MAST Colloquia

Vol.2

Memória da Física

FAPERJ

MAST Colloquia vol. 2

Memória da física

Museu de Astronomia e Ciências Afins - MCT

Rio de Janeiro - 2005

Coordenação do MAST Colloquia
Heloisa Maria Bertol Domingues e Alfredo Tiomno Tolmasquim

Transcrição e edição
Micheline Nussenzweig e Angela Viana

Revisão
Marcus Penchel e Sidnei Silveira

Revisão Final
Alberto Delerue

Projeto Gráfico
Vitorio Benedetti e Joana Filizola

Capa
Luci Meri Guimarães

Editoração eletrônica
João C. Guedes

Ficha Catalográfica

Museu de Astronomia e Ciências Afins
M986 Memória da física / Museu de Astronomia e Ciências Afins. Organizado por Heloisa Maria Bertol Domingues. – Rio de Janeiro : MAST, 2005.
168p. (MAST Colloquia, 2)

ISBN 85-86388-12-2

1. História da física. I. Domingues, Heloisa Maria Bertol, org. II. Título. III. Série.

CDU 53(091) M986

Sumário

Apresentação

O presente volume, de um ciclo de conferências do Mast Colloquia, sobre a memória da física brasileira e de áreas afins, tem uma característica cativante: preserva a espontaneidade das conferências. O atraso do seu lançamento, cinco anos após o ciclo, não afeta a mensagem e é oportuno porque enriquece a comemoração no nosso país do Ano Mundial da Física. É tentador contrastar o atual estágio da física brasileira com as condições históricas desenhadas nos depoimentos. O recente estudo da Sociedade Brasileira de Física (Física para o Brasil: Pensando o Futuro; 2005) descreve a rede atual de dezenas de bons cursos pós-graduação, com uma produção total de cerca de 200 doutores por ano. Este mesmo estudo detalha, por outro lado, as inúmeras dificuldades infra-estruturais que permanecem no horizonte da ciência brasileira, principalmente face ao número crescente de jovens pesquisadores sem perspectivas de empregos. Não seria possível prever o atual crescimento da física brasileira a partir da história descrita ao longo do presente ciclo de conferências. Mas continuam os mesmos desafios enfrentados por cientistas brasileiros para criarem "nichos" que possibilitem pesquisas de fronteira. Uma questão existencial sempre emerge de qualquer trabalho que aborda o desenvolvimento da ciência brasileira: é possível vislumbrar qualquer planejamento no desenvolvimento científico nacional ou será que as poucas oportunidades ocorridas foram bem aproveitadas por pesquisadores competentes? Essa não é uma questão para ser abordada num prólogo, mas uma reflexão sobre alguns exemplos pioneiros descritos nesse volume demonstra como são modestos os recursos necessários para o desenvolvimento de uma atividade cientifica competente. Hoje, crescem geometricamente os quadros de cientistas brasileiros em condições de produzir boa ciência no país, mas na área da Física este crescimento ainda continua descolado da realidade econômica nacional. Continua sendo necessária aquela motivação interna que tipifica atividades pioneiras, para se sobrepor as ausências de suporte da sociedade e do estado.

Num rápido vôo sobre os depoimentos, Ildeu de Castro Moreira esboça o quadro do Brasil colonial, chegando rapidamente aos trabalhos em física matemática de Joaquim Gomes de Souza, no Brasil império, e de Otto de Alencar,

Amoroso Costa e Teodoro Ramos, no final do século 19 e no início do 20. Castro Moreira relata o que seria a primeira tentativa nacional em física instrumental, o gerador de raios X de Henrique Morize, e enfatiza o papel de Teodoro Ramos para a organização da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, na década de 1930. Jayme Tiomno, que teve atuação pioneira na fundação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, descreve o início dos trabalhos teóricos de física de partículas no país, principalmente no Rio de Janeiro. Foram contribuições relevantes no período pioneiro que se estende de 1949 a 1960, uma época em que estava ocorrendo um grande progresso na física de partículas. Alberto Santoro complementa o depoimento de Jayme Tiomno, abordando os exemplos de colaborações modernas na área de física de partículas. Finalmente, o depoimento de Amós Troper atualiza a descrição das atividades científicas no CBPF, durante as ultimas décadas. As reminiscências pessoais de Moysés Nussenzveig, a partir da sua iniciação científica na USP, cobrem os grupos de óptica pioneiros e aborda praticamente a formação de todos os grupos nacionais de óptica quântica. Nei F. Oliveira Jr., em depoimento com o mesmo enfoque pessoal, esboça a história da física da matéria condensada, uma tarefa mais extensa porque a pesquisa em matéria condensada alcança a metade da pesquisa acadêmica em física no país. Essa descrição é enriquecida com os depoimentos de Paulo Murilo Castro de Oliveira, sobre seu grupo de mecânica estatística na Universidade Federal Fluminense, de George Bemski, sobre o grupo de biofísica no CBPF, e de Sílvia Tolmasquim e Bartyra Arezzo sobre os cruzamentos pioneiros entre físico-químicos e físicos brasileiros. Humberto Brandi descreve o papel histórico da Sociedade Brasileira de Física e apresenta um panorama geral do ensino e da pesquisa em física no país. Complementando, Fernando Souza Barros expõe a atuação das sociedades científicas brasileiras na questão nuclear.

Fernando Souza Barros

Panorama da física no Brasil*

Ildeu de Castro Moreira

28 de abril de 1999

Repensar a ciência brasileira é um processo que deveria ser permanente, inclusive para traçar os caminhos desses estudos, que não são nada fáceis. Como a maioria dos conferencistas vai tratar das questões atuais da física, porque a física no Brasil já é uma atividade muito vasta e conta com várias áreas, certamente seria uma temeridade tentar fazer um panorama atualizado. Acredito que isto será feito na própria organização dos textos, que deverão abordar a física experimental, a física nuclear e outras áreas.

Minha idéia então é apresentar um panorama um pouco mais histórico, tentando ver como é que se chegou onde estamos. Quando se fala em séculos anteriores no Brasil, é difícil separar somente física de outras coisas, de modo que meu panorama será certamente muito superficial, porque o tema é muito vasto e as épocas que vou mencionar são muito extensas. Se tomamos o Brasil colônia, por exemplo, identificamos situações onde a ciência teve uma presença marcada. Só vou falar de física no sentido mais amplo do termo e vou mencionar eventualmente algumas áreas de interrelação com a física. Como eu acho que a história da ciência no Brasil é pouco conhecida, vou tentar dar mais ênfase a ela do que discutir a situação atual. Farei referência a trabalhos que têm sido realizados em história da ciência. É uma área que está, de certa maneira, se estabelecendo na academia brasileira, e acho importante estimular seu desenvolvimento.

Séculos 16 e 17

Tentar esboçar um quadro muito genérico do estudo que a gente poderia chamar de ciência no Brasil, nos séculos 16 e 17, é complicado. Não se deve entrar em discussões de que tipo de ciência se produzia, mas fazer uma delimitação em termos gerais que incorpore os tipos de reflexão, de estudo, de análise ou de prática que se realizavam utilizando conhecimentos de física e de astronomia.

Evidentemente é sempre mencionado na história brasileira o processo que deu origem ao próprio país, que foram as grandes navegações. Um processo cuja influência os historiadores de ciência, em geral, não destacam muito, mas que teve um impacto muito grande no Renascimento. Todo estudo cuidadoso do Renascimento, em qualquer de seus domínios, percebe a importância das navegações, em que Portugal teve papel muito significativo, para a abertura mental na Europa da época. A própria obra de Galileu *Diálogos sobre as duas novas ciências*, uma das obras que marcaram o início da ciência moderna, tem na capa um navio, coisa bem simbólica do que significou aquilo. Ele abre o livro dizendo que aprendeu muito nos arsenais italianos com a prática dos construtores de navios. Em Portugal, a indústria naval e o conhecimento de cartografia, de técnicas de localização no mar etc., contribuíram bastante para a abertura das idéias em vários aspectos.

Alguns pontos dessa contribuição marcam até um pouco a mentalidade ou o tipo de cultura que veio a ser desenvolvido no nosso país. A exploração do Novo Mundo, as descobertas, os novos materiais que foram levados para a Europa constituíram importante fonte de conhecimento. Outra, evidentemente, foi o desenvolvimento daquelas técnicas. Em particular, o desenvolvimento da astronomia nos séculos 16, 17 e 18, em função da necessidade de localização no mar, depois a determinação de fronteiras, isto é, a localização de um ponto sobre a superfície da Terra por meios astronômicos. Era uma questão econômica, política e militar importante. Ao longo daqueles séculos, várias das expedições que os portugueses promoveram no Brasil foram exatamente para medir, tinham sempre astrônomos que faziam medições de localização para poder elaborar os mapas.

Nos *Lusíadas*, em vários momentos, representando o espírito das conquistas portuguesas, Camões fala da importância da experiência, central no desenvolvimento da ciência moderna. O discurso, digamos assim, escolástico, que vinha desde os gregos, reformulado na Idade Média, do conhecimento do mundo baseado nos textos de Aristóteles, foi de certo uma contribuição muito importante, mas que naquele momento não dava mais conta da realidade. Então as descobertas feitas nessas navegações, que confrontavam as idéias anteriormente vigentes do pensamento intelectual do final da Idade Média, foram importantes para construir uma nova visão do mundo. O fato de o Novo Mundo ter sido atingido pela civilização naquele momento europeu serviu muito, retroalimentou muito a maneira como as coisas se desenvolveram na Europa, em particular a ciência. A ciência surge mais ou menos ao mesmo tempo que o capitalismo mercantil, a expansão do mundo que se dá naquele momento. A ciência nasce pari passu com

isso. Nesse processo, a nossa natureza e, de certa maneira, os portugueses tiveram um papel importante.

Nos séculos 16 e 17, a ciência brasileira não pode sequer receber esse nome, porque o país era então uma terra a ser descoberta, sendo explorada em graus ainda muito limitados. Durante 200 anos de colonização portuguesa, quase todas as cidades brasileiras eram na costa. O caminho daqui para Minas Gerais foi aberto em 1700, dois séculos após a chegada dos portugueses. Antes disso, era uma trilha de burros, não se podia nem chamar de estrada. É claro que havia incursões, mas através de picadas, pelos bandeirantes, que tiveram um papel importante, mas em termos de estrutura a sociedade brasileira era montada em outras realidades, em particular o escravismo. Houve o ciclo do açúcar no Nordeste, que foi importante do ponto de vista técnico. Depois, a descoberta do ouro em Minas Gerais, que provocou uma corrida mais intensa que a da Califórnia. Minas Gerais se encheu rapidamente de pessoas dos mais variados lugares e isso levou a uma modificação dos ciclos econômicos diversos em torno da mineracão. Os interesses e as técnicas desenvolvidos nesse caso também foram diferentes, estimulando a busca de conhecimentos diversos. Mas não se pode falar de maneira nenhuma de uma ciência estabelecida. Nada parecido com isso. Mesmo porque na Europa, nesse momento, a ciência estava também sendo criada, não havia uma institucionalização maior, que ela só veio a ter a partir do final do século 17.

Apareceram técnicas importantes em que os portugueses tiveram um papel significativo, como nas construções militares, mas aí é mais uma questão de engenharia civil. Eles espalharam 300 grandes fortificações pelo território brasileiro durante esse período. Carlos Ziller tem um trabalho interessante sobre Valentim Stancel, um jesuíta que fez observações de cometas na Bahia em torno de 1650, escreveu alguns livros e teve até a importância histórica, do ponto de vista da ciência, de ter sido citado nos *Principia* de Newton, a obra mais importante da física clássica. Observações astronômicas foram feitas também pelos holandeses no Recife, onde Marcgraff e Piso criaram um observatório, mas foi coisa que durou poucos anos, em função da expulsão dos holandeses. Também com os holandeses e outros, foi importante nesse período a difusão de livros sobre a natureza do Novo Mundo. Os viajantes levavam para a Europa um grande catálogo das plantas e animais diferentes que viam aqui. Isso forçou um reestudo da classificação biológica a partir do Renascimento.

Nos séculos 16 e 17 houve um controle muito rígido do ensino pelos jesuítas, com escolas basicamente para aprender a ler e escrever. Não havia instituições

superiores no Brasil, que só vamos ter a partir do século 19. A proibição completa de imprensa, da publicação de quaisquer livros, criava uma dependência direta de Portugal, que a partir do século 16 entrou também em decadência em relação ao resto da Europa em termos científico e técnico. Até 1550-1580 Portugal estava na vanguarda da tecnologia naval, sem dúvida nenhuma, e também em uma série de outros avanços. Quando começa o século 17, por vários fatores históricos muito debatidos entre os historiadores, verifica-se uma decadência em relação a França, Itália, Inglaterra, onde o desenvolvimento científico se processa em ritmo acelerado. E esse processo se reflete no Brasil.

Século 18

O mesmo sistema dos séculos 16 e 17 prevalece aqui pelo menos até 1759, com os jesuítas monopolizando o ensino. Eles certamente tiveram um papel importante em vários aspectos, mas o ensino foi completamente controlado por um único viés durante 250 anos, o que certamente cortou muitas possibilidades. Onde se ensinava em termos técnicos era nas escolas militares, devido ao interesse português de defender e ampliar as colônias. No começo do século 18 ocorreram várias invasões francesas, em particular no Rio de Janeiro, o que forçou a cidade a se fortificar. O governo português começou a enviar para cá vários oficiais que tinham alguma formação técnica, para construir fortalezas, instruir sobre como produzir pólvora, atirar com mais precisão etc. Em torno de 1730, o Rio de Janeiro era talvez a cidade mais fortificada do mundo e tinha um poder de fogo relativamente grande, embora a questão da competência técnica, do uso de armas, fosse deficiente, como reconhecem os próprios instrutores da época.

A cobiça de outras nações européias forçou então no começo do século 18 a criação de várias alas de fortificação: a do Rio de Janeiro, a da Bahia, a de Pernambuco. Personagem importante nessa história é Alpoim, autor de um dos primeiros textos técnicos com propósito de formação, para o exame de lançadores de bombas. Antes, há um exame de artilheiros, que é obra muito interessante, escrita aqui no Rio embora publicada em Madrí - não podia ser impressa aqui. Esse livro é de 1748 e o autor, um engenheiro português formado em Portugal, aluno de Azevedo Fortes, que tinha influência grande do pensamento cartesiano e foi um dos que divulgaram a obra de Descartes em Portugal, mas que conhecia também razoavelmente o que a gente chama hoje de física newtoniana, pelo menos newtoniana até 1700 e poucos.

Alpoim discute no seu livro a maneira de se atirar uma bala, que segue uma parábola. Cita Galileu e os grandes físicos da época, Boyle, Newton, procurando a aplicação dos seus conhecimentos de um ponto de vista muito operativo, muito direto, sem nenhuma discussão teórica. É um livro para ensinar o artilheiro a atirar direito. Embora tenha problemas interessantes no apêndice, como o primeiro método fácil de saber o número de balas e bombas nas pilhas, ou seja, como empilhar bala de canhão, que é basicamente uma bola. Empilhavam de várias maneiras, como os feirantes empilham laranjas, que é considerada uma das maneiras mais eficientes, a que empilha o maior número. Quantas laranjas você pode empilhar no menor volume possível? É uma questão de matemática profunda, resolvida há cerca de três, quatro anos, e a demonstração desse teorema tem umas duzentas páginas. Numa fortaleza o espaço do paiol era reduzido. Quando havia um cerco, era preciso maximizar o espaço empilhando as balas da melhor maneira. O livro mostra com pequenos desenhos como fazê-lo. Isso é mais uma curiosidade, mas o livro, junto com o exame de artilheiros, foi a primeira obra técnica didática feita aqui. E deixa esse registro: o interesse básico era o militar.

Nesse mesmo momento, meados do século 18, a ciência que era desenvolvida na França, na Inglaterra ainda tinha evidentemente uma ligação grande com o desenvolvimento militar do Renascimento, mas já havia decolado para outros patamares. Mas não se pode dizer de maneira nenhuma que aqui se fazia uma ciência comparável com a que havia lá. Alpoim inventa, porém, algumas coisas. Inventa o que chamou de esquadra diretora. "Na aula de artilharia em que sou lente fiz várias experiências", diz ele, "e sempre achei que a esquadra diretora [um aparelho que concebe para ajudar a precisão do tiro] correspondia ao conceito que deram à física quando o inventei." Relata que fez várias experiências e ressalta a importância de se desenvolver mais as técnicas e, portanto, o estudo no Brasil. É um personagem que pelo menos merece referência, embora seja de certa maneira um pouco isolado.

Nesse período também começam a aparecer no Rio de Janeiro as aulas de filosofia. Depois de 1760, com a expulsão dos jesuítas, ocorre um certo gap, um hiato na educação brasileira, e isso é um problema enorme, porque eram os jesuítas que davam aulas, que formavam as pessoas, com todas as deficiências que tinham. Em certo momento esses colégios foram esvaziados. O que os substituiu? Começaram a aparecer os primeiros professores leigos, pagos pelo Estado, mas de uma maneira muito lenta, e algumas primeiras escolas, tipo aulas de filosofia, começam a surgir também.

Do ponto de vista da física e da astronomia, merecem registro uns poucos eventos mais significativos, alguns referentes à passagem de cientistas por aqui. Por exemplo, Halley, o do cometa, em 1699-1700, fez uma viagem pela costa do Brasil, em particular Rio de Janeiro, Cabo Frio, fazendo medições do campo magnético da Terra, sobre cuja origem e comportamento formulou uma teoria. Halley é dos primeiros a fazer uma excursão no hemisfério sul com objetivo específico de realizar medições.

O francês Couplet, um pouquinho antes, esteve na Paraíba para medir a atração gravitacional. Trouxe um pêndulo, que batia o segundo em Paris, mais ou menos com um metro de comprimento. A cada segundo ele dava uma oscilação. O pêndulo é um aparelho muito importante na física porque permite uma precisão grande de medidas de tempo. Nesse período havia uma disputa entre os dois sistemas predominantes para descrição do mundo físico, que eram a visão cartesiana e a visão newtoniana. Newton atribuía à Terra uma forma achatada e Descartes ou os cartesianos lhe davam uma forma alongada como a de um melão. As duas teorias previam que o pêndulo teria um comportamento diferente. A cartesiana previa que o relógio de pêndulo bateria mais rápido nas proximidades do Equador. A newtoniana, que bateria mais lento porque, segundo Newton, quanto mais longe se está do centro da Terra, mais fraca é a atração. O período do pêndulo mede indiretamente o valor da força gravitacional. Além disso, havia o efeito da rotação da Terra, que também contribui para efetivamente diminuir um pouco a atração no Equador. Couplet era da Academia de Ciências da França e ficou uns dois meses na Paraíba, medindo realmente o atraso do pêndulo. Embora as medições não fossem muito boas em termos de confiabilidade experimental, justificaram o sistema de Newton, tiveram esse papel indireto.

Outra missão mais ligada à realidade da colônia foi a famosa missão dos padres matemáticos, com dois padres jesuítas, um português e um italiano, contratados por Portugal para fazer demarcações e medições topográficas. De Cabo Frio até Santa Catarina eles fizeram durante sete anos uma série de medições que serviram para a produção de mapas mais detalhados sobre a situação e localização do Brasil. Merece referência rápida a famosa expedição de La Condamine, um astrônomo francês importante, que veio também com o objetivo de medir o atraso do pêndulo e, além disso, o comprimento do meridiano, porque outra maneira de saber se a Terra era achatada ou não seria medir o comprimento de um arco entre dois pontos na sua superfície. Essas medições foram feitas em 1730, na Finlândia, no Equador e no Peru, de onde La Condamine desceu o rio Amazonas.

Posteriormente, medições importantes foram feitas na expedição de Alexandre Domingos Ferreira, naturalista português que produziu um material belíssimo de caráter mais geral, observando tudo, em particular com medições astronômicas e de localização.

São quase episódios isolados, que registram um interesse localizado em torno de conhecimentos astronômicos e físicos de um ponto de vista bem genérico. Vejam que não há nenhum interesse científico maior no próprio país, não há nenhuma motivação. As condições do Brasil nesse período, até a baixa densidade populacional, não propiciavam isso. É algo que deve ser revisto se levarmos em conta a população indígena, mas evidentemente a população indígena do Brasil, ao contrário do que acontecia na Índia, na China, no México, no Peru, encontrava-se num estágio de desenvolvimento tecnológico muito distante da Europa, o que dificultava alguma coisa significativa. Embora não se desconheça que vários dos conhecimentos indígenas hoje são até usados pelas multinacionais na fabricação de remédios, drogas. Não deixa de ser um conhecimento científico do mundo, embora expresso de maneira diferente.

Devo ainda mencionar La Caille, astrônomo francês que integrou o que hoje chamaríamos de um programa internacional para fazer uma série de medições dentro de um projeto científico. Criou-se na Academia de Ciências de Paris um programa de observação de estrelas que incluía os hemisférios norte e sul. Várias medições feitas em Portugal eram repassadas a esse centro, que se articulava com o Observatório de Paris. Aquele cientista veio ao Rio de Janeiro em 1750 com o objetivo de elaborar um catálogo de estrelas. Esteve também na África do Sul e fez um catálogo de estrelas que foi muito importante durante décadas. É interessante o relato que deixou de sua passagem pelo Rio, incluído num livrinho publicado agora pela Uerj e a José Olympio, intitulado *Viagens ao Brasil Colonial*. São vários relatos de viajantes que passaram pelo Rio de Janeiro nos séculos 17 e 18. O francês fala de suas observações na Rua do Rosário e comenta um pouco como era a cidade nesse período.

O que temos, pois, é a presença de observadores, pessoal técnico de fora, que vem aqui em excursões específicas, em geral muito controladas. O governo português não deixava entrar nenhuma expedição científica estrangeira até o século 19. Humboldt, por exemplo, na sua famosa expedição do final do século 18 à América, foi proibido de entrar no Brasil. Pode-se até discutir razões políticas, de interesse militar ou outras, mas o fato é que basicamente só havia expedições científicas do tipo da de Alexandre Domingos Ferreira ou dos padres matemáticos, or-

ganizadas pelo governo português, ou então passagens eventuais. La Condamine esperou bastante para poder descer o Amazonas e ter autorização de fazer algumas medições na região. Os portugueses eram muito ciosos, nada bobos sobre o que significava o conhecimento do território. Havia um propósito claro de impedir que as informações se difundissem amplamente. Em particular, mantinham um controle estrito dos seus textos sobre construção naval, tanto que os holandeses, os ingleses etc., quando tomaram terras portuguesas, desenvolveram suas marinhas com rapidez. Um livro muito bonito e importantíssimo na história brasileira, *Cultura e opulência do Brasil* por suas drogas e minas, escrito em 1710, foi proibido de sair, porque indicava o caminho novo para atingir as minas.

É difícil caracterizar, fazer uma separação clara entre conhecimento científico e técnico. Mas pode-se dizer com clareza que até 1800, além de um pensamento às vezes um pouco mais elaborado nas escolas jesuíticas, só temos no Brasil eventos episódicos do ponto de vista do desenvolvimento científico-tecnológico. E evidentemente têm destaque maior, pelos interesses já mencionados, a astronomia e a história natural.

No final do século 18 ocorre a reforma pombalina em Portugal, o despotismo ilustrado exerce grande influência lá e vai ter repercussão no Brasil, em particular com a expulsão dos jesuítas e a reforma da Universidade de Coimbra. Começa nas universidades portuguesas o ensino regular de química e de física, a pesquisa de laboratório, que até então não passavam de ocorrências muito esporádicas. De maneira organizada, isso começa em torno de 1770. Nesse momento há um afluxo muito grande de brasileiros nas universidades portuguesas e francesas. Nas universidades de Montpellier, Coimbra etc., entre 1770 e 1810, um grande número de estudantes brasileiros se forma, alguns retornam e outros ficam na Europa. Um exemplo típico é José Bonifácio, grande mineralogista, que volta no início do século 19, mas ligado à missão política da independência.

Tenta-se por essa época, no Rio de Janeiro, a criação das primeiras academias. As pessoas que se dedicavam ou tinham interesse em ciência buscam se organizar em torno das primeiras entidades, de caráter ainda muito fluido. Uma das primeiras é a Academia Científica do Rio de Janeiro, que dura poucos anos, aparentemente por falta de estímulo e interesse maior. A Sociedade Literária, que vai de 86 a 90, já apresenta uma série de trabalhos de algum interesse mais geral em física, muito pouca coisa em astronomia, e mais na área médica e de história natural. Mas ela sofre uma repressão quase imediata: depois de quatro anos é fechada pelo governo português, os participantes são presos e sofrem uma série de penalidades.

Os autos da devassa dessa Sociedade Literária foram publicados há uns cinco anos pela Faperj e Uerj, retratando um momento histórico significativo. Muitos dos trabalhos da sociedade, guardados por quase 20 anos, seriam publicados no começo do século 19 pelo Patriota, jornal carioca editado em 1813 e 1814.

Importantes medições foram feitas ainda no Rio de Janeiro por dois portugueses, Pedro Sanches Dorta e Francisco de Oliveira Barbosa. Basicamente vieram também fazer observações topográficas, medições astronômicas e começar a estudar a questão do tempo, da previsão do tempo, o comportamento do clima. Dorta tentou traçar uma carta das correntes marítimas na Baía de Guanabara, mas parece que não conseguiu avançar muito nessa direção - era muito difícil naquela época uma precisão sobre correntes, hoje é difícil, imaginem então, com as deficiências experimentais e sem modelos teóricos adequados. Mas eles fizeram uma série de medições interessantes, algumas astronômicas e sobretudo meteorológicas. Por exemplo, das temperaturas médias no Rio durante quase dez anos, feitas diariamente no Morro do Castelo, de manhã, ao meio-dia e à noite, com os melhores aparelhos da época. Temos um relato dos aparelhos que utilizavam, fabricados na Inglaterra, na França. Há também uma série de observações sobre a quantidade de chuva, pressão atmosférica. São medições cuidadosas que merecem um trabalho comparativo com as realizadas hoje. Eles registraram uma temperatura média de 22,9° C no Rio de Janeiro. Cem anos depois, Luiz Cruls fez medições similares no Observatório Nacional, que na época não tinha esse nome, e a média foi a mesma. Creio que hoje não mudou muito.

No próximo ano estaremos comemorando o bicentenário dos cursos de física no país. Os primeiros, com aula, livro-texto, alguns experimentos elementares de laboratório, foram no seminário de Olinda, em 1800, iniciativa do bispo Azeredo Coutinho, que se formou em Portugal e trouxe a idéia do Colégio Real dos Nobres. O seu pequeno laboratório tinha algumas máquinas eletrostáticas que eram consideradas muito interessantes na época.

Século 19

O grande acontecimento político a seguir foi a instalação da corte portuguesa no Rio de Janeiro, o que mudou a cara da cidade e o status da colônia, onde as instituições da metrópole tinham de ser recriadas. Em 1810 é a Real Academia Militar, que em 1874 se transformaria na Escola Politécnica, origem da Faculdade de Engenharia da UFRJ. Ali surgem os primeiros cursos organizados de engenha-

ria, com importantes livros-texto, como o de cálculo de Euler, o de Laquaye, o de ótica de Auric, utilizados na Politécnica de Paris, criada poucos anos antes com a Revolução Francesa, e que foram adotados aqui. O número de alunos era pequeno e a escola visava basicamente a uma formação militar. A separação entre ensino militar e civil só se dará em meados do século. A essa altura, passados já 350 anos da nossa história, ainda não tínhamos propriamente um curso de formação em ciência. As universidades européias contavam mais de seis séculos, mas a do Brasil só seria criada, a duras penas, em 1920.

O que interessa dizer sobre o século 19, do ponto de vista das ciências naturais, é que a biodiversidade do Novo Mundo influiu de maneira significativa na formulação da teoria da seleção natural por Darwin e Wallace. O panorama geral era esse: o cientista estrangeiro vem aqui, absorve conhecimentos, analisa questões naturais localizadas e as incorpora num sistema maior. Mas uma destacada exceção à regra foi Fritz Müller, que passou a trabalhar diretamente no Brasil. Ele chegou por volta de 1850 e ficou até a sua morte, em 1897. Foi um dos mais importantes cientistas do século. O *Dicionário de Biografias Científicas*, talvez o dicionário científico internacional padrão, registra apenas três ou quatro pesquisadores que trabalharam no Brasil e Müller é o que tem maior verbete. Papel muito importante desempenhou o seu livro Fatos e argumentos sobre a teoria de Darwin. Escrito em alemão, teve tradução para o inglês paga do próprio bolso por Darwin, que viu várias de suas idéias confirmadas ali através da observação de crustáceos e outras espécies realizada por Müller em Santa Catarina, onde viveu. Um impacto significativo.

Em astronomia o fato marcante foi a criação do Observatório Nacional, em 1827. O início foi precário, de certa maneira só deslancharia em meados do século, com o trabalho do Millet e do Cruls, que lhe dariam uma característica de instituição de pesquisa. Mas a história do Observatório é cheia de altos e baixos nesse ponto.

Em 1850 o físico francês Foucault mostrou que um pêndulo muito grande - uma massa de algumas toneladas presa a um cabo bem comprido - que pode oscilar durante muito tempo tem um plano de oscilação que vai girando aos poucos. Esse giro, essa precessão do plano de oscilação do pêndulo, é uma medida direta do movimento de rotação da Terra. Se a Terra não girasse, o pêndulo também não o faria. Se um pêndulo estiver oscilando no Pólo, em 24 horas a Terra terá dado uma volta por baixo e o plano dele também dará uma volta. No Rio de Janeiro, creio que uma volta completa leva 67 horas. No Equador, não gira nunca. Então

aqui é necessário construir um pêndulo que oscile durante 67 horas sem parar, com uma cuidadosa suspensão que permita isso, porque um pequeno torque em cima pode impedir o movimento oscilatório. Quatro meses depois de Foucault, a experiência foi refeita aqui por Cândido Baptista de Oliveira, professor da Escola Politécnica, que publicou uma discussão teórica a respeito nas melhores revistas da época. Nos Proceedings da Royal Society encontra-se a apresentação do trabalho dele por Charles Babbage, cientista inglês importante que criou um dos precursores do computador. Oliveira teve problemas com seu aparato e a análise teórica apresenta alguns furos. Mas foi uma pesquisa, também mais ou menos isolada, de qualidade internacional, satisfazendo todos os cânones que o CNPq hoje exige. Cândido Baptista de Oliveira foi aluno, na Politécnica de Paris, de Biot e Arago e, regressando ao Brasil, tornou-se senador. Foi o primeiro a propor a criação do Observatório Nacional e a introdução do sistema métrico no Brasil. Batalhou por isso vários anos, mas o sistema só seria adotado após a sua morte.

Menciono mais duas coisas importantes no final do século 19. Uma é o surgimento de alguns cientistas, certamente formados pela Escola de Engenharia, que vão começar a trabalhar na área que chamaríamos hoje de física matemática. Temos o Joaquim Gomes de Souza, que nasceu em 1829 e morreu moço, em 1863, aos 34 anos. Faz um curso brilhante na Politécnica, viaja à Europa por motivo de saúde e morre pouco depois. Publicou alguns artigos importantes de física matemática, um deles sobre propagação do som a partir de uma equação de onda. Discute vários resultados matemáticos, basicamente resolução de equações diferenciais, sem um impacto importante no desenvolvimento internacional da ciência mas localmente significativos, no nível do que fazia um bom matemático europeu da época. Ficou famoso no Brasil e foi considerado um gênio. Aqui temos essa tendência com nossas personalidades, tão raras no panorama científico que logo são colocadas num pedestal. Até por isso é difícil uma análise histórica. Se alguém disser que o Souzinha tem um erro, logo contestam, porque é considerado um gênio. Amoroso Costa, matemático do início do século 20, fez anotações nas margens de um livro que o Souzinha escreveu e foi publicado depois de sua morte. Creio que se chama Mélanges de calcul différentiel. As notas criticam possíveis deficiências e coisas interessantes que o Souzinha desenvolveu, mas nunca foram publicadas. Em todo caso, o Souzinha é importante porque começa uma tradição de física matemática.

Na seqüência aparece Otto de Alencar. Embora não tenham sido contemporâneos, Otto se escora muito, e cita isso com freqüência, no trabalho do Souzinha,

por este ter tido destaque na Europa e, ao vir ao Brasil dar uma conferência, o Imperador ter ido assistir. Enfim, Souzinha virou uma personalidade e propiciou o surgimento de cursos de ciências na Escola Politécnica. Formavam-se bacharéis em ciências matemáticas ou físicas e Otto de Alencar foi um dos alunos. Como Souzinha, todos morrem cedo, o Otto, o Amoroso Costa, que foi aluno do Otto, o Teodoro Ramos, aluno do Amoroso, os matemáticos mais brilhantes dessa série, todos morrem aos 40 anos ou antes. Começava assim uma tradição em física matemática. Hoje, com um padrão importante em pesquisa, o Impa é certamente uma referência. A origem do Impa está no Lélio Gama, da geração formada por Amoroso Costa, por Erbil Oliva. É uma tradição que remonta ao século 19, à importância que se dava à matemática na Escola Politécnica, apesar do atraso causado pelo positivismo ao ensino. Otto de Alencar seria o primeiro a criticar essa influência negativa, escrevendo o famoso artigo "Alguns erros de Comte". Na época era preciso ter coragem intelectual para criticar Comte no Rio de Janeiro.

Outro dado significativo do final século 19, que também tem relação com o Observatório Nacional, é um certo início de trabalhos no que se chamaria hoje física experimental. Um aparelho usado por Henrique Morize, que foi diretor do Observatório e durante muitos anos professor de física experimental da Escola Politécnica, consta de um tubo de raios-X, uma bobina grande, que gera a diferença de potencial para fazer funcionar o tubo, e um motor que gira a grande velocidade. Com esse aparato ele tentou medir o tempo de duração de uma emissão de raio-X. Os raios-X eram produzidos através de ampolas de vidro em que se fazia vácuo. Interpretando em termos de hoje: tem-se um feixe de elétrons, um fio e uma placa, gera-se uma grande diferença de potencial, os elétrons que saem dessa placa são acelerados pelo campo elétrico e incidem com grande impacto, com grande energia cinética, sobre aquela placa. Na colisão essa energia que eles carregam transforma-se em muitos casos em radiação, em raios-X. São os precursores dos tubos de televisão, esses tubos de raios catódicos que permitiram a Roentgen, em 1895, tirar as primeiras radiografias, passando então a ser amplamente usados no mundo inteiro. O Morize foi dos primeiros a fazer essas coisas de maneira sistemática no Rio de Janeiro, com aquele instrumento. E obteve resultados interessantes.

Como ele fazia: dava uma pancada, criava uma diferença de potencial muito rápida, quase como se fosse uma faísca, a corrente elétrica batia na placa, emitia-se uma certa quantidade de raios-X e ele então colocava as chapas fotográficas, que giravam rapidamente, para ver como a frente de onda de raio-X deixava marca nas chapas. Então, se girava rapidamente, podia-se saber pela mancha a du-

ração da centelha de emissão do raio-X. Foi essa uma das primeiras experiências cujos resultados foram publicados em revistas internacionais e tiveram um certo significado.

A tese do Morize foi escrita em 1897 e defendida em 1898. As experiências famosas do Thomson para determinar a carga do elétron também são de 1897. Vê-se que o Morize estava fazendo uma pesquisa bastante atualizada. É claro que ele usava esses aparatos de tubos de raios-X disseminados pelo mundo e logo ficamos para trás. Mas no primeiro momento, quando a idéia do raio-X surgiu, o conceito e os primeiros tubos, no mundo inteiro fizeram-se várias experiências. O subtítulo da tese é Estudo teórico e experimental da descarga nos gases rarefeitos. Ele propõe vários experimentos. O que idealiza é tentar medir se os raios catódicos eram ondas ou corpúsculos. Essa era a grande discussão da época, saber se se tratava de ondas eletromagnéticas ou partículas carregadas.

Imaginou colocar no aparato um diafragma. Usando termos de hoje, a idéia dele era que se os elétrons fossem acelerados, atravessariam o diafragma e seguiriam caminho. Se fossem corpúsculos, isolando os dois lados, depois de algum tempo a pressão de um lado aumentaria e, colocando uma torneirinha com um pequeno menisco, poderia determinar a diferença de pressão dos dois lados. Hoje, sabendo o que são os elétrons, vê-se que essa experiência não funcionaria, mas na época foi absolutamente interessante, porque se imaginava ainda que os elétrons eram íons, eram moléculas carregadas. Ele descreve as condições locais e diz: "Não tendo sido possível ao autor construir com os recursos disponíveis, o tubo descrito foi encomendado à Casa Auvergnat, sendo infelizmente pouco provível que chegue em tempo de ser utilizado nos resultados do presente trabalho." Parece que nunca chegou.

Naquele momento a discussão sobre o caráter dos raios catódicos se desenrolava em vários pontos da Europa entre os principais físicos, o Thomson, o Kauffman na Alemanha, o Perrin na França. O Morize fez outros experimentos mais convencionais, o único com alguma originalidade foi o que utilizou o aparelho descrito, além do que ele imaginou mas não conseguiu realizar. Sua tese, apesar de interessante, aparentemente não teve conseqüência imediata. Parou então de lidar com essa área de pesquisa em física e se dedicou mais à astronomia, à criação de observatórios meteorológicos em todo o Brasil. Continuou, porém, como físico experimental na Escola Politécnica e formou uma série de professores cuja atuação acadêmica vai desembocar no Costa Ribeiro, já no século 20, era de importantes descobertas no âmbito da física.

Século 20

Nesta série de palestras várias pessoas vão falar sobre física nuclear e possivelmente remontar a alguns anos antes. Eu tentei fazer um resumo de maneira muito superficial e esquemática de algumas linhas da física brasileira até mais ou menos 1950. Algumas tradições surgiram no início do século e outras evidentemente apareceram nas décadas de 50 a 60.

O grupo que mencionei, Amoroso Costa, Henrique Morize, Lélio Gama, Carneiro Felipe, juntou-se na criação da Academia Brasileira de Ciências, em 1916. Otto de Alencar já havia falecido. Amoroso Costa e Henrique Morize são os de maior destaque na década de 20. O primeiro tem trabalhos importantes sobre cosmologia newtoniana, o principal deles publicado após a sua morte. É uma pessoa de formação matemática, um autodidata, certamente o mais expressivo em matemática nesse início do século 20. Será o grande divulgador das idéias da relatividade, escrevendo livros sobre essa teoria. Henrique Morize tem um papel importante durante 40 anos como professor de física experimental da Escola Politécnica, insistindo que a física exigia experimentação, embora não fizesse pesquisa nessa área, além da já mencionada, que foi a sua tese de ingresso.

Lélio Gama vem na seqüência de Amoroso Costa, e também Teodoro Ramos se forma nessa geração da segunda década do século. Será o primeiro organizador da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, em 1934, indo à Europa convidar vários pesquisadores estrangeiros para criar esses cursos. É nessa leva que vêm Gleb Wataghin, Occhialini e outros, que darão início à física nuclear e ao estudo de raios cósmicos na USP. Com esse grupo começa a surgir uma comunidade científica embrionária. As pessoas se organizam, criam uma academia, a Sociedade Brasileira de Ciências, depois a Rádio Sociedade, em 1923, primeira rádio brasileira, que foi criada com o objetivo de fazer divulgação cultural e científica.

Quero chamar atenção para isso: todos eles se metiam em questões de divulgação científica e se mobilizaram em duas grandes coisas. Criam as primeiras entidades científicas no sentido mais amplo do termo, promovem a divulgação científica e começam também a batalhar, com mais intensidade, para a criação das primeiras faculdades de filosofia, que formariam os cursos de física, de química, de matemática etc. Isso vai resultar, em 1935, na criação da Faculdade do Distrito Federal, tendo Anísio Teixeira como um dos cabeças. Mas é fechada logo depois. É o período do Estado Novo, de uma política autoritária.

Toda essa geração, o Henrique Morize um pouco antes e o Otto de Alencar também, cria uma certa tradição e começa a deixar clara a importância do desenvolvimento e da pesquisa básica. O tema deles é o seguinte: ciência pura é importante para o país. E usam vários meios para difundir suas idéias.

Uma personalidade muito significativa no Nordeste, também influenciada por esse grupo, foi Luís Freire, um incentivador da física e da matemática. Tinha formação de engenheiro, mas um pendor para matemática. Ele estimula os seus alunos, promove a vinda para o Rio de Janeiro de José Leite Lopes e Leopoldo Nachbin, que vêm estudar e se aprimorar. Um dos que vieram foi nosso colega da física, Fernando de Souza Barros, que também foi aluno de Luís Freire no Recife. Posteriormente, Freire seria um dos criadores do CNPq e membro do seu conselho deliberativo.

Era um grupo de pesquisadores importante, formador de uma geração que, embora pequena, exerceu impacto muito grande na física brasileira. Pode ser considerada a geração que criou a pesquisa organizada em física no Brasil. Basta mencionar o César Lattes e a descoberta do méson pi, trabalho dele e de colegas da Inglaterra. Essa geração criou o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), há 50 anos. As linhas de pesquisa que eles inauguraram, de raios cósmicos, de física nuclear e de partículas, estimularam a vinda ao país de teóricos e experimentalistas. A Faculdade de Filosofia da Universidade do Brasil, a partir de 1939, vai incorporar parte dos que estudavam na Escola Politécnica e na Universidade do Distrito Federal. E gerar em 1964, com a reforma universitária, o Instituto de Física da UFRJ.

Outra linha de pesquisa importante no Rio de Janeiro, no Instituto Nacional de Tecnologia (INT), foi o trabalho extremamente significativo de Bernard Gross e, depois, do Joaquim da Costa Ribeiro, que veio para a Faculdade de Filosofia e descobriu um efeito termodielétrico famoso, o efeito Costa Ribeiro. Com Gross começa a discussão sobre raios cósmicos, depois eles rapidamente convergem para a física da matéria condensada, as propriedades dielétricas dos materiais, e obtêm resultados significativos.

Theodoro Ramos vai para São Paulo e ajuda na criação da Faculdade de Filosofia da USP, levando a herança dessa formação no Rio de Janeiro. Chamo a atenção para isso porque alguns em São Paulo tendem a dizer que a ciência brasileira está ali, que a ciência só apareceu no Brasil com a criação da USP. Isso deve ser bem relativizado, mesmo porque não existe um processo de condução e havia uma tradição anterior no Rio de Janeiro, importante até na formação direta de pessoas que vão criar a Faculdade de Filosofia da USP.

No Brasil se desenvolveram o estudo sobre raios cósmicos e a física nuclear, evidentemente em fução do momento que o mundo vivia. No final da Segunda Guerra Mundial, com a bomba atômica, a física nuclear teve grande avanço no mundo inteiro, por razões políticas e pela busca de energia mais barata. Então foi um grande momento para a física nuclear em São Paulo, com a criação dos primeiros aceleradores, e a física teórica, em particular com Gleb Wataghin e Mário Schemberg, que vai produzir trabalhos importantes na área de astrofísica, de mecânica estatística etc.

Num panorama geral, são essas as personalidades mais conhecidas na história da física brasileira. O que tentei, de maneira certamente muito superficial, foi dar esse quadro. Imagino que nas palestras seguintes virão questões mais aprofundadas que darão maior precisão a esse panorama. Importante destacar, em termos de organização, a criação em 1966 da Sociedade Brasileira de Física, que hoje promove encontros em várias áreas: matéria condensada, física nuclear, de partículas e outras. São áreas dinâmicas que mais ou menos refletem o avanço internacional. A física nuclear evidentemente sofreu um recuo nos últimos anos. Há uma ou duas décadas a física de matéria condensada apresenta desenvolvimento bem mais significativo.

Perguntas

PERGUNTA: *Houve uma concentração de pesquisas em raios cósmicos no início da década de 50. De que tipo exatamente?*

CASTRO MOREIRA: -Pesquisaram tudo na área de radiações cósmicas, desde os primeiros balões meteorológicos, na década de 30, acompanhando o que se fazia em todo o mundo. Não sei exatamente como o Bernard Gross vivia, qual era sua formação, como veio a trazer para o Brasil esses estudos sobre energia cósmica. O Simpósio Internacional de Raios Cósmicos é de 1941, talvez o primeiro simpósio especificamente de física no Brasil. Os estrangeiros já tinham trabalhos publicados nessa área antes de virem para cá e chegam com o propósito de formarem uma equipe. Mas era uma física simples, não havia equipamento, as facilidades, essas coisas. Aí, evidentemente, um fato muito significativo foi o processo de corrupção social que a guerra e o fascismo criaram na Europa, levando à emigração de cientistas. Alguns vieram contratados, buscados por exemplo pelo Teodoro Ramos, mas outros foram vítimas de perseguição política e tiveram aqui a oportunidade de continuar trabalhando. A USP, nesse momento, foi certamente fundamental,

porque deu espaço a essas pessoas. E começam então a aparecer os jovens estudantes. Nesse caldo de aprendizado, não se exigiam equipamentos caros como requer, por exemplo, a montagem de um acelerador de partículas, coisa já utilizada então na Califórnia. A observação dos raios cósmicos é facilitada por causa disso.

História da ciência é, de qualquer forma, uma coisa complicadíssima no Brasil. Há um pessoal que trabalha aí, mais na linha da engenharia. É dificílimo conseguir documentos, há muita coisa em Portugal ou na Itália, material com certeza interessante a ser descoberto, analisado. No século 19 importa, em particular, essa interface da física com áreas vizinhas, mas não há uma massa crítica para a reflexão histórica, faltam elementos. Imagino que ao longo dos anos vá se criar essa base e muitas idéias que temos serão mudadas. Se lemos a obra clássica de Fernando de Azevedo sobre a ciência brasileira, escrita na década de 50, e comparamos com trabalhos de historiadores de hoje, já vemos uma diferença muito clara de abordagem, de visões. Creio que daqui a 50 anos haverá uma reinterpretação de como se deu a questão da ciência no país. Hoje a história é muito mal contada, em todos os aspectos. É simplificada, cheia de preconceitos, regionalizada.

PERGUNTA: *Refere-se ao pessoal de São Paulo?*

CASTRO MOREIRA: Aqui mesmo. Por exemplo, eu não citei a Bahia, o trabalho do José Monteiro.

PERGUNTA: *O que me preocupa é essa demarcação das áreas, da física, da astronomia. A coisa mais complicada do mundo, em história, é o estabelecimento de demarcações. O que mudou, como mudou, quais critérios. Isso em todas as áreas. Por exemplo, onde começa, onde termina a Idade Média? Claro, definições desse tipo nunca são nem podem ser suficientemente abrangentes. O que me chamou atenção nesta sua historiografia, de que eu gostei bastante, é que você tirou essa questão do primeiro plano, que é o que geralmente se faz. Esta semana, Oscar Matsura fez uma apresentação sobre astronomia no Brasil e a grande preocupação era estabelecer um marco fundador. Começou aqui, começou ali, esse foi o primeiro instituto, não, foi o segundo, essa coisa. Você mostrou que o que se tem é isso, expressando o que de fato está acontecendo. Estamos mexendo um pouco nesses marcos tradicionais, com idéias do Fernando de Azevedo, ou anteriores, de que a ciência no Brasil começou com a criação do Observatório Nacional, ou com a chegada de fulano, beltrano, de Caminha ou sei lá quem. Borrando um pouco essas noções, você deixou claro que os elementos podem ir se*

encaixando de uma forma um pouco mais dinâmica: aqui no Rio, vamos dizer, tudo começou com a criação da Academia Militar, ou com a escola de 1792. É uma abordagem mais aberta. O que se tem feito em história da ciência no momento?

