e também pelo fato de exigir técnicas relativamente simples e baratas, então necessárias à prática desta "*little science*".

Em consequência da unificação dos cursos básicos da FFCL e da Escola Politécnica, seus primeiros alunos cursavam engenharia, sendo que alguns deles, por influência do próprio Wataghin, acabaram se transferindo para o curso de Física. Dentre estes alunos, destacam-se Mário Schenberg e Marcelo Damy de Souza Santos, então convidados por Wataghin para integrar seu grupo de pesquisa.

Dando continuidade às suas pesquisas teóricas em raios cósmicos, por ele iniciadas em 1931, Wataghin, com a colaboração de Mário Schenberg, Abraão de Morais, Walter Schützer e outros, obteve êxito em implementar a física teórica na Universidade de São Paulo. Em particular, deve-se destacar os trabalhos de Schenberg, cuja obra vasta e internacionalmente reconhecida abrange a teoria das partículas elementares, a física dos raios cósmicos, a eletrodinâmica, a teoria da relatividade, a teoria geral dos campos e a mecânica quântica. Entre 1934 e 1936, foram publicados apenas trabalhos teóricos por Wataghin. A atividade experimental só teve início em 1936, quando Marcelo Damy se tornou seu assistente.

O espaço destinado à prática experimental, inicialmente localizado no sótão do prédio principal da Escola Politécnica, tinha múltiplas funções, assim descritas por Marcelo Damy:

> "Nessa sala havia um quadro negro, um armário, cuja tampa estava no nível do batente das janelas, e seis cadeiras para os alunos. Wataghin tinha mesa, cadeira e dois armários para guardar os aparelhos; nós, seus assistentes, usávamos parte do balcão e as banquetas do laboratório. Ao lado do balcão foi montada uma bancada na qual o técnico do laboratório de física, Francisco Bentivoglio Guidolin, construía aparelhos para as pesquisas em raios cósmicos que começavam a ser realizadas. Quando Wataghin dava aulas, não podíamos falar e sequer Bentivoglio trabalhar. Quando trabalhávamos, o fazíamos no meio de barulho de martelo, serra, etc." (Souza Santos, 1994, p.82)

Os trabalhos experimentais eram assim feitos nessa sala de aproximadamente 60 metros quadrados, onde funcionavam a biblioteca, a sala de aula, a oficina mecânica, a sala de estudos, muitas vezes simultaneamente. Com a ajuda de Júlio de Mesquita Filho, Wataghin conseguiu verbas estaduais para importar os primeiros equipamentos do laboratório. Apesar da precariedade, ali foram feitas as primeiras pesquisas em física no Brasil publicadas internacionalmente. Só se

transferiram da Politécnica em 1938, ao conseguir alugar o prédio de uma antiga pensão situada na avenida Tiradentes, o que proporcionou melhores condições espaciais para o desenvolvimento do Departamento de Física.

Foi no laboratório da Escola Politécnica que Damy começou a trabalhar com Wataghin nas pesquisas em raios cósmicos, assumindo as tarefas de construção dos detectores de radiação (denominados de contadores Geiger-Müller) e de planejamento e construção dos circuitos eletrônicos. O trabalho de Wataghin estava mais centrado na análise dos resultados e no planejamento das experiências. Embora considerado físico teórico, Wataghin tinha uma certa inclinação para os trabalhos experimentais, mas não a habilidade manual necessária para a construção de aparelhos.

Damy teve seu primeiro contato com a eletrônica através do rádio, no tempo em que cursava o ginásio na cidade paulista de Campinas. Começou consertando rádios de galena, depois rádios de válvulas, passando a construí-los já no período em que cursava engenharia na Politécnica. Com a remuneração auferida desses trabalhos ligados ao rádio é que Damy conseguiu pagar seus estudos e manter-se em São Paulo, numa época em que os programas governamentais de estimulo à iniciação científica ainda eram inexistentes no Brasil. Decerto, os conhecimentos adquiridos por Damy nesse contato prévio com a tecnologia do rádio lhe conferiu um diferencial no aprendizado das técnicas experimentais da física dos raios cósmicos.

Poderíamos inferir, pelos quatro anos que Damy frequentou a Escola Politécnica, que foi a sua formação em engenharia elétrica, mesmo não completamente concluída, que lhe forneceu uma base de conhecimentos necessários para a construção dos contadores Geiger-Müller (GM). Entretanto, esta hipótese pode ser refutada ao comparar sua formação acadêmica com a de Paulus Pompéia – o segundo a se inserir no grupo de trabalho experimental.

Detentor de uma mentalidade prática muito aguçada, fomentada nos anos em que estudou engenharia elétrica nos Estados Unidos, o pai de Paulus Pompéia desde cedo o ensinou a usar ferramentas e instrumentos elétricos, assim estimulando o desenvolvimento de suas habilidades manuais. Seguindo a profissão de seu pai, Pompéia começou seus estudos na Escola Politécnica no início dos anos 30, recebendo uma formação estritamente teórica. Além da física ensinada ser mais baseada na matemática do que na experimentação, os próprios professores se recusavam a fazer

trabalhos manuais e leitura de instrumentos, deixando a cargo dos técnicos esse tipo de tarefa. Nesse sentido, Damy relatou que:

> "A física da segunda metade do século XIX, entretanto, era totalmente desconhecida aqui. Não conhecíamos as equações de Maxwell. Não se ensinava eletrônica. Os aspectos mais profundos da ciência, que eram consequência da mecânica quântica, por exemplo, totalmente desconhecida no país. O próprio conceito de átomo e sua constituição, com núcleo e com elétrons circulando em órbitas, que é a concepção de Bohr, de 1913, não era ensinada no Brasil. Conhecíamos apenas a concepção do átomo de Leucipo" (Souza Santos, 1994, p.84).

Depois de ter concluído cinco anos de engenharia elétrica e três anos de especialização no Instituto de Eletrotécnica, e já cursando o terceiro ano de Física na FFCL, Pompéia foi convidado para trabalhar nas pesquisas experimentais em raios cósmicos com Wataghin, sendo assim seu assistente. Num primeiro momento, Pompéia foi relutante em aceitar o convite, pois desconhecia totalmente as técnicas utilizadas na pesquisa, mas acabou assumindo o desafio de aprender o novo. Conforme ele mesmo declarou:

> "Eu relutei muito em aceitar, porque eu não entendia daquilo, não tinha acompanhado, minha eletricidade era de baixa frequência como a gente chama: engenheiro eletricista, sistema de baixa frequência, motor, eu não entendia nada de circuito de válvula. Para mim, tudo aquilo era uma coisa misteriosa que eu nunca tinha aprendido, nunca tinham me ensinado(...) Eu não conhecia nada de válvula. Eu me formei engenheiro eletricista sem conhecer nada, nem mesmo os conhecimentos teóricos. O eletromagnetismo para mim eram as leis empíricas de Faraday, coisa assim. Eu não tinha nenhuma noção de equação de Maxwell, nunca tinha ouvido falar que isto que existia é do século passado e nenhum professor nunca deu prova com isso" (Pompéia, 1973, p.26-30).

Os contadores GM, que inicialmente representaram um desafio para Pompéia, tiveram sua tecnologia gradualmente desvendada e dominada pelos físicos experimentais da USP. Para a realização das primeiras experiências, Wataghin comprou de uma empresa belga cinco contadores GM a neon, mas que ainda não eram *self-quenching*. Para agregar esse mecanismo aos contadores, o grupo de pesquisa teve que reproduzir os circuitos já inventados na Inglaterra e nos Estados Unidos (Wataghin, 1975).

Para tanto, os periódicos internacionais adquiridos por Wataghin e incorporados à biblioteca se constituíram em fonte de conhecimento codificado de grande importância no aprendizado tecnológico. Os materiais necessários à construção dos equipamentos, tais como válvulas, isoladores, baterias, resistências, condensadores, terminais, cabos, etc., eram comprados em lojas

importadoras situadas na própria São Paulo, especializadas em materiais elétricos e em peças e acessórios para rádios[32].

Já na década de 1940, o Departamento de Física da USP se tornou um centro de referência em tecnologia de contadores GM, prestando auxílio a outras instituições nacionais e latino-americanas através do fornecimento de contadores ou dos conhecimentos necessários à sua construção[33]. Mas para que se chegasse a tal nível de maturidade tecnológica, dois eventos foram de fundamental importância: a vinda do físico experimental italiano Giuseppe Occhialini e a ida de Marcelo Damy ao Cavendish Laboratory.

Afastado da Itália por sua ideologia antifascista[34], Occhialini foi contratado pela Universidade de São Paulo em 1937 com a incumbência de auxiliar Wataghin na implantação da física experimental dos raios cósmicos através de atividades de ensino e pesquisa. Suas atividades acadêmicas anteriores, tanto na Itália (na Universidade de Florença e no Laboratório Arcetri) quanto no Cavendish Laboratory, o fizeram conhecedor das técnicas experimentais da vanguarda de sua época.

Após graduar-se em física pela Universidade de Florença, Occhialini ocupou o cargo de assistente de pesquisa no Laboratório Arcetri – o berço da física dos raios cósmicos italiana. Dentre

[32]Foram localizadas no arquivo Instituto de Física da USP faturas da compra desses materiais emitidas pela Casa Sotto-Mayor, B. Sant'Anna e Cia. Ltda. e Casa Rádio Luz, referentes à segunda metade da década de 1930.

[33]As cartas do arquivo Instituto de Física da USP são elucidativas nesse sentido, ao demonstrar a colaboração dos físicos experimentais da USP com outras instituições de pesquisa. Em uma dessas cartas, datada de 05/05/1945, Wataghin, além de convidar o Dr. Hill (do Laboratório de Física da Faculdade de Engenharia de Montevideu) para passar alguns meses em São Paulo a fim de ver e aprender como se construía os contadores GM (do tipo rápido e preenchidos com argônio e álcool), também se prontificou a enviar alguns desses aparelhos a Montevideu, seguindo as especificações sobre as dimensões requeridas pela pesquisa de Hill. Nesta mesma carta, Wataghin disse que em São Paulo não havia fábricas que construíssem contadores GM, ficando a cargo dos próprios físicos experimentais, em especial de Marcelo Damy, a construção dos aparelhos.

Em outra carta, datada de 05/09/1947, Santiago Americano Freire, então professor de farmacologia da Faculdade de Medicina da Universidade de Minas Gerais, disse que foi motivado a escrever a Wataghin quando soube que este tinha colaborado com o Instituto de Tecnologia de Belo Horizonte através da construção de um contador GM. Freire necessitava de um espectrômetro e um contador GM para dar início a uma nova pesquisa da ação terapêutica sobre corpos radioativos. Além de requisitar os aparelhos, perguntou sobre a possibilidade de Wataghin ceder a ele radioisótopos, assim como havia feito com o professor Carlos Chagas, da Faculdade de Medicina do Rio de Janeiro.

[34]Por ser contrário ao fascismo, Occhialini temia que seu pai, professor de física em Gênova, fosse boicotado pelos colegas de trabalho ou mesmo pelos estudantes, podendo chegar à situação limite de cassação. Como disse Occhialini (1982, p.15): "para um professor universitário como o meu pai, sua vida era o laboratório. E eu nunca quis que ele perdesse a razão da vida dele". Foi por temer essa possibilidade de represálias ao seu pai que Occhialini aceitou o convite de Wataghin para vir trabalhar no Brasil.

seus assistentes-chefe estava Bruno Rossi: pioneiro no desenvolvimento de circuitos de múltipla coincidência, então acoplados nos contadores GM e utilizados no estudo da natureza dos raios cósmicos. Occhialini manteve vínculos com o Laboratório Arcetri de 1930 a 1937, ausentando-se apenas no primeiro período inglês de sua trajetória acadêmica (1931-34) para trabalhar no Cavendish Laboratory com Patrick Blackett – então autoridade em câmaras de Wilson. Juntos, Occhialini e Blackett uniram seus conhecimentos e desenvolveram um novo tipo de câmara de Wilson, controlada por contadores GM com circuitos de múltipla coincidência[35].

Adquiridos por Occhialini e amplamente compartilhados com os pesquisadores da USP, esses conhecimentos estavam inseridos nas duas vertentes da tradição experimental da microfísica, baseadas na lógica e na imagem[36]. O físico César Lattes, que manteve laços estreitos de amizade e trabalho com Occhialini ao longo de sua vida, assim descreveu a técnica da câmara de Wilson controlada:

> "Ugo Camerini, o Wataghinho e eu, com dinheiro nosso, fizemos no porão do Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, na Rua Maria Antônia, uma pequena câmara de Wilson, que consiste em um recipiente contendo gás em estado de saturação. Usamos dois contadores do Damy, que registravam automaticamente a entrada da partícula e enviavam o sinal a dois circuitos (de coincidência). Estes, por meio de um pistão, acionavam a expansão do gás até atingir um estado de supersaturação, provocando a formação de gotas ao longo da trajetória da partícula carregada. Uma câmera fotográfica registrava o traço deixado pela partícula ao atravessar a nuvem de gás. Botamos o equipamento para funcionar em regime automático, isto é, ele era acionado somente quando uma partícula passasse pelos contadores. Tudo isso era para detectar e ver mésons parando. Esse método era do Occhialini" (Lattes, 1998, p.637).

A produção científica de Occhialini e seus colaboradores da USP, dentre os quais destacam-se os experimentais Marcelo Damy, Paulus Pompéia, Saboya e Yolande Monteux, abrange, além de estudos sobre raios cósmicos, outros que contemplam o desenvolvimento tecnológico dos aparelhos de detecção - tal como o estudo da estabilidade dos contadores GM com resistências não-ohmicas acima de 10 GΩ. É apresentada, no Quadro 3.1, uma lista de trabalhos publicados por Occhialini no período em que esteve em São Paulo (1938-1942).

[35]Em Leone & Robotti (2008) há informações detalhadas sobre a descoberta da câmara de Wilson controlada.

[36]Segundo Galison (1997), no início do século XX, foram as câmaras de Wilson e os contadores GM que inauguraram as tradições da imagem e da lógica na microfísica, respectivamente.

Quadro 3.1: Produção Científica de Giuseppe Occhialini em São Paulo (1938-1942)

ARTIGOS EM ORDEM CRONOLÓGICA

1. ***Occhialini, G.P.S. A simple type of non-ohmic resistence for use with Geiger-Müller counters.*** **Journal of Scientific Instruments*, 15, 3: 97-99, 1938.***
2. Occhialini, G.P.S. & Schenberg, M. Sobre uma componente ultra molle da radiação cósmica (I). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 11, 4: 351-355, 1939.
3. Occhialini, G.P.S. & Monteux, Y. Sur un nouveau type de compteurs plans (I). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 12, 2: 125-129, 1940.
4. Occhialini, G.P.S. Contributo allo studio dell'effetto di latitudine per gli sciami. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 12, 1: 39-44, 1940.
5. Occhialini, G.P.S. Sull'effetto di latitudine degli sciami. **La Ricerca Scientifica**, 1940: 231-243.
6. Occhialini, G.P.S. Sur la radioactivité beta du rubidium. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 12: 155, 1940.
7. Occhialini, G.P.S. & Souza Santos, M.D. Effetto dell'eclissi totale di sole del 1º de ottobre sull'intensità della radiazione cosmica. **La Ricerca Scientifica**, 1940: 792.
8. Occhialini, G.P.S., Pompéia, P.A. & Saboya, J.A.R. Nota sobre a estabilização da tensão em corrente alternada. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 12, 4: 349-352, 1940.
9. Occhialini, G.P.S. & Schenberg, M. Sobre uma componente ultra molle da radiação cósmica (II). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 12, 3: 195-202, 1940.
10. Occhialini, G.P.S. Contributo allo studio della componente ultramolle della radiazione cosmica. **La Ricerca Scientifica**, 1941: 1193-1195.
11. Occhialini, G.P.S. & Souza Santos, M.D. On a method of recording random events. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 13: 57, 1941.
12. Occhialini, G.P.S. & Souza Santos, M.D. Two useful gadgets for conrollerd Wilson chambers. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, august 8, 1941.
13. Occhialini, G.P.S. Metodo pel la stabilizzazione di alte tensioni. **La Ricerca Scientifica**, 1942: 319-321.

Fonte: Gariboldi (2003, p.183-184).

Um fato importante a ser destacado e que demonstra o caráter conflituoso do processo de aceitação e adequação das novas técnicas aos contextos locais reside no desentendimento firmado entre Damy e Occhialini com relação à eletrônica utilizada na construção dos contadores GM. Adepto da escola italiana de eletrônica, também pouco seguida na Inglaterra, Occhialini fazia todas as ligações dos circuitos eletrônicos com fio. Segundo Damy (2002, p.15), essa técnica gerava um

emaranhado de fios infernal, pois "se punha a válvula, montava a madeira daqui, tirava um fio, puxava outro para a resistência". O que Damy queria era usar na montagem dos circuitos as técnicas empregadas em rádio, ou seja, trabalhar com chassi e com solda. Embora no início houvesse uma resistência por parte de Wataghin e Occhialini, eles acabaram aceitando a utilização das técnicas derivadas do rádio por Damy.

Mas, inegavelmente, Occhialini trouxe consigo o espírito experimental de Cambridge e as técnicas de ponta lá utilizadas na construção dos aparelhos de detecção dos raios cósmicos. Como não existiam fábricas voltadas para produção de tais aparelhos, as técnicas dependiam muito do trabalho do experimentador, encarregado de projetar e construir seus próprios aparelhos. Com relação aos contadores GM, os físicos da USP tiveram que aprender a técnica de vácuo e a do trabalho mecânico para a elaboração das suas partes de metal. Estas eram feitas pelo técnico Bentivoglio, que ensinou os físicos experimentais a trabalhar com torno, com metais, a fazer soldas, etc. A maior dificuldade técnica dos contadores residia na parte da eletrônica, pois ainda não era ensinada nas universidades[37] e nas escolas técnicas, nem desenvolvida pela indústria brasileira.

Apesar dos contadores GM funcionarem à base de uma eletrônica muito sofisticada, Damy já possuía uma vantagem inicial por ter trabalhado no reparo e na construção de rádios, assim acumulando habilidades que lhe permitiram superar os limites instrumentais de sua época. Através dos contatos que Wataghin mantinha com o consulado inglês e a Universidade de Cambridge, Damy obteve do British Council bolsa de estudos para estagiar no Cavendish Laboratory, a fim de aprender as mais novas técnicas experimentais. Em Cambridge, o trabalho desenvolvido por Damy consistia na verificação da existência de mésons nos chuveiros de raios cósmicos, o que o levou a aperfeiçoar os circuitos eletrônicos de coincidência, tornando-os dez vezes mais rápidos que os utilizados na época (Souza Santos, 1998).

Foi com o uso desta vantagem obtida através do desenvolvimento e do domínio da tecnologia do circuito multivibrador[38] que Wataghin, Pompéia e Damy conseguiram descobrir, em Campos do Jordão, os chuveiros penetrantes – trabalho este que obteve ampla repercussão internacional através de sua publicação na *Physical Review*. Só após um ano é que L. Jánossy, da

[37]Souza Santos (1998) recordou que quando começou a ensinar eletrônica na FFCL, recebeu críticas ferrenhas, pois diziam que aquele conhecimento era para ser destinado a técnicos de rádio, não a cientistas.

[38]SOUZA SANTOS, Marcelo Damy. A multivibrator counter circuit. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, nº3, 1940, p.179-189.

Universidade de Manchester, conseguiu confirmar esta descoberta com a utilização de uma tecnologia melhorada.

Quadro 3.2: Artigos Referentes à Descoberta dos Chuveiros Penetrantes Publicados na Physical Review

ARTIGOS EM ORDEM CRONOLÓGICA

1. ***Souza Santos, M.D., Wataghin, G., Pompéia, P. Simultaneous penetrating particles in the cosmic radiation.*** **Physical Review** ***57: 61, 1940.***
2. ***Souza Santos, M.D., Wataghin, G., Pompéia, P. Simultaneous penetrating particles in the cosmic radiation II.*** **Physical Review** ***57: 339, 1940.***
3. ***Souza Santos, M.D., Wataghin, G., Pompéia, P. Showers of penetrating particles.*** **Physical Review** ***59: 902-903, 1941.***

Sempre com a preocupação de enviar os pesquisadores já com um certo preparo ao exterior, Wataghin conseguiu para Paulus Pompéia, através de contatos com Arthur Compton, uma vaga no grupo de pesquisa em raios cósmicos da Universidade de Chicago. Lá chegando, em setembro de 1940, o imaginário norte-americano sobre o Brasil, permeado de símbolos como o café, a castanha-do-pará e as cobras do Instituto Butantã, impôs a Pompéia a sua primeira atividade no Ryerson Physical Laboratory – a construção de caixas de madeira para os aparelhos de raios cósmicos. Os pesquisadores de Chicago não imaginavam que Pompéia, por ser brasileiro, pudesse desenvolver atividades que iam além do trabalho braçal de carpintaria.

Pompéia só conseguiu sair dessa situação quando, em uma conversa com o professor Norman Wilberg, avistou sobre sua mesa um circuito e começou a expressar seus conhecimentos sobre eletrônica. Wilberg perguntou a Pompéia se ele entendia de circuitos eletrônicos, pois não havia compreendido este circuito desenvolvido pelo alemão Reich, então objeto de indagação de Pompéia. Afirmando possuir tais conhecimentos, oriundos de seus contatos com Damy e da leitura dos periódicos ingleses, Pompéia então ficou encarregado de aperfeiçoar e construir esses aparelhos que Reich havia desenvolvido inicialmente, mas que não funcionavam em condições ótimas, e de desenvolver técnicas de medição.

Para desenvolver tais atividades, Pompéia conseguiu uma sala no porão do Ryerson Laboratory, o que gerou atritos e inconformismo por parte dos demais colegas. Com o passar do tempo, perceberam que o pesquisador brasileiro possuía competências nos trabalhos em raios cósmicos e o inseriram ao grupo. A partir de então, Pompéia conseguiu dar continuidade aos trabalhos que já vinha desenvolvendo com Wataghin, pois os pesquisadores de Chicago estavam fazendo relativamente as mesmas pesquisas lavadas a cabo em São Paulo (Pompéia, 1973).

Tanto é que foi por iniciativa do próprio Compton que as universidades de São Paulo e de Chicago firmaram cooperação científica no lançamento de balões munidos de equipamentos de detecção da radiação cósmica na Bolívia e no Brasil. Para a consecução da "Expedição Compton", Wataghin angariou fundos da Academia Brasileira de Ciências e de autoridades do Estado de São Paulo, em especial do interventor Adhemar de Barros, que generosamente doou vinte contos de réis, dinheiro esse de procedência duvidosa, provavelmente ganho em atividades do Jogo do Bicho (Pompéia, 1990).

Uma das principais implicações desta cooperação científica foi o início da ajuda da Fundação Rockefeller, que, por recomendação de Arthur Compton, começou a apoiar financeiramente as pesquisas realizadas pelo Departamento de Física da USP. Além disso, a "Expedição Compton" deu uma nova projeção à física no Brasil, atraindo olhares de admiração e curiosidade por onde passou. Foi durante o lançamento dos balões em Bauru que o jovem Oscar Sala conheceu Wataghin e se entusiasmou pela física, o que o levou a ingressar na FFCL ainda no mesmo ano, em 1941.

Com a entrada do Brasil na Segunda Guerra Mundial e o consequente envolvimento de Marcelo Damy e Paulus Pompéia no esforço de guerra, as pesquisas sobre os chuveiros penetrantes passaram a ser feitas apenas por Wataghin e Oscar Sala, que ficou encarregado de construir todos os circuitos dos contadores GM, de boa qualidade então deixados pela Expedição Compton no Departamento de Física. Suas primeiras medidas foram feitas no topo do prédio da Faculdade de Medicina, posteriormente em Campos do Jordão e com aviões da Força Aérea Brasileira. Eram trabalhos de medida demorados, que necessitavam de dez meses contínuos para serem concluídos. O arranjo utilizado nessas experiências era construído de chumbo, para eliminar os chuveiros de origem eletromagnética, e sobre esse chumbo era posta uma grande quantidade de água ou parafina. Os chuveiros produzidos nessa parafina, ou água, eram então produzidos localmente. Publicados

em 1945 e 1946 na *Physical Review*[39], os resultados dessas pesquisas constituem o produto final do processo de iniciação científica de Oscar Sala (Sala, 1998).

Embora envolvidos no esforço de guerra, havia uma forte interação entre Sala, Pompéia e Damy, além de um ambiente de trabalho profícuo no Departamento de Física, no qual as pessoas se encontravam diariamente para compartilhar e discutir os resultados de suas pesquisas. Certamente, foi essa dinâmica social, tanto estabelecida no interior do Departamento quanto entre seus pesquisadores e a comunidade científica internacional, que impulsionou e garantiu o sucesso de seu processo de capacitação tecnológica.

3.2) As Interações entre Físicos e Industriais no Esforço de Guerra Brasileiro

Com o início da Segunda Guerra Mundial, as pesquisas acadêmicas em física, realizadas com grande êxito nos laboratórios experimentais europeus e norte-americanos, foram praticamente interrompidas, cedendo lugar ao desenvolvimento de tecnologias bélicas. Assim também ocorreu com o Departamento de Física da USP, após a entrada do Brasil na guerra, em 1942, e a consequente destruição de sua marinha mercante pelos submarinos do Eixo.

Por intermédio de Jorge Americano, então reitor da USP, a Marinha brasileira entrou em contato com o Departamento de Física, a fim de obter ajuda na construção de sonares no Brasil. Tais aparelhos não eram fornecidos pelos Aliados e se constituíam em grande desafio tecnológico face ao estágio de desenvolvimento das forças produtiva nacionais. Contatos anteriores feitos pela Marinha, inclusive com a Escola Politécnica, foram mal sucedidos, cabendo aos físicos da USP o aceite deste desafio (Sala, 1977).

A responsabilidade inicial do esforço de guerra recaiu em Marcelo Damy e Paulus Pompéia, com posterior envolvimento de Paulo Bittencourt, Oscar Sala, dentre outros. Antes mesmo de recorrerem ao sonar, tentaram solucionar o problema através da construção de rádio transmissores portáteis, que seriam montados em jipes e utilizados no patrulhamento das praias, por pessoas que

[39]Sala, O. & Wataghin, G. Showers of penetrating particles. **Physical Review** 67, p.55, 1945.
Sala, O. & Wataghin, G. Showers of penetrating particles at altitude of 22.000 feet. **Physical Review** 70, p.430, 1946.

ficariam observando o mar no decorrer do dia em busca de navios e submarinos na superfície (Souza Santos, 2002).

Embora tenha se mostrado ineficiente na localização de submarinos, este método gerou transbordamento de conhecimentos para a Marinha, principalmente das técnicas de alto-vácuo, que puderam ser empregadas no recondicionamento das válvulas de potência de seus transmissores de rádio, visto a dificuldade de se importarem estes componentes eletrônicos em tempos de guerra. Cabe ressaltar que o alto vácuo estava inserido no ambiente técnico da física dos raios cósmicos, sendo amplamente utilizado pelos físicos experimentais da USP na construção de sua instrumentação científica (Sala, 1977).

Para a construção do protótipo do sonar, foi utilizada a literatura da época como fonte de conhecimento codificado, então presente no acervo atualizado da biblioteca do Departamento de Física (Souza Santos, 2002). Inovar não era o intuito maior, mas sim copiar o que já existia. Nesse processo de engenharia reversa, os físicos tiveram contato com um sonar que havia sido desmontado para reparos, pertencente a um destróier norte-americano então ancorado no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (Pompéia, 1990).

No decorrer da elaboração do protótipo do sonar, ocorreu uma busca contínua por empresas e institutos de pesquisa que pudessem fornecer os diversos materiais por ele demandados. O problema inicial deparado pelos físicos consistia no estudo de métodos para o desenvolvimento de sensores a serem utilizados na emissão e recepção de ondas sonoras. De acordo com o método escolhido, necessitava-se de diversos materiais ainda não fabricados pela indústria nacional, dentre os quais se destacam o níquel, os cristais de Rochelle, o aço inoxidável, as máquinas elétricas e os geradores de corrente alternada.

A fabricação de cristais de sal de Rochelle no laboratório do Departamento de Física representou a primeira experiência bem sucedida de produção em larga escala de cristais sintéticos no Brasil. Os físicos elaboraram os detectores de sal de Rochelle com o auxílio dos departamentos de Química e Geologia da USP, que os orientaram sobre a produção, o corte e o revestimento dos cristais. Entretanto, os cristais feitos pelos químicos e geólogos eram muito pequenos e não se encaixavam nas especificações técnicas do sonar. Daí que todas as etapas do processo produtivo foram realizadas pelos físicos, que encontraram soluções próprias para a geração de cristais com

tamanho superior a cinco centímetros (Souza Santos, 1998).

Outro problema de materiais residia na ausência de empresas que trabalhassem com metalurgia de níquel no Brasil. Sua solução foi encontrada pela ação conjunta da Laminação Nacional de Metais – uma das empresas do Grupo Pignatari, dos mecânicos da Escola Politécnica, do Liceu de Artes e Ofícios e de uma firma especializada na fabricação de móveis de aço, dirigida pelo engenheiro Aldo Magnelli, que já havia trabalhado em física experimental com Enrico Fermi e possuía laços de amizade com Wataghin.

O níquel utilizado provinha das moedas de 200 e 400 mil réis, que praticamente desapareceram de São Paulo em virtude desta real destruição do meio circulante. Quem ficou a cargo do refinamento e da transformação dessas moedas em lingotes foi a equipe de mecânicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. O Grupo Pignatari executou a laminação destes lingotes, enquanto o Liceu de Artes e Ofícios e a empresa de Aldo Magnelli transformaram as chapas em tubos de níquel, então fundamentais para a construção do sistema de emissão de ultrassom do sonar (Souza Santos, 1994; Pompéia, 1973).

Este sistema deveria ser protegido por uma carapaça de aço inoxidável com formato hidrodinâmico. O problema não era a matéria-prima em si, pois se possuía um grande estoque de chapas de aço inoxidável, mas sim a construção de uma fôrma para prensá-las, além da solda adequada para este tipo de liga metálica. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas se responsabilizou pela produção do aço, enquanto a técnica de soldagem foi aprendida em uma oficina de automóveis localizada na avenida São João, cujos proprietários alemães dominavam a técnica da solda de ferro (Pompéia, 1973; Souza Santos, 2002).

Outra dificuldade enfrentada consistia na construção de geradores para corrente alternada, sendo superada por uma pequena fábrica de motores elétricos, de propriedade do engenheiro húngaro Kessler (Damy, 1994). A inexistência de empresas especializadas em máquinas elétricas no Brasil levou a desenvolvimentos pioneiros realizados no Instituto de Eletrotécnica pelos engenheiros Luiz Valente Boffi e Horus Serra, então agregados à construção do sonar (Pompéia, 1973).

Toda esta fase de desenvolvimento do protótipo foi financiada pelos Fundos Universitários de Pesquisa, criados em 1942 por Jorge Americano e cuja finalidade residia no custeio de projetos

ligados à defesa nacional. Só após os testes bem sucedidos realizados com o protótipo na represa de Santo Amaro que a Marinha entrou com o pedido de 80 equipamentos, o que exigiu do Departamento de Física e das empresas paulistanas todo um esforço de mobilização e produção em série.

Cada uma das 22 firmas envolvidas no projeto desconhecia o conjunto do equipamento e as demais participantes. Era o Departamento de Física quem coordenava as ações e articulava todo o sistema de produção em firmas dispersas, cujas peças fornecidas foram utilizadas na montagem dos equipamentos, então processada no primeiro andar do próprio Departamento. Dois foram os protagonistas desta rede de relações: Damy, que estabelecia a ligação com a Marinha, e Pompéia, que promovia a articulação entre o sistema produtivo e os institutos de pesquisa (Pompéia, 1973).

Indo além da utilidade do equipamento em si, a importância do "Projeto Sonar" abarca uma série de sinergias e transbordamentos de conhecimentos tácitos, firmados entre o meio técnico-científico e o industrial. As empresas participantes adquiriram *know-how* em suas respectivas áreas de atuação e vários ramos industriais surgiram e se desenvolveram a partir deste projeto, tais como as indústrias de motores elétricos, de máquinas elétricas e a eletroacústica. O físico e engenheiro Paulo Bittencourt, que ficou encarregado de estudar a produção de cristais de Rochelle, após o término do projeto, iniciou a produção industrial desses cristais, que serviam de insumo a uma série de equipamentos eletrônicos e eletroacústicos. A fábrica de rádios Cacique S.A. se desenvolveu tanto neste período que acabou sendo englobada pela Philips, transformando-se na Embelsa. Segundo Schwartzman (1979, p.261), "ainda que um balanço completo esteja por ser feito, o fato é que esta tecnologia nacional acabou por ceder lugar ao *know-how* importado que afluiu ao país, em quantidade cada vez maior, a partir do fim da guerra".

3.3) Rumo à Era dos Aceleradores de Partículas

Ao marcar profundamente o imaginário coletivo, a bomba atômica não só reforçou o papel da pesquisa científica e tecnológica na conquista de poder político, econômico e militar, como também atribuiu à física nuclear posição de destaque dentre os vários ramos das ciências exatas. Sendo um dos principais subprodutos industriais da Segunda Guerra Mundial, a energia nuclear se

tornou fator de desenvolvimento através da consolidação do mito da energia abundante, principalmente nutrido pelos povos do Terceiro Mundo. O essencial desta crença, e que permeou todo o entendimento das interações entre ciência e tecnologia no pós-guerra, está no pressuposto maior da aplicação dos conhecimentos científicos da física nuclear no desenvolvimento tecnológico necessário à produção de energia nuclear. Daí a posição de relevo alcançada pelos físicos nucleares tanto nas comunidades científicas dos diversos países, como em suas esferas de poder.

Neste contexto de mudança característico da segunda metade dos anos 1940, novos rumos foram delineados no trabalho de pesquisa do Departamento de Física da USP. O desejo em investir nas novas tecnologias da física nuclear já existia desde 1938[40], só obtendo as condições materiais necessárias para se concretizar a partir da doação de 75 mil dólares feita pela Fundação Rockefeller, a ser empregue na construção de um acelerador de partículas. Os motivos que justificam esta filantropia científica se baseiam não só na projeção internacional alcançada pelos trabalhos em radiação cósmica realizados pelos físicos da USP, mas principalmente no envolvimento dos mesmos no esforço de guerra dos Aliados.

Em 1945, a convite da Fundação Rockefeller e com roteiro organizado por Arthur Compton, Wataghin e Damy visitaram vários laboratórios de física nuclear nos Estados Unidos, a fim de escolher o acelerador mais adequado às limitações financeiras e aos objetivos de pesquisa que pretendiam seguir. Apesar de muitas universidades ainda estarem sob regime de segredo, por terem se envolvido no esforço de guerra, Wataghin e Damy encontraram no Departamento de Física da Universidade de Illinois o professor Kerst e sua invenção – o acelerador Betatron.

Naquela ocasião, poucas eram as universidades em todo o mundo que possuíam tal máquina aceleradora de elétrons, de modo a existir um campo de pesquisa ainda não completamente explorado ou saturado pela competição acadêmica – o estudo das reações fotonucleares. Visando a inserção da USP neste campo de pesquisa promissor, então viabilizada pela posse de um Betatron, Damy permanece nos Estados Unidos a fim de aprender a construí-lo, recebendo orientações do próprio Kerst (Souza Santos, 1994).

[40]A sintonia que Wataghin firmava com os desenvolvimentos contemporâneos da física então praticada nos grandes centros mundiais pode ser evidenciada neste trecho de carta escrito por ele ao engenheiro Geraldo Stuettgen, em 25/03/1939: “no ano passado, eu tinha o projeto de criar em São Paulo um laboratório de alta tensão para o estudo da física nuclear. Tal projeto não está abandonado, mas somente adiado para quando os recursos do Departamento de Física o permitirem. Nesta ocasião, certamente, me lembrarei do senhor. Para este ano não vejo possibilidade de iniciar uma empresa qualquer neste sentido” (Arquivo Instituto de Física da USP).

Neste ponto, cabe mencionar um fato elucidativo das interações firmadas entre o desenvolvimento da física e a dinâmica política contemporânea. Juntamente com Damy, havia outro pesquisador, de origem italiana, realizando estágio, com o objetivo expresso de construir um Betatron em sua universidade. Após alguns meses de trabalho conjunto, os dois possuíam um projeto para construir tal máquina. Entretanto, Kerst ofereceu apenas a Damy, e não ao pesquisador italiano, a possibilidade do Betatron por eles projetado ser construído nos Estados Unidos, juntamente com outros três que seriam destinados ao Laboratório de Oak Ridge (Souza Santos, 2002).

Decerto, o acesso dos físicos brasileiros aos aceleradores teria sido dificultado, tanto em termos tecnológicos como financeiros, caso não tivesse ocorrido, por parte do governo varguista, um alinhamento político com os Estados Unidos. Fabricado pela firma Allis-Chalmers e financiado pela Fundação Rockefeller, o Betatron[41] de 25,4 MeV da USP teve sua montagem e a construção de todo o equipamento eletrônico de comando realizadas por Marcelo Damy. Coube a Paulus Pompéia e Horus Serra a montagem de seu sistema elétrico, possuidor de ótima performance graças à descoberta e utilização de uma máquina fabricada nos Estados Unidos, que fornecia corrente alternada com uma frequência altamente estável (Rogers, 1983; Souza Santos, 2002; 1994).

Este impulso inicial à física nuclear experimental no Brasil só foi possibilitado pelo acordo tripartite firmado entre Lineu Prestes, então reitor da USP, o governo do Estado de São Paulo, sob a figura de Adhemar de Barros, e a Fundação Rockefeller, no qual esta última se comprometia a doar o Betatron apenas se duas condições fossem atendidas. A primeira era representada pela contribuição anual de 50 mil dólares que o Governo do Estado deveria realizar durante o período de cinco anos, a ser empregue no desenvolvimento dos trabalhos em física. A segunda condição se baseava na construção de dois prédios, um para a instalação do Departamento de Física e outro para a montagem do laboratório do Betatron, a ser financiada pela própria USP e realizada na Cidade Universitária[42].

A grande preocupação da Fundação Rockefeller residia na possibilidade das obras em infraestrutura demorarem muito a se concretizarem, de modo a tornar o acelerador obsoleto. Daí o

[41] As câmaras de aceleração do Betatron não foram fornecidas pela Allis-Chalmers, mas sim pela própria Universidade de Illinois.

[42] Segundo carta datada de 30/10/1947, escrita por Warren Weaver, da Fundação Rockefeller, e endereçada a Adhemar de Barros e Lineu Prestes, com cópias para Marcelo Damy e Gleb Wataghin (Arquivo Instituto de Física da USP).

estabelecimento do acordo tripartite, quase arruinado pelas querelas existentes entre o reitor Lineu Prestes e e seu antecessor Jorge Americano – um entusiasta dos trabalhos do Departamento de Física. Esta rivalidade se traduziu no corte das verbas destinadas à construção do prédio do Betatron, que ao chegar ao Brasil teve que ser mantido encaixotado e sob uma barraca de lona por alguns meses, pois seu prédio ainda não possuía paredes. As obras só foram retomadas com a intervenção de Adhemar de Barros, que transmitiu ordens expressas a Lineu Prestes para que o empreendimento fosse finalizado (Souza Santos, 2002).

Em torno do novo acelerador, inaugurado na Cidade Universitária em fins da década de 1940, Marcelo Damy organizou uma equipe de pesquisa integrada por Rômulo Ribeiro Pieroni, José Goldemberg, Elly Silva e Otávia Borello (Moraes & Toledo, 2001). Em consequência da filantropia científica estadunidense, o Departamento de Física entrou em uma nova fase, caracterizada pela diminuição de suas atividades de pesquisa em raios cósmicos e pelo início dos trabalhos em Física Nuclear, expandidos na década de 1950 com a instalação de um outro acelerador, o Van de Graaff, então capitaneada por Oscar Sala. Este importante capítulo da história do desenvolvimento da Física Nuclear no Brasil será visto e discutido com maiores detalhes nas páginas seguintes.

CAPÍTULO 4 - Laboratório do Acelerador Eletrostático: Alguns Traços de sua Trajetória Histórica

4.1) A Concepção do Projeto do Acelerador Eletrostático

Como parte dos esforços destinados à inserção da USP no ramo da Física Nuclear, dois assistentes da cadeira de Física Geral, então regida por Marcelo Damy, foram enviados à Universidade de Illinois a fim de adquirirem familiaridade com o acelerador Betatron e experiência nas pesquisas nucleares. O primeiro a chegar em Illinois para um estágio de dois anos foi Paulo Bittencourt, recebendo posteriormente a companhia de Oscar Sala a partir de setembro de 1946. Como bolsista da Fundação Rockefeller, Sala obteve orientação do professor M. Goldhaber em uma área específica da Física de Nêutrons – na área de Isomerismo Nuclear.

Conhecedores das técnicas de eletrônica da Física dos Raios Cósmicos, Sala e Bittencourt as utilizaram na solução do principal problema científico daquela área do conhecimento, que era a medida de vidas médias curtas da ordem de um microssegundo. O que os dois fizeram foi utilizar a técnica dos circuitos de coincidência, existente no campo da radiação cósmica, no desenvolvimento de uma técnica inovadora envolvida na utilização de osciloscópios eletrônicos em mensurações de vidas médias de núcleos isômeros, técnica esta precursora da produção dos modernos instrumentos multicanais.

Ao permitir a medição de vidas médias uma pouco mais curtas, o desenvolvimento deste equipamento possibilitou uma série de trabalhos na área de Isomerismo Nuclear, que grande parte dos laboratórios não tinha condições de realizar naquela época. Este episódio não só demonstra como as inovações nos equipamentos da Física impactam na produção de novos conhecimentos científicos, como também evidencia a continuidade instrumental existente entre a Física dos Raios Cósmicos e a Física Nuclear.

Estes trabalhos realizados por Sala e seus colaboradores na Universidade de Illinois geraram dois artigos publicados na Physical Review e listados no Quadro 4.1:

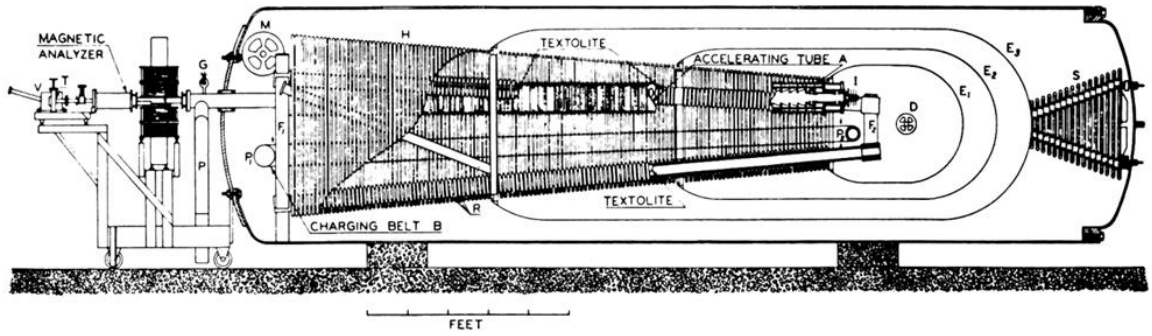
Quadro 4.1: Artigos Referentes ao Estágio de Oscar Sala na Universidade de Illinois

ARTIGOS PUBLICADOS EM ORDEM CRONOLÓGICA
1. ***Sala, O., Bower, J., Goldhaber, M., Hill, D. R.. Short lived metastable state of a even-even nucleus Ge72.*** **Physical Review** ***73: 1219, 1948.***
2. ***Sala, O., Axel, P., Goldhaber, M.. Internal conversion electrons accompanying slow neutron capture in Gd.*** **Physical Review** ***74: 1249, 1948.***

Em 1947, ainda no decorrer de seu estágio em Illinois, Oscar Sala foi comunicado de que o Departamento de Física da USP havia decidido pela incorporação de mais um acelerador em seu ambiente de trabalho experimental. Porém, este deveria acelerar partículas pesadas (prótons, deuterons, partículas alfa, etc.), sendo cogitada uma máquina eletrostática do tipo Van de Graaff para este fim. Tal decisão também estabelecia que Sala seria o encarregado pelo estudo das possibilidades de se ter esta máquina em São Paulo. Foi inclusive confirmado através de carta escrita a Sala por Marcelo Damy que os recursos financeiros necessários à construção de um Van de Graaff de pequeno porte já teriam sido por ele garantidos em São Paulo. A aquisição desta máquina já pronta foi descartada logo de início, visto que as atividades da empresa de Robert Van de Graaff, a High Voltage Engineering Corporation (HVEC), estavam começando naquele mesmo ano (Sala, 1977).

Por estar em sua fase de iniciação à cultura material da Física Nuclear, Sala ainda não possuía os conhecimentos necessários em tecnologia de aceleradores, sendo por isso levado a buscar informações com seus colegas de trabalho sobre o assunto. Dentre eles estava Alfred Hanson, que em seu doutorado pela Universidade de Wisconsin havia trabalhado no desenvolvimento de máquinas aceleradoras eletrostáticas sob a orientação do professor Raymond Herb – uma autoridade em tecnologia de aceleradores eletrostáticos horizontais. Desde os anos 1930, Herb já vinha desenvolvendo novos conceitos e modificações inovadoras nesta tecnologia, demonstrando a viabilidade de se construir o equipamento no interior de um tanque cheio de gás, sob pressão elevada. Em 1940, a partir destes aperfeiçoamentos, Herb e colaboradores conseguiram obter, com uma máquina pressurizada de dimensões modestas, 4,5 milhões de elétron volts (MeV). Pelos doze anos seguintes, esta foi a maior voltagem DC disponível para experimentos em Física Nuclear (Sala, 1989).

