Oscar T. Matsuura (Org.)

História da Astronomia no Brasil

(2013)

Volume II

História da Astronomia no Brasil (2013)

Volume II

Governo do Estado de Pernambuco

Governador do Estado João Lyra Neto
Secretário da Casa Civil Luciano Vásquez Mendes

Secretaria de Ciência e Tecnologia

Secretário José Antônio Bertotti Júnior
Chefe de Gabinete Glauce Margarida da Hora Medeiros
Secretário Executivo Luis Henrique Veiga Farias de Lira

Gerências

Gerente Geral de Política de Ensino Superior e Pesquisa Aronita Rosenblatt
Gerente Geral de Política de Ciência, Tecnologia e Inovação Alexandre Stamford da Silva

Companhia Editora de Pernambuco

Presidente Ricardo Leitão
Diretor de Produção e Edição Ricardo Melo
Diretor Administrativo e Financeiro Bráulio Mendonça Meneses

Conselho Editorial

Presidente Everaldo Norões
Lourival Holanda
Nelly Medeiros de Carvalho
Pedro Américo de Farias

Produção Editorial Marco Polo Guimarães
Direção de Arte Luiz Arrais

Museu de Astronomia e Ciências Afins
MAST, Rio de Janeiro

OSCAR T. MATSUURA
Organizador

História da Astronomia no Brasil (2013)

Volume II

Comissão Editorial:
Alfredo Tiomno Tolmasquim
Antonio Augusto Passos Videira
Christina Helena Barboza
Walter Junqueira Maciel

Cepe EDITORA
Secretaria de Ciência e Tecnologia
PERNAMBUCO
GOVERNO DO ESTADO

© 2014 Oscar T. Matsuura

Direitos reservados à
Companhia Editora de Pernambuco — Cepe
Rua Coelho Leite, 530 — Santo Amaro
CEP 50100-140 — Recife — PE
Fone: 81 3183.2700

H673 História da astronomia no Brasil (2013) / organizador: Oscar T. Matsuura ; comissão editorial: Alfredo Tiomno Tolmasquim ... [et al.]. – Recife : Cepe, 2014.
v. 2. : il.

Inclui referências.

1. Astronomia – História. 2. Astronomia – Brasil – História. I. Matsuura, Oscar T. II. Tolmasquim, Alfredo Tiomno.

CDU 52
PeR – BPE 14-485 CDD 520

ISBN: 978-85-7858-248-7

Impresso no Brasil 2014
Foi feito o depósito legal

Nota do Editor
Por solicitação do organizador do livro, em razão das particularidades do tema, que envolve conhecimentos técnicos dominados por uns poucos estudiosos, cada autor se responsabilizou pela revisão final do capítulo que escreveu, segundo suas próprias diretrizes.

Neste Volume II são tratados os temas mais recentes da astronomia brasileira. Apesar da grande discrepância da duração cronológica dos períodos cobertos pelos dois Volumes, o número de temas resultou aproximadamente igual. É que o fenômeno da aceleração da história afetou também a nossa astronomia que tem crescido de forma exponencial, como também em complexidade. Enquanto a narrativa é mais lenta em direção ao passado, ela é mais rápida à medida que se aproxima do presente. Além da já citada aceleração da história, isso tem a ver também com a menor quantidade de documentação antiga e com o fato de que, *mutatis mutandis,* os desafios do passado eram bem maiores que os atuais. A narrativa de cada texto neste Volume tende a ser predominantemente fatual com menos análise e interpretação.

A sequência dos temas neste Volume ainda é basicamente diacrônica mas, diante da alta densidade de ocorrências dentro da escala de tempo de 50 anos, a narrativa do conjunto dos Capítulos tende a ser sincrônica e estruturalista. Isto porque outra característica dos nossos tempos é o controle das atividades humanas em escala global por regras de jogo universais inventadas e convencionadas pelo próprio homem. Disso resulta uma estrutura artificial que, embora não seja imutável e perene, pode estabelecer hábitos e um *ethos.* Estruturas tendem a ser tanto mais estáveis, quanto maior o seu porte. Então os eventos não ocorrem mais em isolamento, mas fazem parte da estrutura, o que torna apropriada uma historiografia estruturalista que tematize as instituições e suas interações internas e externas.