CASTRO MOREIRA: Há esse curso lá da Coppe, que estamos começando em conjunto com o de Física. A maioria é de alunos que vão fazer mestrado, que já têm uma formação, um interesse em formação em física. Há um desconhecimento dos fatos mais elementares, nem falo de interpretação, mas de fatos. O que aconteceu em 1800? As pessoas não sabem. As referências em história da ciência no Brasil são escassas. Há o Fernando de Azevedo... As pessoas leram uma coisa ali, outra aqui, não há referências. Acho que é um trabalho que compete a nós, nos próximos anos, contar a história da ciência no país. Por exemplo, sobre o Fritz Müller. Fiz certa vez uma palestra no Instituto de Biofísica da UFRJ e ninguém sabia quem era Fritz Müller. Posso estar sendo injusto, uma ou duas pessoas já tinham ouvido falar. Veja, não quero dizer que todo mundo tem que saber, que história da ciência deva ser obrigatória, nada disso. Mas há deficiências na cultura média das pessoas no Brasil, dos próprios cientistas que estão dentro do laboratório. Em Manguinhos desconhecem que Manguinhos tem uma história. Por que Manguinhos foi isso? Por que foi criado em certo momento? As pessoas desconhecem essas conexões. Você chega ao Instituto de Física e pergunta à bibliotecária quem é Plínio da Rocha. A resposta: não sei. Perguntei a outra bibliotecária, também não sabia. Então por que tem esse nome? Imagine chegar à biblioteca da Politécnica de Paris, que tem o nome de Carnot escrito na entrada, e perguntar quem ele foi. Não só a bibliotecária vai lhe dizer, como há uma foto dele, tem a Sala Carnot, o Arquivo Carnot etc. Quer dizer, há necessidade de se saber um pouquinho da história, não necessariamente ser historiador. A Globo faz "plim-plim" sobre essa história dos 500 anos, e acho que a gente deve pegar essas ondas para divulgar mais. Se tivéssemos um livro bonito sobre história da ciência brasileira, com ilustrações do Lattes, do Fritz Müller, de vários de nós que estudamos ou gastamos anos nos dedicando à ciência, uma coisa bem feita, poderíamos estar com uma divulgação maior. Portanto, não é culpa de ninguém individualmente. É um processo. Daí a importância do que vocês estão fazendo aqui.

* *Texto não revisado pelo Autor.*

A Sociedade Brasileira de Física

Humberto Brandi

26 de Maio de 1999

O tema sobre o qual vou falar transcende um pouco a Sociedade Brasileira de Física. Primeiramente, comentarei o contexto em que se insere essa sociedade, qual é seu universo — e, neste sentido, falarei um pouco sobre o ensino, a pesquisa e a física no país. Veremos o seu estatuto e quais as suas finalidades, como estão definidas, quem pode e quem são, efetivamente, os seus sócios. Em suma: quem e o que a SBF representa.

Começo referindo-me a números gerais da educação no país, tanto atinente aos físicos como a quaisquer outros profissionais brasileiros. Esses números não estão atualizados, pois é impressionante como se modificaram nos últimos anos. Estão ultrapassados no tempo, e são incorretos hoje, pois são dados de 1996. Mas são os que eu tive acesso.

Os números para o ensino superior de graduação são os seguintes: 131 universidades no Brasil, além de 724 instituições, faculdades ou escolas técnicas de terceiro grau e centros de tecnologia. O número total é de 855 instituições de ensino superior. O setor público contribui com a parcela menor desse número, que atualmente já é um pouco maior, cerca de 920. Nos últimos anos, o crescimento deu-se principalmente no setor privado. Embora o número de universidades seja uma fração relativamente pequena desse total, é nelas que se concentram praticamente todos os docentes em tempo integral, com dedicação exclusiva e envolvimento nas atividades de pesquisa.

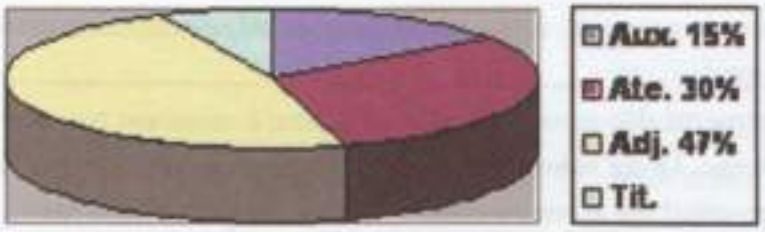
O número de matrículas é impressionante. Em 1996, era de 1,7 milhão; hoje são 2,12 milhões de matrículas. Em quatro anos, o número cresceu enormemente. Há uma minoria na universidade pública; a maioria na universidade privada. Isto indica que, para manter um certo nível de qualidade dos programas, é preciso um aumento substancial da formação de recursos humanos qualificados. Tal melhora não está ocorrendo. Mesmo que a universidade pú-

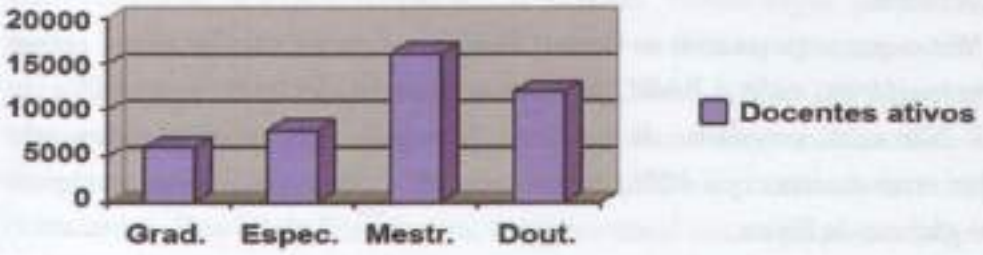
blica possa acompanhar este crescimento, as instituições privadas — visando simplesmente atender às exigências do MEC, relativas a constituição do corpo docente — terão uma enorme demanda por pessoal titulado.

De 1,7 milhão, concluíram o curso 240 mil, o que é muito pouco. Multiplicando isso por quatro anos, que deveria ser a média de duração dos cursos, temos menos de 1 milhão de estudantes matriculados. O mais impressionante é o que acontece nas universidades públicas. Aí, a evasão é enorme. Há uma perda estudantes que não concluem os seus cursos. E estou considerando apenas entrada e saída de alunos; não analiso o que acontece dentro das instituições. Nas faculdades particulares, a taxa de evasão é bem menor. Por uma série de razões, conhecidas, quase todo mundo que entra conclui o curso. Mas, nem isso agora está sendo muito condizente com a verdade.

É interessante ver como estão distribuídos os docentes nas universidades públicas e nas instituições de ensino superior federais. Não estou considerando as estaduais, ou seja, a USP e outras estão fora da análise. É mais ou menos o seguinte: docentes com graduação, docentes com especialização, com mestrado ou doutorado são um total de aproximadamente 40 mil. A maior parte com mestrado, e mais ou menos 25% com doutorado. Há portanto uma demanda também na universidade federal, uma grande procura por qualificação e titulação. Esse é um mercado que pode existir internamente, os professores por algum motivo não estão mais se titulando. Na física, particularmente, isto não acontece. No passado havia uma demanda por bacharelado e mestrado, mas hoje são poucos os físicos que não têm doutorado. É claro que a maior procura ainda é pelos cursos de licenciatura em física, visando a uma carreira voltada para o ensino de segundo grau. O mercado para os físicos que têm como opção a pesquisa está limitado, no Brasil, a universidades e institutos de pesquisa. Na verdade, isto também é verdade para outras profissões.

Para se ter idéia de como os titulados se distribuem, a grande maioria do quadro docente das universidades federais é de professores adjuntos. Os titulares são muito poucos. Eu fiquei surpreso: são menos de 10% — 6,5% em todo o quadro federal. A título de curiosidade: por categoria, a grande maioria dos titulares tem o doutorado; poucos com mestrado e alguns com especialização, certamente uma conseqüência do passado, e muito poucos só com graduação, também conseqüência certamente do passado mais remoto.





Os números globais de 1996 mostram um aspecto semelhante do problema. Na pós-graduação havia 9.700 alunos de mestrado e 2.700 de doutorado, concluintes, num total de 75.500 estudantes de pós-graduação. Portanto, também a evasão é enorme e há várias razões para isso. Fazem especialização ou conseguem emprego e não concluem. Na física, imagino que também em áreas como na astronomia e na matemática, isto raramente acontece.

Apresento alguns números obtidos do Ministério de Ciência e Tecnologia. Esses são números corretos, uma projeção para 1999, sobre investimentos. Há uma diferença grande entre os investimentos em ciência e tecnologia, de um lado, e pesquisa e desenvolvimento, de outro. Investimentos ditos em C&T permitem uma parcela de redução do imposto de renda. Você pode não pagar imposto e investir um certo percentual de suas importações para obter certificado de qualidade. Por exemplo, uma indústria, a Fiat, importa um componente ou máquina para alta produção nova, isto é considerado um investimento em tecnologia. É totalmente diferente de P&D, em que se tem de fazer a pesquisa e o desenvolvimento no local.

A projeção oficial é de um crescimento grande, chegando perto de R$ 10 bilhões. São números divulgados pelo Ministério como representando um percentual significativo de todos os investimentos na área. Segundo os dados, o setor empresarial é responsável por boa parte desse valor: R$ 3 bilhões. E esses 3 bilhões que a indústria está investindo são fundamentalmente ligados a incentivos fiscais. Nesse total, também está computado o salário de todo o pes-

soal docente e de pesquisa, o que não é desprezível, evidentemente: da ordem de 10% do total.

Esses números dão uma ordem de grandeza, e mostram o que se pode esperar do sistema. Deste valor total, cabe ao Ministério da Ciência e Tecnologia o maior percentual, de aproximadamente 10% . Depois vêm o MEC, Agricultura, Aeronáutica, Presidência da República, Ministério da Saúde, das Minas e Energia etc., até que se chega a zero no Ministério da Justiça. São recursos consideráveis.

Mas o que se passa com os físicos? Bem, esses dados referem-se aos cursos de graduação em todo o Brasil, públicos e privados de 1998, e são dados do INEP. Não considero dados de altíssima qualidade, mas, provavelmente, não contêm erros maiores que 10%, no máximo 20%. Preparei para vocês alguns dados globais da Física.

Aqui vão :

1) Número de cursos de graduação em Física: São 71 cursos de graduação em Física em todo o Brasil , dos quais 18 em Universidades Estaduais, 37 em Federais, 1 municipal e 15 particulares, sendo destas particulares 6 católicas (PUC's) .

2) Dados de ingresso via vestibular e outras formas

DADOS DO VESTIBULAR								
VAGAS	INSCRIÇÕES	APROVADOS	INGRESSO PELO VESTIBULAR			INGRESSO OUTRA FORMA		
			Total	Diurno	Noturno	Total	Diurno	Noturno
3.699	10.417	4.511	3.315	2.284	1.031	316	204	112

Número de matriculados nos cursos de Física por turno e sexo em todo o Brasil

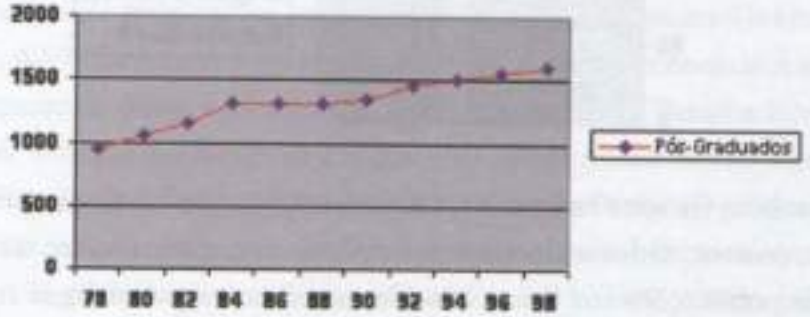
MATRÍCULAS				
TOTAL	TURNO		FEMININO	MASCULINO
	Diurno	Noturno		
11.184	7.479	3.705	2.197	8.987

MATRÍCULAS DIURNO		MATRÍCULAS NOTURNO	
Feminino	Masculino	Feminino	Masculino
1.603	5.876	594	3.11

Dados sobre os concluintes em todo o Brasil

CONCLUINTES		
TOTAL	FEMININO	MASCULINO
655	166	489

Pois bem, nestes dados percebemos que, dos 11.184 estudantes matriculados em cursos de Física, apenas 655 se formam. Vamos supor que um tempo médio "aceitável" de formatura seja da ordem de 5 anos, e teremos (655 x 5) = 3.275 pessoas. Assim, aproximadamente (11.184 – 3.275) 7.909 pessoas não conseguem terminar a graduação. A evasão na área é enorme. Numa universidade como a UFRJ, entram anualmente 120 alunos de bacharelado e 60 para licenciatura. Dos 60 da licenciatura, um percentual muito pequeno não obtém esse grau. Dos 120 de bacharelado, normalmente se formam 10, uma evasão de 90%. Isso é mais ou menos constante, não muda de ano para ano. É claro que isso acontece em física, não posso dizer se o aluno sai para outras áreas, não tenho esse dado. Para tanto, seria necessário fazer outro vestibular, isso na UFRJ, onde não é permitido ser transferido de uma área para outra.

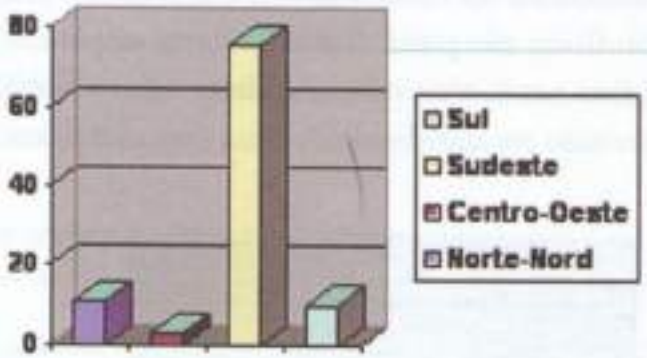


Os números da pós-graduação em física são aproximadamente 1.600, constantes nos últimos dez anos. Nestes números se incluem também estudantes de astronomia, que são relativamente poucos. Então, são 1.600 estudantes — entrando 250 por ano. É mais ou menos essa a estimativa.

A SBF fez em 1992 uma projeção do aumento do número de físicos doutores. Na verdade duas, uma pessimista e outra otimista (com o financiamento mais ou menos constante). Nota-se que o total de doutores na física cresce de maneira quase exponencial. Em 98 eram cerca de 2.500 doutores, se formando a uma taxa de 160 doutores por ano. É um crescimento grande, significando

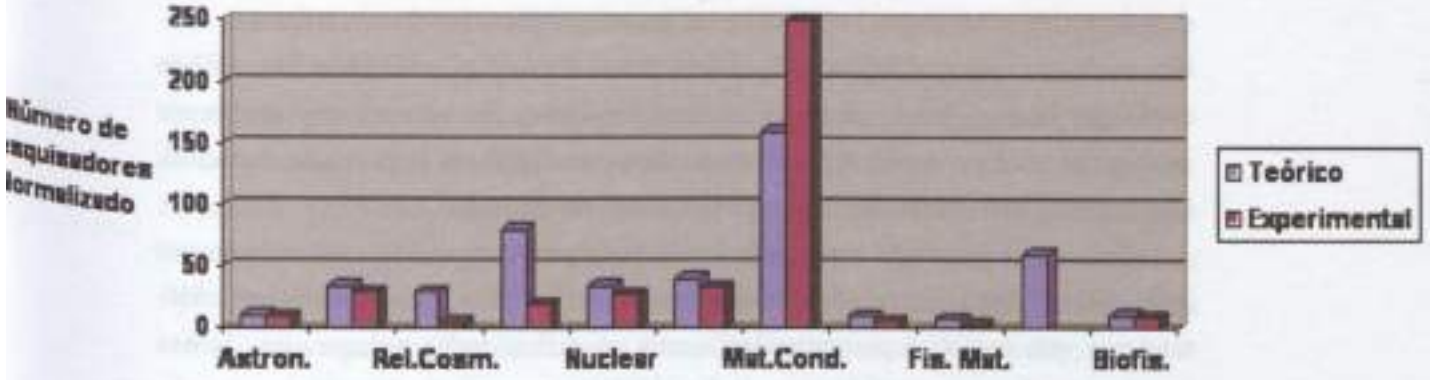
que se deve preocupar com o destino deste pessoal altamente qualificado, que está sendo formado. É um problema bem complicado, o qual preocupa a Sociedade Brasileira de Física, pois não tem havido abertura de posições nas universidades nem nos institutos de pesquisa que são praticamente o único mercado de trabalho para doutores em física, uma vez que as indústrias não investem em P&D e, portanto, não demandam pessoal nesta área.

Agora vejamos como estão distribuídos esses doutores. Poderia ser quase uma distribuição gaussiana, ou uma função delta. A grande maioria encontra-se no Nordeste. Há alguma atividade no Pará, mas no Amazonas, que eu saiba, não há nada, só em Belém. O Sudeste concentra 75% dos doutores em física. O Sul tem menos ou, praticamente, o mesmo número de doutores em física que o Nordeste, e no Centro-Oeste estão cerca de 3%. Portanto, a física brasileira é fortemente concentrada no Rio, São Paulo e emBelo Horizonte.



Também fiz uma estimativa das instituições que fazem pesquisa: universidades, centros, todas as instituições do país que apresentaram um certo número de publicações em física, nos últimos dois anos. Consegui registrar 49. Realmente, a distribuição muda um pouco. No Sudeste já não são 75%, e no Nordeste e no Sul são 10 instituições fazendo pesquisa.

Continuando restrito à física, a distribuição de pesquisadores nas diversas áreas em 1997 era a seguinte: a matéria condensada tinha cerca de 50% dos pesquisadores, sendo mais experimentais do que teóricos, objetivo perseguido há anos. Mas também é a única área com este perfil. Mesmo em astronomia, temos mais teóricos que experimentais, como também em biofísica. Em 1960, havia aproximadamente seis doutores trabalhando em física da matéria condensada. Em 1970, eram menos de 100. Hoje são 1.500, um crescimento exponencial.



Vimos que o número de físicos cresceu muito, mas será que se consegue medir alguma qualidade da física brasileira? O parâmetro de qualidade é uma discussão muito complicada, a qual envolve desde o número de trabalhos até a questão de impacto. O Jaílson Pinto tem um trabalho recente, intitulado "Parâmetro de impacto na química", muito interessante. Mas há vários critérios, e escolhi um tão bom, ruim ou médio quanto qualquer outro. Simplesmente, considerei o número de artigos publicados em revistas de grande impacto.

Todos conhecem a *Physical Review*, a revista mais prestigiada e importante em física. São cinco revistas de áreas diferentes, mais a *Physical Review Letters*. O que acontece com uma revista desse tipo? Como funciona? Dos 21.000 artigos enviados às seis publicações, em 1997, 28% são dos Estados Unidos, 34% da Europa, 4,5% da América Latina. Interessante é o crescimento da América Latina comparando dados com anos anteriores. Enquanto os Estados Unidos aparecem com um número menor de artigos, e o Canadá muito menor, a participação da América Latina cresceu quase 20%. Os países do Pacífico — em especial Coréia e Malásia — tinham um número pequeno e também cresceram muito.

Dos 21.000 artigos enviados, são publicados 12.000, uma taxa de rejeição de cerca de 40%. Isso mostra que a revista, quer apresente ou não qualidade, possui certos padrões de exigência para a aceitação de artigos. Os Estados Unidos têm um percentual de aceitação da ordem do percentual de participação. A aceitação de artigos da Europa Ocidental cresceu, passando de 27% para 37%. Os índices de todos os demais caíram. A América Latina tinha 4,5% dos envios e 4% dos artigos publicados, cabendo ao Brasil a metade. A física brasileira é metade de toda a física latino-americana e contribui com 2% da *Physical Review*. Podemos nos perguntar se este é um número pequeno ou grande. Em relação à população é pequeno, mas em relação à população de físicos é, decerto, enorme. A população de doutores do Brasil exibe um número de publicações superior ao

dos doutores americanos, consideradas as proporções das duas categorias. Então, pode-se dizer que o físico brasileiro, por esse padrão, está muito bem. Vê-se então que houve grande evolução na física brasileira. Por este ou qualquer outro parâmetro. Por exemplo, o Brasil contribui com 0,8% da exportação mundial. O produto bruto brasileiro corresponde a 1% do mundial.

Sob outro ponto de vista, a física no país preocupa e não está indo muito bem. Falarei um pouco da Sociedade Brasileira de Física, e depois tentarei mostrar por que estamos preocupados, quais as dificuldades enfrentadas. Nosso estatuto foi feito em 1966 e é complicadíssimo, porque as pessoas que o redigiram, como acontece em geral com todo estatuto, previram pouco o que iria acontecer. E não se consegue mudar o estatuto, porque ele engessa a sociedade.

Quais são as finalidades da SBF? Congregar os físicos do país – são pouquíssimos professores, todos do 3° grau – e zelar pela liberdade de ensino e pesquisa, pelo prestígio da ciência, estimular as pesquisas. A SBF deve organizar a reunião anual da física, efetivar intercâmbios, editar uma revista e um boletim, estimular o melhor aproveitamento de especialistas no desenvolvimento do país, participar das discussões em pauta nas assembléias. Enfim, coisas muito gerais.

O último artigo define as categorias de sócios: efetivos, aspirantes, honorários e beneméritos. Podem ser sócios efetivos os bacharéis e licenciados em física, pesquisadores em física, professores de física de escolas secundárias, pessoas cujas qualificações não estejam em nível superior, mas cujo interesse em ciência as torna desejáveis como sócios. Aspirantes são estudantes universitários de cursos relacionados à física. Esse simples artigo cerceia a participação na sociedade, e mostra como o estatuto precisa ser modificado, mas não temos conseguido. A SBF tem hoje cerca de seis mil sócios, dos quais mais da metade está em dia com as anuidades.

Uma das principais atividades da sociedade é organizar eventos, promovendo diretamente a interação dos físicos e seus associados. Para participar dessas reuniões não é preciso ser associado, mas há grandes vantagens em tornar-se. As reuniões anuais contam com cerca de mil participantes em matéria condensada e em ensino, trezentos em partículas e campos, e cento e cinqüenta em nuclear. Este ano, em matéria condensada, foram 970 pessoas e gastou-se R$ 300 mil. Existem também escolas anuais, chamadas Escolas Jorge André Swieca, homenagem a um dos mais brilhantes físicos brasileiros, falecido em 1980. Há sugestões de outros nomes para, pelo menos, algumas delas.

A sociedade publica o *Brazilian Journal of Physics*, que há alguns anos se chamava *Revista Brasileira de Física*. A revista *Física Aplicada* não deve ter continuidade, porque não tem recebido financiamento nem artigos, está com atraso de uns dois anos, e então vai parar. A *Revista de Ensino* está em dia, é interessante, polêmica, tem muitos artigos. Fizemos um trabalho grande para indexação das publicações e a diretoria, finalmente, logrou o seu objetivo: o BJP (*Brazilian Journal of Physics*) estará indexado a partir de 1° de janeiro. Isto é importante porque nos inclui em um sistema mundial de referências, o *International Scientific Index*, um banco de dados de 17.000 revistas de todas as áreas, incluindo humanidades, artes, pelo qual se pode até saber o impacto de sua revista, quantas citações ela tem.

Também convencemos os comitês assessores do CNPq e da Capes a atribuir um certo valor à publicação em nossa revista. No passado, ela não era valorizada. Publicações não consideradas pelos comitês. Isso era um desestímulo e ninguém queria publicar no BJP.

A revista existe desde a fundação da sociedade, e no momento está sendo muito discutida. Há um grande grupo de físicos que acha que ela não deve continuar existindo, e outro grupo que acha importante estimular a revista. Seus artigos, além do conteúdo científico, têm também o papel importante de ser parte da memória da ciência brasileira, que certamente será no futuro objeto de estudos dos historiadores da ciência do país. Mas o grupo que defende a extinção também tem certa razão: alega não ser a revista competitiva do ponto de vista científico e, portanto, além de ter pouco impacto científico e de divulgação dos trabalhos — do ponto de vista da preservação de uma memória nacional do desenvolvimento da física no país —, a revista não reflete o que se faz de melhor no país.

Pensa-se então em duas possibilidades. A primeira é mudar a linha editorial, o tipo de artigo a ser aceito. Hoje é comum na física o desenvolvimento de uma linha de trabalho por meio de uma série de publicações. Essa tendência de publicar por partes é internacional. Publicam-se partes de um trabalho individual ou de grupo e falta quase sempre a consolidação da série. Poucas revistas aceitam a consolidação, uma vez que seu conteúdo resulta de artigos anteriores já publicados. Então, uma linha possível seria a revista aceitar a consolidação de trabalhos. Em vez de uma espécie de revisão da área, seria uma revisão dos trabalhos do autor ou grupo. Essa seria uma alternativa possível para aumentar a aceitação da revista e estimular a publicação no BJP.

Outro tema que tem sido objeto de discussão são as Bolsas de Pesquisa. Minha opinião é a mesma dos Comitês Assessores, da área de Física, do CNPq: é fundamental aumentar o número dessas bolsas. As bolsas foram fundamentais para a implantação e consolidação da pesquisa nas universidades. Têm tido o papel importantíssimo de servir como parâmetro de reconhecimento da competência do docente em pesquisa. No entanto a situação atual, em que o número de bolsas de pesquisa disponíveis é muito menor do que o número de candidatos qualificados a recebê-las, pode trazer um problema. Muitas vezes, é difícil para o pesquisador procurar novas áreas ou temas, buscar outros laboratórios, uma vez que isto exige tempo e pode implicar a perda da bolsa. É um problema complicado de resolver, o que só seria possível com a concessão de bolsas por mérito. Se todas as pessoas que tivessem mérito recebessem bolsa, o número de bolsas seria bem maior. Mas, como este é bastante inferior ao de pessoas que têm mérito, a coisa se complica. Quais os critérios a adotar? Os conselheiros têm discutido isso.

Outro tipo de preocupação é com questões políticas gerais. A SBF deve ter um papel importante e relevante. Ela teve atuações marcantes no passado, como por exemplo na questão nuclear. Foi a Sociedade Brasileira de Física que revelou o poço da Serra do Cachimbo. Ela sempre teve esse amplo papel e, por ser tradicional, é ouvida em muitas questões. A SBF tem o papel político de exercer certa pressão e liderança em determinados momentos. No ano passado, teve uma influência grande em busca de entendimento quando os estatutos do CNPq poderiam ter sido modificados radicalmente.

Há algum tempo também vem se preocupando com a questão do desemprego. Há um mês, começamos a receber algumas cartas de recém-doutores que estavam com poucas perspectivas de emprego. Então, enviamos pelo correio eletrônico um formulário a ser preenchido por pessoas que tivessem se doutorado nos últimos quatro anos, e se achavam na condição de possível desemprego, quer dizer, sem perspectiva de uma posição em médio prazo, ou prazo de um ou dois anos. Preliminarmente, encontramos cerca de 90 recém-doutores nessa situação, distribuídos igualmente entre experimentais e teóricos. É um número bastante preocupante, pois a física passa por um momento de crescimento acentuado. Significa que o mercado está saturando e é necessário encontrar posições compatíveis com a qualificação dos cerca de 150 doutores formados por ano.

A SBF tem tentado buscar soluções e alertar as autoridades governamentais para a situação. Já conversei com a direção da Capes e com o Ministério da

Ciência e Tecnologia. Dos dados enviados, pode-se inferir que a maior parte desses doutores estão com uma bolsa de pós-doutorado ou recém-doutorado. A maioria está em São Paulo, e pretende lá permanecer, o que talvez seja um dos motivos para não terem ainda conseguido uma posição ou se considerarem sem perspectivas de trabalho, pois em São Paulo há pouca abertura de vagas nas universidades. Para estes, a maior parte das bolsas é concedida pela Fapesp. Seguem-se, em número de respostas, doutores que estão em Santa Catarina, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul (Fapergs) e Minas Gerais (Fapemig). É impressionante notar, a partir destes dados, que o CNPq tem participação muito pequena. Acontece que mesmo as pessoas residentes no exterior, na Europa ou EUA, estão todas com bolsas locais ou sem bolsa. As bolsas de pós-doutorado do CNPq são muito poucas, e isso é preocupante. O CNPq está completamente fora do sistema.

Ainda acerca desta questão do desemprego, falemos do ano de conclusão. Como é que se distribui? O dados mostram não fazer muita diferença o ano de conclusão. Vê-se, claramente, que antes de 1995 esse problema não existia. Tudo se acumulou depois de 1995. Uma perspectiva que pode estar se abrindo em relação à empregabilidade de jovens doutores está na necessidade de aumento dos quadros titulados das instituições privadas. Por lei, uma instituição privada, para ter a qualificação de universidade até o período 2001-5, precisa de 40% do corpo docente com doutorado e mestrado. O problema é o seguinte: as pessoas que entram para uma instituição privada têm grandes dificuldades de trabalhar em pesquisa, objetivo principal do seu treinamento no doutorado. Essa possibilidade é próxima de zero. Os contratados acabam dedicando-se ao ensino e têm uma carga horária enorme.

Tal situação parece complicada, mas vou dar os últimos dados de um trabalho do Brito Cruz. É um trabalho que está na rede, com assistência do Sistema de Ciência e Tecnologia, como parte do Sistema Nacional de Inovação. É muito interessante porque há uma série de dados e umas tabelas. Para mim, esse resultado mostra claramente que a perspectiva (ou a falta dela) de se ter uma demanda de físicos — e aí me refiro a eles como cientistas ou pesquisadores em geral — está acoplada a um outro problema: o da forma como se processa o desenvolvimento do Brasil.

Posso ler para vocês o que está no trabalho. Uma primeira figura mostra a distribuição dos ativos em Ciência e Tecnologia e em Pesquisa e Desenvolvimento, em vários países, inclusive o Brasil. O que interessa, de fato, são os

números ligados à P&D. O que importa é o seguinte: a comparação entre os números de EUA, Japão, Alemanha e França (países desenvolvidos) e o Brasil mostra uma enorme inversão. Na comparação entre a participação da indústria, de laboratórios do governo e da universidade, temos inversão completa dos dados. A grande maioria dos pesquisadores se encontra no setor industrial, e não nas universidades — como acontece no Brasil. É claro que essa comparação pode parecer inadequada ou injusta com o setor industrial brasileiro, ou seja, comparar países desenvolvidos com um em desenvolvimento. No entanto, a Coréia é um bom exemplo. Temos aí a relação de pesquisadores nas empresas, e nas universidades e institutos com a mesma característica existente nos países desenvolvidos, isto é, a maioria está no setor industrial.(Ver figuras abaixo)

NATUREZA DA POSIÇÃO E DA INSTITUIÇÃO	BRASIL	EUA	CORÉIA
Docentes em universidades	73%	15%	29%
Institutos e centros de pesquisa públicos	16%	17%	17%
Empresas privadas e públicas	11%	68%	54%
Total	**100%**	**100%**	**100%**

Em relação à questão do emprego, a postura adotada pelas indústrias brasileiras, quanto às atividades de P&D, representa um problema sério. Em trabalho recente, de Ivan da Costa Marques, há uma estatística das relações entre P&D e trabalho, e entre C&T e trabalho. Um número que achei interessantíssimo, e representa o impacto de P&D do setor, no mercado de trabalho, é o número de empregos em empresa por milhão de dólares de faturamento. Há várias comparações, mas menciono duas, que achei curiosas. A primeira refere-se à Roche, industria de fármacos. Ela emprega na Suíça, 56 pessoas por milhão de dólares de faturamento; no Brasil, emprega 3. E olhem que pode ser qualquer emprego, até faxina, não importa quem é o empregado. Um outro exemplo é o da Fiat, empresa com exigências tecnológicas menores, e que tem recursos em P&D, mas emprega 10 pessoas na Itália e no Brasil, também 3 por milhão de dólares faturados. Isto significa que o número de empregos cresce com as necessidades de uma empresa ter atividades de P&D. A participação relativa de diversos setores em P&D, varia de cerca de 70% no setor industrial e 20% nas universidades e institutos de pesquisa nos Estados Unidos, Japão e Alemanha, a 10% no Brasil no setor industrial e 70% nas universidades e institutos. Veja a figura abaixo (Brito Cruz).

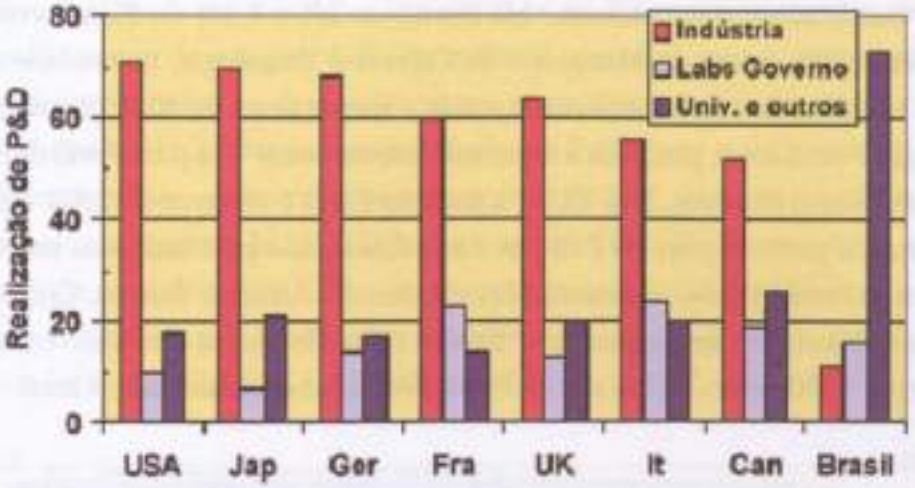


Figura1. Distribuição dos C&E ativos em P&D em vários países e no Brasil. O destaque é para o predomínio da presença de C&E nas empresas para todos os países citados, exceto o Brasil (Fonte: The European Report on S&T Indicators. 1994)

Ainda baseado no trabalho do Brito Cruz, mostramos a percentagem do PIB investida em P&D, pelo governo de vários países. O ano-base é 1990. O que está em vermelho destaca o papel dos investimentos de P&D aplicados a atividades classificáveis como defesa. Exceto os casos de Taiwan, Coréia do Sul, Singapura, Japão e Índia, nos quais a informação não era disponível. Os Estados Unidos investem mais em defesa que os outros países. O Brasil também não tinha informação disponível, mas não deve ser significativa.

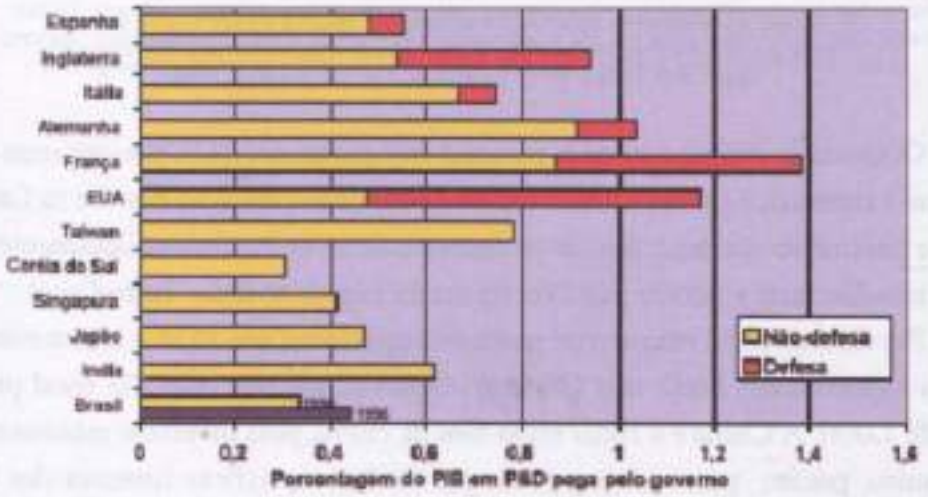
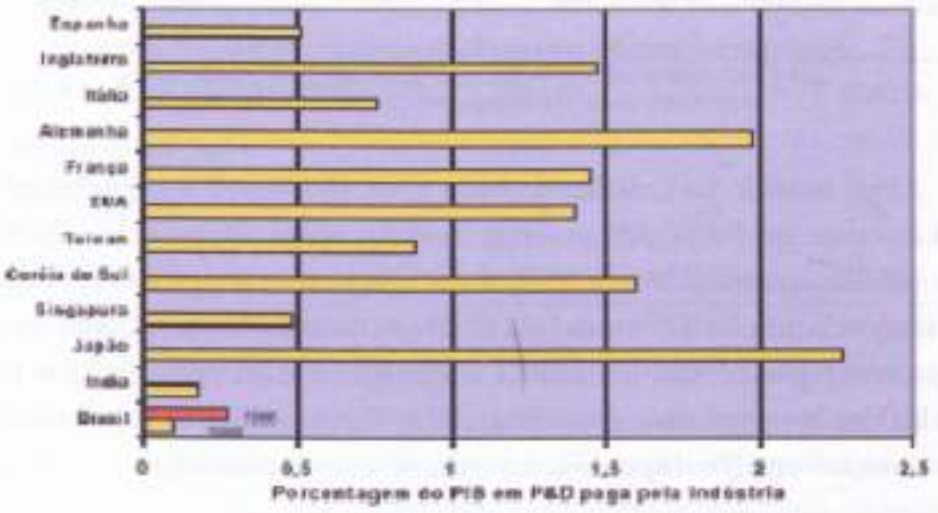


Figura3. Porcentagem de PIB investida em P&D pelo governo de vários países (ano Base 1990) - As barras cinza-escuro destacam a parcela do investimento em P&D aplicada a atividades classificáveis como defesa, exceto nos casos de Taiwan, Coréia do Sul, Singapura, Japão e Índia para as quais tal informação não era disponível nas fontes citadas. (Fontes: Human Resources for S&T, The Asian Region (NSF, 1993) e The European Report on S&T Indicators. 1994)

Outro número interessante. No Brasil, de 1% a 1,3% do PIB, correspondentes ao orçamento do Ministério da Ciência e Tecnologia, na verdade o que seria classificado como P&D corresponde a apenas cerca de 30% do total. Tecnologia é uma coisa, pesquisa e desenvolvimento outra — e para P&D os recursos são muito menores. Nos EUA, a fatia do P&D é de cerca de 1,4% do PIB. E temos a percentagem do PIB em P&D financiado pela indústria em vários países. Aí estão Japão, Alemanha, França, Estados Unidos, Taiwan, Cingapura, Índia e Brasil. São anos diferentes, 1990 e 1996. Os outros dados são comparados com 1990. Esses dados são de 1996. (Ver figura abaixo, Brito Cruz)



FiguraS. Porcentagem de PIB em P&D financiada pela indústria em vários países em 1990, e para o Brasil em 1990 e 1996. (Fontes: Human Resources for S&T, The Asian Region (NSF, 1993) e The European Report on S&T indicators, 1994)

Outro dado curioso é sobre as patentes registradas nos EUA por empresas brasileiras e coreanas, e o investimento em P&D dessas empresas no Brasil e na Coréia. Vê-se claramente que o número de patentes e o de investimentos são altamente correlacionados, num e noutro país.(Ver figura na página ao lado. Brito Cruz)

Por fim, temos o número de patentes registradas nos EUA e o investimento da indústria em P&D: são 100.000! O Brasil, aparece com um total próximo de 1.000. A China e a Índia estão fora da curva, pois investem relativamente muito, porém patenteiam pouco, por razões específicas internas dos dois países. É claro que os nossos gênios da economia devem saber desta correlação, mas não devem acreditar na capacidade do país em se desenvolver tecnologicamente. É mais fácil comprar o produto acabado.

Em resumo, a contribuição da Ciência, e da Física em particular, para o desenvolvimento de um país é de importância enorme, mas o surgimento de resultados associados ao desenvolvimento tecnológico exige uma política industrial que estimule fortemente atividades de P&D para o setor industrial.

Para terminar, quero mostrar a nova sede da SBF, cuja construção terminou aproximadamente há dois anos — quando César Sá Barreto era o presidente. Sede nova, feita pela SBF com recursos próprios. Há uma série de outras iniciativas da SBF, tais como o seguro-saúde e o seguro de vida. Todos estão convidados a visitá-la. Está localizada no campus da USP.

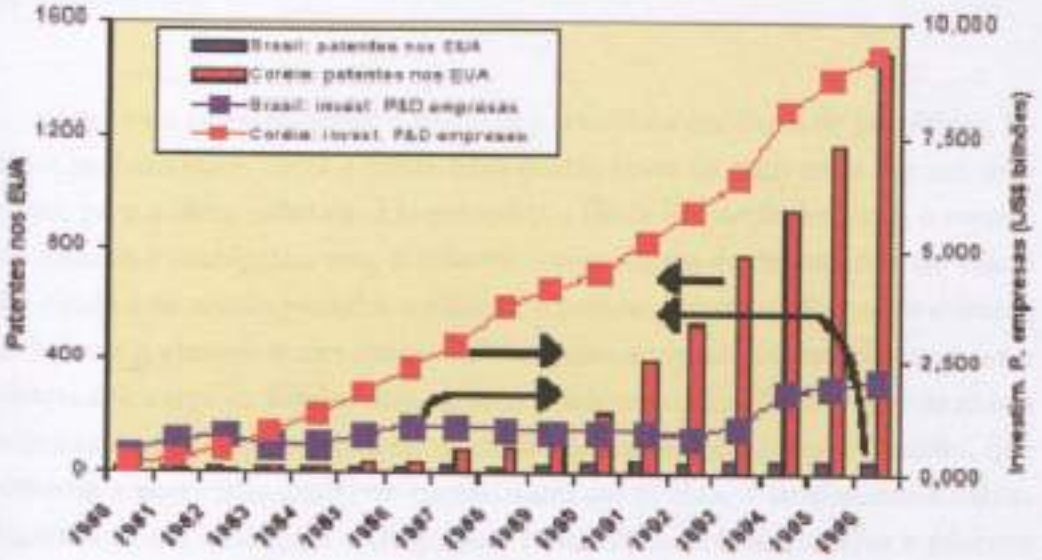


Figura 6. Patentes registradas nos EUA por empresas brasileiras e coreanas e investimento em P&D nestas empresas. (Fontes: Brasil: tabela 9; Coréia: Human Resources for S&T, The Asian Region (NSF, 1993); Science and Enginnering Indicators - 1996, National Science Board (U.S. Government Printing Office. 1996)

Física de Partículas

O início dos trabalhos da física de partículas no Brasil

Jayme Tiomno

30 de Junho de 1999

Para esta palestra, sobre o início dos trabalhos em física de partículas, fixei o período entre 1930 e 1960. Mas queria antes de mais nada dar um destaque para a física atômica. Ela precedeu a física de partículas, com o estudo de átomos e moléculas, mas o atrativo maior foram as descobertas no início do século e no século passado: o elétron, o próton, depois o nêutron, o número atômico e a atmosfera eletrônica. Inicialmente eram só prótons de carga +e e elétrons de carga -e. Então, para explicar o número atômico diferente da massa atômica, foram acrescentados elétrons ao núcleo. Não era possível, porém, que elétrons e partículas positivas coexistissem no núcleo, e finalmente Rutherford descobriu o nêutron e chegou-se à teoria de próton positivo e nêutron sem carga - partículas pesadas - e elétron negativo - partícula leve - além daquelas que apareceram mais na desintegração, na radioatividade, como a partícula alfa e outras. Então havia um único modo de obter um feixe de partículas: com a radioatividade; e eram feixes de elétrons ou de partículas alfa, que eram as fontes da época. Em seguida vieram os aceleradores de partículas que usavam um campo magnético ou mesmo eletromagnético para acelerar partículas e a capacidade para acelerar aumentava rapidamente. Descobriram-se também partículas desse tipo na radiação cósmica, de modo que com isso se desenvolveu a física nuclear, a partir dessas fontes.

Cabe mencionar que desde o início havia uma preocupação sobre a natureza das forças nucleares. Sabia-se por experiência que eram forças de interações fortes, mas Yukawa levantou a hipótese de que elas eram intermediadas por partículas que ele chamou de mésons. Eram os mésons de Yukawa, que finalmente se acabou identificando como mésons pi, que foram descobertos por

Lattes, Powell e Occhialini. Então, mais ou menos em 1934, houve um evento importante na história da ciência no Brasil, que foi a criação da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, que dava uma especial atenção à física, à química e outras ciências. Antes disso, para marcar o fim da primeira época, do primeiro período, apareceu a teoria de Dirac. Ele descobriu uma equação que, do mesmo modo que as equações de Maxwell dão as propriedades dos fótons, do campo eletromagnético, dava as propriedades dos elétrons. Essa teoria de Dirac descrevia os mecanismos de funcionamento, as propriedades das partículas com spin ½, que satisfazem essa equação. Logo no início, veio um paradoxo para elétrons. Imediatamente se verificou que a existência de soluções que descreviam o elétron implicava na existência de outras soluções que descreviam partículas convenientemente descritas como partículas de carga +e, um elétron de carga +e. Mesma massa, de carga +e. Isso levou à descoberta do pósitron. Demorou muito tempo para se chegar ao pósitron, que é o antielétron, a antipartícula de Dirac. E levou muito tempo para que o antipróton, o antinêutron e outras antipartículas fossem descobertas.

No Brasil, em 1934, foi criada a Faculdade de Filosofia, e felizmente para a física e para a matemática foram convidados professores estrangeiros bastante atualizados. Na física, em radiação cósmica, veio Gleb Wataghin, em 35. O principal trabalho que toca mais diretamente partículas elementares foi o de Gamow e Mário Schemberg, da USP, que formularam uma teoria que chamaram de Efeito Urca (Urca Process), de perda de energia do Sol que não era explicada convenientemente só pela radiação eletromagnética. Era a teoria de neutrinos que saíam como do fundo de um saco, uma vez que tinham interações extremamente pequenas com a massa do Sol. Já no Rio, a futura Faculdade de Filosofia foi criada só em 1939 e não houve a sabedoria de trazer professores de física moderna. Então, os professores que vieram foram mais clássicos, em geral. Antes da Faculdade de Filosofia houve a Universidade do Distrito Federal, que durou poucos anos e por motivos políticos foi transformada na Faculdade de Filosofia. Mas para se ter uma idéia do tipo de curso que havia na Faculdade de Filosofia do Rio, nunca tivemos, Leite Lopes, eu, Elisa Frota Pessoa, cursos de física atômica, de mecânica quântica e outros cursos modernos como esses, que eram fundamentais para o estudo de partículas elementares, pelo qual nós já tinhamos tomado gosto desde o início da faculdade. Tinhamos, por exemplo, estudos de radiação cósmica, fizemos seminários de Heisemberg em radiação cósmica, de física atômica, de mecânica quântica. Para

compensar essa situação, acabamos indo os três para São Paulo, a convite do Wataghin e do Schemberg, depois de 1942, quando nos formamos.