Figura 4.1: *Design* Horizontal do Acelerador Eletrostático de 4,5 MeV da Universidade de Wisconsin



Fonte: Sala (1989, p.269).

Na mesma época em que conheceu Hanson, Sala entrou em contato com o professor da Universidade de Wisconsin Henry Barschall, por ocasião de um colóquio realizado em Illinois. Estes dois pesquisadores aconselharam Sala a procurar Herb a fim de ajudá-lo no problema do acelerador eletrostático para São Paulo. Porém, mesmo antes de Wataghin entrar em contato com Herb a fim de oficializar sua transferência para a Universidade de Wisconsin[43], Sala já estava trabalhando no projeto do Van de Graaff e fazendo os seguintes planos de pesquisa para sua futura operação em São Paulo:

> "Como o nosso Van de Graaff será de corrente elevada (espero conseguir ~ 300μA) nos será possível obter muitos elementos radioativos (até Z ~ 25 ou 30) e com estes, usando o espectrógrafo que o Pioroni está construindo, pretendo fazer um trabalho mais ou menos sistemático sobre conversão interna. Utilizando o Van de Graaff como fonte de nêutrons, pretendo fazer trabalhos em medidas de largura e energia de níveis de ressonância para captura e *scattering* de nêutrons. Para isso o nosso Van de Graaff terá um ótimo sistema de estabilização e de voltagem e vamos procurar construir uma fonte de íons trabalhando em baixa voltagem. Para diminuir ainda o '*spread*' de energia dos *beams* pretendo usar um método que é bastante semelhante ao método do tempo de vôo de nêutron mas que me permitirá um poder resolutivo muito melhor. Além disso, poderemos fazer inúmeras experiências de *scattering*, medidas de níveis, etc., utilizando *beams* de prótons e dêuterons. Teremos também possibilidade, utilizando certas reações, de obter um *beam* monocromático de raios γ que será muito interessante para alguns trabalhos. Enfim, há ainda inúmeras outras coisas que poderemos fazer com o Van de Graaff"[44].

[43]Em carta datada de 21/07/1947, Watathin pede a Herb que oriente Sala por alguns meses no aprendizado da construção e do manejo de um acelerador eletrostático nos moldes da escola de Wisconsin.

[44]Carta escrita por Oscar Sala a Gleb Wataghin em Illinois, 05/08/1947 (Arquivo Instituto de Física da USP).

Sala acreditava ser o Van de Graaff, naquela ocasião, a única máquina que possibilitaria a realização de trabalhos precisos devido a certas características que a distinguia das demais, dentre as quais destacam-se "a grande homogeneidade da energia das partículas aceleradas, a grande intensidade do feixe produzido, uma ausência quase total de radiação de fundo (que tende sempre a confundir os resultados e introduzir erros nas experiências) e a possibilidade de variar a energia do feixe de partículas de uma maneira contínua" (Sala, 1949, p.13).

Em janeiro de 1948, Sala iniciou seu estágio na Universidade de Wisconsin com o objetivo de não apenas projetar o Van de Graaff para a Universidade de São Paulo, mas também de aprender o tipo de conhecimento científico que poderia ser produzido com a utilização de tal máquina. Daí a sua inserção em dois grupos de pesquisa – o primeiro estudava o problema da calibração absoluta dos aceleradores eletrostáticos, sob a orientação do prof. Herb; e o segundo trabalhava na área de Física de Nêutrons, sob a supervisão do prof. Barschall. Esta atividade de pesquisa de Sala em Madison gerou os três artigos abaixo mencionados.

Inclusive o primeiro trabalho publicado foi o resumo da apresentação realizada por Sala e Herb na Reunião da Sociedade Americana de Física, que ocorreu na própria Universidade de Wisconsin, em 1948. Nesta apresentação foram ressaltadas as principais considerações aplicadas no *design* do acelerador eletrostático projetado para a USP, que eram o baixo custo, a simplicidade, o tempo mínimo para construção e a fácil operação da máquina (Sala e Herb, 1948).

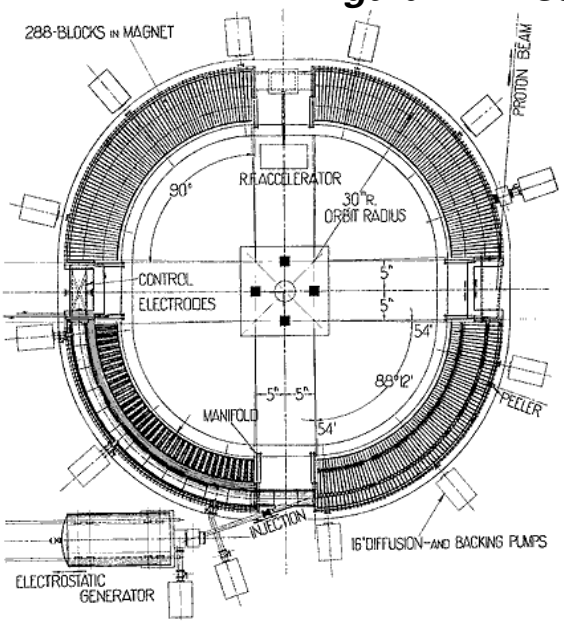
A aceitação deste projeto pela comunidade dos físicos norte-americanos foi ratificada por sua utilização no sistema de injeção do acelerador de prótons Cósmotron[45], posto em operação no Laboratório Nacional de Brookhaven no início dos anos 1950 – o que, por sua vez, marca o início da era dos grandes aceleradores da Física de Altas Energias.

[45]Maiores detalhes sobre o sistema de injeção do Cósmotron podem ser encontrados em: Rogers, E. J. & Turner, C. M. Injection System. Part I – Van de Graaff Accelerator. **Review of Scientific Instruments** 24: 805, 1953.

Quadro 4.2: Artigos Referentes ao Estágio de Oscar Sala na Universidade de Wisconsin

ARTIGOS PUBLICADOS EM ORDEM CRONOLÓGICA
1. Sala, O., Herb, R. G.. Design of electrostatic generator for the University of Sao Paulo, Brazil. **Physical Review** 74: 1260, 1948.
2. Sala, O., Herb, R. G., Snowdon, S. C.. Absolute voltage determination of three nuclear reaction. **Physical Review** 75: 246, 1949.
3. Sala, O., Adair, R., Barschall, H. H., Bockelman, C. K.. Total cross section sf Be, O, Na and Ca for fast neutrons. **Physical Review** 75: 1124, 1949.

Figura 4.2: Esquema do Cósmotron



Encontra-se no canto inferior esquerdo desta figura um clone do acelerador eletrostático projetado para a Universidade de São Paulo, então utilizado para dar a aceleração inicial aos prótons posteriormente injetados no anel do Cósmotron.

Fonte: *Cultural (Historical) Resource Management at Brookhaven National Laboratory*

Inicialmente, um dos problemas envolvidos na execução do "Projeto Cósmotron" estava no fato de a HVEC, empresa então encarregada pela construção do acelerador eletrostático horizontal a ser utilizado em seu sistema de injeção, só possuir experiência em máquinas verticais. Dentro da solução encontrada estava a contratação de Herb como consultor desta companhia para a consecução do projeto da máquina horizontal e a sua decisão pela cópia do projeto de São Paulo (Sala, 1977).

Sobre este projeto, dois aspectos são de fundamental importância. O primeiro está nas considerações do *design* do acelerador eletrostático de São Paulo, condizentes com a condição periférica na qual ele viria a existir. Daí a necessidade do custo reduzido, da minimização do tempo de construção, da simplicidade e da fácil operação. Mas nem por isso ele deixou de ser uma máquina revolucionária para os moldes de seu tempo. É neste ponto que se insere o segundo aspecto relevante, referente às suas características inéditas. Em função de sua experiência adquirida nas universidades norte-americanas, principalmente nas áreas de Física de Nêutrons e de tecnologia de aceleradores eletrostáticos horizontais, Sala chegou à conclusão de que as máquinas eletrostáticas geradoras de feixes monocromáticos seriam as ideais para se produzir feixes pulsados de nêutrons. Foi com esta ideia em mente que Sala projetou a primeira máquina eletrostática pulsada da Física Nuclear (Sala, 1977).

4.2) A Construção do Laboratório

Em fins de 1948, Oscar Sala retornou ao Brasil tendo cumprido a etapa inicial da tarefa que lhe foi designada. Em virtude das deformações estruturais geradas pelo processo de desenvolvimento capitalista no Brasil, não menos complexo seria o passo seguinte – o da construção do acelerador eletrostático e da infraestrutura laboratorial necessária ao seu funcionamento. Anos mais tarde, o próprio Sala veio a declarar que, naquela época, "no estágio de desenvolvimento industrial e tecnológico que se encontrava o Brasil, era uma loucura pensar em fabricar um acelerador" (Sala, 1977, p.26).

O primeiro grande problema de ordem material por ele enfrentado foi a escassez de recursos financeiros. Diante da inexistência tanto de instituições públicas destinadas ao fomento da ciência e da tecnologia na sociedade brasileira quanto dos recursos outrora garantidos por Marcelo Damy, Sala teve que aguardar até 1950 pela aprovação dos fundos então providos pela própria Universidade de São Paulo, com os quais pôde-se dar início à construção do prédio do acelerador Van de Graaff na recém-criada Cidade Universitária (Sala, 1977). Há indícios de que no ano anterior, Jorge Americano, então presidente dos Fundos Universitários de Pesquisa, havia

feito o pagamento inicial pela construção dos tanques do Van de Graaff à empresa Bardella S.A.[46]

Este início da concretização do projeto do acelerador eletrostático fez emergir animosidades entre Oscar Sala e Marcelo Damy, que, naquela ocasião, ocupava o cargo de direção do Departamento de Física e do Laboratório do Acelerador Bétatron. Segundo um dos estudantes do curso de Física que auxiliaram na construção do Van de Graaff, "havia sérias desavenças entre Damy e Oscar Sala, (...) que em vez de conseguir a doação, como Damy havia conseguido, resolveu construir o acelerador" (Nussenzveig, 2008, p.80).

Um ponto de vista elucidativo destas desavenças vem de José Goldemberg, então discípulo de Marcelo Damy e atuante no Laboratório do Acelerador Bétatron. Segundo Goldemberg, Damy era tão ambicioso[47] que desencorajava seus "subordinados" a irem se aperfeiçoar no exterior[48], pois "se há uma coisa que dá independência para as pessoas é o conhecimento. Se a pessoa sai e volta, e é competente, é difícil segurá-la" (Goldemberg, 1976, p.34). Ademais, a intenção de Damy em instalar o Bétatron "era fazer um aparelho bonito, que fosse ser filmado, televisionado, etc e tal"[49], e que pudesse, por esses meios, conferir prestígio à sua atividade profissional.

Dentro desta "escala de valores" construída por Marcelo Damy, pode-se deduzir que a instalação de outro acelerador no mesmo departamento representaria a perda de prestígio e poder,

[46]Em carta datada de 30/06/1949, Marcelo Damy solicita a Jorge Americano o envio de cheque no valor de Cr$133.666,70, em favor de Bardella S.A., referente ao pagamento inicial pela construção dos tanques pressurizados do Van de Graaff (Arquivo Instituto de Física da USP).

[47]O mesmo Goldemberg atribuiu a volta de Wataghin a Itália, em fins dos anos 1940, ao clima de hostilidade criado no Departamento de Física por Marcelo Damy, com a intenção de retirá-lo da direção. "O objetivo era o poder. Damy queria se transformar no chefe do Departamento e a presença de Wataghin era um embaraço. Isso porque ele tinha uma tal autoridade, um tal respeito, que enquanto ele estivesse lá, ele seria naturalmente o chefe do departamento" (Goldemberg, 1976, p.26).

[48]Inclusive o próprio Goldemberg sofreu ameaça de demissão feita por Damy, ao comunicá-lo sobre seu estágio na universidade canadense de Saskatoon (Goldemberg, 1976, p.35).

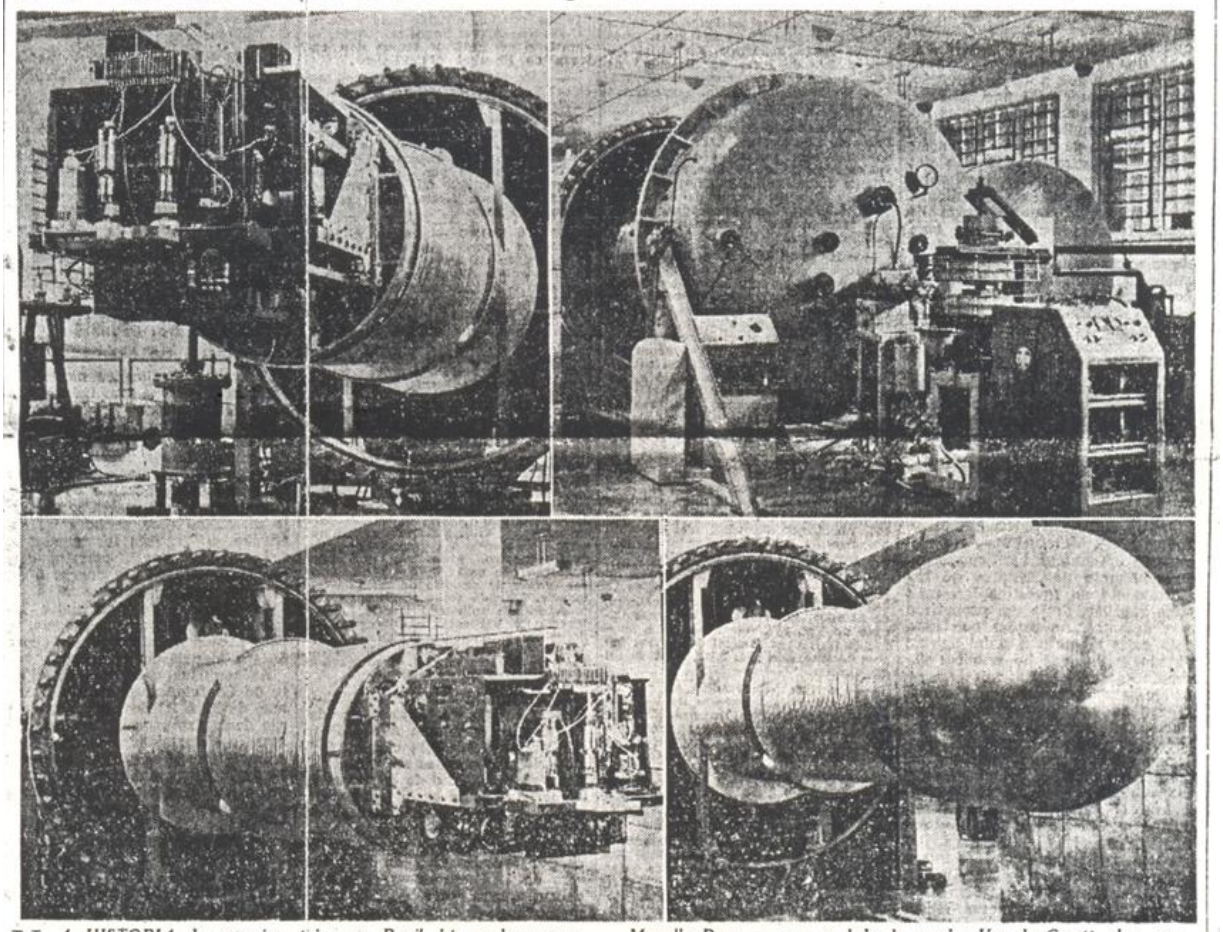
[49]Dando continuidade a esta linha argumentativa, o importante para Damy não era o conhecimento científico produzido pelo Bétatron, mas a máquina em si, pois ele "acreditava em fazer coisas, mexer com as coisas. Era uma espécie de engenheiro frustado, no fundo". Portanto, "o fato de descobrirmos com aquele aparelho que o núcleo do cobre tem uma anomalia qualquer tinha um interesse bastante secundário para ele. É claro que, se ele descobrisse uma anomalia no núcleo do cobre, ele faria uma propaganda terrível da anomalia, mas acho que não se interessava pela anomalia em si" (Goldemberg, 1976, p.31-33).

além do eminente risco de eclipsar seu pioneirismo. Ainda mais por se tratar de um trabalho "genuinamente paulistano", realizado "quase inteiramente com material nacional e com escassez de recursos" e cuja orientação "altamente patriótica" conferia a Oscar Sala e colaboradores o *status* de "heróis quase anônimos". Com estes termos era descrito, pelo jornal O Estado de São Paulo, o trabalho de construção do acelerador Van de Graaff, em matéria publicada em 08/02/1955 e abaixo reproduzida.

Em pleno ciclo ideológico do desenvolvimentismo, o fato do acelerador Van de Graaff ser construído com materiais produzidos pela própria indústria nacional fez com que a opinião pública conferisse prestígio e caráter heróico-patriótico ao trabalho de Sala. Entretanto, como se pode apreender da reportagem, no Brasil dos anos 1950, o investimento público destinado ao fomento das pesquisas físicas ainda era visto como "uma questão de gastos desnecessários", o que demonstra uma incipiente institucionalização das ciências na sociedade brasileira da época.

Figura 4.3: Matéria Publicada no Jornal O Estado de São Paulo sobre a Construção do Acelerador Van de Graaff

NOVO MARÇO NA PESQUISA ATOMICA NACIONAL



NA HISTORIA das pesquisas físicas no Brasil há um lugar para o nome de um moço que até agora soube viver, sem transigencias, o seu proprio sonho. Já em 1944, Oscar Sala, discipulo de um dos maiores professores que São Paulo conheceu, o prof. Gleb Wataghin, ainda estudante colaborava, com dedicação, nos trabalhos de seu eminente mestre e orientador. Oscar Sala não é destes que facilmente se contentam com tarefas faceis. Muito cedo ainda, apenas formado pela Faculdade de Filosofia, Ciencias e Letras, completando sua especialização na Universidade de Illinois, o jovem especialista recebia do prof. Marcello Damy de Souza Santos a incumbencia de estudar e projetar a construção de um acelerador eletrostático.

Hoje, o acelerador eletrostático é uma realidade. Construido quase inteiramente com material nacional e com escassos recursos financeiros, a estranha maquina representa antes de tudo a consagração de um trabalho genuinamente paulista realizado pela Faculdade de Filosofia com a colaboração do Instituto de Pesquisas Tecnologicas, do Instituto de Eletrotecnica, e da industria de São Paulo, trabalho este que seria irrealizavel não fosse o auxilio financeiro da Universidade de São Paulo, do Conselho Nacional de Pesquisa e da benemerita Fundação Rockfeller. A nossa Universidade, com a utilização de seu gerador, se encontra em condições de igualdade com o que há de melhor, no genero, em qualquer outro centro de pesquisa nuclear. Não se deve esquecer que, há varios anos, funciona em São Paulo um betatron — resultado do pertinaz esforço do prof. Marcello Damy — que, ao lado do gerador Van de Graaff, abre, para as pesquisas atomicas em nosso País, imensas perspectivas.

O sonho de Oscar Sala, que pela sua dedicação, orgulha a Universidade de São Paulo, encerra profundas lições. A pesquisa física em nosso País tem sido sobretudo uma questão de gastos desnecessarios. Seguindo orientação diversa e altamente patriotica, com pouco mais de um milhão e meio o grupo dirigido pelo ilustre especialista construiu uma maquina que, no cambio oficial, custaria hoje nada menos de 12 milhões de cruzeiros. Não é só isto entretanto. No Brasil, atualmente, se pensa no desenvolvimento da pesquisa nuclear. Por este motivo, gasta-se demasiado na compra de maquinas, sem pensar no problema que é a formação dos homens capazes de dirigi-las. Oscar Sala, com seu grupo de heróis quase anonimos, fez o que, aparentemente era impossivel. Auxiliado por idealistas que acreditam na ciencia, tais como Philip Smith e John Cameron e pelos estudantes dos cursos de física da Faculdade de Filosofia, Ciencias e Letras, entre os quais convém destacar os nomes de Ernesto Hamburger, Moisés Nussenzweig, Amélia Imperio, Eca Cibulska e pela "equipe" de mecanicos chefiada pelo competente técnico Mario Capello, Oscar Sala está criando uma escola que sem duvida honrará a lembrança de seu ilustre mestre, o prof. Gleb Wataghin. Não foi inutilmente que se criou, num gesto de feliz inspiração, a Universidade de São Paulo, pois os seus discipulos souberam colher as lições que haverão de conduzi-la por melhores caminhos. No clichê, varios aspectos do acelerador eletrostático, vendo-se pormenores da carapaça de alta tensão.

Com poucos recursos, Sala não só conseguiu construir o prédio do acelerador e a máquina em si, como também assegurou a infraestrutura necessária ao seu funcionamento. Dentro desta última, destacavam-se as oficinas mecânica e eletrônica, cujo pedido de montagem feito por Sala gerou espanto por parte dos membros da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, porém compreendido e acatado por seu diretor, o historiador Eurípedes Simões de Paula. Para trabalhar na oficina mecânica, foram contratados professores da Escola Técnica Getúlio Vargas, sendo chefiados pelo mecânico Mário Capello. Já no caso da oficina eletrônica, não havia um mercado de trabalho local consolidado e capaz de suprir suas necessidades.

No Brasil dos anos 1950, diante da enorme carência de escolas técnicas de eletrônica, a mão de obra utilizada na indústria eletrônica era formada através do autodidatismo de diversos técnicos, que se valiam da ampla divulgação de conhecimentos técnicos sobre eletrônica em livros, revistas, manuais[50] e informes de fornecedores de componentes, tais como válvulas, transistores, diodos, capacitores, resistores, etc. Devido à maior sofisticação tecnológica de seus produtos, as empresas de capital estrangeiro do setor eletrônico empregavam não mais que dois engenheiros para as atividades de projeto e desenvolvimento, enquanto as nacionais, de menor porte e produtoras de bens tecnologicamente mais simples, geralmente não admitiam engenheiros, tendo toda a sua atividade de desenvolvimento desempenhada por técnicos com experiência, porém sem bagagem de conhecimentos teóricos ou acadêmicos.

Conforme ressaltado por Queiroz (1999, p.79), este perfil profissional contrastava com o próprio desenvolvimento histórico da tecnologia eletrônica, "que, a partir da introdução do transistor e principalmente do circuito integrado, passou a adquirir uma complexidade crescente e velocidade de transformação em componentes e produtos que passam a exigir maiores conhecimentos teóricos e uma formação mais sistematizada dos técnicos".

Como resposta a esta exigência, ainda nos anos 1950, foram tomadas algumas iniciativas pontuais, porém com ampla repercussão na formação de quadros profissionais para os setores

[50]Um exemplo de publicação deste gênero é a revista "Antenna Eletrônica Popular", inicialmente dedicada à radioeletricidade, em circulação ininterrupta no Brasil desde 1926. Posteriormente, a editora desta revista, a Antenna Edições Técnicas, começou a publicar pequenos livros técnicos, através dos quais os amadores obtinham os conhecimentos necessários à construção de seus equipamentos de rádio.

acadêmico e industrial. Com relação ao ensino técnico profissionalizante, no município mineiro de Santa Rita do Sapucaí foi criada, em 1959, a precursora Escola Técnica de Eletrônica "Francisco Moreira da Costa", "em cuja grade curricular encontravam-se disciplinas que estavam em sintonia com os mais recentes desenvolvimentos científicos e tecnológicos da área" (Queiroz, 1999, p.79).

Neste mesmo sentido, os seguintes fatos marcaram o sistema de ensino superior e de pesquisa acadêmica de São Paulo: a divisão do curso de engenheiro eletricista da Escola Politécnica da USP nas modalidades "eletrotécnica" e "eletrônica", realizada em 1959; e a formação da primeira turma de engenheiros eletrônicos pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) em 1953 (Motoyama e Marques, 1994). Foi com a colaboração destes engenheiros eletrônicos, formados pelo ITA e pela USP e engajados em pesquisas nestas mesmas instituições, que Oscar Sala conseguiu solucionar diversos problemas tecnológicos envolvidos na construção e no funcionamento do Van de Graaff.

Um desses problemas constituiu-se na realização de um sistema capaz de interromper um feixe contínuo de íons acelerado pelo Van de Graaff, de modo a torná-lo pulsado – o que possibilitaria a medida da energia dos nêutrons através do método do tempo de voo. Apoiados financeiramente por CAPES e CNPq, o estudo e a construção deste sistema foram feitos, em fins dos anos 1950, com a colaboração de Adolfo Leirner[51] – engenheiro eletrônico formado pelo ITA e então funcionário da Divisão de Eletrônica desta instituição, sob a chefia de Richard Wallauschek[52].

[51]Resultados parciais desta pesquisa foram apresentados na XI Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência e publicados sob a forma de resumo nos anais deste evento, tendo como referência: LEIRNER, A.; SALA, O., DOUGLAS, R. A. Sistema para pulsação do feixe do acelerador eletrostático da Universidade de São Paulo. In: **Anais da XI Reunião da SBPC**, Salvador, 1959.

[52]Richard Wallauschek participou, em 1961, de uma experiência única no Brasil até então, ao orientar quatro estudantes do ITA na realização do projeto e da construção do computador Zezinho, que utilizava apenas componentes nacionais, cerca de 1.500 transistores. Segundo Motoyama e Marques (1994, p.382), o Zezinho "era um computador simples, sem muito recurso de memória, porém, muito útil do ponto de vista didático; ele teve vida curta e a experiência morreu entre as quatro paredes da instituição. Isto porque a iniciativa que se pretendia ver abraçada por alguma empresa privada ou mesmo pelo interesse do governo para sua fabricação em série acabou caindo no esquecimento, e o 'Zezinho' seria desmontado, tendo seus componentes reutilizados para outros fins".

A formação que o ITA oferecia a seus estudantes de engenharia eletrônica, com o apoio fundamental de um quadro de professores estrangeiros altamente qualificados, abrangia um vasto conjunto de conhecimentos então em voga nas comunidades tecnocientíficas internacionais, incluindo a tecnologia de vácuo, a construção de válvulas, dentre outros que fizeram de Adolfo Leirner um colaborador do Laboratório do Acelerador Van de Graaff.

Nesse sentido, Leirner (2008) recordou que:

> "(...) quando eu fui para lá, tinha um preparo bom em microondas, em dinâmica de partícula em campos elétricos, que tem muito a ver com válvulas de microondas, que se usava naquele tempo em rádio transmissão. Então eu consegui entender bem o problema do professor Sala. Ele queria que eu fizesse com que o feixe do Van de Graaff se comportasse como um feixe de um osciloscópio, que fosse para cima e para baixo no alvo da máquina. Eu fiz os cálculos, tinha uma ótica eletrônica, uma ótica de elétrons. Eu me lembro que fizemos uma cuba eletrolítica para testar essa ótica. Era um tipo de lente que se chamava *einzel lens*, que era uma lente que conseguia focalizar o feixe de elétrons sem alterar a energia dele. Eu me lembro que era uma *einzel lens* e depois tinha um par de placas e etc. Aí chegou o momento de ter que aplicar nessas placas uma diferença de potencial de frequência alta, era radiofrequência (não me lembro em qual frequência), para que o feixe fosse para cima e para baixo na hora que passasse no meio dessas placas. Como essas partículas vinham em alta velocidade, não podíamos botar uma tensão baixa. Elas iriam simplesmente ignorar, sair do jeito que entraram. Então colocamos uma tensão alta".

Daí a necessidade da construção de um oscilador de alta-tensão e alta-frequência para pulsar o feixe do Van de Graaff, que utilizaria válvulas de trinta a quarenta centímetros de altura, componentes estes produzidos pela indústria de transmissores de rádio. Dentre as poucas empresas paulistanas deste setor, uma das subsidiárias da Philips no Brasil, a INBELSA (Indústria Brasileira de Eletricidade), ficou encarregada desta tarefa pelo fato de seu presidente, Leon Rubin, ser professor de telecomunicações do ITA e de eletrônica aplicada do Departamento de Física da USP[53].

[53]Um indício do envolvimento de Leon Rubin com as atividades do Departamento de Física pode ser observado a seguir: "A partir do mês de julho próximo (de 1948), será reiniciado o curso de eletrônica aplicada a cargo do Dr. Leon Rubin e patrocinado pelo Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Parte destas aulas será dedicada a demonstrações práticas tais como: amplificadores de frequência acústica, vídeo e rádio-frequência, osciladores, moduladores e demoduladores, células foto-elétricas, válvulas eletrônicas especiais, klystrons e magnetrons, válvulas a gás e retificação das correntes alternadas, aplicações diversas às comunicações; aplicações científicas, médicas e industriais. Este curso é livre e gratuito, estando dispensados de inscrição todos os que se inscreveram na 1º parte. Novas inscrições serão admitidas na Avenida Brigadeiro Luiz Antônio, 784 – Fone 3-7970. Oportunamente serão distribuídas apostilas

Um aspecto importante a se destacar, indicativo do espírito cooperativo existente entre os praticantes de um ciência ainda em processo de profissionalização, está tanto na doação do oscilador feita por Leon Rubin, quanto no fato de Adolfo Leirner ter sido emprestado por Wallauschek a Sala, sendo seu salário integralmente pago pelo ITA durante todo o período em que se envolveu no projeto do Van de Graaff. Ainda destituídos de uma mentalidade científica portadora de valores capitalistas, marcada pela competição e pelos direitos de propriedade intelectual, estes homens almejavam a realização de um projeto maior, calcado na consolidação da pesquisa científica no Brasil (Leirner, 2008).

O elo entre o ITA e o Departamento de Física da USP era representado por Paulus Pompéia, que além de manter estreitos laços com as Forças Armadas desde a sua participação no esforço de guerra, integrava o corpo docente do ITA nos idos da década de 1950. Através dele, Sala foi apresentado ao Brigadeiro Faria Lima, que era o responsável pela excelente oficina mecânica do Parque da Aeronáutica em São Paulo, aparelhada com as sobras da Segunda Guerra Mundial então adquiridas a preços irrisórios. Deste contato, Sala obteve a permissão para construir, nesta oficina, as peças de maior porte do Van de Graaff (Sala, 1977).

Aliás, a construção da parte mecânica da máquina representou o primeiro problema a ser superado, principalmente em decorrência da atraso tecnológico da estrutura industrial brasileira. Sobre esta questão, Sala destacou que:

> "O primeiro problema com que nos defrontamos foi o de construir essa máquina aqui no Brasil. Essa máquina, como todo acelerador, trabalha dentro de um tanque enorme pressurizado. Usa-se um gás, uma mistura de nitrogênio e gás carbônico, a uma pressão alta, da ordem de dez atmosferas. Então nós tínhamos o problema de construir um tanque que tinha mais ou menos dois metros de diâmetro por uns seis de comprimento. Nunca se havia feito um tanque assim no Brasil" (Sala, 1977, p.26-7).

Na busca por uma firma que aceitasse o desafio de produzir algo novo, que tivesse o mesmo "espírito aventureiro" de Sala e colaboradores, foi encontrada a "Bardella S.A. Indústrias Mecânicas", que se prontificou a fabricar o tanque pressurizado do Van de Graaff e seu analisador eletrostático. A moldagem da parte dianteira do tanque foi toda feita a martelo hidráulico - "a

---

mimeografadas das aulas da 1º parte. As aulas terão início a partir de 3 de junho próximo, com 2 horas por semana, às segundas e quintas das 18 às 19 horas, no 3º andar da Escola Caetano de Campos, Praça da República" (Arquivo Instituto de Física da USP).

chapa era esquentada e feita no formato desejado" (Sala, 1977, p.27). Esta experiência pioneira em pressurização no Brasil levou a empresa White Martins, que naquela época produzia somente oxigênio, a entrar no ramo de criogenia, passando a fabricar nitrogênio líquido (Sala, 1998).

Outro caso de interação entre o empreendimento científico de Sala e a estrutura industrial brasileira foi o da empresa Brasele Eletrônica Ltda., que nasceu das atividades exercidas por Rudolph Thom no Van de Graaff entre fins de 1957 e 1959. Engenheiro civil formado em Recife e mestre em Física pela Universidade de Stanford, Thom construiu aparelhos não só para o Van de Graaff, mas também para as experiências de Cesar Lattes e Ugo Camerini realizadas em Chacaltaya, Bolívia. Os aparelhos construídos para Sala seguiam as especificações técnicas adotadas pelos laboratórios norte-americanos, dentre os quais destacam-se as fontes de alimentação e de alta-tensão, os amplificadores e os contadores de partículas.

Em janeiro de 1960, Thom fundou, com o apoio político do Almirante Álvaro Alberto, a Brasele, cujo objetivo inicial era fabricar instrumentos para Física Nuclear e laboratórios didáticos. Continuou nesta linha de produção até 1972, fornecendo seus produtos para diversas universidades públicas brasileiras. Porém, com a instauração do Regime Militar e, principalmente, a partir da gestão de Hervásio de Carvalho[54] na presidência da Comissão Nacional de Energia Nuclear, Thom foi perdendo apoio político e, consequentemente, a demanda das universidades públicas até o ponto em que mudou de ramo de atividade. Em 1974, a Brasele começou a produzir dissipadores de calor para semicondutores e, a partir de 1976, sub-bastidores, inicialmente para o laboratório de desenvolvimento da EMBRATEL[55].

Por fim, cabe ressaltar que a construção da parte eletrônica do Van de Graaff, relativamente mais complexa e sofisticada se comparada à parte mecânica, contou com a participação dos estudantes Ernesto Hamburger, Moysés Nussenzveig, Amélia Império e Eva

[54]No período em que foi presidente da CNEN, Hervásio de Carvalho não só desestimulou a fabricação industrial de instrumentos para a prática da Física Nuclear como dissolveu o "Grupo do Tório", o único que desenvolvia no Brasil ideias originais em tecnologia de reatores visando a implementação de uma indústria nuclear independente do suprimento externo de combustível. Estas duas ações se encaixam na lógica prático-imediatista da política nuclear do Regime Militar, segundo a qual a capacitação nacional em pesquisa nuclear seria desnecessária, face ao mercado mundial de usinas nucleares já consolidado (Medeiros, 2005).

[55]Estas informações foram obtidas através de conversa com Rudolph Charles Thom em 12/12/2007.

Cibulka, e dos físicos norte-americanos Phillip Smith e John Cameron, que também ensinavam aos respectivos alunos técnicas de alto-vácuo e eletrônica. Aliás, foi uma constante no decorrer da trajetória do Laboratório do Acelerador Eletrostático a presença de pesquisadores norte-americanos, alguns deles perseguidos pelo Macarthismo devido a suas convicções políticas esquerdistas, o que conferiu a Sala o rótulo de "americanista".

4.3) Os Mecanismos de Suporte ao seu Funcionamento

A severa escassez de recursos que fez da construção do acelerador eletrostático, aos olhos da opinião pública, um empreendimento heróico-patriótico, também veio a inibir seu funcionamento nos cinco primeiros anos de sua existência material. Como prova das dificuldades financeiras, por diversas vezes, Oscar Sala e o mecânico Mário Capello tiveram que vender as sobras de retalhe de metal e as rebarbas do torno para que, com o dinheiro ganho, pudessem adquirir algum outro pedaço de metal ou material necessário à construção do Van de Graaff. Segundo Sala (1977, p.32), "a verba era tão minguada – acho que era mais problema de teimosia – que nós íamos até um ponto e parávamos".

Os primeiros ensaios de tensão da máquina foram realizados em 1954 e todo um programa original de pesquisa baseado na Física de Nêutrons e em reações polarizadas já havia sido delineado. Entretanto, no período entre 1954 e 1959, era impossível realizar qualquer trabalho científico na área de Física Nuclear, em virtude da ausência de recursos financeiros e de equipamentos que comporiam os arranjos experimentais do acelerador, tais como os detectores.

Principal espaço de divulgação nacional das atividades realizadas pelo Laboratório do Acelerador Eletrostático ao longo de sua existência, as reuniões anuais da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) ocorridas na década de 1950 não foram, em sua totalidade, palco para a apresentação de novos trabalhos em Física Nuclear. Conforme evidenciado no Quadro 4.3, na reunião de 1956, foram apresentados trabalhos apenas sobre a instrumentação do Van de Graaff. Mais um indício do longo período de dificuldades então enfrentado está no fato de que somente na reunião de 1959 foram divulgadas pelos integrantes do Laboratório pesquisas em Física Nuclear.

Esta inexistência de condições de trabalho na década de 1950 fez Sala pensar até mesmo em sair definitivamente do país, tendo em vista os diversos convites por ele recebidos para exercer atividades profissionais em universidades estrangeiras, em especial na de Wisconsin.

> "Se eu tivesse voltado para os Estados Unidos, em termos da minha produção científica pessoal, teria tido maior satisfação. Mas, em termos do que eu poderia ser, em termos de formação de outras pessoas ou de um grupo próprio eu via maior necessidade e maior possibilidade de contribuição aqui no Brasil do que lá. Lá já estava tudo pronto, o que eu poderia fazer nesse sentido não era nada. Ao passo que, no Brasil, essa era uma contribuição que eu poderia dar, formar novas pessoas, formar grupos. Eu me sentiria muito frustrado, muito fracassado, se não tivesse conseguido fazer isso durante esses anos, porque esta foi a razão principal da minha decisão de continuar, permanecer no Brasil. O mais importante não é mais a minha presunção pessoal, o mais importante é dar condições de trabalho, condições de formar pessoas na área de pesquisa científica, em particular na área de Física Nuclear" (Sala, 1977, p.43).

Quadro 4.3: Trabalhos Realizados pelo Laboratório do Acelerador Eletrostático e Apresentados nas Reuniões Anuais da SBPC da Década de 1950

ARTIGOS PUBLICADOS EM ORDEM CRONOLÓGICA

1. ***Sala, Oscar; Smith, Philip; Hamburger, Ernest. Controle da energia do Acelerador Eletrostático da Universidade de São Paulo. Trabalho apresentado na VIII Reunião Anual da SBPC. Ciência e Cultura, vol.8, n.3, 1956.***

2. ***Império, Amélia; Hamburger, E.; Smith, P.; Sala, O.. Calibração da escala de energia do acelerador eletrostático da Universidade de São Paulo. Trabalho apresentado na VIII Reunião Anual da SBPC. Ciência e Cultura, vol.8, n.3, 1956.***

3. ***Sala, O.; Hamburger, E.; Smith, P.; Nunes, Elmo; Metzner, P. O analisador magnético do feixe do Acelerador Eletrostático. Trabalho apresentado na VIII Reunião Anual da SBPC. Ciência e Cultura, vol.8, n.3, 1956.***

4. ***Douglas, Ross; Dietzsch, Olácio. Radiação gama resultante da desintegração do Mn^{56}. Trabalho apresentado na XI Reunião Anual da SBPC. Ciência e Cultura, vol.11, n.3, 1959.***

5. ***Douglas, R.; Dietzsch, O. Procura de um estado isomérico no Mn^{54}. Trabalho apresentado na XI Reunião Anual da SBPC. Ciência e Cultura, vol.11, n.3, 1959.***

6. ***Leirner, Adolfo. Sistema de pulsação do feixe do Acelerador Eletrostático da USP. Trabalho apresentado na XI Reunião Anual da SBPC. Ciência e Cultura, vol.11, n.3, 1959.***

7. ***Lattes, Cesar; Leirner, A.; Jeronymo, J.; Hamburger, E.; Sala, O. Espectro de energia e distribuição angular dos nêutrons da reação $Na^{23}(d,n)$ Mg^{24}. Trabalho apresentado na XI Reunião Anual da SBPC. Ciência e Cultura, vol.11, n.3, 1959.***

As mesmas restrições materiais também mostraram a Sala a necessidade de se inserir nas esferas de decisão da política científica nacional. Daí a sua participação ativa, já nos anos 1960, em todas as instâncias de influência e deliberação da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

> Indo além, Sala "foi um dos fundadores da Sociedade Brasileira de Física, SBF, e seu primeiro presidente, em 1966. Como presidente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, SBPC, de 1973 a 1979, anos de grande tensão entre a comunidade científica e o governo militar, exerceu o difícil papel mediador, em várias ocasiões. Participou ainda da direção do CNPq, da presidência da Academia Brasileira de Ciências e da Associação Interciências das Américas" (Hamburger, 2004, p.232).

Contradição latente da década de 1950, então marcada pelos primórdios da institucionalização da atividade científica no Brasil – o período de dificuldades financeiras vivenciado pelo Laboratório do Acelerador Eletrostático pode ser em parte explicado pela própria

estrutura política de alocação de recursos do Conselho Nacional de Pesquisas, que refletia as aspirações da primeira rede tecnocientífica brasileira voltada para o desenvolvimento das ciências nucleares e suas aplicações. Numa época em que se alimentava a expectativa simplista[56] de que os princípios teóricos da Física Nuclear poderiam ser diretamente aplicados no desenvolvimento de uma indústria nuclear nacional, o CNPq "conferiu principalmente ao Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas a tarefa de desenvolver o conhecimento tecnocientífico que se acreditava necessário à produção de energia nuclear" (Andrade, 1999, p.131).

Nos cinco primeiros anos de existência do CNPq (1951-1955), o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas contava com o apoio de 44% do seu Conselho Deliberativo e com 75% dos recursos destinados ao setor de pesquisas físicas, então aplicados no desenvolvimento de programas de pesquisa em raios cósmicos, eletrônica, técnicas de alto-vácuo, construção de contadores de partículas, detectores de cintilação e câmaras de Wilson, e na montagem de um gerador eletrostático do tipo Cockroft-Walton. Os outros 25% dos recursos foram pulverizados entre o Instituto de Pesquisas Radioativas, o Instituto de Física e Matemática da Universidade do Recife, o Instituto de Física da Universidade do Rio Grande do Sul, o Instituto Nacional de Tecnologia, o Observatório Nacional, o Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada e o Departamento de Física da USP. Neste último departamento, sabe-se que, além dos recursos requeridos por Oscar Sala, existiam também os auxílios destinados pelo CNPq ao reequipamento do Laboratório do Bétatron, comandado por Marcelo Damy (Andrade, 1999).

Para completar este contexto desfavorável, a criação da Comissão Nacional de Energia Nuclear, então desmembrada do CNPq em 1956, gerou o rebaixamento de seu poder político e, consequentemente, um declínio brusco dos recursos destinados ao Conselho – de 1956 a 1960, a

[56]Inserido no contexto dos anos 1950, o físico Joaquim da Costa Ribeiro analisou de forma mais complexa as relações entre Física Nuclear e energia nuclear nos seguintes termos: "em linhas gerais podemos dizer que a Física Nuclear é um capítulo da ciência, da investigação pura, da pesquisa desinteressada, ao passo que o domínio da energia atômica é um ramo da tecnologia, da engenharia, da ciência aplicada, utilizando para fins práticos os mais variados conhecimentos e técnicas e envolvendo mesmo, como observa Oppenheimer, muito maior número de problemas da engenharia química e da tecnologia de que de Física Nuclear. É claro que não existe sempre uma linha divisória nítida, pois em certos casos especiais o objeto de investigação é o mesmo, o que difere é apenas o espírito com que é feita a pesquisa ou a finalidade a que ela se destina" (Ribeiro, 1956, p.22). Consequentemente, "a noção de que o 'fisico atômico' é alguém que trabalha competentemente tanto em pesquisa de ponta sobre a estrutura do átomo quanto no desenvolvimento de sistemas energéticos para fins aplicados é demasiado simplificada e errônea" (Schwartzman, 1979, p.305).

dotação orçamentária do CNPq decresceu de 0,28% do orçamento da União para 0,09% (Lopes, 1964). Ainda neste mesmo período ocorreu uma intensa emigração de cientistas para outros países, principalmente para os Estados Unidos. Segundo pesquisa realizada pelo Instituto de Ciências Sociais da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em colaboração com a Academia Brasileira de Ciências, entre 1950 e 1965, teriam emigrado 261 pesquisadores oriundos de 152 institutos nacionais pelos seguintes motivos: más condições de trabalho (13,6%), falta de compensação financeira (32,5%), incompatibilidade com a direção (7%), questões ideológicas (4,7%) e desejo de ampliação dos horizontes profissionais (39,5%) (Morel, 1979).

Oscar Sala só não foi mais um a compor este grupo de cientistas emigrados pois contou com a ajuda financeira de duas instituições norte-americanas, o que possibilitou o início das atividades de pesquisa no Laboratório do Acelerador Eletrostático. Contrariando e quebrando a política interna da própria Fundação Rockefeller de não mais conceder auxílio à Física Nuclear, devido à associação feita entre o holocausto nuclear e os conhecimentos desenvolvidos nesta área – Harry Miller atendeu os pedidos de ajuda realizados por Sala, garantindo ao seu laboratório um auxílio de dez mil dólares em 1959. Com ele, pôde-se comprar os primeiros equipamentos e começar os trabalhos experimentais em Física Nuclear. No ano seguinte, a Fundação Rockefeller elevou sua contribuição para 25 mil dólares, abrindo assim um período mais ativo de pesquisa (Sala, 1977).