Várias interações importantes acontecem na estrutura ao mesmo tempo. Assim é que neste Volume se torna necessário falar ao mesmo tempo da astronomia e das ciências afins; da produção de novos conhecimentos e da formação de pessoal através da pós-graduação; do desenvolvimento de instrumentação e dos consórcios internacionais de observatórios e das modernidades da *e-Science* e *e-Research;* da constituição de comunidade científica e da interação dessa comunidade com os pesquisadores que se dedicam aos raios cósmicos, à cosmologia teórica, a ondas gravitacionais, à meteorítica etc., com os astrônomos amadores e com a comunidade internacional; da comunicação social do conhecimento através de publicações especializadas e encontros, assim como através do ensino na graduação, no ensino médio e fundamental, e da popularização da astronomia através dos planetários e outros espaços de educação não formal em ciências.

SUMÁRIO

Capítulo 1
PESQUISAS EM RAIOS CÓSMICOS
Dos primórdios ao Observatório Pierre Auger
Carola Dobrigkeit Chinellato (IF/Unicamp)..... 12

Capítulo 2
PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA
1. 40 anos de pós-graduação em astronomia no IAG/USP:
uma história de sucessos
Walter Junqueira Maciel (IAG/USP) 54

2. A multiplicação de centros de astronomia no país
Kepler de Souza Oliveira Filho (IF/UFRGS) 75

Capítulo 3
RADIOASTRONOMIA
A radioastronomia na aurora da modernização da astronomia brasileira
Paulo Marques dos Santos (Estação Meteorológica do IAG/USP)
e Oscar T. Matsuura (MAST/MCTI e HCTE/UFRJ) 100

Capítulo 4
COSMOLOGIA TEÓRICA
Gravitação e cosmologia
Marcos D. Maia (IF/UnB) 124

Capítulo 5
ORGANIZAÇÃO DA COMUNIDADE ASTRONÔMICA
Sociedade Astronômica Brasileira (SAB)
Roberto D. Dias da Costa (IAG/USP)..... 144

Capítulo 6
O OBSERVATÓRIO DE MONTANHA
O Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA)
Carlos Alberto de Oliveira Torres (LNA/MCTI)
e Christina Helena da Motta Barboza (MAST/MCTI)..... 162

Capítulo 7
DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO
Desenvolvimento de instrumentação óptica e infravermelha
no Brasil (1980-2013)
Bruno Vaz Castilho (LNA/MCTI)..... 194

Capítulo 8
ONDAS GRAVITACIONAIS
Pesquisa em ondas gravitacionais
Odylio Denys de Aguiar (INPE/MCTI) 226

Capítulo 9
EMPREENDIMENTOS INTERNACIONAIS
1. Participação do Brasil em consórcios internacionais
Beatriz Barbuy (IAG/USP)..... 256

2. Desvendando o universo com grandes mapeamentos
Luiz Nicolaci da Costa (LIneA e ON/MCTI), Paulo Pellegrini (ON/MCTI)
e Marcio A. G. Maia (ON/MCTI e LIneA)..... 274

Capítulo 10
FINANCIAMENTO DA ASTRONOMIA
Quanto tem custado a astronomia no Brasil?
Jacques R. D. Lépine (IAG/USP)..... 298

Capítulo 11
ASSEMBLEIA GERAL DA IAU NO RIO DE JANEIRO
Agosto de 2009: o Brasil sediando o maior evento da astronomia mundial
Daniela Lazzaro (ON/MCTI) 328

Capítulo 12
MUSEU E UNIDADE DE PESQUISA
MAST, um projeto precursor
Ana Maria Ribeiro de Andrade (MAST/MCTI)
e Sibele Cazelli (MAST/MCTI) 356

Capítulo 13
DIVULGAÇÃO E EDUCAÇÃO NÃO FORMAL NA ASTRONOMIA
1. A astronomia e o público leigo
Douglas Falcão (MAST/MCTI); Maria Esther Valente (MAST/MCTI)
e Eugenio Reis Neto (MAST/MCTI) 374

2. Planetários
Maria Helena Steffani (Planetário da UFRGS)
e Fernando Vieira (Fundação Planetário do Rio de Janeiro) 398

Capítulo 14
OLIMPÍADAS DE ASTRONOMIA
Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA)
João Batista Garcia Canalle (IF/UERJ) 418

Capítulo 15
ASTRÔNOMOS AMADORES
1. Dos tempos do Império aos observatórios robóticos
Tasso Augusto Napoleão (REA, CASP, CEAMIG) 448