Também houve uma tendência de, assim que aproveitamos bem a situação de São Paulo, começarmos a sair do país. O Lattes saiu primeiro, para a Inglaterra, o Leite depois, ou mais ou menos na mesma época, foi para os Estados Unidos, para Princeton. Eu depois fui para os Estados Unidos, para Princeton, e um professor de São Paulo, o Schützer, foi para os Estados Unidos, para Princeton, sem esquecer que quem abriu o caminho para todos nós foi o Mário Schemberg, que também tinha ido passar um tempo em Princeton e nos deu as informações sobre o tipo de física que se fazia lá.

Em 1945, acho que um pouco antes, o Lattes, Powell e Occhialini produziram um trabalho em que identificavam uma partícula nova, que foi chamada de méson pi. Tinha massa próxima da massa do Yukawa, e aparentemente era produzida por interações entre nucleons e partículas incidentes da radiação cósmica. Naquele tempo, já havia os aceleradores, mas ainda não davam para produzir as partículas energéticas. Um ou dois anos depois o Lattes foi chamado aos Estados Unidos porque não estavam conseguindo encontrar na produção artificial os mésons que por todos os cálculos deviam estar presentes, e estavam. Então, fazendo a revelação correta das chapas, foi encontrado o méson pi.

Esses trabalhos de Lattes tiveram uma repercussão muito grande, inclusive para o futuro da física no Brasil. Se bem que Leite Lopes já tivesse começado a formar um grupo na Fundação Getúlio Vargas e nós tínhamos discutido muito a idéia de que deveria haver um grupo de física no Rio que se balanceasse com o da USP. Mas como não havia condições de se fazer nada na Faculdade de Filosofia, porque a direção era avessa a modificações maiores, então Leite Lopes tinha organizado esse grupo na Fundação Getúlio Vargas. Mas o grupo tinha limitações já de saída, não podia crescer, de modo que continuava aberta a situação no Rio. Com a vinda do Lattes, com o prestígio que ele tinha adquirido, várias pessoas se reuniram no Rio para discutir esse assunto. Depois houve uma reunião em Princeton em que o Lattes, o Leite, eu, o Walter Schützer, de São Paulo, o Hervásio de Carvalho, do Rio, pedimos a presença do Yukawa para discutir o início da física no Japão. Lá também tinha acontecido uma coisa desse tipo, em que a física teve de começar nas escolas secundárias, fazendo pesquisa que era publicada nas revistas internacionais, porque não havia nem posições nas universidades e às vezes não havia nem a física mesmo. Essa, pelo

que eu sei, foi a última reunião de uma série que concordou finalmente que o novo centro de pesquisas devia ser no Rio, porque havia ainda uma pressão para que fosse em São Paulo. O Instituto de Física Teórica acabou indo para São Paulo justamente porque as pessoas que queriam que fosse em São Paulo não vieram para o Centro.

O Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas começou a funcionar em 1949, numa época em que ocorria um grande progresso na física de partículas. Foram descobertas novas partículas, as partículas mais pesadas do que prótons e nêutrons e outros léptons, tipo elétron, o méson mu. O méson 'pi' também foi descoberto, estava implícito já na própria descoberta do méson mu e chegou-se a um esquema em que havia dois tipos de interações mais comuns, três aliás, a eletromagnética (mais clássica), a interação forte entre núcleons, que dava origem às forças nucleares, e a interação fraca que levava ao *beta decay* - é o nêutron, por exemplo, se desintegrando num próton, num elétron e num neutrino. Mas ainda não se tinha considerado a extensão dessas propriedades a outras partículas que estavam sendo descobertas.

O Leite Lopes foi para Princeton e fez uma tese sobre a teoria dos mésons escalares para forças nucleares, defendida em 1944, e publicou outros trabalhos sobre o espalhamento de nêutrons por prótons. Quando ele voltou para o Brasil, eu já tinha terminado os cinco anos de serviço militar (acho que sou o físico que mais prestou serviço militar no Brasil, um no tiro de guerra, dois na tropa como soldado raso, dois no CPOR). Nós então nos juntamos e produzimos mais um trabalho sobre o espalhamento de prótons por prótons, por hidrogênio naturalmente. Saiu publicado em 1948 e aí eu já estava nos Estados Unidos.

Depois disso, ainda nesse período, até 1960, o Leite Lopes publicou vários trabalhos em física de partículas e outros campos. O trabalho que mais despertou atenção foi a introdução de mésons fracos, que interagem fracamente, para descrever a Interação Universal de Fermi, que Wheeler e eu tínhamos desenvolvido em Princeton. Mas essa parte também o Yang já tinha publicado. A parte nova, porém, foi a proposta sobre a existência desses mésons fracos, de carga neutra, carga zero, para os quais foi desenvolvida por outros físicos uma teoria especial, a de campos de *gauge*.

Mencionei o meu trabalho de forças fracas, interações fracas. Então vamos voltar a esse assunto. Eu estava em Princeton, para onde fui em janeiro de 1948 e fiquei até meados de 1950. O Wheeler ia apresentar um trabalho sobre a desintegração do méson μ, que era mais leve que o méson π. O méson

π se desintegrava em μ, um neutrino e uma outra partícula neutra que inicialmente foi chamada de μ_0 e depois passou-se a chamar de neutrino do μ. O Wheeler fez um seminário - lá era costume da equipe que se alguém fosse para uma conferência nacional ou internacional, fizesse seminário na universidade para debater antes da conferência. Ele apresentou esses resultados dele e eu fiquei muito excitado na ocasião porque ele estava adotando um esquema muito parecido a um que eu tinha discutido com o Lattes, quando esteve em São Paulo depois da descoberta do méson pi. Então o Wheeler chegou à conclusão de que a interação na desintegração tipo Fermi, se se tomasse uma desintegração tipo Fermi, interação *beta decay* de Fermi, entre o próton e o nêutron, e não mais elétron-neutrino, mas o par $\mu\mu_0$ num cálculo simplificado, tomando a matriz de interação como sendo puramente escalar, ele obtinha então que a constante de interação para essas outras partículas era praticamente igual à da desintegração β. Chegando ao dormitório, comecei a fazer imediatamente cálculos para considerar a situação que descrevesse um outro tipo de reação com quatro partículas. Então considerando a desintegração do nêutron, primeiro com a teoria de Fermi, segundo a desintegração do méson μ, e terceiro, a que eu considerei, a captura de méson μ por nucleons. Mais ou menos com núcleos de Z = 13 já davam a captura com mesma intensidade que o *decay* do méson μ. Então, levando em conta isso, adotando uma interação tipo Fermi, como o Wheeler também, para mais essas partículas, calculei a constante de interação e com surpresa obtive uma constante praticamente igual às outras duas. Então fiz a hipótese de que havia ali uma interação universal. Porque essas constantes, para interação do mesmo tipo, resultavam tão próximas. Apresentei o resultado ao Wheeler, ele ficou entusiasmado e incluiu esse resultado logo na comunicação dele ao Caltech. E nós começamos um programa para expandir esse campo de pesquisa, para introduzir forças de interação mais gerais tipo Fermi.

Depois disso, em 1950, defendi a minha tese, e no mesmo ano, antes de voltar para o Brasil, realizei um trabalho com o Yang, no qual já procurávamos descobrir o formato da interação fraca: se era uma dessas interações fundamentais de Fermi ou se era uma mistura delas, e qual. Então fizemos uma hipótese de que essa interação era tal que fosse simétrica em relação à permutação de todas as partículas e antipartículas. O resultado é que só havia uma interação desse tipo, que era uma interação totalmente anti-simétrica, de Wigner-Chrichfield, que no entanto não resistiu à comparação com a experiência. Eu continuei interessado na pesquisa das partículas, na forma da inte-

ração universal, que tinha me entusiasmado, e procurei examinar tipos de simetria, outros, além da antissimetria total que tem essa interação de Wigner-Chrichfield, trabalhei nesse campo até 1956, quando cheguei a uma conclusão de que impondo essas simetrias só havia duas possibilidades: a mistura A - V (Axial menos Vetorial) ou escalar + pseudo-escalar menos tensorial, que eram as únicas que tinham essa propriedade de simetria que eu tinha considerado.

Depois da descoberta da violação de paridade na interação fraca, por Yang e Lee, em 1956, ficou aberta a possibilidade de uma interação universal de Fermi, com violação de paridade. E aí eu chegava, usando a quebra de paridade como sendo o operador $(1 + \gamma_5) / 2$ (*um mais gama cinco sobre dois*), que violava espontaneamente a paridade. Eu obtive esses resultados anteriores, agora com quebra de simetria. Mas tinha que escolher uma teoria. Fui verificar os últimos trabalhos, um trabalho de Konopinski e outro, em que eles chegavam à conclusão de que teria que conter S e T, pelas análises experimentais, excluindo a possibilidade de A e V. Então, aceitando esse resultado experimental, propus a teoria S+P-T, que era a única que concordava com a experiência naquele momento. Mal sabia eu, isolado no Brasil já há vários anos, em 1957 (há sete anos naquela época), que entre os físicos nos Estados Unidos e na Europa corriam informações sobre a incorreção desses trabalhos que levaram a essas conclusões anteriores. Então, o escalar passou a ser vetor e o tensor passou a ser pseudo-vetor. Com os novos resultados da experiência, o Feynman, que estava no Brasil naquela época, e o Gell-Man propuseram a teoria da interação fraca, como sendo A - V, enquanto eu estava propondo S + P - T.

O Feynman não conseguiu me dar nenhum argumento concreto do porquê A - V. É, pelo modo como ele formulou as condições dele de comportamento da equação de Dirac, que resultava isso. Naquela época, eu podia ter chegado ao mesmo resultado, porque havia um outro resultado experimental, um resultado quase nulo, que tinha sido obtido por Elisa Frota Pessoa no CBPF ainda em 1949, sobre a relação do π desintegrando em elétron-neutrino para o π desintegrando em μ-neutrino. Então, a previsão era a seguinte: se a interação fraca fosse pseudo-escalar, essa relação seria quase igual a 1. Se a interação fosse escalar ou vetorial, a relação seria nula. E a interação axial, daria uma relação 10^{-7} entre essas duas intensidades, o que indicava V-A e não S+P-T. As previsões sobre essa relação eram de um trabalho do Ruderman", que li antes de voltar para o Brasil, mas deixei de informar a Elisa. E quando voltei ao Brasil, com a sobrecarga das atividades do Centro, do CBPF, eu me esqueci. Nesse

momento , em 1957, eu tinha a obrigação de lembrar, porque estava propondo uma interação que incluía a parte pseudo-escalar. Porque eu podia ter excluído essa possibilidade, (S+P-T), por não poder haver interação pseudo-escalar significativa na interação fraca. Desse modo a família perdeu uma enorme oportunidade de ter participado mais intensamente dessa parte da física.

Por volta de 1956, deu-se a previsão de que haveria um méson de paridade +, tipo méson K, que chamamos de K' num trabalho com Nicim Zagury e Luciano Videira. Minha suspeita disso veio do fato que a assimetria na produção de sigma menos, numa dada reação nuclear que tinha sido estudada, a colisão com mésons π com um núcleo atômico, essa assimetria não estava de acordo com a teoria usual. Então, fazendo a hipótese de que haveria uma ressonância (K+ π) com a formação de uma partícula virtual K', como chamávamos na época, encontramos uma assimetria que, na comparação com a experiência deu o valor da massa do méson K', muito próximo do valor experimental da massa do K^* descoberto depois. Ao contrário do méson K, de paridade menos, esse K' tinha que ter paridade mais.

Outro trabalho da Elisa, de conseqüência importante, foi sobre a desintegração do μ que tinha sido o ponto de partida da descoberta do méson π por Lattes *et al*. Então, num trabalho definitivo, ela mostrou que a suspeita levantada por alguns físicos de que o méson π tivesse spin diferente de zero, spin 2, por exemplo, estava eliminada com os resultados desse trabalho dela, porque senão produziria uma assimetria não encontrada por ela.

Não incluí o Roberto Salmeron, porque praticamente durante todo esse tempo ele estava na Inglaterra. Ele esteve um período no CBPF, mas não teve muitas facilidades. Ele trabalhou na Inglaterra, no CERN, na França, mas também eu não falei sobre esse período posterior. E também devo ter esquecido de incluir alguém. Então espero que, se encontrarem alguma falha desse tipo, me comuniquem. Muito obrigado.

Perguntas

PERGUNTA: ***Quer dizer que a Física do Rio de Janeiro começou em São Paulo?***

TIOMNO: A Física Moderna do Rio de Janeiro começou em São Paulo. Realmente, nós não tivemos Física Moderna na Universidade do Rio. Então, ti-

vemos que fugir para São Paulo, para adquirir os conhecimentos de Física Moderna, e, os que puderam foram logo para o exterior, porque também São Paulo não tinha mais o desenvolvimento que a gente almejava ter.

PERGUNTA: *E esse grupo se organiza em torno da Física de Partículas? Ou seja, o grupo que cria o CBPF é basicamente o grupo da Física de Partícula?*
TIOMNO: É. De partículas e conexos.

PERGUNTA: *Todo mundo que fala em cientistas de esquerda, no Brasil, lembra de Jayme Tiomno. Mas, tem uma história sobre a Universidade de Brasília. O Santoro foi seu aluno na UNB, não?*
TIOMNO: Elisa e eu levamos um bando de estudantes, que pediu transferência para a Universidade de Brasília. O Alberto não estava nesse grupo, porque ele já estava em Brasília

PERGUNTA: *Sobre sua saída do CBPF: O CBPF era um órgão privado e, em 64, não havia razão para a cassação, que acarretou o seu afastamento, o do Leite Lopes, o do Schemberg, o da Elisa. Como é que você vê esse momento?*
TIOMNO: Bom, o presidente do CBPF era o almirante Otacílio Cunha. Eu sabia que ele estava envolvido em problemas. Tinha sido indiciado por várias coisas, principalmente, sobre a Comissão de Energia Nuclear. Ele não tinha condições para enfrentar a pressão dos militares e foi mais realista do que o rei. Advocou-se um direito que não tinha, quer dizer, de que nós não poderíamos receber auxilio do Conselho de Pesquisas, das autoridades federais. Como o CBPF era uma instituição privada, tinha que encontrar um órgão para nos dar esses auxílios, salários e tudo mais e, ao invés disso, ele achou que era mais simples nos afastar, alegando que era o ato n. 5, o ato complementar, que o exigia. Naquela época, era muito difícil encontrar um advogado que aceitasse a causa. Justamente para alegar que, de fato, não havia nada que obrigasse o Centro a nos demitir, tanto é, que a PUC não demitiu ninguém. Houve, no Brasil, outros casos de demissão, e esses casos de não-demissão. O próprio diretor do CBPF executou o ato. A PUC fez uma coisa mais simples. Mandou uma consulta aos órgãos federais, não sei quais, dizendo que estava consciente daquilo e que aguardava instruções de como agir. E vejam vocês, eles são jesuítas ... Não tiveram resposta.

A física de partículas

A física experimental de altas energias: presente e futuro

Alberto Santoro

30 de Junho de 1999

É óbvio para todos nós que a obra do professor Tiomno não findou onde ele parou na palestra que me antecedeu, e a prova disso é que eu estou aqui. Parte de seu trabalho foi a criação de grupos de pesquisas; eu estou aqui trabalhando e fiz parte de seus estudantes em Brasilia e no CBPF.

Comecei a aprender física com ele, com o professor Salmeron, com a professora Elisa Frota Pessoa. Eu era aluno de arquitetura e de engenharia na Universidade de Brasília e devo confessar que foi talvez a época profissional mais feliz de minha carreira científica. Depois, foi quando estive no Fermilab para mudar de área, também por intermédio do professor Tiomno, e tive oportunidade de realizar algum trabalho. E ainda continuo trabalhando. Hoje nós temos um grupo bastante significativo aqui no Rio.

Vou mostrar um dos nossos projetos, que considero talvez o mais importante. Muita coisa que o professor Tiomno falou estava incluído na minha apresentação. Vou usar alguns *slides* em inglês, e peço desculpas, mas são de fácil tradução. É que tento lançar mão de algumas figuras bonitas produzidas nessa colaboração e que são bastante significativas, para exemplificar como é que hoje nós estudamos e qual a nossa preocupação com as interações fundamentais da natureza.

Na realidade o que está escrito aqui, "presente e futuro", não tem muito sentido em física, como também não tem o passado. Mas, por intermédio de alguns operadores e também das leis físicas, sabemos que não se vive no presente sem o passado, onde as leis físicas são as mesmas. Vou me referir muito mais a nossa prática, quais são os programas e o futuro da física experimental de alta energia, pelo menos para os próximos dez a quinze anos. Mais além

não se pode prever, pois há uma correlação muito forte entre o desenvolvimento das tecnologias e as concepções que se tem de partículas elementares, do que é elementar na natureza. À medida que se adquire um número maior de possibilidades de investigação, de tecnologias, de máquinas capazes de sondar a matéria mais profundamente, vamos vendo mais de "perto" certas estruturas e classificando as partículas de modos diferentes e também introduzindo novas simetrias. Aqui, estamos no presente, com alguns sinais de violação do modelo padrão. Vamos falar um pouco sobre o que é modelo padrão e dos desenvolvimentos futuros para o novo século. Refiro-me a tecnologias, pois são elas que dão a possibililidade de desenvolvimento em física.

A física das interações fundamentais da natureza constitui, na verdade, uma preocupação antiga. Alguns séculos antes de Cristo, os gregos se preocupavam em como poderiam construir todo o universo. De início, os unicistas, para os quais tudo era constituído de fogo ou, segundo outros, de água etc. Então, por volta de 500 a.C., vem Empédocles, que estabelece, a meu ver, a primeira situação muito parecida com a atual, isto é, ele estabelece alguns elementos fundamentais, mas introduz a interação. Chamou as duas interações de "amor" e "ódio". O amor juntaria os elementos fundamentais, o ódio os separaria. É interessante que também hoje usamos palavras muito fora, digamos, do sentido científico, como "charme", "beleza", "sabor", para falar das partículas elementares. Então, observamos que essa preocupação de tentar construir o universo a partir de alguns elementos fundamentais é mais do que milenar.

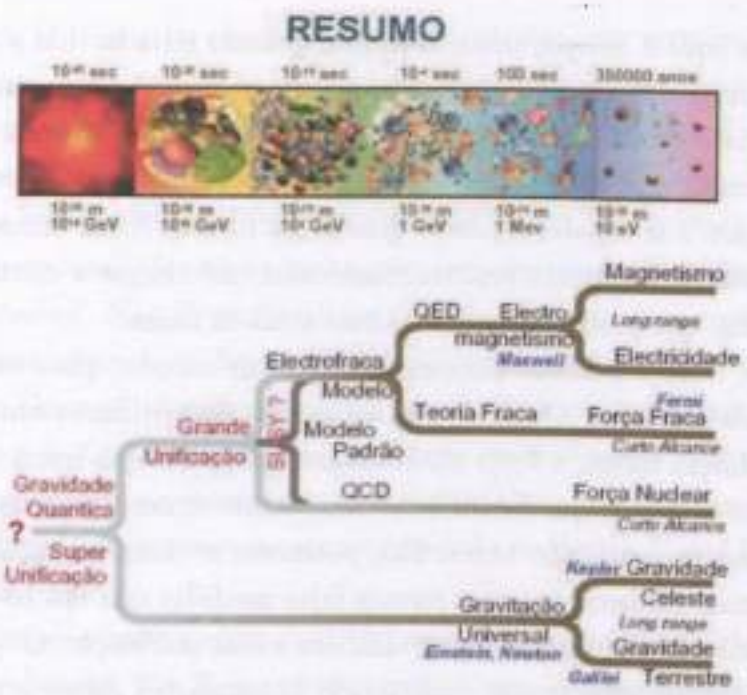
O primeiro enfoque na física de altas energias foi a dos raios cósmicos. É o que se pode chamar de enfoque moderno. Da figura abaixo, onde vemos um chuveiro de partículas espalhadas em uma grande área, podemos tirar algumas conclusões. Estes seriam raios cósmicos, vindos de interações a cerca de 40.000 metros de altura; uma interação primária, com um núcleo qualquer, produzindo chuveiros, que tanta história têm com o Brasil, pois existem trabalhos de físicos brasileiros de grande importância nessa área. Até hoje, aliás. Todo mundo deve ter ouvido falar nesse grande projeto que é o Auger. E vejam porque dizemos que tem de ser tão grande, com tantos detetores: vejam como é difícil trabalhar com raios cósmicos. Se desejamos reconstruir esses traços todos, para saber que particulas são essas, temos que distribuir um enorme número de detectores, fazer coincidência eletrônica entre eles e extrair conclusões a partir da nossa observação.

É o caso do projeto Auger: eles tentarão saber quem é esse acelerador Universo, que está nos trazendo partículas a energias tão altas, totalmente impossíveis de serem alcançadas com as tecnologias que conhecemos hoje. É possível que no próximo século se descubram novas tecnologias para aceleração de partículas. Há estudos sobre isso e até conferências anuais em que são discutidos o avanço sobre o assunto. Um dos meios, talvez, seja a aceleração a laser, o que significa que as grandes máquinas se reduziriam em tamanho ou seriam utilizadas para acelerar a energias muito mais altas do que as que alcançamos hoje. Assim, poderemos sondar a matéria de forma mais contundente, mais profunda, examinando, quem sabe, até outras estruturas que existam no próprio quark.

Para tentar repetir esses tipos de eventos e fazer um trabalho mais sistemático, os físicos inventaram os aceleradores. O Lawrence inventou este pequeno acelerador de prótons. Este, da figura a seguir, está mais ou menos em tamanho real, um pouco maior do que a minha mão. É um acelerador de prótons, mais ou menos de 1930, que conseguiu acelerar prótons até 80 kev (kiloeletrovolts).

Foi um dos primeiros aceleradores de partículas e serviu para mostrar as possibilidades de desenvolvimento para a física de partículas, as novas possibilidades experimentais. Com o início das pesquisas em aceleradores, houve também um enorme desenvolvimento científico e tecnológico. É assunto para se falar horas, mas não vamos discorrer aqui sobre o grande número de tecnologias inventadas, nem sobre o desenvolvimento científico que permitiram um conhecimento muito maior da matéria.

O esforço principal se concentra, então, nas interações fundamentais da natureza e suas partículas elementares, que sofrem essas interações. Talvez assim possamos escrever a história do universo. Está na moda dizer que a história acabou, uns dizem mesmo que a física acabou, vimos declarações parecidas, com argumentos em termos de demanda etc., o que é extremamente falso. Eu acho que ainda estamos engatinhando, e certamente com o conhecimento das interações fundamentais é que vamos poder escrever a história do universo, de como ele evoluiu. Sobre essa história, vou mostrar um *slide* que resume uma série de outros que tenho aqui, com a divisão em eras. Os cosmólogos gostam muito desse tipo de detalhe, da divisão em eras: a era da gravitação quântica; a era da grande unificação, em que todas as forças estariam confundidas, indistinguíveis, e que é objeto de pesquisa bastante forte hoje; depois a era eletrofraca, em que as forças eletromagnéticas e fracas se separariam; e, então, num período posterior, a formação de prótons e nêutrons, de núcleos, entrando-se no período dos átomos, da formação de galáxias, até os nossos dias, a era do homem propriamente dito, que data de aproximadamente 300 milhões de anos.



Com os aceleradores, podemos investigar essas estrutras, que mostrarei um pouco mais adiante. Existe uma relação entre a instrumentação que se utiliza e o tamanho do objeto estudado como mostramos nessa figura abaixo (de um *slide* do CERN).

Temos aqui o tempo, desde o início, quando teria havido a grande explosão ou uma das grandes explosões, até o presente. As estruturas que vão surgindo nas diversas épocas e as forças que vão atuando em cada uma delas. Na primeira, se tem praticamente só os quarks; aí começam as interações fortes, começam a se separar e juntar quarks e a formar novas estruturas; estas vão crescendo e formando átomos, moléculas, até chegar a estruturas mais complicadas, que pesquisamos em outras áreas da física.

Então, estas são nossas perguntas básicas de estudo: quais as forças elementares da natureza? Quais as partículas e os constituintes fundamentais? Temos as forças fortes, a força eletromagnética e as forças fracas. Estas duas últimas são as únicas que foram unificadas recentemente, pois todo o eletromagnetismo foi unificado antes. São, portanto, as duas interações da natureza que mais conhecemos, por termos feito medidas que nos levaram a um melhor conhecimento e que levou também a essa unificação. O que estamos trabalhando hoje seria muito mais ligado às interações fortes, a todas as interações que atuam nas interações fortes. Parte de nosso atual trabalho está em acabar com esse tipo de esquizofrenia (que existe na interação forte) de se apresentar com uma cara que é chamada mole e outra chamada dura. São duas teorias, uma das baixas energias ou da parte suave, chamada de teoria de Regge, que descreve muito bem esse lado, e a outra sobre a cromodinâmica quântica, e não há ainda uma teoria comum. Isso é motivo atualmente de grandes discussões e pesquisas: tentar fazer uma unificação da própria interação forte, ou seja, fazer uma só descrição. É sobre esse problema que hoje estamos trabalhando, do ponto de vista experimental.

Esse é o quadro conhecido, que há poucos anos atrás foi completado no caso dos quarks. Temos de um lado os léptons, o elétron, os muons, o tau e os seus neutrinos, e, de outro, os quarks, que também são seis. Seriam "coloridos", o que é apenas uma representação artística, não quer dizer que são bolinhas bonitinhas mas que têm carga elétrica fracionária. E têm nomes curiosos: up, down, charme, estranho, top e bottom. São nomes que certamente, daqui a uns dois ou três mil anos, alguém que estude isso vai achar tão esquisito quanto os nomes que Empédocles deu às interações dos seus elementos fundamentais: amor e ódio. E as forças que atuam nessas partículas são, como acabamos de falar, as forças fortes, que juntam os quarks e formam uma estrutura primária de mésons e bárions. Até pouco tempo, por volta do anos 60 e até mesmo 70, os mésons e os bárions eram as partículas

elementares, e os quarks eram objetos matemáticos que serviam para definir simetrias. Atualmente, as partículas elementares são quarks e léptons. E também tem o gluon, o "grude", que seria a tradução de *gluon*. É quem faz o papel de integrador das estruturas mesônicas e bariônicas, com uma enorme diferença: é que os glúons, diferentemente dos fótons, podem interagir entre si. Então, a cromodinâmica quântica traz consigo um novo objeto, que é o chamado *glueball*. Não é possível fazer *fotobol*...(fótons não interagem entre si para formar estruturas). Essa é a grande diferença entre a Eletrodinâmica e a Quantum Cromodinâmica; do ponto de vista teórico, uma teoria é abeliana e a outra não. Os glúons, então, vão formar esses *glueballs*, que são objetos que nos preocupam e que esperamos observar agora na próxima corrida no Tevatron, com os detetores que estamos fazendo no Brasil, lá no LNLS, e que vou mostrar no final.

As interações fracas e eletromagnéticas estão aqui representadas: existem os fótons, os bósons W e Z, o gráviton e os glúons. São os campos que fazem a interação (os comunicadores), eles trazem consigo os números quânticos da interação. Outra coisa que eu acho que nos próximos vinte anos possivelmente será observada são as ondas gravitacionais. Experiências estão sendo montadas hoje, por americanos e europeus, usando interferometria para a observação de objetos gravitacionais em lugares diferentes. Trata-se de um investimento muito grande, ao contrário do que se poderia pensar. Só nos EUA são quatro antenas. São experiências extremamente importantes. Quem quiser saber mais, pode acessar a Internet, é extremamente interessante. Tais experiências talvez nos tragam surpresas na primeira década do século 21.

Resumindo tudo isso, chegamos ao modelo padrão. Nesse quadro do modelo padrão, está toda a situação: as estruturas de que falamos, os léptons e quarks de um lado, com as suas propriedades, as massas revistas. A gente vê aqui o erro que se fazia nos cálculos teóricos, avaliando-se 80 Gev para a massa do top; foi uma surpresa encontrar algo como 180 Gev nos dois experimentos realizados no Fermilab. Temos os bósons intermediários, que são responsáveis pelas interações entre as partículas, suas propriedades e predições diferentes para as estruturas que elas formam usando quarks e leptons; em seguida bárions e mésons, tal como acontece com as estruturas atômicas.

Para desenvolver todas essas idéias é que foi construída uma série de aceleradores, e outros estão sendo pensados que são extremamente interes-

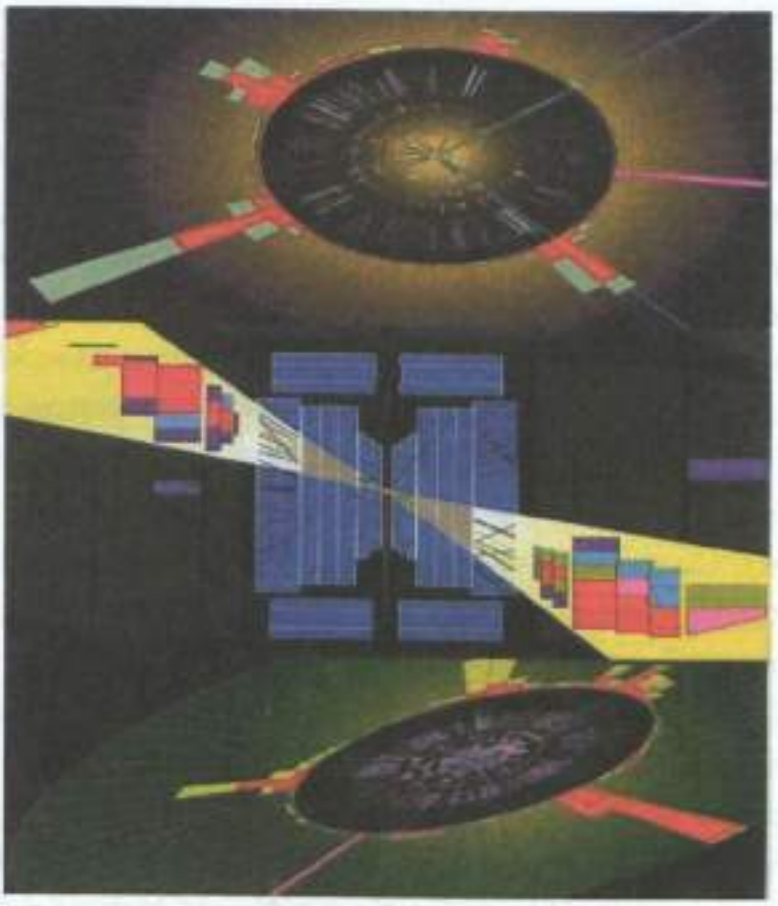
santes. No CERN tem o LEP (*Large Electron-Proton Collider*) com o acelerador de e(+) e(-), que está em funcionamento e deverá parar daqui a uns dois anos. Mede 25 km de circunferência, 100 m de profundidade e uma energia de 200 Gev no centro de massa. No Fermilab existe o Tevatron, atualmente o acelerador de maior energia de partícula acelerada num só anel. Ele acelera prótons e antiprótons a 2 trilhões de eV e tem 6 km de circunferência. O LHC (*Large Hadron Collider*), encontra-se em construção e deverá estar funcionando por volta de 2006 e vai elevar a energia a 14 Gev para próton-próton, utilizando o mesmo túnel do LEP. No Desy, existe o Hera, que fica em Hamburgo, na Alemanha, onde se acelera elétrons e prótons. Esse sistema de aceleração, que considero um acelerador e um laboratório dos mais bem bolados que visitei, principalmente pelo fato de que lá convivem cerca de mil físicos de estado sólido e outros mil de partículas, todos trabalhando nas múltiplas possibilidades de pesquisas que o Desy oferece devido ao sistema de aceleração. Esse formato alimenta a colaboração interdisciplinar e diminue os conflitos de interesse de diferentes comunidades científicas. Outra coisa interessante é que não fica no fim do mundo, mas embaixo da cidade, e a gente não precisa ir se esconder nos confins de Illinois (como no Fermilab). No BNL, que é em Brookhaven e que vai entrar em funcionamento agora no próximo ano, há um acelerador dedicado principalmente a ions pesados. Há um enorme interesse por grandes projetos futuros. Na Itália, há o projeto de um acelerador que daria a volta em toda a Sicília, o Eloisatron. Outro seria em volta do próprio Fermilab. São estudos, especulações que podem virar realidade da noite para o dia, porque o pessoal continua estudando, trabalhando e fazendo reuniões sobre como concretizá-los. Já existem até propostas encaminhadas para fazer um *upgrade*, uma melhora da ordem de 3 Tev no próprio Tevatron para que se possa começar a fazer um injetor que leve a esse acelerador uma energia um pouco maior, à espera de novas tecnologias. O LHC, do CERN, atualmente em construção vai usar esse túnel já existente, com alguns detectores que estão participando da formação das pesquisas futuras e que se encontram em plena construção. Nós, em particular, estamos interessados e realizamos contatos com vários colegas, formando um grupo de trabalho possivelmente aqui no CMS. O LEP, como falei, é um acelerador de elétron-pósitron e o LHC vai ser um acelerador de próton-próton a essas energias.

No circulo menor começa toda a aceleração e o nosso detetor fica quase no lado oposto. O CDF (*Collider Detector Facility*) encontra-se do outro lado. Aqui há um *village*, onde moramos enquanto trabalhamos lá, e aqui os laboratórios de neutrinos, os laboratórios de alvo fixo. No velho haviam dois aceleradores, um embaixo do outro. Com a melhora da tecnologia, utilizando a fundo os supercondutores, então se chega a ter no mesmo anel aceleração até 2 Tev, com as melhoras em todos os setores, inclusive no gasto de energia, e por esta razão se chama "energy saver". A aceleração começa no Cockroft-Walton, a 750 kev, e joga um jato de prótons no acelerador linear que vai para um impulsionador que eleva a energia dos prótons até 8 GeV, em seguida, para um "booster" e injeta o feixe no Tevatron. Essa energia vai ser aumentada até 2 trilhões de eV. De um lado, então, fica o CDF e o D0, cujo nome indica sua posição no próprio Tevatron.

Falamos um pouco dos aceleradores, e agora é bom mostrar o que são os detetores. O CDF não é o "nosso" detetor, mas é certamente o mais bonito que eu conheço. Foi bem desenhado e apresentado, trata-se de um detetor realmente bonito e aqui dá para ter uma idéia do tamanho.

Esses detectores são construídos com células (sub-detectores) de calorímetros e câmaras centrais, com campos magnéticos centrais que vão fazer a deteção e o traço das partículas produzidas na interação, no centro do detetor. Do lado direito vemos o D0, que tem também uma parte central, chamada "*tracking*", quer dizer, onde se reconstróem os traços das partículas. Há uma parte que é toda de calorimetria, e é considerado o melhor calorímetro existente. É feito de argônio e urânio e está todo envolvido por um toróide.

No interior está sendo colocado um solenóide com um campo magnético de 2 tesla; quer dizer, a gente pode ter uma definição muito boa dos momentos que vão ser medidos, das partículas que vão sendo produzidas aqui. E em volta, num sanduíche, estão os detetores de múons, que servem também para o veto das partículas de raios cósmicos produzidas; o D0 é um ótimo detetor de raios cósmicos. Esse é um desenho (um *cartoon*, como dizem os americanos). Esses detetores foram capazes de detectar na última rodada, o quark *top*, num choque de um próton e um antipróton. A essas energias, produziram um T T-barra que vai desintegrar em *bottom* e produzir jatos, e também os W que vão se ligar aos quarks e *hadronizar*, tudo isso no interior, evidentemente minúsculo, do detetor.



Essas tomadas representam uma fatia do detetor, com todas as suas células e as partículas que foram determinadas e que nos levaram a dizer que foi um *quark top* que produziu esse evento. Foram feitos cartões de Natal aproveitando eventos reais do *top* observado na última rodada. Eu resolvi mostrar esses eventos porque são realmente bonitos. Isso pode ser visto também por

outro ângulo, apenas com a interação e todo tipo de tecnologia que se utiliza: de computação, métodos estatísticos etc., para chegar a uma observação, a uma análise como essa.

Concentramos quase no final da nossa palestra os desafios para o próximo século. Em primeiro lugar vamos ter que terminar, completar o modelo padrão. Não é verdade que o modelo padrão ficou completo com a descoberta do *top*. O *top* é extremamente interessante por suas particularidades. Uma delas é que vai praticamente 100% em *botom antibotom*, depois em sua hadronização; estes vão em muons em elétrons, em jatos e em fótons. Por que isso acontece? Será que é apenas um efeito que a gente não está conseguindo observar em outros casos? Mas, por enquanto, as observações em todas as teorias nos levam a dizer isso, mas porque, ninguém sabe. Resta-nos então descobrir a existência, ou não, de outros casos. Quanto aos glueballs, se não existirem, vamos ter que trabalhar duro para dar à cromodinâmica quântica uma nova regra de supressão, digamos, de *glueballs*, uma vez que glúon interage com glúon, formando novos estados, e podem ser estados ligados ou não. Na próxima rodada, a questão estará na descoberta do Higgs, que é o objeto que nos traz, digamos, a massa para todas as partículas e os centauros que nunca foram observados em aceleradores. Existe essa preocupação dentro do nosso menu. Acreditamos estar agora nos aproximando em condições tais que vão nos colocando em situação bastante favorável para a observação também de centauros. Não só isso, mas ir além do modelo padrão. Até o presente, não fomos capazes de fazer nenhuma observação prevista pela supersimetria. É realmente um trabalho insano tentar procurar algum indício de nova física ou da supersimetria na física de partículas. Finalmente, experiências que levem, como mencionei há pouco, à questão das ondas gravitacionais e à unificação das interações fundamentais. É uma esperança, digamos, é parte de um programa da física das interações fundamentais da natureza.

Então, como desafios para o novo século, agora em termos das tecnologias que se podem usar, uma das coisas que podemos realizar é procurar a aceleração de partículas com tecnologias diferentes das atuais, do contrário vamos ficar neste ponto. Existem estudos de futurologia a respeito desses novos aceleradores. Essa tecnologia tem que mudar. Não tenho a menor dúvida disso, a física não convive com dimensões que vão além do razoável. Até certo ponto, há uma espécie de contradição: quanto menor o que se procura, maior o instrumento ocupado. Enfim, tenho a impressão de que essa tecnologia tem

que mudar, para que se possa realmente avançar na sondagem da estrutura da matéria, no seu interior. Mas não é para já.

O estudo de novos materiais para detetores constitue outro programa intenso de pesquisa para enfrentar as condições das novas energias e uma intensa radiação no detector central. No LHC isso vai ser importante, porque em poucas rodadas já se pode calcular em quanto tempo a gente vai queimar o detetor. Esse detetor é muito caro, não dá para trabalhar com perspectivas de curto prazo. Então procuramos novos materiais. Outro exemplo é o que estamos nos envolvendo com um tipo de projeto em supercomputação, não com detetor diretamente (detetor é uma coisa um pouco mais trivial do que isso). Por enquanto são somente estudos. Ninguém pensa em comprar absolutamente nada agora e, sim, estudar quais as melhores condições, que tipo de máquina a gente vai precisar, se precisamos estabelecer parâmetros extremos na fronteira do possível etc. Queremos contar com a última tecnologia. E isso é parte do menu da virada do século.

A eletrônica mais rápida e a fotônica já começaram a ser estudadas para os novos detectores do LHC-Large Hardron Collider. Começamos a utilizar tanto fotônica quanto eletrônica em conjunto, com várias vantagens. A vantagem da fotônica é muito grande, não só em questão de velocidade, mas também em vários outros tipos de efeitos é mais interessante utilizá-la. O pessoal de eletrônica e de fotônica está começando a trabalhar isso mais profundamente e existe muita coisa já desenvolvida a respeito. É a computação da ordem do Petabyte! (mil Terabytes). Há alguns anos , falávamos de megabyte, de terabyte, no máximo; atualmente nós falamos em Petabytes. O que está se programando para essas próximas colaborações são coisas extremamente excitantes, sob todos os pontos de vista. Uma das conseqüências é a impossibilidade da manutenção da internet atual para uso de pesquisas científicas de fronteira. A internet atual certamente vai desaparecer, e o que vai entrar, vai deixar muita diferença. Os físicos de altas energias que inventaram esse processo, a WWW, estão agora preocupados exatamente com as dimensões que estão adquirindo os experimentos.

Por exemplo, o CMS, esse que estamos querendo desenvolver: existem 1.500 físicos envolvidos. Como a comunicação deverá ocorrer intensamente entre eles, como fazer uma reunião freqüente nas condições atuais? A situação está evoluindo para se fazer reunião cada um na sua casa, ou seja, no seu instituto, com uma televisão. Esse tipo de reunião já existe, mas não é muito

utilizada nem muito freqüente. No início, fizemos aqui no Brasil também, com o Fermilab. No entanto, com o crescimento da internet e como não somos prioridade, a faixa do *bandwidth* caiu a tal ponto que é impossível fazer esse tipo de aplicação. Por exemplo, muitas vezes é mais fácil você ir à Califórnia do que a São Paulo, porque a ligação ao *bandwidth* da internet Rio-São Paulo é muito menor do que o *bandwidth* que está disponível pela rede Rio com a Califórnia. Dá para a gente começar a pensar em ficção, em como esse mundo novo está se organizando de uma forma tão interessante, pensar nas possibilidades que estão aumentando, às vezes com satélites de comunicação mais rápidos.

Um dos sérios problemas que nos deparamos, atualmente, é com o pouco investimento em ciência nos últimos anos. Pensávamos que com o fim da guerra fria, decretada unilateralmente pela extinta União Soviética, os fundos para a ciência fossem aumentados consideravelmente. Mas isto não está acontecendo. Fundamentalmente, há uma espécie de regressão de certas sociedades. De vez em quando, a espécie dominante na natureza (o homem) começa a regredir e quer agredir todo mundo. Então é preciso convencer a espécie dominante, a sociedade como um todo, de que a física tem que continuar a se desenvolver, mesmo sem guerra; acabar com aquela motivação inicial, que foi um grande erro, de pensar que só se deve fazer uma evolução das grandes pesquisas em física se há investimento indireto para a guerra. Quando os EUA começaram a fazer os grandes cortes, houve uma reação muito interessante. Eu estou buscando um documento, que é assinado por homens importantes de vários setores da sociedade, não pelos cientistas, que protesta fortemente contra essa politica do governo americano. Dele participam a Ford, uma série de superindustrias americanas, que dizem ao Clinton diretamente: "Não, não tem nada de fazer isso, tem de ser mantida a pesquisa fundamental, ela é importante, sem ela nós não vamos conseguir alcançar no próximo século o nível de competição que os EUA sempre tiveram." Essa declaração, feita por gente desse tipo e não por nós, é extremamente importante. Então, quem sabe, nessa "colônia" que estamos vivendo, se possa ouvir e ler um pouco melhor esse tipo de declaração. Finalmente, voltando ao nosso tema, nessas energias mais altas, vamos poder enviar sondas a regiões cada vez menores da matéria, até, quem sabe, tirar melhores conclusões sobre o que é o vazio.

Por fim, uma proposta que nós fizemos, com dois anos sucessivos de apresentações aos comitês internacionais dentro do próprio Fermilab, do pró-

prio comitê, e que implicava numa modificação do acelerador, foi aprovada por aquele laboratório. O Fermilab gastou 500 mil dólares para modificar a linha do feixe, como mostra a figura acima.

Essa seria a única região possível, mas ninguém queria tocar no separador (na figura, é representado pelos 2 cilindros), porque é um instrumento extemamente sensível e é ele que, quando vêm os dois feixes de próton e antipróton, faz uma pequena separação dos dois para que ocorra um choque entre o próton e o antipróton. Os dois convivem no mesmo cano, no mesmo túnel, mas é preciso que num determinado momento eles se separem para um lado e para o outro e que haja um choque no interior do detetor. Os detetores chamados *Roman Pot* foram desenvolvidos durante dois anos por um grupo brasileiro, em colaboração com o LNLS, que está fabricando dezoito iguais, devido as suas possibilidades de oficina e infra-estrutura; a única que encontramos no Brasil com tecnologia de alto vácuo capaz de fazer esse tipo de detetor. Isso porque no interior desses potes, deve ter o mesmo alto vácuo do tubo do feixe, isto é, da ordem de 10^{-11} Torr *(1 Torr = 1 mmHg)*, que é considerado ultra-alto vácuo. É um detetor extremamente sofisticado, todo movido remotamente por intermédio de motores de passo. Existe uma estrutura interna de engrenagens que é responsável pelo movimento dos detetores, fazendo com que se aproximem do feixe; uma aproximação muito pequena, até a proximidade do halo. O halo (numa alusão ao halo dos "anjos") é uma nuvem de partículas que vai em torno do feixe. Assim, os detectores poderão registrar a passagem de prótons e antiprótons espalhados, não os prótons e antiprótons que interagiram, mas prótons e antiprótons que espalham a muito baixo ângulo. Aí

faz-se uma coincidência com o evento que está acontecendo no meio do grande detetor D0. Com isso, consegue-se provar que o que está sendo observado é uma interação de pomerons - objeto que foi proposto pela primeira vez por um russo chamado Pomeranchuk. Pela primeira vez, a gente vai poder observar a interação de dois pomerons, e como esses objetos são fundamentalmente constituídos por glúons ou grudões, e são esses glúons é que vão formar novos estados. Daí a esperança que temos de observar, dentro do grande detetor, os *glueballs*. Quer dizer, a probabilidade é muito grande de se observar nessas condições, o que até hoje não foi possível.

Essas novas pesquisas com instrumentação apropriada vão certamente nos levar à sondagem de regiões cada vez mais profundas da matéria, trazendo-nos conhecimento maior do que são na realidade as interações fundamentais da natureza. Somando-se novas idéias - que não precisam de aparelhagem, mas apenas de cérebros - é que se vai avançar no conhecimento e no domínio dessas forças fundamentais (a eletricidade e o eletromagnetismo), e quem sabe descrever novas tecnologias com as interações fortes com os múons no futuro. Então, é resolvendo os problemas ainda sem solução, e olhando-se para outros horizontes e convencendo a sociedade de que, sem exercício dessa curiosidade, a curiosidade com a ciência, a gente pode estar caminhando no sentido contrário da história. E para isto é fundamental investir em ciência básica.

Perguntas

PERGUNTA: *Santoro, você foi aluno do Professor J. Tiomno na Unb?*
SANTORO: Sim. Na época, eu era presidente do diretório. Sempre respeitamos nossos professores pela autoridade que sempre tiveram, intelectual e moral, e nunca precisamos, por isso, abrir mão de nossas convicções políticas. Posso dizer que esta é uma das razões pelas quais sou contra o voto do estudante, chamado voto universal nas universidades. Nunca votei no Tiommo para diretor, nem chefe; nem no Leite, nem no Salmeron, nada disso. Tinha o maior respeito por eles, e sempre tive a liberdade de discordar, se fosse o caso. O próprio professor Tiomno dizia que deveríamos lutar estudando Física... Na época eu era engajado, de esquerda .

PERGUNTA: *Existe uma interação grande com os estrangeiros?*
SANTORO: O trabalho em Física de Altas Energias, visto assim, no discurso

dos brasileiros somente, vai ficar um pouco esquisito. Mas, a Física de Altas Energias tem por tradição, desde a sua origem, de ser internacionalizada. Ela sempre foi globalizada. Mesmo no período mais forte da guerra fria, nunca deixaram de se corresponder, nem de trabalhar juntos, russos, chineses, e outros, no Cern, no Fermilab também. Houve vários incidentes diplomáticos com os russos, nessa época, no Fermilab etc, e também com os chineses, mas nunca deixaram de trabalhar. O que aconteceu foi que a América Latina não participava dessa coisa, e não participava por várias razões triviais. O Ledermann então, resolveu tentar puxar a coisa.