A segunda instituição colaboradora foi o Escritório de Pesquisa Científica da Força Aérea Norte-Americana, que, naquela época, possuía um programa de fomento (e possivelmente controle) da atividade científica mundial. Alguns meses após Sala ter entrado com um pedido de auxílio para compra de equipamentos e concessão de bolsas, quatro físicos da Força Aérea Norte-Americana visitaram o Laboratório a fim de discutir melhor o programa de pesquisa e observar o ambiente de trabalho. Passados seis meses desta visita, o grupo de Sala começou a receber um auxílio anual de vinte a trinta mil dólares, no decorrer da primeira metade da década de 1960, então utilizados na compra de equipamentos e na concessão de bolsas aos estudantes de graduação e pós-graduação do Van de Graaff. Em contrapartida, relatórios anuais eram enviados ao Escritório Científico da Força Aérea Norte-Americana, relatando o programa experimental desenvolvido, os trabalhos realizados em instrumentação, os artigos publicados e a listagem dos

nomes de pesquisadores que compunham a equipe do Laboratório[57].

Evidentemente, diante da possibilidade de se utilizar o Van de Graaff em projetos de defesa nacional, então demonstrada pela participação de Herb no Projeto Manhattan, o fato do programa nuclear brasileiro estar atrelado à tecnologia norte-americana forneceu o estímulo político necessário para que tanto a Fundação Rockefeller como a Força Aérea Norte-Americana se dispusessem a conceder os auxílios acima citados ao Laboratório do Acelerador Eletrostático.

Um importante ponto de inflexão[58] na trajetória histórica da política nuclear brasileira ocorreu em 1955, ocasionado pela adesão do Brasil ao programa "Átomos para a Paz", através do qual os Estados Unidos passaram a difundir, sob seu domínio e fiscalização, a tecnologia nuclear[59]. Segundo Goldemberg (1976, p.49), "Átomos para a Paz":

> "era um programa muito hábil, no seguinte sentido: achava que a energia nuclear iria se espalhar pelo mundo, era inevitável que se espalhasse pelo mundo. Como de fato ocorreu. Então, era muito melhor controlar os espalhamentos do que deixar que ela se espalhasse de várias formas independentes. E a forma bolada era o programa Átomos para a Paz, do Eisenhower, um programa pelo qual os americanos forneciam reatores de pesquisa[60] aos países. É uma forma hábil. É como uma criança a quem você corrompe, dando um aparelho de um certo tipo para ela. Quer dizer, você dá um reator para eles, eles ficam contentíssimos brincando com o aparelho, etc.; no fim, ficam acostumados a usar a tecnologia que gira em torno daquele reator. (...) E os reatores são construídos de maneira tal que há uma garantia intrínseca de que você não consegue o domínio da tecnologia nuclear".

[57]Para se ter uma ideia da quantidade de bolsistas mantidos com este auxílio, em 1963, dos doze beneficiados, onze eram *student assistant* (Acquadro, J. C.; Böckelmann, K.; Bonomi, P.; Calado, J. T. N.; Cohenca, J. M.; Cufaro, J. E.; Parente, C. B. R.; Pedreira, A. C.; Rodrigues, C.; Szily, A.; Vinhas, L. A.) e um *graduate assistant* (Horodinsky, L.) (fonte: Progress Report to Air Force Office of Scientific Research from Laboratório do Acelerador Eletrostático. São Paulo, 1963).

[58]Em linhas gerais, a orientação da política nuclear brasileira anterior a este ponto de inflexão se confunde e se mescla com o próprio processo de institucionalização das ciências. Capitaneada pelo Almirante Álvaro Alberto, a fase heroica da política nuclear brasileira (1949-1955) tinha como nítida a motivação pelo desenvolvimento científico e tecnológico autóctone, mesmo porque a difusão da tecnologia nuclear era então vetada pelo país pioneiro em seu desenvolvimento – os Estados Unidos (Marques, 1992).

[59]Fundamentalmente, a tecnologia nuclear abrange os reatores, as centrais nucleares e o ciclo do combustível nuclear.

[60]Reator de pesquisa é um reator basicamente projetado para fornecer nêutrons ou uma radiação ionizante para fins experimentais. Pode ser utilizado para treinamento, testes de material e produção de radioisótopos (Mirrow, 1979).

Sob os auspícios deste programa, três reatores de pesquisa foram instalados nos institutos de pesquisa da CNEN. O primeiro, do tipo *swimming pool*, fornecido pela empresa norte-americana Babcock & Wilcox, foi instalado no Instituto de Energia Atômica[61], tornando-se crítico em 1957. Já em 1960, ocorreu a inauguração do reator TRIGA (*Training Research Isotope General Atomic*) Mark 1 no Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR)[62]. Desenvolvido segundo projeto elaborado pelo laboratório norte-americano Argonne, o reator "Argonauta" foi redesenhado e construído com 93% de componentes nacionais, começando a operar no Instituto de Engenharia Nuclear em 1963. Os engenheiros nucleares responsáveis pelo Argonauta realizaram um treinamento anterior nos Estados Unidos como bolsistas do Programa Átomos para a Paz.

Em síntese, constata-se que os esforços destinados ao desenvolvimento da tecnologia nuclear realizados pelos institutos de pesquisa da CNEN não se materializaram, seja pela falta de estímulo político para se ir além da tecnologia norte-americana, seja pelo arranjo institucional segregador no qual as pesquisas nucleares foram conduzidas, o que mitigava seu isolamento com relação às demais instituições universitárias. Torna-se evidente que, neste contexto repleto de entraves políticos e institucionais, o Laboratório do Acelerador Eletrostático não teve sua participação solicitada, embora pudesse colaborar com o programa nuclear através do fornecimento de dados nucleares tão fundamentais ao desenvolvimento e construção de reatores. Neste sentido, Sala (1977, p.144-145) destacou que:

> "no Van de Graaff, em São Paulo, nós tínhamos um programa muito intenso de reações nucleares induzidas por nêutrons, observávamos os nêutrons emergentes. E o Van de Graaff era a máquina ideal para esse tipo de sistemas de tomada de dados para energia nuclear. Em particular no Instituto de Física, o grupo lá do Van de Graaff, nós não estávamos interessados nesse tipo de trabalho. Mas nos oferecemos para treinar pessoas para trabalhar com Física de Nêutrons, oferecemos a possibilidade de se utilizar um certo número de dias por mês para essas pessoas tomarem dados nucleares. Então, tínhamos realmente tudo para começarmos a produzir dados nucleares. Isso colocaria o país, realmente, numa situação muito boa perante a comunidade de energia nuclear mundial. Não tivemos sequer resposta nem da Comissão Nacional de Energia Nuclear nem do Instituto de Energia Atômica, quando não custaria um tostão, nem dependeria da construção de nada. (...) Se, por exemplo, o país ou um grupo estivesse pretendendo, digamos, projetar um tipo de reator, essas

[61]O Instituto de Energia Atômica, atual IPEN – CNEN/USP, foi criado em 1956 graças aos esforços do CNPq e da USP.

[62]Em atividade desde 1952 na Universidade Federal de Minas Gerais, o IPR foi a primeira instituição brasileira a dedicar-se exclusivamente à energia nuclear.

> medidas são básicas, essas informações são essenciais. Infelizmente, como eu disse, não tivemos resposta devido a essa falta de interação dos responsáveis pelo programa nuclear com a comunidade universitária".

Num exercício de análise contrafactual, seria provável que o envolvimento do Van de Graaff em desenvolvimentos que divergissem do padrão tecnológico norte-americano (por exemplo, nos trabalhos do Grupo do Tório[63]) inviabilizasse não só todo o apoio financeiro anteriormente ressaltado, como também a cooperação científica firmada com a Universidade de Wisconsin e parcialmente patrocinada pela National Science Foundation.

Inicialmente proposto pelo grupo de Herb, o "Programa de Cooperação em Física Nuclear Wisconsin - São Paulo" receberia o apoio da National Science Foundation desde que uma instituição brasileira também se comprometesse a colaborar financeiramente, ficando ao cargo da FAPESP esta atribuição. O principal objetivo deste programa seria a eliminação do isolamento acadêmico vivenciado pelo grupo de Sala - então visto como fator de desvantagem na concorrência científica internacional - através da troca temporária de pessoal em ambas as direções e em todos os níveis, desde alunos de mestrado e doutorado a pós-doutorandos, incluindo os coordenadores dos grupos de pesquisa, representados em Wisconsin por R. Herb, H. Barschall, W. Haeberli e H. Richards, e no lado da USP por O. Sala, E. Hamburger e R. Douglas. Até mesmo a própria estrutura curricular do curso de pós-graduação em Física Nuclear da USP passou por revisões, de modo que, com exceção de algumas áreas especializadas, convergia para o currículo adotado em Wisconsin.

Em 1962, ano de início do programa, o grupo de Wisconsin proporcionava uma infraestrutura laboratorial composta por dois aceleradores eletrostáticos, de 3 e 4 MeV, respectivamente, e por um acelerador Tandem de 12 MeV – considerado uma evolução dos aceleradores eletrostáticos e cuja existência inaugurou uma nova área de pesquisa, a Física dos Íons Pesados. Ainda na mesma linha tecnológica do Tandem, estava em etapa de testes um

[63]Oficialmente criado na Divisão de Engenharia de Reatores do IPR, o Grupo de Tório foi o único a conceber ideias originais em tecnologia de reatores. "A tecnologia escolhida foi a da água pesada, que dava a flexibilidade pretendida, pois o reator poderia operar com três misturas de combustível: urânio altamente enriquecido e tório (Projeto Instinto), urânio natural (Projeto Toruna) e plutônio-tório (Projeto Pluto)" (Motoyama e Marques, 1994, p.405). Estes projetos do Grupo do Tório foram sistematicamente desencorajados pela CNEN, em prol do modelo "tecnologicamente comprovado" - o PWR (*Pressurized Water Reactor*) abastecido com urânio enriquecido e água leve – então comercializado pela empresa norte-americana Westinghouse e utilizado na Usina Nuclear de Angra 1.

pequeno acelerador denominado Pelletron. Já o grupo de São Paulo possuía o Van de Graaff de 4 MeV, no qual estavam acoplados equipamentos para medida de tempo de voo, além das oficinas mecânica e eletrônica bem equipadas para os padrões da época e que contavam com uma equipe formada por dois mecânicos e seus dois aprendizes, dois engenheiros eletrônicos e dois técnicos em eletrônica.

Ainda que a infraestrutura oferecida em Wisconsin fosse superior, vários pesquisadores norte-americanos vieram temporariamente a São Paulo não pelas condições materiais de trabalho, mas pela criatividade das pesquisas aqui feitas. Para Herb, o programa de pesquisa desenvolvido na USP "demonstrava competência, sofisticação e imaginação". Por outro lado, com relação ao envio de estudantes para Wisconsin, Sala seguia a seguinte filosofia, a fim de minimizar os riscos de uma evasão de cérebros:

> "Os nossos estudantes todos voltaram. Inclusive tem sido sempre a minha filosofia, mesmo atualmente: todos os nossos estudantes, pelo menos aqueles de melhor qualidade que nós pretendemos segurar aqui dentro do grupo, terminado o doutoramento, um estágio, uma experiência científica aqui, eu sempre mando para o exterior. E nós não tivemos a menor dificuldade em termos de volta. Acho que por uma razão muito simples: é que nós nunca mandamos estudantes sem experiência científica local. Acho que isso faz muita diferença. O estudante que vai para o exterior sem essa experiência científica, formado com a vivência total dentro do que é feito lá fora, é muito difícil, e isso é compreensível, a sua adaptação aqui. Ao passo que o estudante que enfrentou as dificuldades aqui sabe que é difícil fazer alguma coisa" (Sala, 1977, p.41).

Pertencente ao grupo dos orientandos de Sala que posteriormente se tornaram professores do Departamento de Física da USP[64], Elisabeth Farrelly Pessoa realizou seu estágio de pós-doutoramento na Universidade de Wisconsin, tendo naquela ocasião a oportunidade de se familiarizar com o acelerador Tandem e trabalhar no desenvolvimento e ensaio de um circuito discriminador de formas de pulsos, a ser usado como detector de barreira de superfície para separar grupos de prótons num espectro misto de alfas e prótons[65].

[64]Assim como Elizabeth Farrelly Pessoa, outros orientandos de Sala que posteriormente se tornaram professores do Departamento de Física Nuclear – dentre os quais estão Nobuko Ueta, Alinka Lépine-Szily, Olácio Dietzsch e Dirceu Pereira – só saíram do país para realizarem seus respectivos estágios de pós-doutoramento após terem concluído as etapas anteriores na USP.

[65]Processo FAPESP 66/0317-1.

Ainda dentro do Programa de Cooperação, Sala orientou, no curso de mestrado em Física Nuclear de São Paulo, dois físicos graduados em Wisconsin – Bruce Pomeroy e Jerry Nickles. Este último também desenvolveu no Laboratório do Acelerador Eletrostático grande parte de sua tese de doutorado, baseada na técnica de fabricação de detectores de lítio-germânio de alta resolução. Por então se tratar de uma técnica difícil e nova, portanto dominada por poucos laboratórios, tais detectores abriram novas possibilidades ao campo de pesquisa no qual a tese de Nickles se inseria – a Espectroscopia Nuclear. Outros grupos de pesquisa brasileiros, pertencentes ao Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto de Energia Atômica do Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e ao Laboratório do Bétatron – também usufruíram dos benefícios advindos deste desenvolvimento técnico, através da utilização dos vários detectores construídos pelo próprio Laboratório do Acelerador Eletrostático[66].

Inserida na estrutura organizacional do Laboratório, existia uma divisão voltada justamente para o desenvolvimento, fabricação e conserto destes detectores, utilizados para a detecção de raios gama dentro do programa experimental do grupo de São Paulo. Durante os anos 1968 e 1969, esta divisão contou com a "intensa e valiosa" colaboração do professor de Wisconsin Albert Bond, que além de ter trabalhado no aprimoramento técnico dos detectores de lítio-germânio[67], projetou e construiu quatro eletroímãs para a focalização do feixe do acelerador, responsabilizando-se pela manutenção do mesmo. Orientou também a iniciação científica do estudante Mario Ojima, que recebeu do prof. Bond treinamento em técnicas gerais de laboratório e fabricação de detectores, desenvolvendo projetos que proporcionaram experiência em eletrônica, técnicas de alto vácuo, trabalho na oficina mecânica, desenho mecânico, técnicas de eletrólise e evaporação e em preparação química de superfícies dos detectores.

[66]Processos FAPESP nº 66/0317-1 e 67/0362-0.

[67]O prof. Bond desenvolveu em São Paulo um método original de determinação da capacitância dos detectores de lítio-germânio, baseado na resposta do detector a ondas senoidais e quadradas. Tal trabalho foi apresentado na XXI Reunião Anual da SBPC, ocorrido na cidade de Porto Alegre em julho de 1969, sob o título "Um método simples e preciso para a determinação da capacitância de detectores Ge (Li) à temperatura ambiente" (Processo FAPESP nº69/881 e 69/0484-3).

Constata-se assim que a troca de conhecimentos em instrumentação sempre foi uma constante nas relações de cooperação firmadas entre os grupos de Wisconsin e São Paulo. Em suas várias visitas a São Paulo, Herb projetava equipamentos e solucionava problemas técnicos apresentados pelos que já estavam em funcionamento no Laboratório do Acelerador Eletrostático. Em determinados casos, era preciso trazer alguns componentes e aparelhos de pequeno porte para equacionar certos problemas, tal como ocorrido na visita de Herb em 1962. Naquela ocasião, Herb verificou um problema existente no integrador de corrente do acelerador e, ao chegar em Wisconsin, pediu ao técnico em eletrônica Myron Murray para construir e enviar a São Paulo um novo circuito que o solucionaria[68]. Todas as despesas envolvidas no custeio e envio de peças e equipamentos, assim como no intercâmbio dos pesquisadores, eram arcadas pela National Science Foudation (NSF) e FAPESP.

> "Isso trouxe um grande impulso para as nossas pesquisas, inclusive porque esse auxílio da NSF não era só um problema de troca de materiais, mas, com as grandes dificuldades [cambiais] que sempre enfrentamos num país de importação, era a nossa salvação. Era simplesmente mandar uma carta para a Universidade de Wisconsin dizendo que estávamos precisando de um determinado detector que 15 dias depois ele estava aqui. (...) Não tinha esse problema de transferência de dinheiro. (...) Tanto com os auxílios da Fundação Rockefeller, como com os auxílios da Força Aérea Americana, como esses da NSF, a licença de importação se obtinha imediatamente porque eles não dependiam dessa transferência de dinheiro" (Sala, 1977, p.38-9).

Nesse sentido, mais um aspecto relevante a ser destacado está em como a atividade científica realizada no Laboratório do Acelerador Eletrostático gerou transbordamento de conhecimentos tecnológicos para o setor industrial, embora sofrendo diversas restrições estruturais impostas pelo desenvolvimento capitalista brasileiro, tais como a baixa capacidade de importar e a dependência tecnológica da indústria nacional. Coube justamente à tecnologia do vácuo ser um dos elementos de ligação entre o desenvolvimento da Física Nuclear experimental na USP e o progresso técnico da indústria brasileira.

[68]Processos FAPESP nº 64/0415-8.

No intuito de estimular um maior desenvolvimento em instrumentação[69], então importante ao andamento das pesquisas em Física Nuclear, Oscar Sala acompanhava com grande interesse as novas técnicas de vácuo desenvolvidas por Herb, especialmente os aprimoramentos por ele realizados nas bombas de vácuo tipo "orbitron". Ainda desconhecida no Brasil, a técnica de ultra-vácuo, ao ser desenvolvida através da construção de bombas iônicas baseada nas ideias de Herb, possibilitou ao Grupo de São Paulo, já na primeira metade dos anos 1960, a construção de câmaras para alvos livres de contaminação de carbono, o estudo de alguns fenômenos de alta tensão em ultra vácuo e o desenvolvimento de sistemas de bombeamento diferencial para câmara de espalhamento[70].

Estes trabalhos fizeram do Laboratório do Acelerador Eletrostático um centro de desenvolvimento e divulgação de conhecimentos em tecnologia do vácuo, cujas atividades repercutiram diretamente no setor industrial brasileiro, através da prestação de consultoria a várias firmas que utilizavam esta tecnologia, conforme relata Pereira (2008) nos seguintes termos:

> "Naquela época, a White Martins tinha um problema muito sério que era o problema de vazamentos no sistema de vácuo deles. Então, eles tinham um instrumento chamado detector de vazamento, que era um instrumento importado na época. O grupo do professor Ross Douglas[71] é que dava toda a assistência à White Martins. Era comum eles virem aqui para trazer instrumentos e a gente os ensinava a usá-los. Esse era um instrumento corriqueiro para nós, mas que para eles não era. Era comum na época, isso mais perto dos

[69]No projeto submetido à FAPESP em 1962 e intitulado "Estudos sobre Klystron Bunching", Sala demonstrou grande interesse em formar um grupo para o desenvolvimento de certas técnicas que, segundo suas palavras, "além de permitir um treino mais avançado aos estudantes ainda no primeiro estágio de formação, nos permitirá não somente melhorar algumas das técnicas empregadas nas pesquisas em Física Nuclear, bem como em física aplicada". Dentro deste projeto foram realizados o desenvolvimento e a construção: (1) de uma câmara de espalhamento com sistema de bombeamento diferencial; (2) de um voltímetro gerador diferencial para medida e controle da tensão do Van de Graaff; (3) de um integrador de corrente transistorado com o emprego exclusivo de transistores fabricados no país. Os responsáveis por estes trabalhos foram, respectivamente: Ross Douglas e Violeta Gomes; Oscar Sala e Trentino Polga; Raul Brenner (Processo FAPESP nº 62/0195-2).

[70] Processo FAPESP nº 62/0195-2.

[71]Ross Alan Douglas (1928 – 2004) nasceu em Swift Current, Saskatchuwan, Canadá. Bacharelou-se pela Universidade de Saskatchuwan em 1948, obtendo por esta mesma instituição o grau de "Master of Arts" em 1950. Doutorou-se em Física pela Universidade de Wisconsin em 1956. Foi pesquisador associado da Universidade Estadual de Iowa entre 1956 e 1958. Neste último ano, Ross Douglas ingressou na USP como professor pesquisador do Departamento de Física. Motivado por questões religiosas, trouxe consigo sua família para ser um dos fundadores da Aliança Bíblica Universitária do Brasil, filiada à International Fellowship Evangelical Students [Processo FAPESP nº 62/0195-2; Ueta (2008)].

> anos 70, firmas que lidavam com vácuo (por exemplo, a Pirelli) virem aqui no Van de Graaff e pegar um técnico emprestado para levar, até de helicóptero, para solucionar problemas urgentes, dando uma mão, uma consultoria técnica. (...) No Van de Graaff, o que eu pude notar lá, diante do que a gente desenvolvia, era comum usar soldas especiais, coisas desse tipo, que a indústria não tinha acesso, não tinha conhecimento. Quando o professor Sala traz a tecnologia para fazer acelerador, ele traz toda a tecnologia de vácuo da época, soldas, materiais e esses tipos de coisa".

Detentores de saberes ainda desconhecidos pelo setor industrial, os técnicos do Van de Graaff recebiam fortes estímulos do mercado de trabalho para abandonarem o Laboratório, devido aos salários superiores pagos fora da Universidade. Daí a grande dificuldade encontrada em mantê-los, relatada por Sala nos seguintes termos:

> "Veja bem, num laboratório como esse, onde temos técnicas das mais avançadas, técnicas que a nossa indústria ainda não está utilizando, necessitamos, realmente, do técnico de uma qualidade acima da média. E, infelizmente, eles não existem. Então, precisamos pegar um técnico ainda sem treinamento, porque um técnico já com um certo padrão não aceita, não vai para a Universidade com os salários que a Universidade oferece. Temos que pegar um técnico recém-formado em uma escola técnica. Trabalhamos com esse técnico durante anos e no momento que ele realmente pode nos ajudar e oferecer alguma coisa em troca, ele, simplesmente, abandona a Universidade porque encontra condições muito melhores. Não quero dizer que nós não tenhamos bons técnicos, nós temos. Mas são aqueles técnicos que, felizmente, por uma razão ou por outra, gostam do tipo de coisa que fazem na Universidade. Então se sacrificam do ponto de vista econômico" (Sala, 1977, p.73-4).

No intuito de difundir os conhecimentos desenvolvidos no Laboratório, Ross Douglas criou, no início dos anos 1970, um curso inédito de tecnologia do vácuo, gratuitamente oferecido tanto aos estudantes do terceiro ano do curso de Física da USP quanto aos técnicos dos mais diversos ramos industriais, desde empresas de grande porte como a Petrobras até segmentos industriais como o de faróis e lâmpadas. No total, foram quinhentas as empresas, todas usuárias da tecnologia do vácuo, que participaram deste curso "rígido nos conceitos e com forte componente na parte experimental, no tocante a padrões envolvidos nas medidas em tecnologia do vácuo". Este curso também serviu de base, em 1978, para a primeira atividade promovida pela recém-criada Sociedade Brasileira do Vácuo[72] - um encontro sobre tecnologia do vácuo ocorrido

[72]Criada no Instituto de Engenharia Militar (IME) em 1978, por iniciativa de Neelkanth Dhere, e filiada a International Union for Vacuum Science, Technique and Applications, a Sociedade Brasileira de Vácuo se propõem desde seu início a realizar as seguintes atividades: "(a) congregar pessoas físicas e jurídicas interessadas em ciência e tecnologia de vácuo, e suas aplicações; (b) difundir conhecimentos na área de ciência e tecnologia de vácuo e suas aplicações através de cursos, seminários, publicações e outros meios; (c) organizar e promover reuniões científicas, congressos, conferências e simpósios; (d) promover a incentivar a pesquisa e o ensino nas áreas de técnicas de aplicações de vácuo; (e) recomendar padrões para a tecnologia de vácuo às entidades nacionais competentes e promover a adoção dos referidos padrões; (f) promover intercâmbio com outras

na Escola Politécnica da USP (Pereira, 2005, p.1).

Ocupante dos mais importantes cargos da Sociedade Brasileira do Vácuo, Ross Douglas contribuiu não apenas para a desenvolvimento[73] e a difusão dos conhecimentos em tecnologia do vácuo, mas para a própria condução das atividades cotidianas realizadas no Laboratório. Como Sala exercia um grande número de atividades (além de participar das esferas de decisão da política científica e tecnológica nacional, ainda se dedicava às atividades de pesquisa e à direção do Laboratório), Ross Douglas o auxiliava, sendo o seu braço direito no Van de Graff. Extremamente meticuloso em sua prática profissional, orientava a formação dos estudantes, ensinando-lhes a realizar o trabalho experimental de forma precisa e sistemática (Ueta, 2008).

Por ainda não possuírem os conhecimentos mínimos necessários para ingressar em projetos de pesquisa em Física Nuclear, os estudantes de iniciação científica eram imediatamente engajados em uma série de pequenos projetos de desenvolvimento de equipamentos então necessários à pesquisa, à melhoria do acelerador ou ao aprimoramento de alguma técnica. Dessa forma, o estudante, tanto de bacharelado quanto de mestrado ou doutorado, terminava seu treinamento com uma ampla bagagem de conhecimentos tecnológicos, que poderiam ser por ele aplicados não apenas na Física Nuclear, mas em outras áreas acadêmicas e industriais.

> "O nosso ponto de vista é que quando terminamos o treinamento de um físico, digamos ao nível de doutoramento, ele não é um especialista em Física Nuclear, ele não é um homem que, daí por diante, só o que pode fazer é Física Nuclear, seria um erro se fosse assim. O que a gente quer dar a ele é um treinamento básico em que ele usou a Física Nuclear, porque nós fazemos Física Nuclear, as facilidades existentes em São Paulo, no nosso laboratório, são de Física Nuclear. Quer dizer, ele usou a Física Nuclear como um exemplo de aplicação do método científico no desenvolvimento de sua tese, seja para o mestrado, seja para um doutoramento, enfim, de toda a experiência de pesquisa que ele teve dentro do laboratório. Mas ele é um homem que, terminado o seu doutoramento, embora tenha sido em Física Nuclear, amanhã, se ele achar interessante iniciar na área de Física, digamos, de Estado Sólido ou Física de Plasma, imediatamente, rapidamente, pode se adaptar a esse tipo de pesquisa. Esse é um cuidado que sempre tivemos e com isso, em função inclusive das

---

associações, institutos e indústrias com interesse nas áreas de técnicas e aplicações de vácuo; (g) administrar bolsas e prêmios com objetivo de incentivar estudos de assuntos de interesse da associação; e (h) outras atividades, que de uma forma ou de outra levem a associação a alcançar os seus fins" (Estatuto da Sociedade Brasileira de Vácuo).

[73]Em constante interação com a Universidade de Wisconsin, na qual realizou seu doutoramento, Ross Douglas desenvolveu, em parceria com o grupo de Herb, um programa de pesquisa em ultra-alto vácuo com bomba tipo orbitron, cujos resultados foram relatados no artigo "Orbitron Vaccum Pump", publicado na Review of Scientific Instruments 36(1) de 1965 (Processo FAPESP nº 66/0317-1).

> nossas necessidades, tivemos que dominar uma série de técnicas, problemas, sistemas de computação, tomadas de dado em tempo real" (Sala, 1977, p.79).

Numa época em que os próprios usuários do acelerador faziam a sua manutenção, devido à escassez de técnicos que soubessem lidar com as partes específicas da máquina, os estudantes de iniciação científica faziam e aprendiam de tudo um pouco: a lidar com o sistema de vácuo e com demais técnicas necessárias tanto à execução das experiências quanto à resolução dos diversos problemas decorrentes do funcionamento da máquina, o que incluía a limpeza de peças, a medição dos pontos-chave dos circuitos, a ajuda em desparafusar tudo que fosse necessário até consertá-la, etc. Além desses trabalhos em instrumentação, outra atividade recorrente que os estudantes de iniciação científica desenvolviam era a realização de cálculos, ou manualmente ou através da utilização de réguas de cálculo, de tabelas ou das antigas máquinas de calcular. Os dados das experiências saíam do acelerador datilografados e necessitavam de tratamento analítico, o que demandava muitas horas de trabalho árduo (Ueta, 2008).

Como podemos notar na citação abaixo, o uso de computadores se tornou elemento vital na competitividade científica devido aos seguintes motivos:

> "A coleta, o armazenamento e o processamento de dados oriundos das experiências modernas de Física Nuclear são extremamente demorados e limitados sem o auxílio de um computador digital. A título de exemplo, podemos citar que numa experiência simples é fácil recolher cerca de alguns milhões de dados que, através de operações matemáticas diversas, fornecem cerca de uma dezena de parâmetros. Estes, através de cálculos complexos, serão analisados em face das teorias correntes da estrutura nuclear. Toda essa sequência de operações pode ser automatizada através do uso de um computador digital. (…) O uso de um computador digital diretamente acoplado ao conjunto 'acelerador-detectores nucleares' aumenta extraordinariamente a rapidez da coleta, do armazenamento e do processamento de dados. E essa rapidez é fundamentalmente utilizada para a realização de experiências mais complexas que, com os meios normais disponíveis, exigiriam tanto tempo de execução integral que seriam inexequíveis"[74].

Embora o primeiro computador da USP, um IBM 1620, tivesse sido instalado na Escola Politécnica em 1962, ele se mostrava inadequado ao tipo de cálculo necessário à área de Física Nuclear. Sobre este problema na análise dos dados, particularmente enfrentado por Luiz Carlos Gomes – o físico teórico do Van de Graff, as seguintes observações foram feitas por Herb:

[74]Processo FAPESP nº 67/0345-5.

> *"Very extensive data has been taken on O^{16}(d,n) and O^{16}(d,p) reactions. Results look very interesting and Luiz Carlos Gomes hopes to carry through analysis and attempt interpretation. The job is a very big one, he will have little help, and has only a 1620 computer available. At Wisconsin he could take advantage of extensive experience here on similar problems and he would have the use of a 704 or 1604 computer. The work would be greatly accelerated by a visit by Gomes of two or three months at Wisconsin"*[75].

Como forma de contornar a ausência de instalações computacionais no Laboratório do Acelerador Eletrostático, além da possibilidade de utilizar os computadores de Wisconsin, o grupo de São Paulo conseguiu estabeleceu relações cooperativas com a Universidade de Oxford, mais especificamente com o grupo de físicos teóricos liderado pelo professor Hodgson, que muito se interessou pelo tipo de pesquisa então realizado em São Paulo. Graças a esse programa de cooperação estabelecido com a universidade inglesa e à consequente utilização de seus grandes computadores, o grupo de São Paulo pôde publicar uma série de trabalhos em reações induzidas por nêutrons na primeira metade da década de 1960 (Sala, 1977).

Conforme veremos no próximo capítulo, foi somente na segunda metade daquela mesma década que o Laboratório do Acelerador Eletrostático começou a conquistar ganhos de produtividade através da utilização de computadores próprios e do concomitante desenvolvimento interno da informática.

[75] Processo FAPESP nº 64/0415-8.

CAPÍTULO 5 - A Criação do Laboratório Pelletron como Processo de Atualização Tecnológica

5.1) O Processo Decisório em Linhas Gerais

Dentre os traços característicos da Física Nuclear dos anos 1960 está o surgimento de uma nova área de pesquisa, a Física dos Íons Pesados, então possibilitado pelas importantes transformações ocorridas no desenvolvimento tecnológico dos aceleradores eletrostáticos que o precederam[76]. Tais mudanças verificadas a nível mundial tornaram Oscar Sala ciente da necessidade de obtenção de uma nova máquina capaz de acelerar núcleos mais pesados. A deficiência de energia apresentada pelo Van de Graaff limitava enormemente as possibilidades de expansão do trabalho científico em linhas de pesquisa que então compunham a fronteira do conhecimento em Física Nuclear[77]. Sala se referiu à obsolescência do Van de Graaff nos seguintes termos:

> "Nós construímos o Van de Graaff durante anos, operamos essa máquina, procurando formar um grupo de pesquisadores. Essa máquina, naturalmente, já por volta do fim da década de 1960, era uma máquina obsoleta para certas pesquisas em Física Nuclear. Já há alguns anos nós estávamos lutando para a obtenção de um equipamento mais atualizado, um equipamento que permitisse um treinamento maior de um maior número de pesquisadores e, mais do que isso, que servisse naturalmente como centro de pesquisa na área de Física Nuclear. Nós conseguimos realizar esses objetivos quando conseguimos, por parte do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico, os fundos necessários para a compra de um acelerador de maior porte do que o antigo acelerador eletrostático, que foi o Pelletron[78]" (Sala, 1977, p.60).

[76]O acelerador do tipo Tandem representa uma evolução na tecnologia dos aceleradores eletrostáticos. Foi comercialmente lançado em 1958 como forma de se elevar a energia do Van de Graaff sem causar a perda de suas características positivas (excelente estabilidade e resolução de energia, além do custo moderado). Trata-se do acoplamento de dois ou mais aceleradores Van de Graaff, produzindo uma aceleração final igual à soma das acelerações de cada seção.

[77]Com o novo acelerador, pretendia-se desenvolver, de imediato: a) o estudo de mecanismos de reações envolvendo estados nucleares altamente excitados; b) estudo do espalhamento inelástico, permitindo, possivelmente, identificar e isolar, para análise detalhada, muitos dos modos de oscilações coletivas do núcleo para energias baixas ou altas de excitação; c) estudo das reações de "*stripping*" com o objetivo de obtenção de dados de espectroscopia nuclear (Processo FAPESP nº 67/0345-8).

[78]O nome Pelletron se origina de um processo inovativo introduzido pela National Electrostatics Corporation no sistema de transporte de carga até o terminal de alta tensão. Nessas máquinas eletrostáticas, o transporte de carga é feito por uma corrente constituída de "pelotas" (*pellets*) de metal, ligadas umas às outras por isolantes de *nylon*.

Diferentemente daquele contexto marcado por severa escassez de recursos em que foi construído o Van de Graaff, o projeto de aquisição do novo acelerador contou com as benesses da nova política de desenvolvimento econômico pautada na internalização do progresso científico e tecnológico. A disponibilidade de recursos por parte do BNDE, aliada a um ambiente industrial carente das principais soluções tecnológicas demandadas pela construção de um acelerador do porte que se desejava, fez da opção pela importação da máquina a estratégia considerada mais adequada. A indústria nacional desconhecia uma série de tecnologias utilizadas na construção do Pelletron, a exemplo de certas técnicas de soldagem do titânio com cerâmica, materiais esses muito utilizados na edificação do novo acelerador.

> "Na construção desse segundo acelerador, o primeiro problema foi vermos que a nossa indústria não está, realmente, em condições de fornecer e executar um projeto como este. E, um acelerador desse porte, já não posso pretender construí-lo dentro dos recursos da Universidade, como eu fiz no primeiro, que é um acelerador relativamente pequeno. Eu precisaria da participação do parque industrial. (…) era um projeto muito especial, ela não possuía muitas das tecnologias exigidas, nosso parque industrial não possuía. Seria extremamente difícil encontrarmos indústrias que realmente se interessassem porque era um projeto único. Do ponto de vista comercial, não é muito atrativo. E, além disso, havia o problema do tempo. Nós queríamos que esse projeto realmente fosse feito num tempo relativamente curto. Que não levasse outra vez dez anos, para que pudéssemos acompanhar o desenvolvimento que estava havendo nos laboratórios de Física Nuclear nos outros países. Essa é a razão porque decidimos comprar" (Sala, 1977, p.69-70).

Portanto, tornou-se também um dos fatores considerados na escolha do novo instrumento de pesquisa a minimização do tempo entre o início da construção e sua efetiva utilização, além do próprio custo de manutenção e operação. Sobre o custo do acelerador em si, sabe-se que sua dimensão é diretamente proporcional ao nível de energia por ele fornecido[79]. E quanto maior a energia, maior a variedade de fenômenos físicos que ocorrem nos experimentos. Para energias inferiores a quatro milhões de elétron volts, o interesse científico era pequeno, pois o campo de pesquisa já estava completamente explorado. Entretanto, a região de energias entre cinco e cinquenta milhões de elétron volts apresentava grande interesse para o estudo e a compreensão da estrutura nuclear.

Segundo o parecer dos físicos da USP, nessa região de energias, o Tandem se apresentava como o acelerador mais versátil, dada a sua precisão no controle de energia e facilidade para a

[79]Naquela época, o custo por milhão de elétron volts girava em torno dos cem mil dólares (Processo FAPESP nº 67/0345-8).

variação da mesma. Ademais, esse tipo de máquina era o mais econômico em relação ao custo de manutenção e operação. Como já possuíam a experiência da construção de um acelerador do tipo eletrostático, o processo de familiarização com o Tandem e o início de sua utilização efetiva nas pesquisas em tópicos avançados ocorreriam num curto espaço de tempo.

No mercado norte-americano de aceleradores de partículas, duas empresas se ocupavam da fabricação de máquinas do tipo Tandem: a veterana High Voltage Engineering Corporation (HVEC), de Robert Van de Graaff, e a novata National Electrostatics Corporation (NEC), de Raymond Herb. De acordo com a percepção de Oscar Sala, dentre essas duas opções, a NEC era a que apresentava ideias inovadoras em relação à construção daquele tipo de acelerador.

> "Eu já acompanhava há muitos anos o desenvolvimento desses aceleradores, estudando com muito cuidado esses desenvolvimentos da NEC. Parece-me que o que eles propunham era algo bem mais avançado e, olhando para o futuro, me parecia mais interessante investir nessa máquina da NEC. Depois de muitas discussões, de estudos sobre as propostas das duas companhias, nós decidimos, realmente, por essa máquina da NEC que constituiu, ao meu ver, uma nova geração de aceleradores, com novas ideias que me pareceram bastante interessantes. (…) As máquinas da HVEC estavam apresentando certas dificuldades técnicas. Me pareceu que a NEC tinha encontrado soluções para esses problemas e apresentava soluções que, pelo menos a mim, faziam sentido. Resolvemos, então, decidir por esse tipo de máquina" (Sala, 1977, p.62).

Ainda segundo Sala, o processo decisório que condicionou a compra do novo acelerador tinha os seguintes traços marcantes:

> "No nosso processo de decisão havia dois aspectos, o técnico e o econômico. Nós estudamos mais o aspecto técnico com os colegas nossos, do Departamento, com colegas de fora do país, informações que pudemos receber de cada laboratório que já tinha aceleradores do mesmo tipo, das dificuldades que esses laboratórios tinham, as críticas que faziam. Com base nessas informações, nós então tomamos nossa decisão técnica. O ponto de vista econômico, financiamento etc, ficou a cargo do próprio Banco Nacional de Desenvolvimento que, naturalmente, tomou como base, como decisão principal, o caráter técnico. Então foi decidida a aquisição desse acelerador da NEC que tem o nome de Pelletron" (Sala, 1977, p.63).

Embora a NEC apresentasse ideias originais, ainda não as tinha colocado em prática a nível industrial. O que existia era alguns protótipos em tamanho reduzido que operavam somente na Universidade de Wisconsin. Portanto, o Pelletron de São Paulo foi o primeiro a ser produzido pela NEC, o que gerou inúmeros problemas técnicos, sanados pelos próprios físicos da USP. Tais problemas e suas respectivas soluções serão discutidos de forma mais detalhada na próxima seção.

5.2) As Relações Fornecedor-Usuário entre National Electrostatics Corporation e USP

Notabilizado por seus trabalhos pioneiros voltados ao desenvolvimento da tecnologia de aceleradores eletrostáticos, Raymond Herb iniciou suas atividades neste campo em 1932, logo obtendo, após dois anos, ótimos resultados através da construção do primeiro acelerador pressurizado. A continuidade de suas pesquisas e o estabelecimento de uma escola própria de *design* de aceleradores conferiram às máquinas desenvolvidas na Universidade de Wisconsin destaque frente às demais do mesmo gênero, mantido até o início dos anos 1950.

A partir daí, a necessidade de ampliação do nível de energia dos aceleradores eletrostáticos passou a ser cada vez mais restringida pelas limitações existentes no *design* de seu componente mais problemático – o tubo acelerador. Acreditava-se que melhorias empreendidas nesse componente proporcionariam aumentos na voltagem da máquina e, consequentemente, a viabilidade do estudo de novos fenômenos físicos. Pensando nessas limitações e nas formas de superá-las, Herb e colaboradores deram início, em 1950, à construção de uma série de máquinas de tamanho reduzido com o intuito de aprofundar o entendimento sobre o comportamento do tubo acelerador. A análise da performance de centenas de tubos com as mais variadas configurações resultou, por volta de 1964, em uma descoberta promissora, patenteada sob a denominação de Hilod (*High Gradients, Low Damage Tubes*)[80].

A esse respeito, Herb transmitiu a Sala[81] as seguintes informações:

> *"About 2-1/2 years ago a tube configuration was discovered that sustained high gradients and withstood discharges with very low damage. We have given it the trade name Hilod. After extensive work with this configuration we have developed good understanding of its characteristics. We discovered that tubes with this configuration have built in self protection that works much faster than any external spark gaps. Work with these high gradients, low damage tubes have taught us much about the mechanisms operating in accelerator tubes discharges. We now understand at least some of the processes that give the long tube effect. (...) The unique characteristic of Hilod tubes was this: as voltage was raised farther to give*

[80]Segundo carta redigida por Herb e endereçada a Jardy Sellos Correa, funcionário do BNDE, em 16/09/1966 (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

[81]Em carta destinada a Sala em 7/12/1966, Herb faz uma síntese das atividades até então desenvolvidas pela NEC, ressaltando a estrutura da divisão interna do trabalho de pesquisa e desenvolvimento (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP) .

a discharge there was little or no damage. They withstood hundred of discharges without damage".

Ao ampliar as possibilidades de aplicação dos aceleradores eletrostáticos nos campos médico, industrial e acadêmico, assim propiciando o alargamento de seu mercado consumidor potencial, o nascimento de Hilod motivou Herb e Colaboradores a fundarem, em 1965, a National Electrostatics Corporation, cujo propósito inicial se voltou à fabricação de aceleradores de partículas de alta voltagem e equipamentos de alto vácuo. Deve-se também atribuir o início de suas atividades aos melhoramentos realizados pela equipe de Herb, ao longo de vinte anos, no sistema de cargas dos aceleradores eletrostáticos, o que possibilitou a descoberta de uma configuração mais eficiente, em formato de pelotas (*pellets*).

A equipe inicial que se responsabilizou pelo desenvolvimento do protótipo 2UD era composta por ex-orientandos de Herb e seus pares atuantes na Universidade de Wisconsin, que concederam à nova empresa o direito de explorar suas patentes referentes aos diversos componentes do Pelletron. Sob a orientação de Herb, a divisão do trabalho em equipe fluía harmoniosamente, tendo alguns de seus membros a valiosa habilidade de treinar pessoas inexperientes[82].

Originário de uma família de negócios e possuidor de ampla experiência em tecnologias correlatas ao novo empreendimento, T. Pauly foi o primeiro tesoureiro e secretário da NEC. Também contribuiu substancialmente para o capital da empresa, assim como Herb, seu primeiro presidente. A vice-presidência ficou a cargo de James Ferry, cuja trajetória acadêmica sempre esteve atrelada à escola de *design* de Wisconsin. Iniciou seu trabalho com aceleradores ainda no período da graduação, recebendo a orientação de Herb ao longo de toda a sua formação. Seguindo trajetória similar, W. Mourad concluiu doutorado sob a orientação de Herb no mesmo ano em que iniciou sua atuação na NEC. Detentor de extenso conjunto de conhecimentos sobre técnicas de vácuo, além de ampla experiência com aceleradores de alta voltagem, Mourad assumiu a responsabilidade de orientar os trabalhos em equipamentos de vácuo para aceleradores

[82]Sobre esse aspecto, em carta destinada a Sala em 11/08/1967, Herb ressaltou que *"Jim Ferry, Jim Raatz and Wally Mourad work very well together. Each has the capacity of taking an accelerator through drafting, through construction and through final tests. Each has demonstrated talent in training inexperienced people"* (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

e de ajudar naqueles relacionados à fonte de íons. Para a realização de atividades relacionadas a esse último componente, foi convidado o Dr. Weinman, professor de meteorologia da Universidade de Wisconsin e detentor de patentes sobre o desenvolvimento de fontes de íons. Outro a se unir ao grupo na fase de desenvolvimento do protótipo foi J. Raatz, contribuindo com sua experiência para a implementação de melhoramentos no tubo acelerador[83].

Em 1967, o Pelletron modelo 2UD começou a ser usado em um programa contínuo de testes, em especial naqueles voltados ao tubo acelerador. Ao longo daquele ano, suas configurações ainda não tinham sido congeladas e os testes com Hilod se resumiam nos seguintes aspectos:

> *"The test machine at NEC will be ready for use about Jan. 1, 1967. Here we can go to much larger diameters and longer lengths. Design problems remaining to be settled will determine how frequently we must subdivide the tubes and to what extent we must isolate these subdivisions to inhibit passage of off axis charge particle and gas. We have good methods for tube division and isolation"*[84].

Enquanto os testes prosseguiam, Sala travava negociações pela compra daquela máquina que, segundo sua percepção, representava uma nova concepção em aceleradores eletrostáticos. Sua primeira tarefa, e não menos árdua, foi convencer o BNDE sobre a capacidade da NEC em cumprir as determinações contratuais e produzir comercialmente sua primeira encomenda, o Pelletron modelo 8UD. Como o produto ofertado pela empresa de Herb ainda não passava de uma promessa sem configuração definitiva, os executores da política científica e tecnológica do BNDE se tornaram reticentes com relação à viabilidade técnica do projeto então defendido por Sala.