O Ledermann fez essa proposta e nós aceitamos o desafio, um primeiro projetinho para ir para lá, e passamos algumas semanas e trabalhamos em Física Teórica, em Fenomenologia. O Carlos Escobar, o Moacyr Souza, eu e outros que estavam trabalhando no Centro Brasileiro de Pesquisa, como o João dos Anjos e que a posteriori resolveu nos acompanhar. Vínhamos trabalhando com fenomenologia de partículas. Nós escolhemos inclusive a experiência que queríamos fazer, baseada nas experiências propostas ainda no Fermilab. Lembro-me ainda, como se fosse hoje, que quando chegamos lá, o Ledermann disse o seguinte: "Santoro, você vai trabalhar na minha experiência." Eu respondi: "Lamento, mais escolhi uma outra experiência." Aí ele disse: "Como você se atreve?" Ele era muito brincalhão e muito direto. "Você ousa recusar trabalhar com pessoas tão importantes como eu e Charpack?. E acrescentou: "Você precisa de trabalhos importantes, com pessoas importantes". Respondi: "Eu não vim para cá para isso". E ficou por isso mesmo. Ao mesmo tempo, para concluir, quando nós saímos do Fermilab, ele lembrou que desejava nos agradecer pela nossa contribuição, pois, uma grande parte dos seus colegas, perguntava como ele ousava gastar dinheiro com um bando de gente que não ia dar em nada. "A contribuição de vocês foi muito além do que eu mesmo esperava e, por essa razão, quem agradece sou eu, porque eu teria que explicar para eles como foi feito esse investimento. Eu não tenho mais que explicar. Eles têm que agradecer, como eu, essa contribuição."

Nessa relação, acredito que há comportamentos de colonizados e de não colonizados. Eu nunca tive, em nenhuma situação, um comportamento ou atitude de colonizado. Durante oito anos, vivi na França e nunca tive esse comportamento, nem lá nem nos Estados Unidos. Hoje, eu preferiria viver realmente nos Estados Unidos, por vários motivos, inclusive por razões humanas, por incrível que pareça. Porque há um outro lado também, que é

pouco conhecido. Cheguei a conhecer um racismo de vários tipos, porque sou parecido com norte-africano e vivi essa situação na França também.

A situação da comunidade científica de expor as suas idéias, de colocar os problemas e lutar por elas, é muito dependente também do tipo de apoio. Quando propusemos esse projeto, o Christenson, que trabalhou com o Cronin, na descoberta da Violação de CP disse: "Mas quem paga?" Eu respondi: "Você, eu e os outros que estão aqui; ou isso não é mais uma colaboração, ou não existe mais o que sempre foi definido como uma colaboração, que é a partilha de tudo. É uma partilha mal feita mas é a partilha de tudo." Eu posso dizer a vocês que eu tenho mais dificuldade de encontrar apoio aqui do que propriamente lá, nos Estados Unidos, inclusive no nível das idéias.

A questão nuclear e as sociedades científicas

Fernando Souza Barros

11 de agosto de 1999

Ao Mast já entreguei um arquivo relacionado com atividades que tive, na presidência da SBF (Sociedade Brasileira de Física), sobre a questão nuclear e a participação brasileira nas negociações internacionais para o desarmamento nuclear. Pretendo salientar apenas alguns pontos relacionados com o papel das sociedades científicas brasileiras, documentadas nesse arquivo.

Nessa questão nuclear e nas sociedades científicas existem duas vertentes que vou mencionar rapidamente. Uma, está relacionada com o domínio nacional da tecnologia nuclear e outra é a das salvaguardas nucleares, isto é, o controle civil dessas atividades a fim de que seja evitada a construção de bombas. São pontos que sempre estiveram presentes concomitantemente, porque não se pode discutir a tecnologia nuclear sem nos preocuparmos com iniciativas relacionadas com seu domínio e o controle das atividades neste setor. É o que se chama de salvaguardas nucleares, termo internacionalmente reconhecido.No domínio da tecnologia nuclear, a primeira coisa que quero observar é que os fundadores de órgãos como o Conselho Nacional de Pesquisas, em 1951, do CBPF, em 1949, da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, em 1948, entre os quais me incluo, e da Sociedade Brasileira de Física, em 1966, estavam ativamente ligados à questão do domínio da tecnologia nuclear. Essas sociedades nasceram por iniciativa de pessoas que estavam "por dentro" do problema e conheciam as suas questões técnicas. Muito importante a focalizar nessa discussão é a fundação da Comissão Nacional de Energia Nuclear, em 1953. Naquele momento, a meu ver, é que se deu a retirada da questão nuclear, em todos os seus aspectos, do âmbito do CNPq, que tinha sido fundado com esse propósito e que contava com um conselho diretivo de influência - alguns dos seus expoentes

ainda estão fazendo conferências sobre o assunto, como o Leite Lopes, por exemplo. A CNEN, montada com esse propósito específico, foi orientada para o desenvolvimento tecnológico do setor, o que resultou, sem querer, no afastamento do centro de gravidade das questões nucleares do âmbito das sociedades científicas e das atividades universitárias brasileiras, ficando esse órgão técnico responsável por todos esses problemas, tendo como pano de fundo o Conselho de Segurança Nacional.

Na questão nuclear, criou-se aqui no Brasil um muro entre os cientistas que estavam, digamos, em seus laboratórios nas universidades, alguns até em institutos de pesquisa do próprio CNPq, e aqueles pesquisadores que se dedicaram a trabalhar no âmbito da CNEN, voltados para a missão que lhes competia. Foi uma iniciativa muito diferente daquela tomada pelos argentinos. Lá, uma comissão análoga foi feita para o próprio desenvolvimento da energia nuclear, mas, desde o início, ela incorporou o grosso dos cientistas argentinos. Então, a partir desse momento, o desenvolvimento das sociedades científicas naquele país teve um papel muito mais técnico e menos crítico da questão nuclear, enquanto que, no Brasil, as sociedades científicas, criadas por pessoas que estavam fora desse conjunto ligado aos órgãos técnicos, fizeram uma avaliação crítica de todos os aspetos da questão a partir da montagem da CNEN. A atividade extremamente explícita e crítica, na análise e avaliação das questões nucleares pelas sociedades científicas brasileiras contrastava com uma posição muito morna e dúbia das sociedades argentinas, porque suas lideranças, em sua grande representação, estavam dentro do próprio contexto da comissão, onde eles eram, digamos, funcionários. Na minha opinião, esse aspecto é realmente importante e que devia ser explorado.

No domínio da tecnologia nuclear, um outro ponto marcante foi o Acordo Nuclear Brasil-Alemanha Ocidental. A Sociedade Brasileira de Física e a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência ficaram realmente em evidência na mídia, devido ao fato de que esse acordo tinha opositores críticos, não somente entre os cientistas brasileiros, mas também no contexto das Forças Armadas brasileiras e da indústria nacional. Houve então, a partir de 1975, uma avaliação em que confluíram três grandes segmentos para essa oposição crítica ao Acordo Nuclear. Foi a única vez que existiu tal coalizão, pois havia interesse do setor industrial, das Forças Armadas e do setor acadêmico em avaliar criticamente se esse programa realmente repre-

sentava um projeto realístico para o país. As comissões da SBF e da SBPC foram extremamente claras em suas observações. Saliento aqui um comentário da época: "Exprimimos reservas quanto ao fato de que num país onde existem mais de 100 mil megawatts hidráulicos seja necessário recorrer a uma solução nuclear dessa magnitude." Era realmente um peso-pesado: oito reatores de 1.000 MW cada e um orçamento inicial da ordem de 10 bilhões de dólares, que depois evoluíu para alguns outros bilhões.

Continuando com essa rápida análise, gostaria de tocar em outro ponto básico, relacionado com as salvaguardas nucleares e a campanha no sentido de se evitar uma corrida armamentista no cone sul da América Latina. Refiro-me aqui apenas ao Brasil e a Argentina. Os pontos importantes dessa outra vertente estavam na discussão do tratado de não-proliferação (TNP) de 1968, posterior ao Tratado de Tlatelolco. Os brasileiros passaram 30 anos para homologar esses dois tratados. Havia um certo reconhecimento, entre os cientistas, de que não interessava aos governos brasileiro e argentino a assinatura de um tratado, embora isso significasse uma abertura à tecnologia nuclear internacional (até hoje só os assinantes do tratado TNP têm acesso a certas tecnologias nucleares, podendo participar do processo de aquisição dessas tecnologias no mercado internacional). Havia uma posição de que a tecnologia nuclear só poderia existir para propósitos pacíficos; falava-se muito nos projetos chineses da época, de abertura de canais e de poços com explosões nucleares; um argumento utilizado para demonstrar finalidades pacíficas para as bombas. Mas, certamente, era uma questão que envolvia o interesse dos dois países em manter a prerrogativa de uma decisão posterior sobre a questão nuclear. Naquela época, ambos os países entendiam que o Tratado de Tlatelolco e o tratado de não-proliferação seriam fatores de atraso para a conquista das tecnologias nucleares. Poucas pessoas muito importantes nos dois países desejavam uma posição de mero usuário das tecnologias nucleares, que era a ótica pela qual se via as assinaturas e homologações finais do tratado de Tlatelolco e do TNP.

Em 1978, a posição brasileira ficou muito mais evidente, quando a Marinha concebeu um programa que tinha como objetivo público e oficial o desenvolvimento de um submarino movido a reator nuclear. É evidente que, naquele momento, a Marinha percebeu que os grandes projetos no âmbito da CNEN começavam a ser levados para a Nuclebrás, que fazia parte do acordo Brasil-Alemanha Oriental. Na Nuclebrás, as diretorias técnico-

científicas, de vários setores, eram claramente diretorias mistas, formadas por alemães e brasileiros, sendo que a maior parte dos aspectos técnicos mais sensíveis estavam nas mãos de alemães, que detinham o *know-how*. Os brasileiros ficavam mais nas áreas consideradas *soft*, ou seja, administração, apoio, preparação de pessoal etc. Isso está explícito num documento do arquivo, um relato da comissão de análise criada em 1998, durante uma reunião da Sociedade Brasileira de Física. Esse documento encontra-se à disposição de qualquer interessado. Então, ao notar que setores chaves das atividades dentro da CNEN, ao passar para a Nuclebrás, ficariam sob essa administração mista, a Marinha entendeu, com o apoio oficial, que deveria atuar independentemente, dando início a um projeto (o projeto paralelo), que nós não tomamos conhecimento, até o final da década de 70. Essa era a situação, com toda a sua problemática. Tínhamos apenas uma suspeita desse projeto, e a partir daí montamos comissões entre a SBF e a SBPC, no sentido de se avaliar a dimensão do projeto da Marinha.

Posso garantir a vocês que foi nesse cenário que surgiu a iniciativa de Raúl Alfonsín, a partir do colapso do regime militar argentino devido à guerra das Malvinas. As eleições argentinas foram realizadas e, eleito, Raúl Alfonsín, foi realmente o presidente latino-americano que concebeu uma aproximação Brasil-Argentina, passando por cima de todas as resistências. É possível que ele tenha discutido essa aproximação com Tancredo Neves, mas não posso afirmar. Só sei que, devido à morte prematura de Tancredo, o vice-presidente José Sarney manteve a proposta de Alfonsín, cujo espírito era: nós temos uma posição política de rejeição ao Tratado de Não-Proliferação Nuclear (e do Tratado de Tlatelolco), mas necessitamos dar uma demonstração ao Primeiro Mundo, ou a quem interessar, de que não temos o propósito da construção secreta de armas nucleares. Então, o Acordo Brasil-Argentina, concebido por Raúl Alfonsín, permitia todas as inspeções que são impostas pelo TNP. Mas a inspeção, segundo o figurino de um tratado internacional, seria feita apenas entre os dois países. E mais: a Agência Internacional de Energia Atômica, com sede em Viena, foi convidada para inspecionar se o acordo que estava sendo feito era "para inglês ver" ou para valer. Naquele momento, a posição Brasil-Argentina pegou o mundo de surpresa, pois deixávamos de ter uma posição de ambigüidade. Há muitos países no mundo que mantém a chamada ambigüidade nuclear. Israel, por exemplo, a sustenta até hoje, uma vez que não revela se tem ou não armas

nucleares, Mas não há dúvida, todo mundo sabe que eles as possuem. No contexto de sua delicada posição no Oriente Médio, a preservação da política de ambiguidade interessa aos israelenses. Naquela época, havia outros países em situação semelhante à de Israel: a India e o Paquistão, por exemplo; o Brasil e a Argentina também mantinham posições ambíguas.

O Brasil e a Argentina tomaram essa posição, o que não deixou de causar um certo impacto internacional. Hoje, curiosamente, somos considerados países avançados no tratamento da questão nuclear. Por uma coincidência, depois do acordo Brasil-Argentina, um gesto político, conseguimos estabelecer um sistema de inspeção mútua. Um sistema muito apoiado pelas sociedades científicas brasileiras, no qual se pode atribuir uma plena confiança. Acho que a melhor inspeção que pode ser feita nas instalações nucleares brasileiras é por argentinos, que não podem brincar em serviço. Os inspetores argentinos estão representando seu país e têm razões de querer verificar como esses acordos estão sendo implementados aqui. Toda instalação nuclear brasileira pode ser visitada a qualquer momento por inspetores oriundos das instalações nucleares argentinas. Trata-se, na verdade, de um acordo superior, porque o Tratado de Não-Proliferação Nuclear, da Agência Internacional (Viena), vive tendo a necessidade de conviver diplomaticamente com possíveis atritos. A Organização das Nações Unidas é uma coisa muito complexa, vive pisando em ovos. Por exemplo, os inspetores da Agência Internacional não têm permissão de visitar uma instalação nuclear argentina e depois vir ao Brasil dizer como ela é, o que ela está fazendo. O acordo Brasil-Argentina foi desenvolvido justamente com este propósito. A informação é dada em primeira mão pelos inspetores e a própria Agência Internacional ganha também com a inspeção.

Um aspecto muito interessante para nós, a partir desse acordo, foi que passamos a ser os divulgadores da proposta de Alfonsín. Atualmente, somos convidados pelo mundo afora. Recebemos convites para fazer conferências em Israel, Paquistão, Índia, Coréia do Sul (a do Norte não nos convidou). O que existe por trás do interesse coreano sobre o acordo Brasil-Argentina? Se me perguntarem qual a minha impressão, eu diria que certamente há um interesse coreano na reunificação do país. A Coréia do Norte e a do Sul eventualmente terão um governo só. E eles, numa fase intermediária, deverão estabelecer algo parecido com a agência de inspeção mútua que existe aqui, entre Brasil e Argentina. Desde 1992 estamos trabalhando sob a ins-

peção da Agência Internacional, e temos sobrevivido a todas as críticas. Trata-se de algo que podemos realmente apresentar para o exterior como uma iniciativa latino-americana e que deu certo. E isso, todos sabemos, numa área tecnológicamente bastante sensível. Chega a ser surpreendente para nós, brasileiros, saber que existe algo que podemos exportar para o Primeiro Mundo, tal como as soluções de questões tecnológicas tão delicadas. Exportamos esse *know-how*, ao divulgarmos o acordo Brasil-Argentina.

Concomitantemente, na década de 80, começamos também a ter preocupações com a questão da segurança ambiental das populações. E logicamente com a questão do desenvolvimento de armas nucleares em países do Terceiro Mundo. Havia a possibilidade de Índia e Paquistão, por exemplo, experimentarem seus arsenais nucleares. Isso era algo previsível. Naquela época, participamos de algumas conferências sobre o desmonte das bombas nucleares da África do Sul, no período que antecedeu à vitória do partido de Nelson Mandela. Fomos convidados a participar de um grupo sul-africano de partidos de oposição, para fazer uma análise da situação em que se encontrava aquele país. O regime do *apartheid* havia construído oito bombas nucleares, das quais seis em condições de serem utilizadas a qualquer momento e duas outras em fase de montagem. Quando os governantes sul-africanos perceberam a iminente vitória do partido de Mandela, anteciparam-se à iniciativa do futuro governo, e criaram um grupo-tarefa que destruiu as bombas. Em seguida, trataram de apresentar provas à agência de Viena, executora das inspecções nucleares nos países membros do TNP. O grupo montado naquela época, por decisão da frente de oposição na África do Sul, examinou a questão de como o governo poderia, após as eleições, ter condições técnicas para verificar se realmente foram destruídas todas as bombas atômicas sul-africanas, ou se alguma coisa tinha escapado das inspeções ou escondida em algum local. Foi uma tarefa realmente muito complexa, da qual participaram muitos técnicos de vários países da Europa e dos Estados Unidos, além dos latino-americanos. A pedido do próprio Mandela, foi criado um grupo especial de trabalho.

A outra parte do dossiê, que mostra uma atuação muito forte da Sociedade Brasileira de Física, trata exatamente da eterna questão da utilização da energia nuclear para geração de energia elétrica. Essa foi a grande discussão da década de 80, que está voltando na década de 90, porque certamente agora é previsível a saturação das reservas hidráulicas do sul do país.

Aí existe uma questão ecológica espinhosa, que é a utilização das reservas hidráulicas da bacia amazônica, que implicaria em grandes inundações de florestas. Há também a questão das indústrias privadas naquela área, as quais preferem instalações de termoelétricas, porque são investimentos de baixo custo e lucro garantido. Este é o único setor de aplicação de energia nuclear que envolve sociedades científicas atraídas pela questão ecológica.

A década de 90, de certo modo, apresenta-se bastante tranqüila. A partir de 1992, todo aquele conjunto de medidas, visando às inspeções de instalações nucleares, estava oficializado e testado. Até recentemente, restava muito pouco a fazer na questão da inspeção, talvez apenas trazer outras técnicas através de convênios com laboratórios especializados do Primeiro Mundo, o que está sendo feito. Aí surgiu um fato interessante: a questão nuclear internacional estava indo muito mal, uma vez que o TNP não trouxera qualquer solução definitiva para a eliminação dos arsenais das cinco potências nuclearizadas. Tais potências eram reconhecidas no Tratado de Não-Proliferação como as únicas que podem manter arsenais nucleares, mas com uma cláusula que diz: "Voces eventualmente terão que se desnuclearizar". Devido à insistência, principalmente dos norte-americanos, em manter seus arsenais nucleares, outros países começaram a tomar o mesmo caminho, que hoje é óbvio. O primeiro deles foi a África do Sul, que voltou atrás, seguida por Israel e mais tarde pela Índia e o Paquistão.

Nas Nações Unidas existe um mecanismo internacional denominado Conferência de Desarmamento, que, de certo modo, cuida permanentemente desta questão, em nome da própria ONU. Na última década, as conferências de desarmamento sempre se iniciaram com a promessa de que alguma coisa poderia ser feita de melhor naquele ano. E sempre terminam afirmando que houve um desacordo total à postura norte-americana, que barra qualquer tentativa voltada à eliminação de seu arsenal. E não só isso, mas também da postura dos países não-alinhados, quando argumentam que não têm nenhuma razão para aceitar qualquer solução intermediária, se as potências não se obrigarem a cumprir sua parte. Mas, a coisa chegou a tal ponto que, na reunião da Comissão de Desarmamento, que terminou em maio deste ano, a única resolução possível, e que foi assinada, era a de que essas posições antagônicas poderiam ser apresentadas na declaração final. Na reunião do ano anterior não se conseguiu nem concluir que isso era permitido.

Há cerca dois anos, alguns países tomaram a decisão de que tinha que se dar um basta nisso; tinha que se fazer alguma coisa nova. Esses países colocaram seus ministros de relações exteriores para encontrarem uma saída, prevendo-se que o processo em curso terminaria numa total desmoralização do TNP, que é apenas um tratado formal, mas é melhor do que nada. Perguntavam-se o que iria acontecer, com a desintegração da União Soviética e o fim da bipolaridade (que mantinha as coisas com rédeas curtas), porque havia duas potências que podiam acabar com o mundo em segundos etc. Esses países fizeram uma nova agenda, uma proposta prevendo uma série de ações intermediárias viáveis e que levariam a uma convenção mundial de armas nucleares. Estranhamente, muitos países importantes, como a Alemanha e o Canadá, que aprovaram a proposta e que propuzeram uma agenda, tinham acesso às reuniões tanto da OTAN como da ONU. Nas assembléias das Nações Unidas do ano passado e deste ano, várias iniciativas foram aprovadas a partir dessa agenda, visando uma nova convenção. Adivinhem qual é um desses países autores desta agenda? É o Brasil. Estranhamente o Brasil está lá, fomos convidados para o grupo original, de apenas oito países.

Os países signatários decidiram que algumas coisas têm de ser feitas por pessoas fora dos círculos oficiais. Então existe um grupo, por trás, e ao qual pertencemos, que trabalha fazendo pontes de ligação. Nós, latino-americanos, podemos estabelecer certos contatos. Com a Espanha, por exemplo. A Península Ibérica conta com os dois países na OTAN, Portugal e Espanha. É importante lembrar que a agenda recebeu forte resistência dos Estado Unidos, porque quando isso foi colocado nas Nações Unidas, como principal proposta na questão nuclear, na reunião anual no ano passado, doze países da OTAN se abstiveram de votar contra a mesma. Uma pessoa importante afirmou que os Estados Unidos ficaram realmente chocados com essa postura não-alinhada, de doze países da OTAN, incluindo Alemanha, Espanha, Portugal etc. E o que aconteceu? Um dos membros desse grupo de apoio, uma pessoa muito importante do Canadá, disse confidencialmente, numa reunião, que o Canadá tinha sido ameaçado de perder o direito de vender armamentos aos Estados Unidos devido ao seu apoio implícito à agenda. Trata-se, é claro, de uma questão de comércio e que envolve muitos milhões de dólares. Uma soma fabulosa para a indústria de armamentos canadense, e que a levou a fazer pressão junto ao governo para acabar com essa postura. O Canadá resistiu, entrou em entendimento e não cedeu.

A Eslovênia, que fazia parte desse grupo, também foi pressionada e não resistiu, saindo do grupo original da agenda por sentir que poderia perder sua posição junto à comunidade européia.

Sobre a questão das políticas nucleares nas sociedades científicas - e que envolvem uma posição extremamente técnica - nada existe de premente. Não há, digamos, espaço para discutir esses pontos de natureza política; somente a questão ecológica poderia ser levantada, com algum sucesso. A grande discussão no Brasil é sobre o que é mais limpo: montar uima usina nuclear para preservar a mata, a bacia amazônica ou inundar as florestas e as reservas das nações indígenas. Essa é a situação e o tema de debate do momento.

Tentei mostrar aqui alguns aspectos sobre o nascimento do CNPq, o surgimento dessas preocupações no início da década de 50. Devemos ler os textos do professor José Leite Lopes, a fim de conhecermos melhor aquela época. Há uma série de relatórios de comissões que caracterizam certas atuações, como, por exemplo, o da comissão especial da Sociedade Brasileira de Física, em 75, o "Relatório sobre poluição nuclear", feito após os acidentes de Three Miles Island, quando houve preocupações internas. Nesse relatório, Luiz Pinguelli Rosa foi a fundo, alertando a comunidade para uma série de questões.

Existe uma série de textos, como "Energia nuclear em questão - Caos e conseqüência de uma guerra nuclear", preparado por Ernesto Hamburger, com patrocínio da SBPC, em 1984. Há uma meia dúzia de relatórios recentes que Luiz Pinguelli Rosa apresentou numa reunião anual da Sociedade Brasileira de Física, em Curitiba. Em 1991, tivemos a oportunidade de escrever um texto sobre a política nuclear do Brasil, com o apoio e os recursos do Greenpeace. A Tânia Malheiros, uma pessoa muito atuante numa série de revelações de documentos sensíveis e num momento difícil do Brasil, perdeu o emprego por revelar um desses documentos. Mais tarde, ela mesma publicou um livro sobre a possibilidade de existir o projeto de uma bomba no país. Eu tenho algumas contribuições e aqui está um documento muito interessante, exatamente de duas pessoas que trabalham no Centro Tecnológico da Marinha, Ivan de Aquino e Leonel dos Santos Guimarães. Durante as comemorações do vigésimo aniversário de fundação da Sociedade Brasileira de Física, ambos apresentaram um relatório bastante franco e honesto. Tal documento diz, com toda a clareza, quais foram os motivos que

levaram à concepção daquele projeto nuclear. A análise é simples, técnica. O projeto da Marinha é inteligente: eles não queriam e não estavam pensando em fazer uma bomba; desejavam apenas dominar a tecnologia para fazer um navio movido à energia nuclear, caso haja necessidade de um. É evidente que existem cerca de 60 países que têm esse domínio via projetos do tipo concebido pela Marinha. A Marinha do Brasil dominou a tecnologia nuclear e Aramar foi um sucesso. A questão que se coloca é a seguinte: existe uma série de aspectos da tecnologia nuclear que são relevantes e que estavam omissos. A questão é colocar todo esse desenvolvimento em um projeto de salvaguardas que funcione, isto é, que tenha seu controle no poder civil da nação.

Perguntas

PERGUNTA: *Professor, aquela ONG da indústria de base, fabricante de componentes para centrais nucleares, tem uma atuação muito agressiva. Como se dá o seu embate com as sociedades científicas, com a Sociedade Brasileira de Física e mesmo com a SBPC?*

SOUZA BARROS: Existem, logicamente, várias posições nesse panorama. Encontramos grupos extremamente interessados e ativos em demonstrar a necessidade da tecnologia nuclear. A Sociedade de Engenheiros Nucleares é um exemplo. Ela edita uma revista de muito boa qualidade. Seu último número aborda a participação da mulher nesta área, mostrando, através de importantes depoimentos, a relevância da participação das cientistas e pesquisadoras. Existem, como já lembrei, várias posições nessa questão. A minha, particularmente, é a de considerar normal a existência dessas diferentes correntes, em um país pluralista como o nosso. Sabemos que a posição dos físicos não é homogênea e nem unânime. Há pessoas, por exemplo, que admitem ser necessário o desenvolvimento da energia nuclear em nosso país. Para alguns físicos importantes, essa área deve ser preservada. Penso que essa diversidade de opinião não é uma anomalia e reafirmo aqui que a tecnologia nuclear encerra aspectos extremamente sérios para a sociedade civil. Não há dúvida de que muitas coisas relacionadas com as indústrias pacíficas (os avanços da medicina nuclear, por exemplo) são tais que não se pode pensar em proibí-las. Mas estou falando de coisas que são pouco ouvidas. A utilização da tecnologia nuclear no estudo do solo, por exemplo,

é extremamente importante. Houve um programa brasileiro que foi muito discutido porque tem um complemento pelo qual se consegue chegar à bomba a partir do domínio da tecnologia nuclear. Pense o seguinte: a capacidade de fazer uma bomba não significa fazer uma arma nuclear. Uma coisa é montar uma bomba, outra coisa é transformar essa bomba numa possível arma nuclear, o que significa toda uma parafernália tecnológica muito mais complicada.

Num determinado momento, o Brasil tinha uma divisão de territórios tecnológicos muito ampla e diversificada. A gente sentia que a mesma poderia ser utilizada para um futuro projeto nuclear militar. Além do projeto da Marinha, a Aeronáutica tinha a seu cargo a "missão espacial completa", e por aí vamos. A meu ver, essa divisão de tarefas no âmbito militar é uma coisa preocupante. Mas quem é que pode dizer que um país das dimensões do Brasil não necessita de satélites? Por razões até mesmo ecológicas, é claro. Quem, por exemplo, vai examinar as queimadas nas fronteiras inacessíveis que existem na Bacia do Amazonas? Então, esse ponto é óbvio para todos. Tem que existir um sistema efetivo.

A outra coisa de que tenho clareza, é que a opção pela bomba atômica sempre foi uma decisão muito pouco inteligente para os países do Terceiro Mundo. Por que desenvolver uma bomba? Quando se faz uma bomba, não pode ser para uso interno. Não se produz um artefato nuclear para ser jogado no próprio país, não é verdade?. Concordamos que o domínio tecnológico nuclear represente para os grupos que dele participam uma posição excepcional na sociedade. Para a frágil democracia brasileira era vital estabelecer um sistema de controle, antes que acontecesse a bomba. Note-se bem, quando Raúl Alfonsín estava para tomar posse na Argentina, houve um anúncio não-autorizado do domínio do enriquecimento de uranio-235, pelos responsáveis da Comissão Nacional de Energia Nuclear da Argentina. Eles fizeram isso com um propósito claro: queriam preservar aquela vitória, por questões evidentemente políticas. Então, se me perguntassem qual foi a razão do meu envolvimento, a resposta é esta: foi a necessidade que sentimos de que era preciso criar um sistema de controle civil para os projetos nucleares promovidos pelas Forças Armadas. Isso aconteceu graças ao acordo Brasil-Argentina, claro. Até o Collor aceitou assumir esse papel de intervenção nos projetos das Forças Armadas, porque lhe interessava ter um passaporte para a globalização. As motivações pragmáticas que levaram

ao acordo Brasil-Argentina podem passar pelo fato de que esse acordo abria portas do mercado internacional da alta tecnologia. O período anterior caracterizou-se por uma época onde havia dificuldades para importação de certos equipamentos ou materiais. Eu me lembro de Solange de Barros, lá no Instituto de Física, sem condições de trazer do exterior algumas amostras de materiais transurânicos para suas pesquisas. Assim é possível encontrar um conjunto amplo de posições também nessas decisões.

PERGUNTA: *Qual a sua visão a respeito do fechamento das instalações de Aramar na década de 90, depois de um investimento muito grande, não só em pessoal?*

SOUZA BARROS: Aramar também sofreu cortes financeiros, assim como nós, nas universidades públicas. Os responsáveis por esses projetos não têm mais uma posição privilegiada no orçamento do Estado. Realmente, a proposta de que me lembro é que Aramar cumprirá sua missão: demonstrar a viabilidade de o Brasil ter *know-how*, de possuir condições de construir centrífugas para fazer uma instalação de porte industrial. Aramar instalou um plano piloto demonstrando que essas centrífugas podem enriquecer o urânio-235.

PERGUNTA: *Em escala industrial?*

SOUZA BARROS: Não, um plano piloto. Esse seria um segundo passo. Onde aconteceria a escala industrial? Bem, a idéia seria fazer um segundo estágio com a indústria privada, e aí está a questão. Não há verba no Governo para que esse estágio seja alcançado ainda no ano que vem. Existe uma discussão de que podemos privatizar isso. Acontece que, quando você entra no comércio competitivo da área, a privatização de enriquecimento de urânio é uma *fria*. Há uma saturação internacional de material combustível nuclear. Então, sob o ponto de vista comercial, não existe outra alternativa. Não será privatizada simplesmente porque não é um negócio razoável. Os argentinos tiveram uma dificuldade tremenda, até que chegaram à conclusão de que só poderiam privatizar se o governo argentino garantisse que cuidaria de todas as privatizações e viesse a arcar com os eventuais prejuízos relacionados à manutenção. A eles, os donos da rede de distribuição de energia elétrica, a partir da energia nuclear, era só fazer a utilização, a distribuição e receber os pagamentos dos usuários. O *know-how* adquirido não se "desinventa", isso é uma coisa que todo mundo sabe.

PERGUNTA: *O que quer dizer não se "desinventa"?*

SOUZA BARROS: O *know-how* passa a fazer parte da cultura industrial. Uma vez cumpridas todas as etapas, essas coisas têm a possibilidade de ser preservadas, porque existe uma coerência interna eficiente para manter todas as soluções técnicas em estado latente. Ou seja, decretar que se deve parar de fazer a bomba não é suficiente para dizer que elas não existirão, porque o *know-how* utilizado jamais será apagado dos textos e das mentes dos técnicos. A cultura tecnológica não é reversível.

PERGUNTA: *Não haveria alguma coisa, algum processo tácito e não escrito? Uma coisa simples: se você ensina uma pessoa a ler e ela não lê, ela desaprende...*

SOUZA BARROS: Os países alcançam um determinado patamar industrial, e ele não desaparece porque existem várias alternativas para mantê-lo. Devemos conviver com o fato de que existem 60 países no mundo capazes de fabricar a bomba nuclear. Tudo é uma questão de decisão política. Devemos conviver com a sociedade tal como ela é, tal como ela existe e se apresenta. Na minha opinião, o *know-how* já faz parte, até certo ponto, da cultura tecnológica brasileira.

PERGUNTA: *E a construção de Angra III?*

SOUZA BARROS: Aí as sociedades científicas ainda estão envolvidas. Eu diria o seguinte: com Angra I já estamos envolvidos com o problema da sua manutenção. Angra II será uma espécie de algo irreversível e deverá ser inaugurada. Para Angra III, os principais componentes acham-se armazenados. O país tentou encontrar um comprador de suas partes e não conseguiu. Angra II tem uma condição privilegiada porque praticamente está pronta. Além disso, mil *megawatts* são muito importantes no quadro atual de nossa demanda energética; um momento, por sinal, bem complicado. Talvez por aí pode parecer um bom argumento. Entretanto, não devemos contar com o capital privado, pois este, como já lembramos, só constrói termo-elétricas porque o investimento é mínimo e dá retorno rapidamente.

PERGUNTA: *Voltando a essa campanha das sociedades científicas e que ganhou um prêmio nos Estados Unidos, gostaria de saber que prêmio foi esse e em que circunstâncias se deu?*

SOUZA BARROS: O prêmio da Sociedade Americana de Física contemplou dois representantes da Sociedade Brasileira de Física e outros dois da Associação de Física Argentina, em 1996. Daqui, fomos eu e o Pinguelli, e da Argentina foi o Masteri, atual presidente do Conselho Latino-Americano de Física. Ainda há uma discussão sobre qual foi a importância das sociedades científicas. A nossa importância, acredito, é que, primeiramente, na década de 70, por uma questão de política nacional, os cientistas podiam falar em certos ambientes, nas suas próprias reuniões, como ocorreu na reunião do Nordeste, em 1976. Era uma política do regime militar daquela época e que prestigiava os pesquisadores, a fim de fortalecer os cursos de engenharia no seu projeto de Desenvolvimento Nacional. Então os físicos falavam, e fomos levados a discutir problemas relacionados com a questão nuclear. Houve, realmente, uma forte atuação das sociedades científicas e as reuniões já eram muito disputadas na imprensa. Começamos a aproveitar esses encontros para fazer com que essas manifestações fossem conhecidas pela mídia. Então, devido à visibilidade da SBPC, passamos a ser extremamente visados pelos meios de comunicação. Esse foi o grande papel da sociedade de física e da SBPC. Atualmente posso lhe dar uma série de relatos, de primeira mão, sobre o que estava por trás de tudo isso. Eu me lembro de horas e horas de reuniões, de pessoas da imprensa que até se transformaram em especialistas por tentar entender as questões. Eu diria que historicamente o papel mais importante da sociedade científica foi o de servir de comunicador, graças a uma situação anômala: não tínhamos porque ter receio de fazer declarações. Os sociólogos tinham, e com razão.

PERGUNTA: *Os relatórios das sociedades científicas estão relacionados a isso?*
SOUZA BARROS: Entregávamos à imprensa esses relatórios e explicávamos detalhadamente o que estava acontecendo. E então apareciam matérias impressas nos principais jornais. Na época, nossos encontros nacionais eram bem divulgados na televisão, por exemplo. Uma jornalista, cujo nome não me recordo, referiu-se a uma denúncia sobre os poços para testes, na base aérea da Serra do Cachimbo. Uma outra repórter, Tânia Malheiros, conseguiu localizar algumas contas bancárias destinadas a cobrir despesas dos projetos nucleares sem a necessidade de prestação de contas: as contas secretas da CNEM. Na época, esse assunto teve uma forte repercussão. Tânia sofreu as conseqüências, mas conseguiu dar uma volta por cima. Foram contribuições

importantes e que merecem destaque. No momento em que esses relatos começaram a aparecer na imprensa, ficava evidente que estávamos no caminho certo, rumo a um governo menos autoritário. Os países onde existe a possibilidade de vazamento das notícias contam com uma vantagem, estão em melhores condições. Neste sentido, o México é o único país latino-americano com uma posição de extrema visibilidade no cenário internacional.

PERGUNTA: *Havia um consenso na SBF, assim como na SBPC, sobre a questão nuclear?*

SOUZA BARROS: Não havia e ainda não há. Mas posso afirmar que a posição da SBPC, assim como da SBF, era muito notada. Para citar um exemplo, foi a presidência da SBPC que coordenou uma reunião de onde saiu o manifesto (com um milhão de assinaturas) para a inclusão, na Constituinte de 1988, do preceito de que não se pode fazer bombas atômicas neste país. Havia uma certa aceitação por parte do público dessas atividades da SBPC. O público reconhecia que aquilo era importante.

PERGUNTA: *E sobre a pesquisa em energia nuclear?*

SOUZA BARROS: A pesquisa sobre energia nuclear nunca foi enfatizada na universidade brasileira. Se algo existiu, foi aplicado no âmbito da Marinha, do CNEN e do IPEN. Ou em alguns projetos específicos dos departamentos de engenharia mecânica do Rio ou São Paulo, em parceria com os institutos mencionados.

Algumas reminiscências pessoais sobre a óptica no Brasil

Moysés Nussenzweig

22 de setembro de 1999

Espero que o título defina bem o que vou fazer: isso não pretende de forma nenhuma ser uma história com *h*, mas uma série de estórias com *e*, bastante pessoais e mais ou menos "anedópticas". Um título de que eu gosto muito é o que o Otto Frisch deu às suas memórias: *O pouco de que me lembro*. Vou falar na primeira pessoa: não para destacar o papel do narrador, mas porque se trata de um depoimento individual e certamente preconceituoso.

O primeiro grupo de óptica (no sentido mais amplo, que compreende física atômica e molecular) de que tenho notícia, no Brasil, foi o de Hans Stammreich, um físico-químico formado em Berlim. Ele chegou aqui no início da Segunda Guerra Mundial, como refugiado. No caminho teve que permanecer algum tempo em Casablanca - não sei se lá chegou a conhecer o Humphrey Bogart e a Ingrid Bergman, na época minha paixão, como da maioria dos adolescentes de então - mas acabou conseguindo sair e vir para o Rio. Não gostou do calor daqui e por isso foi para S.Paulo, onde logo foi contratado na USP por Gleb Wataghin. Montou um laboratório de espectroscopia Raman, na Avenida Brigadeiro Luiz Antônio, que se tornou um centro conhecido no exterior, porque Stammreich desenvolveu um novo tipo de lâmpada de hélio. Isso foi bem antes da invenção do laser. Essa lâmpada permitiu que ele e seu grupo observassem novas linhas espectrais Raman em halogenetos.

Fui aluno de Stammreich na graduação, num curso chamado *Física Superior*. Baseava-se no livro de Herzberg, com uma forte ênfase experimental. Tivemos de fotografar muitos espectros. Stammreich era dono de um cavalo de corridas, e com o dinheiro de uma vitória no Jóquei, ele conseguiu comprar uma casa, onde até hoje mora a viúva, Charlotte. Na época, o clima do Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, poderia

ser descrito como de "guerra das estrelas", o que acabou levando a transferência de Stammreich e todo o seu grupo para o Instituto de Química, onde seus antigos assistentes estão até hoje.

Um segundo evento, e que também tem a ver com a óptica, foi a fundação da Associação dos Amadores de Astronomia, em São Paulo, em 1949. Seu presidente era D. F. Vasconcelos. Ele fabricava teodolitos e binóculos para o Exército, além daquele conjunto chamado Poliópticon. Um dos membros dessa associação, que conhecí no Museu de Arte Moderna, era Abraham Szulè, que participou da construção de um telescópio para o ITA, onde trabalhou.

Em 1952, foi realizada uma reunião patrocinada pela Academia Brasileira de Ciências, o Simpósio sobre Novas Técnicas de Pesquisa em Física. Os Estados Unidos mandaram uma delegação de físicos importantes, como Isidoro Rabi, Eugene Wigner, além de outros. Naquela época, eu era estudante do segundo ano de graduação e aprendiz de físico experimental, e ajudava a montar o acelerador Van de Graaff. Participei desse simpósio com o meu primeiro trabalho, que tinha algo a ver com óptica de partículas, no caso, o projeto de um sistema de focalização do feixe do acelerador Van de Graaff. Na delegação que chegou da Argentina, encontrava-se um físico alemão, Richard Gans, que teve um papel destacado na história da física no país vizinho. Ele dirigiu o Instituto de Física de La Plata, entre 1911 e 1925, e formou Enrique Gaviola. Realizou trabalhos importantes em óptica e espectroscopia e, mais tarde, foi diretor do Observatório de Córdoba. Gans tinha voltado a La Plata em 1949 e nesse simpósio estava apresentando um trabalho em colaboração com Guido Beck, sobre difração da luz por um semiplano, um problema famoso que tinha sido resolvido por Arnold Sommerfeld na Alemanha; só que era um semiplano espesso, levando em conta o efeito da espessura, que Sommerfeld não tinha considerado.

Guido Beck, um outro refugiado da guerra, tinha sido trazido justamente para Córdoba por Gaviola, depois de algumas peripécias na Europa, que eu conto num artigo sobre a vida de Beck. Em Córdoba, ele trabalhou em vários temas e alguns tinham a ver com óptica. Por exemplo, flutuações de um campo de fótons (algumas das idéias vieram a ser importantes para a teoria da coerência quântica), o efeito Cherenkov e o trabalho com Richard Gans sobre difração.

Em 1955, um ano depois de ter me bacharelado, Beck, que já estava contratado pelo CBPF e residindo no Brasil, foi para a USP, como professor visi-

tante. David Bohm, que tinha sido meu professor de física teórica e mecânica quântica, fora para Israel e a cátedra de física teórica estava vaga. Beck perguntou a Mário Schemberg se podia recomendar um aluno para trabalhar com ele e eu tive a sorte de ser o indicado. Na ocasião, como já lembrei, eu trabalhava como aprendiz de física experimental no Van de Graaff. Lá havia medidores de vácuo, de ionização, feitos de vidro, extremamente frágeis e projetados para fora do sistema de vácuo. Eram caríssimos e eu consegui estilhaçar vários deles. Tive também um professor de eletrônica, Phil Smith, que me ensinou, entre outras coisas, que um amplificador de dois estágios, pelo teorema de Nyquist, nunca pode oscilar. Construí um amplificador de dois estágios e, quando liguei na tomada, ele começou a oscilar lindamente! Concluí então que física experimental era difícil demais para mim. Foi quando aceitei o convite de Beck para trabalhar em teoria.

O problema que ele me propôs para a tese de doutorado era de difração por um guia de ondas. Mas a motivação principal não era óptica: tratava-se de um problema que não podia ser abordado por métodos perturbativos. Esta é uma das questões centrais da física: como lidar com problemas não perturbativos. Guido Beck tinha uma intuição muito forte. Havia vislumbrado uma conexão entre difração e efeitos de curvatura em relatividade geral, na qual tinha trabalhado na sua própria tese com Hans Thirring, em Viena. Persegui esse tipo de conexão por muitos anos, mas realmente só consegui estabelecê-la muito depois.

Beck voltou ao CBPF em 1957 e me trouxe com ele. Na época, só se podia defender tese na USP, e então voltei a São Paulo, para a defesa da minha tese. Lembro-me do problema de Mário Schemberg, como membro da banca, em encontrar uma toga suficientemente larga para ele. Uma vez aprovado, Beck me levou à Confeitaria Vienense, e lá me ofereceu um prato de doces. A defesa mais difícil da tese foi feita depois, perante Richard Feynman, que estava no CBPF. Beck fez questão que eu lhe apresentasse o trabalho. Depois enviou o texto para Pauli, com uma dedicatória: "Não é por ser o Pauli, mas é por ter trabalhado num problema muito relacionado com este". Também o remeteu para Max Born, em Edimburgo, e isso acabou tendo um reflexo na minha carreira, que contarei mais adiante.

Comecei no CBPF, onde eram dados os cursos da Faculdade de Filosofia, pelo menos a partir do terceiro ano. Lá, ministrei alguns cursos e orientei estudantes em temas que tinham relação com o trabalho da tese. Mas, pouco a

pouco, acabei por me interessar por problemas de espalhamento e sua relação com causalidade e analiticidade; na época, eram tópicos centrais na física teórica. Foi nesses tópicos que trabalhei, antes mesmo de ir para a Europa, e, mais tarde, durante dois anos, fazendo pós-doutorado em vários centros europeus, como bolsista do CNPq. Naquele tempo, ainda não existia bolsa de pós-doutorado. A bolsa que eu recebia era de apenas 200 dólares por mês. Percebo agora que a situação dos bolsistas melhorou bastante, desde então.

Ainda no Rio, Guido Beck e eu mantínhamos estreita relação com o Instituto de Tecnologia de Aeronáutica, um centro bastante importante. Lá estava, por exemplo, Walter Baltensperger, atualmente de volta ao Brasil. Ele é suíço e lecionou na Escola Técnica Federal de Zurique. Chegamos a trazer vários estudantes do ITA para o CBPF. O departamento de eletrônica era muito forte naquele instituto, cujo diretor, Richard Wallauschek, já era amigo de Beck na Europa. Foi quando conheci Sérgio Porto, que se formara em química na Universidade do Brasil e fizera doutorado em Baltimore, na Universidade Johns Hopkins, em 1954. Depois ele foi para o ITA, lá permanecendo até 1960, quando foi fazer um estágio nos Laboratórios Bell. Ele teve a sorte de chegar lá logo após a invenção do laser. Sérgio Porto pôde utilizar essa nova fonte de luz, que tem propriedades extremamente vantajosas para isso, em espectroscopia Raman, e realizou experimentos que no laboratório de Stammreich nunca se poderia fazer. Esses trabalhos tiveram bastante repercussão.

Um aluno de Sérgio Porto no ITA, Rogério Cerqueira Leite, formado em engenharia eletrônica, fez doutorado em Paris e também foi para os Laboratórios Bell, em 1962. Lembro-me que em 1965, Porto saiu da Bell e foi contratado pela Universidade da Califórnia do Sul, em Los Angeles.

Um pouco antes disso, em 1963, eu me encontrava no CBPF como professor titular, ganhando em torno de 60 dólares por mês. Minha esposa era professora assistente do CBPF; nossos dois salários somados mal davam para pagar o aluguel. À noite, passeávamos pela praia de Copacabana, para enganar o estômago, e viamos com água na boca um meu orientado, bolsista da Capes, que conseguia jantar lautamente no restaurante OK.

A permanência no CBPF se tornou impraticável, o que nos levou, em agosto de 1963 (tínhamos uma filhinha de quatro meses), a seguir para Nova York. Eu fora convidado para ser professor visitante do Instituto Courant de Ciências Matemáticas, da Universidade de Nova York. Em fevereiro de 64, Roberto Salmeron, coordenador dos institutos da Universidade de Brasília,

passou por lá e me convidou a voltar ao Brasil no ano seguinte, como professor da Universidade de Brasília. Nos Estados Unidos, ainda mantínhamos uma assinatura do *Jornal do Brasil* e acompanhávamos o noticiário. Minha esposa perguntou a Salmeron se a situação no país não era muito instável. Ele nos tranquilizou, dizendo: "Antes de sair, conversei com o Darcy Ribeiro, ex-reitor da UnB e o atual chefe da Casa Civil, e ele me assegurou que o governo do Jango está firme como uma rocha". Na época eu recebera um convite para permanecer na NYU. Meu irmão e minha cunhada também se encontravam lá, mas a idéia de voltar ao Brasil, em 1965, era tentadora. Achamos que valia mais a pena, por um ano, ir conhecer um outro lugar, e resolvemos passar o ano seguinte em Princeton, no Instituto de Estudos Avançados. Um colega, Samuel MacDowell, que tinha saído do CBPF junto comigo e com Guido Beck, estava lá em Princeton.

A revolução de 31 de março, ou melhor, o golpe militar afetou os destinos de várias gerações de brasileiros e modificou os nossos planos. Uma conseqüência imediata, para mim, foi ter evitado, durante algum tempo, encontrar um amigo e colega da NYU, o argentino Alberto Sirlin. Eu sempre tinha me vangloriado de que os militares brasileiros eram muito mais democratas que os argentinos. O que aconteceu na Universidade de Brasília, logo depois do golpe, está relatado detalhadamente nesse livro recém-publicado do Salmeron, *A universidade interrompida*. O reitor que foi nomeado como interventor oficial, Zeferino Vaz, criador da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, ficou em Brasília bastante tempo. Quando ele saiu, começou a trabalhar na criação de uma nova universidade, a Unicamp.

Em 1965, encontrávamos em Princeton, ocasião em que recebí um convite de Emil Wolf para me juntar ao grupo de óptica quântica da Universidade de Rochester. Wolf tinha sido assistente de Max Born em Edimburgo, e quando estava embarcando de lá para fazer carreira nos Estados Unidos, Max Born entregou-lhe um exemplar da minha tese, para ser lido durante a viagem. Tratava-se de um texto bastante volumoso; não sei se ele gostou muito de ter que carregar aquilo logo no embarque.

Acabamos permanecendo em Rochester durante dez anos, mas visitávamos o Brasil a cada dois anos. Inicialmente para participar de uma série de simpósios de física teórica, organizados aqui por Erasmo Ferreira. Em 1967 já circulavam muitos comentários, inclusive na imprensa do Brasil, sobre a fuga de cérebros que o golpe de 64 tinha ocasionado. Eu me lembro que, na época,

foi organizada, em Washington, uma reunião de cientistas brasileiros que moravam nos Estados Unidos. Paulo de Góes foi um dos organizadores desse encontro. O Itamarati foi representado pelo embaixador Sérgio Correia da Costa, que acenou com várias medidas visando promover a operação de "retorno dos cientistas". Uma delas era a isenção de impostos para quem desejasse trazer um automóvel, por exemplo. Creio que esse "visto de cientista" não foi muito usado pelos próprios, mas provavelmente por militares que iam fazer cursos de inglês nos Estados Unidos. Naquela reunião na capital americana, várias pessoas se manifestaram; eu particularmente falei das razões que motivavam nossa permanência no exterior. Enfatizei o que tinha acontecido logo depois do golpe com os nossos colegas no Brasil. O Itamarati prometeu publicar as atas da reunião, mas, que eu saiba, isso nunca foi feito.

Em 1968, aceitei um convite para passar dois meses no Brasil. Permaneci cerca de um mês na PUC do Rio, onde dei um curso de introdução à óptica quântica. Passei um mês em São Paulo, na USP, onde realizei um curso de introdução à teoria do laser. Se não me engano, foram os dois primeiros cursos no Brasil sobre essas novas áreas da física. Acho que tiveram pelo menos uma conseqüência, que eu pude detetar: um trabalho de Nicim Zagury, um daqueles que Guido Beck costumava chamar de "excêntricos", por ter sido do CBPF e ter migrado para a PUC. Em colaboração com Sérgio Rezende, Zagury realizou um trabalho sobre os estados coerentes de magnons. Foi uma espécie de início da conversão de Nicim, que trabalhava então (e por sinal até hoje) em partículas elementares, para a óptica quântica.

Em 69, eu tinha aceitado, pela segunda vez, um convite para voltar ao Brasil no ano seguinte. Este, feito por Elon Lima, que era um dos refugiados da Universidade de Brasília, de onde todos se haviam demitido. Na época, ele tinha ido para os Estados Unidos e passou seis meses conosco, morando em nossa casa, em Rochester. Depois voltou ao Brasil. Elon tinha me convidado para o IMPA, o Instituto de Matemática Pura e Aplicada. Ele dizia que eu devia ser o "A" do IMPA. Outra vez houve uma ligeira mudança de planos. Veio o AI-5! Na manhã do dia em que Maurício Peixoto chegou a Rochester, a fim de ultimar os detalhes da nossa ida para o Rio, recebí um telegrama do presidente da SBF, Ernesto Hamburger, que comunicava a aposentadoria compulsória de 69 professores, entre os quais toda a primeira geração de físicos teóricos brasileiros: Mário Schemberg, Jayme Tiomno, José Leite Lopes. Aí nós desistimos da viagem, pela segunda vez. As pessoas deviam achar que nunca mais deveríamos

mos aceitar convite para voltar ao Brasil, pois era de mau agouro. Pouco tempo depois, o almirante Otacílio Cunha, que era presidente do CBPF, demitiu Tiomno e Leite Lopes. Então, os membros do CBPF que estavam de licença nos Estados Unidos, Samuel MacDowell, Fernando Souza Barros, minha esposa e eu, pedimos demissão. A partir daí, fomos obrigados a nos preparar para uma permanência nos Estados Unidos por tempo indeterminado.

Uma outra conseqüência do AI-5 foi a expulsão da PUC de um estudante de física que tinha resolvido testar o decreto-lei 477. Ele gritou, na presença do reitor: "Abaixo a ditadura!" O desafio funcionou, pois ele foi expulso. Eu recebi uma carta de Erasmo Ferreira recomendando o estudante como um dos melhores que tinham passado pela PUC. Conversei com meus colegas da Universidade de Rochester e eles imediatamente concordaram em admiti-lo na pós-graduação. Esse aluno era Luiz Davidovich e nós o apelidamos de "agente 477". Ele casou por procuração, a noiva tinha ficado no Rio, Maria Augusta, e viria mais tarde. Também tirou o doutorado lá em Rochester. Mas o casamento deles se deu por telefone, lá da nossa casa, e foi a primeira vez que nossa filha Helena, então com seis anos, assistiu a um casamento. Ela estranhou um pouco e depois nos perguntou se num casamento não havia necessidade, além do noivo, também de uma noiva. O Luiz optou, contra os meus conselhos, por ser orientado meu e acabou cativado pela óptica quântica, estando nela até hoje.

Voltando um pouco ao que estava acontecendo aqui no Brasil, o fato mais importante, do ponto de vista da pesquisa, foi a institucionalização da pós-graduação, por obra de José Pelúcio Ferreira. Aliás, a última coisa que recordo ter feito antes de partir para os Estados Unidos foi, juntamente com Leite Lopes, o primeiro projeto FUNTEC, que saiu do CBPF. O FUNTEC foi criado no BNDE - Pelúcio conseguiu convencer a direção do banco. Foi catequisado pelos escritos do Leite Lopes sobre a importância da pesquisa para o desenvolvimento. Depois, Pelúcio continuou com isso e a FUNTEC foi transformada na FINEP, em 1971. Nessa época foram estabelecidos novos grupos de pesquisa em várias universidades. Vários desses grupos eram formados de remanescentes de outros centros que tinham sido destruídos, como o antigo CBPF, antes da incorporação ao CNPq, e a própria Universidade de Brasília. Um exemplo, logo em 71, com apoio muito forte do CNPq e da FINEP, foi a instalação na Universidade Federal de Pernambuco, a partir de um grupo liderado por Sérgio Rezende, com a participação de José Rios Leite e Cid Bartolomeu de

Araújo. Foi, até hoje, o exemplo mais bem sucedido, de criação e consolidação de um centro novo no Nordeste do país.

Enquanto isso, Zeferino Vaz, que mantinha um apoio muito forte do regime militar, estava criando a Unicamp, em condições totalmente excepcionais. Ele realmente detinha poderes ditatoriais. As leis relativas ao funcionalismo público da Universidade de São Paulo não foram obedecidas para o corpo docente da Unicamp. A Universidade de Campinas contava, então, com orçamentos enormes e muita verba para publicidade. Lembro-me de páginas inteiras de propaganda da Unicamp publicadas nos jornais. Zeferino Vaz chegou a "comprar" departamentos inteiros no exterior. Sabendo que um determinado departamento não estava em muito boa situação, trazia-o inteiro para a Unicamp. Às vezes acertava, outras vezes, a coisa não funcionava. No caso da física, a organização do instituto estava inicialmente a cargo de Marcelo Damy de Souza Santos, que levou César Lattes para lá. Zeferino procurou então atrair todo um grupo de físicos com uma característica comum: haviam se formado no ITA e passado pelos Laboratórios Bell. Além dos que já citei, estava lá o José Ellis Ripper Filho.

Em 1972, para mostrar o prestígio de Zeferino, o então ministro do Planejamento, João Paulo dos Reis Velloso, foi visitar Sérgio Porto em sua casa, na Califórnia. À beira da piscina, negociou condições para que Sérgio aceitasse voltar ao Brasil como professor da Unicamp. Acho que deve ter sido a única vez em que um físico foi cortejado por um ministro da área econômica. O que o Sérgio Porto exigiu foi que se construísse um prédio, se contratassem 30 PhDs e fosse dada uma verba de 2 milhões de dólares, recado transmitido a Zeferino. Aparentemente essa verba acabou reduzida à metade. Mesmo assim, o instituto recém-criado, que recebeu o nome de Gleb Wataghin, foi equipado de forma a fazer inveja aos Laboratórios Bell. Sérgio Porto teria sido o seu diretor, mas quando chegou, já havia outro, Rogério Cerqueira Leite. Marcelo Damy acabou saindo de lá e a direção ficou mais ou menos dividida entre Sérgio Porto, Rogério Cerqueira Leite e Zeferino Vaz, que continuava intervindo bastante.

Quando voltei ao Brasil, em 1975, encontrei em diversas universidades, vários grupos de pesquisa em óptica, alguns deles incipientes, outros, mais consolidados. Mais tarde, outros grupos semelhantes vieram a ser criados. Luiz Davidovich voltou à PUC, e juntamente com Nicim e Humberto Brandi veio a formar uma equipe teórica em óptica quântica e física atômica. Walter Margulis, recém-doutorado na Dinamarca, também voltou para lá e estimulou um

grupo experimental em fibras ópticas. Fernando Souza Barros, que havia regressado a Pittsburgh depois da experiência de Brasília (chegou lá em tempo de assinar a demissão coletiva), criou um grupo de luminescência na UFRJ. Na Universidade Federal de Minas Gerais, Geraldo Barbosa trabalhava em espalhamento de luz. Havia outros grupos operando com lasers: no Instituto de Física e Química da USP em São Carlos, na Universidade Federal Fluminense e na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Na década de 70, foram formados na Unicamp grupos em lasers, óptica não-linear, propriedades ópticas da matéria e em holografia.

Em 1974, foi firmado um contrato entre a Unicamp e o CPQD, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás, para desenvolvimento de fibras ópticas com uma tecnologia inteiramente nova, inclusive nos Estados Unidos. Três anos depois, já estavam sendo fabricadas, aqui, as primeiras fibras ópticas; diversas patentes já eram registradas e o Brasil já se encontrava capacitado, entre os poucos países que detinham essa tecnologia industrial. O Brasil possui as maiores jazidas de quartzo, que era exportado a preço vil e que depois se importava como fibra óptica a peso de ouro, um material fabricado com esse quartzo. Havia, então, uma rara oportunidade para realizar o que todos os governos nos cobram: a interação universidade-indústria. Foi um caso bem-sucedido de aproveitamento industrial de tecnologia, desenvolvida em colaboração entre a universidade e empresa, no caso a Telebrás. Também havia demanda local, quando começou a ser construída a rede de comunicação por fibra óptica. Aquelas eram, portanto, as condições supostamente ideais. Mas quando chegou a hora do *vamos ver*, faltou aquilo de que sempre carecemos, ou seja, uma política industrial do governo que incentive a empresa nacional nas etapas do desenvolvimento de tecnologia própria. É um processo extremamente complexo, todos sabemos, e que necessita de um forte apoio em todas as suas etapas. Houve uma concorrência para a rede de fibra óptica, vencida pela Pirelli. Aliás, no governo atual, todo o setor de pesquisa e desenvolvimento da Telebrás e do CPQD (aquele que criou a parceria com a Unicamp) está sendo desativado.

Na década de 80, surgiram no país alguns novos grupos em óptica. Uma técnica importante de pulsos ultracurtos, na época, de picossegundos, foi trazida para a Unicamp por Carlos Henrique Brito Cruz. No IPEN, Instituto de Pesquisa Energéticas Nucleares, foi desenvolvida por Spero Morato e seu grupo uma tecnologia de fabricação de lasers, inclusive conseguindo o crescimento de cristais bastante sofisticados necessários para isso. Outro que

voltou do doutoramento no MIT foi Vanderlei Bagnato, que incentivou muito a óptica experimental e a física atômica no Instituto de Física de São Carlos.

Na época, o evento mais importante ligado ao desenvolvimento da óptica e da física atômica no Brasil foi a visita, em janeiro de 1982, de Claude Cohen-Tannoudji, do Collège de France e da École Normale Supérieure. Tannoudji foi, há dois anos, um dos ganhadores do Prêmio Nobel de Física. Ele viera para um simpósio de física teórica e, na ocasião, foi discutida a possibilidade de se firmar um acordo de cooperação entre o Brasil e a França, nas áreas de lasers e de física atômica e molecular. Foi realizado um convênio entre o CNPq e o CNRS (Centro Nacional de Pesquisas da França), no final de 82. Em dezembro de 1983, com o apoio da Sociedade Brasileira de Física, foi organizado no Rio de Janeiro o Colóquio Franco-Brasileiro, sobre métodos óticos em física atômica e molecular e física da matéria condensada. Dele participou uma delegação francesa importante, o que permitiu contatos pessoais bastante estreitos entre os pesquisadores visitantes franceses e brasileiros de várias instituições do país. O convênio CNPq-CNRS foi coordenado, na França, por Claude Cohen-Tannoudji, e inicialmente no Brasil, por Humberto Brandi e depois por mim. Durou mais de uma década e só terminou recentemente. Em 1989, ele foi convertido no Programme International de Coopération Scientifique, PICS, a modalidade de cooperação científica mais elevada que existe na França. São muito poucos os acordos desse tipo, feitos com centros considerados em pé de igualdade com a França, no setor da pesquisa. Esse convênio passou a ter o apoio do Ministério do Exterior da França. Na etapa final do acordo, Humberto Brandi tinha retomado a coordenação aqui; na França, tinha passado a Serge Haroche.

Esse acordo previa a realização de duas ou três missões anuais de visitas, nos dois sentidos. No Brasil, participaram a PUC do Rio, a Universidade Federal de Pernambuco, o Instituto de Física de São Carlos e, por um período bastante curto, a Universidade Federal de Santa Catarina. Na França, participaram a École Normale Supérieure, a Universidade de Paris-Norte, a École Polytechnique, o Comissariado de Energia Atômica de Saclay e o Laboratório Aimé Cotton. Uma das características desse acordo, bastante excepcional, foi que ele teve uma forte e efetiva participação de experimentais. Como isso era possível, com estadias de um mês? Foi possível sobretudo porque os participantes se conheciam muito bem, e podiam previamente preparar os equipamentos nos seus laboratórios, visando cada visita. Isso permitia que, durante esse período, fossem levados a cabo os experimentos que tinham sido planejados.

Para mencionar alguns desses resultados, o grupo teórico da PUC, formado por Luiz Davidovich, Nicim Zagury e Paulo Américo Maia Neto, em colaboração com o grupo experimental da École Normale, liderado por Serge Haroche, deu origem a vários e importantes trabalhos e publicações conjuntas. Um deles foi a realização do primeiro micromaser de dois fótons (propostas de medições quânticas não demolidoras), que o grupo do Haroche realizou pela primeira vez. Foram feitas as primeiras observações usando-se a eletrodinâmica quântica de cavidades, do processo de descoerência quântica, uma experiência bastante fundamental. No Collège de France, cheguei a realizar uma série de conferências em 1985. Isso não se deu propriamente no âmbito do convênio, mas estimulou experimentos de eletrodinâmica quântica com cavidades ressonantes no visível, de alto fator de qualidade, microesferas de quartzo. Meu filho Paulo acabou se doutorando na École Normale, na área experimental de átomos de Rydberg e eletrodinâmica quântica de cavidades. Humberto Brandi, colaborando com Claude Manus, em Saclay, fez trabalhos na área de processos multifotônicos provocados por feixes de lasers ultra-intensos. Outro que estagiou em Saclay foi Anderson Gomes, de Recife. Vanderlei Bagnato colaborou com Alain Aspect e Claude Salomon, do grupo de Cohen-Tannoudji. Isso o ajudou a começar, em São Carlos, o resfriamento de feixes atômicos por laser e a construção de armadilhas magneto-ópticas, linha que lá permanece até hoje. O grupo de Recife teve uma forte interação com a Universidade de Paris-Norte. José Rios Leite e dois físicos de lá, Martial Ducloy e Daniel Bloch, colaboraram em trabalhos de óptica não-linear, mistura de multiondas no ultravioleta. Um outro doutorado no âmbito do acordo, em Paris-Norte, Marcos Oriá, também de Recife, obteve resultados importantes em conjugação de fase, espectroscopia livre de efeito Doppler. O breve período de colaboração com Santa Catarina levou Jason Gallas, que tinha se doutorado na Alemanha, a uma colaboração em Saclay com Hans Hermann sobre autômatos celulares, linha de pesquisa que Gallas desenvolve até hoje.

Chegando então à década de 90, já foram desenvolvidas ou estão em fase de montagem diversas linhas novas de pesquisa experimental em óptica. Por exemplo, a técnica de produção de fótons gêmeos por conversão paramétrica descendente, que tem sido utilizada pelo grupo da UFMG em experimentos com estados emaranhados de fótons. Dois novos laboratórios de óptica quântica com feixes atômicos estão sendo montados, um na UFRJ, outro na USP. Também já foram realizadas várias Escolas Jorge André Swieca de óptica quân-

tica e não-linear. O levantamento mais recente que eu pude consultar, mas já de uma década atrás, feito pela SBF em 1990, relaciona 66 doutores e 26 mestres em óptica, 83% experimentais. É um percentual sadio e atípico na física brasileira; em geral nós temos, pelo menos, 50% de teóricos.

Para concluir, o que posso dizer sobre a situação atual da pesquisa em óptica? A exemplo do resto da ciência e do país, ela está sendo fortemente afetada pela desastrosa política da equipe econômica do governo, que é sancionada pelo presidente da República. Cada vez mais, em pesquisa experimental, que é vital para o país, se acentua o contraste entre o estado de São Paulo, onde existe o generoso manto protetor da Fapesp, e todo o resto do país. Nem mesmo o Pronex, que tem um porte ínfimo em confronto com o orçamento da Fapesp, escapa dessa atuação criminosa, de Malan e seus asseclas.

A óptica, juntamente com a física atômica, está sempre na fronteira da física básica. Vem adquirindo uma importância tecnológica cada vez maior, pelas aplicações previstas no setor de comunicações ópticas e de informática. No entanto estamos longe de acompanhar ou participar significativamente desses avanços. Na minha opinião, para superar o atual estágio de estagnação da pesquisa experimental no Brasil, vão ter que ser criadas condições que promovam o desenvolvimento autônomo de tecnologia por empresas nacionais. Além disso, deverá ser estimulada a demanda por cientistas e engenheiros aptos a trabalhar em pesquisa, desenvolvimento e inovação. Ao mesmo tempo, a demanda por mão-de-obra qualificada vai exigir um esforço imenso em educação básica e de nível médio.

Já demonstramos, tanto na óptica como em outras áreas da ciência, que podemos contribuir para o avanço da ciência básica e, nas raras ocasiões em que isso é permitido, também na tecnologia. Façamos votos para que nossos filhos e netos possam presenciar reflexos desse esforço para a melhoria das condições de vida da sofrida população de nosso país.

Muito obrigado.

Perguntas

PERGUNTA: *Você fez uma alusão ao clima de "guerra das estrelas" na USP. A que se referia? E falou também do Simpósio sobre Novas Técnicas. Pode discorrer mais sobre isso?*

MOYSÉS NUSSENZWEIG: A senhora conheceu bem esse clima, como todos os alunos da USP. Infelizmente, acho que os reflexos dele aparecem até hoje. Havia, realmente, desentendimentos muito sérios entre os principais catedráticos na época. Quanto ao Simpósio, existem os anais em que constam as suas contribuições, publicados pela Academia Brasileira de Ciências.

PERGUNTA: *Pode falar mais um pouco sobre a divulgação da ciência?*

MOYSÉS NUSSENZWEIG: Em relação à divulgação, que considero extremamente importante, deve ser ressaltado o da revista *Ciência Hoje*. Existia um esforço muito bem feito da série *Globo Ciência*, há algum tempo, mas ocorreu uma mudança de orientação da Fundação Roberto Marinho e o programa piorou bastante. Participei de vários deles, na série anterior, e cheguei a organizar um programa inteiro na atual. Fiz todo o roteiro, mas sinto que foi uma experiência infeliz, porque boa parte do material que eu havia preparado não foi aproveitado, embora tivesse custado bastante esforço no laboratório LADIF da UFRJ. Foram intercalados segmentos que não tinham nada a ver com o que eu pretendia. Infelizmente esses programas não estão funcionando muito bem, mas, em termos de divulgação científica, são os mais antigos da televisão. Seria importante que fizessem um bom programa, mas, para começar, a exibição se dá naqueles horários mortos, em que quase ninguém assiste. Não há nenhum incentivo. É uma pena.

PERGUNTA: *A óptica tem uma ligação muito forte com a astronomia e a físico-química, além de trabalhar um pouco na área que era da físico-química...*

MOYSÉS NUSSENZWEIG: A relação continua extremamente próxima. No caso da astronomia, técnicas importantes e recentes têm tudo a ver com a óptica, o emprego de óptica adaptativa, para compensar flutuações atmosféricas, turbulências etc. Há uma interação nos dois sentidos. A teoria quântica da coerência deve muitíssimo à técnica radioastronomia, por Hanbury Brown e Twiss, baseada na observação de correlações. Quanto à físico-química, atualmente fala-se em óptica e física atômica e molecular, diretamente associadas à físico-química como sendo uma única área. Há aspectos da físico-química que se tornaram possíveis graças às descobertas da física atômica. Temos a físico-química de altíssimo nível, como a que é feita por Aron Kuperman no CALTECH. Envolve o estudo extremamente preciso de reações de colisões entre moléculas simples. Do ponto de vista instrumental, no Brasil, citei o caso da

Associação de Amadores de Astronomia, mas me lembro da época em que o CBPF contava com um técnico holandês que fabricava, ele próprio, sistemas ópticos. Ele fazia as lentes, construía microscópios muito bons, inteiramente sozinho. Existem grupos e empresas, em São Carlos, que hoje fabricam filmes finos, além de vários tipos de instrumentos ópticos. Mas é ainda uma coisa modesta. Está faltando o estímulo a que já me referi e que depende de uma decisão política do governo.

PERGUNTA: *Quem trabalha atualmente com fibras ópticas? E como surgiram os seus livros didáticos?*

MOYSÉS NUSSENZWEIG: Em tecnologia de fibras ópticas, existe tanto o pessoal que desenvolveu isso na Unicamp, como o grupo da PUC. Em relação à segunda pergunta, em uma cerimônia recente na UFRJ, falei um pouco sobre como elaborei aqueles livros. Para resumir a história: quando voltei dos Estados Unidos para a USP, havia um compromisso de que lá fosse criado um departamento de óptica. Ele mal tinha sido criado e eu estava justamente procurando me dedicar inteiramente a esse departamento quando, um belo dia, cheguei para trabalhar e me disseram que eu era o novo diretor do Instituto de Física, que a minha nomeação já tinha saído no *Diário Oficial*. Foi a maior surpresa, porque não tinham sequer me consultado. Imediatamente enviei uma carta ao reitor, agradecendo mas dizendo que não aceitava em hipótese nenhuma, porque estava empenhado no departamento. O reitor usou da arma da chantagem. Comunicou ao pessoal do instituto que, caso eu não aceitasse, ele nomearia um interventor, uma pessoa de outro instituto. Supostamente seria culpa minha se isso acontecesse, o que obviamente não era verdade, quem tinha culpa era o reitor. Mas os colegas, nessas ocasiões, nos forçam a fazer coisas que não queremos. Então, fui realmente forçado a aceitar a direção do Instituto de Física. Para desempenhar o cargo, teria que deixar de fazer uma de duas coisas: pesquisa ou ensino. Na época, eu contava com quatro estudantes, e de maneira nenhuma pretendia parar de fazer pesquisa. Pela primeira vez na vida, tive que parar de dar aula. Achei que deveria fornecer alguma compensação para isso. Logo após chegar à USP, eu tinha dado um curso de pós-graduação, mas logo percebi que de fato o mais importante era o curso de graduação em física. O primeiro e o segundo anos eram onde realmente se conquistariam ou se perderiam os alunos de física. Infelizmente o curso estava em situação muito ruim, porque o instituto com a reforma universitária em 1968, passara a ser

responsável por todos os cursos de física da universidade, tendo que oferecer aulas para milhares de alunos, em lugar de cem ou duzentos. Isso afetara negativamente o ensino de física básica. Resolvi então que o mais urgente seria escrever um livro para esse curso. Eu fazia isso à noite, nos feriados e fins de semana. Não tinha tempo para rever provas tipográficas, uma tarefa desgastante, segundo a minha experiência anterior na publicação de livros. Mas ainda emprego a caligrafia de grupo escolar, uma coisa que se aprende quando se tem aquele caderno com pauta dupla para desenhar bem as letras, de forma legível. Pensando nisso resolvi escrever o livro à mão. Gostei muito, porque não tinha trabalho com a correção de provas e também podia fazer as ilustrações, colocá-las na página onde eu quisesse. Acho que é um processo muito melhor do que o que fui forçado a aceitar depois, por uma questão econômica: o custo do papel encareceu muito. Requer mais espaço quando se faz à mão e sai mais caro para os estudantes. Foi o argumento usado. Então, passaram a sair novas edições, as duas últimas impressas. Realmente, dá um trabalho infinitamente maior. Sai muito pior porque, por mais que se corrija, ainda sobram muito mais erros. Mas é isso, e a origem do livro foi essa. Escrevi os dois primeiros volumes ainda como diretor do instituto e presidente da SBF. Depois, o tempo continuava escasso e priorizei outros projetos, inclusive publicando outros livros. Acabei tendo que voltar e terminar o projeto, por causa dos estudantes, eles é que me pressionavam muito. Fui obrigado a cerder, mais uma vez, e felizmente acabei conseguindo completar os dois outros volumes.

PERGUNTA: *Essa questão da política científica atual, do governo e sua equipe econômica... Queria saber se está acontecendo uma substituição dos grupos, que pudesse modificar essa política.*

MOYSÉS NUSSENZWEIG: Essa queda de braço foi acompanhada por toda a população. Houve pressões fortes de alguns setores, especialmente da indústria paulista, por mudanças da política e até de três ou quatro ministros que passaram por esse novo Ministério do Desenvolvimento. Mas aparentemente o atual "presidente" Malan é "imexível".

PERGUNTA: *Eu pergunto dentro da ciência...*

MOYSÉS NUSSENZWEIG: Em uma passagem por Recife, Malan afirmou que considera de pouca importância a ciência no país. E é claro para todas as pessoas que têm tido alguma interação com ele, que o ministro tem o maior desprezo

por aquilo que é feito nas nossas universidades. Acha que se pode adquirir tecnologia no exterior. Dentro da nossa área, o Ministério da Ciência e Tecnologia é considerado absolutamente inócuo e, do ponto de vista político, sem qualquer peso. Não há nenhum político que se preza para disputá-lo, e nenhum partido. Mas acho que o presidente ainda tem algum pudor, em memória de seus tempos de universidade, e acabou nomeando uma pessoa mais consciente. E que tem uma vantagem sobre o ministro anterior, de ser mais diplomática. Agora, infelizmente, ainda continua toda essa área parada, passaram meses sem resolver coisas básicas. Somente na semana passada deu-se a nomeação do presidente do CNPq. Acho que, por um lado, é muito auspicioso que Evando Mirra tenha sido nomeado. Conheço bem Evando, tenho participado com ele da Comissão de Avaliação dos Institutos. Vamos ver o que ele consegue. Mas só houve uma reunião, para a qual a Comissão de Coordenação do Pronex foi convocada este ano, ainda com o ministro anterior. O Pronex deveria ser um programa complementar, e absolutamente não deveria substituir um dos outros programas existentes. É supostamente um programa prioritário do ministério. Mas ainda estão se regularizando os pagamentos em atraso do ano passado. Recebemos mensagens de correio eletrônico dos coordenadores que não foram pagos. Na reunião, o vice-ministro falou muito sobre problemas de orçamento. Referiu-se ao compromisso do governo em continuar contribuindo para a estação espacial. Mas a estação espacial é considerada um elefante branco por todos os cientistas do mundo, até hoje, um dos maiores desperdícios orçamentários, e o Brasil não deveria estar associado a esse projeto, que envolve gastos de algumas dezenas de milhões de dólares. Hoje mesmo eu li na imprensa que o Brasil está em atraso, e que aparentemente os Estados Unidos já não esperam que o país cumpra seus compromissos. Não esperam que pague as parcelas devidas, mas certamente é uma verba superior à verba do Pronex, por exemplo. A desculpa alegada é que podia ter importância do ponto de vista da indústria, e alguma coisa que tinha a ver com a Embraer. Mas acho que não é bem razão para essa verba ser rotulada como ciência, associada à ciência, e que se gaste dessa maneira. O que já aconteceu, aliás, com as despesas com a Internet, que também entraram no orçamento do Ministério de Ciência e Tecnologia, apesar dos nossos protestos. Tenho a impressão de que recentemente reservaram pelo menos uma alínea separada. Mas toda essa nossa verba cai naquilo que a equipe econômica considera como margem de erro. Me lembro de quando estava na Comissão SBPC/ABC, no governo Figueiredo, na época do

Luis Paulo Rosenberg e que ainda não existia Ministério da Ciência e Tecnologia. Ele era secretário do Delfim Neto e a gente ia lá discutir a reestruturação da Capes, CNPq, Finep e coisas desse tipo. Foi quando projetamos a mudança dos estatutos do CNPq e da Finep. Às vezes chegávamos um pouco mais cedo e ouvíamos a discussão deles na sala ao lado. Buscávamos verbas até maiores que as atuais, possivelmente da ordem de 100 milhões de dólares, mas a discussão que ocorria na sala ao lado era sobre dezenas de bilhões de dólares. Então, eles vinham falar com a gente. Deviam considerar que aquilo era, sei lá, gastar tempo com insignificâncias.

PERGUNTA: *O Brizola fechou a Faperj e vocês, cientistas do Rio, permaneceram de bico calado... Por que o Rio de Janeiro, com a sua tradição e importância cultural, não se organiza para ficar livre do governo federal?*

MOYSÉS NUSSENZWEIG: Em relação ao Rio de Janeiro, os dois governos Brizola foram a maior catástrofe do ponto de vista da ciência, particularmente a atuação de Darcy Ribeiro, que era o homem dele para a área. Era o secretário de todas as secretarias que tinham a ver com a ciência, presidente da Faperj etc. A comunidade científica brigou muito pela Faperj na época do Darcy Ribeiro. Me lembro da reunião que foi feita, acho que no SBPF, em que ele disse o que iria fazer. De início, era criar uma comissão visando formular um estatuto para a Faperj. Eu disse: Darcy, não perca tempo com isso, faça uma cópia xerox do estatuto da Fapesp e mude SP para RJ e pronto, está feito. Não adiantou nada. Ele formou uma comissão liderada por Gabriel Fialho e passou uns dois anos preparando o projeto do estatuto da Faperj. Depois de pronto, o que se fez foi transformar a Faperj na fábrica de CIEPs, porque era a única verba do Estado que não passava por toda uma série de controles e que podia ser usada e gasta com a maior sem-cerimônia. O segundo mandato do Darcy Ribeiro e do Brizola foi até pior. Antes disso, houve aquela briga pela Constituição estadual, e várias vezes fomos à Assembléia discutir com os deputados. Conseguimos que fossem destinados dois e não um por cento, na Constituição estadual. Adiantou? Bom, durante um ano funcionou. Foi o ano em que o Pelúcio foi secretário de Ciência e Tecnologia no governo Moreira Franco, e o único em que a Faperj recebeu verbas razoáveis. A idéia era que ela começasse recebendo meio por cento, ou algo assim, que já era infinitamente mais do que tinha recebido antes, o que Pelúcio conseguiu. Mas, assim que ele saiu, houve um retrocesso, com a volta do Brizola e do Darcy Ribeiro. Acho até que a seção estadual da

SBPC estava processando o governo do estado para cumprir a Constituição. E o Brizola inverteu a coisa. Procurou algum tipo de juiz, não me lembro de que tribunal, dizendo que o Supremo não estava obrigado a fazer cumprir a Constituição, justificando portanto o que aconteceu com a Faperj. Então, não é verdade não, a comunidade do Rio está muito consciente da importância de que se cumpra realmente a Constituição estadual, mesmo que seja a metade do que está previsto lá. Eu prestei um depoimento na Assembléia Estadual, na presença do secretário de Ciência e Tecnologia do governo Marcelo Alencar e tudo isso foi dito. Falou-se na questão dos repasses dos duodécimos. Os repasses feitos pelo governo de São Paulo são pura e exclusivamente devidos à boa vontade do governador. O fato de que o Mário Covas foi reeleito é que salvou a situação em São Paulo. Costumo lembrar aos paulistas que eles deveriam fazer um esforço para que isso fosse cumprido nos outros estados. Porque, no dia em que o Maluf se elegesse, o que quase aconteceu, era preciso ter isso assentado. É essencial que haja, pelo menos, dois lugares que funcionam, porque é muito fácil destruir um deles. Você precisa ter um sobrando. Então, é interesse dos próprios paulistas, eles deveriam fazer um esforço grande para que isso funcionasse também nos outros estados. Quanto à Faperj, ela está um pouco melhor com o atual governo, mas não sei por quanto tempo isso vai continuar.

PERGUNTA: *No final do ano, o orçamento da Fapesp foi igual ao orçamento do Ministério da Ciência e Tecnologia: 778 milhões. Depois, fiquei sabendo que a Secretaria de Ciência e Tecnologia de São Paulo tinha uma verba de dois e meio bilhões...*

MOYSÉS NUSSENZWEIG: É bom lembrar que a diferença crucial, no caso da Fapesp, é que o dinheiro não é repassado à Secretaria da Fazenda de São Paulo. Vai diretamente da arrecadação para a Fapesp. Quando passa pela Secretaria de Fazenda ou o Tesouro, como quer que se chame, acontece isso que você está dizendo. Em São Paulo não passa, vai diretamente para a Fapesp. Se ficasse um segundo sob o controle de um secretário, estava perdido. Aqui, na Faperj, aconteceu isso, no ano passado, durante o governo Marcelo Alencar. Descobriu-se, lá pelo final do ano, que tinha sido depositado na conta da Faperj algo como 2% da arrecadação. Ficou lá durante doze horas, algo assim, e depois sumiu. Ninguém jamais viu a cor desse dinheiro, nenhum cientista. O que foi feito com ele, eu não sei.

A física da matéria condensada no Brasil

Nei F. Oliveira Jr.

25 de agosto de 1999

Nesta palestra pretendo dar um depoimento sobre a experiência por mim vivida na evolução da física da matéria condensada no Brasil, desde os meus tempos de estudante no fim da década de 50. Começo por uma avaliação do que é esta área de pesquisa atualmente no Brasil.

Recentemente a SBF, na comemoração de seus 30 anos, fez uma reunião conjunta de todos os seus membros, e este encontro acabou dando uma boa idéia da pesquisa em física no Brasil. Reuniu cerca de 2 mil participantes, dos quais cerca de 1.100 ligados à matéria condensada. É razoável, portanto, dizer que ela deve representar pouco mais de 50% da pesquisa acadêmica em física no país. O número de trabalhos apresentados mostra uma diferença razoável com o que a SBF exibiu em 1989 (dez anos atrás). As áreas também são razoavelmente diferentes e isso reflete, primeiramente, o aparecimento de algo mais moderno, como por exemplo a biofísica, que antes não aparecia; e também uma divisão mais profissional dos trabalhos, porque até a década de 80 a distribuição em grupos era feita *ad hoc*, as pessoas se agrupavam por iniciativa própria. Temos um número alto de grupos em física estatística, em semicondutores e em magnetismo também.

Vale ressaltar que nesses encontros de 1998-1999, o número de pessoas voltadas para semicondutores não foi muito representativo. Isto porque, de dois em dois anos esse grupo tem uma reunião própria que já é tradicional. É um grupo de cerca de 950 participantes e está estabilizado. Pela minha experiência, trata-se de um encontro de padrão mundial. Se compararmos com o encontro equivalente americano, por exemplo, é três vezes menor, mas tem basicamente o mesmo nível, o mesmo padrão. O que mostra que esta área da física no Brasil, assim como as do magnetismo e da física estatística, atingiram nível de maturidade, ou seja, produzem em padrões internacionais. Esta minha opinião é calçada na de colegas estrangeiros que freqüentam estas reuniões. Há um número considerável de participantes estrangeiros, a maioria convidados.

Esta é a situação da física da matéria condensada no Brasil, com um número de pesquisadores que chegam a muitas centenas já com uma produção madura, em nível internacional.

Como se chegou a isso? O início está relatado no capítulo "Breve histórico" do documento da SBF de 1989-90. A física da matéria condensada no Brasil começa basicamente com um alemão, Bernard Gros, que emigrou para o Rio de Janeiro em 1933 e trabalhou inicialmente com propriedades elétricas em dielétricos, materiais isolantes. Teve um aluno, um primeiro colaborador, notório: Costa Ribeiro, que descobriu um efeito que leva o seu nome e que deu notoriedade ao laboratório de Gros. Alguns alunos da geração seguinte também se notabilizaram: talvez o mais conhecido deles seja o Sérgio Mascarenhas, que saiu do Rio de Janeiro para São Carlos, um campus avançado da Universidade de São Paulo que estava se formando numa cidade bastante pequena na época. Foi portanto uma aventura, mas as pesquisas continuaram, exatamente na área de materiais isolantes, principalmente eletretos. Importante, também, a participação da Ivone Mascarenhas, que começou um estudo de estrutura cristalina de materiais através de raios-X. É uma das áreas que cresceram enormemente. Na década de 50, portanto, existia apenas alguma coisa aqui no Rio e mais o Sérgio Mascarenhas, em São Carlos.

Nos anos 50, aconteceu uma coisa extraordinária na ciência mundial. A década de 40 tinha sido marcada pelo sucesso da física nuclear e, obviamente, a década seguinte começou com o prestígio enorme dessa área como de importância estratégica, porque era capaz de gerar energia e bombas. Essa hegemonia só foi desafiada porque, no final dos anos 40, deu-se o famoso desenvolvimento do transistor nos Laboratórios Bell. Isso foi possível graças aos estudos sobre o Estado Sólido que resultaram nas teorias modernas. O estudo dos materiais semicondutores propiciou uma total revolução na eletrônica, que já deixava antever um futuro promissor. Isso porque a eletrônica era uma ciência e uma tecnologia que ganhavam mercado entre os consumidores, mas com dificuldades técnicas. Por exemplo, a televisão é da década de 30, quando se tornou popular nos Estados Unidos, mas ainda na década de 50 era um aparelho bastante complicado de se ter em casa, porque quebrava, precisava de manutenção constante. De maneira geral, o uso da eletrônica em aparelhos domésticos era uma coisa difícil, porque utilizava válvulas a vácuo, dispositivos complicados que gastavam energia, se desgastavam e precisavam ser substituídos. Abria-se com os semicondu-

tores a possibilidade de substituir os tubos a vácuo por pequenos dispositivos sólidos, altamente confiáveis e baratos, pois confeccionados em silício, elemento muito abundante. Isso teve conseqüências imediatas para a popularidade dos aparelhos eletrônicos e trouxe uma possibilidade nova que era a de construir computadores.

Os computadores mecânicos datam do século 19. Os aparelhos eletrônicos inicialmente construídos com tecnologia de válvulas eram terríveis, só serviam para problemas específicos. Porque um computador a válvula era um disparate pela energia que consumia e pela manutenção constante que exigia. Foram construídas algumas unidades, que são históricas, para fins militares, estratégicos, mas não eram possíveis computadores para uso geral.

A revolução dos semicondutores prometia tornar isso absolutamente viável. Na década de 50, um grupo de físicos fez um projeto para o governo americano de construir um primeiro computador sem válvulas, com a tarefa específica de processar o censo dos EUA, que era feito a cada 10 anos e levava outros dez para processar . Eles prometiam que o computador faria isso em meses. A firma não conseguiu o intento porque faliu no meio do projeto, embora tivessem a tecnologia. Outra companhia (a Underwood, se não me engano) retomou o contrato e o computador foi construído. Virou uma estrela. Não tinham o que fazer com ele e o puseram em exibição, dando show do que o computador era capaz de realizar (foi levado, por exemplo, ao famoso *Ed Sullivan show*). Isso, de certa forma, lançou o termo *Solid State* no vocabulário público. Nos anos 60, ninguém conseguia vender uma televisão que não tivesse o nome *Solid State* na frente.

Paralelamente, os núcleos de pesquisa de Estado Sólido se multiplicaram e rapidamente ela se tornou a física da moda. E ela tinha a vantagem considerável de ser bem mais barata. Era possível fazer essa física sem grande investimento. No entanto, o estudo de sólidos requeria resfriamento a temperaturas baixas. Para testar as teorias e poder desenvolver ou compreender o funcionamento do sólido, era muito importante esfriá-lo, tirar a confusão térmica e assim simplificá-lo para poder chegar ao entendimento de suas propriedades. Era comum, então, que as pesquisas sobre estado sólido fossem feitas em um laboratório de baixas temperaturas. Estou falando de física do estado sólido, coisa um pouco diferente de física da matéria condensada. Esse nome, matéria condensada, é mais recente, e na realidade envolve toda uma área da física da qual a de estado sólido é uma parte.

Na década de 50, o primeiro esforço para dominar a nova tecnologia, aqui no Brasil, foi feito no ITA: o projeto Germânio (como o Silício, um material semicondutor). A idéia era desenvolver a tecnologia para equipamento eletrônico embarcado em aviões. Naquela época, o ITA era uma escola de engenharia dedicada à engenharia aeronáutica. O projeto reuniu uma quantidade de pessoas e teve a importância de formá-las. Eram pessoas que, posteriormente, seriam muito importantes no desenvolvimento da física de matéria condensada no Brasil. O chefe do projeto Germânio chamava-se Carlos Quadros e veio depois a ser meu chefe na USP. Como colaboradores importantes, me lembro do Sérgio Porto e um suíço, Walter Baltensperger, que viveu muitos anos no Brasil. Além disso, vários alunos do ITA acabaram se interessando por esses novos desenvolvimentos e foram fazer doutoramento no exterior. O projeto Germânio não levou, no entanto, a nenhum grande resultado, e em fins da década de 50, as pessoas envolvidas estavam dispersas. Algumas tinham ido estudar fora do Brasil. A primeira decepção ou constatação, em relação a esse projeto, foi a de que o Brasil não tinha condição de desenvolver trabalhos aplicados em uma área em que não havia suporte de conhecimento científico.

No fim da década de 50, o Mário Schemberg, que era chefe do Departamento de Física da USP, decidiu implantar lá um grupo de estado sólido. Schemberg era um físico teórico e nada tinha a ver com a área de estado sólido, mas reconhecia a sua importância. Achou que devia começar por um laboratório de baixas temperaturas, e procurou a ajuda de políticos, o mais notório dos quais foi Ulysses Guimarães, que conseguiu o dinheiro para adquiri-lo. O que o Schemberg fez foi usar sua experiência e procurar assessoria de pessoas conhecidas da área. Consultou então um físico de baixas temperaturas, importante na época, John Daunt, que foi a São Paulo e elaborou um projeto de laboratório. Uma das conseqüências dessa visita foi a de arregimentar um aluno e levá-lo para estudar em Nova York. Era o Eugênio Lerner, na época um assistente de Schemberg no Departamento de Física e que depois voltaria para o Rio de Janeiro, onde criou o Laboratório de Baixas Temperaturas, que existe até hoje.

O laboratório planejado por Daunt foi adquirido, e para sua instalação foram contratadas algumas pessoas, especificamente o Carlos Quadros, que então trabalhava em Harvard, o Gerard Salinger, recém-doutorado no laboratório do John Wheatley, em Illinois, o Paul Sidles e o William Whitten vindos de Ames, Iowa. Foi contratado também um físico recém-doutorado na

Holanda, Adriaan M. de Graaf para dar os primeiros cursos de estado sólido da Universidade de São Paulo. Esse pessoal trabalhava sob a coordenação de Newton Bernardes. Essa era a primeira equipe do laboratório de baixas temperaturas da USP.

Fui um dos primeiros alunos dessa turma, comecei no laboratório em 1961. A primeira turma do laboratório está espalhada pelo Brasil inteiro. O José Galvão Ramos, o Adolfo Hengeltraub e o Curt Hennies fizeram carreira em Campinas. O Affonso Gomes fez carreira no CBPF. O Antônio Expedito e o Jean-Marie Flexor foram para a Bahia (o Jean-Marie está aqui no Rio). Pelo que me lembro, chegamos a ser nove e fomos enormemente prejudicados pelos eventos de 64. O Schemberg, que era o mentor, foi preso, os demais saíram, os estrangeiros voltaram para seus países e os estudantes se espalharam. Pouca coisa restou.

Quando o laboratório parecia que iria sumir, o Luiz Guimarães Ferreira, doutorado em estado sólido no MIT, trocou o ITA pela USP em 1965, e praticamente ressuscitou o grupo. Pegou os alunos teóricos remanescentes e doutorou todos. Entre esses alunos estavam o Manuel Siqueira e o Dálvio Valle, que fizeram carreira em Belo Horizonte, e o José Roberto Leite. No laboratório, o "Guima" me ajudou a terminar uma tese que estava incipiente e que foi dos primeiros trabalhos de pesquisa feitos ali (defendida em 1966). Reuni, depois, um pequeno grupo para trabalhar comigo, que incluía o Giorgio Frossati, o Helion Vargas, e o Sílvio Salinas que tinha sido expulso do ITA e foi concluir seus estudos na USP. Esse pequeno grupo, ainda com a participação decidida do Quadros e ajuda direta do Guima, foi em boa parte responsável pela preservação do laboratório. Naquela época começava-se o trabalho liquefazendo o nitrogênio, aí com auxílio do nitrogênio liquefazíamos o hélio, depois transferindo-o para o criostato de pesquisa. A experiência durava, às vezes, uma semana. A gente dormia no laboratório. Não se podia parar doze horas, porque perdia a seqüência, perdia a janela.