No decorrer daquele mesmo ano, vários foram os problemas relatados em cartas escritas por Herb e destinadas a Sala. Em uma delas[85], Herb ressaltou que:

---

[83]Segundo carta assinada por Herb e destinada a Sala em 25/09/1967, a equipe de físicos da NEC contava com a consultoria da empresa Mead and Hunt em problemas de engenharia que iam além de sua experiência (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

[84]De acordo com carta escrita por Herb e destinada a Sala em 18/11/1966 (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

[85]Em carta redigida por Herb e enviada a Sala em 14/02/1967 (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do

> *"Our accelerator is taking longer than we had hoped. (...) Early versions of the pellet chain gave some difficulties, the friction between the nylon links and steel pins was somewhat higher than we had expected and gave heating which we did not like. We believe we are now pretty well clear of these problems. They are not at all fundamental. (...) I'm afraid our time schedule is a bit slow for your needs. If there is any chance that the money might be lost by delay don't fell obligated to hold out for our machine. Convincing results with a two foot tube might not come for three or four months".*

Por sua vez, Sala pressionava Herb para que tais resultados convincentes relacionados à performance de Hilod fossem produzidos rapidamente, pois havia o risco da HVEC vencer a concorrência e assim assumir a responsabilidade pela produção do novo acelerador de partículas da USP. Ao optar pela máquina da NEC, Sala revelou sua firme decisão de se manter fiel à escola de aceleradores de Wisconsin, com a qual mantinha estreitos laços cooperativos desde os anos 1940. Nos termos a seguir[86], percebe-se nitidamente o interesse e os esforços de Sala pela vitória da NEC no processo concorrencial:

> *"I returned this morning from Rio where I had a long discussion with the people from the bank. This time I believe I managed to diminish their prejudice against a new company. They decided to do the following: they are going to send to the university the contract between the bank and university. (...) After the contract is signed the bank will make the decision as to which company will receive the order. So you still have one and a half months more. I would like to ask you to concentrate all your efforts into putting the tube under test during this period. Having these results of the first test will put us in a much better position to convince the bank for a favorable decision of NEC (and all of us are pulling for NEC)".*

Em outra carta[87], também destinada a Herb e apresentada logo abaixo, Sala aponta os problemas envolvidos no processo de negociação com o BNDE:

> *"Although the bank has not reached any final decision there has been already some discussion with them as to which machine they would buy. I am having some difficulty in convincing them that HVEC has built several tandems whereas the one you are offering is the first one of this type built by NEC, it is not as strong as it appears at first hand. The problem is that the bank itself is buying the machine and not the university. But, despite the difficulties the battle is not lost as yet".*

Diante das incertezas que pairavam sobre Hilod, o BNDE sugeriu um programa de produção compartilhada, no qual a HVEC se responsabilizaria pela produção do acelerador

---

IFUSP).

[86]O trecho citado foi retirado de carta escrita por Sala e endereçada a Herb em 24/02/1967 (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

[87]Em carta redigida por Herb e enviada a Sala em 28/12/1966 (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

tandem Super FN, exceto de seu sistema de injeção, cuja fabricação ficaria a cargo da NEC. Evidentemente, tal esquema desagradou tanto a Herb quanto a Sala: o primeiro perderia a oportunidade de garantir a encomenda do primeiro Pelletron, que viabilizaria o início das atividades produtivas de sua empresa; o segundo iria adquirir, a contragosto, uma máquina que precisaria passar por uma série de modificações para que suas necessidades fossem atendidas. Devido a tantas alterações requeridas por Sala, a HVEC também não seria capaz de fabricar o Super FN dentro do prazo estipulado pelo banco[88].

Apesar de todas essas exigências feitas, a HVEC continuava fazendo uma forte pressão sobre Sala, a ponto de John Trump ter enviado a ele carta contendo uma lista com vários motivos que supostamente o convenceriam a optar pela máquina de sua empresa. A estratégia de persuasão da HVEC também contou com telefonemas periódicos a Sala, envio de engenheiros da empresa ao Departamento de Física Nuclear da USP e visitas de seus representantes ao BNDE. Embora não pudesse ofertar a melhor máquina segundo os critérios de Sala, a HVEC possuía algo muito valorizado pelo banco: a credibilidade construída por mais de vinte anos de experiência na produção de aceleradores eletrostáticos[89].

Como reação àquela proposta do BNDE, Herb elaborou um relatório em que se opunha com veemência a qualquer tipo de atividade conjunta com a empresa concorrente. Nele, Herb apontou problemas técnicos decorrentes da junção de dois componentes que apresentavam estilos de *design* divergentes: o Super FN possuía orientação horizontal, enquanto o injetor produzido pela NEC exibia *design* vertical. A adaptação de tais componentes em um só arranjo experimental incorreria em custos adicionais, desvantagens técnicas e maiores riscos a Sala, pois seriam os pesquisadores da USP os responsáveis pela referida tarefa. Em defesa do usuário, Herb argumentou que Sala seria o mais prejudicado pelo esquema de produção compartilhada, pois caso a nova máquina apresentasse problemas técnicos, as empresas envolvidas no empreendimento tenderiam a colocar a culpa pelas falhas ou no competidor, ou no próprio

[88]Essas informações foram extraídas de duas cartas: uma escrita por Herb e endereçada a Sala no dia 09 de setembro de 1967; a outra, destinada a Herb, foi redigida por Sala em 07/08/1967 (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

[89]Fonte: carta escrita por Sala e destinada a Herb em 17/11/1967 (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

usuário, eximindo-se da responsabilidade por eventuais reparos, que também ficariam restringidos pela grande distância entre o laboratório e tais empresas[90].

Evidências nos levam a crer que, em 1968, os resultados dos testes com Hilod se mostraram tão convincentes a ponto do BNDE abortar a proposta outrora criticada por Herb. No início daquele mesmo ano, Herb assim descreveu a Sala o andamento das atividades de P&D da NEC[91]:

> *"Our new tube is complete. All four sections went together without a leak. Jim Raatz appears to have the bonding procedure completely under control. (...) The tube in its present form is easy to make. If no major changes are required the tube for your accelerator could be completed in a small fraction of the time we have specified. (...) Frost is gone from the ground. Our site is all set for building operators".*

Iniciado pelo BNDE em meados de 1968, o pagamento pelo Pelletron foi fracionado em 18 parcelas mensais, sendo de 22 meses o prazo estimado para a entrega do produto. No decorrer desse período, Sala realizou, a cada três meses, inspeções na fábrica da NEC, tendo sempre considerado satisfatório o andamento das atividades de fabricação do novo acelerador. Em 1971, o Pelletron foi finalmente instalado no *campus* da USP por aquela mesma equipe de pesquisadores que o desenvolveu em Wisconsin. Entretanto, sua utilização na produção de dados experimentais não pôde ser realizada de imediato, pois foram verificados sérios problemas em alguns de seus componentes, mais especificamente naqueles que o tornaram uma máquina singular – o tubo acelerador e o sistema de carga.

Sobre o problema apresentado nesse último componente e sua respectiva solução, Pereira (2008) nos prestou as seguintes informações:

> "A máquina na época tinha um problema grave, porque era um tipo de acelerador chamado Van de Graaff – o tandem é a mesma estrutura, como se tivesse dois aceleradores em série, para aumentar a energia. Mas ele tem uma carapaça grande no meio da máquina que se chama terminal. É onde tem a grande diferença de potencial. A gente trabalhava com 8 milhões de volts. A carga que vai sendo transplantada para essa carapaça tem que passar por uma espécie de corrente, que nem uma corrente de bicicleta, que se chama *pellets*. E ninguém sabia responder porque essa corrente quebrava. Então foi feito aqui pelo grupo

[90]De acordo com carta escrita por Herb e destinada a Sala em 09/09/1967 (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

[91]Segundo carta escrita por Herb e destinada a Sala em 29/03/1968 (Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP).

> local o seguinte: nós tiramos as guias para deixá-la mais livre e foi feito um contrapeso para balanceá-la automaticamente. Tudo feito com recurso nacional. Com isso as correntes pararam de quebrar. E essa foi a solução adotada pela firma americana (NEC) para as correntes atuais".

Além do problema da quebra das correntes, foram detectados em Hilod uma série de vazamentos que inutilizavam a nova máquina. Esses dois problemas somados desencadearam atritos entre Sala e Herb, relatados por Pereira (2008) nos seguintes termos:

> "Eles mandaram um tubo no qual trabalhamos muito, principalmente eu e o professor Juan Carlos, pois se descobriu que esse tubo era cheio de vazamentos. Então nós descobrimos que eles tinham colado o tubo. O professor Sala escreveu uma carta duríssima para o presidente da NEC, que era amigo dele, o Raymond Herb, dizendo sobre o descuido que eles tiveram com o acelerador. Herb não responde essa carta e manda outro tubo para cá. Só que esse tubo tinha vindo de Munique e estava com o mesmo problema lá. Mas eu junto com o professor Sala e o Juan Carlos pusemos esse tubo para funcionar aqui. (…) Tudo isso, na época, era coisa que virou motivo de atritos internacionais, pois a construção de aceleradores era uma indústria que ainda estava começando".

A fim de sanar tais dificuldades, a NEC chegou a enviar a São Paulo físicos, engenheiros e até mesmo um novo tubo acelerador, porém os problemas permaneceram e se tornaram fonte de pressões por parte da comunidade científica nacional, que passou a questionar a efetividade do elevado investimento público realizado através da aquisição do Pelletron. Disso resultou todo o esforço da equipe de Sala em sanar tais dificuldades, o que representa, aos olhos do analista, a continuidade daquela velha prática de laboratório dos tempos do Van de Graaff, pautada na política de tentar resolver os problemas de forma autônoma. O trabalho de recuperação dos componentes problemáticos também se mostrou bem sucedido devido à ausência de descontinuidades tecnológicas entre o Pelletron e o antigo Van de Graaff. Inclusive, várias técnicas utilizadas na manutenção do acelerador foram mantidas, o que também acabou se tornando motivo de mais atritos entre a NEC e o Departamento de Física Nuclear da USP.

> "Nós sabíamos do Van de Graaff como limpar o tubo acelerador (que é uma coisa central na máquina). Nós sabíamos que gás era bom para limpar o metal e que gás era bom para limpar cerâmica. E isso nós usávamos no acelerador eletrostático. Uma vez nós usamos isso no Pelletron e a NEC veio dizer que eles tinham patenteado isso. Aí surgiu uma discussão, pois nós não poderíamos mais usar. Nós batemos o pé firme e dizemos: 'não, isso aqui nós já usávamos antes'. Então parou a discussão. Essas coisas que não são feitas podem dar origem a isso. Eles também não queriam mexer com a gente nesse sentido. (…) Foi uma negociação dura. O único cacife que a gente tinha era o conhecimento de tudo o que tínhamos feito no acelerador" (Pereira, 2008).

As “coisas não feitas” mencionadas acima se referem ao não patenteamento das modificações realizadas nas configurações do Pelletron. Nesse sentido, segundo ressaltado por Pereira, “surgiu uma discussão sobre patentes na época, porque a gente deveria ter patenteado a solução. É que há trinta e poucos anos atrás, não eram tão claras as coisas assim”.

O conteúdo das cartas trocadas entre a NEC e o Departamento de Física Nuclear evidencia que Sala tratava a aquisição do Pelletron como parte do programa de cooperação científica firmado entre as Universidades de Wisconsin e de São Paulo. Entretanto, essa experiência nos mostra como os interesses econômicos podem subverter a lógica do processo de compartilhamento de conhecimentos científicos e tecnológicos a nível internacional. Talvez essa tenha sido uma das causas da mudança verificada, a partir dos anos 1980, nas relações cooperativas mantidas por Sala. Naquela década, o Departamento de Física Nuclear da USP iniciou um programa de cooperação científica com o Laboratório Nacional de Argonne, a fim de obter conhecimentos e materiais necessários à construção de um novo acelerador, do LINAC Supercondutor. Esse último empreendimento científico da carreira de Oscar Sala será comentado na última seção desse capítulo.

5.3) O Caráter Político do Processo de Informatização do Trabalho Experimental

Conforme visto no Capítulo 4, a necessidade de informatizar o trabalho experimental já se fazia presente desde os tempos do antigo Van de Graaff, sendo seu atendimento a fonte de enormes ganhos de produtividade para os físicos nucleares. Pensando nisso é que Oscar Sala criou, na segunda metade dos anos 1960, o Setor de Matemática Aplicada (SEMA), que ficaria responsável por desenvolver um sistema de aquisição de dados para o novo acelerador Pelletron.

A obtenção de recursos financeiros da FAPESP e do CNPq possibilitou a assinatura de contrato com a IBM do Brasil para a compra de um computador digital sistema IBM/360 modelo 44 nos últimos dias de 1966. Esse computador seria instalado no Laboratório do Acelerador Eletrostático e posteriormente ligado “*on-line*” ao Pelletron, o que auxiliaria nas pesquisas e

experiências de Física Nuclear de baixa energia através da aquisição, redução e análise dos dados, além da exibição dos mesmos por meio de um tubo de raios catódicos. O uso do computador não somente permitiria efetuar as funções anteriormente ressaltadas e armazenar os dados já analisados e ordenados, como também simplificaria a importante tarefa de controle da experiência em tempo real.

A assinatura do referido contrato engendrou a elaboração de um programa de utilização do novo equipamento, pautado em três etapas: a primeira, a partir da data de instalação do computador até a chegada do Pelletron (aproximadamente dois anos), para processamento científico em geral; a segunda, a partir da chegada do acelerador e por um período de três anos, para aquisição, redução e análise dos dados experimentais (sem excluir, entretanto, a primeira etapa); e a terceira, após o período de três anos da chegada do acelerador, para a função de controle em tempo real (sem excluir as duas primeiras etapas).

Em março de 1967, foram iniciadas as atividades para formação de um grupo que se responsabilizaria pela operação do IBM/360-44. Nessa ocasião, a FAPESP concedeu bolsa de pesquisa ao Dr. Walter Schutzer, matemático com especialização em computadores eletrônicos, que organizaria tal grupo, além de desenvolver certas atividades correlatas[92], tais como a elaboração de bibliotecas especializadas em processamento de dados e o estabelecimento de contatos de cooperação mútua com outras instituições que então dispunham de equipamentos digitais[93].

[92]Walter Schutzer também se ocupou das seguintes atividades: conhecimento do equipamento digital IBM/360 modelo 44 (operação e linguagens de programação); estudo e elaboração de uma estrutura organizacional para o Setor de Matemática Aplicada, a ser criado com a instalação física do computador; prestação de assistência na implantação física do computador; elaboração de programas de cursos orientados em processamento de dados; concessão de ajuda ao corpo docente e discente envolvendo técnicas de programação digital; elaboração de modelos matemático utilizando métodos de cálculo numérico e estatístico para a programação digital científica (Processo Fapesp nº 67/0345-8).

[93]Em 1967, o Departamento de Física Nuclear estabeleceu intercâmbio com as seguintes instituições: Centro de Processamento de Dados da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), Centro de Cálculo Numérico da Escola de Engenharia de Belo Horizonte (UFMG), Divisão de Matemática Aplicada do Argonne National Laboratory, Bureau de Atividades Internacionais da IBM (EUA), Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE), J. T. Watson Reseach Laboratory da IBM – Nova York (EUA), Universidade de Yowa (EUA), Centro de Processamento de Dados do Oberlini College (EUA), IBM Research Division – San Jose (EUA) (Processo Fapesp nº 67/0345-8).

Antes mesmo da entrega do computador, priorizou-se a formação de recursos humanos que comporiam o SEMA, quer seja através da concessão de bolsas de pesquisa a estudantes então orientados por Walter Schutzer, quer seja por meio de cursos ministrados pela própria filial brasileira da IBM. Estes cursos[94] ocorreram no segundo semestre de 1967, com uma média de duas horas de aulas diárias, e atraíram 38 participantes, entre os quais professores e alunos, principalmente da USP. Dos aprovados nos cinco cursos, foram convidados dois dos melhores participantes para fazerem parte da equipe do SEMA. Entretanto, os cursos foram inteiramente teóricos, devido ao fato do departamento técnico da IBM do Brasil não dispor de um sistema IBM/360-44 para treinamento de operadores. Estes só entraram em contato com o novo equipamento em janeiro de 1968, enquanto se aguardava toda a instalação física do computador e a fase de testes.

O trecho apresentado a seguir se mostra interessante ao relatar os trâmites envolvidos no processo de aquisição do primeiro computador do Departamento de Física Nuclear, que durou aproximadamente um ano:

> "O computador digital sistema IBM/360 modelo 44 chegou a São Paulo, procedente dos Estados Unidos da América do Norte, no dia 16 de dezembro de 1967 e foi transportado por terra para o Laboratório do Acelerador Eletrostático no dia 22 de dezembro de 1967. Tendo sido dado os últimos retoques nas salas onde provisoriamente seria instalado o computador, passou-se à instalação física das máquinas pelo departamento técnico (DT) da IBM, que durou um período de uma semana (de 10 a 17 de janeiro do corrente ano). Em virtude do atraso nas obras para construção da cabine onde seriam instalados o sistema de ar condicionado, regulador de tensão e frequência, e transformador e redutor de tensão, a fase de testes preliminares de programas de manutenção do computador só pôde ser concluída nos primeiros dias de março de 1968. Estes testes acusaram defeito na memória principal do computador, inutilizando metade desta; mas ainda em condições para se poder trabalhar com a outra metade. E foi nessas condições que se inaugurou o computador a 27 de março de 1968. (…) Em 17 de abril de 1968, foi instalado o bloco de memória no lugar daquele defeituoso e passamos à segunda parte da implantação do Sistema Operacional 44PS, agora aproveitando-se totalmente a capacidade da memória principal. Mais alguns testes de manutenção foram feitos e o computador foi entregue oficialmente (liberado) pelo departamento técnico da IBM em 25 de abril de 1968 (dia em que iniciou-se a contagem de tempo para fins de garantia)" (Processo Fapesp nº 67/0345-8).

---

[94]Os cinco cursos ofertados pela IBM versavam sobre seguintes temas: 1) conceitos básicos de computadores; 2) introdução ao sistema IBM/360; 3) Assembler/360; 4) Fortran IV; 5) sistema operacional 44PS (Processo Fapesp nº 67/0345-8).

O grande problema tecnológico que se impunha não era a operação do computador em si, mas o modo de acoplá-lo aos detectores de partículas utilizados nas experiências. Naquela época, eram duas as abordagens utilizadas pelos projetistas de sistemas para resolver o problema da aquisição de dados em Física Nuclear. Uma delas consistia em desenvolver uma interface elaborada para ligar os aparelhos de detecção de dados gerados pela experiência a um computador de grande capacidade de cálculo, que permitiria a posterior redução desses dados. A outra abordagem envolvia o uso de um pequeno computador intermediário e uma interface mais simples com a experiência. Nesse último caso, era comum a ligação desse computador intermediário a um computador maior, que ficaria então encarregado dos processamentos menos urgentes, enquanto o computador menor monitoraria inteiramente a tomada de dados. Exemplos típicos dessas duas abordagens se encontravam em alguns laboratórios norte-americanos: a própria IBM estava desenvolvendo, para o Laboratório de Física Nuclear da Universidade de Yale, uma complexa interface que permitiria a tomada de dados por um computador IBM/360-44; já na Universidade de Wisconsin, dois computadores de portes diferentes estavam acoplados para promover a tomada de dados, um diretamente ligado aos detectores de partículas, e o outro, o maior, destinado não só ao processamento de dados da experiência, como a processamentos gerais.

Na opinião de Sala, repetir a experiência de Yale traria os seguintes inconvenientes ao seu laboratório:

> "(...) Nós tínhamos que tomar uma decisão, adquirir uma interface, coisa que nós não conhecíamos e não tínhamos ninguém no Brasil que tivesse uma experiência nesse tipo de equipamento. A IBM até insistiu e, inclusive, com ofertas, do ponto de vista econômico, bastante vantajosas para nós. Eles tinham interesse em que comprássemos uma unidade semelhante a que estes estavam desenvolvendo em convênio com a Universidade de Yale. Mas nós pensamos maduramente sobre o assunto e decidimos que se nós comprássemos uma unidade sofisticada dessa, complexa, sem experiência, na primeira pane que a unidade oferecesse nós ficaríamos perdidos. (…) Era uma caixa-preta, exatamente. Então, nós decidimos enfrentar o problema do começo. Formamos um grupo e dissemos: bem, nós temos que fazer um sistema de aquisição de dados compatível com o acelerador, mas não podemos ter um sistema que é uma caixa-preta, porque isso nos limitaria enormemente. (…) Então, nós tivemos necessidade de formar um grupo, grupo de três pessoas que se responsabilizariam por estudar o problema, projetar uma interface e construir uma interface compatível com o nosso acelerador, que atendesse às nossas necessidades. E foi o que fizemos" (Sala, 1977, p.66).

Portanto, a interface construída para o Laboratório Pelletron da USP obedeceu ao segundo esquema: um computador DDP-516 da Honeywell[95] promoveria a aquisição de dados em linha, enquanto o IBM/360-44 iria se encarregar da redução posterior, fora de linha. Ademais, optou-se por desenvolver, no próprio laboratório, o *hardware* e o *software* necessários à confecção da interface. Para o cumprimento dessa tarefa, foram designados a compor o Grupo de Engenharia e Programação de Sistemas (GEPS) do SEMA o físico Trentino Polga, que, segundo Sala, "era um homem de grande habilidade na área tecnológica", e os engenheiros Claudio Mammana e Silvio Paciornik, ambos formados pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA).

Indubitavelmente, o ITA desempenhou importantíssimo papel na capacitação de um grande número de engenheiros e tecnólogos que formaram os quadros iniciais da informática, tanto no setor acadêmico como no industrial. Porém, eram poucas as opções de trabalho que a economia brasileira propiciava àqueles formados pelo Instituto. A inserção do país no chamado "subdesenvolvimento industrializado" impôs a esses profissionais, como principal ocupação, a mera função de vendedores das multinacionais, o que não demandava dos mesmos nenhum esforço no sentido de se gerar o tão almejado desenvolvimento tecnológico autóctone. Em um cenário marcado por um quadro de profunda dependência tecnológica, o setor acadêmico nacional se despontava como uma das poucas opções que poderia propiciar o exercício da capacidade criativa a esses engenheiros. Nesse sentido, Dantas (1988, p.32-33) apontou que:

> "Nem todos os engenheiros formados pelo ITA se conformaram com o futuro de vendedor. O alto nível de expectativa profissional logo mostrou-se muito acima das exigências do mercado. Não tardaram a acumular frustração em cima de frustração ao deixar os limites da escola, em São José dos Campos. Alguns estavam tão seguros de que suas aspirações passavam ao largo dos centros de processamentos de dados e das equipes de vendas das multinacionais que sequer tentaram experimentar as inúmeras oportunidades que se apresentavam. O seu destino eram as universidades brasileiras ou do exterior".

Consequentemente, na primeira metade da década de 1970, professores, alunos de pós-graduação e pesquisadores projetaram diversos produtos de informática[96] nas universidades

[95]Segundo computador a compor o sistema de aquisição de dados do Pelletron, o DDP-516 da Honeywell foi comprado pelo Departamento de Física Nuclear com verbas do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e da própria USP. Conforme recordou Mario Ferraretto, "o Honeywell custou 50 mil dólares e tinha 4k de memória. Fazia um pouco mais que uma calculadora e tinha um botão que não acendia. Mas o resultado, na época, foi bacana, porque ele conseguia adquirir um milhão de eventos por segundo, que é um número extraordinário. Poderia trabalhar com mega amostras" (Mammana *et al.*, 2011).

[96]Marques (2003) cita, como exemplo, os seguintes produtos: terminais de vídeo, modems, terminais inteligentes

brasileiras, sendo outros esforços criativos também verificados nos birôs estatais de processamento de dados e nos laboratórios das organizações militares brasileiras. Desse modo, foi sendo criada uma comunidade dos profissionais de informática, composta, grosso modo, por administradores das empresas estatais, professores universitários e oficiais militares engenheiros, que juntos defendiam, cada um ao seu modo, a importância estratégica do domínio da tecnologia dos computadores.

> "Na década de 1970, o desenvolvimento local da tecnologia de computadores possibilitou o encontro de visões, interesses e identidades profissionais diversas. Os professores dos recém-constituídos cursos de pós-graduação em engenharia estavam preocupados em criar um mercado de trabalho qualificado para os profissionais que formavam. Para eles, suas qualificações deveriam ser legitimadas por uma demanda no mercado de trabalho brasileiro por profissionais capazes de conceber e projetar computadores. Os militares julgavam importante saberem abrir as caixas-pretas eletrônicas instaladas em seus armamentos, especialmente depois que uma nova geração de fragatas com computadores a bordo foi adquirida da Inglaterra, tornando mais evidente a dependência de técnicos estrangeiros. Os administradores das estatais entendiam que o leque de soluções possíveis para uma determinada aplicação se abriria muito mais se houvesse no país a capacidade de projetar também o *hardware* e o chamado *software* básico, mesmo que de pequenos artefatos computacionais" (Marques, 2003, p.665).

Essa mesma comunidade de profissionais de informática buscou o domínio tecnológico por meio da engenharia reversa, pois os protótipos ou produtos desenvolvidos em suas pesquisas não foram aqui inventados. O trabalho de pesquisa empírica nas universidades e centros de pesquisa consistia justamente em aprender a fabricar aqueles artefatos computacionais, de tal forma que grupos de profissionais brasileiros adquirissem a capacidade de projetá-los, ou mesmo de ligar equipamentos de fabricantes diferentes a fim de formar um único sistema. Aos poucos perceberam que tais esforços deveriam ser conjugados com a inserção do capital privado nacional no setor de informática, que poderia ser incentivada por meio do concessão de uma reserva de mercado àquelas empresas que realizassem pesquisa e desenvolvimento de minicomputadores no Brasil.

Em um contexto caracterizado por um ar de descompressão política, então propiciado pelo que Marques (2003) denominou de "democracia relativa"[97], a política de reserva de mercado para

---

(precursores dos atuais microcomputadores), processadores dedicados, compiladores e protocolos de comunicação.

[97] A esse respeito, Marques (2003, p.663-4) assinalou que "em meados da década de 1970, a ditadura militar fez circular o conceito de 'democracia relativa' com o intuito de tentar domesticar as formas democráticas em lugar

o desenvolvimento da tecnologia de minicomputadores foi concebida naquela mesma comunidade multifacetada, da qual Claudio Mammana e Silvio Paciornik faziam parte e sobre a qual exerciam grande influência. Aliando o trabalho de pesquisa e ensino que realizavam no Departamento de Física Nuclear à atuação na esfera da política nacional de informática, os mesmos participavam de seminários e congressos realizados periodicamente[98], escreviam artigos que versavam sobre a dependência tecnológica no setor computacional e sobre as formas de superá-la, além de volta e meia desembarcarem no Rio de Janeiro para trocar ideias na Comissão de Coordenação das Atividades de Processamento Eletrônico (CAPRE)[99]. Ademais, envolveram-se nas discussões sobre os projetos de sistemas computacionais de interesse nacional, que se firmavam no âmbito do Grupo de Trabalho Número 3. Dantas (1988) apresentou, nos seguintes termos, uma síntese das ideias defendidas pelo referido grupo:

> "O Grupo de Trabalho Número 3 apresentou recomendações defendendo a criação de uma indústria de computadores que usasse, ao máximo, tecnologia nacional e fosse capaz de fabricar unidades centrais de processamento, memórias, periféricos, componentes eletrônicos, etc. As universidades teriam participação ativa, fornecendo *know-how* e, ao mesmo tempo, incorporando às suas atividades curriculares, a experiência adquirida. Os projetos, claro, deveriam ser compatíveis com a realidade tecnológica brasileira. Para o grupo, era necessário integrar as políticas tecnológicas do governo nas áreas de comunicação, computação e automação. Deveriam também ser criados incentivos especiais que tornassem atraentes a comercialização de produtos ou processos resultantes de projetos de pesquisa e desenvolvimento genuinamente brasileiros. Por fim, no seu documento, o grupo alertava o governo para a importação indiscriminada de soluções estrangeiras" (Dantas, 1988, p.91).

A esse grupo se uniram outros integrantes do SEMA – o físico Mário Ferraretto e os engenheiros iteanos José Rubens Dória Porto e Wilson de Pádua Paula Filho, sendo apelidados no ambiente uspiano de "engenheiros vermelhos do Sala" (Mammana *et al.*, 2011). Todos eles expressavam suas convicções e visões de mundo em artigos publicados na revista especializada

---

de procurar simplesmente eliminá-las. A 'democracia relativa' significava a ampliação dos espaços onde se podia falar, escrever e agir, em termos de pessoas e temas permitidos, sem contudo admitir todo e qualquer tema".

[98]Eram dois os principais encontros que aglutinavam os profissionais do setor de informática: o Seminário de Computação na Universidade (SECOMU), cuja primeira edição ocorreu em 1971 no Rio Grande do Sul, e o Seminário de Coordenação em Processamento de Dados (SECOP), realizado pela primeira vez em Fortaleza no ano de 1973.

[99]A CAPRE foi criada pelo governo em 1972 com a missão de estimular o crescimento da estrutura computacional do país e fomentar programas de treinamento e formação de pessoal especializado (Dantas, 1988).

Dados & Ideias[100], que possuía Claudio Mammana como membro de seu conselho editorial. Os fatos, estudos e propostas contidos nos artigos eram lidos e debatidos pela comunidade dos profissionais de informática, cuja opinião geral era a de que ainda havia tempo e absoluta necessidade, em termos de implicações econômicas, sociais, culturais e estratégicas, para o Brasil desenvolver a sua própria indústria da computação, baseada em tecnologia nacional (Dantas, 1988).

Oscar Sala não se opunha à atuação política do corpo de pesquisadores do SEMA, porém não demonstrava entusiasmo pela política nacional de informática. Seu interesse pela autonomia tecnológica gravitava em torno da esfera microssocial representada pelo laboratório. Buscava o domínio de uma série de tecnologias, pois sabia que isso traria aprimoramentos à instrumentação científica, além de minimizar entraves à prática experimental através da pronta manutenção dos equipamentos.

Mesmo não sendo a eletrônica digital o foco principal das atividades do Departamento de Física Nuclear, o desenvolvimento do sistema de tomada de dados para o novo acelerador atribuía grande destaque ao SEMA, eclipsando, de certa forma, as atividades de pesquisa desenvolvidas pelo Laboratório de Sistemas Digitais (LSD) da Escola Politécnica da USP. Havia uma grande disputa de egos entre Helio Guerra Vieira, fundador do LSD, e Oscar Sala, que se materializava em conflitos políticos internos à USP. Tais atritos, por sua vez, inviabilizavam o estabelecimento de acordos cooperativos entre o Departamento de Física Nuclear e a Escola Politécnica. Quando inquirido sobre as causas da falta de congruência entre as atividades dessas duas unidades, Sala se referiu vagamente a este fato com as seguintes palavras:

> "Este é um problema também bastante interessante a ser discutido. Na Universidade de São Paulo, inclusive, sentimos mesmo essa dificuldade de uma maior participação de escolas diferentes, áreas diferentes, no sentido de dar um desenvolvimento mais harmonioso. Entretanto, o nosso sistema universitário não é muito propício a esse tipo de coisa. Cada um tem seus problemas e há um isolamento muito grande entre as várias unidades da universidade. Isto não foi realmente possível e tivemos que assumir a responsabilidade

[100]Com o sugestivo nome de Dados & Ideias e tendo periodicidade bimestral, a revista foi criada em agosto de 1975 com o intuito de levar "ao conhecimento de toda a comunidade os fatos, os estudos, as propostas e realizações daquele fértil momento: as estatísticas sobre importação de computadores, os modelos de política de informática adotados por outros países como o Canadá, a Suécia e a Índia, os projetos universitários, a política nuclear brasileira, os avanços da microeletrônica, o fluxo de dados transfronteiras, os primeiros passos da Embraer, as questões relativas à privacidade, a transferência de tecnologia ..." (Dantas, 1988, p.97).

> também desses desenvolvimentos que são mais de uma área de engenharia, de eletrônica digital, etc." (Sala, 1977, 61-62).

Apesar do clima de animosidades, Mammana e Paciornik concluíram pós-graduação na Escola Politécnica e, naturalmente, cursaram disciplinas oferecidas pelo LSD. Uma delas foi sobre arquitetura de computadores, ministrada por Glenn Langdon – um especialista em protótipos com passagem pela IBM.

> "Definido que o trabalho de fim de curso seria a construção de um protótipo, os alunos, divididos em grupos, receberam ao final do primeiro semestre [de 1971] a tarefa de gerar especificações para o computador de oito bits. Durante as férias de julho, Langdon reuniu todos os resultados dos trabalhos e especificou o projeto final. Uma das mais importantes contribuições veio de dois 'estrangeiros': Claudio Mammana e Silvio Paciornik que, embora não pertencessem aos quadros do LSD, participavam do curso em busca de subsídios para o projeto de um sistema experimental de aquisição de dados que desenvolviam no Departamento de Física Nuclear da USP" (Dantas, 1988, p.51).

Dessa forma, Mammana e Paciornik conceberam as grandes linhas da arquitetura do protótipo que veio a receber o nome de "Patinho Feio"[101]. Salvo essa exceção, a falta de articulação com a vizinha Escola Politécnica era compensada pela já consolidada cooperação com a distante Universidade de Wisconsin.

Silvio Paciornik passou cerca de um ano no Departamento de Física daquela universidade para desenvolver o projeto e a construção de uma interface entre o computador e o acelerador Pelletron. Segundo suas recordações, "o Trentino foi para Wisconsin trabalhar com o acelerador de partículas que existia lá e eu fui também, um pouco mais tarde, para olhar a interface que eles tinham e eventualmente projetar a nossa" (Mammana *et al.*, 2011). A viagem a Wisconsin também foi importante no sentido de propiciar contatos face a face entre Paciornik e Trentino Polga, assim facilitando as discussões sobre as especificações dos instrumentos de aferição de dados do Pelletron.

Posteriormente, chegaram a Wisconsin Claudio Mammana e o técnico em eletrônica Ary Rodrigues, que se encarregou de efetuar os testes e as montagens necessárias à construção da interface. Seus objetivos de trabalho não foram plenamente alcançados, em parte, devido ao atraso na remessa de recursos pela USP, que seria destinada à compra dos componentes da

[101]Para a obtenção de maiores informações sobre a construção sociotécnica do Patinho Feio, consulte Cardoso (2003).

interface nos EUA. Já Mammana foi enviado a Wisconsin com o intuito de desenvolver programas de suporte para os dois computadores que então compunham o sistema de aquisição de dados do Laboratório Pelletron. Sua permanência nos EUA não foi essencial para o alcance da referida meta, pois os pesquisadores de Wisconsin não apresentavam um estoque de conhecimentos superior ao seu, além da sua própria tentativa de entrar em contato com os criadores do sistema operacional 44PS não ter sido bem sucedida, devido ao fato dos mesmos já não trabalharem mais na IBM (Mammana *et al.*, 2011; Processo Fapesp nº 69/998).

Apesar de todos os percalços, o sistema automático de aquisição de dados estocásticos (SADE) foi implantado e já se encontrava em uso pelos físicos nucleares em 1972. Cabe ressaltar que esse sistema, ao todo, incluía: a) canal de transferência rápida de informações de conversores analógico digitais a um computador Honeywell DDP-516. Esse canal podia transmitir até um milhão de palavras de 16 bits por segundo; b) canal de transferência lenta de parâmetros amostrados periodicamente em experiências de Física Nuclear para o mesmo computador; c) estação de exibição da informação adquirida, acoplada ao DDP-516. Esse conjunto incluía um tubo de raios catódicos, um tabuleiro de funções e um estigmascópio (*light pen*) e permitia a análise em tempo real dos resultados das experiências em Física Nuclear; d) unidade de acoplamento do computador DDP-516 ao IBM/360-44, que possibilitava o arquivamento dos dados nas unidades de disco ou fitas magnéticas do computador IBM; e) sistema de programação necessário à aquisição, arquivamento e análise em tempo real dos dados, sendo constituído por um conjunto de funções requisitáveis pelo tabuleiro (*function keyboard*), f) sistema de programação necessário à comunicação entre os computadores Honeywell DDP-516 e IBM/360-44[102].

A experiência adquirida com o desenvolvimento exitoso de todos os itens anteriormente ressaltados capacitou a equipe do SEMA a desenvolver outro projeto, pautado na concepção de um sistema automático de aquisição e análise de dados para o antigo acelerador Van de Graaff, que, uma vez modernizado, seria utilizado, dentre outras aplicações[103], no planejamento de

[102] Processo Fapesp nº 73/0073-9.

[103] Essas aplicações previstas incluíam: ensaios não destrutivos em metalurgia, medidas de seções de choque de nêutrons rápidos; pesquisas em física atômica; estudos de troca de cargas em íons recuando em meios materiais

experiências realizadas junto ao Pelletron. Foi com essa justificativa que o SEMA adquiriu, junto a FAPESP e a USP, a verba necessária à realização do projeto e, mais especificamente, ao desenvolvimento de um processador especial com algumas características definidas em função dos problemas que se pretendia resolver.

Tal abordagem se posicionava a meio caminho entre os dois esquemas anteriormente ressaltados e então utilizados pelos projetistas de sistemas para solucionar o problema de aquisição de dados em Física Nuclear. Abordagem semelhante tinha sido previamente adotada pelo grupo de análise de filmes de câmaras de bolhas da Universidade de Wisconsin, onde um processador especial foi construído para trabalhar em conjunto com a unidade geradora de informações e o computador central da universidade. Por sua vez, o sistema desenvolvido pelo SEMA envolveu o projeto e a construção dos seguintes subsistemas: a) banco de memória para dados (24 *bits* na palavra); b) dispositivo de acesso direto à memória com "soma um" automático; c) processador especial paralelo em 24 *bits*; d) interfaces para: conversores analógico digitais, dispositivos periféricos e computador IBM/360-44.

De um modo geral, o plano de trabalho proposto visava projetar e construir um processador para aquisição de dados estocásticos (PADE), utilizável em linha com as experiências em Física Nuclear, mas suficientemente versátil para poder ser utilizado no controle de outros tipos de experiências e no processamento fora de linha. Implícito sempre esteve o desejo dos pesquisadores envolvidos em provar que, com um custo relativamente baixo e a utilização de um número reduzido de pessoas, seria possível, no ambiente de pesquisa de uma universidade, projetar e construir um computador altamente competitivo, em desempenho, com os mais modernos construídos no exterior. Tratava-se de um projeto desenvolvido por um grupo de indivíduos que trabalhava com certas premissas gerais preestabelecidas e que procurava adotar uma atitude crítica, não somente com relação aos aspectos técnicos de um problema, mas também com relação aos aspectos de natureza mais geral que tivessem alguma relação com o tema proposto. No relatório final do projeto PADE, redigido no último mês de 1977, o referido grupo exprimiu tais premissas com seguinte termos:

(Processo Fapesp nº 73/0073-9).

> "O tema do projeto era (e provavelmente ainda é) objeto de interesse de várias entidades no país. Embora, no pedido inicial, tenhamos feito um esforço para não deixar claro o que nos propúnhamos a executar, era nosso objetivo projetar e construir um computador digital para uso não específico. Mas, não desejávamos apenas projetar e construir um computador digital. Queríamos fazê-lo dentro de certas condições e esperando que alguns eventos viessem a se desencadear de modo mais ou menos espontâneo à medida que o tempo fosse passando e o tempo ainda está passando. Apoiados na premissa de que: a) já existe no país, na área em que se propunha o projeto, o conhecimento tecnológico necessário, não somente em termos de execução de protótipos como também nos de produção em escala; b) Um tema de projeto convenientemente escolhido poderia servir como motivação para o envolvimento posterior de outros grupos de pesquisa, não somente dentro da universidade de origem do projeto, mas também de outras universidades do país, envolvimento esse necessário à fixação e consolidação do conhecimento adquirido. Decidimos tentar demonstrar tais premissas realizando um projeto com os seguintes objetivos e características: a) que fosse suportado financeiramente por recursos relativamente pequenos, tendo em vista a dimensão do projeto; b) que o projeto fosse executado dentro da universidade, com docentes da mesma e sem prejuízo dos encargos habituais desses docentes. c) que fossem gerados problemas adequados para temas de teses de doutoramento e de mestrado como decorrência natural do desenvolvimento do projeto principal, sendo, como consequência, esses problemas identificados com as reais condições do grupo e não motivados por razões espúrias ao meio; d) que tal projeto apresentasse virtudes tecnológicas e acadêmicas, aderentes, na medida do possível, às condições do país, sem a discutível contribuição de especialistas estrangeiros; e) que se poderia atingir o estágio da produção em escala através do comprimento da premissa 'b' caso as condições de contorno fossem favoráveis" (Processo Fapesp nº 73/0073-9).

Seguindo tal posicionamento político, o GEPS obteve como resultado final um processador de médio porte, haja vista seu desempenho, capacidade máxima de memória (50 Megabytes) e seu conjunto de instruções extenso e versátil, embora a ideia original fosse apenas projetar um minicomputador para aquisição de dados. O prazo predeterminado para a construção do PADE foi de dois anos, porém essa estimativa demonstrou-se excessivamente otimista. Fatores inesperados postergaram o término do projeto em mais três anos, dentre os quais podemos destacar os problemas decorrentes da importação de componentes eletrônicos necessários à construção do PADE: "deve-se esse atraso, em particular, ao processo acidentado da importação da memória de controle, o qual, por erro administrativo, contribuiu com 18 meses"[104]. Como forma de contornar esse problema, os pesquisadores dispenderam um esforço considerável visando substituir uma parte do equipamento que seria normalmente importado, projetando-o e construindo-o no Laboratório de Eletrônica Digital do SEMA ou adquirindo-o da indústria nacional.

[104] Processo Fapesp nº 73/0073-9.

Parte da responsabilidade por esse atraso também recaiu sobre a alta rotatividade do pessoal técnico, de nível médio, no ambiente acadêmico, que, devido à grande discrepância então existente entre os salários oferecidos na universidade e aqueles pagos fora dela, obrigava os grupos de projeto e desenvolvimento a despender muito tempo na formação de pessoal, restando disso baixa produtividade.

Além de trabalhos apresentados em congressos, os resultados acadêmicos se manifestaram através de teses de doutorado e dissertações de mestrado defendidas, sendo que quase a totalidade dos membros do SEMA conseguiu sua titulação como decorrência desse projeto. Além disso, foram feitas experiências tanto no campo da arquitetura de computadores quanto no campo de implementação, de forma que a máquina obtida apresentava algumas inovações em relação às máquinas tradicionais, assim demonstrando o domínio na execução de protótipos conquistado pelo grupo.

Com relação ao envolvimento de outros grupos, o Departamento de Computação do Instituto de Matemática da USP, através do professor W. W. Setzer, interessou-se por parte do projeto, tendo destacado dois professores para participar do mesmo. O Centro de Computação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), através do professor Wilson P. Paula Filho, desenvolveu não só atividades diretamente relacionadas com o projeto, como criou alguns projetos novos associados ao PADE, como, por exemplo, o FOPA (formatador do PADE). As tentativas de se reproduzir o PADE em outras universidades – UFMG, UNICAMP e UFSCAR – foram frustadas, em parte, devido às enormes dificuldades encontradas na elaboração da documentação da máquina em todos os níveis.

Embora fosse um dos desejos do grupo a produção do PADE em larga escala, além da própria questão da documentação, as "condições de contorno" não foram favoráveis à sua concretização. Com o lançamento de um novo produto, o microcomputador, ocorreu uma brusca modificação na estrutura do mercado de informática no início dos anos 1980.

> "O microcomputador rompeu os limites restritos de um mercado de bens de capital especializado e provocou uma rápida mudança de toda a estrutura do setor no que se refere a qualificações de engenharia, industriais, comerciais e financeiras dos fornecedores e compradores. Por um lado, os custos e os preços caíram mais uma ordem de grandeza, e a capacidade de processamento e a escala de produção subiram várias ordens de grandeza.

> Por outro lado, o micro passou a integrar o rol dos objetos de uso doméstico e pessoal ambicionados pelos leigos. No começo dos anos 80, o computador saiu de um mundo fechado de milhares de profissionais para um universo aberto de milhões de leigos diretamente interessados e envolvidos" (Marques, 2003, p.674).

Todas essas modificações ocasionaram a rápida obsolescência dos *mainframes* e minicomputadores e, mais especificamente, do PADE. Entretanto, não podemos negligenciar os efeitos econômicos positivos que as atividades realizadas pelo SEMA propiciaram ao setor produtivo nacional. A própria evasão dos técnicos da universidade, se por um lado retardou o ritmo do trabalho de pesquisa, por outro possibilitou o vazamento de conhecimentos de ponta em direção às empresas nacionais. Os engenheiros do SEMA também prestaram consultoria a várias empresas do ramo da informática, a exemplo da COBRA e da Itautec[105]. Presidente dessa última empresa, Olavo Setúbal fazia frequentes visitas ao SEMA a fim de se apropriar de conhecimentos tecnológicos úteis ao seu empreendimento.

Com base na experiência adquirida através do trabalho realizado no SEMA, Mario Ferraretto e Silvio Paciornik fundaram, nos anos 1980, a Sofos Informática. Além desse, outro caso de *spin-off* é o da empresa de Ary Rodrigues, a Tectrol, criada em 1973 e atuante até hoje no setor eletroeletrônico, através da produção sob encomenda de equipamentos de conversão de energia para os mais variados segmentos.

Em fins dos anos 1970, o SEMA entrou em uma fase de esgotamento, devido ao fato de seus integrantes já terem concluído a tarefa principal a que lhes foi designada – a implementação do uso de computadores no trabalho experimental. Como consequência, o grupo foi desfeito e parte de seus integrantes passou a buscar oportunidades de trabalho mais rentáveis no setor produtivo nacional.