Nessa época surgiram as primeiras colaborações que acabaram por moldar o futuro do laboratório. Primeiro um programa francês Grenoble/Brasil, o "Gresil" que utilizou muito pessoal que fazia o serviço militar na França. Esse pessoal foi para o laboratório e ajudou muito. O programa foi trazendo técnicos de eletrônica, de criogenia, engenheiros e um físico chamado Gérard Kuhn que foi muito importante. Ele acabou deixando a física para trabalhar no serviço diplomático francês e se instalou como adido científico no consula-

do de São Paulo e depois na embaixada. Um fato importante desse programa foi a ida do Hercílio Rechenberg para Grenoble, seguida posteriormente pelo Curt, Frossati e Helion.

Outra colaboração importante aconteceu com o MIT. O sucesso dos primeiros brasileiros que lá se doutoraram como o Guimarães, abriu o caminho para muitos outros. Da PUC e do ITA foram vários, José Ripper Filho, Nelson Parada, Sergio Rezende, todos nomes que se tornaram importantes no desenvolvimento da física de matéria condensada. Foi importante também a colaboração com os laboratórios da Bell. Lá estava o Sergio Porto, oriundo do projeto Germânio, e que ganhara destaque construindo o primeiro espectrógrafo a *laser*. O *laser* tinha acabado de ser inventado e uma de suas primeiras utilizações importantes em ciência foi com o espectrógrafo, que analisava os espectros emitidos por sólidos. O primeiro espectrógrafo a *laser* foi feito, portanto, por um brasileiro, Sérgio Porto, saído do ITA para a Bell. Isso propiciou que outros brasileiros fossem trabalhar na Bell, como Rogério Cerqueira Leite e o Ripper, oriundo do MIT.

No fim dos anos 60 e início dos 70, esse pessoal começou a voltar para o Brasil. A Universidade de Campinas estava sendo implantada naquela época. No início dos anos 70, em pleno "milagre brasileiro", a Universidade de Campinas, mercê de um reitor muito ativo, lançou um programa baseado em física do estado sólido, para acesso direto à tecnologia. Era a oportunidade. Campinas tentou organizar um Instituto de Física com prioridade em física do estado sólido, e voltada para pesquisas que levassem diretamente ao desenvolvimento de tecnologia avançada. Com isso atraiu o pessoal da Bell e conseguiu muito dinheiro, montando laboratórios e grupos. Houve contratações de pessoal, uma boa parte vinda do exterior e um certo número de brasileiros disponíveis.

Naquele tempo os nomes de brasileiros mais em evidência em Campinas, eram o Porto, o Rogério, o Ripper e o Parada. O Porto, teve sua atuação ligada principalmente a grupos que desenvolviam projetos estratégicos para o governo, como o da separação e enriquecimento de urânio. O Rogério tornou-se uma referência como defensor da física como base do desenvolvimento tecnológico. O Ripper, enquanto chefe do departamento de Física Aplicada, procurou desenvolver a tecnologia de comunicações, usando principalmente a experiência ganha na Bell, quando integrou um dos grupos que desenvolvia tecnologia de fibras ópticas.

Um outro acontecimento importante, com o qual também tive contato pessoal, foi a criação, no início da década de 70, do pessoal de Recife, apoiado pelo CNPq. Começou com um grupo de estudantes pernambucanos que faziam pós-graduação no sul, dois deles em S. Paulo, o Ivon Fittipaldi e o Maurício Coutinho. Obviamente a área escolhida era a física de estado sólido. O Sérgio Resende, que nessa época passou algum tempo em Campinas e S. Paulo, juntou-se a eles, tornando-se o líder do grupo. Este grupo deu início a um dos centros de excelência que propiciaram o crescimento da Física da Matéria Condensada no Brasil.

Na década de 60 efetuaram-se grandes mudanças no país, inclusive na organização do sistema universitário brasileiro. Foi criada a Escola de Pós-graduação e na Universidade de São Paulo as três primeiras dissertações de mestrado totalmente realizadas no Brasil foram em Física de Estado Sólido e orientadas por mim: Helion, Frossati e Salinas. Quando, em 1969, fui pela primeira vez aos Estados Unidos, fiquei impressionado com um fato. A cidade de Boston, cuja área metropolitana não ultrapassava dois milhões de habitantes, abrigava mais estudantes universitários que o Brasil inteiro. Boston tinha 42 universidades e o Brasil não tinha isso. Em 1969 houve um encontro da recém fundada SBF (Sociedade Brasileira de Física) de que participaram 70 físicos. De lá para cá, as coisas mudaram muito e o nosso crescimento foi impressionante.

A pós-graduação serviu como um grande formador de professores universitários. Praticamente cada um que se formava estava empregado. Era o que acontecia na USP, no Rio de Janeiro e em Campinas. Os pós-graduados, quando não eram contratados no lugar de origem, iam para os departamentos de física que estavam sendo criados. Em fins dos anos 70, Recife já era um centro irradiador de importância. Em 1990, já havia 150 grupos trabalhando em física de estado sólido no Brasil. Hoje é muito maior esse número. Em 1970 não havia 10 grupos. Isso mostra o crescimento da área.

A rápida expansão do ensino universitário e da pesquisa básica, de certa forma acabou por inibir o desenvolvimento de pesquisa aplicada e mesmo o aproveitamento do físico no processo produtivo. A maioria dos alunos de pós-graduação foi absorvida nas Universidades, espalhando-se pelo Brasil inteiro, integrando grupos de pesquisas já existentes, ou mesmo iniciando outros, com o apoio e colaboração dos grupos de origem. O crescimento da área perdura até hoje. Nos últimos anos começou a estabilizar.

O que se tem visto até aqui, tem sido conseqüência do enorme déficit de vagas universitárias que o país apresenta. Há uma invasão de universidades particulares no mercado, além da expansão, ainda que menor, do setor público. Os professores universitários de física têm saído basicamente da escola de pós-graduação, e em grande maioria da área de matéria condensada. Por depender de menores investimentos, e pela promessa de um ligação direta com tecnologia de ponta, ela proliferou com mais facilidade. De praticamente inexistente na década de 60, quando a física nuclear já estava bem estabelecida no Brasil, a área de matéria condensada hoje praticamente domina o quadro da pesquisa acadêmica no país.

Para terminar, eu gostaria apenas de fazer um comentário sobre o que penso que vai acontecer na física de matéria condensada no Brasil. Acredito que ela ainda vai continuar crescendo com base no sistema acadêmico. A necessidade de expandir o sistema universitário no Brasil ainda é muito grande. A alternativa seria a de colocar o físico na indústria ou nos laboratórios de desenvolvimento tecnológico. Quando eu era estudante, esta era a conversa que se ouvia. A idéia de se desenvolver física de estado sólido é porque ela pode preparar o indivíduo para o desenvolvimento tecnológico. Na época, havia a idéia de formar um físico para a indústria. Os primeiros passos foram dados na Universidade de São Paulo, ainda na década de 60. Foi uma inflação de vagas para esses físicos, mas a coisa acabou não acontecendo. Poucos alunos de física foram empregados fora do meio acadêmico.

Na minha experiência pessoal, tive alunos, passei a vida sempre fazendo as duas coisas: pesquisa básica e física aplicada, sempre foram a minha preocupação. Minha experiência sempre foi a de que era muito difícil empregar fora do meio acadêmico os alunos que saíam dos grupos de pesquisa. A Universidade de Campinas, nos anos 70, pretendia ser uma grande ponte entre a ciência básica e a tecnologia. Isso teve algumas conseqüências, alguns sucessos. Na realidade, entretanto, creio que o resultado ficou aquém do que pretendiam os pioneiros da década de 70.

Na minha opinião, o principal caminho ainda deverá ser, por bom tempo, a pesquisa acadêmica básica. O país tem, antes de mais nada, uma enorme deficiência de quadros, mas já desenvolveu um meio acadêmico competente. A pesquisa acadêmica é o instrumento ideal para a formação de pessoal. Tem a grande vantagem de se inserir num sistema aberto internacional e ser balizado por ele. Um bom trabalho acadêmico é reconhecido internacionalmente. É um

trabalho aberto. Já a física aplicada, a física tecnológica, mesmo esta que deriva da física de matéria condensada, é muito mais fechada e depende de competência em uma grande variedade de áreas que precisam se complementar. Depende de discernimento interno para o seu progresso. Por isso, o progresso é mais lento, os resultados acontecem mais a longo prazo, e obviamente por ser menos eficiente, é mais caro. Um amigo meu, chefe de um laboratório de pesquisa industrial americano, dizia que menos de 1% dos projetos encetados resultava em algum tipo de produto. Isso representa um gasto considerável para se chegar a algum lugar. Assim, não tenho dúvida de que a pesquisa acadêmica em física básica, principalmente em matéria condensada, continuará sua expansão por bom tempo.

Quanto à física aplicada, apesar da existência de pessoas bem intencionadas, que fazem um grande esforço para implantar grupos em áreas de interesse, vai demorar um pouco para se estabelecer com o grau de importância que muitos advogam. E não é uma questão de incentivo ou de prioridade. É da própria natureza do trabalho, que é bem menos aberto, e que depende de uma competência interna muito mais ampla para progredir. Seu progresso é inerentemente mais difícil, lento e mais caro.

Em resumo, nos últimos cinquenta anos, o país deu um grande salto em seu ensino universitário, puxado pela expansão de uma comunidade científica nacional, onde a Física da Matéria Condensada teve papel preponderante. Ainda estamos longe de onde deveríamos estar e estou convencido de que, por ainda um bom tempo, a expansão da Universidade de qualidade deverá ser feita baseada na expansão da pesquisa acadêmica fundamental. Desse ponto de vista, o país está bem; faz o que está dentro das suas possibilidades.

Era basicamente o que eu queria dizer.

Perguntas

PERGUNTA: *Sobre essa idéia de integração entre o meio acadêmico e a indústria, com tanta propaganda hoje, o senhor não acredita nela?*

NEI F. OLIVEIRA JR: Não, não acredito, porque no momento as dificuldades ainda são muito grandes. Nós não temos nem muita indústria de ponta nem mesmo uma comunidade no ponto. Não é fácil fazer essa integração. A universidade, como base do conhecimento universal, é coisa que existe há mui-

tas centenas de anos na Europa, que é o berço dessa instituição. A nossa tem apenas dezenas de anos. Nós engatinhamos nessa área. Acho que a gente tem percorrido um caminho bastante longo em pouco tempo. O Brasil conseguiu, por exemplo, na área de física de matéria condensada, produzir uma comunidade que é reconhecida internacionalmente. No ano que vem vai se realizar, em Recife, um encontro internacional. É uma conferência que está sendo feita lá por mérito dos trabalhos dos brasileiros na área do Magnetismo. Mas daí a ser capaz de produzir laboratórios industriais como nos Estados Unidos e Europa vai uma distância grande. Já se tem tentado essa integração, mas não há indústrias com interesses genuínos. Fora umas poucas indústrias controladas pelo governo, como a Petrobrás, há muito pouca coisa. Na verdade, essas coisas se fazem por si, geradas pela necessidade. Não acredito muito nos programas acadêmicos e governamentais como iniciativas, como sementes, como incentivos. O trabalho de pesquisa tem que ser do interesse direto da indústria, e por isso gerado na indústria, senão acaba morrendo. Esta é a minha experiência tirada dos projetos que participei.

PERGUNTA: *Você falou, no início, do Costa Ribeiro. Ele foi para o CBPF, começou no início da década de 60 com o Danon, em seguida chegou o Afonso Gomes e desenvolveu a parte teórica, depois o Constantino Tsalis, que desenvolveu a parte estatística, e atualmente...*

NEI F. OLIVEIRA JR: Não falei sobre o CBPF porque não vivi isso. Tenho um grande amigo lá, meu padrinho de casamento, o Affonso Gomes. O pólo iniciado pelo Gros, pelo Costa Ribeiro, continua. Os dois filhos do Costa Ribeiro são meus amigos, conheci bem essas pessoas que continuaram, mas eu não vivi nada disso.

PERGUNTA: *Campinas não só exportou como importou muita gente. Acabou com o Departamento de Sólidos da Universidade do Rio Grande do Sul, porque num dado momento importou todo mundo, não ficou ninguém lá, os que ficaram vieram para o Rio. Eles tiveram que começar do zero de novo. Foi aquela turma do Hans Peter, Jorge Nicola, Artêmio Scalabrin, Ricardo Franke, John Rogers etc. Durante muitos anos as pessoas se formavam lá e iam diretamente para Campinas, principalmente da parte de óptica.*

NEI F. OLIVEIRA JR: Campinas era muito atraente, inclusive aos olhos da burocracia governamental. Tinha uma proposta afinada com os projetos gover-

namentais, o que garantia muitos recursos. Desde o início da década de 70, quando o Rogério Cerqueira Leite assumiu a direção do instituto, ele claramente formulou uma política de ciência para o desenvolvimento de tecnologia. Essas coisas, acredito, tinham ressonância e atraíam dinheiro e pessoas. Muito do sucesso de Campinas se deveu ao grande número de pessoas que foi possível contratar lá, inclusive argentinos. A Argentina passava por um momento complicado, havia muitos pesquisadores jovens que não podiam voltar para seu país e vários deles foram para Campinas. A vantagem dos pesquisadores estrangeiros é que eles se dedicavam totalmente à pesquisa, talvez até por não terem muito acesso à política universitária. Eles publicavam. Apesar de toda a atmosfera criada na Unicamp, de ser uma universidade voltada para o desenvolvimento de tecnologia, o que tornou aquela universidade respeitável, foram os trabalhos acadêmicos, de ciência básica.

PERGUNTA: *Como as demais áreas da física acompanharam o crescimento da física da matéria condensada?*

NEI F. OLIVEIRA JR: Mal, porque era um competidor não desejado. A grande justificativa da física nuclear era a energia nuclear, fosse para fins pacíficos ou não. A energia nuclear era o que dava sentido aos investimentos da física. E apareceu uma competidora na década de 60. Essa invasão criou problemas. O Schemberg enfrentou críticas quando criou o laboratório de baixas temperaturas. A física de estado sólido só ficou em São Paulo porque, depois da reforma da universidade em 1970, o primeiro diretor do Instituto de Física, o José Goldemberg, preocupado em fazer crescer o instituto, decidiu que o estado sólido ficava e trouxe, inclusive, gente que estava em Campinas.

Acontece que a física nuclear de São Paulo é muito bem estabelecida e bem financiada. O interessante é que eles estão fazendo muita matéria condensada também.

A física e a interdisciplinaridade
A físico-química[1]

Sílvia Tolmasquim e Bartyra Arezzo

13 de outubro de 1999

Sílvia Tolmasquim

Se esta apresentação não tiver muita utilidade para a história da ciência, pelo menos terá sido um bom pretexto para nos reunir, Bartyra e eu, depois de muitos anos de separação profissional, e relembrarmos juntas fatos que testemunhamos, pessoas com quem convivemos profissionalmente, muitas das quais não estão mais em nosso meio. Este é, portanto, um trabalho a duas vozes, embora vocês por enquanto só ouçam a minha. Depois a Bartyra assume.

Contando com um auditório principalmente de pessoas que trabalham com história da ciência, preparamos uma parte mais didática, com uma introdução sobre o campo de atuação da físico-química, para depois tratar da interdisciplinaridade com a física.

Então começamos dizendo que didaticamente a físico-química é definida como a ciência cujo objetivo é esclarecer os princípios que regulam as transformações da matéria, conhecidas como reações químicas. Para isso estuda as propriedades físicas das substâncias e os fatores que influenciam as reações químicas, tais como eletricidade, luz, temperatura, concentração, pressão. Coleta dados que definem as propriedades do sistema em estudo e procura então transformá-los em leis e exprimir os resultados através de equações matemáticas. Com os aperfeiçoamentos das medições experimentais e o maior uso da matemática, a físico-química vem se tornando cada vez mais exata. Ela compreende a termodinâmica, que é a investigação das trocas energéticas, o que permite prever o quanto uma dada reação avança até atingir o equilíbrio;

a cinética química, que envolve o fator tempo e estuda os processos e mecanismos de reação; a eletroquímica, que trata dos eletrólitos e do equilíbrio em soluções eletrolíticas; e ainda estuda a estrutura das moléculas através da investigação dos espectros moleculares, atômicos, da difração de raios-X e da difração de elétrons.

Desde que a físico-química eclodiu como um ramo separado da ciência e foram ocorrendo novas descobertas, seu campo de atuação foi se ampliando e ela passou até a exercer um outro papel: o de contribuir para a elucidação de problemas da física e da química que pareciam se chocar com a teoria. Um exemplo que podemos citar é o das medidas das seções de choque de reações nucleares. De início, as medidas foram feitas em reatores, pelos físicos que não levaram em conta as reações químicas secundárias, que ocorriam no sistema. Após a instalação de geradores de neutrons de energia fixa (14 MEV), foi constatado que os valores reais eram menores do que os que tinham sido medidos, e que a seção de choque é função de energia da reação nuclear. Grande parte da revisão das medidas das seções de choque foram feitas pelos grupos de professores Paneth e casal Martin's, nas Universidade de Cambridge e Durhan, na Inglaterra.

Dentre as novas áreas que foram se incorporando à físico-química, temos por exemplo a química dos fenômenos de superfície, que adquiriu um valor enorme no estudo da adsorção e da coloidoquímica, a química nuclear, a radioquímica. Com isso, a físico-química passou a ser uma ciência de fronteiras não bem definidas. Coloca-se entre a física, de um lado, e todos os ramos da química, de outro, mas sem limites precisos. Há certos tópicos que posso muito bem dizer que pertencem à físico-química, mas posso dizer também que pertencem à física, pois estão altamente relacionados à física. O mesmo acontece com outros temas, que posso colocar tanto dentro da química quanto da físico-química. Mas a parte de química fica para o ano da química, agora estamos no ano da física.

Vamos então cuidar da interface físico-química/física.

Eu me permitiria ler um trecho de um verbete do dicionário de física de Horácio Macedo sobre a físico-química. Diz o seguinte: "A físico-química desenvolveu-se a partir dos fins do século 19 graças aos trabalhos de Ostwald sobre eletroquímica. A sua evolução foi, no início, predominantemente marcada pela evolução da química, de que era fortemente subsidiária (em alguns textos ainda se usa a denominação químico-física para assinalar esta depen-

dência). A rápida expansão da física e a diversificação de seu domínio mostraram a necessidade de uma ciência de fronteira, em que tanto a física quanto a química tivessem importância e contribuíssem simultaneamente para a resolução de seus problemas. Atualmente é flagrante a predominância dos processos físicos não só na investigação experimental, como na análise teórica dos fenômenos físico-químicos."

Deixemos de parte essas ponderações, digamos quase teóricas, sobre a área de atuação de ciências tão interrelacionadas. Se examinarmos os nomes de pessoas que trabalharam em físico-química ou física, principalmente no período que vai da década de 1920 à de 1980, vamos encontrar muita gente atuando nessa interface, em que é difícil definir se é físico-química ou física. Também vamos encontrar inúmeros físicos que tiveram primeiro uma formação em química e depois se dirigiram para a física. Nossa opinião é ilustrada por Joaquim da Costa Ribeiro, no seu trabalho sobre a física no Brasil, onde são citados vários físico-químicos.

O Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas foi criado em 1949 e o Conselho Nacional de Pesquisas, em 1951. Álvaro Alberto da Motta e Silva, além de almirante, era matemático e físico-químico, mas consta naquela obra como fundador do CBPF. Vemos portanto a grande interação desses setores. O Costa Ribeiro cita ainda, no Laboratório da Produção Mineral, o alemão Hans Zocher e Hervásio de Carvalho. O primeiro foi professor das universidades de Berlim e Praga e no laboratório estudou a assimetria dos cristais, a anisotropia da superfície dos cristais, e dedicou-se muito à coloidoquímica. Hervásio de Carvalho é mencionado por Costa Ribeiro por seus trabalhos sobre o poder detentor – *stopping power* – das emulsões nucleares e o alcance das partículas na água e no gelo, além de várias outras questões de físico-química. Poderíamos dizer que Hervásio de Carvalho é figura representativa da interdisciplinaridade da física. Em geral vocês se referem a ele como físico nuclear, o que ele realmente foi, tendo se projetado muito nessa área, inclusive por ter exercido a presidência da Comissão Nacional de Energia Nuclear durante treze anos, passando depois para a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear, mais tarde Nuclebrás. Mas ele é um físico-químico autêntico. Começou na Produção Mineral, na seção de físico-química, lecionou na UFRJ físico-química, físico-química de metais e física também. Fez jus ao título de doutor em ciências físicas e em físico-química. No CBPF, chefiou o departamento de física experimental, mas em seguida o de físico-química. Bartyra e eu conhe-

cemos o Hervásio nos laboratórios de físico-química da Faculdade Nacional de Filosofia. Ele é um exemplo daqueles que fizeram primeiro o curso de química para depois fazer o de física.

Mas não é o único a representar a interdisciplinaridade da física com a físico-quimica; temos outros nomes, o Jacques Danon, o Israel Vargas. O Jacques Danon é diplomado pela antiga Escola Nacional de Química e depois fez física na Faculdade de Ciências de Paris. Foi aluno de Irene Joliot Curie, e atuou no campo da físico-química e da química nuclear, especialmente na separação de radioelementos. Ele pertenceu à equipe do Zamith, lecionando físico-química na Escola de Química. No CBPF, chefiou o departamento de física molecular e estado sólido, onde foram desenvolvidos estudos nos campos da ressonância paramagnética eletrônica e do efeito Mössbauer em compostos inorgânicos e complexos.

Há muitos outros nomes ligados a estudos nessa interface, de forma que tivemos de cortar alguns nomes, senão iríamos nos alongar demais. José Israel Vargas é químico pela Faculdade de Filosofia da Universidade Federal de Minas Gerais, com doutoramento pela Universidade de Cambridge. É catedrático de fisíco-química em Minas Gerais, chefiou o departamento de química do Instituto de Ciências Exatas e desenvolveu suas atividades no campo da química nuclear, em particular na área da química de átomo quente – *hot atom chemistry*. Destacam-se os estudos desenvolvidos, em Minas Gerais, sobre as conseqüências químicas de reações nucleares e sobre ressonância paramagnética eletrônica. Em Grenoble e em Lyon, na França, e em Oxford, na Inglaterra, chefiou grupos de estudo sobre interações hiperfinas. É outro nome muito representativo dessa interdisciplinaridade – está na físico-química, e na física, está bem quando citado aqui ou lá.

Outro personagem que selecionamos foi Ieuda Ciornai. Engenheiro-químico formado pela Escola Nacional de Química, iniciou suas atividades na seção de físico-química do Laboratório da Produção Mineral. Escola e laboratório funcionavam em prédios próximos, permitindo grande interação entre estudantes e profissionais da química. Na Produção Mineral, ele tomou contato com os métodos físico-químicos de análise e começou a se preocupar com a manutenção da aparelhagem científica. Passou a estudar eletrônica e se tornou o primeiro fabricante de aparelhagem científica, com tecnologia própria, no Rio de Janeiro. Fabricou o primeiro equipamento com componentes facilmente encontráveis no mercado de rádio e televisão. Obteve patente de

um milivoltímetro eletrônico de alta impedância de entrada. Depois fundou a firma Metronic Instrumentos Científicos e foi o autor de todos os projetos de instrumentos fabricados por essa firma, destacando-se um medidor de pH que é encontrado em quaisquer dos nossos laboratórios de química, e que foi o primeiro de fabricação nacional, incluindo o vidro pH sensível usado na montagem dos eletrodos. Também produziu um colorímetro fotoelétrico e um condutivímetro. Era, pois, um químico que acabou fabricando instrumentos de física e merece ser considerado aqui, pelo seu pioneirismo.

Mas não podemos falar em interdisciplinaridade sem falar na Faculdade Nacional de Filosofia, cuja estrutura era de uma mini-universidade, com todos os departamentos, os vários setores do conhecimento, funcionando num único prédio em enorme integração. Todos se conheciam e todos sabiam o que se estava fazendo em todas as áreas, Maria Laura Leite Lopes é testemunha. Isso desde sua fundação, em 1939, até a extinção, em 1968. Quando o estudante ingressava no curso de química, logo na primeira série começava a interação com o curso de física. As aulas de física geral e experimental eram ministradas em conjunto, durante dois anos, para o pessoal da química, da física e da matemática. O catedrático era o professor Joaquim da Costa Ribeiro, tendo como assistentes Elisa Frota Pessoa e Jayme Tiomno, este durante um certo período, após o qual foi sucedido por Armando Dias Tavares. O próprio Costa Ribeiro, na sua história da física, referindo-se ao fenômeno termodielétrico, relata os estudos realizados por três colegas nossos do curso de química, que posteriormente se diplomaram também em física. Eram Édson Rodrigues, Sérgio Mascarenhas e Yvonne Primerano, que depois tornou-se Mascarenhas pelo casamento. Incluiríamos mais dois nomes, o de Mabel Rodrigues e o de Mílton Ferreira de Souza, todos do curso de química da Faculdade de Filosofia. Isso deve ter sido mais ou menos por volta de 1949-1950, até 51.

No final da década de 50 e no decorrer da de 60, graças aos esforços dessa equipe de jovens, a Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, tornou-se palco de uma verdadeira revolução, a uma implantação de atividades de pesquisa básica em física e em química, culminando com a criação do Instituto de Física e Química de São Carlos, depois desdobrado em Instituto de Física e Instituto de Química. Todos sabem que as atividades de pesquisa em graduação e pós-graduação nesses institutos, após registrarem notável crescimento qualitativo e quantitativo, resultaram numa intensa produção científica de nível internacional. O Sérgio Mascarenhas ficou mais na

física. Especialista em física de estado sólido, trabalhou também em termodinâmica de processos irreversíveis, condutividade eletrotérmica, aplicações de eletretos na biofísica e em muitos outros assuntos de física e biofísica que foram aqui comentados. A Yvonne Mascarenhas atua na fronteira ente a física e a físico-qímica. Ela é especialista em cristalografia estrutural por difração de raios-X. Édson Rodrigues trabalhou em ambos os campos, mais na físico-química. Na Escola de Engenharia, ele assumiu a cadeira de mecânica geral. Com a constituição do Instituto de Física e Química, ficou no departamento de química e física molecular e batalhou ativamente no desenvolvimento do programa de pós-graduação em físico-química. Mabel Rodrigues dedicou-se à química e, na Escola de Engenharia de São Carlos, optou pela cadeira de química geral e geologia. O Milton Ferreira, que se reuniu posteriormente ao grupo, tirou o doutorado em física em São Carlos e também desenvolveu funções docentes e de pesquisa. Sua área de interesse é física da matéria condensada.

Há um comentário da Elza Vieira de Souza, diplomada em física em 1951, no livro sobre a Faculdade Nacional de Filosofia, coordenado pela Maria de Lourdes Fávero. Ela diz: "Em relação à parte de pesquisa, o que me lembro é de algo estranho, o Costa Ribeiro e seus laboratórios... Eu o vejo rodeado por uma equipe de estudantes de química. O grupo que trabalhava com o professor Costa Ribeiro, ao seu lado, era o grupo da química." Mas esses comentários da Elza de Souza, é importante salientar, referem-se ao período posterior à criação do CBPF, que dispunha de laboratórios bem equipados e de uma equipe de professores e pesquisadores de reconhecido valor, todos muito preocupados com a formação de recursos humanos, com a geração nova. Na Faculdade de Filosofia, infelizmente, nossos laboratórios eram terríveis, não tinham a menor condição de trabalho. Então o CBPF tornou-se um pólo de atração, não só do pessoal da física, mas de muita gente da química também. Até a proximidade de localização facilitava esse intercâmbio com os químicos e físicos da Faculdade de Filosofia, porque o CBPF ficava na Praia Vermelha e a faculdade, na Esplanada do Castelo . Logo que foi fundado, o Centro recebeu um mandato universitário que lhe permitia dar cursos básicos que seriam reconhecidos pela Universidade do Brasil. Depois houve o reconhecimento também dos cursos de pós-graduação. Nessa época, justamente o chefe do Departamento de Ensino do CBPF era o Jayme Tiomno. Ele criou um laboratório de ensino no Centro e a Elisa Frota Pessoa, que ainda trabalhava com

o Costa Ribeiro, levava os alunos para aulas práticas nesse laboratório. Então se eles estavam tendo as aulas práticas no CBPF, não podiam estar nos laboratórios da Filosofia.

Os primeiros chefes desse laboratório do CBPF foram Paulo Emídio Barbosa e Horácio Macedo, ambos atuantes na físico-química. Eram dois físico-químicos dirigindo os laboratórios de ensino de física. Horácio Macedo dedicou-se principalmente ao ensino da físico-química. Ele fez parte do grupo do professor Zamith na Escola de Química, ao qual também pertenceu Danon. Horácio Macedo lecionou ainda na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Paulo Emídio Barbosa começou, como todos os seus contemporâneos da Escola Nacional de Química, no Laboratório da Produção Mineral, na seção de físico-química. Desenvolveu estudos nessa área e especializou-se em espectroscopia no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, mas seu concurso de catedrático foi para física, não para físico-química. Tornou-se catedrático de física da Escola Nacional de Química e, quando houve a reforma universitária, é claro que foi transferido para o Instituto de Física e não para o de Química. Mas, depois de se aposentar, aceitou lecionar físico-química de polímeros no Instituto de Macromoléculas da UFRJ, voltando para o campo da físico-química.

Estamos vendo como se interrelacionavam não só os conteúdos da físico-química e da física, mas as próprias pessoas, no mundo acadêmico do Rio de Janeiro. Na Faculdade Nacional de Filosofia, os estudantes e docentes de físico-química assistiam rotineiramente às palestras e seminários conduzidos por físicos como Leite Lopes, César Lattes, Costa Ribeiro, Armando Dias Tavares e muitos outros professores convidados. Nós, docentes de físico-química, participávamos de cursos extracurriculares em conjunto com os físicos. Por exemplo, eu fui fazer um curso de teoria quântica da valência, ministrado por Ricardo Ferreira, no CBPF. A Bartyra foi assistir a um curso de mecânica quântica para químicos, ministrado por Leite Lopes, na Escola Nacional de Química. Aliás, Leite Lopes e Ricardo Ferreira também tiveram primeiro formação em química, depois em física. O Leite Lopes faz questão de dizer que estudou química porque em Pernambuco não havia escola de física, mas o fato é que começou pela química para depois ir para a física lá na Filosofia.

Na Faculdade Nacional de Filosofia, a físico-química era ensinada a partir do segundo ano do curso de química pelo grupo do professor Christóvão Cardoso, catedrático de físico-química e química superior. Alguns temas,

eventualmente, eram ministrados por professores convidados. Assim, tivemos cursos de espectrografia ministrados por Paulo Emídio Barbosa e de coloidoquímica ministrados por Hans Zocher. Por outro lado, eram também realizados, nos laboratórios de físico-química, aulas práticas para alunos de outras unidades da universidade, como o Instituto de Eletrotécnica da Escola de Engenharia. Era um intercâmbio constante.

Quero dizer algumas palavras sobre o nosso catedrático João Christóvão Cardoso. Embora não nos tenha legado uma extensa produção científica, ele teve uma importante atuação no meio universitário e científico, tendo ocupado a vice-presidência e posteriormente a presidência do Conselho Nacional de Pesquisas. Cardoso possuía profundos conhecimentos de química e de física, vasta cultura humanística e larga experiência na indústria químico-farmacêutica, inclusive na área de produção. Era dotado de rara habilidade para improvisar aparelhagem em física – graças a isso é que funcionava o laboratório de físico-química, porque era tanta improvisação de equipamentos! – e muito dedicado à sua cátedra. Como representante da Faculdade Nacional de Filosofia no Conselho Universitário, foi autor da proposta, aprovada em 1959 por aquele colegiado, que criou o Instituto de Química da UFRJ. Esse instituto foi concebido como centro de pós-graduação, com o objetivo de estimular a pesquisa e a formação de professores de nível superior. Neste ponto, embora um pouco fora do assunto, há um detalhe, que não resisto à tentação de contá-lo, porque muita gente o desconhece, inclusive um filho meu que trabalha na Coppe (Coordenação dos Cursos de Pós-graduação em Engenharia, da UFRJ): a Coppe nasceu dentro do Instituto de Química. O instituto era formado por várias divisões e a de engenharia-química era chefiada por Alberto Luís Coimbra. Este convidou muitos professores estrangeiros, que ministraram cursos brilhantes. De tal maneira as atividades da divisão de engenharia química despertaram o interesse da comunidade universitária, que Athos da Silveira Ramos, diretor-presidente do Instituto de Química naquela época, naturalmente com a aprovação do Conselho Diretor, propôs ao Conselho Universitário o desdobramento e desligamento dessa divisão para formar a Coppe. E o Alberto Luís Coimbra passou a ser o coordenador da Coppe.

Da mesma forma, o Instituto de Macromoléculas nasceu do Instituto de Química nessa fase em que era destinado à pós-graduação. A proposta de criação do Instituto de Química data de 1959. O primeiro Conselho Diretor foi

designado em 1961 e ele só foi transferido para o Fundão, com a reforma universitária em 68, quando acabou a Faculdade de Filosofia. Nós fomos pioneiros lá e sofremos coisas terríveis. Colocavam fósforos no buraco da fechadura de nosso laboratório para não podermos entrar, porque a Engenharia estava ocupando a área que deveria ser nossa. Isso eu não deveria contar, porque está sendo gravado, apaga! Mas aconteceu.

Agora chegou a vez de falar sobre Bartyra de Castro Arezzo e Silvia Tiomno, posteriormente Tolmasquim, pelo casamento. Ambas nos diplomamos em química pela Faculdade Nacional de Filosofia da Universidade do Brasil, e iniciamos as atividades profissionais ainda estudantes. Naquela época éramos nomeados (havia um termo de nomeação) auxiliares de ensino sem remuneração. Era um ato formal, assinávamos diários de classe, tínhamos a freqüência apurada e cumpríamos outras formalidades. Então começamos como todo mundo, auxiliares de ensino sem remuneração. Colaborávamos nas aulas experimentais da cadeira de físico-química e química superior com todos os encargos docentes. Pouco a pouco fomos subindo os degraus na carreira do magistério. Graças ao seu espírito inovador, o professor Cardoso, sensível aos progressos da tecnologia nuclear, incluiu em sua cátedra na década de 60 a disciplina opcional química nuclear e radioquímica. Sua ementa foi revista e atualizada nos anos 70 e então adotada pela Coppe no curso de pós-graduação em engenharia nuclear. Esses cursos, pioneiros na área foram ministrados pela Bartyra. Esta, em 66, afastou-se da FNFi e passou a integrar o quadro de pesquisadores da CNEN, onde desenvolveu trabalhos nos campos dos efeitos químicos das transformações nucleares e dos métodos físico-químicos de separação de radioelementos, como extração por solvente e troca iônica. Notem há quanto tempo estamos separadas profissionalmente, desde 66, e ainda conseguimos trabalhar juntas com o mesmo espírito de colaboração, o mesmo entusiasmo que tínhamos quando começamos como auxiliares de ensino sem remuneração.

Eu continuei trabalhando com o professor Cardoso na Faculdade de Filosofia e, como nossos laboratórios não ofereciam condições para pesquisa, juntei-me informalmente, sem prejuízo das minhas funções acadêmicas, ao grupo do laboratório de amido do Instituto Nacional de Tecnologia, onde participei de estudos sobre propriedades físico-químicas de amidos e elaborei minha tese de livre docência. Na Filosofia não teria tido essa oportunidade. Por que eu tinha esse livre trânsito, de ir trabalhar no laboratório de

amido? É porque o laboratório de amido do Instituto Nacional de Tecnologia nasceu dentro do laboratório de físico-química da FNFi.

O professor Cardoso promoveu uma série de seminários e estágios para estudo da físico-química de macromoléculas naturais. A Heloísa Mano estudava as macromoléculas sintéticas, ele se interessou pelas naturais. E começou pelo amido, que é um produto vastamente encontrado na natureza. Portanto, teríamos bastante matéria-prima barata. Como todas as demais, estas atividades eram abertas a quem se interessasse, e não só à equipe do laboratório. Assim vieram pessoas de outros órgãos, ex-alunos ou não, como Samuel Lederman, Feiga Tiomno Rosenthal e Ernesto Tolmasquim. A Feiga e o Ernesto se entusiasmaram de tal maneira pelo assunto que começaram a desenvolver pesquisas em amido no INT. E produziram trabalhos bons. Obtiveram auxílio do Departamento de Agricultura norte-americano e conseguiram a aprovação do diretor do instituto, Sylvio Fróes Abreu, para criação do laboratório de amido. O vínculo entre a cadeira de físico-química da FNFi e esse laboratório continuou extra-oficialmente. Eu indiquei ex-alunos que tinham sido brilhantes para trabalharem lá: Takeko Nakamura, Ana Maria Nunes Pereira, depois Espínola pelo casamento, e outros, cujos nomes no momento não me vêm à memória, foram depois contratados pelo INT

No período de 73 a 83, afastei-me oficialmente da UFRJ por requisição do INT. Só que não foi para trabalhar no laboratório de amido, mas para dirigir a divisão de ensino e documentação. Após esse período, retornei à UFRJ e finalmente chegou a época de minha aposentadoria pelo Instituto de Química. Por que pelo Instituto de Química? É que, com a reforma universitária, o Instituto de Química, que fora criado com vistas exclusivamente à pós-graduação, recebeu o encargo de ministrar também o ensino básico de química para toda a universidade. Nós fomos os pioneiros e aí aconteceram todos aqueles problemas a que impulsivamente me referi. Não sei se devido às distâncias físicas, nas instalações na Ilha do Fundão, aqueles corredores enormes, andares diferentes, o fato é que a físico-química começou a se distanciar da física. Cessou o intercâmbio que havia na Faculdade de Filosofia.

O Cardoso continuou com a chefia do departamento de físico-química e foi nomeado diretor *pró-tempore* do Instituto de Química. Exerceu, concomitantemente, as duas funções até sua aposentadoria compulsória pelo AI-5, em 1969. Levamos então um período com o departamento acéfalo. No ano seguinte o pessoal da físico-química da Escola Nacional de Química também

foi transferido para o Fundão e o Zamith, que era o catedrático da disciplina, assumiu a chefia do departamento. Com ele foi todo o grupo da Escola, inclusive Horácio Macedo, que ficou no Instituto de Química, e Paulo Emídio Barbosa, no Instituto de Física.

Para finalizar, algumas palavras sobre o INT, Instituto Nacional de Tecnologia, que no período considerado destacou-se como um centro de pesquisas onde foram desenvolvidos importantes trabalhos, tanto na área da química como da física. Os trabalhos de Bernard Gross e seus colaboradores são bastante conhecidos. O INT não tinha um setor específico de físico-química, nem tem agora. A físico-química era aplicada geralmente através da análise instrumental ou como recurso auxiliar na solução de questões de química ou de tecnologia ou, ainda, na investigação de estruturas moleculares de proteínas e de amidos. Há, sem dúvida, estudos como aqueles de Fonseca Costa, a que Costa Ribeiro se refere, fortemente baseados na físico-química.

Citam-se também várias pesquisas no campo de corrosão, adsorção, catálise, propriedades tixotrópicas e outras áreas da físico-química, mas sempre com vistas a aplicações tecnológicas, pelo menos é o que nos parece. Ou eram problemas de fechos de elevador ou a questão da produção de álcool, ou de desenvolvimento de catalisadores automotivos, produção ou tingimento de fibras sintéticas, perfurações de poços de petróleo e outras questões dessa natureza.

Bartyra Arezzo

Eu exerci atividades de pesquisa sobre efeitos químicos das transformações nucleares. Foi uma área na qual comecei a trabalhar com José Israel Vargas, ainda na Inglaterra, estudando um efeito que era chamado de *annealing* – recombinação de radicais livres em reações nucleares. Depois, trabalhei com o Danon, em separação química de radioelementos, usando processos físico-químicos e não os métodos tradicionais da química. Era extração por solventes ou resinas trocadoras de íons, justamente duas técnicas que surgiram com o aparecimento de separações radioquímicas de radioelementos. Comecei com o Danon, no CBPF, e depois tive oportunidade de trabalhar em grupos no exterior.

Quando voltei para a Comissão [Nacional de Energia Nuclear], gostaria de ter continuado por mais tempo trabalhando em pesquisa, mas fui levada a organizar os laboratórios de química do Instituto de Engenharia Nuclear na Ilha do Fundão, ficando presa a esse trabalho. Circunstâncias outras me fizeram voltar para a sede da CNEN, onde fiquei na coordenação do programa ARCAL, da Agência Internacional de Energia Atômica, até minha aposentadoria.

Na área nuclear, os cursos da Faculdade Nacional de Filosofia foram realizados em 63, 64 e 65. Tínhamos alunos da universidade, não só do curso regular de Química, mas também vários ouvintes. Começamos ainda no prédio da [Avenida] Presidente Antônio Carlos, na Casa D'Itália. *(Sílvia Tolmasquim lembra que no primeiro ano, em 39, a FNFi funcionou ainda em uma escola pública, no Largo do Machado.)* Em 39, estava no Largo do Machado, mas quando o Brasil declarou guerra à Itália, a Casa D'Itália passou para o governo brasileiro e aí a Faculdade de Filosofia se instalou lá, mas isso já foi em 43.

Nota: [1]Esta apresentação foi transformada no artigo 'Comentários sobre a interdisciplinaridade da física e física-química', publicada na Revista de Manguinhos, vol.9, nº.3, set-dez 2002, p. 647-687.

A física e a interdisciplinaridade
A biofísica no CBPF

George Bemski

13 de outubro de 1999

Entre 1958 e 1959, eu estava nos Estados Unidos, trabalhando nos problemas de semicondutores. Os transistores eram muito recentes e foram criados na Bell, situada próximo a Nova York. Naquela época, eu dava aulas em uma universidade de Nova Jersey. Éramos três: George Feher, Ter Isen e eu. George dava aulas em Columbia e foi lá que conheceu vários biólogos. Tínhamos um espectrômetro de ressonância paramagnética e Terry teve a idéia de usá-lo para ver o que acontece com os ovos de rãs, durante o período de replicação. Isso porque, segundo os biólogos, tal replicação era síncrona e seguramente, durante esse processo, apareciam radicais livres que poderiam ser observados no EPR. Então, deveríamos ver coisas muito bonitas, os radicais aparecendo e desaparecendo.

Um dia chegou um biólogo da Columbia University com uma caixa de rãs, acompanhado de um técnico. Ele começou a extrair ovos dessas rãs, mas algo desandou e os bichos que saíram da caixa começaram a saltar por todo o laboratório. Uma coisa nunca vista na Bell, que é um laboratório enorme, sério, meio "pesado". O experimento não deu certo, os radicais livres não apareceram e as rãs foram levadas de volta para Columbia.

Este foi o começo, que mostra que não se deve desesperar quando as coisas não dão resultado. Em 1960, cheguei ao Brasil. Trabalhei em São José dos Campos, no ITA, e no CBPF, contratado pelo Prof. Leite Lopes. Na época, o CBPF havia conseguido dinheiro da Fundação Ford, para a física experimental. Entre os instrumentos comprados havia um espectrômetro de EPR, da Varian. Jacques Danon estava começando a fazer espectroscopia de Mössbauer com grande ajuda de um excelente mecânico holandês, François Neyts. Começamos, então, a fazer seriamente física de matéria condensada com EPR e com Mössbauer, mas pensávamos também em tentar uma outra coisa. A tentativa anterior não dera resultados, mas, quem sabe, a segunda daria certo.

Naquele tempo a UFRJ funcionava na Praia Vermelha, o que facilitava as coisas para mim, porque ali o contato com os biólogos era fácil. Fui então falar com o professor Carlos Chagas, que me encaminhou ao professor Caldas, hoje já falecido, que me mandou ao Instituto de Microbiologia, onde havia um professor alemão, Haussman, que naquele momento estava em Nova York. Aparentemente, havia pouca atividade no instituto, porque arrumaram um técnico, Arlindo, para ajudar-me no CBPF. Fizemos o experimento relatado abaixo.

Naqueles anos trabalhava-se muito com bactérias, como a Escherichia coli, e com os bacteriófagos que penetram nas bactérias e se replicam dentro delas. Um vírus penetrava e, meia hora mais tarde, dali saíam 100 ou 200. Eu estava interessado em ver o que aconteceria se aplicássemos campo magnético durante esse processo. Tínhamos campo magnético por causa do espectrômetro de EPR; era como se fosse grátis. Fizemos alguns experimentos para ver se aumentava o número de mutações, o grande interesse do momento. A situação era a seguinte: Darwin lançou a teoria da evolução, anos depois Crick e Watson vieram com a estrutura de DNA e com uma visão das mutações. Ficava evidente que a situação estava completamente sob controle. A evolução acontece por causa de mutações, e parecia claro que a relação entre as duas se concretizava em pouco tempo. Passaram-se quase cinqüenta anos e a situação não mudou muito. Mas, naquele momento só queríamos ver as mutações. Arlindo, técnico de Microbiologia que sabia como detectar as mutações nos bacteriófagos, viu que o campo magnético não produzia diferença alguma.

Fizemos então outro experimento, usando campos eletromagnéticos durante a replicação. Aplicávamos a cada dia uma freqüência, ponto por ponto, e Arlindo pacientemente contava os mutantes. Um dia, observamos uma ressonância. Para uma freqüência do oscilador se registrou forte aumento no número de mutações. Isto parecia realmente sensacional. Todo mundo se entusiasmou. Estou contando essa história porque, provavelmente, era o primeiro experimento deste tipo, em biofísica, no Rio. A pessoa que mais se interessou por esse resultado foi o Prof. Jorge Sussman, um físico de São Paulo, teórico, especialista em interações dipolares, entre outras coisas. Pressionou-nos muito para fazermos mais experimentos. O pessoal do CBPF, Mario Giambiagi entre outros, se interessou muito.

Um ano mais tarde (1964), voltei aos EUA e lá pensei em repetir o experimento, melhorando as condições. Pedi ao Arlindo para ir ajudar em Nova York (no Albert Einstein College of Medicine, no Bronx). Ele aceitou, dizendo que estava interessado em continuar o trabalho. Estava tudo organizado, quando nos

demos conta de que ele seria pego imediatamente para o exército, por causa da guerra do Vietnã. Avisamos para ele não ir. Anos mais tarde, encontrei o Arlindo na UFRJ. Pouco tempo depois ele morreu. O novo experimento não resultou em nada, pois observamos que o pequeno aumento da temperatura produzia grande aumento na taxa de mutações. Desistimos. Imagino que alguém estudou a dependência das mutações em função da temperatura, porque é um assunto muito interessante. O que provavelmente aconteceu no Rio foi uma ressonância de circuito elétrico que usávamos com aumento de potência e, conseqüentemente, de temperatura.

Abandonando as mutações, trabalhei, nos Estados Unidos e na Venezuela, com proteínas, principalmente, com hemoglobinas. Em 1972, voltei ao Brasil, por 6 meses do ano sabático. Desta vez, fui para a PUC-RJ, onde Sérgio Costa Ribeiro, muito interessado em introduzir biofísica nos curriculum, organizou um curso. Inscreveram-se muitas pessoas. Havia muito interesse, muita demanda. Provavelmente, era o primeiro curso de biofísica sob o enfoque da física. Existia o Instituto de Biofísica da UFRJ, que é enorme, mas, havia pouco tempo que eles atacavam os problemas experimentais de uma perspectiva diferente da dos físicos. Eu estava tentando concentrar-me na biofísica feita nos institutos de física, como o CBPF, ou o departamento de física da PUC, onde foi dado aquele curso. O resultado foi que várias pessoas começaram a fazer teses de mestrado em biofísica.