[105] A fim de atender às suas necessidades de automação bancária, o Itaú criou uma empresa sob seu total controle, a Itautec, para desenvolver e fabricar seus sistemas, além de suprir outros segmentos do mercado brasileiro (Cassiolato, 1992).

5.4) Perspectivas de Ampliação do Laboratório

Em 1982, tornou-se evidente aos físicos nucleares da USP que já era o momento de se iniciar uma nova atualização tecnológica, objetivando o prosseguimento das pesquisas em condições de competição internacional. Para tanto, precisava-se expandir as instalações laboratoriais a fim de se obter maiores níveis de energia, o que possibilitaria a investigação de problemas inacessíveis com os equipamentos então disponíveis em São Paulo. Após a realização de vários estudos que consideraram diversos fatores, tais como recursos humanos, econômicos e, sobretudo, possíveis programas de pesquisa científica, decidiu-se que a melhor solução tecnológica seria acoplar ao Pelletron um outro acelerador com a finalidade de aumentar a energia das partículas já aceleradas por aquela máquina.

Amplamente pautada nas discussões firmadas em várias reuniões da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), da Sociedade Brasileira de Física (SBF), e em encontros promovidos pelo CNPq, a decisão final adotada foi a de usar o Pelletron como injetor de um acelerador linear (LINAC) supercondutor, a ser construído segundo o *design* do projeto Atlas, então executado pelo Laboratório Nacional de Argonne, nos EUA. Construído e colocado em funcionamento sob a liderança do Dr. Bolinger, tratava-se de uma máquina cujas cavidades aceleradoras eram construídas com material supercondutor, o nióbio metálico, o que representava um avanço bastante significativo na tecnologia de aceleradores[106], então adotado por vários laboratórios internacionais de Física Nuclear e de Altas Energias, a exemplo do CERN e do Fermlab. Além de suas características inovadoras, o LINAC supercondutor apresentava faixa de energia (40 MeV para prótons) adequada aos propósitos da pesquisa que se pretendia realizar em

[106] Chama-se de convencional um LINAC em que as estruturas ou cavidades aceleradoras são constituídas com materiais convencionais, como o cobre, que operam em temperatura ambiente. Esses aceleradores são construídos por uma série de cavidades que, ligadas a geradores de radiofrequência, produzem campos elétricos elevados devido ao fenômeno da indução eletromagnética. São esses campos elétricos que promovem a aceleração dos íons. Para a obtenção de campos elétricos elevados, acima de um milhão de volts por metro, ocorre uma grande dissipação de energia nas paredes das cavidades dos LINACS convencionais, tornando-os antieconômicos. A solução desse problema foi encontrada com a utilização de metais supercondutores na construção das cavidades aceleradoras. Em um supercondutor, a exemplo do nióbio, a resistência elétrica superficial para radiofrequência é cinco ou seis ordens de grandeza menor que a do cobre. Esses materiais tornam-se supercondutores somente quando resfriados a temperaturas muito baixas – alguns graus próximos do zero absoluto (-273°C). Entretanto, mesmo com o dispêndio de energia dos refrigeradores para a redução da temperatura das cavidades, a potência elétrica necessária para operar os aceleradores supercondutores é algumas centenas de vezes menor quando comparada com a potência consumida por um acelerador convencional equivalente (Sala e Pessoa, 1988).

São Paulo.

A ideia inicial era construir o novo acelerador em duas fases. A primeira etapa do projeto previa a instalação de treze cavidades supercondutoras, a serem construídas nos EUA, na mesma empresa que fabricou as cavidades de Argonne. Na segunda etapa, seriam construídas outras treze cavidades por empresas nacionais. Sala acreditava que esta última etapa estimularia o desenvolvimento industrial da supercondutividade no Brasil, o que poderia agregar valor às exportações de nióbio feitas pelo país.

> "Possuímos grandes reservas de nióbio e somos fornecedores desse material para os países desenvolvidos. Com a construção desse acelerador no país, o objetivo é incentivar a indústria a produzir localmente o nióbio metálico puro e os lucros seriam bem maiores que os atuais, obtidos com a exportação do minério bruto" (Sala e Pessoa, 1988, p.7).

Seu interesse pela produção de nióbio começou com uma viagem feita à União Soviética no início dos anos 1980 como físico e assessor de uma firma produtora de nióbio no Brasil. A viagem tinha por motivação o interesse dos russos em fazer aço de qualidade especial, contendo esse metal. Do estreitamento das relações com a firma brasileira, aliado à ideia da necessidade de outra máquina e às observações em outros laboratórios, surgiu a configuração das características de um novo acelerador (Hamburger, 2004).

Portanto, Sala defendia o projeto por seus méritos econômicos e tecnológicos, pois acreditava que, além de permitir aos seus físicos e engenheiros de aceleradores o domínio de uma tecnologia de ponta, a construção do LINAC supercondutor possibilitaria a mobilização de empresas nacionais do setor de bens de capital, mais especificamente daquelas inseridas nas áreas de metalurgia, soldas especiais, baixas temperaturas, radiofrequência, controle de processos, entre outras.

Esse último projeto de Sala[107] contou inicialmente com o apoio financeiro da própria USP, da FAPESP e da FINEP. Porém, devido à crise econômica dos anos 1980 e à instabilidade na concessão de auxílios financeiros dos anos seguintes, até o final da primeira década do século XXI, a construção do novo acelerador ainda não tinha sido finalizada (Pereira, 2009).

[107] Em fins dos anos 1980, Oscar Sala sofreu um derrame cerebral, o que o afastou de suas atividades profissionais.

CONCLUSÃO

Com base nas análises tecidas ao longo desse trabalho, podemos depreender algumas considerações finais acerca das interdependências verificadas entre o contexto socioeconômico e o desenvolvimento da Física Nuclear em São Paulo.

Conforme observado anteriormente, nos países desenvolvidos, o progresso técnico alcançado por sua estrutura industrial moldou o desenvolvimento dos instrumentos científicos essenciais à prática da Física Nuclear. Decerto, foi a indústria eletrônica, através de seus novos produtos e saberes tecnológicos, a principal responsável pela formação das bases materiais necessárias ao desenvolvimento dos aceleradores de partículas no Século XX. Quando a análise histórica se volta ao Brasil, percebe-se que sua estrutura produtiva, especialmente seu setor produtor de bens de capital, não se mostrou prontamente capaz de fornecer as soluções tecnológicas e os materiais necessários à consecução dos empreendimentos científicos de Oscar Sala.

O acelerador Van de Graaff somente conseguiu ser produzido localmente graças à sua baixa sofisticação material e tecnológica, já pretendida por Sala e Herb quando o projetaram. Mesmo assim, Sala encontrou enormes dificuldades em obter seus componentes mecânicos, a exemplo de seu tanque pressurizado, que acabou se tornando o primeiro do gênero a ser produzido pela indústria nacional. Como reflexo do caráter incipiente e tecnologicamente dependente da indústria eletrônica então instalada no país, o Van de Graaff teve sua parte eletrônica construída com base em conhecimentos tecnológicos desenvolvidos pelos próprios físicos experimentais e pelo engenheiro Adolfo Leirner, que naquela ocasião se dedicava à realização de atividades de pesquisa no ITA. Alguns componentes eletrônicos, tais como as válvulas fabricadas pela indústria de transmissores de rádio, puderam ser comprados no mercado nacional.

Entretanto, no caso do Pelletron, sua complexidade em termos materiais e tecnológicos era incompatível com a estrutura industrial nacional da segunda metade dos anos 1960. Segundo análise feita por Sala, se a indústria nacional fosse requisitada para auxiliar na construção de um

acelerador do mesmo porte, levaria um longo período para produzir todos os seus componentes, sob o risco da própria máquina se tornar obsoleta no decorrer do processo de capacitação industrial então exigido. Daí conclui-se que as formas de interação entre ciência, tecnologia e indústria variam de acordo com o tecido social considerado: ao contrário do ocorrido nos países desenvolvidos, a estrutura produtiva de países que tiveram uma inserção tardia no capitalismo industrial se torna impositora de limites materiais ao desenvolvimento das ciências experimentais.

Com relação aos canais de aquisição de conhecimentos tecnológicos, as interações firmadas com engenheiros iteanos propiciaram o desenvolvimento das soluções tecnológicas requeridas pela prática da Física Nuclear experimental em São Paulo. Conforme ressaltado no Capítulo 4, foi Adolfo Leirner que elaborou o sistema de pulsação do feixe do Van de Graaff, atribuindo àquele acelerador caráter inédito dentre as demais máquinas eletrostáticas então operantes a nível mundial. Já na "Era Pelletron", todo o processo de informatização do trabalho experimental foi feito por engenheiros iteanos, que também exerceram influência decisiva na elaboração da política nacional de informática dos anos 1970. A cooperação científica estabelecida entre os Departamentos de Física Nuclear das Universidades de Wisconsin e de São Paulo também se mostrou importante nesse sentido, ao possibilitar uma troca perene de materiais e conhecimentos científicos e tecnológicos entre as duas instituições.

Por sua vez, a transferência de conhecimentos tecnológicos dos laboratórios de Física Nuclear em direção à estrutura produtiva nacional se fez através dos seguintes mecanismos: 1) transferência de técnicos da universidade para o setor produtivo; 2) oferta de cursos gratuitos ao público geral; 3) prestação de serviços de consultoria a empresas; 4) criação de empresas por componentes do próprio laboratório. Esses vazamentos de conhecimento observados corroboram com a visão industrialista de Sala, segundo a qual os laboratórios experimentais se constituem em núcleos de inserção de novas tecnologias no setor produtivo da sociedade.

Outro aspecto importante a ser evidenciado está nas mudanças ideológicas percebidas ao longo do período estudado e que se manifestaram por meio de alterações na orientação da política científica e tecnológica então vigente no país. Constatou-se que alterações no campo ideológico

provocaram o aumento da parcela do excedente social canalizado ao fomento das atividades científicas e tecnológicas, o que contribuiu decisivamente para o processo de atualização tecnológica que se fez através da criação do Laboratório do Acelerador Pelletron.

Embora a elaboração de uma análise sociológica não tenha sido o cerne desse estudo, não poderíamos deixar inexploradas as relações de poder associadas à prática científica em questão. Observou-se que o acesso inicial aos conhecimentos tecnológicos associados aos aceleradores de partículas e desenvolvidos pelas universidades norte-americanas só foi permitido mediante o estreitamento das relações políticas do Brasil com os EUA. Disso resultou o envolvimento dos físicos da USP no esforço de guerra dos países aliados, através da produção de artefatos eletrônicos destinados ao monitoramento da costa brasileira, assim lhes garantindo os auxílios financeiros e materiais concedidos por instituições filantrópicas norte-americanas.

Ademais, deve-se destacar as continuidades instrumentais que estruturaram a narrativa aqui proposta, então iniciada nos anos 1930, quando o Departamento de Física da Universidade de São Paulo ainda se dedicava à pesquisa experimental no campo da Física dos Raios Cósmicos. Constatou-se que a capacitação tecnológica fomentada pela prática dessa disciplina científica facilitou a inserção da USP na era dos aceleradores de partículas. Os materiais e conhecimentos tecnológicos associados à eletrônica imprimiram coerência à transição realizada entre aquelas duas áreas da física experimental. Dentro do próprio desenvolvimento histórico da Física Nuclear, verificou-se também uma continuidade tecnológica entre as máquinas aceleradoras de íons leves e aquelas voltadas à aceleração dos íons pesados, mais especificamente entre o antigo Van de Graaff e o Pelletron. Tal fato propiciou não apenas uma melhor adaptação à nova máquina, como também os conhecimentos necessários à resolução dos diversos problemas apresentados em sua fase inicial de funcionamento.

Por fim, cabe ressaltar que esse trabalho pode ser desdobrado em uma série de trabalhos menores, porém mais pontuais, focados em aspectos que aqui foram negligenciados por causa da escassez de fontes primárias consultadas. Nesse sentido, as próximas ações devem se concentrar na busca por mais fontes primárias, no planejamento e na execução de mais entrevistas e em uma revisão mais detalhada da literatura internacional. Acredita-se que esse não deva ser o ponto final

de um trabalho que se dê por completo, mas o início de novas possibilidades de pesquisa dentro do tema proposto.

FONTES

Arquivos

- Arquivo Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP)

- Arquivo do Departamento de Física Nuclear do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP)

- Arquivo FAPESP – Processos Citados:

    - Exatas 62/0194-6: Programa de cooperação em Física Nuclear Wisconsin - São Paulo.

    - Exatas 62/0195-2: Estudos sobre "klystrom bunching" a fim de melhorar a resolução da medida do tempo de voo dos nêutrons e desenvolver técnicas de ultra vácuo para eliminar a contaminação de C nas câmaras de alvo.

    - Exatas 64/0415-8: Plano de cooperação entre as Universidades de São Paulo e de Wisconsin.

    - Física 66/0317-1: Programa de cooperação em Física Nuclear entre a Universidade de São Paulo e a Universidade de Wisconsin.

    - Física, Matemática, Tecnológicas e Industriais 67/0345-8: Aquisição e unidades periféricas para o computador IBM/360-44.

    - Física, Matemática, Tecnológicas e Industriais 67/0572-4: Elaboração de programas básicos para operação "on-line" e controle.

    - Física 67/0362-0: Plano de Cooperação São Paulo-Wisconsin.

    - Física 69/998: Interface do acelerador-computador.

    - Física 69/0484-3: Investigação de radiação gama em reações nucleares.

    - Física 69/0881-2: Programa de cooperação em Física Nuclear, São Paulo-Wisconsin.

    - Física 73/0073-9: Sistema automático de aquisição de dados para o Laboratório Van de Graaff do IFUSP.

Entrevistas

GOLDEMBERG, José. **Entrevista concedida a Tjerk Franken, Ricardo Guedes Pinto e Simon Schwartzman para a pesquisa "História da Ciência no Brasil" realizada na FINEP**. Rio de Janeiro, dez. 1976.

LATTES, Cesar. Entrevista concedida a Micheline Nussenzveig e Cássio Leite Vieira. In: **Cientistas do Brasil**: Depoimentos. SBPC, CNPq, FIESP, Ciência Hoje: São Paulo, 1998, p.633-650.

LEIRNER, Adolfo. **Entrevista concedida a Tharsila de Medeiros**. São Paulo, Instituto do Coração, 7 de fevereiro de 2008.

MAMMANA, Claudio; PACIONIK, Silvio; FERRARETTO, Mario. **Entrevista concedida a Tharsila de Medeiros**. São Paulo, Sede da Empresa Sofos, 18 de fevereiro de 2011.

NUSSENZVEIG, Moysés Herch. Entrevista concedida a Gilberto Velho, Alzira Alves de Abreu e Luiz Davidovich. **Ciência e Cultura**, vol.60, nº especial 1, São Paulo, julho de 2008.

OCCHIALINI, Giuseppe. **Entrevista concedida a Cecil Robilotta, Manoel Robilotta, João Zanetic, M. Regina Kawamura, Alexandre Medeiros, Ernst Hamburger e Amélia Império Hamburger**. São Paulo, IFUSP, 8 de agosto de 1982.

PEREIRA, Dirceu. **Entrevista concedida a Tharsila de Medeiros**. São Paulo, IFUSP, 6 de fevereiro de 2008.

POMPÉIA, Paulus Aulus. **Entrevista concedida a Ricardo Guedes Pinto e Simon Schwartzman para a pesquisa "História da Ciência no Brasil" realizada na FINEP**. São Paulo, 1973.

_____. **Entrevista concedida a Paula Cardoso Dias e Amélia Império Hamburger**. São Paulo, 1990.

SALA, Oscar. **Entrevista concedida a Tjerk Franken, Ricardo Guedes Pinto e Carla Costa para a pesquisa "História da Ciência no Brasil" realizada na FINEP**. Rio de Janeiro, jan. 1977.

_____. Entrevista concedida a Amélia Hamburger. In: **Cientistas do Brasil**: Depoimentos. SBPC, CNPq, FIESP, Ciência Hoje: São Paulo, 1998, pp.755-765.

SOUZA SANTOS, Marcelo Damy. Depoimentos – Marcelo Damy: revolução no ensino da física. **Estudos Avançados**, 8(22), 1994, p.79-95.

_____. Depoimentos – Marcelo Damy: revolução no ensino da física. **Estudos Avançados**, 8(22), 1994, p.79-95.

_____. Entrevista concedida a Amélia Império Hamburger e Carmen Weingrill. In: **Cientistas do Brasil**: Depoimentos. SBPC, CNPq, FIESP, Ciência Hoje: São Paulo, 1998, p.517-530.

_____. **Entrevista concedida a Amélia Império Hamburger e Carla Soares**. São Paulo, 23 de abril de 2002.

UETA, Nobuko. **Entrevista concedida a Tharsila de Medeiros**. São Paulo, IFUSP, 12 de março de 2008.

WATAGHIN, Gleb. **Entrevista concedida a Cylon Silva para a pesquisa "História da Ciência no Brasil" realizada na FINEP**. São Paulo, 1975.

Obras Citadas

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro. **Físicos, mésons e política**: a dinâmica da ciência na sociedade. São Paulo/ Rio de Janeiro: HUCITEC, Museu de Astronomia e Ciências Afins, 1999.

BARSCHALL, Henry H. Raymond George Herb. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES; OFFICE OF THE HOME SECRETARY. **Biographical Memoirs V.72**, 1997, p.234-244.

BIELSCHOWSKY, Ricardo. **Pensamento econômico brasileiro**: o ciclo ideológico do desenvolvimentismo. Rio de Janeiro: Contratempo, 1996.

BOORSE, Henry; MOTZ, Lloyd & WEAAVER, Jefferson. **The Atomic Scientists**: a Biographical History. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1989.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. **Programa estratégico de desenvolvimento**, **1968-1970**: Brasília: Ministério do Planejamento e Coordenação Geral, 1968.

BRENNI, Paolo. Physical instruments in the twentieth century. In: KRIGE, John & PESTRE, Dominique (eds.). **Science in the twentieth century**. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1997, p.741-757.

BURRILL, E. A. Van de Graaff, the man and his accelerators. **Physics Today**, 20:2, 1967, p.49-52.
_____. Robert Jemison Van de Graaff. In: **Dictionary of Scientific Biography**, Vol. 13. New York: Charles Scribner's, 1980, p. 569-71.

CARDOSO, Marcia de Oliveira. **O Patinho Feio como construção sociotécnica**. Rio de Janeiro: UFRJ/IM/NCE, 2003.

CASSIOLATO, José. A conexão entre usuários e produtores de alta tecnologia: um estudo de caso da automação bancária no Brasil. **Ensaios FEE**, Porto Alegre, (13)1, p.166-203, 1992.
COHN, Gabriel. Problemas da industrialização no século XX. In: MOTA, C. G. **Brasil em perspectiva**. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S.A., 1990, p.283-316.

CORSI, Franciso Luiz. Política econômica e nacionalismo no Estado Novo. In: SZMRECSÁNYI, Tamás; SUZIGAN, Wilson. **História econômica do Brasil contemporâneo**. São Paulo: Editora Hucitec, 1997.

DANTAS, Vera. **Guerrilha tecnológica**: a verdadeira história da política nacional de informática. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Ed., 1988.

DANTES, Maria Amélia. Um centro de ciência e tecnologia. In: SZMRECSÁNYI, Tamás (org). **História econômica da cidade de São Paulo**. São Paulo: Globo, 2004, p.378-405.

DEAN, Warren. **A industrialização de São Paulo**. São Paulo: Difel, 1971.

_____. A industrialização durante a República Velha. In: FAUSTO, Boris (org). **História Geral da Civilização Brasileira**. O Brasil Republicano, Tomo III, vol.1. São Paulo: Difel, 1975, p.251-283.

DINIZ, C. C. Desenvolvimento poligonal no Brasil: nem desconcentração nem contínua polarização. **Nova Economia**, v.3, n.1, Belo Horizonte, 1993.

ERBER, Fábio. **Absorção e criação de tecnologia na indústria de bens de capital**. Rio de Janeiro: FINEP, 1974.

_____. Política científica e tecnológica no Brasil: uma revisão da literatura. In: SAYAD, João (ed.). **Resenhas de economia brasileira**. São Paulo: Saraiva/ANPEC, 1979, p.117-197.

_____. Desenvolvimento tecnológico e intervenção do Estado: um confronto entre a experiência brasileira e a dos países capitalistas centrais. **Revista de Administração Pública**, v.14, n.4, p.10-72, out./dez. 1980.

FAPESP. **Pesquisa & Desenvolvimento**, 1973.

FERREIRA, José Pelúcio. **Ciência e tecnologia nos países em desenvolvimento**: a experiência do Brasil. Rio de Janeiro: IEI/UFRJ, 1983 (Texto para Discussão n° 20)

FREEMAN, Christopher. The national system of innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, n° 19, 1995.

FURTADO, Celso. **Um projeto para o Brasil**. Rio de Janeiro: Saga, 1968.

_____. **A hegemonia dos Estados Unidos e o subdesenvolvimento da América Latina**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1975.

_____. O subdesenvolvimento revisitado. **Economia e Sociedade**, nº1, agosto de 1992, p.5-19.

_____. **Formação econômica do Brasil**. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

GALISON, Peter. **Image and logic**: a material culture of Microphysics. The University of Chicago Press, 1997.

GARIBOLDI, Leonardo. The reconstruction of Giuseppe Occhialini's scientific bibliography. In: **Atti del XXIII Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia**. Dipartimento de Fisica, Università degli Studi di Bari, 5-7 giugno, 2003.

GITAHY, Maria Lucia Caira. O papel do Gabinete de Resistência dos Materiais da Escola Politécnica na transferência da tecnologia do concreto para São Paulo, 1899-1925: um relato preliminar. **Cadernos IG/UNICAMP**, vol.4, nº2, 1994, p.29-70.

GOUDAROULIS, Yorgos. Can the history of instrumentation tell us anything about scientific practice? In: GAVROGLU, Kostas *et al.* (eds.), **Trends in the historiography of sciences**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1994, p.161-168.

GUIMARÃES, E.; FORD, E. Ciência e tecnologia nos planos nacionais de desenvolvimento: 1956/73. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, 5(2), dezembro de 1975, p.385-432.

HAMBURGER, Amélia Império. Notas biográficas de Oscar Sala. In: HAMBURGER, A. I. (org.) **FAPESP 40 Anos**: abrindo fronteiras. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

HERRERA, Amílcar O. **Ciencia y política en América Latina**. México: Siglo Veintiuno, 1976.

HUGHES, Jeff. "Modernists with a vengeance": changing cultures of theory in nuclear science, 1920-1930. **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, vol. 29, nº 3, p.339-367, 1998a.

_____. Plasticine and valves: industry, instrumentation and the emergence of nuclear physics. In: GAUDILLIÈRE, Jean-Paul & LÖWY, Ilana (eds.) **The invisible industrialist**: manufactures and the production of scientific knowledge. Basingstoke and New York: Macmillan Press and St. Martin's Press, 1998b, p.58-101.

_____. 1932: The Annus Mirabilis of Nuclear Physics? **Physics World**, volume 13, nº 7, july 2000a, p.43-8.

_____. Nuclear Physics. In: HESSENBRUCH, Arne (ed.) **Reader's Guide to the History of Science**. Fritzroy Dearborn Publishers, 2000b, p.517-520.

_____. Radioactivity and Nuclear Physics. In: NYE, Mary Jo. **The Cambridge History of Science**: vol. 5 – The Modern Physical and Mathematical Sciences. Cambridge: Cambridge University Press, 2003, p.350-578.

IANNI, Otávio. **A ditadura do grande capital**. São Paulo: Civilização Brasileira, 1981.

KEVLES, Daniel J. **The Physicists**: the history of a scientific community in modern America. Harvard University Press, 1995.

KLINE, Ronald. Constructing "technology" as "applied science": public rethoric of scientists and engineers in the United States, 1880-1945. **Isis**, vol. 86, nº 2, jun. 1995, p.94-221.

KOSSOY, Boris. **Fotografia & História**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2001.

LEIRNER, A.; SALA, O.; DOUGLAS, R. A. Sistema para pulsação do feixe do acelerador eletrostático da Universidade de São Paulo. In: **Anais da XI Reunião da SBPC**, Salvador, 1959.

LEONE, Matteo; ROBOTTI, Nadia. P M S Blackett, G Occhialini and the invention of the counter-controlled cloud chamber (1931-32). **European Journal of Physics**, 29 (2008), p.177-189.

LESSA, Carlos. **Quinze anos de política econômica**. São Paulo: Brasiliense, 1981.

_____. **Estratégia de desenvolvimento**: sonho e fracasso. Brasília: FUNCEP, 1988.

LIVINGSTON, M. Stanley; BLEWETT, John P. **Particle Accelerators**. McGraw-Hill Book Company, 1962.

LOPES, José Leite. **Ciência e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1964.

MARQUES, Ivan da Costa. Minicomputadores brasileiros nos anos 1970: uma reserva de mercado democrática em meio ao autoritarismo. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v.10, n.2, p.657-681, Agosto 2003.

MARQUES, Paulo. **Sofismas nucleares**: o jogo de trapaças na política nuclear brasileira. São Paulo: HUCITEC, 1992.

MAYR, Otto. The science-technology relationship as a historiographic problem. **Technology and Culture**, vol. 17, nº 4, october 1976, p.663-673.

MEDEIROS, Tharsila Reis de. **A questão regional brasileira na era da economia do conhecimento**. Trabalho de conclusão do curso de graduação em Economia. Juiz de Fora: UFJF, 2003.

_____. **Entraves ao desenvolvimento da tecnologia nuclear no Brasil**: dos primórdios da Era Atômica ao Acordo Nuclear Brasil-Alemanha. Dissertação de Mestrado em Economia. Belo Horizonte: CEDEPLAR/UFMG, 2005.

MEIHY, José Carlos Sebe Bom. **Manual de história oral**. São Paulo: Edições Loyola, 2005.

MIROW, Kurt Rudolf. **Loucura nuclear**: os "enganos" do acordo nuclear Brasil-Alemanha. Rio de Janeiro: Editora Civilização Brasileira, 1979.

MORAES, Abrahão; TOLEDO, Paulo Saraiva. O desenvolvimento da física em São Paulo. In: Jornal O Estado de São Paulo (ed.). **Ciência**: um salto para o futuro - a pesquisa em São Paulo e a busca de padrões internacionais para as atividades científicas. Brasília: Ministério da Ciência e da Tecnologia, Centro de Estudos Estratégicos, 2001.

MOREL, Regina L. M. **Ciência e Estado**: a política científica no Brasil. São Paulo: T. A. Queiroz, 1979.

MOTOYAMA, Shozo; MARQUES, Paulo. Informática no Brasil – apontamentos para o estudo da sua história. In: VARGAS, Milton. **História da técnica e da tecnologia no Brasil**. São Paulo:

Editora da Universidade Estadual Paulista: Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994a, p.375-398.

_____. A história da tecnologia nuclear brasileira: um festival de equívocos. In: VARGAS, Milton. **História da técnica e da tecnologia no Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista: Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 1994b, p.399-412.

MYRDAL, G. **Teoria econômica e regiões subdesenvolvidas**. Rio de Janeiro: Saga, 1972.

NUSSENZVEIG, Moysés. Para que ciência no Brasil? In: **Ciência & tecnologia**: alicerces do desenvolvimento. Brasília, DF: CNPq, 1994.

OLIVEIRA, José Clemente; CARDOSO, Silvando S.. Fundo de Desenvolvimento Técnico-científico FUNTEC. **Revista do BNDE**, v.3, n.4, 1970.

OSIETZKI, Maria. The ideology of early particle accelerators: an association between knowledge and power. In: RENNEBERG, Monica; WALKER, Mark (ed.) **Science, Technology and National Socialism**. Cambridge university Press, 1994, p.255-270.

PEREIRA, D. Alguns comentários sobre o Professor Ross Alan Douglas e a tecnologia do vácuo no Brasil. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, v. 24, 2005.

PERROUX, François. **A Economia do Século XX**. Porto: Herder, 1967.

PRICE, Derek de Solla. The science/technology relationship, the craft of experimental science, and policy for the improvement of high technology innovation. **Reseach Policy** 13, 1984, p.3-20.
QUEIROZ, Francisco Assis. **A revolução (micro)eletrônica**: pioneirismos brasileiros e utopias tecnotrônicas. Tese de Doutorado em História Social. São Paulo: FFLCH/USP, 1999.

RIBEIRO, Joaquim da Costa. Utilização da energia atômica no Brasil. **Ciência e Cultura**, vol.8, n.1, 1956.

ROGERS, John David. A história dos aceleradores no Brasil. In: CBPF. **Anais do Encontro Técnicas e Aplicações da Radiação Síncrotron**. Rio de Janeiro: (CPDOC, FGV), 1983.

ROGERS, E. J.; TURNER, C. M. Injection System. Part I – Van de Graaff Accelerator. **Review of Scientific Instruments** 24: 805, 1953.
ROSENBERG, Nathan. Quão exógena é a ciência? In: ROSENBERG, N. **Por dentro da caixa-preta**: tecnologia e economia. Campinas: Editora da Unicamp, 2006.

SABATO, Jorge; BOTANA, Nalalio. La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de America Latina. **Revista de la Integración**, n.3, noviembre, 1968.

SALA, O.; WATAGHIN, G. Showers of penetrating particles. **Physical Review** 67, p.55, 1945.

_____. Showers of penetrating particles at altitude of 22.000 feet. **Physical Review** 70, p.430, 1946.

SALA, Oscar; HERB, Raymond. Design of electrostatic generator for the University of São Paulo, Brasil. **Physical Review**, v. 74, p.1260, 1948.

SALA, Ocar; PESSOA, E. Farrelly. The USP Pelletron-Superconducting LINAC Project in conjunction with ANL. **Publicações IFUSP**, P-762, dezembro, 1988.

SALA, Oscar. O gerador eletrostático e suas aplicações. **Ciência e Cultura**, vol.1, n.1-2, 1949.

_____. Development and application of the electrostatic accelerator. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research** A 208, 1989, p.263-369.

SCHWARTZMAN, Simon. **Formação da Comunidade Científica no Brasil**. São Paulo: Editora Nacional; Rio de Janeiro: Financiadora de Estudos e Projetos, 1979.

_____. **Ciência, universidade e ideologia**: a política do conhecimento. Rio de Janeiro: Zahar, 1980.

SCHWEBER, S. S. From 'elementary' to 'fundamental' particles. In: KRIGE, John; PESTRE, Dominique (eds.) **Science in the Twentieth Century**. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, 1997, p.599-616.

SEIDEL, Robert. The origins of Lawrence Berkeley Laboratory. In: GALISON, P.; HEVLY, B. **Big Science**: the growth of large-scale research. Stanford University Press, 1992, p.21-45.
SERRA, José. Ciclos e mudanças estruturais na economia brasileira do pós-guerra. In: BELLUZZO, L. G. M.; COUTINHO, R. (Orgs.) **Desenvolvimento capitalista no Brasil**: ensaios sobre a crise. Campinas: FECAMP, 1998, p.56-121.

SESSLER, Andrew M.; SYMON, Keith R. Donald William Kerst. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES; OFFICE OF THE HOME SECRETARY. **Biographical Memoirs V.72**, 1997, p.234-244.

SEVCENKO, Nicolau. O prelúdio republicano, astúcias da ordem e ilusões do progresso. In: NOVAIS, Fernando; SEVCENKO, Nicolau. **História da vida privada no Brasil**. Vol.3. São Paulo: Companhia das Letras, 1998, p.7-49.

SILVA, Álvaro Alberto da Motta *et al*. **A proposta de criação do CNPq**. Parcerias Estratégicas, n.9, outubro, 2000.

SINGER, Paul. Interpretação do Brasil: uma experiência histórica de desenvolvimento. In: FAUSTO, Boris (org). **História geral da civilização brasileira**. O Brasil Republicano, tomo III, vol.4. São Paulo: Difel, 1984, p.211-245.

_____. Desenvolvimento. In: SZMRECSÁNYI, Tamás (org). **História econômica da cidade de São Paulo**. São Paulo: Globo, 2004, p.146-217.

_____. **Aprender economia**. São Paulo: Contexto, 2006.

SOUZA SANTOS, Marcelo Damy. A multivibrator counter circuit. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, nº3, 1940, p.179-189.

STOKES, Donald E. **O Quadrante de Pasteur**: a ciência básica e a inovação tecnológica. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 2005.

SZMRECSÁNYI, Tamás. Os primórdios da engenharia elétrica em São Paulo. **Cadernos IG/UNICAMP**, vol.5, nº1, 1995, p.22-30.

_____. **Origens da liderança científica e tecnológica paulista no século XX**. Campinas: DPCT/IG/UNICAMP, 1996. (Texto para Discussão nº15)

_____. Por uma história econômica da ciência e da tecnologia. **Economia Aplicada**, v. 4, n. 2, 2000.

_____. Esboços de história econômica da ciência e da tecnologia. In: SOARES, Luiz Carlos (org.). **Da Revolução Científica à Big (Business) Science**: cinco ensaios de história da ciência e da tecnologia. São Paulo: Hucitec; Niterói: Eduff, 2001, p.155-200.

TURCHETTI, Simone. The Invisible Businessman: nuclear physics, patenting practices, and trading activities in the 1930s. **Historical Studies in the Physical and Biological Sciences**, vol. 37, nº 1, p.153-172, 2006.

ENTREVISTAS

Entrevista[108] com o prof. Dr. Adolfo Leirner

Tharsila De Medeiros (TM) – Eu gostaria de saber mais sobre o seu trabalho na construção do feixe pulsado do Van de Graaff.

Adolfo Leirner (AL) – Esse meu relato, para que a gente entenda uma coisa dessas, é preciso que se compreenda uma mudança (eu não chamaria de paradigma, porque é um termo um pouco pomposo), mas uma mudança de espírito que a pesquisa científica sofreu desde o tempo do Van de Graaff, dos anos 60 até hoje. As coisas foram mudando aos poucos. Eu não sei te dizer se as coisas mudaram para melhor ou para pior. Quem sabe para melhor. Mas a pesquisa que se fazia naquele tempo (e eu estou dizendo isso pois se encaixa no exemplo do prof. Sala) era essencialmente individual, com muito pouco auxílio de órgãos de fomento. Nem sei os que existiam. A FAPESP foi criada naquele tempo. Eu lembro do prof. Sala entrar brandindo o Estadão no Laboratório e dizendo: "o Carvalho Pinto reservou x% do orçamento do Estado para a pesquisa. Agora a coisa vai andar". Justamente eu assisti o entusiasmo do prof. Sala – que era uma pessoa muito simpática e entusiástica, um ótimo chefe de equipe – ao anunciar com alegria uma mudança de paradigma que iria se dar lá na frente, que as coisas iriam começar a se fazer, muito mais em equipe, com financiamento, sendo este financiamento sujeito a políticas. Não política no mau sentido, mas políticas do Estado, ou federais, ou... Enfim, como você quiser. Eu já tive aqui projetos de muita relevância e muito mérito e que foram negados porque não era a política do governo fazer tal e tal estudo naquele momento. Então, naquele tempo, não se cogitava isso. Quando o prof. Sala quis fazer um acelerador, ele simplesmente fez um acelerador. Ele foi para Madison, Wisconsin, ao encontro do prof. Herb. Daí ele aprendeu, copiou, fez engenharia reversa e construiu um acelerador aqui no Brasil. O que isso significa? Significa que,

[108] Entrevista realizada por Tharsila de Medeiros no Instituto do Coração do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em 7 de fevereiro de 2008.

naquele tempo, você era capaz de estabelecer uma prioridade para um movimento científico numa certa direção. Isso com a própria vontade, dependendo muito pouco da censura de outras pessoas. Provavelmente o que o Sala arrumou? Ele arrumou o terreno na Cidade Universitária, construiu o galpão, arrumou algumas máquinas. Mas era uma coisa muito... É que nem aqui, quando eu fiz o primeiro coração artificial. Ninguém acredita que eu fiz com pouco dinheiro. Porque essas coisas a gente faz e não sai tão caro assim. Se você vai fazer "como se deve", como se faz hoje, terceirizando tudo, de acordo com normas e ISO não sei das quantas e etc., as coisas não andam. Não vai sair. Mas naquele tempo dava para sair. E ele construiu o Van de Graaff, uma máquina relativamente simples, vista hoje em dia, que tinha uma mecânica pesada, grande, mas a sofisticação era só na eletrônica mesmo. Você veja uma coisa, eu nem era funcionário do Sala, nem do Van de Graaff. O prof. Wallaushek, que era o chefe da divisão de eletrônica do ITA, me emprestou. Era assim que as coisas funcionavam: tudo na base da boa vontade. Em nome de que? É uma boa pergunta. Em nome de que alguém empresta um funcionário seu para o outro? Se é em nome de um valor maior que permeava certo tipo de atividades e que hoje está muito corrompido pelo lucro, pelas patentes, pelo dinheiro, pelo segredo. É uma coisa que ficou feia. Naquele tempo eram pessoas que arregaçavam a manga da camisa e faziam as coisas com o maior entusiasmo, com a maior boa vontade. Então eu fui emprestado para lá. Depois de uns dois anos que eu fiquei lá com o Sala, ele me contratou como assistente, porque ele gostou de mim, gostou do meu trabalho, mas não precisei pedir demissão. Eu fui assistente da Física durante meses. Foi em 60 e poucos. Mesmo não sendo funcionário da USP, às vezes eu ia na Maria Antônia. Eu falava bem inglês já naquele tempo e examinava o vestibular. Eu fazia o exame oral de inglês com os alunos e não cobrava nada. Era assim: "Adolfo, você pode examinar os alunos hoje à tarde? Ah tá, posso sim!" O que eu estou querendo mostrar para você é que o espírito reinante era totalmente diferente. E eu fui para lá, tinha um preparo bom em microondas, em dinâmica de partículas em campos elétricos, que tem muito a ver com válvulas de microondas, que se usava naquele tempo na radiotransmissão. Então eu consegui entender bem o problema do prof. Sala. Ele queria que eu fizesse com que o feixe do Van de Graaff se comportasse como um feixe de um osciloscópio, que ele fosse para cima e para baixo no alvo da máquina. Eu fiz os cálculos, tinha uma ótica eletrônica, uma ótica de elétrons. Eu me lembro que fizemos uma cuba eletrolítica para testar essa ótica. Era um tipo de lente que se chamava *Einzel Lens*, que era uma

lente que conseguia focalizar o feixe de elétrons sem alterar a energia dele. Eu me lembro que era uma *Einzel Lens* e depois tinha um par de placas e etc. etc. Aí chegou o momento de você ter que aplicar nessas placas uma diferença de potencial de frequência alta, era rádio-frequência (não me lembro em qual frequência), para que o feixe fosse para cima e para baixo na hora que passasse no meio dessas placas. Como essas partículas vinham em alta velocidade, você não podia botar uma tensão baixa. Elas iam simplesmente ignorar, sair do jeito que entraram. Então colocamos uma tensão alta. Nesse momento, pedimos a uma fábrica de transmissores da Philips, que se chamava Inbelsa (Indústria Brasileira de Eletrônica SA). Eu tenho impressão que o presidente da Inbelsa era um senhor de origem ou russa ou francesa, chamava Leon Rubin, que é pai desse Rubin que é um construtor. Eu me lembro que esse Leon Rubin dava aula no ITA. Veja você, ele era professor, era diretor de uma empresa, industrial e dava aula no ITA. Então ele nem ia cobrar. Ele dava aula de telecomunicações, de teletipos que é um instrumento que não se usa mais. É capaz que tenha sido através do prof. Rubin que a Inbelsa se prontificou a construir o tal do oscilador de alta tensão e alta frequência, que é uma coisa que usaria componentes de transmissores de rádio – válvulas de 30 a 40 centímetros de altura, que ficavam vermelhas quando trabalhavam. Antigamente, se você abria um instrumento eletrônico era tudo vermelho, parecia uma árvore de natal. E... A gente fica com saudade disso! Hoje as coisas eletrônicas são tão quietas, não é. Também queimam sem você saber. Lá você sabia quando queimava, saía fumaça. E eu ficava lá. Pegava o carro (eu morava no Jardim América), ia até a ponte da Vila Maria, atravessava o rio e ia para o Brás. Passava o dia lá. Voltava para casa. Gastava minha gasolina. Tudo com o salário do ITA. Ninguém discutia nada. Com o maior prazer. E qual é a satisfação que você tinha? Em ver a coisa feita. Então foi assim que o oscilador que foi construído para pulsar o feixe do Van de Graaff foi feito numa fábrica de transmissores de uma empresa que não era nem nacional (era nacional, mas no fundo de capital holandês). A Philips sempre foi uma empresa que funcionava em Eindhoven, na Holanda. A Philips tinha várias fábricas – a Ibrape, a Inbelsa. É essa a história que eu posso te contar de como foi feito o oscilador. Como o prof. Sala fazia os experimentos, lá tem um camarada que não sei se está vivo ainda, que é o Rudolph Charles Thom. O Thom é um excelente engenheiro, que fez uma fábrica. Isso é interessante para você: a partir das coisas que ele fazia para o prof. Sala, que eram contadores de partículas, ele montou uma fábrica que fazia coisas muito bonitas, aparelhos muito

bem feitos. Ele ainda é meio atrapalhado? Ele tinha um problema de locomoção e de fala, ele tinha tipo uma paralisia cerebral não muito bem estabelecida. Mas é um brilhante engenheiro. Então o Thom fazia a parte do equipamento lá na ponta da máquina. Tinha fonte de alta tensão que era feita pelo prof. Sala, que era um gerador de alta tensão, que se eu não me engano era para colocar no pente, que energizava a correia. Acho que era um tipo de gerador, que era um multiplicador de tensão, chamado Cockcroft-Walton. O que eu sei é isso. Minha carreira meio que mudou-se. Eu sempre gostei de medicina e conheci uns médicos, o Isaías Raw que é hoje o presidente da Fundação Butantã. E aí dissemos: vamos fazer um cardiógrafo nacional, vamos fazer um desfibrilador nacional. Aí nós começamos a fazer um cardiógrafo nacional. E o prof. Sala, nesse cardiógrafo, basicamente... Para você ver como as coisas eram feitas. O galvanômetro, o registrador, que era uma coisa difícil, era feito na Faculdade de Medicina e era um produto de desenvolvimento tecnológico bem sofisticado. Era feito no IBEC. O IBEC foi uma cria do prof. Isaías Raw, chamado Instituto Brasileiro para o Ensino da Ciência, que depois se transformou em FUNBEC (Fundação Brasileira para o Ensino da Ciência). O IBEC funcionava nos jardins da Faculdade de Medicina e no quarto andar do prédio da faculdade. A oficina era no jardim e o depósito era no quarto andar. Eles faziam *kits* para ensino de ciência. E esses kits precisavam ser feitos numa oficina, instalada aqui mesmo no jardim da faculdade, perto de onde é o Instituto de Medicina Tropical hoje. Então o IBEC fazia o galvanômetro. A eletrônica eu mesmo montava, não tinha grandes complicações. Por exemplo, nós fizemos, em 1959-60, o Dr. Feher e eu fizemos, um trabalho também publicado, um dos primeiros marca-passos de câmara dupla, que era comandado pelo átrio. Hoje em dia isso é rotina, mas foi uma idéia original na época. Aonde era feito o marca-passo? O marca-passo era testado no Instituto de Cardiologia Sabado D`Ângelo, dentro da fábrica de cigarros Sudan. Quem fez o marca-passo era do Departamento de Acústica do ITA, fez a caixinha, outras coisas mais, me arrumaram dinheiro para comprar as peças. Para você ver como as coisas funcionavam. Era um marca-passo inédito, testado num instituto que era de uma fábrica de cigarros e era construído num departamento de acústica no ITA, não tinha nada a ver com marca-passo. Era só questão de chegar e pedir: “olha, Nepomuceno, você faz isso para mim? Faço!” Então o Isaías, no IBEC, fazia o galvanômetro. Eu chegava para o camarada que tinha uma fábrica de móveis de aço no Tatuapé e disse: “dá para você fazer uma caixa para o cardiógrafo? Dá sim”. Pegava o carro e ia à noite para o Tatuapé, que

tinha lá o cara que fazia arquivos, e fiz isso aqui. Essa mesinha foi feita lá, no Tatuapé. A gente não tinha grandes intenções de ficar rico com isso. Tanto é que depois que comprou a gente vendeu. Quanto a participação do Sala no desfibrilador, é no mesmo espírito. Eu estava fazendo o desfibrilador... O desfibrilador naquele tempo não era como hoje com descarga capacitiva, mas era um transformador de alta tensão, em que precisava abrir e fechar a corrente de um transformador por meio segundo. Então era feito com relé. Como a corrente era muito alta, naquele tempo... Hoje você carrega o condensador e ele dá aquela corrente alta. Naquele tempo não era carregar o condensador. Você punha a pá, não era fora do paciente, era no coração do paciente, diretamente no coração. Na hora que você dava o choque, puxava muita corrente. Então se você fosse usar um relé comum, depois de vinte descargas o contato do relé já estava queimado. Então resolvemos colocar esse relé dentro de uma atmosfera de um gás raro, que não dá descargas elétricas. Então o prof. Sala fez na oficina dele, que trabalhava com alta tensão e vácuo, uma peça grande de latão, com isolante de cerâmica. Também não cobrou nenhum tostão. Não tinha esse negócio: "o fulano está fazendo uma fábrica de cardiógrafos para ele e está usando o material da Universidade". A gente tinha um certa confiança mútua. Todo mundo sabia que se eu conseguisse fazer um cardiógrafo brasileiro, seria bom para o Brasil. Nem se eu ficasse rico, seria bom para o Brasil. O Brasil não importa mais cardiógrafos. Tem o cardiógrafo brasileiro, tem tecnologia, engenheiros. Foi assim que a bioengenharia se estabeleceu no Brasil, com meia dúzia de pessoas, que nem eu, o Isaías, que começaram a fazer essas coisas.

TM – Na primeira reunião que tivemos, o senhor enfatizou o papel do ensino do ITA nesse seu pioneirismo em desenvolver tecnologia, tanto na participação no Van de Graaff quanto nos seus outros projetos em medicina...

AL – Isso é uma hipótese minha. Quer dizer, o ITA foi uma escola de primeiríssima linha. Os alunos do ITA tinham aulas com professores trazidos de fora. Em cadeira básica, em Física, tinha o prof. Pompéia que já possuía PhD nos Estados Unidos e o Prof. Cechini que dava química. Mas nessas cadeiras mais de eletrônica, tinha eletromagnetismo que era dado por um chinês, o departamento de eletrônica era um tcheco, semicondutores era francês, estruturas era alemão, que saiu de lá depois da guerra. Mecânica avançada era um tal de Heinrich Peters que veio do MIT,

mas foi chefe de um grande projeto na Alemanha durante a guerra. Então eram craques. Era uma escola que não conheci outra, era muito difícil. Tanto é que, naquele tempo, os alunos podiam sair de lá e fazer uma pós-graduação em Stanford, no MIT. Sofriam como qualquer americano, mas tinham base para isso. Os alunos do ITA, quando estavam no quinto ano, recebiam visita da Bardella, da Fundição Progresso, da Philips, da Siemens. Todo mundo ia lá a fim de pegar o seu iteano para levar para sua fábrica. Criou-se, a partir de 1956, 1957, 1958, que são as primeiras turmas que estavam saindo de lá, eu sou da turma de 1958. O ITA realmente começou numa escola militar no Rio de Janeiro, tinha alguns alunos que depois mudaram para São José do Campos. Nós éramos muito bem preparados. Eu tenho livros do ITA até hoje aqui, de Física, de Química. Se você olhar, é de babar os livros que eu tenho. Já esqueci tudo, mas eu sabia técnica de vácuo, sabia construção de válvula. Tanto é que eu cheguei num Departamento de Física da USP, saindo do curso de eletrônica de uma escola de engenharia, sentava lá e fazia os cálculos de trajetória de partículas para o prof. Sala. Eu me lembro que era uma equação diferencial, aplicava as equações de Maxwell, botava lá e estava resolvido, saía e beleza. Nós fizemos o galvanômetro do cardiógrafo, que era um negócio que nem se pensava em fazer, era dificílimo. Até hoje é difícil fazer um galvanômetro que se preze. E eu não era assim o bom, era um aluno regular, tinha algumas menções honrosas, mas não fui *suma cum lauda*. *Suma cum lauda,* na minha turma, foi o Piva, esse cara que solta foguete na Barreira do Inferno. Ele era militar, já casado, e foi para Stanford depois. Tem o Fernando Mendonça... Quer dizer, o ITA deu uma contribuição muito grande. Depois teve um problema no tempo do golpe de 1964, problemas... Se você quiser, tem um livro do Fernando Morais chamado "Montenegro", que é uma história do Brigadeiro Montenegro – o homem que inventou o ITA. É muito bacana. Não tinha nada lá, nada. Eu estive lá este final de semana, fui numa fazenda, aquela Embraer é uma emoção. Isso é Brigadeiro Montenegro. Então lá tem a história das dificuldades dele com o Brigadeiro Eduardo Gomes, com os milicos mais radicais da direita. Enfim, o ITA parece que sofreu bastante com a revolução, quem sabe caiu em qualidade. Enquanto que as escolas daqui subiram em qualidade, a Politécnica subiu... Eu não sei como é esse jogo de competências hoje. Mas naquele tempo, saía de uma cidade do interior, do ITA, um grupo de "ETs", que sabia fazer aviões, sabia calcular acelerador de partículas, sabia fazer cardiógrafo. E eu repito, eu não era um aluno topo da turma, eu era um aluno bom, regular. Mas era uma escola que de 80 saíam 40. Entram 80 e saem 40.

Ficam 40 no meio do caminho. Uma escola muito puxada, muito boa, que eu acho que teve um papel fundamental no desenvolvimento tecnológico nacional. Basta ver a Embraer, não é. Se você está falando em desenvolvimento tecnológico, não pode esquecer do ITA. E eu acho que aqui, nessa parte de cirurgia cardíaca, (eu já escrevi um artigo sobre isso) é uma dobradinha: é o ITA e o prof. Zerbini. Por incrível que pareça, o ITA foi fundamental no desenvolvimento da cirurgia cardíaca. A primeira fábrica de marca-passos era de dois "iteanos". O ITA teve, no começo da bioengenharia no Brasil, um papel fundamental. São todos "iteanos". Eu escrevi um artigo, nos Estados Unidos, sobre isso. E como os professores eram americanos, e o Zerbini tem nome nos Estados Unidos... Para você ver, o Zerbini aprendeu a fazer cirurgia cardíaca e a construir as máquinas em Minnesota com um médico chamado Dr. Lillehei . Não pagou nada. Zerbini treinou centenas de cirurgiões. Ele pegava um avião, com sessenta caixotes, um DC3, viajou a América do Sul inteirinha. Eu tenho tudo isso em *slide*. Tanto é que existe a associação dos discípulos do prof. Zerbini. Todo mundo que faz cirurgia cardíaca na América do Sul, de alguma forma, aprendeu com o Zerbini. O que ele ganhava com isso? Nada. Era gente muito especial. Diferente. O prof. Zerbini marcava uma entrevista comigo, não marcava na sala dele, marcava aqui. Se ele marcava às 10, às 9:50 ele já estava sentado aí. A irmã do Zerbini trabalhou aqui na Bioengenharia como voluntária.

TM – Os valores mudaram, não é professor?

AL – Muito!

Entrevista[109] com o prof. Dr. Dirceu Pereira

TM - Prof. Dirceu, eu planejei realizar esta entrevista em três partes. Na primeira, eu gostaria que o senhor me dissesse mais sobre sua formação acadêmica. Examinando arquivos da FAPESP, vi que o senhor foi bolsista de iniciação científica desta instituição sob a orientação da profª Nobuko Ueta. Em seu mestrado e doutorado, o senhor foi orientado pelo prof. Oscar Sala. Seu pós-doutorado na Alemanha, na Universidade Técnica de Munique, também me interessou. Na segunda parte, gostaria que o senhor falasse sobre os instrumentos utilizados na elaboração de suas pesquisas, sobre os aceleradores Van de Graaff e Pelletron. A última seria sobre a Sociedade Brasileira de Vácuo.

Dirceu Pereira (DP) – Então vamos começar pela minha formação acadêmica. Na realidade, além dessas informações que você tem, eu fui bolsista, antes de ser bolsista da profª Ueta, do prof. Carlos Benjamim de Lira, da Matemática. Naquela época eu era estudante da Faculdade de Filosofia e fui monitor do curso de Cálculo 1. Ganhei uma espécie de exame seletivo para ser monitor e também cursava Física no período noturno. Então eu comecei a cursar simultaneamente bacharelado na Matemática e eles me deram uma bolsa do CNPq de iniciação científica. Nessa época, o prof. Lira, que eu considero um dos maiores matemáticos brasileiros, falecido em 1979, era especialista em um assunto chamado topologia algébrica que para os físicos soa como uma coisa totalmente absurda e abstrata, e realmente o é. Mas, eu comecei a trabalhar com álgebra e essas coisas todas e tudo isso foi muito importante para minha formação. Tanto assim que toda a minha base de cálculo foi feita lá, na Matemática, não aqui na Física. Eu tive contato e discutia com os pesquisadores da época em um ambiente muito aberto. Eu tinha o tempo muito ocupado, de manhã e à noite, e chegou uma época, perto do terceiro ano, que tive que optar. Acabei optando pela Física, embora o pessoal da Matemática achasse que eu iria voltar para lá. Naquele tempo, comecei a trabalhar com a profª Ueta numa câmara de espalhamento, que tinha sido construída no Brasil e trabalhava em conjunto com o analisador eletrostático; sendo este último instrumento de altíssima precisão, construído pela firma brasileira Bardella**,** conforme

[109] Entrevista realizada por Tharsila de Medeiros no Instituto de Física da USP, em 6 de fevereiro de 2008.

ressaltado pelo prof. Sala em uma de suas entrevistas[110]. Essa câmara era interessante, porque ela trabalhava não com um filme fino, mas era um gás que ia dentro da câmara. E um dos grandes problemas da época era manter a pressão na câmara constante. Então, eu desenvolvi, como projeto de iniciação científica, um instrumento que se baseava em conceitos de tecnologia de vácuo (depois eu iria me especializar nessa parte), que através da eletrônica mantinha automaticamente a pressão do gás constante. Então esse foi meu grande projeto de física experimental e instrumentação como iniciação científica, desenvolvido nos anos de 1969 e 1970. Tudo isto antes do projeto Pelletron. O Van de Graaff funcionava bem, na época era uma máquina de baixa energia. Mas, naquela época, o prof. Sala já tinha me procurado e dito que, assim que eu terminasse minha graduação, meu tema de mestrado seria a calibração do Pelletron, que nem existia. Quer dizer, existia a compra dele, mas ele nem estava instalado. Essa época foi bastante rica: por exemplo, no Van de Graff, conheci o prof. Ross Douglas. Eu comecei também a lidar na época com vários instrumentos de vácuo, tecnologia de vácuo. E aí é importante, como no artigo que escrevi em homenagem ao prof. Ross[111], o centro que era, não só em termos de tecnologia de aceleradores como em tecnologia de vácuo, o Laboratório do Acelerador Van de Graaff. Vou dar um exemplo: naquela época, 1970, existia uma firma que comercializava nitrogênio líquido, que é a White Martins. A White Martins tinha um problema muito sério que era o de vazamentos em sistema de vácuo. Então eles tinham um instrumento chamado detector de vazamento, que era um instrumento importado na época. O grupo do prof. Ross é que dava toda a assistência à White Martins. Era comum eles virem aqui, trazerem instrumentos e a gente consertava e dava assistência técnica. O detector de vazamentos é um instrumento corriqueiro para nós, mas que para eles não era. Também era comum na época, isso mais perto dos anos 70, firmas que lidavam com vácuo (por exemplo, a Pirelli) virem aqui no Van de Graaff solicitarem um técnico emprestado para levar, até de helicóptero, para solucionar problemas urgentes (uma consultoria técnica). Com essa coisa de vácuo, eu, na minha formação, lidei muito. Não existe acelerador sem vácuo. Quando você quer montar um acelerador no Brasil, você tem que estar muito consciente deste tipo de coisa. Eu lembro que decorrente disso é que surgiu uma iniciativa do

[110] SALA, Oscar. **Entrevista concedida a Tjerk Franken, Ricardo Guedes Pinto e Carla Costa para o projeto "História da Ciência no Brasil"**. Rio de Janeiro: (CPDOC, FGV), 1977.

[111] PEREIRA, Dirceu. Alguns comentários sobre o professor Ross Alan Douglas e a tecnologia do vácuo no Brasil. **Revista Brasileira de Aplicações do Vácuo**, v. 2, n. 1, pp.1-2, 2005.

prof. Ross, no início dos anos 70 (o Pelletron nem estava montado): o curso de tecnologia do vácuo. Naquela época, era um curso inédito. Pela primeira vez um curso era fornecido para os estudantes do curso de Física do terceiro ano, mas também para técnicos da indústria. Depois que o prof. Ross foi para Campinas, eu fiquei responsável por esse curso, em 1975. Esse curso formou muita gente para a indústria. Vinha o pessoal da indústria mesmo, indústria em geral, desde Petrobrás, indústrias grandes, toda a indústria de faróis e lâmpadas; todas que utilizavam o vácuo vinham aqui aprender a tecnologia do vácuo. E na época esse curso era gratuito. Só se exigia o interesse da firma e o número de vagas que era ofertado. Eu fiz a contabilidade uma vez e só através da USP nós chegamos a dar curso para 500 indústrias. Hoje se sabe, baseado nas últimas análises, que existem no Brasil mais de 3000 indústrias que trabalham com a tecnologia do vácuo. No Van de Graaff, o que eu pude notar lá, diante do que a gente desenvolvia, era comum usar soldas especiais, coisas desse tipo, que a indústria não tinha acesso, não tinha conhecimento. Quando o prof. Sala trouxe a tecnologia para fazer acelerador, ele trouxe toda a tecnologia de vácuo da época: soldas, materiais especiais e esses tipos de coisas.

TM – O senhor tinha me falado, em nossa primeira reunião, sobre o "Bardella-pai"...

DP – É, o Bardella-pai... Eu não peguei a parte da construção do tanque, que, segundo o prof. Sala, foi construído em 1949. Mas o prof. Sala sempre me pôs muito a par, ele usava isso como motivação. Eu lembro que ele falava bem claro, que quando ele falava em Bardella, ele não se referia ao Bardella-filho, o empresário atual, mas ao Bardella-pai. O tanque, a parte externa dentro da qual fica todo o tubo do acelerador num sistema pressurizado com nitrogênio puro, tinha uns 3 metros de comprimento por uns 2 metros de diâmetro e só existia nos Estados Unidos. A primeira experiência de uma indústria brasileira de construir um tanque daquele tipo foi um desafio para o Bardella-pai. Então muita coisa do acelerador construído pelo prof. Sala foi resolvida aqui. Quer dizer, a grande lição que ficou foi a seguinte: você tinha na época um centro que lidava com alta tecnologia e que passou a ser útil a várias indústrias do país. Quer dizer, isso é diferente de você pegar um cientista daqui, mandá-lo para fora a fim de montar uma infra-estrutura humana, e depois ele vem para cá e vai falar com quem? Isso é completamente diferente. Essa sempre foi a filosofia do prof. Sala. Ele tinha a seguinte ideia (e isso tem a ver

com o meu pós-doc): da pessoa só sair para o exterior quando já tivesse completado o doutorado. E depois do pós-doutorado, ela voltava para o Brasil e tentava estabelecer mais uma linha de pesquisa.

TM – Uma curiosidade que tenho é sobre o porquê de desativar o Van de Graaff.

DP – Note bem, o Van de Graaff ainda continuou por algum tempo. Nós só saímos de lá no ano de 1971. O Pelletron chegou aqui no ano de 1971. Quer dizer, o Pelletron é a sequência natural do Van de Graaff, não a nível nacional, mas a nível internacional. Por quê? Porque, com o Van de Graaff, os projéteis que a gente acelerava eram leves, tipo prótons, deuterons, se comparados com o oxigênio, etc. Então, a partir dos anos 1969,1970 estabeleceu-se no mundo inteiro uma troca de Física. O prof. Sala estava atualizado sobre isso, quer dizer, está trocando a Física, a Física agora está partindo para acelerar núcleos mais pesados. Essa nova Física ficou denominada de Física dos Íons Pesados. Então o Pelletron surge nessa época como a primeira máquina de tecnologia de ponta, com as características que ele tem hoje, voltada para íons pesados, que seria a Física da próxima década, a de 1970. O Pelletron vem pôr a Física Nuclear brasileira em sintonia com a Física mundial. Só que o Pelletron, na época, era tecnologia de ponta. Eu vou dar um exemplo sobre o que quer dizer "de ponta" naquela época. A indústria da computação não tem nada a ver com a indústria da computação de hoje. Um dos problemas que era vital para o desenvolvimento da Física no país era a parte computacional. Não tinha essa parte desenvolvida no Brasil. A Itautec estava começando. O Olavo Setúbal, que era presidente do Itaú, veio aqui no Pelletron para saber como estava o desenvolvimento dos computadores. Então note bem, essa é uma parte ultra delicada, a computação. O prof. Sala tinha formado gente, inclusive engenheiros (que não era coisa bem de físicos, matemáticos) mandados para os Estados Unidos para aprender a computação da época, inclusive o problema de interfaces. Interface é você ter um computador menor que pega os dados que vem da experiência, enche esse computador, ele só acumula tudo, depois ele passa os dados para um computador maior que faz o tratamento de tudo. Para você ter essa ideia, esse computador pequeno, que era da Honeywell, foi comprado e era da mesma série dos computadores que foram usados na Apolo XI. Então era um computador com características militares. Ele era muito forte, grande para aquela época e pequeno para os dias atuais. Mas esse

computador veio para o Brasil e o pessoal que o prof. Sala tinha mandado para o exterior foi quem fez a interface entre esse computador grande e um computador da IBM que já se vendia no Brasil, da serie 360. Nós estávamos ultra atualizados na época. Essa interface funcionou e foi com isso que se tornou possível fazer Física dos Íons Pesados e ter a tecnologia da época. Para você ter uma ideia, o grande problema da época era medir um processo chamado fusão nuclear: você pega dois núcleos e os funde. No ano de 1975, três anos após a instalação do Pelletron (em 1972 ele se torna operacional), nós tínhamos as primeiras medidas de seção de choque de fusão, coisa que fizemos na minha tese de doutorado. E o prof. Sala sempre teve muito orgulho, porque, na época, eram as primeiras medidas de fusão no hemisfério sul. Sempre digo que o prof. Sala se interessou muito pela minha tese de doutorado. Mas tem uma coisa que vou te contar que não está nos arquivos, sobre como é que eu fui parar na Alemanha. Eu fui um dos primeiros a ser contratado. Eu me afastei daqui e fui contratado como físico numa universidade alemã, como um alemão qualquer é contratado, pagando imposto de renda, dando aula em alemão e tudo isso. Não foi uma experiência ruim não. Mas por que é que eu fui parar lá? A gente precisa entender o seguinte: o pessoal que veio do Van de Graaff já tinha toda aquela formação do "vamos tentar resolver os problemas" e coisa assim. E a máquina que o prof. Sala comprou da National Electrostatics Corporation (NEC) veio com muitos problemas, porque também foi a primeira do tipo a ser feita no mundo. Eles mandaram engenheiros e físicos aqui, mas a máquina não funcionou. Então, nessa época, tinha uma filosofia. Dizia-se: "vamos arregaçar as mangas e investir nessa máquina para torná-la operacional", já que ela tinha sido comprada e existia pressão da comunidade científica brasileira para vê-la funcionar. Daí foi feito um grande esforço pelo prof. Sala e equipe. Eu e o prof. Trentino Polga participamos muito. O prof. Trentino Polga nasceu em 1936 e morreu em 1999, devido a uma cirurgia. Mas ele foi um dos principais que acompanhou toda a montagem dessa máquina nos Estados Unidos e que também arregaçou muito as mangas. O prof. Juan Carlos Acquadro, eu, o prof. Sala e o prof. Ross (na parte de vácuo) pegamos esse abacaxi e com isso foi possível torná-la operacional. Em 1975, já tínhamos os primeiros íons pesados acelerados. Uma coisa foi a máquina, que deu um trabalho grande. Outra coisa foi o desenvolvimento de detectores. Uma coisa é a máquina que acelera o feixe, outra coisa é como se detecta os produtos do processo nuclear. Naquela época (eu contei isso num seminário que fiz na Espanha), você não tinha fábricas para vender detectores, porque ainda era

uma coisa incipiente. Então se produzia dentro das próprias universidades. Nessa época, eu e o professor Juan Carlos desenvolvemos um tipo de contador, chamado contador proporcional, que é a gás. Esses contadores começaram a ser feitos em 1974 e estão operacionais até hoje. Sobre esse contador proporcional, tinham coisas técnicas que a gente não possuía, mas o geral a gente podia fazer. Quer dizer, na parte da oficina, nós tínhamos o Mário Capello que era um excelente mecânico. Fizemos o desenho, mas como esses contadores trabalham em gás no vácuo, o problema era que nós tínhamos neles uma pequena janela, um pequeno plástico para separar o gás do vácuo. E a gente não tinha esse material. Para você ter ideia, eu consegui essa janela com a Bayer. Nós tínhamos contato com a Philips, que também usava esse tipo de material. Mas muita coisa da parte de tubos para a alimentação de gás nós não tínhamos aqui, mas descobri firmas na capital de São Paulo que faziam, mas não nas características desejadas. Estava começando a surgir os tubos de plástico, mas eram permeáveis. Então apareceu outro tipo... Então a gente teve que movimentar uma série de indústrias para pôr em ordem e conseguir fazer. Quer dizer, naquela época era assim, ou você fazia ou você fazia, porque você não tinha onde comprar. É a mesma coisa da interface do computador, foi feita por pessoas aqui. Então se movimentou muita gente, se desenvolveu muita coisa. Tínhamos que fazer a manutenção nas bombas de vácuo também e isso aprendemos com o prof. Ross. As bombas eram do tipo Orbitron, pois o Pelletron só trabalhava com bombas modernas, diferente do Van de Graaff. Tudo isso foi um fuzuê! (risos!) Ficou tudo muito agitado, mas a gente vibrava com cada resultado. Essa é uma história muito curiosa para ver como funcionam as coisas. Em 1977, eu estava terminando a tese de doutorado e veio aqui, a convite do prof. Sala, um físico chamado Hans Korner (professor da Universidade Técnica de Munique). Ele veio aqui, mas já tinha estado no Rio Grande do Sul, pois gostava muito do Brasil. Então ele veio aqui para fazer uma experiência conosco. Depois ele ajudou muito, ao trazer equipamentos de lá. Nesta ocasião, eu estava desenvolvendo e construindo esses contadores em série, pois já tinha desenvolvido a tecnologia nessa época. Inclusive eu fazia o eletro polimento dos contadores, aqui no nosso laboratório de alvos, o que não era muito conhecido da indústria. E, por incrível que pareça, o pessoal da Universidade Técnica Munique, que contava com dois Prêmios Nobel, também estava apanhando muito com os contadores e coisas desse tipo. Daí ele me falou uma coisa que eu caí de costas, porque ele falou assim para mim (dentro do orgulho dele): “você está mais adiantado que nós, porque você começou

primeiro, só isso". Mas ele tinha razão! Daí ele disse o seguinte: "vou te convidar para fazer um pós-doc e vou conseguir uma bolsa da Fundação DAAD. A Fundação DAAD é uma fundação alemã, como a FAPESP, que fornece boas bolsas. Eu falei tudo bem, estava tudo certo. Aí eu terminei minha tese e ele escreve para mim e para o prof. Sala dizendo: "nós pensamos aqui, em vez de dar uma bolsa, nós temos uma posição de 7 anos renovável por mais 7 e mais 7 ... Mas seria possível ocupá-la por uns 2 anos ou mais". Daí eu pensei: "vou ou não vou?". O prof. Sala disse: "com bolsa ou contrato, você vai ser responsável do mesmo jeito, eu sei, eu conheço você". Então eu aceitei. Eles me mandaram toda a papelada, eu assinei, consegui visto de trabalho lá. Quando eu chego lá, eu entendi a frase dele sobre o porque d'eu estar mais adiantado na época, por ter saído na frente. Na realidade, depois que eles se equilibraram, quando eu voltei lá um ano, um ano e meio depois, eles estavam muito mais na frente. Sabe por que? Porque empresas como a Siemens e a Telefunken tinham entrado e posto técnicos lá para desenvolver também contadores de partículas, a título de aprendizado para eles. Então tudo que eu estava fazendo aqui eles já estavam fazendo lá com computadores. Quer dizer, eu não posso lutar contra isso! (risos!) Você entende? Então eu passei dois anos lá. Eu aprendi muita coisa lá, certamente tive que dar aulas. Tudo isso foi uma experiência. Depois voltei ao Brasil com muito mais ideias e continuei implantando coisas aqui.

TM – Eu achei muito interessante essa parte dos contadores, dos detectores. Na história dos aceleradores tem sempre um capítulo destinado aos detectores.

DP – É... Essa parte contraria a ideia de que fazer Física é só trazer um acelerador. É preciso manter uma estrutura. Tem outro detalhe muito importante, que é o seguinte: nós não tínhamos uma equipe técnica formada. Onde iam ser formados esses técnicos? Não seria no SENAC ou no SENAI, porque ninguém conhecia tecnologia tão moderna. Então os técnicos aprenderam conosco e depois se tornaram os responsáveis pela máquina. O técnico de vácuo aprendeu conosco e hoje eu já não faço mais o serviço de vácuo que eu fazia anteriormente. Eu diria o seguinte: você juntando tudo isso, certamente os detectores tomam muito tempo. Depois nós partimos para um outro tipo de detector chamado "detector não a gás". Essa câmara eu acho que tem aqui até hoje, chamada detector de tempo de voo. Você mede a distância, tempo, uma

distância fixa e calcula a velocidade. E com a velocidade você calcula a energia. Mas isso foi uma tese de mestrado de um estudante do professor Juan Carlos Acquadro, que trabalhava comigo no grupo (ele trabalhava muito no Pelletron). O estudante era Nilson Dias (hoje superintendente do IPEN). Ele foi do IPEN, depois fez doutorado na Bell. Ele começou aqui e depois foi para a parte de *lasers*, mas ele teve toda a sua formação aqui. *Lazer* tem muita aplicação. Mas tem muita coisa... Eu diria o seguinte: detectores e computação foram problemas, além de todos do acelerador, que exigiram muito esforço.

TM – Eles não foram incluídos no pacote?

DP – Não. Na Espanha, eu estive lá em 2006 para fazer uma experiência. Então eu tive muito contato com os técnicos. Eles sabiam que eu tinha trabalhado com acelerador. Agora as empresas fazem o seguinte: elas vendem o acelerador com o treinamento dos técnicos. É um pacote que envolve o treinamento dos técnicos do acelerador. Exatamente no período de máquina que eu estava tendo lá, quebrou um componente chamado filamento da fonte de íons, é o que gera o feixe. Isso também foi desenvolvido aqui no Laboratório. Lá era tudo feito por essa firma. Só que os técnicos, quando aparece um problema um pouco diferente, eles se perdem, porque é difícil você aprender de tudo num curso. Mas o que foi interessante é que esse problema nós conhecíamos trinta anos atrás. Eles estão pensando, inclusive, em mandar um técnico deles para cá, para aprender com os nossos técnicos. Mas a Espanha é um país que está no Mercado Comum Europeu, tem o Euro, e eles estão começando agora, só que pegando um outro estágio do desenvolvimento mundial. Quer dizer, os aceleradores são vendidos agora em pacotes, mas eles querem enviar um técnico para cá.

TM – O senhor tinha me falado que vocês enfrentaram muitos problemas na instalação do Pelletron. Além dos detectores e da computação, quais foram os outros problemas?

DP – Um dos problemas fundamentais, isso mais na máquina em si... A máquina na época tinha um problema grave, porque era um tipo de acelerador chamado Van de Graaff – o Tandem é a mesma estrutura, como se tivesse dois aceleradores em série, para aumentar a energia. Mas ele

tem uma carapaça grande no meio da máquina que chama terminal. É onde tem a grande diferença de potencial. A gente trabalha com oito milhões de volts. A carga que vai sendo transplantada para essa carapaça tem que passar por uma espécie de corrente, que nem uma corrente de bicicleta, que se chama *pellets*. E ninguém sabia responder por que essa corrente quebrava. O grande problema foi fazê-la parar de quebrar. Então foi feito aqui pelo grupo local o seguinte: nós tiramos as guias para deixá-la mais livre e foi feito um contrapeso para balanceá-las automaticamente. Tudo feito com recurso nacional. Com isso as correntes pararam de quebrar. E essa foi a solução adotada pela firma americana (NEC) para as correntes atuais.

TM – E a questão das patentes?

DP – Aí surgem outros problemas. Nós fizemos uma modificação. Isso pode ser uma das coisas que talvez tenha sido feita errada aqui, diferente do que fez o Síncrotron. O Síncrotron patenteou tudo. Dos que lidam com vácuo no Síncrotron, alguns foram meus alunos aqui no curso de vácuo. Sou muito amigo deles, trabalhamos juntos, e do pessoal também do INPE. Depois eu quero falar uma coisa curiosa do INPE, sobre uma aplicação. Surgiu alguma discussão sobre patentes na época, porque a gente deveria ter patenteado a solução. É que há trinta e poucos anos atrás não eram tão claras assim as coisas. Mas quando o Síncrotron entra, ele já vem com essa nova mentalidade totalmente correta. Porque depois surgiu um problema. Nós sabíamos do Van de Graaff como limpar o tubo acelerador (que é uma coisa central na máquina). Nós sabíamos no Van de Graaff que ele é formado de anéis de metal separados por anéis de cerâmica. Nós sabíamos que gás era bom para limpar o metal e que gás era bom para limpar a cerâmica. E isso nós usávamos no acelerador eletrostático. Uma vez nós usamos isso no Pelletron e a NEC veio dizer que eles tinham patenteado isso. Aí surgiu uma discussão, pois nós não poderíamos mais usar. Nós batemos o pé firme e dizemos: “não, isso aqui nós já usávamos antes”. Então parou a discussão. Essas coisas que não são feitas podem dar origem a isso. Eles também não queriam mexer com a gente nesse sentido. Mas surgiram outras querelas entre nós e a NEC, inclusive a respeito do tubo que eles mandaram para cá. Eles mandaram um tubo no qual nós trabalhamos muito, principalmente eu e o professor Juan Carlos, pois se descobriu que esse tubo era cheio de vazamentos. Então nós descobrimos que eles tinham colado o tubo. O professor Sala escreveu

uma carta duríssima para o presidente NEC, que era amigo dele, o Ray Herb, dizendo sobre o descuido que eles tiveram com o acelerador. O Herb não responde essa carta e manda outro tubo para cá. Só que esse tubo tinha vindo de Munique e estava com o mesmo problema lá. Mas eu junto com o prof. Sala e o Juan Carlos pusemos este tubo para funcionar aqui. Então quando eu cheguei em Munique, o pessoal de lá me olhou com desconfiança e se perguntou: "como esse cara pôs o tubo para funcionar e nós não conseguimos?". Eu falei, "não..." (risos!). Tudo isso, na época, era coisa que virou motivo de atritos internacionais. Querelas internacionais, pois construção de aceleradores era uma indústria que estava começando. Hoje se vende aceleradores para a indústria aos montes. Eu tinha te falado mais um assunto ligado ao INPE. Isso foi no Van de Graaff. Nós estávamos trabalhando no Van de Graaff e quando você aprende Física Nuclear você aprende uma série de coisas: calibrar detectores, usar detectores, detectores que detectam radiações, por exemplo, que podem ir lá encima na atmosfera. E o INPE, de maneira pioneira, tinha inaugurado uma linha de pesquisa que era os balões atmosféricos. Daí que eu aprendi a tecnologia, como é que eles faziam. Esse pessoal está todo aposentado no INPE. Eles pegavam os balões e colocavam dentro deles os detectores que a gente calibrava com reações aqui na terra com Van de Graaff. Eles punham dentro uma bateria enorme ligada aos detectores, o balão subia e ficava medindo lá encima o campo magnético, a radiação disso, a radiação daquilo. Depois de um tempo o balão caía e o grande desafio deles era achá-lo. Então eles contam histórias incríveis de balões caindo em fazendas, porque não era comum ver aquele tipo de coisa enorme. Mas isso é uma coisa muito importante. Hoje você tem o satélite, mas naquela época, eu estou falando de 1968, 1969, era uma tecnologia pioneira a que o INPE desenvolvia. Só que eles não tinham como calibrar os detectores. Então vinham aqui e nós fazíamos isso com o máximo prazer.

TM – Eu já li em entrevistas sobre essas quedas de balões e sobre a Expedição Compton.

DP – Esse pessoal do INPE já é mais tarde. O Wataghin é uma coisa heroica. O professor Sala ficou com problema nas costas de carregar chumbo. Isso aí é da década de 1940. O INPE já é do final da década de 1960, é mais novo. Mas é engraçado, coisa que a gente faz aqui, aprende aqui, tem uma série de aplicações. Mas essa foi uma colaboração existente. Eu tinha muito contato com o INPE, pois eles são também da Sociedade Brasileira de Vácuo. Eu conheço muita gente lá e

tentei achar esse pessoal que mexia com balão na época, mas estão todos aposentados.

TM – Eu encontrei na secretaria umas 50 cartas escritas e trocadas entre a NEC e o professor Sala. Talvez dentre elas esteja aquela que o prof. Sala se referiu ao defeito do tubo acelerador.

DP – Essa carta eu tenho dúvidas, porque essa foi uma carta pessoal. Pode ser que tenha. Eu tinha uma cópia dela. Mas esse é um ponto-chave, pois foi uma negociação dura. O único cacife que a gente tinha era o conhecimento de tudo o que tínhamos feito no acelerador. Depois eu descobri porque eles me contrataram na Alemanha, pois eu andei mexendo com aceleradores. Eles tinham tomado conhecimento que a gente tinha posto o acelerador para funcionar com o tubo que eles tiveram problema. Quando eu cheguei lá, o pessoal técnico começou a me olhar torto e eu descontraí a coisa e disse: "não, vamos trabalhar juntos". Eu contei isso numa homenagem ao professor Sala, que foi uma querela internacional, porque naquela época estavam procurando aceleradores deste tipo. Hoje se vive com a construção de aceleradores. O maior comércio da NEC é com a indústria. Veja você quantas aplicações com feixes, na medicina, em superfícies, em física do estado sólido. Tudo isso é feito com aceleradores. Isso foi bom, porque com a tecnologia adquirida, estes aceleradores de pequeno porte certamente são construídos para coisas aplicadas, para estudar a atmosfera, coisa desse tipo, para implantação, microeletrônica, tudo isso. Quer dizer, note onde é que nós fomos parar. De uma Física incipiente nos anos 40, 50 muito pouco sendo feita aqui, você chega no ano 2000, 2000 e pouco atualizado com várias coisas. Alguém tem que fazer. Uma vez me perguntaram se eu me arrependo de ter feito tudo isso, muito trabalho para a cabeça e coisa desse tipo. Eu peso essas coisas hoje e digo o seguinte: "eu faria de novo". Agora tem também uma coisa que deve ser dita, que depois eu tive estudantes, trabalhei não só na parte de instrumentação, mas trabalhei muito na parte de desenvolvimento de Física. Quer dizer, até hoje estou trabalhando. Nós desenvolvemos modelos teóricos baseados nos dados experimentais. Você quando trabalha em física básica, você não sabe exatamente onde é que vai aplicar aquilo. Estamos vendo agora, com tudo o que desenvolvemos no grupo de pesquisa, com tudo isso que aprendemos, é que temos hoje, como um subproduto, condições bastante avançadas de calcular coisas que interessam, por exemplo, ao IPEN. E mais ainda, condições de desenvolver aplicabilidade para projetos de novos aceleradores que eliminam

o lixo atômico, um problema ainda em aberto na indústria nuclear. Tudo isso devido à pesquisa, na minha parte, nesses quarenta anos. Veja você o que quero dizer: a pesquisa é importante, a pesquisa tem aspectos socioeconômicos. Nós estamos lutando para fazer um submarino nuclear. Por que? Porque a gente não conhece e quem conhece nunca fornece. Quando entra na parte de patentes, a gente tem que desenvolver essa parte.

TM – Por falar em energia nuclear, o Laboratório Pelletron teve alguma ligação com o Programa Nuclear Brasileiro?

DP – O Programa Nuclear Brasileiro, feito na época da Ditadura (quando eu estava na Alemanha), foi um negócio meio secreto. Eu fiquei sabendo mais do Programa Nuclear Brasileiro com técnicos lá na Alemanha, que também não sabiam direito porque tinham sido mandados para cá. Eu fiquei pensando: eles compraram um pacote, tanto assim que nunca funcionou direito, porque quiseram sair na frente. Quem tem um programa independente é a Marinha, que fez o Programa Paralelo. Com esse pessoal eu tenho contato. Eles têm tecnologia interessante na área, para projeto de aceleradores. Certamente é muito difícil fazer o projeto total. Acho que é muito importante a interação entre universidade e instituto de pesquisa.

TM – Lendo sobre a história dos aceleradores no mundo, descobri que a Argentina comprou um acelerador tandem para integrá-lo ao seu programa nuclear, no Laboratório Tandar.

DP – Visto a nossa experiência aqui, eles compraram um acelerador maior que o nosso totalmente pronto. Qual foi a condição? Eles mandaram os físicos para fora, para aprender a Física que se estava fazendo. Eles têm problemas enormes, porque, segundo eles, não tiveram um Sala. Não tiveram nenhum cara *manager* que falasse: “eu assumo o desenvolvimento desse projeto”. Consequentemente, tudo é lidado por técnicos. Então o acelerador funciona mal. Aliás, quem mede mais na parte básica lá são pesquisadores brasileiros. Quando não tem energia aqui eles vão lá. Eu conheço muito. Agora é que eles estão chegando à conclusão de que não basta ter um acelerador, precisa ter um problema. Quer dizer, quando você faz uma tese, você está motivado por um problema que precisa ser resolvido. Eles tiveram algumas tentativas de fazer detectores e

coisas desse tipo, feitas por pessoas que já eram antigas inclusive e tiveram muitos problemas. Estavam acostumadas com a tecnologia pronta e coisas desse tipo. Ficaram muitas pessoas trabalhando fora do país. Quando eles as trouxeram já na década de 80, disseram assim: "nós não vamos passar por nenhum estágio, já vamos entrar na fronteira". Eles não só entraram como hoje têm problemas econômicos, o acelerador funciona com a mesma energia desses daqui, mas que era para funcionar melhor. É claro, se você começa a fazer toda a tecnologia e importar tudo, fica caro. Por exemplo, eles estão substituindo nesse acelerador o que se chamam de correntes de corona, uma tecnologia antiga, por resistores especiais. Eles compraram todos esses resistores. Nós também temos que fazer isso aqui, mas estamos desenvolvendo esses resistores com o auxílio do IPEN. Na época do presidente Videla, o ministro da ciência e tecnologia era Castro Madero, um físico. Ele se dava muito bem na comunidade nuclear. Então ele toma a iniciativa de comprar um acelerador. Isso é parte da história, mas... As histórias do Brasil e da Argentina são completamente diferentes. A Argentina sempre foi muito mais rica que o Brasil. A Argentina em 1935 tinha metrô e o peso mais valorizado que o dólar. Quer dizer, eu acho que se eles tivessem aproveitado tudo isso no desenvolvimento tecnológico... Por exemplo, hoje você tem entre as 200 melhores universidades do mundo a USP e a Unicamp e uma universidade do México (Universidade Nacional Autônoma do México), que está lá no pico. Essas são as três únicas universidades latino-americanas dentro desse *ranking*. Com relação ao Tandem, os argentinos compraram a máquina já desenvolvida. A primeira é daqui. Eles compraram a máquina, e a máquina mais moderna. A NEC tem a seguinte história: a primeira máquina da NEC é a nossa. Depois outras máquinas foram vendidas para o Japão, Israel, Austrália. A Alemanha também comprou. Eu estive na máquina de Hamburgo... Esses países, todos pegaram a máquina com os problemas já sanados. Agora tem um detalhe importante: a máquina da NEC, os componentes vitais, foram todos desenvolvidos na Universidade de Wisconsin pelo professor Ray Herb. Quer dizer, nada surge sem a universidade. O tubo acelerador que mudava todo o conceito de acelerador da época é uma tese de mestrado da Universidade de Wisconsin de um físico chamado Jimmy Ratz (que esteve aqui na montagem do Pelletron). Hoje praticamente a NEC terceirizou tudo. Tudo que era patente ela terceirizou. Ela praticamente trabalha em projetos de novos aceleradores, mas já tem tudo patenteado e terceirizado.

TM – Voltando aos problemas, as bombas que o senhor relatou em seu artigo sobre o professor Ross Alan Douglas...

DP – Note bem, a história da tecnologia do vácuo no Brasil e no mundo é muito antiga, do século passado. Fazia-se vácuo de maneira bastante primária. Quando foi instalado o Van de Graaff aqui, as bombas de vácuo para ligar o sistema do tubo acelerador nas câmaras, elas eram chamadas bombas difusoras, que hoje não são usadas mais, só em alguns casos específicos. No desenvolvimento dessas bombas tem vários aspectos. As primeiras bombas na época do Van de Graaff funcionavam com mercúrio, que era perigoso, tóxico. Depois o capítulo seguinte tinha a ver com a indústria química, que desenvolveu óleos para substituir o mercúrio. Como óleos de cozinha, de carros, mas com características totalmente diferentes, muito mais fortes, à prova de choques (porque as bombas funcionam com choques entre moléculas de óleo e de ar, não de mercúrio). Essas bombas constituíram um avanço muito grande na tecnologia da época e a gente dominava essa tecnologia com esses óleos sem problema nenhum. Sabíamos como limpar, montar, construir, fazer um monte de coisas. Mas essas bombas não produziam o vácuo suficiente para aceleradores do tipo do Pelletron. Então, note bem, nessa época, três ou quatro anos antes da instalação do Pelletron, o professor Ross já tinha desenvolvido bombas do tipo Orbitron, em caráter experimental, de tal maneira que, quando chega o Pelletron, a gente já tinha aprendido toda essa tecnologia das bombas, que era essencial. Inclusive, nessa época, já se vendia essas bombas, mas o problema era que elas precisam ser montadas, precisam receber manutenção. Não tem como você trabalhar com elas sem conhecê-las. O professor Ross já tinha montado bombas desse tipo... O mais importante de tudo era dominar a tecnologia. O preço dessas bombas na época já tinha caído, então o problema não era esse. E essas bombas que tinham aqui faziam parte do pacote, são bombas desenvolvidas na Universidade de Wisconsin, que era tecnologia parecida com a que o professor Ross fazia aqui também. Sem essa tecnologia nós não conseguiríamos sair do lugar. Dominar a arte de como ligar, como limpar, como aproveitar melhor, como conduzir. Senão você não anda. É o mesmo que comprar o carro sem saber dirigir. O grande problema é que a manutenção era feita pelos pesquisadores, porque não tinha técnico para fazer isso. Então eles tinham que tirar um tempo da pesquisa para fazer isso e passar aos técnicos.

TM – O senhor tinha falado que o professor Sala foi o maior *manager* da ciência brasileira.

DP – Que eu tenha conhecimento, sim. Essa não é só a minha opinião, mas a de várias pessoas. Eu acho que ser *manager* em ciência no país é uma coisa complicada... não tem curso para isso. Segundo, eu acho que ele tinha ideias muito claras. O professor Sala foi um dos fundadores da FAPESP, foi diretor científico da FAPESP, foi presidente da FAPESP. Eu sei que a FAPESP é a pioneira das fundações estaduais de amparo à pesquisa no Brasil. Ele sabia que precisava de uma coisa que funcionasse muito mais dinamicamente que o CNPq. E ele consegue várias coisas, como pôr isso na constituição. Ele sabia do suporte necessário para desenvolver a ciência no Brasil. Terceiro: apesar dos problemas, como você convence jovens pesquisadores a lutar por sua atividade profissional? Essa é outra característica do *manager*. Hoje se você soma todos os programas de aceleradores no País (tire o Síncrotron porque ele é muito mais novo)... Juntando todas essas características, eu chego à seguinte conclusão: é muito complicado você ter *manager*, principalmente em pesquisa. Somando todos os programas, com todo o pioneirismo, com tudo que foi feito e com tudo que está aqui, não vejo alguém que alcançou o estágio onde ele chegou. Eu vivi isso. Eu sei que não é fácil você convencer as pessoas a acreditar numa coisa que está mais perto do inviável.

TM – Ele tinha uma circulação muito boa na esfera política.

DP – Na esfera política ele conseguia conversar. Ele era tratado com *status* de ministro. Ele não era ministro, mas tinha um *status* que o colocava acima. Não só aqui, mas lá fora também, nos Estados Unidos, na Rússia. Na época da Rússia fechada, ele tinha sido convidado pela Academia Russa. Ele sempre procurava a indústria. Esse novo acelerador que está para vir aí, que é um LINAC da terceira geração, envolve a indústria do nióbio. Esse novo acelerador envolve a tecnologia do nióbio. O Brasil é o maior produtor de nióbio, mas não conhece tão bem a tecnologia. Então esse acelerador serviria para trazer essa tecnologia dos supercondutores para cá.

TM – O desenvolvimento desse acelerador está em qual estágio?

DP – Está ali para finalizar, mas é muito difícil. Ele está sendo desenvolvido em parceria com um laboratório norte-americano chamado Argonne. Esse problema tem a ver com o seguinte. Vou falar uma coisa aqui que é muito importante. Estive na Índia, em vários lugares do mundo. Em ciência, existe a seguinte política que é básica, mas que o Brasil não reconhece. Em ciência, se você investe x dinheiro num ano, você tem que, pelo menos, investir x dinheiro no outro ano. Se você investe dinheiro x num ano e no outro não investe nada, é dinheiro jogado fora. Então, o Brasil funciona assim: entra um governo que fala que vai pôr 200 mil reais por ano. Na Índia eles põem os x dinheiro deles todo ano. Se eles quiserem um projeto à parte, pedem mais dinheiro. Quer dizer, tem que ter um dinheiro de base para manter aquilo. E o que acontece aqui? Vocês têm x dinheiro por ano, por exemplo, 200 mil. No ano seguinte não tem dinheiro, então só vai ter 10 mil. Aí cai o rendimento, é claro. No outro ano, conseguiu um acordo, mas só vai dar 40 mil, porque tal programa não tem dinheiro, porque o dólar subiu perante o real. É assim que funciona o financiamento da ciência no Brasil. Isso é um absurdo. Só com heroísmo e um grau de insanidade razoável. É muita instabilidade. O que nós fizemos, que foi feito aqui no país, em termos de Física Nuclear em São Paulo, foi muita coisa, mas poderíamos ter feito muito mais. Até hoje nós estamos atualizados em Física Nuclear a nível internacional.