Noutra ocasião, eu estava na Venezuela, trabalhando no IVIC (Instituto de Investigaciones Cientificas) e o país neste período tinha muito dinheiro. O Instituto também estava rico. Mas, sem nenhum convênio oficial entre Brasil e Venezuela, não era tão fácil convidar pessoas do Brasil. Ainda assim, convidamos muita gente: Otacílio de Nascimento, Sônia Wanderley, Mário Amato, Paulo Costa Ribeiro, Maria Matos, Teresa Lamy, entre outros. Convidamos esses colegas para passar vários meses no IVIC e começar algum trabalho que, depois, continuariam no Brasil, conseguindo mestrandos, doutorandos. Hoje, vários deles têm formado seus próprios doutores. Há, portanto, várias gerações.

Essa cooperação, que era extremamente informal, sem nenhuma burocracia envolvida, funcionou bem, principalmente porque havia dinheiro.

Mencionei o experimento no CBPF como curiosidade, pois foi a primeira vez, no Rio, que um físico abordou este tipo de trabalho. Mas o curso na PUC já era uma coisa mais séria e que deu resultado.

Atualmente as coisas estão mudadas. Existem cada vez mais pessoas estudando biofísica e não física; transformando-se em biofísicos depois de formarem-

se como físicos. Ainda hoje, no entanto, existe uma dificuldade fundamental em institutos como o CBPF, ou no Instituto de Física da PUC: os estudantes que pretendem fazer pós-graduação precisam ser físicos, já que a prova de entrada torna impossível o ingresso de estudantes de biologia e química. Isso reduz consideravelmente o número de pessoas que estudam biofísica, que é uma atividade altamente multidisciplinar. Já no Instituto de Biofísica Carlos Chagas a situação é diferente. Há um bom número de estudantes, desde o momento em que Paulo Bisch, um físico, foi para o Instituto, depois de trabalhar no CBPF.

Quero mencionar ainda uma atividade, eminentemente interdisciplinar, que envolvia estudos de magnetismo em seres vivos e estava sendo trabalhada no CBPF. Foi iniciada por Jacques Danon e continuada por Henrique Lins de Barros, do MAST, além da Darcy Ezequiel e Eliane Wajnberg. Mas não quero estender-me aos problemas atacados atualmente.

Outro dia, eu soube acidentalmente que pelos idos de 1900 existiam no mundo cerca de mil físicos trabalhando em física, ou seja, estes eram os que de fato trabalhavam em física, além daqueles que davam aulas. Na verdade, era um número reduzido. Vemos, portanto, que a física no século 20 cresceu enormemente. Talvez agora estejamos assistindo a uma situação semelhante em relação aos biofísicos. Acredito que o próximo século será o século da biologia e da biofísica, e, de alguma maneira, essas dificuldades da interdisciplinaridade precisam desaparecer, pois não têm sentido. O futuro já está indicando claramente nesta direção. Essencialmente, era esta a história que eu queria contar do princípio da biofísica aqui no Rio, que acidentalmente assisti.

Aqui no Brasil, o período entre o começo da biofísica e o da física da matéria condensada foi relativamente. Simultaneamente, com os eventos no CBPF que acabo de contar, aconteciam outros como a primeira escola brasileira de física do estado sólido, em Rio Claro, organizada pelo professor Mário Schemberg. O organizador local era Heitor de Souza, que posteriormente ocupou o posto de reitor da Universidade da UNESCO, em Tóquio. Foi um evento memorável totalmente esquecido hoje em dia.

Muito obrigado.

Perguntas

PERGUNTA: *Essa separação entre a biofísica do CBPF e da PUC, em relação à biofísica da UFRJ, é filosófica ou faz parte da política universitária?*

BEMSKI: Acho que essa diferença se originou pelo tipo de pessoas que trabalhavam nestes lugares. Na UFRJ, todo o primeiro grupo era de médicos. A maneira de olhar as coisas era diferente, e o contato com os físicos, muito pequeno. Apenas nos últimos anos houve mudanças e a UFRJ começou a empregar físicos. Mas, nos anos 60, o Prof. Carlos Chagas estava consciente e preocupado em reduzir esta separação, só que não havia físicos interessados em dar este salto.

PERGUNTA: ***O senhor acha que há possibilidade de o CBPF abrir para outras pessoas conhecerem a física?***

BEMSKI: Acho muito difícil. Na década de 80 o CBPF montou um grupo de Biofísica que continua extremamente pequeno. Em geral o número de pesquisadores diminuiu muito, cerca de 25%. Além disso, continua difícil contratar alguém cuja titulação não seja de pura física.

PERGUNTA: ***Quando o Feymman esteve aqui, por volta de 1960, dizia que iria ter um laboratório no Instituto, no Departamento de Biofísica, e que o futuro da ciência era a biofísica. Lembra disso?***

BEMSKI: Sim. Inclusive ele trabalhou um tempo em biofísica.

PERGUNTA: ***E tem uma outra pessoa, o Sérgio Mascarenhas ...***

BEMSKI: Sim, ao mesmo em tempo que a gente trabalhava aqui no Rio, o Sérgio Mascarenhas estava desenvolvendo biofísica em São Carlos. E o Otaciro, que terminou o doutorado na PUC, foi imediatamente contratado por ele, para São Carlos, onde se encontra até hoje. Sérgio está entre as figuras mais importantes no desenvolvimento da biofísica no Brasil, e um dos seus maiores incentivadores.

PERGUNTA: ***Temos o currículo dele aqui no arquivo de história da ciência do MAST. O número de trabalhos que ele tem nessa área é muito grande...***

BEMSKI: Não apenas em biologia, mas também em outras disciplinas. Eu falei do Rio, por isso deixei outras pessoas um pouco de lado. Além do Sergio Mascarenhas, em São Carlos, o Ricardo Ferreira é de enorme importância. Ele é de Pernambuco, mas passou por São Carlos, passou pelo CBPF.

PERGUNTA: ***Gostaria de saber se havia um sentido de desafio maior nas teses utilizadas em tentar explicar a teoria da evolução pelo darwinismo, porque não desconhecemos a resistência à teoria, inclusive nos Estados Unidos, onde***

era proibido o ensino nas escolas. Existiu um sabor de desafio maior naquele momento?

BEMSKI: Já nos anos 20 o desafio era muito grande. Parecia que a evidência física das mutações, depois de Crick e Watson, acabaria com as críticas, mas isto não aconteceu. As chamadas alternativas à teoria de evolução continuaram sendo ensinadas, em vários estados.

PERGUNTA: *O livro do Schroeder,* What is life, *teve um papel importante nessa divulgação?*

BEMSKI: What is life foi o livro fundamental. Entusiasmou os físicos para os problemas de biologia. Foi tremendamente importante.

PERGUNTA: *Mas já faz 50 anos...*

BEMSKI: Sim. Agora saiu um outro livro, meio século depois. É interessante observarmos que o livro de Schroedinger antecede a Crick e Watson. Não podemos esquecer que durante muito tempo os físicos em biologia se limitavam à biologia molecular, porque gostavam de ver as coisas mais ou menos claras, limpas e bem definidas. A biologia em geral não é assim. Por exemplo: até há uns 30 anos atrás, as membranas eram um tabu para a maioria dos físicos, porque não se sabia o que eram, em que consistiam. A situação mudou por completo. Atualmente são muitos os físicos interessados em membranas e em outros problemas que não são precisamente moleculares.Uma das coisas estudadas é o problema do magnetismo em seres vivos . Ainda existem muitas perguntas não respondidas, como, por exemplo: as leis de física são suficientes para descrever os problemas biológicos ou necessitamos de leis adicionais? Até o momento a questão não se apresenta claramente.

PERGUNTA: *A matemática também precisa progredir, para que a física viesse a explicar esses fenômenos?*

BEMSKI: Até agora, parece que esses fenômenos são somente de maior complexidade, sem precisar de nada adicional.

Sistemas complexos

Paulo Murilo Castro de Oliveira

17 de novembro de 1999

Vou começar fazendo propaganda do grupo com o qual trabalho na Universidade Federal Fluminense. Na verdade é um grupo grande, de física do estado sólido, em que há um subgrupo de mecânica estatística, do qual faz parte um subsubgrupo com três professores e estudantes de física, incluindo alunos de pós-graduação, que trabalha em sistemas complexos e acaba de publicar um livro este ano. É um estudo que abrange evolução, mercado econômico, guerra etc., tudo feito no computador. Há problemas dos mais diversos, em princípio sem nenhuma relação entre si; a única coisa em comum é o fato de que a gente faz o seu modelamento em computador. Isso porque são problemas que não se consegue atacar com estratégias analíticas, por razões que vou mostrar adiante. Então o instrumento por excelência que se tem para estudar esses problemas é o computador e mais nada.

Começo mostrando umas figuras que copiei do *Scientific American*, tiradas de um artigo do cosmólogo russo Andrei Linde, que emigrou para os Estados Unidos. Ele tem umas teorias sobre a evolução do universo que eu não entendo nada, mas peguei essas figuras porque são bonitas e têm a ver com o meu tema. Imaginem que se tenha um sistema qualquer e se queira que ele evolua no tempo. Um sistema dinâmico é algo que evolui no tempo segundo certas regras. Por exemplo, um sistema que necessita minimizar o risco, ou um sistema econômico em que se precisa maximizar os lucros globalmente, algo desse tipo. Tem algum parâmetro que é preciso maximizar, minimizar ou otimizar uma vez. Esse sistema pode se encontrar em variados estados e vai andando nesse espaço de estados tentando otimizar essa quantidade. Por exemplo, minimizar a energia.

Em desenho tridimensional (por exemplo, de um relevo montanhoso) vamos imaginar que há um plano horizontal onde cada pontinho corresponde a um estado possível daquele sistema. O eixo vertical corresponde à energia que se quer minimizar. Tem-se então um gráfico e uma montanha. Começa-se

com o sistema numa certa posição e podemos imaginá-lo. Temos uma bolinha, que se pode fazer com um chiclete amassado, e a largamos no morro. O que vai acontecer com a bolinha? Ela vai rolar morro abaixo. Como é chiclete, daqui a um tempo vai ter um certo atrito, ela vai rolar mas não vai ganhar muita velocidade. Neste caso, é um movimento sem graça. Ela vai ser largada, vai descer e chegar a este ponto, que é o mais baixo de todos. Se largarmos em outra posição, ela seguirá outra trajetória, mas no final vai parar no mesmo ponto. Então esse sistema é um sistema sem graça no qual, seja qual for a posição inicial em que se larga a bolinha, ela vai acabar convergindo para a posição mais baixa.

Se o gráfico correspondente ao sistema tiver uns vales, a bolinha de chiclete pode ficar presa num deles. Se for assim, você larga a bolinha, ela vem e fica presa neste buraco e nunca mais sai. Mas, se você largá-la de outra posição, vai ficar presa neste outro buraco e assim por diante. Esse sistema já é mais interessante, porque, dependendo de onde se larga a bolinha, a situação final muda. O que esse russo está tentando nos dizer é que o universo funciona segundo um outro gráfico que estou mostrando. Ele diz, não eu, que o nosso universo é assim.

Mas o que tem isso a ver com o que vou falar? Olhemos o desenho mais simples. Digamos que estamos nesta situação, que dá para entender o que está acontecendo. Nesta situação temos vários mínimos. O sistema não vive sozinho no mundo, ele interage com outras coisas ao redor e, portanto, o gráfico vai acabar mudando de alguma forma. Logo, por exemplo, se a gente largar a bolinha de chiclete nesta posição, ela vai descer e cair neste buraco onde ficará um tempão, mas não eternamente. Acabará saindo porque alguém vai esbarrar no sistema e ela pulará para outro lugar, ou porque o próprio relevo vai mudar, esta montanha vai subir e este buraco deixará de ser um vale e ela vai escorregar para um outro. De qualquer maneira, esta mudança é muito mais lenta do que a outra, na qual a bolinha sai de onde foi largada, vem e quase imediatamente chega no mínimo e fica lá. No exemplo anterior, a bolinha demora muito tempo num estado chamado metastável, que é estável só até certo ponto, não é permanente. A primeira característica desse sistema, portanto, é que sua evolução é muito lenta. A segunda é que o equilíbrio não é único, há vários possíveis equilíbrios; dependendo de onde se larga a bolinha, ela vai chegar a um equilíbrio ou outro. São as características fundamentais desses sistemas chamados comumente de sistemas complexos.

Isto *(mostra um desenho de capa da revista* Ciência *Hoje)* é um exemplo típico da física de um sistema desse tipo. É o chamado vidro de spin, um sistema magnético. O exemplo mais simples de um sistema magnético é o ferromagnético. Expondo de forma bastante intuitiva, ele funciona da seguinte maneira: cada átomo de um cristal magnético funciona como se fosse um minúsculo ímã. Então uma bússola com uma agulha minúscula pode estar apontando para cima ou para baixo. Num sistema ferromagnético, a interação entre um átomo, que tem um cone pequeno, e o vizinho, que tem outro conezinho, é tal que esses átomos preferem fazer os cones apontarem na mesma direção. Os dois têm de estar para cima ou para baixo. Isso obviamente depende também da temperatura. Se você tiver um sistema muito quente, os conezinhos vão apontar em diversas direções, para baixo e para cima, vira bagunça. Se esfria, eles tendem a apontar todos, ou a maioria, para um mesmo lado. A união das magnetizações de cada um desses imãzinhos dá a magnetização do sistema que estamos unindo. Isto é um sistema magnético.

Existe um outro sistema mais sutil, o antiferromagnético. A única diferença com o anterior é que dois átomos vizinhos têm uma interação energética tal que é mais conveniente energeticamente que se um aponte para cima, o do lado aponte para baixo. Então numa rede desse tipo haveria um átomo apontando para cima e outro, do lado, apontando para baixo e assim por diante, o que dá essa rede quadrada. É um sistema antiferromagnético.

O vidro de spin é uma mistura desordenada que representa um átomo e outro átomo, cada um visível no seu sítio. Há a agulha de bússola deste átomo. A ligação representa a ligação antiferromagnética. Pela vontade desses dois indivíduos, eles tenderão a ficar assim, um apontando para cima e outro apontando para baixo. Em outra ilustração, também de uma ligação antiferromagnética, dois átomos apontam na mesma direção porque a temperatura não é muito baixa.

Neste tipo de ligação amarela, dá-se o contrário, a ligação é ferromagnética. Então, se eu pegar um quadradinho, um átomo mais outro, mais um com outro, os quatro formam uma ligação antiferromagnética; ali uma ferromagnética, aqui uma antiferromagnética. Se o imãzinho aponta para cima e a ligação é antiferromagnética, então o outro deveria estar apontando para baixo, energeticamente seria mais conveniente. Como a outra ligação é ferromagnética, ambos apontam na mesma direção. Então o único que está errado é este sujeito aqui *(mostra)*. Se ele inverter, todas as quatro ligações vão ficar

satisfeitas; é a situação de mais baixa energia possível. No entanto, se você pegar este quadradinho aqui, que tem três ligações ferromagnéticas e uma antiferromagnética, não dá para esta se encaixar. Isso porque, se essas três ligações são ferromagnéticas e apontam para cima, esta não será satisfeita porque aponta em direções diferentes. Se você muda a direção de um átomo, outra ligação não fica satisfeita.

Isso significa o seguinte: ao contrário de um sistema ferromagnético, se todas as ligações aí fossem amarelas, não tivesse nenhum desses cinzas, e eu baixasse a temperatura do sistema continuamente, quando a temperatura fosse suficientemente baixa, todos os conezinhos vermelhos estariam apontando para cima e eu satisfaria todas as ligações. Se esse sistema fosse antiferromagnético, ou seja, se só houvesse ligações cinzas e nenhuma amarela, os conezinhos vermelhos também iam ficar um para cima e os vizinhos para baixo, cada um que aponta para baixo acertado com quatro vizinhos que apontam para cima e assim por diante, todas as ligações satisfeitas. Nesse caso aqui, com uma mistura desordenada de ligações amarelas e cinzas, a primeira coisa é que você não consegue satisfazer todas as ligações. Significa o seguinte: a energia desse sistema, por mais que se baixe a temperatura, nunca vai chegar ao mínimo que você gostaria para satisfazer todas as ligações. Você vai chegar a um mínimo de energia, mas um mínimo metastável.

Nesses exemplos, vê-se que uma delas vai ter que se sacrificar, não ficar satisfeita, para as outras três poderem ficar. Agora, qual das quatro vai se sacrificar em favor das outras três? Pode ser qualquer uma. Significa que você chega a um mínimo de energia, que não é o menor possível imaginável, é um estado metastável e, além disso, não é o único; há várias possibilidades distintas de se chegar a esse nível, que não é o menor de todos. Portanto, se fizermos um gráfico da energia em função do estado desse sistema, vai dar um relevo montanhoso. Este sistema se comporta dessa maneira.

Existem sistemas reais que são assim, não estou falando de sistemas teóricos. Há vários sistemas reais, físicos, que funcionam desse jeito. O que os físicos têm estudado experimentalmente nesses sistemas são várias propriedades muito inusitadas. A mais interessante delas, que tem a ver com o que vou falar, é o que chamam de remanência. O sistema insiste em ficar na situação que você deixou e não sai de lá. Então você prepara um sistema numa dada situação, por exemplo pega um sistema ferromagnético, esquenta, bota no forno, ele fica ferro em brasa. Ele estava imantado e vai perder a imantação,

as setinhas vão pular para lá e para cá. Aí tira do forno e deixa esfriar. Quando voltar à temperatura normal, o sistema vai estar imantado de novo. Esquentando e esfriando esse sistema, ocorre o fenômeno da remanência: ele demora muito tempo para voltar a seu estado normal, de antes de ser colocado no forno. Além disso, se você botar no forno, tirar e esperar, ele irá para outra situação, não aquela original. Isso corresponde a mínimos distintos daqueles gráficos. Não só sistemas físicos funcionam assim, mas vários fenômenos da natureza. Um deles é a evolução. Todo sistema que evolui no tempo, com conflitos, funciona assim. O exemplo mais interessante é a evolução biológica, descrita por Darwin. Outro é a evolução da tecnologia.

Outra figura que acho fantástica e que também tirei da *Scientific American* é de um economista chamado Brian Arthur. O que vocês estão vendo aí é uma foto do relógio da catedral de Florença, do Duomo de Florença. Evidentemente é um relógio que não funciona mais, data de 1443. Vejam que esse relógio, em vez de 1 a 12 horas, indica de 1 a 24. Os ponteiros giram no sentido contrário ao dos relógios atuais, há 550 anos havia relógios desse tipo, hoje não existem mais. A evolução tecnológica dos relógios escolheu uma situação diferente, mas poderia ter sido essa. Quem sabe a gente conseguisse entrar na máquina do tempo, voltasse a essa época e acontecesse algum acidente. Imaginem o primeiro sujeito que resolveu fazer um relógio com dois ponteiros girando no sentido que a gente conhece. Imaginem que essa pessoa, que eu não sei quem foi, pelos idos de 1200-1300, fosse comida por um javali e não pudesse inventar esse relógio; talvez tivéssemos no pulso um relógio como o de Florença. Isso significa que esses sistemas são extremamente suscetíveis a mudanças pequenas no início da sua história. Acidentes contingenciais podem desviar o sistema de forma tal que ele pode atingir um estado diferente do que teria se o acidente não tivesse ocorrido. É diferente, portanto, dos sistemas ditos regulares, como o do pêndulo de um relógio. O que significa *regular*? Significa que se você esbarrar num relógio, o pêndulo vai dar um balanço e começar a oscilar de forma diferente do normal, mas daí a alguns minutos voltará ao normal. Se você chegar dois minutos depois, não terá condições de saber se houve ou não aquele esbarrão. Tenha havido ou não o esbarrão, depois de dois minutos a situação já voltou ao normal. Isto é um sistema regular e os sistemas que evoluem no tempo nem sempre são assim.

O caso do teclado da máquina de escrever é interessante. Todo mundo que teve um teclado, que acessou alguma coisa no computador, já viu como

esses teclados são mal inventados. Por exemplo, a letra *a*, praticamente usada em todas as línguas, fica na altura do dedo mindinho esquerdo, que é o dedo mais fraco. A razão disso é que no final do século passado ou início deste século, a Remington, firma que fazia máquinas de escrever, estava com muito prejuízo porque os datilógrafos batiam muito rápido e quebravam as máquinas, para as quais a Remington dava garantia. Contrataram uma pessoa para resolver o problema e a solução encontrada foi esse teclado, que dura até hoje. Foi um acidente que ocorreu no passado remoto e que gerou uma situação duradoura. Estamos diante de um exemplo histórico, que funciona dessa forma. As pessoas estavam datilografando muito rápido e o novo teclado obrigou-as a ficar nesse mínimo. Só que, uma vez que se ficou nesse mínimo, não se consegue sair daí. Só sairemos daqui a séculos, quando inventarem uma coisa que não será nem mais teclado. Então a evolução fica presa nesses mínimos e demora a sair do buraco.

Vamos tentar formalizar um pouco esses conceitos do ponto de vista da matemática. Há aqui umas equações. São duas formulações equivalentes da mesma coisa, tanto faz uma ou outra. Vamos pegar a mais fácil. Há um valor x que varia no tempo, da seguinte maneira: primeiro, o tempo é discreto, como um relógio digital e não de ponteiros, um relógio que marca cada segundo com numerozinhos. O tempo é contado segundo por segundo a partir de zero hora. E esse x é um número que no instante zero tem um valor, no instante 1 tem outro, no 2 outro e vai variando. A cada instante tem um valor diferente. Uma regra diz quanto é o valor seguinte a partir do atual, isto é, permite prever quanto vai ser o valor daqui a 1 segundo conhecendo-se o valor de agora. Então a regra é uma função qualquer. Basta que você conheça o valor inicial, o x no instante zero, e com essa função você calcula x no instante 1. Com o valor de x no instante 1, você o calcula no instante 2 e assim por diante, conseguindo assim prever o futuro desse sistema. É um sistema previsível. É o que os matemáticos chamam de sistemas determinísticos: conhecido o valor inicial, o futuro está completamente determinado pelo cálculo da função f. Esta equação aqui é simplesmente a versão contínua disso: uma é como se o relógio fosse digital e outra como o relógio de ponteiro, contínuo, mas são a mesma coisa.

Eu poderia raciocinar da seguinte maneira: dado um certo x_0, posso calcular os valores do x para cada tempo. Tenho um gráfico com um eixo do tempo na horizontal e o eixo dos x na vertical, sei quanto vale o x para cada

tempo. Se for um resultado discreto, em vez de uma linha contínua teremos valores correspondentes a cada instante, ou seja, pontos em vez de uma linha contínua. Digamos que 0, 1, 2, 3 estão tão apertadinhos que o resultado é uma linha contínua. Dada essa função f, conhecido o valor inicial, essa função permite achar x_1, x_2, x_3, toda a trajetória. Você prevê o futuro do sistema dado o estado inicial. Mas se o estado inicial for outro, a trajetória x_0', x_1', x_2', x_3', vai ser outra. Podemos perguntar o seguinte: dadas as duas condições iniciais, ligeiramente afastadas, como vemos na figura, o que vai acontecer com a diferença entre essas duas situações, depois de terem decorrido t segundos?

Nesses exemplos, o Δt cresceu. Eu poderia ter inventado uma outra situação em que esse Δx tivesse diminuido. O que me interessa é saber a forma matemática, não do x em função do anterior, mas do Δx em função do Δx inicial. Vamos supor que a forma matemática seja essa aqui (mostra) em verde. Então, $\Delta x_t = \Delta x_0 \times 10^{\text{constante x tempo}}$ em que 10 também é uma constante, poderia alternativamente ser a base do logarítmo neperiano, não importa. Se essa constante λ for positiva, o que vai acontecer? Digamos, só para simplificar, que λ é 1, então teremos $10^{1 \times t}$.

Quando t é 1, significa que o Δx de 1 vai ser $\Delta x_0 \times 10$, portanto o Δx no instante 1 é 10 vezes maior que o Δx inicial. No instante 2, vai ser 100 vezes maior (é 10^2), no instante 3 mil vezes maior e assim por diante. Isso significa que esse Δx ia crescer enormemente. A cada segundo ele é multiplicado por 10. Isso vai acontecer para qualquer λ positivo. Se λ for negativo, é o contrário. Imaginem agora que λ é -1. Nesse caso vai dar 10^{-t}. Por exemplo, se for 1, vai ficar 10^{-1}, um décimo. Significa portanto que no instante 1 o Δx é 10 vezes menor que o inicial, no instante 2 vai ser 100 vezes menor, no 3 mil vezes menor e assim por diante.

Se esse λ for positivo, os matemáticos dizem que esses sistemas são caóticos. Esse λ é chamado de expoente de Liapunov, um matemático russo do começo do século. Se esse λ for negatrivo, o sistema é regular - é o caso do pêndulo. Imaginem que o pêndulo estivesse oscilando normalmente, seria assim (mostra). Se houver uma perturbação no instante zero, o pêndulo vai sair da situação em que se encontra e vir para essa. Durante um tempo ele vai seguir uma trajetória diferente, mas depois vai voltar à trajetória normal novamente. Significa que a trajetória normal seria perturbada só no início. Depois de algum tempo as trajetórias iriam se juntar, coincidindo de novo.

Isso seria o caso do λ negativo: o Δx diminui, fica 10 vezes menor, 100 vezes menor, 1.000 vezes menor. Então, o sistema regular é aquele que você perturba e ele leva um certo tempo para voltar à situação normal. O sistema caótico você perturba e depois de algum tempo ele vai seguir uma trajetória completamente diferente da original.

Para sentirmos isso melhor, um pouco mais intuitivamente, fiz o desenho de uma função exponencial daquele tipo. Peguei exatamente aquele exemplo: 10^t. Então aqui está o t = 1, 2, 3 e assim por diante. Aí fui botando o valor do Δx, 10^t. Por exemplo, t = 1, aqui temos 10^1, esse ponto está na altura 10. Parece que está no zero, mas não está. São 10 unidades acima do zero, só que nessa escala você não consegue distinguir do zero. Esse ponto aqui está 100 unidades acima do zero, este outro a 1.000 unidades, este a 10.000, esse a 100.000. Só aqui é que você consegue perceber que o ponto não está grudado no zero. O sistema só tem graça a partir desse ponto, daqui para trás não se consegue distinguir, parece que está tudo no zero. Então a perturbação feita no instante inicial, nessa escala, até aqui não conseguiu ser visível. Significa que a vida desse sistema é finita, começa nesse ponto e acaba aqui.

Se eu quiser verificar a distinção entre esses valores, há um truque, um truque sujo, que consiste em mudar a escala dos números. Do 0 até 2.500.000 há 2.500.000 pontinhos, números inteiros. Aqui tem 2.500.000, aqui outros 2.500.000, aqui também, então isso é uma escala normal. Os valores numéricos estão colocados a espaços iguais entre si.

Aqui, não. Olhem, de 10 a 100 tem 90 pontos, no intervalinho; de 100 a 1.000, são 900 pontos. Os pontos estão muito mais apertados. Aqui tem 9.000, aqui 90.000, aqui 900.000 e assim por diante. Então estou fazendo um truque sujo, criando uma escala em que os pontos estão cada vez mais apertados. Aqui tem muito mais pontos do que lá. São dez vezes mais pontos do que o começo do intervalo. Aqui tem dez vezes mais do que o seguinte e assim por diante. Depois de aplicado esse truque sujo, aquele gráfico vira essa reta. É a vantagem desse truque: você fica com uma reta que é muito mais interessante que aquela curva lá de cima. Mas é um truque matemático, nada mais.

Reparem que aqui o tal expoente Liapunov, esse 10^t, é a mesma coisa que aquele número e elevado a 2,3 x t. Então o expoente Liapunov é de 2,3 e é positivo. É um sistema caótico. Se pegar Δx, que é a distância entre duas trajetórias originalmente muito próximas, essa distância vai aumentar e explodir

com rapidez exponencial. Se o seu sistema segue a trajetória normal e num dado instante você o perturba um pouquinho, por menor que seja a perturbação, daí a algum tempo a trajetória já se desviou completamente; em vez de voltar à original, se desvia, vai embora, o que significa que o sistema perde a memória da trajetória original.

Obviamente um sistema regular teria essa forma aqui (mostra). Seria a mesma coisa, só que com sinal menos (-). Então o gráfico seria assim: se isso aqui fosse um Δx, ele começa enorme, fez uma perturbação enorme no pêndulo, mas depois de certo tempo finito, a perturbação acabou, o sistema volta ao normal. Também posso usar aqui o mesmo truque sujo daquela escala distorcida, chamada escala logarítmica, mas o gráfico vai ficar assim.

Vou dar um exemplo desses dois casos através de uma pequena função $x_{t=1} = A\, x_t\, (1-x_t)$. É um exemplo concreto de variação daquele tipo. Está aqui o x no instante t, acompanhando a cor vermelha, e chega a esse x no instante T. Esse número A *é* um parâmetro fixo que você escolhe. Pode-se calcular qual é o expoente de Liapunov, aquele λ lá. Há maneiras de calcular isso. Já botei aqui o resultado, quanto vale aquele expoente de Liapunov, que depende do A. Se você colocar A = 0,5 (o parâmetro fixo escolhido), aí o expoente de Liapunov vai ser - 0,9. Não importa quanto é, o que importa é que é negativo. Isso significa que se A = 0,5 essa funçãozinha vermelha é igual ao pêndulo. Você a perturba e ela volta ao original. No entanto, há alguns valores de A em que o expoente de Liapunov fica positivo. Aqui, perto de 4, por exemplo. Esse gráfico tem uma ampliação na região A = 3 e A = 4. Se você pegar A = 4, o expoente de Liapunov é positivo. Então, nessa mesma função, se você botar A = 4, ela fica caótica. Dependendo do A, a mesma função pode ser regular ou caótica.

Para entender como essa coisa funciona, programei minha calculadora para fazer essa conta. Comecei com o valor x_0, o valor inicial. A gente já sabe qual é o A e aí, cada vez que eu aperto o *enter* na minha calculadora, ela dá o x seguinte. A partir do valor inicial de x, o $x_0 = ¼$, ou seja, 0,25. Como sou torcedor do Flamengo, botei as cores preto e vermelho. No código de cores o preto representa aqueles valores que estão variando em relação ao anterior e o vermelho o que não vai variar mais, que já convergiu. Fui copiando isso na minha calculadora, comecei com 0,25 e ela fez aquela conta que eu programei. O resultado é esse aqui (mostra). Mudou isso aqui, mudou isso, mas esse aqui não muda mais, vai ser zero eternamente. Preto é aquele que ainda está mudando. A região preta indica a duração da perturbação. A situação normal

desse sistema é x = 0. No instante zero eu perturbei o sistema, eu tinha um x que era igual a zero e forcei a ser 0,25. Esperei um certo tempo para voltar a zero. O tempo que leva para voltar ao normal é esse tempo aqui. É compatível com aquilo que a gente tinha visto aqui. Isso foi para esse A = 0,5 e o expoente de Liapunov é negativo. Então, é um sistema regular, que volta ao normal depois de um certo tempo.

Eu também poderia pegar um A = 1,25 e também vai ter um expoente de Liapunov negativo. O sistema volta ao normal, só que o normal não é mais zero, agora o normal é 1/3. Não é difícil perceber isso. Pegue-se essa fórmula em vermelho, A = 1,5 e x = 1/3. Ora, 1 - 1/3 = 2/3, que vezes 1/3 dá 4/3. Multiplique-se por 1,5, que é 3/2, ou seja, 3/2 x 4/3 = 1/3. Se eu colocar x = 1/3 aqui, vai sair x = 1/3 aqui. Então, se algum dia chegar a ser 1/3, não vai deixar de ser nunca mais. É o que está acontecendo aqui. Comecei no mesmo valor 0,25 e depois foi evoluindo, evoluindo, até que chegou a uma situação normal da qual não vai sair nunca mais. É a mesma situação, a de um sistema regular.

Vamos ver agora como seria um sistema caótico. Vamos pegar para um sistema caótico, por exemplo, A = 4 e ver o que acontece. Vou escolher o x = 0,75, ou seja, ¾. Bem, 1 - ¾ = ¼ e ¼ x ¾ = 3/16, que vezes A = 4 dá ¾. Significa que se eu botar A = 4 e começar com x = 0,75, ia continuar eternamente igual a 0,75 e não teria graça nenhuma. Para não ser assim, não comecei com 0,75 mas com 0,7501. Inseri uma pequena perturbação no sistema. Em vez do valor que ele gostaria que fosse 0,75, fiz uma perturbação bem pequena. O que aconteceu? Em vez de convergir para o vermelho, o sistema desconvergiu, o vermelho é que sumiu em vez do preto.

Isso significa que depois de algum tempo, dez, onze iterações, o sistema assumiu valores que já não têm mais nenhuma correlação com o valor inicial. Então o sistema é caótico, não tem memória. A memória durou dez iterações, quando ele ainda se lembrava que tinha começado perto de 0,75, mas depois não lembra mais e não converge. Nenhum desses números vai repetir qualquer dos números anteriores. A cada vez vai ser um número novo, diferente de todos os anteriores, ao contrário daqui, que não sai mais quando chega a zero. Então, são sistemas bem distintos. Mas têm uma semelhança bastante grande. Têm uma diferença enorme e uma semelhança enorme também. A diferença é que um converge para uma coisa simples, zero ou 1/3, enquanto o outro não converge, chega a uma situação de loucura total. A semelhança é

que ambos chegam onde devem chegar depois de dez, onze iterações, em um tempo finito. Então são muito diferentes e ao mesmo tempo muito parecidos. A situação final é que é muito diferente.

Nem caótico nem regular

Quando mostrei essa função, simplesmente supus que a dependência matemática desse Δx em relação ao Δx inicial, à medida que o tempo passa, fosse uma coisa. Na verdade poderia ter outros termos que ignorei, que seriam menores do que esses. Mas, por exemplo, se o λ fosse positivo, teríamos 10 elevado a um número positivo, o que explodiria para números enormes tão rapidamente que esses outros termos poderiam se anular. Imaginem agora que o λ seja zero e isso aqui daria 10 elevado a zero, que é 1. Significa que esse termo vai fazer com que o Δx não mude. Então, para $\lambda = 0$, se eu parar só nesse termo, esse Δx vai ser o mesmo, as trajetórias serão sempre paralelas. E os termos que ignorei quando λ não era zero não posso mais ignorar, tenho que levá-los em conta. O que vai acontecer quando λ não for nem positivo (sistema caótico) nem negativo (sistema regular), mas zero? É um sistema nem caótico nem regular. Como ele é?

É esse que a gente chama de sistema complexo. É esse que eu estou interessado em estudar aqui. Tive que abandonar a situação rubro-nega para botar outra cor. Botei verde. Porque tive de botar outra cor? Pelo seguinte: quando $A = 1$, o expoente de Liapunov é 0 e eu programei a maquininha para fazer a conta com $A = 1$. Comecei com o mesmo valor inicial, vamos comparar. Em princípio ele tem de chegar a zero, como nesse outro caso. Vamos ver se chega. Realmente está parecendo que vai chegar. Aqui já convergiu para 0, só que está demorando mais. Depois de mil iterações, já tem três zeros; depois de 10.000, já tem quatro zeros; depois de 100 mil iterações, já tem cinco zeros mas ainda não convergiu. O preto indica aqui os dígitos do número atual que diferem do anterior. Vermelho é aquele que não mudou mais, já convergiu para o que tem que ser. Então o preto e o vermelho continuam significando a mesma coisa, o verde é aquele que, se olharmos só para o anterior, pensamos que convergiu, mas não convergiu; é só esperar mais tempo que veremos que não. Por exemplo, aqui você pensa que esse 9 convergiu, porque é igual ao anterior. Mas para ter segurança, você faz mais iterações e vê que não convergiu. Aqui é 99 e 98, agora não mudou mais, fica 98. Mas ainda vai mudar,

vai chegar a zero. Por exemplo, esse 9, depois de mil a 10 mil iterações, já virou zero. Aqui é que convergiu. Ali você pensou que tinha convergido, mas ainda não tinha. Então esse verde é aquele sujeito que engana a gente. Você acha que já convergiu, olhando só para o anterior, mas teria que olhar por um tempo muito grande, para muitas iterações, para perceber que ele realmente ainda não convergiu.

O problema é o seguinte: a quantidade de dígitos verdes aqui é 1, aqui são 2, aqui 3, aqui 4 e vai aumentando. Reparem que agora não posso mais fazer na calculadora de bolso, tenho de fazer no computador. Demoraria mil horas para chegar a 1 milhão. Eu não fiz, não dava para esperar, por isso parei aqui. Mas se não tivesse parado, se tivesse feito isso até 1 milhão, esse 9 que teria virado 0 daqui por diante teria 5 verdes em vez de 4. A situação ficou cada vez pior, penso que está chegando perto de onde tem que chegar e não chega nunca. Esse sistema é eterno.

Essa é a característica dos sistemas que têm o expoente de Liapunov igual a zero. São chamados de sistemas complexos. São eternos porque o tempo que se tem de esperar para chegar onde tem de chegar é infinito, ou seja, ele nunca chega onde tem de chegar.

Também posso interpretar a mesma coisa da seguinte maneira: num sistema regular, que está lá na trajetória normal, e de repente você insere um acidente, esbarra nele ou o excita um pouquinho, leva-se um certo tempo para voltar ao normal. Um sistema caótico é aquele que está lá na trajetória normal dele, você produz um acidente, perturba-o um pouquinho e, em vez de voltar ao normal, ele parte para outra coisa completamente diferente, passa a ser outra coisa. Num sistema em que $\lambda = 0$, você pode perturbá-lo num certo ponto e, por menor ou maior que seja a perturbação, jamais ela deixará de estar presente no sistema. Qualquer acidente circunstancial que ocorra com o sistema permanece eternamente no resto da história dele. No caótico esse acidente é esquecido porque o sistema toma outro rumo.

Tem uma maneira de se ver isso. Pegarei aquela mesma equação de novo e vou escrevê-la assim:

$$x_{t+1} - x_t = A\, x_t\, (1 - x_t) - x_t = -[A - 1]x_t - A\, x_t^2$$

Coloquei - x(t) do lado esquerdo e, em compensação, do lado direito também.

Tomo por exemplo $A < 1$. Neste caso a gente vai para 0. Significa que quando o tempo é muito grande, o x já está quase em 0. Então, nessa diferen-

ça: x (posterior) - x (anterior), como ambos são muito perto de 0, a diferença entre eles é mais perto ainda de 0. Vou então chamar isso de derivada do x em relação ao tempo, que é como varia esse x em relação ao tempo. Temos que resolver essa equação diferencial.

Como para um t muito grande o x fica muito pequeno, o x^2 vai ficar menor ainda. A junção desses termos torna um deles desprezível e posso ignorá-lo, esquecê-lo. Resolvo essa equação e a solução é esta: uma constante elevada a (- λt). O λ é o expoente de Liapunov, tem que estar aqui. λ é igual -[A-1].

Agora faço a mesma coisa com A = 1 e não <1. Quando A = 1, não se pode mais esquecer a presenca desse termo, porque isso aqui é zero. Então não posso ignorar. Resolvendo essa nova equação diferencial, a solução não é mais uma constante elevada a t, mas t elevado a uma constante. Não é uma exponencial, é uma lei de potência. Nesse caso, o expoente é -1, mas às vezes não é, às vezes é um outro valor.

Vamos ver então como é a matemática dessas funções, essas leis de potência. Eu teria agora esta função:

$\Delta x = \Delta x_1 \, . \, t^{\text{constante}}$

Reparem que agora não é mais 10 elevado a t, é t elevado a uma constante. Aí temos outro gráfico. Para comparar, botei em pontilhado o gráfico anterior da exponencial. Escolhi o expoente -2,3, de modo que ambos começam iguais, no mesmo ponto, e descem com a mesma inclinação. Esta região (mostra) pode ser ampliada à vontade, não se vê diferença. Deixando o tempo passar, veremos que a exponencial anterior, de um sistema regular, vai dar essa linha pontilhada. E a lei de potência vai dar essa coisa. Então, é razoavelmente diferente. Reparem que naquele caso, depois de três, quatro segundos, já não se consegue distinguir de zero, já chegou a zero. Agora não, aqui você ainda consegue perceber que não é zero. Para perceber isso melhor, pode-se usar aquele truque sujo da escala logarítmica. Só que agora vou usar o truque duas vezes, botando a escala logarítmica aqui e aqui também. E vemos esses dois gráficos: o pontilhado é o anterior, a exponencial que eu acabei de botar, e esse é o de agora, dessa função. Se botar a escala logarítmica aqui, esses dois lados ficam assim: a exponencial é essa aqui e aquela lei de potência é esta reta. Mudou completamente a escala dos tempos. Antes os tempos iam até 7, agora vão até 1.000. Então, nesse sistema, os tempos são outros, muito mais lentos do que a exponencial.

Tem outro exercício que se pode fazer. Pego aquela função e até troco a letra; antes era Δx, nessa botei n, que é o número de núcleos numa amostra radioativa; n_0 é o número inicial de núcleos radioativos e está decaindo, o que indica que a radioatividade está diminuindo. Então, n é o número no instante t e n_0 no instante inicial. Um exercício trivial é calcular, por exemplo, o que os físicos chamam de tempo de vida média da amostra. Aqui temos 1 milhão de núcleos ainda radioativos no instante 1. No instante 0 havia n_0 e, se t é zero, isso aqui (mostra o gráfico) dá 10. Logo, n_0 é 10 milhões, tanto que quando o t foi 1 deu 1 milhão só. No t = 0, então, teríamos 10 milhões. Havia portanto 10 milhões de núcleos radioativos inicialmente, no instante 0, e um segundo depois já eram só 1 milhão. Significa que 9 milhões decaíram, ou seja, duraram 1 segundo ou menos. Depois disso, entre 1 e 2, decai de 1 milhão para 100 mil, o que significa que decaíram 900 mil em 2 segundos. De 100 mil para 10, temos 90 mil que duraram até 3 segundos. Tira-se então a média: quantos duraram 1 segundo, quantos duraram 2 segundos, quantos duraram 3 segundos, soma-se tudo e divide-se pelo número deles. Vai dar uma média que é o inverso desse número aqui, ½,3. Esse é o resultado. O 2,3 é aquele λ, o expoente de Liapunov. Se ele fosse zero, 1 sobre ele daria infinito. Significa que se você fizer o cálculo da vida média de uma amostra radioativa que funcionasse segundo essa função, não exponencial, ia dar infinita. Se existisse um material radioativo que decaísse dessa forma, não estaríamos aqui para contar a história. Porque não acaba nunca. Então esse sistema tem vida infinita.

Eis um desafio matemático. Existem sistemas que são chamados markovianos, em que a situação atual depende exclusivamente da anterior. Imaginemos uma lâmina na qual se estão criando bactérias. Os genes dessas bactérias não são todos iguais, há mutações. Imaginemos que chamamos de x não o número, mas a distribuição dos genes nessa colônia de bactérias. Então esse x vai ser um vetor que contém quantos genes existem do tipo tal, quantos de outro tipo, enfim quantos do tipo A, dos tipos B, C, D, ou seja, tudo que está dentro daquele x. É um sistema markoviano porque cada vez que as bactérias se reproduzem, o patrimônio genético, a distribuição dos genes da segunda geração, depende de como eram os genes do pai. Então é um sistema markoviano. A única diferença é que esse x agora não é mais um número, mas uma distribuição, um gráfico. No eixo horizontal colocamos gene A, gene B, gene C, gene D, todos os tipos de genes, e no eixo vertical

o número de vezes que cada tipo aparece, em quantos indivíduos ele aparece. Aí vai dar uma curva que em geral muda de geração para geração, o que define o sistema como markoviano.

Mas vamos voltar para um sistema mais simples, em que você entra com um valor x inicial que vai para um valor x_1, x_2, x_3 e assim por diante. Se você entrar com um valor inicial x_0', ele vai para uma outra trajetória. Os pontinhos azuis (mostra) representam um sistema markoviano, cada um deles depende exclusivamente do anterior. A pergunta é: essas diferenças verdes também são assim? Quer dizer, será que essas aqui dependem só dessa? A próxima só depende da anterior? Será que se consegue escrever uma equação matemática que diga quanto vale Δx_t como função de Δx_{t-1}, ou que diga quanto vale Δx_{t+1} como função de Δx_t? Essa pergunta tem duas respostas, dependendo de como seja o sistema. A primeira é: sim, se o sistema for caótico ou regular, ou seja, se a dependência de Δx ou Δx_0 for desta forma, o λ positivo ou negativo, então a resposta é sim e aqui Δ^x é essa conta em azul.

Segundo essa fórmula $\Delta x_{t+1}, = \Delta x_0$ e $\lambda^{(t+1}$. Faz-se essa conta aí. Pode-se pegar esse $^{\lambda vezes1}$, botar em evidência e fica assim: aqui é o Δx no instante t; portanto Δx no instante t+1 é o Δx no instante t vezes uma constante, que pode ser >1 ou <1, dependendo do λ. O λ pode ser positivo ou negativo. O sistema pode ser regular e então o λ é negativo, de modo que o Δx posterior é menor que o anterior. Se o λ for positivo, o Δx posterior é maior que o anterior, mas de qualquer maneira é simplesmente um fator multiplicando anterior. Seja um sistema regular ou caótico, tanto faz, a resposta é: não só os azuis são markovianos, cada um dependendo só do anterior, mas o mesmo acontece com os verdinhos também. No entanto, se a dependência do Δx com t for uma lei de potência, aqui em vermelho, dessa fórmula, $\alpha = -1$ por exemplo, aí a resposta é **não**. É só fazer essa conta: $\Delta x_{t+1} = (x_1^{1/2} + x_t^{1/2})$.

Então vou fazer o seguinte: coloco na fórmula t + 1 no lugar do t . Vou pegar o t e expressá-lo como função de $\Delta x_t / \Delta x_t^{\alpha}$, o que é o mesmo que $\Delta x_t / \Delta x_1$, que é o t^{α}. Se eu elevo a $1/\alpha$, isso aqui é o t. Portanto o Δx no instante t+1 depende do Δx no instante anterior, mas depende também do primeiro deles. Significa que nesse esqueminha o próximo verdinho depende do anterior e do primeiro. Significa que ele tem memória desde a mais tenra idade desse sistema. Trata-se de um sistema complexo, que tem memória de longo prazo.