TM – O que eu pude perceber é que vocês fizeram escola em outros Estados.

DP – Na Paraíba, de Santa Catarina teve um pessoal formado aqui. A Física Nuclear como um todo aqui de São Paulo foi um polo muito importante, tanto sob o ponto da física teórica quanto da experimental, não há nenhuma dúvida.

TM – Uma questão importante que vejo na literatura internacional e que me instiga é a seguinte: qual é a interação entre os teóricos e os experimentais no trabalho feito em um acelerador?

DP – Em um primeiro momento, nenhuma. Os teóricos faziam os modelos deles e os experimentais mediam. Hoje mudou esse perfil. Por exemplo, eu como físico experimental nunca

foi puro, porque eu tinha uma base matemática muito grande. Mas eu consegui formar alunos que são híbridos, como eu talvez (teórico, porém muito mais experimental). Tanto assim que a grande contribuição a nível internacional do meu grupo é uma interação nuclear chamada "Potencial de São Paulo". Nós pusemos o nome de São Paulo em homenagem a esta cidade. Mas demorou dez anos para concluir. Eu fiquei medindo, juntei com teóricos do Instituto de Física Teórica da Unesp. É muito importante a colaboração entre teóricos e experimentais. Essa é uma experiência única entre teóricos e experimentais num problema que ninguém sabia onde ia dar. Começou em 1994 e os primeiros artigos saíram em 1997. Mas sem compromisso. Se não der certo não deu, mas a gente tentou. Mas ele deu certo e hoje é conhecido internacionalmente. Esse trabalho é da Física Nuclear, com medidas feitas aqui, juntando com medidas feitas fora, e juntando com o apoio teórico daqui. Modelo brasileiro que deu certo e que possui muitas aplicações. A gente usa este exemplo para dizer que é possível fazer, deve ser feito, mas não pode ser feito de uma hora para outra, pensando que só tenho dois meses e quero ter a certeza que dará certo. Isso é ser experimental, é ter outro *feeling* do que está acontecendo. Os teóricos sabem mais a ferramenta. Então isso é uma coisa que três teóricos e dois experimentais estudaram. Esta descoberta foi feita aqui, que hoje está gerando uma série de outros projetos aqui para medir algumas coisas, para aplicar, inclusive neste projeto surge uma aplicação que falei para reatores, que ninguém imaginava. Hoje já se cogita aplicar isso... Vou até repetir uma frase desse projeto (isso aqui é ainda uma coisa crua que está sendo feito): "antecipam-se diversas possibilidades de aplicações do resultados desta investigação; desde previsões confiáveis para experimentos para conhecimento da estrutura de núcleos ricos em nêutrons em física básica, colisões profundamente lineares, ou de núcleos exóticos em geral, produzidos com feixes radioativos, até aplicações tecnológicas, como física de reatores e projeto de usinas controladas por aceleradores e aplicações em medicina". Veja você, isso é uma coisa atual, ninguém ainda fez. Então com esse tipo de informação que você vai adquirindo você começa a dominar certas fases. Isso é uma coisa de 2008, uma coisa que começou em 1940, 1945 aqui no Brasil.

TM – Gostaria de saber mais sobre a Sociedade Brasileira de Vácuo.

DP – Durante muito tempo, eu fui o único membro participante da Sociedade Brasileira de Vácuo da USP. O que é essa Sociedade Brasileira e o que existia antes? A Sociedade Brasileira de Vácuo foi fundada em 1978 e, na época, não sabiam como começar. Ela começou com um curso de vácuo para a indústria, para todo mundo – para gente do INPE, das indústrias que lidam com vácuo. Tinham umas 80 pessoas nessa primeira reunião. Eu tenho a ata desta reunião. E essa sociedade foi fundada no Rio de Janeiro, no Instituto Militar de Engenharia, por um indiano. Ele chegou aqui e não tinha Sociedade Brasileira de Vácuo. Na época, esse indiano entrou em contato com o Cleber, que era um professor da Escola Politécnica que mexia com eletrônica (ou alguma coisa assim), e falou: "bom, a Sociedade foi fundada, mas o que ela vai oferecer"? Sempre a ideia por trás das Sociedades de Vácuo... Todos os países desenvolvidos têm sociedades de vácuo. Depois eu volto nesse ponto. Nesse primeiro congresso, que teve em 1978 na Poli, foi oferecido um curso e esse curso foi dado por mim (o prof. Ross já estava em Campinas), pelo professor Hélcio Onusic (que dava a parte de exercícios e que também foi aluno do prof. Ross), esse indiano, o prof. Dhere, ajudou um pouco na parte teórica. Mas a base do curso foi o curso que nós tínhamos aqui na USP ministrado nos anos 1970 pelo prof. Ross. Então este curso, como já existia, atraía muita gente. Na época, eu nem era sócio da Sociedade. Mas a Sociedade ficou no Rio... Nada contra o Rio, mas ela ficou parada, nada acontecia. Eles tinham feito um estatuto, segundo o qual a Sociedade nunca poderia sair do Rio. Então ficou estagnada, porque não tinha curso... Eles fizeram uma vez, se não me engano, na PUC Rio, mas não foi para frente. Eu tinha percebido que esses cursos para a indústria não eram para ficar na universidade. Tinham que abranger o país. Apesar de que nós dávamos curso no final de semana e ia gente de Brasília, de Minas, do interior, pegava avião... Então o prof. Ross, que já estava na Unicamp, me procurou nos anos 1980 e falou assim: "nós temos um problema, que a Sociedade está parada. A gente tem que investir na Sociedade para torná-la mais abrangente". No Rio ela tinha telefone, um lugar que eles alugavam. Só que eles estavam querendo trazer a Sociedade para São Paulo. Estava sendo proposto o eixo UNICAMP-INPE-USP. Só que a USP tinha aquele curso e nem queria se envolver com isso. Quem cuidava do curso era eu, o prof. Ross, o prof. Sala. A gente fazia os contatos. Eu me lembro que na época a gente anunciava o curso aqui da USP na Folha de São

Paulo, os horários, punha lá que era tudo gratuito. Então o prof. Ross disse: "vamos fazer o seguinte: precisamos primeiro mudar a Sociedade". Para mudar a Sociedade, eu tive daí que me tornar sócio da Sociedade, para que a gente, em seguida, pudesse pedir uma mudança do estatuto. Daí nós fizemos, pedimos e ganhamos – o estatuto passou a permitir a mudança. Na época, a Sociedade vai para a Unicamp, junto ao Departamento de Física Aplicada, que tinha toda a estrutura do curso de vácuo que o prof. Ross ministrava. Nessa época, o prof. Ross virou o presidente (ele foi o presidente várias vezes). Em 1986, o prof. Ross vem aqui e fala o seguinte: "você não quer ser vice-presidente da Sociedade?" Daí eu entrei numa chapa em um congresso que já tinha sido feito no INPE em 1986. Já tinham congressos, nós estávamos aprimorando com cursos, com apresentações de trabalhos da indústria, iam palestrantes falar sobre aplicações (até mesmo da Sadia). Nesse congresso, o prof. Ross me perguntou se eu não estava interessado em propor um congresso na USP. Realmente, na época, como vice-presidente ainda (eu fiquei dois mandatos), eu proponho, em 1990, um congresso na USP que foi um sucesso. Veio o pessoal do IPEN... Porque a USP tem o seguinte: aqui na capital tem muitos institutos e muita gente. Aí que o pessoal, o IPT, começou a se engajar na Sociedade. Essa era a minha ideia. Depois eu voltaria a fazer esse congresso em 1999. A gente viu que aqui em São Paulo tem muitas indústrias. Então foi realmente um sucesso. Em 1995, eu fui eleito presidente da Sociedade Brasileira de Vácuo por dois mandatos. Até hoje sou membro do Conselho da Sociedade. Então, essa foi uma experiência muito boa, porque, dos países latino-americanos, foi a única sociedade de vácuo que sobreviveu. E nós somos interligados a IUVSTA (International Union for Vacuun Science, Technique and Applications), que é a sociedade de vácuo que congrega todas as sociedades de vácuo do mundo. Então isso traz uma série de vantagens. Eles ajudam muito na publicação de uma revista que a gente tem que se chama "Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo", que é a única revista brasileira de instrumentação de circulação nacional nível "A" da CAPES. É a única. Participam dela o pessoal do Síncrotron, do INPE, do ITA, das UNESPs todas, dos institutos do Rio de Janeiro. Nós já fizemos congresso, além de São Paulo, em Minas Gerais, Pernambuco, Natal, Santa Catarina, Rio Grande do Sul. Esse ano volta a Santa Catarina, vai ser feito em Joinville, que é um polo industrial muito importante da indústria branca (de geladeiras e coisas deste tipo), que usa muito a tecnologia de vácuo. Sempre quando a gente vai, leva os cursos, leva tudo isso, tem toda essa estrutura por trás. A missão da Sociedade foi totalmente cumprida. Hoje

ela está fazendo 30 anos e é uma das únicas das pequenas sociedades que não é uma sociedade física, porque ela congrega físicos, mas também químicos, engenheiros, tecnólogos. Toda a estrutura de comunicação, *sites*, é totalmente eletrônica. Essa era a ideia. Hoje, dos países, Argentina nem tem sociedade de vácuo. A Índia tem sociedade. No hemisfério sul, a Austrália tem. Mas nenhum dos países latino-americanos tem sociedade, que é uma coisa importante e totalmente ligada a aceleradores. O começo é tudo aceleradores. O grande projeto que foi feito durante o ano, pelo pessoal do INPE e do Síncrotron, foi exatamente divulgar o vácuo e ter uma revista. A gente não quer torná-la internacional, para os pesquisadores daqui, os meninos que trabalham com vácuo. Pode ser escrita em inglês, em português. Uma revista que é reconhecida como nível "A", quer dizer, conta no currículo. A Sociedade Brasileira de Física nunca conseguiu estabelecer uma revista de instrumentação. O Síncrotron, neste ponto, tem um papel fundamental. Nós tivemos um congresso no Síncrotron em 1997, quando ele foi inaugurado. Eu conheço muito bem o prof. Cylon – ele é o outro *manager* de ciência, mais novo e de uma outra geração que o prof. Sala, mas eu admiro muito o trabalho dele. Eu conheci o Síncrotron quando ele estava no barracão, quando estava com o protótipo do acelerador que é totalmente usado para aplicações. Eles foram muito criticados, injustamente no meu ponto de vista, porque eles tiveram, durante um bom tempo, um financiamento direto do Ministério da Ciência e da Tecnologia para construir. E gastaram x, mas construíram e toda a tecnologia foi absorvida pelo país. Tanto é que eles fazem construção de aceleradores até na Europa, eles patentearam tudo. É uma outra mentalidade. O que foi feito por eles é totalmente diferente daquilo que o professor Sala começou. O Brasil era um outro país. Não existiam instituições de apoio. É como você disse, a Fundação Ford, a Rockefeller, que ajudavam. Chegou uma época no Van de Graaff que se vendia sucata para conseguir comprar novas peças. Quer dizer, mas você fala, valeu a pena? Valeu sim.

TM – Sobre o período do Van de Graaff, o prof. Sala diz que a máquina que ele construiu foi pioneira para sua época, porque produzia feixes pulsados.

DP – Exatamente. Essa é uma coisa importante. O Van de Graaff é uma máquina compacta. A parte de eletrônica, de capacitores, de alta tensão, essas coisas, não pode ser muito grande. Então como que, na época, o prof. Sala resolveu este problema? A nossa energia que vem para cá é de

110 volts, 60 hertz. Precisamos de 400 hertz para diminuir o tamanho dos capacitores. Com isso você diminui toda a eletrônica. Como é que a gente iria conseguir 400 hertz? Então o prof. Sala conseguiu um gerador de um submarino que era da Marinha e que ficava no porão do Van de Graaff. A máquina era totalmente pioneira no país. A nível internacional, muito mais, porque eles conseguiram instalar um sistema de feixe pulsado, inédito na época, que permitia fazer medidas da energia de nêutrons, conseguir medir o tempo de voo, uma técnica totalmente nova. Depois tinham modificações geniais. A parte que controlava a energia do acelerador tinha um voltímetro totalmente feito aqui. Era uma máquina inédita. Não adianta, ciência é pioneirismo.

TM – O prof. Adolfo Leirner me disse que, naquela época, havia um forte espírito cooperativo entre os pesquisadores.

DP – Com o crescimento da ciência começa a competição. Tem a profissionalização, quem publica mais, quem publica menos. Está todo mundo centrado num projeto. O Pelletron já começou com este problema em ordem avançada. Eu acho que o problema é publicar, mas depende o que. Hoje não é só você pôr um *paper* a nível internacional, mas o que a comunidade aprende com aquele *paper*, o que ele significa. Hoje eles estão medindo não somente o número de *papers* que a pessoa assina, mas como são as citações. Porque é diferente, você faz uma tese em física básica, por exemplo, em 1991, só que até hoje ela é citada. Isso é típico de física básica. Na física aplicada não, você tem um resultado e ele deve ser aplicado imediatamente, ou seja, ele tem uma vida curta. O artigo de física básica tem uma vida mais longa. Coisa que você fez a 15 anos atrás, depois de cinco anos do pessoal começar a entender, ter mais uma experiência. Com o tempo, o artigo amadurece. Então você tem que ter um pouco de paciência. Ou então pode ser que não serviu para nada mesmo! É o risco, não é? É complicado medir produção científica, porque talvez tenha uma pessoa que fez um artigo que tem 500 citações e outra que fez 100 artigos e teve 500 citações. Hoje eles estão produzindo o chamado "Fator H". Mas isso começou a surgir lá fora, agora que está chegando aqui. E tem que ser feita a análise por pares. Chega uma hora que a FAPESP tem 50 projetos e ela tem que decidir, pois ela tem dinheiro apenas para dez. Não adianta dividir o dinheiro entre os 50 projetos, porque isso é jogar dinheiro fora. Então tem que ter julgamento e este deve ser feito pela comunidade. Tem que ser assim, tem que saber dizer

não e você tem que saber ouvir não. Pode ser que tenha um projeto melhor. Mas isso funciona lá fora. Lá fora o pau come feio. E depois você junta isso à vaidade humana, ao poder e coisas deste tipo. Então é difícil. Aquela época era uma outra época. Às vezes, as pessoas mais jovens daqui perguntam: "e naquela época?" Aquela época era outra. Não tinha tanta gente assim. Não tinham institutos, era uma faculdade só. Mas, assim mesmo, ainda tinham as querelas entre os catedráticos, mesmo porque isso é uma coisa típica dos seres humanos.

TM – O senhor falou destas querelas e eu me lembrei de uma questão importante, sobre os desentendimentos entre Oscar Sala e Marcelo Damy. Não sei se isso é verdade ou boato.

DP – Deve ter tido. Eu já ouvi falar sobre isso também. Eles eram os pioneiros da época. Só que a briga deles ficava entre eles.

TM – Agora sobre a formação de recursos humanos...

DP – Bom, na minha carreira, eu tenho no curriculum muitas iniciações científicas, tenho umas cinco teses de mestrado, umas quatro ou cinco de doutorado e vários pós-docs. Quer dizer, eu sempre vivi na universidade, orientei fora do país, quando eu estava na Alemanha. Então eu sempre trabalhei muito em pesquisa e formação de recursos humanos. Tem que ser assim, pois acho que o papel da universidade é esse. Eu fico muito apreensivo quando se fala em tirar o Laboratório da universidade, porque eu passei minha vida formando gente e dividindo conhecimentos com essas pessoas. Eu também tive uma participação muito importante na formação de técnicos aqui no Pelletron, na área vácuo e de tecnologia de aceleradores. Tudo isso eu transmiti, principalmente na época em que fui diretor. Tem uma coisa aqui que é a seguinte: eu conhecia bem o acelerador. Por que não transmitir tudo que sei para os técnicos? Eles acharam ótimo. Tanto assim que hoje os técnicos são capazes de fazer todo o diagnóstico do acelerador. Esse talvez tenha sido meu principal resultado que tive como diretor do Laboratório. Esses técnicos, muitos deles vão para a indústria e são muito bem remunerados. Também são muito bem aceitos, porque eles possuem uma formação específica que ninguém tem. Agora o fato de um técnico sair faz parte do ciclo da universidade. Como lá fora, o técnico não pode ficar a vida

inteira na universidade, porque senão você não recicla, não fornece mais gente com capacitação muito alta. Hoje é bom ver que eu tenha formado gente, pois esse é o futuro. Eu não vou ficar a vida inteira aqui. Uma das coisas que gosto na Sociedade de Vácuo é que conheci o Brasil. Eu conhecia São Paulo, mas não o Brasil. Porque sempre que você vai numa cidade dessas a indústria local fornece os recursos. É muito mais fácil organizar o congresso da Sociedade em qualquer lugar do país do que qualquer congresso científico puro, porque sempre tem as indústrias que querem entrar com recursos. Ou seja, o congresso se paga e leva a tecnologia. As aplicações da tecnologia do vácuo são várias. Você tem aplicação de vácuo desde conservação de sementes... Mas uma coisa que me marcou muito eu vi quando fui operado. Uma vez eu dava o curso de vácuo aqui e tive um aluno que era da Johnson & Johnson. Depois esta empresa deu dinheiro para as apostilas do curso. Eles me pediram para ajudar num problema que tinham de contaminação. Eu fui lá, passei uma tarde na empresa. Eles tinham um sistema de vácuo de última geração, usavam uma outra tecnologia de bomba chamada turbo molecular - são turbinas com trinta mil rotações por minuto. Essa tecnologia veio com a separação do urânio. Daí eles estavam com o problema de contaminação no sistema de vácuo deles, que era enorme. O sistema de vácuo parecia ser bem projetado... Uma das coisas que eu ajudo é na discussão do projeto de vácuo, isso é uma coisa fundamental. Eles tinham o problema... Quando você é operado é costurado com o fio de sutura. A Johnson & Johnson é uma das únicas que fabrica este fio no país. Esse fio precisa ser esterilizado a vácuo, mas eles estavam com contaminação. Daí eu sabia de uma técnica chamada *flushing* – você pega um gás nobre que não reage, passa várias vezes, enche e bombeia, enche e bombeia... Essa é uma técnica que se utiliza em aceleradores. Outra aplicação é no abate de frangos. Você sabe como é morto o frango? Com vácuo. No Congresso da Sociedade Brasileira de Vácuo de 1999, que foi feito aqui, eu trouxe um cara da Sadia. Ele despertou muita curiosidade nas pessoas. Todo mundo foi ver a palestra dele. O título da palestra desse engenheiro era “A Utilização da Tecnologia de Vácuo no Abate de Aves e Suínos”. Todo mundo queria saber o que era isso. Na realidade, eles dão uma injeção de vácuo em uma das artérias do pescoço do animal, que morre de embolia. Esta tecnologia está tão avançada que não ocorre nenhum sangramento e não prejudica a qualidade da carne. Isso é tecnologia do vácuo. Essa é outra aplicação que você não conhecia! Isso é feito pelo pessoal da Sadia, da Perdigão... O interessante é que eles utilizam as mesmas bombas de vácuo, os mesmos medidores, as mesmas

coisas que a gente usa. A indústria de alimentos também é um exemplo de aplicação. Tudo o que você compra empacotado é a vácuo. Outra indústria importantíssima que ia aos congressos de vácuo era a Farmacêutica. Quase todos os fármacos são feitos em vácuo. O Instituto Oswaldo Cruz do Rio sempre frequentava as reuniões da sociedade. Outra indústria é a branca – as geladeiras utilizam a tecnologia do vácuo no circuito de refrigeração. As lâmpadas, os faróis de carro e coisas deste tipo também. Agora eu vou te dizer uma coisa mais interessante, sobre a formação de recursos humanos. Eu tive aqui um aluno chamado Luiz Carlos Nobre, do curso de vácuo do IFUSP. Ele só fez o bacharelado e aprendeu as técnicas básicas que a gente tem (como ligar as bombas, como projetar o sistema de vácuo). Esse cara foi atrás e conseguiu auxiliar uma firma produtora de espelhos retrovisores na parte de vácuo. Todos esses espelhos são metalizados a vácuo. Ele foi para uma firma chamada Metagal, que tem três mil funcionários trabalhando em três turnos. Sessenta por cento de sua produção é exportada e o restante atende à indústria automobilística nacional. O conhecimento que ele tinha em vácuo, ele aprendeu aqui, não havia nenhum outro curso. Ele é um simples bacharel, mas que foi um bom estudante meu, ficou responsável por todo o sistema de vácuo da Metagal. Ele ficou tão caro que acabou montando uma firma para dar auxílio a outras empresas, mas com prioridade para a Metagal. Isso é para você ver o papel da universidade formando gente para tomar cargos importantíssimos. Nós formamos aqui também gente que foi para a Pirelli, Mercedes-Benz e outras indústrias.

Entrevista[112] com a profª Drª Nobuko Ueta

TM – Profª Nobuko, em nosso primeiro encontro, a senhora me disse ter feito sua iniciação científica no Laboratório do Acelerador Van de Graaff. Gostaria que a senhora falasse sobre a sua iniciação científica e, mais particularmente, sobre quem foi seu supervisor e quais foram as técnicas aprendidas durante esse estágio.

Nobuko Ueta (NU) – Naquela época, nem tinha esse nome de iniciação científica. A forma como as coisas aconteciam era a seguinte: os que já estavam trabalhando no Laboratório e que conhecessem pessoas que estavam entrando na Faculdade e achassem que "dariam certo" na atividade experimental, acabavam sendo convidadas para conhecer o Laboratório. E foi assim que eu fui parar lá, através do Yogiro Hama, hoje professor do Departamento de Física Matemática. Fomos três colegas no primeiro ano: Trentino Polga, que infelizmente já é falecido, e o Roland Köberle, que é professor em alguma Universidade Federal no interior de São Paulo, não me recordo onde. Então entramos em três no Laboratório. Quem cuidava da gente, que eu até falei para você no outro dia (eu esqueci de deixar perguntado o sobrenome da pessoa), chama-se Darci. Eu não sei mais para onde ele foi. Eu só sei que depois do Van de Graaff ele foi para o ITA. E depois eu perdi o contato. O que a gente fazia naquela época era tudo. Desde limpar coisas que fossem necessárias para o funcionamento do acelerador... Aconteciam sempre problemas com o sistema de vácuo, porque naquela época não tinha os equipamentos que existem hoje em dia de quando cai a força ter uma série de cuidados que a gente tem que tomar com o sistema de fazer vácuo em canalizações. E naquela época, caía a força, desligava tudo, e a gente que tinha que correr para fechar as válvulas. Então, primeiro, aprender qual válvula tem que fechar e qual válvula tem que abrir na hora certa. E quando aconteciam os desastres, a gente que tinha que ajudar a limpar, porque não tinha um quadro de técnicos que fazia esse trabalho de infra-estrutura. A gente tinha na oficina mecânica o senhor Mário Capello, que era o nosso professor para todas as coisas e para tudo que se precisava aprender lá. Tinha também a oficina eletrônica. Mas não tinha um pessoal formado para atender a parte de vácuo. Hoje em dia, tem técnico de tudo. Tem da máquina, tem da eletrônica, tem de vácuo, tem de tudo para cada

[112] Entrevista realizada por Tharsila de Medeiros no Instituto de Física da Universidade de São Paulo em 12 de março de 2008.

partezinha. Eu acho que até a forma como os alunos são formados hoje em dia é muito diferente. Então, naquela época, a gente tinha que aprender a cuidar de várias coisinhas. Desde vácuo, coisas eletrônicas que fossem relativamente simples (não só trocar fusível!), mas coisas relativamente simples a gente tinha que aprender. Medir pontos-chave dos circuitos para saber o que é que está errado. Então, ensinavam todas essas coisinhas para as experiências poderem correr, fluir. Por exemplo, no acelerador mesmo, tinha muita coisinha, muito detalhe. Então cada vez que acontecia alguma coisa, catava todo mundo ... Nós dizíamos: nós somos o faz-tudo! Desde ajudar a desparafusar tudo que fosse necessário até consertar. Lógico que, nessa hora, todos eles querem ensinar a gente como funciona. Não é que eu me sentia usada, era super interessante por isso: cada aparelho que você tinha que mexer, você aprendia o que ele está fazendo, como que ele faz. Então é uma formação completamente diferente da que você pode ter no curso de Física. Sempre teve a parte experimental no curso, mas não tem nada a ver com a iniciação científica daquela época. Fora isso, no primeiro ano, o que a gente aprendia a fazer (aprendia não, isso a gente já sabia, só que tinha que fazer sistematicamente) era ajudar a fazer contas. Porque, naquela época, tinham umas calculadoras que se você visse agora, você acharia engraçado. Umas coisas enormes que faziam uma barulheira! Nada a ver com as maquininhas de agora. Não tinha computador naquela época. Computador, quando chegou a 1620? O primeiro computador que veio foi instalado na Poli. Eu acho que foi em 1965, por aí. Sei lá. Eu não sei a data exata. Mas até então, era usada a régua de calculo ou soma, a gente que somava na marra, ou com essas máquinas de calcular que eram enormes, barulhentas. E às vezes a gente podia usar as máquinas, mas uma grande parte a gente fazia na mão mesmo e com régua de cálculo. Tinha muita coisa e era muito demorado para fazer. Hoje em dia eu vejo o pessoal trabalhando, não precisa nem fazer o gráfico. A gente fazia o gráfico com papel milimetrado, fazia 5000 gráficos, sei lá quantos gráficos a gente fazia por ano. Porque cada vez que saía os dados... os dados saíam de uma forma que vinha batido à máquina, então a gente via o que vinha batido à máquina e tinha que transformar aquilo num gráfico. Hoje em dia, você já tem o gráfico, você imprime o gráfico. Você usa o computador para fazer as áreas, calcular o que você precisa. Por exemplo, para calcular a cinemática de reação, a gente tinha que usar tabelas. Então usava a tabela, a régua de cálculo, fazia os gráficos. Esse tipo de coisa a gente que tinha que fazer. E no fundo, aplicar coisas que a gente pode ter aprendido, em parte, nos cursos teóricos, mas você aprende na prática

as coisas que se usavam no dia-a-dia das experiências. Tinha que ajudar nessas coisas: no gráfico, nas contas...

TM – O que eu percebo hoje em dia é que os experimentais só fazem as experiências mas não têm um conhecimento da máquina.

NU – Da máquina, poucos têm. Antigamente, a gente que tinha que fazer a máquina também. Então era outra coisa. Mas eu acho que tem uma vantagem agora. Eu acho que a gente gastava bastante tempo nisso e eu vejo que o pessoal sabe bastante coisa até de outras áreas. Também dá mais tempo para eles agora, para fazerem outras coisas. Mas eu não reclamo da minha época não, eu gostava (risos!). Coisas do dia-a-dia eram isso: a gente tinha que aprender coisas até de oficina mecânica, coisas de oficina eletrônica, contas que a gente já sabia e tinha que fazer repetidamente para várias coisas, e era um processo demorado, porque uma coisa que hoje em dia faz num instante, naquela época demorávamos um tempão fazendo cada gráfico, um por um. Eram gráficos e mais gráficos! Se bem que eu já peguei uma época muito diferente da que a gente vê nos livros de história da física. É muito interessante, eu acho que as pessoas faziam umas coisas... Você já leu a história da Madame Curie?

TM – Eu já, algumas coisas.

NU – Nossa, é impressionante. Tem um livro que é muito interessante[113], fala de física nuclear e de mulheres que trabalhavam em física nuclear. Uma área que tem muitas mulheres, mas muitas que nem podiam assistir ao seminário, porque era restrito aos homens. Tem gente que eu sabia o nome, mas não sabia que tinha uma participação tão direta. Porque aparece o nome do professor dela, mas não dela. Então eu vi que o que a gente fez aqui, apesar de parecer uma coisa antiga, não tem nada a ver. Elas sim, a Madame Curie, elas fizeram um trabalho que é impressionante, porque dependia muito mais de um trabalho físico delas, de carregar peso, e faz isso e faz aquilo. O que a gente fazia no Van de Graaff não era nada. Era muito mais braçal do que hoje em dia. Mesmo o que eu peguei não tem nada a ver com o que elas faziam no passado.

[113] TENNENBAUM, Jonathan. **Energia Nuclear**: Uma Tecnologia Feminina. Rio de Janeiro: MSIa, 2000.

TM – Uma segunda questão que eu tenho é sobre o prof. Ross Alan Douglas, que infelizmente é falecido. Ele foi o seu orientador...

NU – Foi meu orientador no doutoramento. Logo que eu entrei, foi esse Darci que nos orientava. Depois ele saiu e eu saí durante algum tempo porque eu tinha sido atropelada, entre o primeiro e o segundo ano. E depois quando eu voltei, comecei a trabalhar com a Elizabeth Farelly Pessoa e com o Olácio Dietzsch (que ainda é professor aqui). Eu acho que essa época se parece mais com a iniciação científica de hoje, pois era uma época em que a gente participava inclusive de cálculos, coisa que a gente dava para fazer. Como naquela época ainda não tinha computação, nós tínhamos que ajudar a fazer os cálculos usando tabelas. As coisas que davam para a gente fazer e compreender, eles as passavam para nós. E foi quando eu aprendi a fazer uma série de coisas que não se aprende na faculdade, porque não é uma coisa específica da área. Então as coisas mais específicas da área eu aprendi com eles dois. Depois eles foram professores de exercícios de física nuclear, foram meus professores durante algum tempo. Eu trabalhei mais perto da Beth Pessoa e o Olácio, de vez em quando, passava coisas para mim, mas ele tinha outras pessoas que trabalhavam para ele também. Eu não me lembro dos nomes de todos os colegas. O Trentino e o Roland são as pessoas que ficaram também. Então eu me lembro mais deles. Ao longo do tempo, sempre entrava bastante gente e também saíam muitas pessoas. Nessa época tinha mais gente, mas eu não me lembro quem era.

TM – Como a senhora poderia definir a importância do prof. Ross Douglas para o desenvolvimento da física nuclear experimental aqui do Instituto?

NU – Eu considero que o prof. Ross era a mão direita do prof. Sala. O prof. Sala tinha muita parte burocrática para cumprir e, na verdade, a gente só viu isso depois que ele teve que se afastar. Porque era só a gente trabalhar. Naquela época, era só trabalhar. Na verdade, talvez seja a questão de eu nunca ter participado de política, nem do departamento, nem fora do departamento. A política não é a minha área. Então, em parte, pode ser isso. Como a infra-estrutura era muito bem cuidada, a gente não tinha que se preocupar com isso e era só trabalhar direitinho que estava tudo certo. Nessa época, as coisas do dia-a-dia – de precisão, de cuidar dos experimentais, e das

técnicas mesmo, também da organização de seminários – eram feitas pelo prof. Ross e pela Beth. Agora eu acho que o prof. Ross foi quem seguiu a gente no dia-a-dia, para que a gente aprendesse a fazer as coisas de uma forma muito sistemática e muito precisa. Ele era muito meticuloso. Via se a gente estava fazendo as coisas certinho logo de manhã e à noite ele também dava uma passada para verificar. Então uma grande parte de trabalho experimental preciso a gente aprendeu com ele. Ele também fazia uma parte de desenvolvimento de equipamentos de vácuo. Uma grande parte do pessoal que trabalhou com ele trabalhava nessa área. E a gente teve então a possibilidade de usar equipamentos que foram desenvolvidos aqui, com a orientação dele e de outras pessoas, e a gente usou de fato esse equipamento para melhorar a situação experimental por nós utilizada, mais especificamente de bombas de vácuo, de alto-vácuo. Eram equipamentos que eu acho que davam para comprar, eram encontráveis, não sei. Nessa época eu não participava de projetos para saber quanto custava (porque as coisas possuem um preço alto logo quando são inventadas e o valor decresce rápido). Hoje em dia são coisas caras, mas já são compráveis. Mas naquela época eu acho que não era comprável. Foi desenvolvido aqui uma bomba de vácuo de titânio que eu acho que era uma coisa única. E com a meticulosidade do prof. Ross eu acho que foi possível.

TM – Porque a indústria nacional não fornecia esses equipamentos...

NU – Não, não. Eram coisas de pesquisa e acho também que nos Estados Unidos ainda eram de pesquisa. Com o tempo que eu fui perceber que existiam coisas comerciais. Aqui foram usadas coisas desenvolvidas por nós mesmos. Mas o pessoal me dizia: hoje em dia já tem à venda mas o nosso é melhor e coisas do tipo! Eu acho que foi uma dedicação muito grande. Fora isso, o prof. Ross participava bastante na parte didática também, porque ele foi implementando os cursos de física ondulatória que não eram muito comuns na grade.

TM – A formação acadêmica do prof. Ross foi feita no Canadá?

NU – Ele era canadense, mas você sabe que eu não sei! Eu não sei aonde que ele se formou lá. Eu acho que é no Canadá sim. Mas eu não sei como ele veio parar aqui. Quando ele faleceu, o filho

dele falou alguma coisa de ele ser protestante. Aparentemente, ele veio da igreja Batista... Na verdade, eu também sou protestante, mas eu sou a ovelha negra (risos!). Eu só fui batizada e até uma certa época eu fui na igreja. Eu não sei como o prof. Sala o conheceu. Mas parece que ele veio ao Brasil com o intuito de praticar essa parte religiosa, foi o que o filho dele falou.

TM – Então ele veio como um missionário?

NU – Isso, como se fosse. Até foi um momento que a gente riu na hora da homenagem, porque o filho dele falou que se lembra bem de ter escutado o pai falar que iria ou para o Iraque ou para o Brasil. E eles deram graças a Deus de ele ter vindo para o Brasil (risos!). Porque o prof. Ross faleceu há uns dois ou três anos atrás, naquela época que o Iraque estava em conflito. A gente até riu disso na hora da cerimônia. Mas eu não sabia até então que ele tinha essa coisa... Eu sabia que ele era religioso, pois de vez em quando ele me falava de pessoas que eu conheci na igreja. Então ele falava: "é, você conhece o fulano hein!". E eu falava: "é, eu conheço! Eu sou a ovelha negra". E ele falava: "mas vai lá na ABU" (Associação Bíblica Universitária). Até a minha irmã ia, mas eu não dava a mínima. Eu ficava aqui (risos!). De vez em quando ele falava, mas nunca ao ponto de me deixar constrangida. Eu falava em casa: "eu acho que ele não falava nada porque pelo menos o que eu estava fazendo é o outro lado que ele gosta também". Então não tinha tanto problema, não é.

TM – Uma outra questão que estou abordando na tese é sobre os componentes do Pelletron, porque ele não foi todo comprado da NEC (*National Electrostatics Corporation*). Muitas partes dele vocês desenvolveram aqui, acho que uma câmara de espalhamento, não é?

NU – Sim, algumas coisas foram feitas aqui. Mas a máquina em si foi desenvolvida pela NEC. Algumas câmaras de espalhamento foram feitas aqui. Mas uma grande parte é importada. Por exemplo, o espectrógrafo magnético é um equipamento comercial. A câmara de espalhamento que eu trabalhei mais foi doada por alguma universidade (acho que foi a de Wisconsin) que não precisava mais dela. Então ela veio para cá e a gente fez o miolo dela. Veio o corpo da câmara, que já era uma coisa enorme, e a gente a completou, vamos dizer assim. Algumas foram feitas

integralmente aqui. Alguns detectores também foram desenvolvidos aqui e construídos em escala para serem usados simultaneamente. Mas tem muitos detectores que são comerciais. Agora, por exemplo, a parte eletrônica também é uma parte comercial. Tem uma ou outra coisa que são equipamentos desenvolvidos especificamente para um determinado fim e aí foram coisas feitas aqui.

TM – E quem ficava a cargo desses desenvolvimentos em instrumentação aqui no Pelletron?

NU – Por exemplo, tinham algumas coisas que foram vistas na literatura e o que se tentava era fazer alguma coisa que fosse similar. Sempre teve gente, por exemplo, em coisas de eletrônica. Fora a pessoa que era especificamente da área de eletrônica, tinha gente de outros lugares que ficava sabendo que tínhamos esse problema. Eu me lembro de um engenheiro eletrônico que trabalhava no IPEN, acho que o nome dele era Brenner. Ele trabalhou com a Beth Pessoa no desenvolvimento de um equipamento específico para descriminar nêutrons de gama. Eu também acho que o Olácio participou disso, porque ele também trabalhou com detecção de nêutrons. Quando você detecta nêutrons, a radiação gama pode afetar com contagens de fundo. Então era bom saber o que é nêutron e o que é gama para discriminar. Então esse engenheiro eletrônico vinha com uma certa frequência. E tinha também umas outras pessoas que não sei como apareciam. Acho que o prof. Sala conhecia algumas pessoas e "vendia o peixe", vamos dizer assim. Eles apareciam e depois que acabava o projeto eu não tive mais contato. Às vezes apareciam uns engenheiros que trabalham, não sei se todos, aqui pela cidade universitária. Mas também vinham pessoas de outros lugares que vinham e participavam de um ou de outro desenvolvimento. Era algo interessante, porque são coisas de ponta. Você vê alguma coisa publicada em revista específica e para fazer o copiar e o melhorar nem sempre é fácil.

TM – E com relação aos equipamentos de informática, às interfaces?

NU – Então, a informática, naquela época (por volta de 1965), já tinha multi-canal, já tinha alguma coisa que corresponde a um microcomputador. Só que um microcomputador do século passado, mesmo! Coisas enormes que tinham só 256 canais e a gente tinha que ter ar-

condicionado na sala de controle porque senão não funcionava. Tinha que dar um jeito de esfriar o bichinho, a gente fazia de tudo para ele se sentir bem e funcionar! (risos!) Então já pode ser considerado um começo de informática. Eram coisas bem rudimentares se você comparar com agora. Qualquer micro desses, até esse daí[114], já é maior do que a 1620 que foi instalada, por volta de 1965, na Poli e que foi o primeiro computador da Cidade Universitária. Logo depois foi instalado um do mesmo porte no IPEN. Não chamava IPEN, mas sim Instituto de Energia Atômica (IEA) ainda. Mas a gente podia usar o computador de lá. Tinham físicos lá também e a gente poderia usar. E também podia usar o da Poli. Mas não tinha uma variedade de equipamentos como tem hoje em dia. Naquela época já tinha bastante equipamento eletrônico diferenciado porque vinham coisas importadas. Eu acho que ainda agora uma grande parte é coisa importada. Acho que não deve ter mercado para equipamento eletrônico de física nuclear no Brasil. Se você mandar fazer, acho que vai sair mais caro do que importar. Importar acaba ficando mais barato devido ao problema de escala.

TM – E esses primeiro computadores da IBM foram importados?

NU – Foram sim. Esse 1620 é da IBM e importado. Depois, em 1971, veio aqui para física nuclear um chamado A/360 da IBM. Não sei se o 1120 era da IBM. Eu acho que era da IBM sim. Mas o /360 foi um computador bem grande que veio para cá no início do Pelletron. Mas, naquela época, o prof. Sala tinha uma visão de desenvolver aqui, ter um pessoal técnico bem especializado para que pudéssemos usar o equipamento possível de ser comprado de uma forma eficiente. Então tinha uma equipe formada por engenheiros eletrônicos formados no ITA e junto com alguns físicos também, e que desenvolveram equipamentos muito sofisticados. Eu fiz o pós-doc na Alemanha, em 1971-72. E quando eu fui para lá, os equipamentos que eu utilizava aqui eram praticamente os mesmos que eu usei lá, eram equipamentos que eu já conhecia e sabia usar. Quanto eu tive que usar os computadores grandes lá da Alemanha, eu não sabia o que estava sendo desenvolvido aqui. Eu fiquei quase dois anos lá. Mas quando eu voltei, era basicamente a mesma coisa. Com computadores muito menores, muito mais limitados, a gente conseguia fazer praticamente o que se fazia com um computador enorme. O de Heisenberg era um computador

[114] Profª Nobuko indicou o microcomputador de sua sala como comparativo.

muito grande e famoso. Acho que se chamava Sigma 3. O pessoal daqui tinha feito um sistema para utilizarmos computadores muito menores mas com a mesma versatilidade. Era uma coisa fabulosa. Do pessoal que trabalhou nessa implantação, acho que só tem uma pessoa que ainda está na ativa. O resto já é aposentado. São "iteanos" o Claudio Mammana, Silvio Paciornick e o Mario Ferrareto é formado em física mas ele trabalhou também nessa área. E foram coisas bem interessantes. A gente usava aqui coisas que eu tinha acabado de usar na Alemanha. Eu escrevia para os meus colegas: " eu estou usando tal equipamento, assim assado". E eles diziam: "ai que bonito! Parece ser mais interessante que o nosso". Eu falava: "Ah, mais é!". Porque tinham umas coisas que eram muito mais fáceis de usar. Então eu escrevia para eles contando vantagem! (risos!) Eles questionavam: "como que pode, voltar para o Brasil e dizer que lá fora tem coisas melhores". Mas é melhor!

TM – Eu gostaria de peguntar sobre as linhas de pesquisa, sobre o que se fazia no Pelletron.

NU – O que a gente fazia era estudar os modelos nucleares. Basicamente é aplicar o conhecimento de modelos nucleares. Então fazíamos experiências específicas para testar os diferentes detalhes de modelos nucleares. Então usávamos feixes diversos. Naquela época, os experimentais ainda tinham que gastar bastante tempo desenvolvendo o equipamento necessário. Para as fontes de íons, a gente tinha que aprender a fazer funcionar diferentes fontes de íons. Falando assim, parece um negócio trivial, mas até que não era não, até que é interessante, porque é um trabalho de desenvolvimento mesmo. Tinha feixe de hélio, hélio 3, hélio 4 (hélio 4 é alfa), feixe de oxigênio, de nitrogênio. Então para cada coisa a gente tinha umas particularidades e tinha que aprender para fazer a coisa funcionar. Desses desenvolvimentos a gente tinha que participar, senão não funcionava.

TM – Teve uma modificação no tipo de física que se fazia no Van de Graaff para o Pelletron?

NU – Eu diria que é mais em questão de energia acessível. Em linhas gerais é basicamente a mesma coisa, porque é mecanismo de reação e aplicação de modelos nucleares. Falando dessa forma, é basicamente a mesma coisa. Só que no Van de Graaff era energia baixa e o Pelletron

possui energia um pouco mais alta. Hoje em dia, as energias que as máquinas aí por fora alcançam é muito maior do que a que tem aqui. Então, de novo, é uma questão de escala de energia. Se você consegue atingir energias maiores, você consegue ver coisas diferentes. Então é nesse aspecto que vai mudando. Mas falando de uma forma muito básica, no tentar entender como um núcleo funciona, desde aquela época até agora, os físicos continuam na mesma. Ainda se procura saber como é o núcleo, como é que é a interação nuclear, coisas do tipo.

TM – Mas o que o Pelletron faz de diferente do Van de Graaff é trabalhar com íons pesados, não é?

NU – É, não dava para usar os íons pesados no Van de Graaff, mas no Pelletron sim.

TM – O que era uma tendência da física internacional da época, não é?

NU – É. Porque no começo, as fontes de íons que existiam antigamente eram de prótons, deuterons, hélio. No Van de Graaff a gente tinha próton, deuteron. Fonte de alfa conseguimos também, hélio 3 não. Mas aqui no Pelletron a gente tinha um sistema para hélio 3, hélio 4 e um outro tipo de fonte de íons que ia oxigênio, nitrogênio, gases. Mais recentemente, pouco depois disso, é que começou a ser possível usar feixes de bromo, vários outros feixes mais pesados. Agora dizer que é qualquer íon é um pouco falar demais. Eu acho que tem alguns que são factíveis e outros que ficam difíceis de serem controlados na produção. Talvez por causa da fonte de íons, eu não sei bem o porque. Mas acho que deve ter coisa que interessa, deve ter regiões de íons que interessam fazer incidir sobre alguns núcleos. Talvez seja mais isso.

TM – Eu leio em história da física nuclear sobre essas fontes de íons. E como seria essa fonte, é um equipamento, uma reação química?

NU – É um equipamento. Você tem uma câmara. Basicamente é assim: você tem uma pastilha de um material que você quer arrancar íons. Vamos dizer que você queira arrancar cálcio. Então você faz incidir um feixe de elétrons e faz com isso arrancar cálcio. Às vezes sai um cálcio

positivo. Para você fazer injetar no Pelletron, ele tem que virar negativo. Porque como o Pelletron funciona com alta tensão positiva na carapaça, no começo ele tem que ser negativo. E daí você acelera os íons negativos até a carapaça. Dentro dela ele passa por uma película de carbono, troca a carga e é acelerado novamente. Então você tem que, na fonte de íons, produzir um íon negativo. Se você faz incidir um elétron e tira um íon positivo, de alguma forma aquele íon positivo tem que virar um íon negativo. Depois disso ele pode ser acelerado e focalizado no Pelletron. Se fosse outro tipo de máquina, você tem que desenvolver outro tipo de fonte. No Van de Graaff, o que tem é que a fonte de íons ficava dentro da carapaça e, portanto, deveria produzir íons positivos. Porque o potencial da máquina, do terminal de alta tensão, era positivo. Então positivo com positivo repele e aí o íon era acelerado. No Van de Graaff a fonte de íons era positiva e aqui no Pelletron tem que ser fonte de íons negativa. Cada uma dessas coisas tem uma particularidade. Fora isso, tem todo um sistema que você tem que tornar o feixe concentrado, que é para poder fazer passar por dentro do acelerador. Então tem um sistema de focalização e de concentrar dentro do meínho dos tubos que conduzem o feixe até o acelerador. Tudo isso é coisa que se precisa ter, ou para movimentar o feixe ou então para concentrá-lo no formato certo para que não se perca feixe a ser conduzido através do acelerador. Ele tem que ficar focalizado lá no centrinho para não haver perda. Basicamente é isso.

TM – Eu gostaria de saber o que foi desenvolvido aqui e o que foi comprado da NEC.

NU – Ah sei, das fontes de íons o que foi desenvolvido aqui.

TM – Até mesmo quais detectores foram feitos aqui. O prof. Dirceu Pereira me disse que ia me mostrar fotos de alguns detectores que vocês utilizavam.

NU – Eles desenvolveram um detector proporcional que a gente usava junto com o detector que ele desenvolveu na tese de mestrado, depois foi melhorado e utilizado mesmo. Eram quatro detectores que usávamos, em conjunto com os detectores de barreira de superfície. Os de barreira de superfície são comprados, mas aqueles lá a gente usava para medir a perda de energia. E usava de uma forma que era vantajosa, dava para usar em diversas coisas.

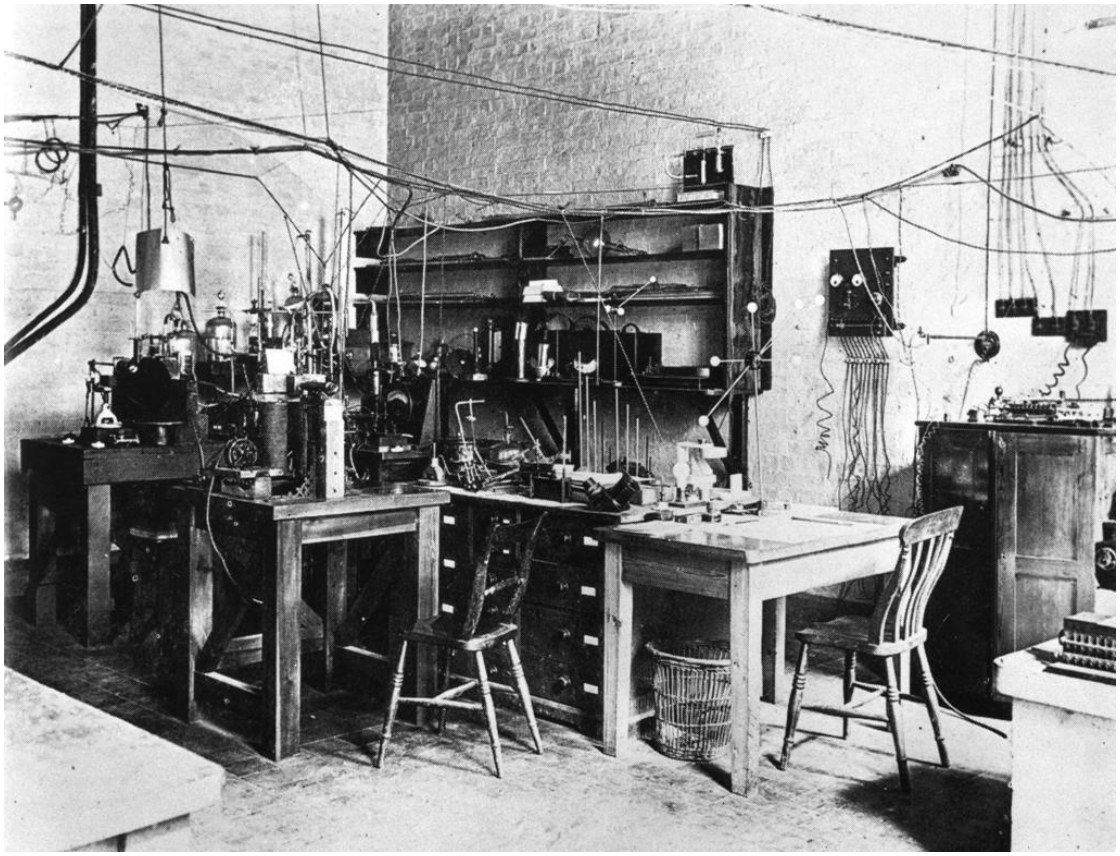
TM – Uma última questão por hoje é sobre a sua participação na Sociedade Brasileira de Vácuo.

NU – Isso é coisa do prof. Ross (risos!). De repente apareceu que eu era da diretoria da Sociedade Brasileira de Vácuo! Na primeira reunião que eu fui, dei de cara com o prof. Ross. E eu falei assim: " foi o senhor, não é! Agora que eu percebi". Eu participei mesmo da diretoria por algum tempo. Eu acho que essa sociedade, no começo, tinha mais gente do Rio e depois, de repente, foi indo para Campinas. Eu acho que foi o prof. Ross que a puxou do Rio para Campinas. Depois que ele faleceu, eu também tive uma época que estava meio complicada, por causa de entupimento nas artérias. Então eu pedi para sair. Mas é assim, é uma sociedade que congrega pessoas que usam o vácuo na ciência e na indústria. Então é uma sociedade que é bem heterogênea e que tinha pessoas que trabalhavam com materiais. Acho que o prof. Ross pensou que era interessante eu participar, porque tinha gente que estudava superfície. E nessa época eu já era a responsável pelo Laboratório de Alvos. Eu não me lembro qual o período que eu fiquei responsável por esse laboratório. Eu acho que foi a partir de 1979, 1980. O prof. Ross me falava: "olha, isso que você está fazendo agora é superfície, você tem que aprender sobre superfície, e lá tem vários físicos de superfície". E ele falava mesmo, só que entrava por uma orelha e saía pela outra! Ele vinha e falava: "ô Nobuko, você não vai lá?". E no fim apareceu que eu era da diretoria! (risos!) Eu não sei nem quem votou em mim para ir parar lá. Eu nem ia muito a Campinas. Depois quando fiquei da diretoria, acabei indo. Agora a Sociedade de Vácuo tem na diretoria um pessoal do INPE, acho que não é mais o pessoal da UNICAMP. Mas já era um pessoal que participava na época do prof. Ross. Então a vida dá voltas! Mas foi interessante aquelas participações, porque são outras pessoas. O engraçado era que a gente está acostumado a falar com físico nuclear e não com o pessoal de outras físicas. Até as unidades que a gente usa na física nuclear são unidades que são peculiares da física nuclear e que eu falava direto delas, como se fosse centímetro, metro. E aí eles falavam: "mas você usa umas unidades tão estranhas!". Mas eu tenho que medir seção de choque, eu tenho que usar essas unidades.

TM – E quais são essas unidades?

NU – Porque é assim, a gente mede seção de choque como se fosse área. É a probabilidade de interação, então é como se fosse a área que o núcleo está mostrando para haver interação. Então tudo que a gente mede, por exemplo, espessura de alvo, a gente mede em microgramas por centímetro quadrado. Isso é uma espessura para nós. Mas espessura, as pessoas acham que tem que ser amston, micron, nanômetro e coisa assim. E a gente usa microgrma por centímetro quadrado. Depois de muito tempo, eu fui dar aula para o pessoal da licenciatura. Uma das primeiras experiências é ver gramatura (e gramatura é grama por centímetro quadrado). Então eu falei: "poxa vida, eu que não sabia que até em coisas comerciais usa isso, sem ser física nuclear". Porque daí eu poderia ter uma argumentação. Aí eu poderia falar que não é só em física nuclear que se usa essa unidade esdrúxula! Eu achava engraçado!

ICONOGRAFIA

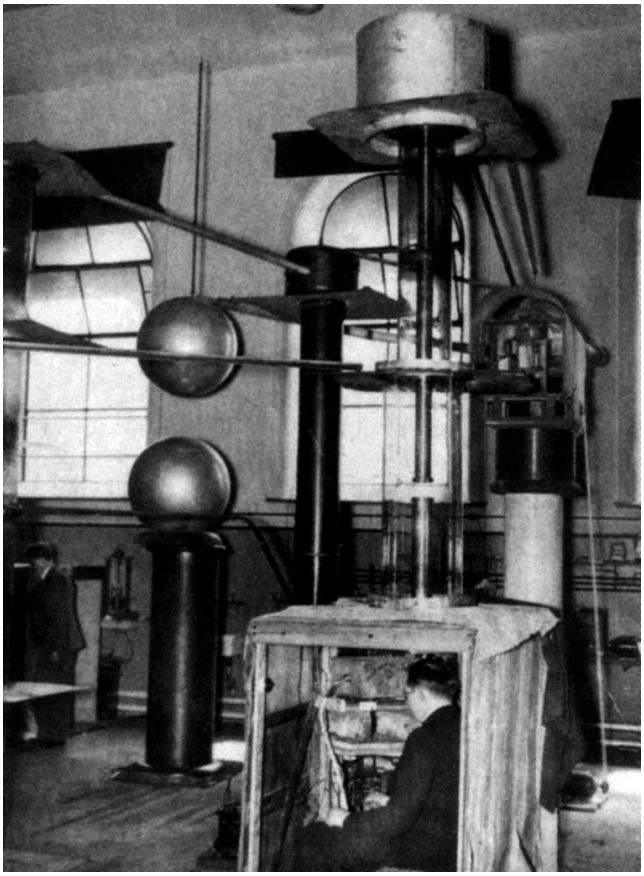


AIP Emilio Sagrè Visual Archives

Sala de pesquisa de Ernest Rutherford, fotografada no início da década de 1920. Foi no Cavendish Laboratory que Rutherford e colaboradores realizaram as primeiros estudos sobre desintegração do núcleo atômico com o uso do método das cintilações.

AIP Emilio Sagrè Visual Archives

A colaboração firmada entre John Cockcroft (à esquerda) e George Gamow (à direita) no Cavendish Laboratory possibilitou o desenvolvimento do primeiro acelerador de partículas.

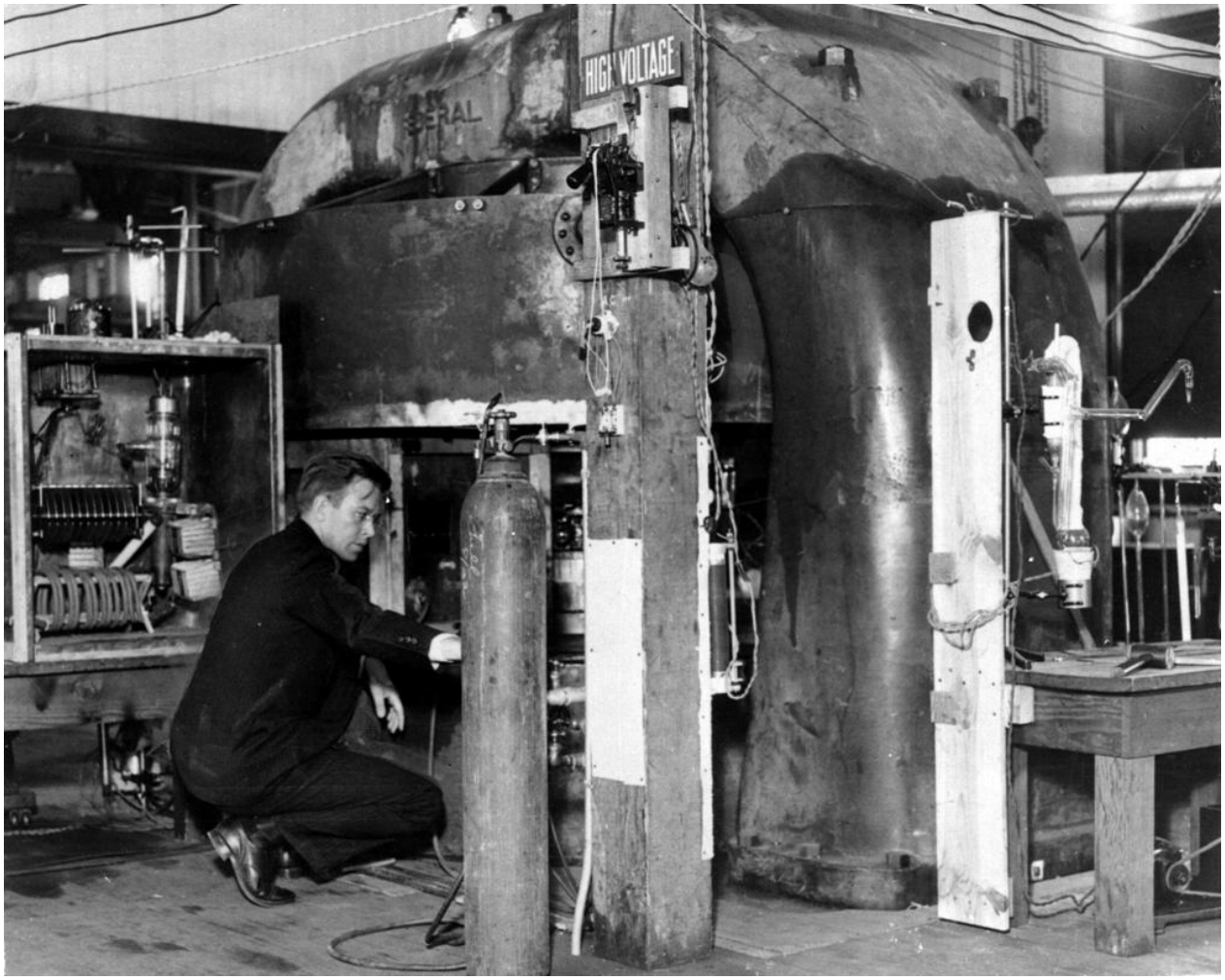


Hughes (2000a, p.45)

Em maio de 1932, John Cockcroft e Ernest Walton produziram a desintegração artificial de um núcleo atômico por meio do acelerador acima apresentado. Nessa foto, Walton aparece observando uma câmara localizada abaixo do tubo que acelerava feixes de prótons a altas energias.

Hughes (2000a, p.47)

John Cockcroft contando partículas subatômicas com um dos instrumentos eletrônicos que substituíram a técnica das cintilações no início dos anos 1930.



AIP Emilio Sagrè Visual Archives

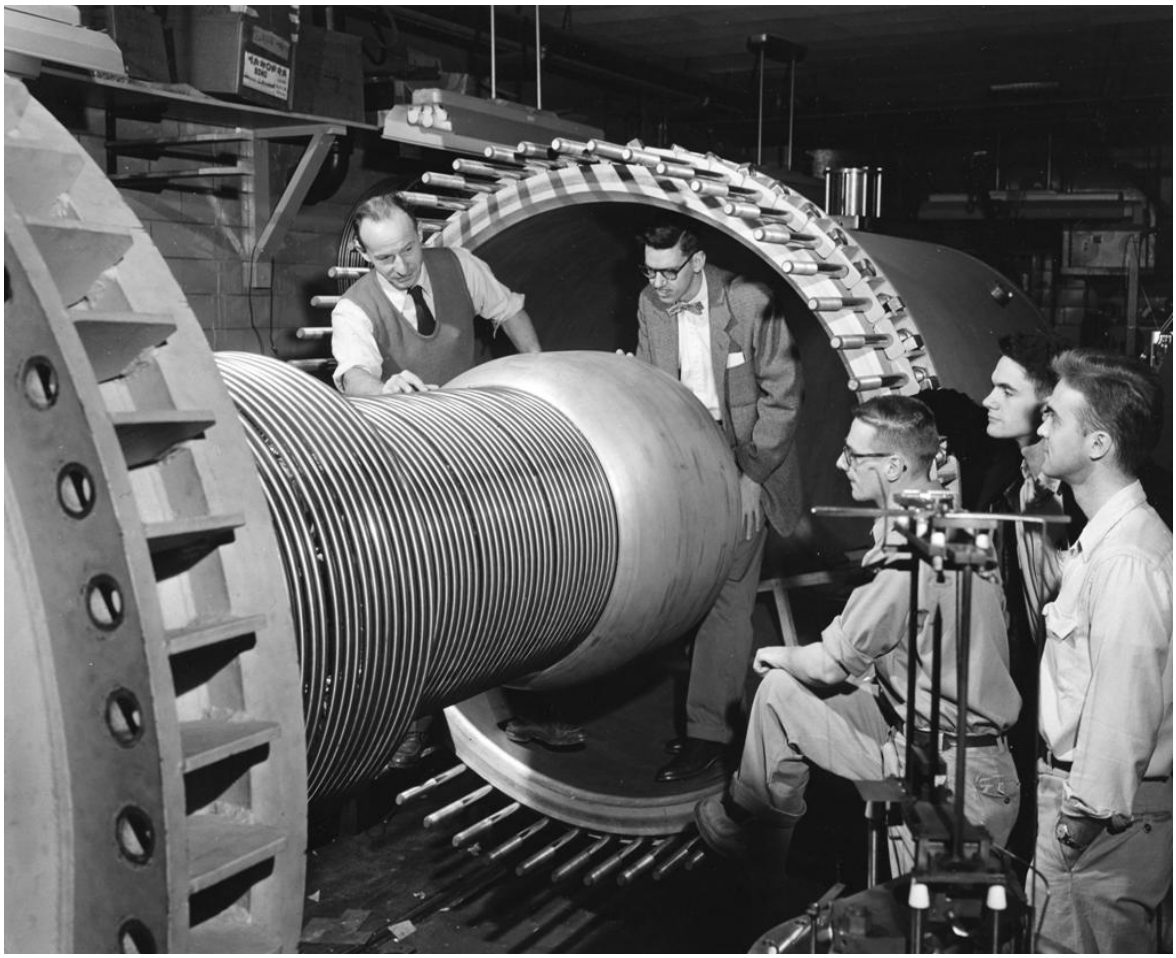
Nos idos dos anos 1930, Ernest Lawrence e o Ciclotron conseguiram projetar a física norte-americana internacionalmente.

AIP Emilio Sagrè Visual Archives

Em 1931, Robert Van de Graaff (à esquerda) apresenta seu gerador eletrostático a Karl Compton.

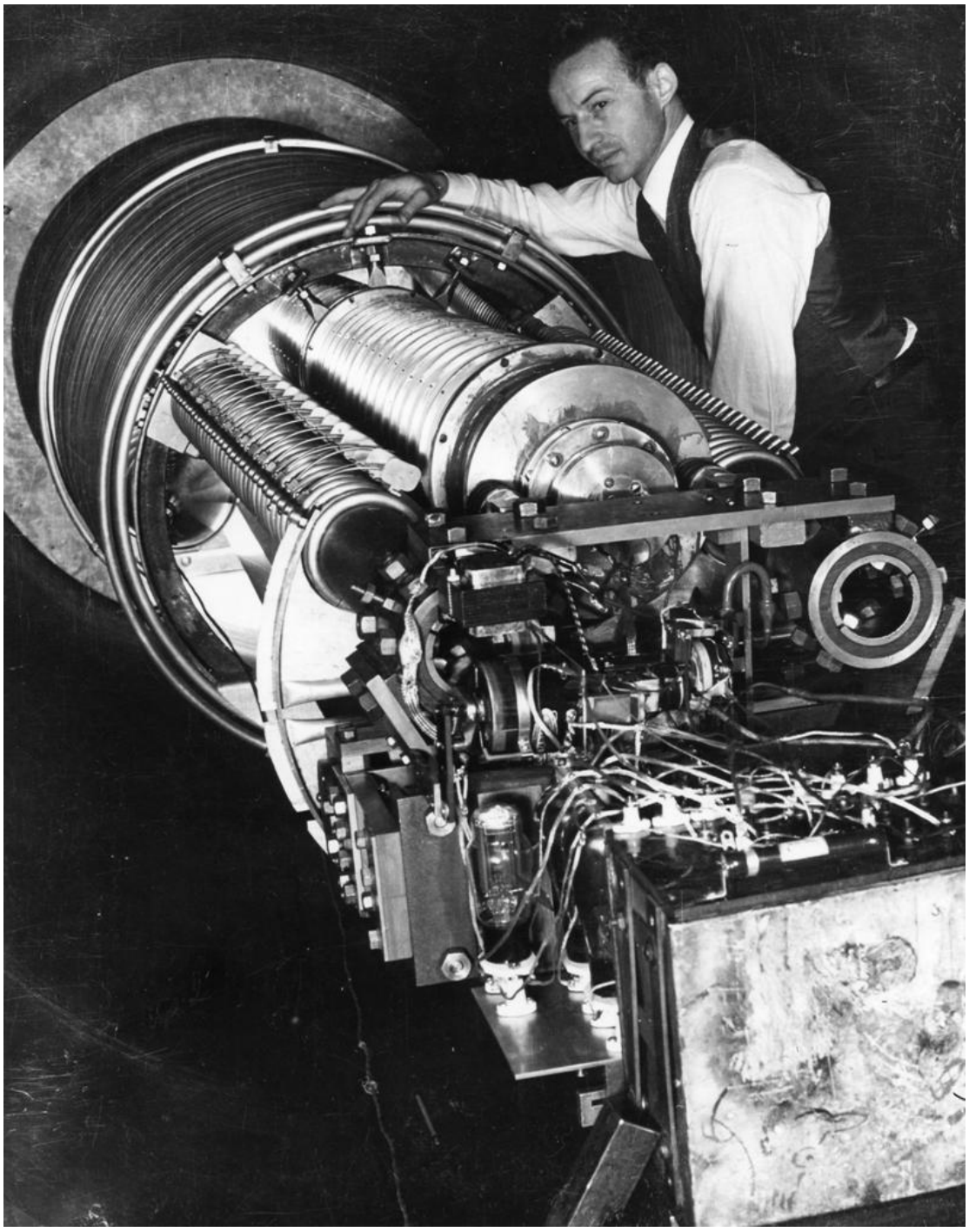
AIP Emilio Sagrè Visual Archives

Donald Kerst e sua máquina aceleradora de elétrons. O Betraton entrou em obsolescência na década de 1950, deixando, porém, um legado de métodos magnéticos de aceleração ainda hoje plenamente empregados nos grandes aceleradores.



AIP Emilio Sagrè Visual Archives

Raymond Herb (à esquerda) e alunos da Universidade de Wisconsin.



AIP Emilio Sagrè Visual Archives

Famoso pelo *design* e desenvolvimento de aceleradores eletrostáticos pressurizados desde a década de 1930, Herb foi um inovador na tecnologia do vácuo e de aceleradores.

AIP Emilio Sagrè Visual Archives

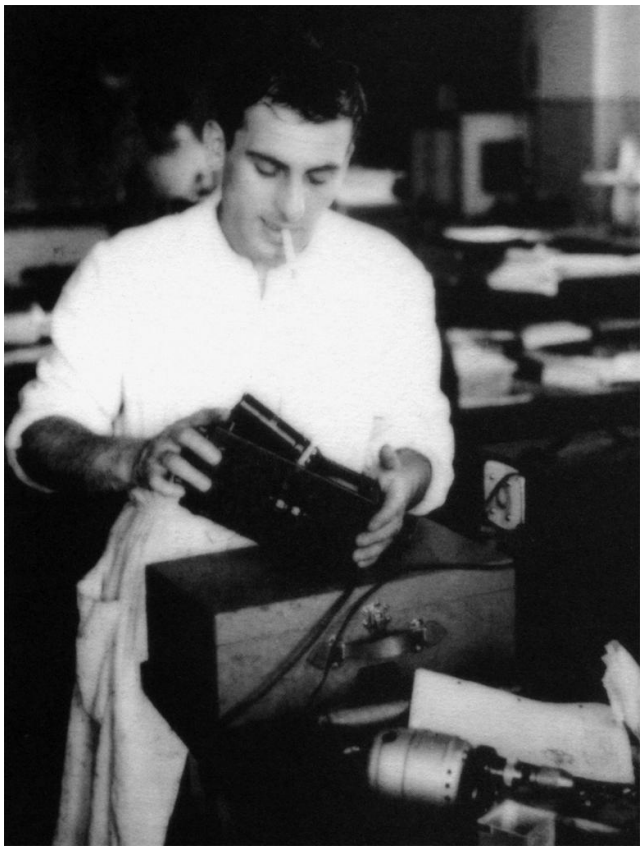
Herb controlando o funcionamento de um acelerador eletrostático.

Arquivo Instituto de Física da USP

Gleb Wataghin, primeiro professor catedrático de Física Geral e Experimental da USP. Seu discernimento e entusiasmo marcaram o desenvolvimento da Física em São Paulo.

Arquivo Instituto de Física da USP

O prédio da Escola Politécnica, situado na rua Três Rios, foi o primeiro abrigo do Departamento de Física, que ainda passaria pelas ruas Tiradentes, Brigadeiro Luiz Antônio e Maria Antônia até se estabelecer na Cidade Universitária.

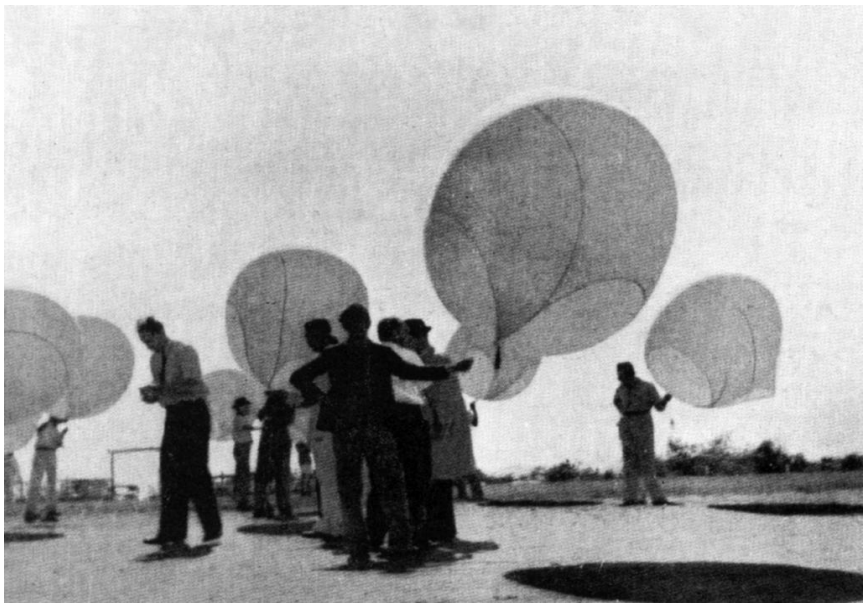


Arquivo Instituto de Física da USP

Giuseppe Occhialini foi elemento importante no desenvolvimento da cultura material da Física dos Raios Cósmicos na USP.

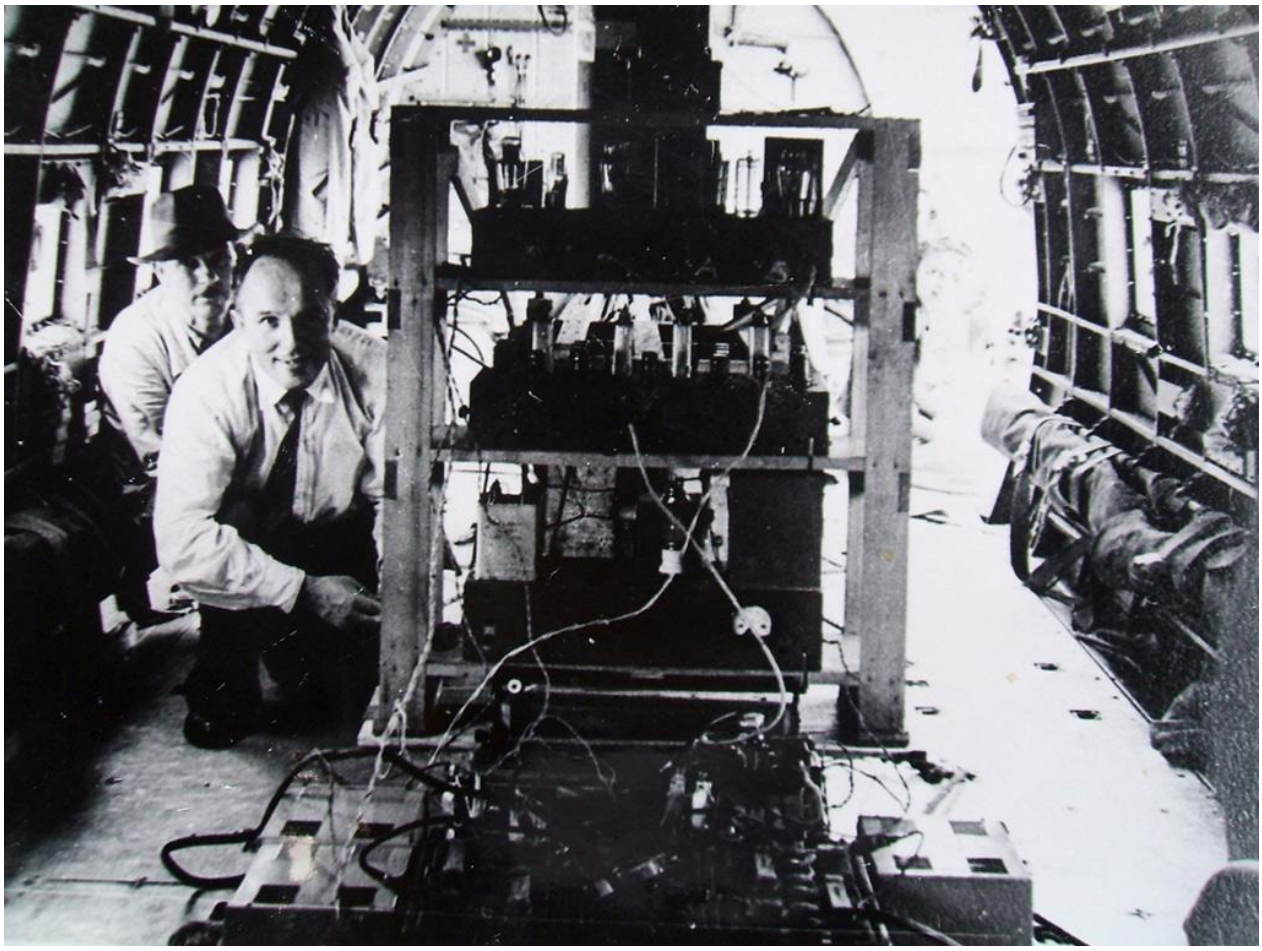
Arquivo Instituto de Física da USP

Marcelo Damy medindo raios cósmicos na Mina de Morro Velho.



Arquivo Instituto de Física da USP

A repercussão dos trabalhos sobre raios cósmicos atraiu para o Brasil a expedição Compton, que, em 1941, realizou medidas na estratosfera por meio de balões de hidrogênio com contadores de partículas.

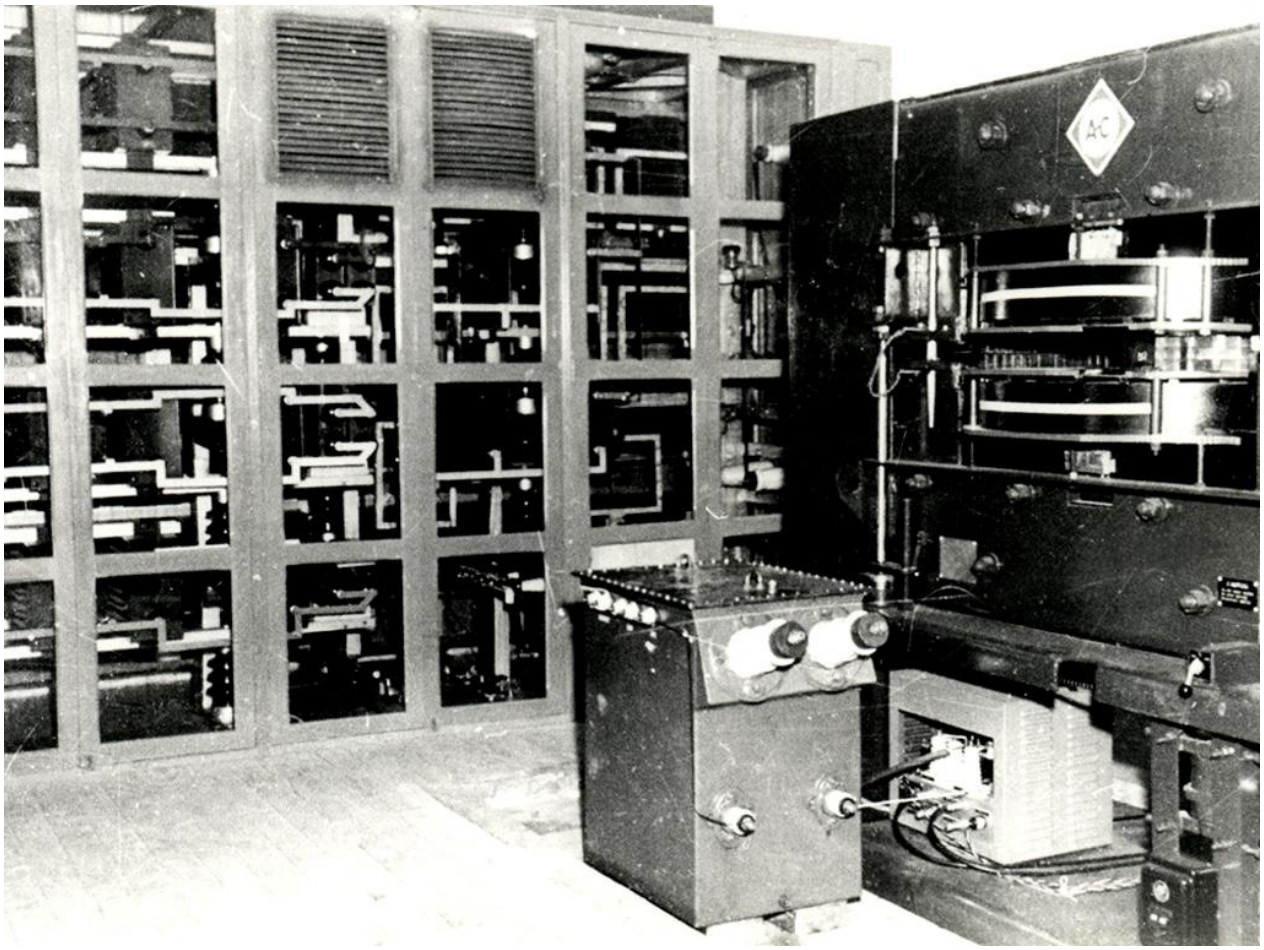


Arquivo Instituto de Física da USP

Wataghin (à frente) e colaboradores utilizavam os aviões da Força Aérea Brasileira para realizar experiências em radiação cósmica.

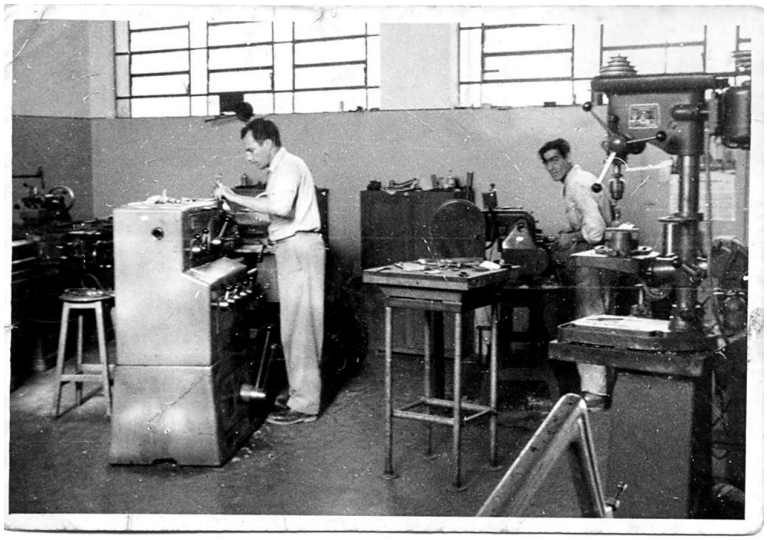
Arquivo Instituto de Física da USP

Edifício do Bétatron. A Física foi o primeiro departamento da USP a ocupar a Cidade Universitária, lá instalando seus aceleradores nucleares e alguns laboratórios didáticos. As aulas teóricas continuaram sendo realizadas na Rua Maria Antônia, até 1969.



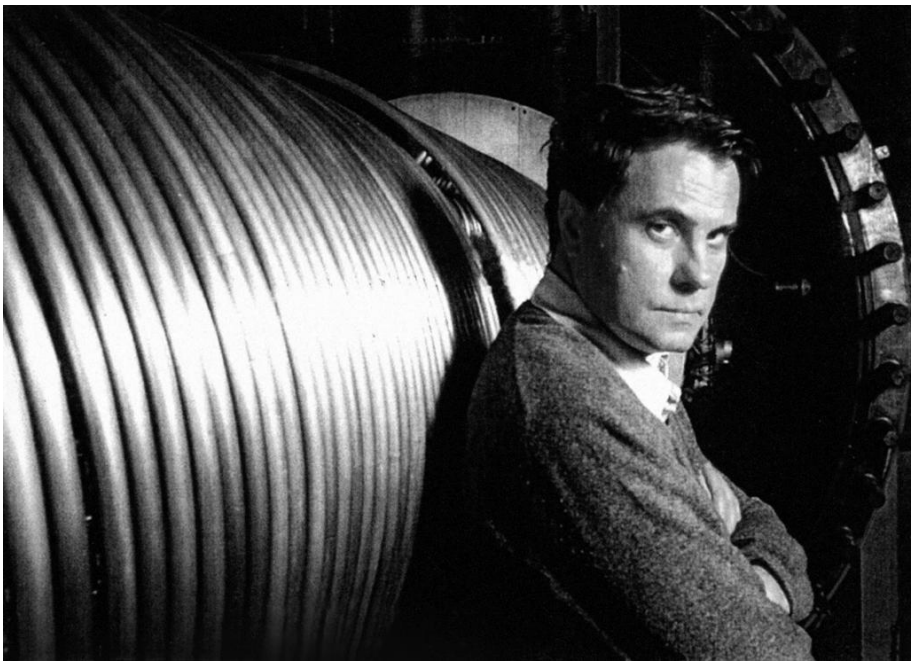
Arquivo Instituto de Física da USP

O Betatron marcou o início da era dos aceleradores de partículas na Universidade de São Paulo.



Acervo Pessoal de Mario Capello

O técnico Mario Capello (à esquerda) na oficina mecânica do Laboratório do Acelerador Van de Graaff (novembro de 1956).



Acervo Pessoal de Oscar Sala

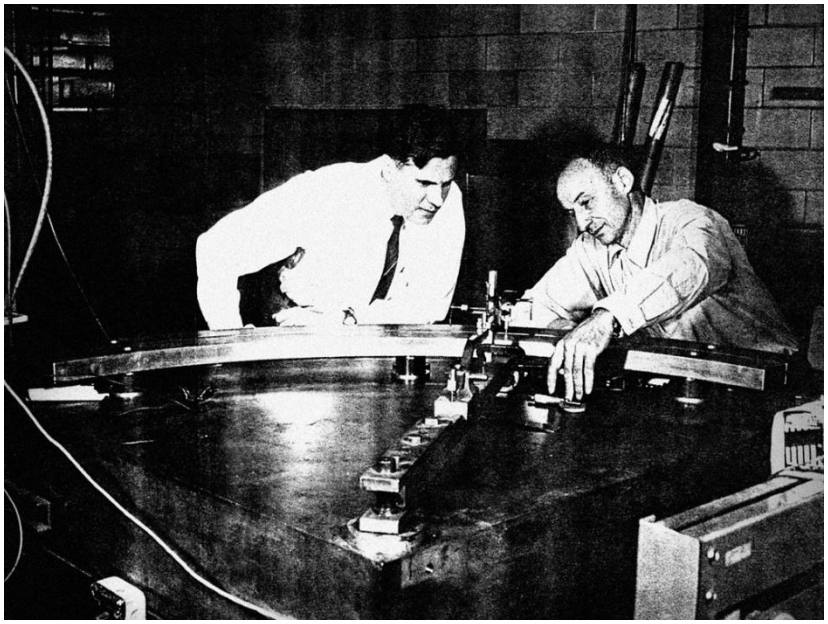
Oscar Sala ao lado dos anéis do Acelerador Van de Graaff.

Arquivo Instituto de Física da USP

Sala de controle do Acelerador Van de Graaff.

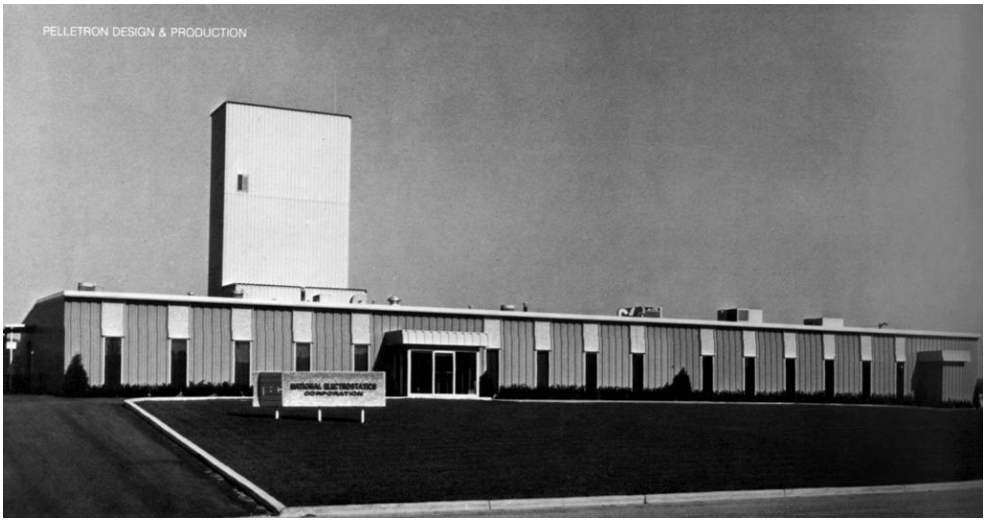
Paul Schutzer/ Revista Life

Oscar Sala no Laboratório do Acelerador Van de Graaff, em março de 1967.



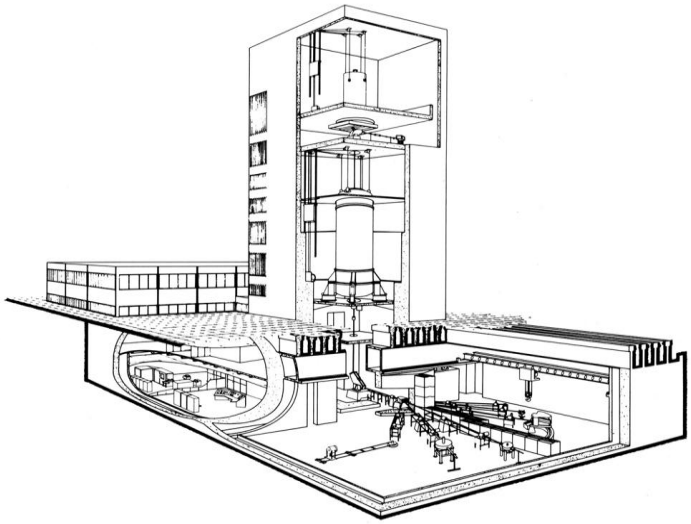
Acervo Pessoal de Oscar Sala

A troca de conhecimentos com Raymond Herb foi uma constante na carreira de Oscar Sala.



Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP

Sede da National Electrostatics Corporation em Wisconsin/EUA.



Sala (1989, p.266)

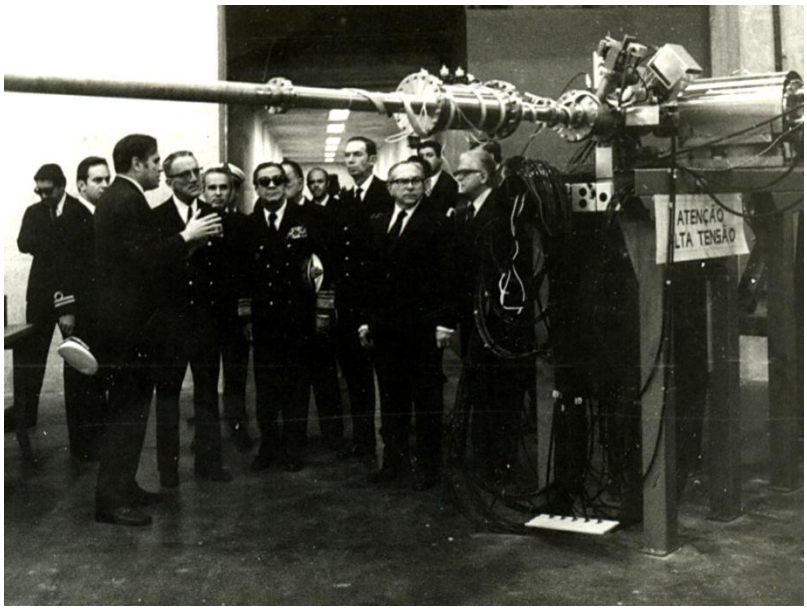
Layout do Acelerador Pelletron 8UD de São Paulo.

Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP

Laboratório do Acelerador Pelletron nos anos 1970.

FAPESP (1973, p.48)

Sala de controle do Pelletron nos anos 1970.



Arquivo do Departamento de Física Nuclear do IFUSP

Realizada em 26 de janeiro de 1972, a inauguração oficial do Laboratório do Acelerador Pelletron foi saudada “garbosamente pela banda da Polícia Militar do Estado com a conhecida música 'Pra Frente, Brasil', tocada em curtos compassos enquanto o ministro subia os primeiros degraus do prédio” (Revista Veja, 2/2/1972).