A esperta natureza

Outra coisa que me fascina muito foi tirada de um livro de divulgação do geneticista francês Albert Jacquard. Quem não é racista vai adorar isso. É um elogio ao não-racismo. Ele mostra cientificamente, sob forma de divulgação, porque o racismo é inconsistente. Esse livro é fantástico, mas peguei apenas um trecho que vou tentar traduzir. Existem certas doenças chamadas doenças recessivas. Há vários exemplos delas, como a fenilcetonúria, uma muito famosa é a anemia falciforme. Como o autor é francês, ele tem aqui dados da população francesa. Fala de uma doença genética, a gente não sabe qual é, mas a pessoa tem um gene chamado p quando o gene normal é n. Como somos animais de reprodução sexuada, temos dois alelos do mesmo gene. O tipo sanguíneo pode ser A ou B, mas na verdade temos sempre dois, um herdado da mãe e outro do pai. Essa criança herdou o gene defeituoso do pai e o defeituoso da mãe também. E morre aos dois anos de idade, portanto sem deixar prole. Já o sujeito que herda o gene normal da mãe e o gene normal do pai não tem a doença. Ela é chamada recessiva exatamante porque quando a pessoa herda o gene normal da mãe e o gene defeituoso do pai, também não tem a doença, não sofre problema nenhum. Só tem problema aquele que herdou os genes defeituosos dos dois. Albert Jacquard diz que a freqüência do gene p na França atualmente é de 0,95%, menos de 1%. Ou seja, 1 em 100 ou 10^{-2}. É a probabilidade de se ter esse gene defeituoso herdado de um dos genitores. A probabilidade de ter o gene defeituoso do outro genitor é a mesma. Então a probabilidade de se ter os dois juntos é de 1 em 10.000. Significa que o número de pessoas que nascem nessa situação é de 1 em cada 10.000 na França.

Jacquard pergunta o que podemos esperar. A natureza vai matar as pessoas que nascem assim, elas não vão ter filhos, a própria seleção natural vai fazer com que não passem adiante esses genes. Então é de se esperar que esses genes, daqui a alguma gerações, acabem e não tenhamos mais essa doença. Ele diz que hoje a freqüência desse gene é 0,95% e pergunta quanto tempo leva para chegar a 0,90%, portanto vai ser uma melhora muito pequenina e vai demorar três gerações para isso acontecer, ou seja, um século e meio. Para baixar o índice a 0,5% vai levar 95 gerações, ou seja, 20 séculos, dois mil anos. Quando é que vai acabar? Bem, aí eu resolví fazer a conta.

O gene defeituoso tem uma presença $x = 0{,}95\%$. Logo, o normal tem uma presença $1-x = 99{,}05\%$. Na população atual, há indivíduos com os dois

genes defeituosos, que representam a probabilidade x^2, ou seja, 1 em cada 10.000 indivíduos na França. Esses morrem. As pessoas com os dois genes normais apresentam uma freqüência de $(1 - x)^2$. E há os que têm um gene defeituoso só, que podem ser pn ou np. Esses dois últimos grupos são saudáveis, o outro morre. Vamos ver como vai ser na geração seguinte. Vamos casar os tipos segundo as freqüências e veremos como serão os filhos deles. Se o casal for com o pai e a mãe sem gene defeituoso, obviamente os filhos vão herdar um dos n do pai e um dos n da mãe. Então os filhos não terão nenhuma chance de ser doentes. Calcula-se uma freqüência de pessoas desse tipo para a geração seguinte. Já o casal pode ter um gene defeituoso e dois tipos de filhos: com genes nn ou np. Surgem duas novas freqüências. Mas pode ser que o pai e a mãe tenham ambos um gene defeituoso; esse casal pode ter filho nn, np ou pp. Temos três novas freqüências. Uns filhos morrem, os outros vivem.

Quero calcular x' , que é a freqüência do gene p na geração dos filhos, sabendo que x é a freqüência do gene p na geração dos pais. Quero calcular o x' na segunda geração em função do x na geração anterior. Portanto quero saber o x_{t+1} em função do x_t. A melhor maneira de fazer isso é a seguinte: na geração dos pais, os que tinham esse genótipo apresentavam freqüência x^2; então na geração dos filhos os indivíduos com esse genótipo vão corresponder a $(x')^2$. A freqüência x' do gene p na geração dos filhos é igual à frequência x do gene p na geração dos pais dividida por 1+x. Como esse x é muito pequeno, pode-se aproximar, como já vimos, para a fórmula $x_{t+1} = x_t^{(1-xt)}$ que corresponde a A = 1, ou seja, expoente de Liapunov igual a zero. Isso significa que a natureza escolheu o sistema complexo para a genética. E nos perguntamos por quê. Com todos os λ possíveis, negativos, positivos, por que a natureza vai escolher exatamente um $\lambda = 0$?

A razão é muito simples. Reparem que eu tomei cuidado ao dizer que esse gene está relacionado àquela doença, eu disse apenas "gene defeituoso". Vou fazer uma pergunta capciosa: é bom ou ruim que esse gene p, responsável por aquela doença, esteja presente na natureza? A típica resposta é de que é ruim que as pessoas o tenham. Na anemia falciforme é exatamente a mesma coisa, os números diferem mas é exatamente o mesmo no que diz respeito à família. Na anemia falciforme, os indivíduos homozigotos morrem. Mas os heterozigotos são sadios e têm outra vantagem: são resistentes à malária. Mas isso não tem nada a ver com anemia falciforme, a malária é outra doença, inclusive por contaminação, não genética. Acontece que por algum capricho da

natureza esse gene p faz com que os genes ao seu lado tenham alguma propriedade que faz com que esses indivíduos desenvolvam uma resistência à malária. Então ter esse gene da anemia falciforme é bom ou ruim? Agora a pergunta é mais difícil de responder: pode ser bom, pode ser ruim. É ruim para uns e é bom para outros. Então a natureza é esperta o suficiente para fazer com que esse gene vá diminuindo, mas não o liquida, preserva-o por várias gerações, porque pode acontecer um acidente conservacional no futuro que torne útil esse gene. É por isso que ela escolheu um sistema com $\lambda = 0$.

Vou falar só mais um pouquinho sobre isso. Neste século vivemos uma história muito cruel relacionada à eugenia, na Segunda Guerra. Houve pessoas na Alemanha que resolveram fazer uma super-raça. Pegavam mulheres louras, fortes, de olhos azuis e as confinavam em determinada região, obrigando-as a terem filhos só com homens brancos, fortes, de olhos azuis. Se o projeto desses idiotas tivesse dado certo, depois de algumas gerações seríamos fortes, bonitos e de olhos azuis. O patrimônio genético da humanidade é uma determinada curva. Artificialmente, o que se pode fazer é matar todo mundo que não tem o jeito que você gosta e aí a curva muda de figura, todo mundo inteligente e de olhos azuis como o Arnold Schwarzenegger. Com seleção artificial consegue-se fazer com que determinado tipo de gene desapareça. Por exemplo, mata-se o gene do sujeito que tem cor preta porque ele é inferior, mata-se o gene do judeu (se fosse genético) porque o judeu tem gene ruim, deixemos apenas os brancos de olhos azuis. Se você fizer isso, o patrimônio genético vai ficar curtinho.

Vamos admitir, já que não é uma questão biológica, é só uma questão científica, vamos admitir que realmente o Arnold Schwarzenegger é muito superior a todos os outros e que seria geneticamente muito mais interessante se todos os seres humanos fossem iguais ao Arnold Schwarzenegger, porque ele é geneticamente superior. Vamos admitir isto. Se for verdade, e pode até ser verdade hoje, quem garante que vai ser verdade amanhã? O melhor hoje será que é o melhor amanhã? Mesmo admitindo que exista um melhor hoje, pode deixar de ser. O ambiente vai mudar. Uma determinada espécie, a espécie humana por exemplo, não evolui sozinha no mundo, tem várias outras espécies das quais dependemos: o vírus da Aids, que invade o corpo da gente; o boi, que a gente mata para comer; o peixe, que a gente pesca para comer, e assim por diante. Várias espécies interagem com a gente e o ambiente está mudando. Aquilo que poderia ser considerado o melhor geneticamente hoje

pode deixar de ser amanhã. Pode ser que algum problema venha a aparecer, algum acidente contingencial que faça mudar o ambiente em que vivemos; pode acontecer que o sujeito que os nazistas queriam exterminar porque o gene dele era ruim venha a ser aquele que consiga sobreviver a uma catástrofe futura.

Por isso existe a diversidade genética de que tanto se fala hoje em dia. É preciso ter diversidade genética exatamente porque a seleção natural, não a artificial, seleciona os melhores, no plural, não no singular. Selecionar o melhor não é seleção natural. Tem que selecionar os melhores dentro de uma certa gama, de uma certa diversidade genética, em torno de uma certa região, configurando determinada curva. São selecionados aqueles indivíduos que formam o conjunto dos melhores, com uma certa variabilidade, para o ambiente atual. Isso de tal maneira que quando o ambiente mudar, apenas muda a curva um pouquinho para cá ou para lá. Mas se ela for uma curva fininha, uma doença que apareça daqui a 100 anos pode matar a todos.

Perguntas

PERGUNTA: ***Parece-me que a teoria da complexidade é uma teoria feminina, porque o sistema complexo não converge nunca. Ele guarda memória. Daqui a sei lá quantos anos, vai se lembrar da perturbação inicial. Característica tipicamente da mulher, não é? Ela cobra dez anos depois o que você fez. Mas a pergunta é a seguinte: a sua apresentação, na primeira parte, pareceu apontar uma teoria não determinista, mas é possível hoje, digamos assim, modelar sistemas? Quais são os campos? Como é que as coisas estão em termos de aplicabilidade?***

CASTRO DE OLIVEIRA: Na verdade, não é que não seja determinista. Ao contrário. São todas aplicações deterministas, que podem ter um certo grau de aleatoriedade, que você inclui. Por exemplo, no caso da biologia, da genética, quando você tem um patrimônio genético da geração no instante T e passa para a geração no instante T + 1, em princípio está determinado qual é o patrimônio genético da geração seguinte, a não ser por conta de mutações aleatórias, mas muda muito pouco. Então, na verdade, se você sabe quem são os indivíduos da geração do instante T, você já tem como prever deterministicamente como é que vai ser o *pool* genético, o patrimônio genético, dos filhos

desses indivíduos. Você não pode prever as mutações, mas as mutações são uma fraçãozinha pequena que vai ali. Então, significa que, dada a curva do patrimônio genético na geração T, você tem qual é a curva do patrimônio genético da geração T + 1, a menos que (haja) uma perturbação aleatória, que é preciso levar em conta. Essa perturbação aleatória é fundamental, aliada à seleção, porque vai fazer com que essa curva possa andar devagarinho, um pouquinho mais para lá, um pouquinho mais para cá, se adaptando ao ambiente. Então, acredito que é determinístico, com algum grau de aleatoriedade.

PERGUNTA: *Às vezes, numa mesma família, os filhos têm percursos escolares muito diferenciados. Fico imaginando se a educação do garoto que se deu bem pudesse ser repetida com o que não foi bem, se fosse possível voltar no tempo e passar o filme de novo, seria diferente?*

CASTRO DE OLIVEIRA: O que eu falei sobre mutação ocorre antes do nascimento, quando a pessoa foi gerada. Significa que o patrimônio genético de uma pessoa não é exatamente igual ao dos pais. É o dos pais, mais uma ou outra mutação aleatória que houve na concepção. Mas, uma vez que nasceu, com aquele patrimônio genético, a parte genética da vida está definida. Isso não significa, porém, que a vida da pessoa está decidida, tem a influência do meio também. O sujeito pode ser atropelado e se você pudesse passar o filme de novo, talvez ele não fosse atropelado. Então, são acidentes contingenciais que vão ocorrer e que, em um sistema desse tipo, ficam na memória eternamente. Vou dar um exemplo. Imagine que Jesus tivesse caído de uma escada aos 13 anos de idade e morrido. Como seria a religião hoje em dia? Não dá nem para imaginar, mas seria diferente. Esses acidentes contingenciais na história da gente, que poderiam ter deixado de ocorrer se você rodasse o filme todo de novo, esses acidentes ficam no sistema eternamente. A história desses sistemas depende de todas as contingências que foram se acumulando.

PERGUNTA: *E você teria que fazer um modelo complexo para cada uma, quer dizer, a genética descrita por uma modelagem?*

CASTRO DE OLIVEIRA: É. Acabei não comentando, mas não se consegue tratar esse tipo de sistema, a não ser casos muito particulares. Por uma razão muito simples: exatamente pelo fato de o sistema ter memória de longo prazo. Veja o que eu disse da situação inicial. Se você quisesse fazer um modelo de um sistema desse tipo, um modelo dinâmico, não adiantaria, você não consegue

estudar a distância entre possibilidades distintas de um mesmo sistema através de coisas que dependem só do passo anterior ou dos dois ou três anteriores. Você tem que levar a escala inteira em conta. É preciso acumular todas as diferenças que ocorrerem durante toda a historia do sistema e isso é praticamente impossível de fazer analiticamente. O único instrumento que você tem para estudar isso é fazer experiência, que é uma coisa complicadíssima. Por que? Porque o sistema tem tempos enormes. Se eu resolver fazer uma experiência, precisarei de uma eternidade. Como é que você vai fazer experiência, por exemplo, sobre como teria sido a evolução da espécie humana se não tivesse havido a mutação em sei lá qual geração que fez, por exemplo, com que o homem ficasse de pé? Houve alguma mutação lá que fez com que um determinado indivíduo ficasse em pé. Aquele que teve vantagem, pelo fato de ficar em pé, não teve mais filhos que o vizinho dele, que ainda estava andando com as quatro patas no chão? Imagine se essa mutação não tivesse ocorrido, como seria a evolução? Não sei. Não é factível tal experiência, nem são possíveis teorias analíticas sobre essa coisa. O único instrumento que resta é fazer modelo no computador. Mas aí cada problema é um modelo, como temos aí. Por outro lado, tem uma vantagem, que é a seguinte: a física dos três últimos séculos, desde Newton, progrediu enormemente graças a uma coisa chamada teoria das perturbações. Ninguém consegue resolver a lei de Newton como um problema trivial. Então, como é que você faz? Você pega um outro problema que você sabe resolver, retirando alguma coisa que está lhe atrapalhando no problema que quer resolver, e resolve esse problema sem aqueles ingredientes que estavam atrapalhando. Depois, você inclui aqueles ingredientes que jogou fora no início e corrige a solução encontrada. Isso chama-se teoria da perturbação. Isto só funciona para sistemas razoavelmente lineares, em que o comportamento do todo é a soma das partes. Então, você retira uma pequena parte, resolve sem ela, e depois restitui. Por outro lado, os sistemas complexos dependem fundamentalmente de contigências, como já vimos. Portanto, você não pode retirar uma contigência e tentar restituí-la depois.

50 anos de CBPF

Amós Troper

15 de dezembro de 1999

Agradeço este convite do Mast. É uma grande honra estar aqui, mas é uma temeridade também. Peço desculpas de antemão se cometer alguma injustiça ou omissão. Quero dedicar esta palestra às pessoas presentes que me antecederam na direção da casa, os professores Leite Lopes e Ramiro Porto Alegre, e também à memória do professor Jacques Danon, que será citado ao longo desta minha apreciação, digamos um pouco subjetiva, dos 50 anos do CBPF.

A instituição começou num pequeno prédio, com instalação muito precária. Atualmente o CBPF compreende vários prédios, que abrigam laboratórios, salas de trabalho e biblioteca.

Vou dividir a palestra em uma introdução, um *resumé* histórico e o atual CBPF. Recentemente o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas foi transferido do CNPq para o Ministério de Ciência e Tecnologia.

O que quero dizer, de forma provocativa, é que assim que cheguei ao Rio de Janeiro, para largar engenharia e fazer física, assisti, na PUC, a uma conferência de um dos professores de Bristol, chamado Ziman, um dos melhores em teoria dos campos aplicada à matéria condensada. Ele disse mais ou menos o seguinte: "Esse negócio de país de terceiro mundo fazer ciência fundamental... Ciência fundamental tem que ser feita por nós, do hemisfério norte, e não no hemisfério sul." Não entendo essas ideologias, que agora certas áreas da nossa inteligência governamental estão procurando. Que história é essa? Obviamente, isso vai de encontro a vários pensadores do Brasil: Fernando Azevedo, Regina Morel... Eu nem sabia que o Leite Lopes vinha aqui para assistir a minha palestra, mas estou citando o seu livro *Ciência e libertação*, onde ele mostra exatamente o contrário. Se desejamos ter uma chance de sair dessa situação de terceiro mundo, realmente a ciência fundamental seria uma das ferramentas da libertação.

Uma coisa que me chocou, quando jovem, foi essa questão de que a gente não devia fazer ciência fundamental. Hoje esse problema é apresentado de forma diferente. Em vários órgãos brasileiros se fala de pesquisa espontânea e pesquisa induzida. Vou abordar isso no final.

No nosso contexto histórico, em primeiro lugar, antecedendo o CBPF, teve a famosa fundação da USP, em 1934. Após a Revolução de 30, com Getúlio Vargas no poder, foi nomeado o pernambucano João Alberto Lins de Barros interventor em São Paulo. Durou pouco no cargo, logo substituído, mas a crise política no estado já estava deflagrada. Em 1932, São Paulo rebelou-se, sem o sucesso pretendido. Ainda assim, a elite paulista conseguiu fundar a USP. Mais ou menos ao mesmo tempo, no Rio de Janeiro, criou-se a Universidade do Distrito Federal, onde se tentou colocar os melhores nomes. Por exemplo, Portinari ensinava pintura, Villa Lobos, música. Enfim, grandes luminares estavam lá. Mas, devido à proximidade do poder federal, o pessoal foi acusado de comunista e a UDF foi rapidamente extinta. A UDF poderia ter sido um contraponto entre São Paulo e o Rio, mas o seu fechamento tirou a capital federal do cenário acadêmico.

Isso é uma coisa importante: estou me antecipando, mas se o CBPF não tivesse existido, a ciência ia se concentrar inteiramente em São Paulo.

A criação da USP foi muito bem feita. Lévi-Strauss, um dos mais representativos antropólogos, que formulou a teoria do estruturalismo e escreveu *Tristes trópicos*, começou a sua vida em São Paulo. Ele é o autor de uma frase que ficou famosa: "Parece que o Brasil vai sair da barbárie para a decadência sem passar pela civilização". Era essa a sua visão de São Paulo. Quem lê, por exemplo, as cartas de David Bohm, escritas quando ele estava no Brasil, na década de 50, sente o que os franceses chamam de *ennui*. São Paulo, ao contrário de hoje, era muito provinciano.

Uma coisa interessante aconteceu na USP e se repetiu depois no CBPF: quando foi criada a física no Brasil pelo grande Wataghin, como sempre cita o Leite Lopes, ela começou bem. Gleb Wataghin veio aqui com a indicação de Enrico Fermi. Criou um grupo em torno dele, formado, entre outros, por Marcelo Damy e Paulus Pompéia. Eles começaram a trabalhar numa física barata, em raios cósmicos. Imediatamente realizaram um trabalho de repercussão internacional, a ponto de serem citados por Heisemberg, um dos grandes ícones da ciência. A ciência, portanto, começou muito bem em São Paulo, como a própria visão da universidade, o tempo integral e assim por diante.

Com o pós-guerra, a física tornou-se uma ciência paradigmática. O prestígio da física nuclear foi realmente imenso. Alguns colegas meus, da Academia Brasileira de Ciências, acham que a física é decadente e que o paradigma do século 21 vai ser a biologia. Eu acho que é o contrário. A biologia está alcançando um grande prestígio porque está se fisicalizando. Um dos alunos do Max Born, Max Delbrück, doutorou-se em física na década de 20, depois foi para os Estados Unidos e passou a fazer biologia e biologia genética. O grande impulso na biologia, ou seja, o de se tornar uma ciência não aristotélica ou classificatória, veio dos físicos.

O fato é que a física nuclear assumiu uma grande importância, César Lattes participando. Ele tinha sido aluno do grupo formado por Wataghin, com Mário Schemberg e outros. Nessa época, antes da Segunda Guerra, Tiomno e Leite Lopes viajavam quase um dia de ônibus até São Paulo, a fim de trabalhar com Mário Schemberg. Ficavam por lá cerca de dois a três dias e voltavam. Hoje, os paulistas não vêm para cá nem se vai a São Paulo. Vai-se para o exterior.

A física começou bem na USP, depois da guerra: o prestígio do César Lattes, a descoberta do méson 'pi', o Leite Lopes doutorando-se em Princeton como primeiro PhD brasileiro, em 1946. Então as pessoas daqui, o Tiomno, o Leite, convenceram o Lattes a vir fazer física no Brasil. Criou-se um clima, Com o impacto provocado pela descoberta do Lattes, criou-se um clima para se trabalhar aqui no Rio e se criar um contraponto com São Paulo. Na Universidade do Rio de Janeiro, no entanto, não havia tempo integral, nem outras facilidades que permitiam o desenvolvimento de pesquisa.

É uma visão local, mas no contexto brasileiro havia gente, inclusive militares esclarecidos, que fabricava um projeto nacional depois da guerra. O Brasil participou da guerra, as forças do Eixo foram derrotadas, o país havia emergido como uma potência e, a partir daí, começou-se a levar adiante um programa nuclear. No Rio de Janeiro havia essa efervescência que aliás contribuiu imensamente para a criação do CBPF, em 1949. O Hervásio de Carvalho, falecido recentemente, esteve na festividade dos 50 anos do Centro e, como todos os presentes, contou histórias interessantes. Ele disse que antes de fundar o Centro, em 1948, o pessoal ia para Petrópolis. O Leite Lopes, o Tiomno e outros se apresentavam ao *grand monde* do Rio de Janeiro, e então resolveu-se fazer uma organização social - uma coisa que

agora está na moda e que naquele tempo se chamava sociedade civil - que foi o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Foi criado fora da universidade porque a universidade era muito burocrática, daspiana, e não conseguia que as pessoas trabalhassem *full-time* em física. O Centro foi criado com grandes nomes; desculpem as omissões, mas posso citar César Lattes, Leite Lopes, Tiomno, Elisa Frota-Pessoa, Oliveira Castro, Leopoldo Nachbin, Maurício Peixoto, entre outros.

O Ricardo Ferreira, um químico notável, escreveu um artigo, e eu, como pernambucano, não posso deixar de me referir a ele. Diz que o CBPF, desde a sua criação, é uma casa quase pernambucana. Na lista de pessoas que assinaram a criação do CBPF, dezoito por cento são de pernambucanos. Até a mulher do Lattes, Martta, era pernambucana, filha do professor Osório, de mecânica aplicada. Então, aí está a fundação do CBPF, em 1949: uma sociedade civil. Estou ressaltando isso porque hoje em dia o governo está querendo fazer organizações sociais, coisas que não são totalmente públicas.

Quando eu estava editando o livro do Leite Lopes, o Lattes fez um depoimento para mim: "Algumas coisas só pode falar depois que eu morrer", disse. Perguntei-lhe como é uma sociedade civil e ele respondeu: "Enquanto fui diretor científico, chegava para o presidente da Câmara e dizia que o CBPF estava precisando de dinheiro. Ele então perguntava quanto eu precisava e eu respondia: 100 contos de reis. Ele abria a gaveta, pegava 100 contos e me entregava. Quando eu perguntava sobre o recibo, o deputado respondia que não tinha. Dizia que estava tirando da verba secreta de combate ao comunismo". Era assim que as coisas funcionavam.

Em 1949, tivemos a criação do CBPF, mas podemos fazer uma ilação e dizer que na criação do CNPq (um trabalho da Academia e da inteligência brasileira), o CBPF foi muito importante. Por exemplo, no CNPq havia muitos militares nacionalistas. O almirante Álvaro Alberto, da Academia Brasileira de Ciências, estava atento ao valor dos minerais radioativos. E atenção: o almirante, presidente do CNPq, era o primeiro vice-presidente da Sociedade Civil do CBPF - o presidente era João Alberto Lins de Barros, que havia sido interventor em São Paulo. Ou seja, havia realmente uma confluência de grandes nomes para sustentar esse modelo meio americano do CBPF. Era uma sociedade com doações, nos moldes dos Estados Unidos, e se pensava que se podia fazer o mesmo.

Na década de 50, quando o Centro estava recém-criado, o objetivo diga-

mos menor - embora maior -, era dar tempo integral e oferecer condições aos doutores. Por exemplo, o Leite estava formando pessoas, o Tiomno havia ido aos Estados Unidos e estava voltando, outros professores precisavam ter tempo integral. Para se continuar a pesquisa em raios cósmicos havia um programa nuclear brasileiro subjacente. O próprio almirante Álvaro Alberto estava comprando na Alemanha umas centrífugas, mas os americanos proibiram, porque não queriam que o Brasil tivesse um programa científico nuclear, nem de engenharia. Esse período é chamado os "anos heróicos" do Centro, que eu estenderia a toda a década de 50.

Houve realmente uma tentativa de se fazer um acelerador Cockcroft-Walton. A máquina Cockcroft-Walton foi comprada na Holanda, por 35 mil dólares. Ana Maria Ribeiro, uma historiadora do MAST, publicou um livro contando toda a história. Numa visão retrospectiva, eu diria que foi uma idéia de grande ambição, muito importante, mas o Brasil não estava realmente preparado para fazer uma coisa desse porte. Hoje em dia, quando a gente vê o Síncrotron, feito pelo grupo do Cylon, de São Paulo, percebe a complicação que haveria nisso.

O acontecimento terrível e que afetou o Centro, foi o suicídio de Getúlio Vargas, em 1954. Naquele ano, aconteceu um esvaziamento do CNPq. O seu presidente era ao mesmo tempo vice-presidente do CBPF, ou seja, havia um embricamento muito grande. O Leite Lopes e o Tiomno eram geralmente os assessores do CNPq, os que davam os pareceres. Então, realmente o CBPF sofreu uma crise terrível. Houve a inflação e os salários do CBPF caíram. Realizei uma pesquisa e verifiquei que os salários chegavam a 50 ou 100 dólares. O Leite foi para o Caltech, o Tiomno para o Imperial College, na cátedra do Salan. Mas, apesar de tudo, esses anos heróicos não representaram um período desperdiçado.

À guisa de curiosidade: publicamos recentemente no Centro, com um prefácio do Leite Lopes, uma carta do prêmio Nobel Cronin, o que está fazendo agora o projeto Auger. Nos arquivos do CBPF existe uma carta que o Feynman endereçou ao Fermi. Essa carta é muito interessante. Feynman cita as pessoas daqui, diz que está fazendo um trabalho com o Leite e começa a comentar algumas coisas. Há uma frase linda: "But nature's imagination always has my respects", como se estivesse dialogando com Deus. No fim descreve o artigo que estava fazendo com Leite e outras pessoas e acrescenta um P.S. que é maior que a carta. Diz: "So I am, with this letter

to you and Hans Bethe [prêmio Nobel de física] giving up Yukawa's ideal and going to Copacabana beach to see if I can get one of my ideas. I get lots of ideas at that beach. Merry Christmas, Feynman."

Como vocês podem constatar, ele tinha uma grande intimidade com o Brasil, gostava muito daqui. Acredito que esses exemplos caracterizem muito bem os heróicos anos da década de 1950.

Vou falar rapidamente da década de 60 e omitir algumas coisas, mas posso ter uma chance de me reabilitar com vocês sobre esse estudo. Tenho aqui um curso sobre o CBPF. Estou caracterizando a década de 60, de modo geral no Brasil, como a da reforma universitária. Começou com a Universidade de Brasília. Há várias controvérsias sobre essa universidade. Criou-se um grupo de coordenadores, Danon em química, Leite Lopes em física, outro que se reuniu vindo do Centro, Tiomno, Guido Beck e outros. Sei que o pessoal foi para a Universidade de Brasília e Salmeron foi o chefe dos institutos de ciência básica. Tiomno era o diretor de física. Ele viajou muito, segundo vários depoimentos (para maiores detalhes vejam o livro do professor Salmeron), com o Darcy Ribeiro, e batia papo com o pessoal. Na época, ele era o presidente da Sociedade Civil do CBPF (todo mundo esquece, mas ele foi presidente do CBPF). Então, nos anos 60, a questão fundamental que havia de novidade, à qual o CBPF tinha que se engajar, era um novo paradigma: a reforma universitária. A modernização era brasileira, mesmo com o fracasso da Universidade de Brasília, que podemos discutir agora.

A idéia dos aceleradores também não morreu. O general Argus, que ainda é um Emérito do CBPF, começou a construir seus aceleradores e a primeira pós-graduação oficial, no Brasil, surgiu no CBPF. O Leite Lopes era o diretor científico e o Jayme Tiomno, o coordenador da pós-graduação. Era oficial, tanto que tem aquela placa: "Mandato da Universidade do Brasil ao Centro".

Outra coisa importante foi a fundação do CLAF. As primeiras teses do CBPF foram teses de latino-americanos. Era uma grande liderança que havia lá e que nós estamos acompanhando. Por exemplo, à professora Elisa Saitovich foi recentemente outorgado o título de doutora *honoris causa* da Universidade de São Marcos, pelos serviços prestados. Um grande número de estudantes peruanos foi orientado em doutoramento no Brasil (são tantos que os peruanos no CBPF querem mudar o nome de CBPF para CPPF, Centro Peruano de Pesquisas Físicas!).

Com a pós-graduação, o Centro tornou-se, em 1965, a primeira instituição a ter uma defesa de tese, feita pelo argentino Jorge Hellman, recentemente falecido. O orientador dele foi o professor Baltensperger, Emérito do CBPF. A primeira tese de doutorado brasileira foi defendida no CBPF por Rogério Cantarino Trajano da Costa e o orientador foi Moysés Nussenzveig, recém-agraciado com o título de Professor Emérito do CBPF. Vemos, portanto, que na década de 60 o CBPF se engajou, com grande sucesso, na formação de quadros modernos.

Na década de 60 começou-se a buscar incentivos no BNDE, atual BNDES. Começou lá, na Funtec, com o Pelúcio - sabe-se que foram suas as idéias que geraram a Finep, e nós, do CBPF, nos beneficiamos muito com a Financiadora de Estudos e Projetos.

Uma coisa muito trágica veio a acontecer com o CBPF: as cassações. Alguns institutos, que não foram atingidos pelas cassações, tiveram uma vida muito normal. O CBPF acumulou muitos traumas: cassaram o Leite, Jayme Tiomno, Mário Schemberg, Maria Laura Leite Lopes, Sarah Castro Barbosa. Houve cassações generalizadas e isso prejudicou muito.

Uma coisa que não podemos deixar de reconhecer é que os governos militares deram muito incentivo (e dinheiro) à ciência fundamental. Isso não ocorreu com o CBPF. No Brasil inteiro, todos esses laboratórios que a gente admira, ganharam dinheiro na época da Finep, nos anos 60 e 70. O CBPF, até ser incorporado ao CNPq, só fazia projeto Finep. É uma coisa que deve ser levada em conta. A Unicamp e outras instituições que aprendemos a admirar recebiam dinheiro e nós ficamos órfãos.

Nessa época, o CBPF ainda continuava como uma sociedade civil. Me lembro que quando ingressei nele como estudante, o Goldemberg era o homem do BNDE, e o pessoal do Centro fez um projeto apresentado por Ramiro Porto Alegre e Affonso Gomes. Porém, o CBPF fazia um contrato com o BNDE e eles cortavam a verba, pois era uma sociedade civil, não pertencia à esfera do Estado.

O CBPF foi incorporado ao CNPq nos anos 70, tornando-se uma unidade de pesquisa, e começou um processo de reconstrução da casa. Mas uma característica da nossa instituição é a de gerar novas institutições. O pessoal do Impa fica meio chateado, dizendo que "o Impa não saiu do CBPF". É bom lembrarmos que o Maurício Peixoto, a Maria Laura, o Leopoldo Nachbin, a esposa do Maurício Peixoto (já falecida) eram todos do CBPF. Forma-

vam o Departamento de Matemática. Então, se o CBPF não gerou o Impa, pelo menos o departamento de matemática do CBPF gerou o Impa.

Em 1980, logo depois de se incorporar ao CNPq, o CBPF foi mordido. Havia um núcleo que fazia computação e matemática aplicada. Por razões que não quero discutir aqui, tiraram o nosso computador e criaram o LCC, o Laboratório de Computação Científica e que depois virou o LNCC. Deixaram o CBPF. O Argus, que construiu os primeiros aceleradores, foi chamado inicialmente para ser consultor do projeto que deu origem ao LNCC de Campinas.

Este é um panorama retrospectivo. Desejo agora abordar questões gerais e chegar a outros pontos. Transcendendo o CBPF, a pós-graduação brasileira conseguiu modernizar a universidade, titulou os seus professores etc. Esse ciclo da modernização está praticamente encerrado. Mas a pesquisa ficou totalmente divorciada. Chegou a criar quadros, é verdade, mas qual foi a interação social? Esta é uma pergunta que todo mundo faz. No CBPF, depois de um ano de discussão, resolvemos criar um mestrado em instrumentação científica. Há engenheiros espetaculares, jovens geniais em computação que podem fazer *n* coisas. Mas não queremos apenas formar físicos, porque as universidades já estão fazendo isso, e não estão assimilando os nossos físicos. Tenho dois pós-doutores, de 35 anos de idade, que não conseguem emprego. Então por que não abrir um pouco? No momento estamos formando pessoas que poderiam trabalhar no Incor, no Hospital Einstein, a fim de projetos de detectores e coisas assim... E não ficarem totalmente na academia. Esse projeto foi analisado, passou pelo nosso Conselho Técnico Científico, a Capes deu a sua aprovação etc. Mas quando recorremos à Capes e solicitamos cinco bolsas iniciais a resposta foi: isso é um projeto institucional, a Capes não financia, arranje nas empresas, isso é como um MBA de economia, peça ao banco oportuno, ele que pague as pessoas. Eu telefonei para o secretário-geral da Capes, mas até agora essa história não foi resolvida.

É ridículo o dinheiro que as indústrias podiam nos oferecer. O que a gente está querendo é criar um novo tipo de cientista, intermediário entre um acadêmico e um engenheiro de alto nível. Na ciência moderna, para a parte experimental, você precisa de um engenheiro de alto nível. Seria preciso que criassem uma coisa que mexesse um pouco com a sociedade. O governo tem que amparar isso e exibir essas pessoas. O governo está lavan-

do as mãos; então, realmente, as pessoas que estavam reclamando têm uma ponta de razão. Essa é a perspectiva mesquinha do governo. Praticamente isso está perdido.

Agora, nem tudo foi errado no Brasil, vejam bem. Surgiu uma idéia do próprio governo da criação de programas especiais, tipo RHAE. Trata-se dei um programa muito nobre. O CBPF se beneficiou enormemente com os programas RHAE. Cito dois, um sobre matéria condensada experimental, com a Elisa e a Rosa, e o outro com o professor Santoro, que conseguiu mandar o seu pessoal para se formar nos Estados Unidos. Um outro mais não foi bem sucedido, mas isso acontece. O pessoal diz que tem beneficiamento. Eu tinha esse preconceito também, até que fui ser consultor da Finep e falei com muitos industriais e o que me disseram foi: nós contratamos com bolsas RHAE muitos técnicos com doutoramento em caldeiras, por exemplo, e vimos que essas pessoas traziam lucro para as empresas. Depois de dois anos, acabada a bolsa, as indústrias que se beneficiavam os contratavam. Foi um processo que o governo me ensinou. Esse programa RHAE foi muito bom.

Um programa específico do Ministério da Ciência e Tecnologia poderia permitir que os institutos de pesquisa contratem pessoas por curto prazo desde que elas representem um salto qualitativo para a instituição. Agora o governo inventou o Pronex e o CBPF ganhou quatro Pronex. Dois já estavam funcionando e dois o governo está sem dinheiro para implementar. Mas são idéias boas. Vejam bem, é tarefa do governo definir quais são as áreas prioritárias, mas ele tem que ser claro. Não se pode priorizar um mestrado que não pode existir sem o auxílio do governo. Eu estou mostrando os aspectos positivos e negativos desse programa.

Agora, também penso em avaliações. No Brasil, a gente não gosta de avaliações, mas misturamos as coisas. O CBPF foi a primeira instituição no âmbito do CNPq que se ofereceu para ser avaliada. Na avaliação, a gente consegue ver quais são as áreas prioritárias. Pois bem, foi feita a avaliação internacional no CBPF, em 1991. Estamos entrando agora no ano 2000. O que aconteceu? Na avaliação foi dito: "É muito importante que se crie um laboratório de filmes finos; damos um aporte de 3,5 milhões de dólares". Pois nunca saiu um tostão. Houve uma nova avaliação em 1995, um planejamento estratégico do CNPq em que se gastou uma fortuna e que envolveu todos nós, vocês estão sabendo disso. E agora vem o nosso novo secretário,

que é o João Steiner, e pergunta o que implementamos das avaliações anteriores. As avaliações no CBPF foram muito bem feitas, mas havia algumas coisas erradas. Por exemplo, mandavam fechar raios cósmicos, o que é uma besteira, porque raios cósmicos hoje em dia são um problema dos mais importantes. Às vezes, quando vêm estrangeiros, eles só olham uma fatia da coisa. Supercondutividade, por exemplo, não deveria ser objeto de estudo no CBPF. Por quê? Naquele momento estava havendo um certo refluxo da supercondutividade, mas dois anos depois explodiu de novo. Desfrutamos as coisas boas e ignoramos as besteiras da avaliação. Mas oficialmente gastou-se uma fortuna pagando esse pessoal para fazer a avaliação e não saiu nada.

Havia uma ideologia no CBPF absolutamente pertinente. Um instituto do CNPq, hoje em dia, tem que ser excelente e fazer coisas que a universidade não faz. A idéia, que terminou desde o Lobo e que trouxe muita preocupação ao Ramiro e ao Leite, é um grande projeto ligado ao CBPF: um curso de sincrotron, como se conseguiu. O Leite Lopes tentou trazer o sincrotron para o CBPF. Aí entra o ministro com um decreto de que o CBPF não tinha estrutura para que a coisa funcionasse. E o dinheiro foi escasseando. Então a primeira coisa alegada, tendo em vista que você não pode ter um grande programa, é a instituição ser excelente. Por exemplo, ter gente boa. Conseguimos abrir concurso para doze pessoas bastante capacitadas. O que aconteceu? Os salários dos institutos estão 40% abaixo dos da universidade. Pode-se conseguir capturar alguém da universidade para vir trabalhar no instituto? O concurso foi um fracasso, só quatro pessoas tomaram posse.

Quando o Leite Lopes assumiu o CBPF, eram 102 pessoas: entre aposentadorias, defecções, gente que saiu para a universidade, e assim por diante. Houve, é claro, um grande esvaziamento. Mesmo assim, temos 30 grupos de pesquisa, que variam em número de pessoas. Vou dar um exemplo: o grupo da professora Elisa é praticamente composto por ela e mais um ou dois pesquisadores, e todo o resto conseguido por um trabalho insano de pegar estudantes brasileiros, peruanos, através do RHAE. Com isso deu-se uma grande modernização, e a física experimental do CBPF, que nunca tinha feito um *workshop* quando o Leite assumiu a direção, realizou o primeiro e reuniu todos os físicos do Centro. Das duas coisas que o Leite tentou fazer, essa deu certo. A parte experimental no CBPF explodiu, graças ao RHAE e

também a um orçamento que até há pouco tempo era razoável, com o qual se podia fazer alguma coisa. Mas não conseguiu montar seis cursos de pós-graduação no Rio de Janeiro, porque não havia aluno. Aparecem 20 alunos para fazer seis pós-graduações.

Vejam bem, existe um grande número de grupos e eu quero exibir a vocês alguns dados que vou selecionar aqui. A primeira coisa é a seguinte: apesar de o Centro ter perdido mais de 40 pessoas, foi graças aos programas de incentivo à física experimental que aconteceu uma grande explosão de publicações. Os dois grandes núcleos responsáveis por isso são a física da matéria condensada e a física de altas energias. Há uns dez anos, saiu um artigo na revista americana *Science* sobre como distinguir o que é uma instituição do primeiro mundo e uma do terceiro. No terceiro mundo, a relação de físicos teóricos para físicos experimentais é muito maior que 1. No primeiro mundo, o número de físicos teóricos é muito menor. Tentamos implantar uma ideologia na casa. Isso começou com o Leite, quando ele não apresentou no projeto Finep o número de teóricos da casa, justamente para ressaltar o lado experimental. Com isso a gente conseguiu algumas coisas, que passo a indicar.

Essa estatística é engraçada. Tínhamos 104 pesquisadores, que caíram para 74, e a produção vai subindo quase exponencialmente. Estamos fazendo esses parâmetros quantitativos, mas devemos buscar a razão disso. Em 1989 estávamos abaixo da média mundial. Enquanto o Instituto Max Planck, da Alemanha, apresentava o índice de dois trabalhos por pesquisador, a gente tinha 0,8. Mas em 1995 passamos de 2 e três anos depois contávamos com mais de três trabalhos por pesquisador, um dado acima da média. Isso levando em conta todos os pesquisadores da casa, o que não é a regra da Capes. Olhem como a Capes e as instituições irmãs fazem: eles pegam apenas pesquisadores produtivos, põem no denominador e dividem o número de trabalhos para ver se aumenta. Mesmo assim é menor que o nosso. A isso eles chamam, nas universidades, de conselho de pós-graduação. Na USP, de 130 só entram 70, quer dizer, 60 não valem nada. Numa rede de grande escala é de fato muito difícil o controle da qualidade científica. Por isso que o IFT, em São Paulo, embora pequeno (são umas 30 pessoas), tem uma produção muito maior que a PUC.

Isso, porém, é uma coisa que não deve nos agradar totalmente, porque a idade média no CBPF é de 54 anos. Nos Estados Unidos, a média dos de-

partamentos de física é de 45 anos de idade. Porque acontece isso aqui? Por causa da perda de pessoal, sem que ocorram contratações.

Quero falar também das teses de doutorado e mestrado, no CBPF. Tenho um catálogo de todas as que foram editadas no Centro até hoje. Todas elas geraram trabalhos. Há uma tese de 1960, orientada pelo professor Jacques Danon. Ele estava lendo um artigo de revisão em 1966, foi a tese do Ximenes Alexandrino da Silva sobre hidrogenação do paládio. Saiu um *review* bastante extenso, e o primeiro artigo era de X. A. da Silva Bentes. Jacques Danon foi um físico experimental e deu um grande impulso no Centro. Ele começou com radioquímica. Uma vez, segundo os dois contavam, o Guido Beck lhe falou que um tal de Mössbauer, que trabalhava em Munique, descobrira um efeito interessante. E o Danon realmente fez uma revolução do efeito Mössbauer, que é uma espectroscopia muito importante para a química. O livro dele *Léptons* é a primeira referência do efeito Mössbauer. É um trabalho espetacular que criou uma geração toda de efeito Mössbauer e, depois, de ressonância paramagnética. O diretor do Instituto de Física de São Carlos, Horácio Panepucci, veio fazer tese com o Danon, depois o Ramiro trabalhou, havia então essa procura. O CBPF não era uma instituição universitária ortodoxa - por isso uma tese não sai se o autor não tiver artigo publicado. Se a pessoa vai defender uma tese e não tem artigo publicado, o trabalho vai para um relator. Ele lê e avalia se a tese tem coisas potencialmente originais para serem publicadas. Apenas duas teses do CBPF não geraram patentes. Por isso, se a pessoa não é da casa, é descredenciada, não pode orientar no CBPF.

Em resumo, o número de teses no CBPF é igual ao número de meses de 65 a 99. Nunca se passou um mês sem que houvesse pelo menos uma tese. Por exemplo, em recursos humanos há registradas 25 teses em 1997, mais 20 em 98, todas pelo menos uma *letter* em caso de mestrado ou ao menos dois artigos grandes em caso de doutorado. Quero ressaltar, como diretor, que tenho examinado muitas teses e o nível qualitativo é infinitamente superior ao do começo. Os laboratórios estão mais modernizados, faz-se o estudo de um problema envolvendo várias técnicas, como deve ser, e colaborações com muitos grupos internacionais. Quantitativa e qualitativamente, as teses de fato melhoraram muito.

Antigamente o número de cientistas era menor, talvez a qualidade deles fosse melhor porque não havia as facilidades, entre aspas, que existem

hoje. Mas se você vê, no *overall*, em geral, a massa científica do Brasil é impressionante e isso é até preocupante. Existe um programa do CLAF com o CBPF que traz estudantes latino-americanos para fazerem teses aqui e voltarem para seus países de origem. Eu estava comentando com a professora Elisa Saitovitch, que acabou de regressar de Cuba, que está havendo um problema: todo o mundo que vem estudar no Brasil quer ficar no país. Casam com brasileiras, ficam se arranjando, fazem o diabo, ninguém quer voltar. E não é só o caso de Cuba, não. No momento estou orientando dois argentinos e ninguém quer saber da Argentina. Com todas as críticas que a gente pode fazer ao governo, foi instaurado um processo, que se está tentando destruir, mas é um sistema de ciência e tecnologia impressionante.

Tenho que dizer que existe uma coisa no CBPF que as universidades não têm: chama-se orçamento. O orçamento está diminuindo, mas nas universidades... Tenho um colaborador, grande amigo meu, que é diretor de um instituto de uma universidade. Ele me diz que não tem o que fazer lá, que não há dinheiro, que está tudo atrasado. Mas a gente pode fazer uma série de coisas e tem que estabelecer prioridades. Mesmo assim, a dotação caiu imensamente de 95 para 98. O orçamento do CBPF era, grosso modo, de 1 milhão de dólares e na era do Ministro Israel Vargas passou para cerca de 3 milhões. Na época, 1 real equivalial a 1 dólar. No momento o nosso orçamento caiu violentamente. Então a física experimental é a primeira a sentir muito o abalo.

Dei aqui um chamado *vol d'oiseau*, com algumas omissões sobre os institutos. Esta mania avaliadora brasileira, absolutamente fenomenológica, é histórica. O CBPF e o Impa, que são institutos gloriosos, estão inseridos em um projeto nacional, pensando um Brasil grande, mas qual é, hoje em dia, o projeto nacional? A gente vai ser o quê? Subalterno? O que eu sinto é que há um descompasso no governo. A gente não sabe direito para aonde vai. Por exemplo, quando o Bresser assumiu o ministério, tirou os institutos do CNPq, jogou numa secretaria lá no fundo do quintal do Ministério da Ciência e da Tecnologia e colocou para nos comandar uma pessoa que tinha o mestrado.

Qual é a concepção que permeia no Brasil em relação aos institutos? É uma coisa que nos preocupa. Por isso pergunto: e agora José? Qual é a preocupação geral? Como preservar a qualidade cortando os orçamentos dessa maneira? Isso destrói as coisas. Se você, por exemplo, tem uma biblioteca

e pára de renová-la por um ano, depois será preciso refazê-la, e isso é uma coisa muito ruim.

Foi com otimismo que falei aqui. Vocês viram alguns números que demonstraram que o CBPF teve realmente uma grande explosão, digamos, uma explosão de competência da classe. Principalmente na parte experimental. O CBPF manteve sua física teórica boa e a parte experimental explodiu. Nós temos um papel a cumprir, estamos dando idéias novas ao governo. O governo nos incentivou para esse mestrado profissionalizante e depois tirou o tapete. É um instante de perplexidade, mas vamos continuar lutando e digo a vocês: 50 anos, aqui no Brasil, são uma eternidade. Já entramos nessa eternidade. Não tem muito perigo, eu acho, de a coisa sofrer um colapso. Se bem que eu pertenço a uma tradição judaica cabalista que diz: "Deus explode e se contrai." Mas eu tenho essa confiança. Daqui a 50 anos a gente vai se ver. Sou otimista porque nós vendemos qualidade.

ISBN 85-86388-12-2

9 788586 388125

MUSEU DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS AFINS - MAST
Rua General Bruce, 586 - São Cristóvão
CEP 20921-030 - Rio de Janeiro - RJ
Tel.: (21) 2580-7010 Fax: (21) 2580-7339
www.mast.br