2. Imigrantes japoneses no “menor observatório do mundo”
Oscar T. Matsuura (MAST/MCTI e HCTE/UFRJ) 489

Capítulo 16
QUESTÃO DO GÊNERO
A astronomia brasileira no feminino
Sueli M. M. Viegas (IAG/USP) 520

Capítulo 17
ASTRONOMIA ESPACIAL
Astronomia de altas energias
João Braga (DAS/INPE/MCTI) 548

Capítulo 18
EPÍLOGO
Reflexões sobre o passado e o futuro da astronomia no Brasil
José Antonio de Freitas Pacheco (Université de Nice-Sophia Antipolis, Observatoire de la Côte d'Azur, França) 578

SIGLAS E ABREVIAÇÕES 603

GLOSSÁRIO 623

AUTORES 645

Capítulo 1

PESQUISAS EM RAIOS CÓSMICOS

Dos primódios ao Observatório Pierre Auger

Carola Dobrigkeit Chinellato (IFGW/Unicamp)

Graças ao entusiasmo contagiante e à excelência dos físicos que introduziram aqui a pesquisa em raios cósmicos na década de 1930, construiu-se uma tradição nessa área no país. Ao longo das últimas oito décadas, sempre houve ao menos um grupo de pesquisadores dedicados ao desenvolvimento de detectores, à montagem de experimentos ou realizando medidas com resultados na fronteira do conhecimento nessa área. É necessário reconhecer que, através dessa pesquisa, Gleb Wataghin e César Lattes contribuíram também para o desenvolvimento da física moderna no Brasil. Atualmente é digna de nota a participação brasileira no Observatório Pierre Auger, na Argentina, desde o seu início na década de 1990. Resultado de colaboração internacional de físicos de 18 países, hoje nesse Observatório novas gerações de pesquisadores são formadas seguindo os passos dos pioneiros.

Introdução

A história da pesquisa em física de **raios cósmicos** no Brasil ao longo de oitenta anos é melhor acompanhada, se contada ao longo de quatro períodos sucessivos. Muito embora esses períodos não sejam por vezes nitidamente delimitados ou até mesmo possam ocorrer sobreposições no tempo, cada um deles tem suas próprias características e peculiaridades.

As sementes da pesquisa em **raios cósmicos** foram lançadas praticamente ao mesmo tempo pelo alemão Bernhard Gross (1905-2002), no Rio de Janeiro, e pelo ucraniano-italiano Gleb Wataghin (1899-1986), em São Paulo. Essas sementes germinaram em torno desses dois pioneiros, cresceram e se tornaram particularmente fortes em São Paulo, onde um grupo de jovens e dedicados cientistas construíram detectores e efetuaram medições de **chuveiros** de **raios cósmicos** no solo, em uma mina, em um túnel, numa montanha e até mesmo em pleno voo de avião. Um desses cientistas foi César Lattes (1924-2005).

Com ele e seu trabalho inicia-se o segundo período dessa história, com os primeiros resultados importantes da pesquisa e com a descoberta dos **píons** em emulsões nucleares expostas aos **raios cósmicos**. Muito embora esta descoberta tenha sido feita enquanto Lattes se encontrava no exterior, ela influenciou fortemente o futuro desenvolvimento da pesquisa em física e também, em particular, da pesquisa em **raios cósmicos** no país. Retornando ao Brasil após ter participado da primeira observação da produção artificial de **píons** em um acelerador, Lattes teve papel relevante na criação do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) em 1949 e na do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) em 1951. Ele também contribuiu para a criação do *Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya*, na Bolívia, onde físicos de vários países viriam a desenvolver as suas pesquisas em **raios cósmicos**.

O terceiro período é caracterizado pela pesquisa desenvolvida no âmbito da Colaboração Brasil-Japão. Por mais de trinta anos, membros dessa colaboração expuseram **câmaras de emulsões** nucleares no monte Chacaltaya e, assim, estudaram interações de partículas a **altas energias** induzidas por **raios cósmicos** de energias entre 10^{13} e 10^{17} eV (eV, abreviação de "elétron-Volt", é uma unidade física equivalente à energia cinética ganha por um elétron acelerado por uma diferença de potencial de 1 V).

O quarto período é o contemporâneo, em que a maioria dos físicos brasileiros que realizam pesquisas nessa área está envolvida na Colaboração Pierre Auger para estudar os **raios cósmicos** de mais **altas energias** já observados. A história da física de **raios cósmicos** no Brasil será contada com foco nos

quatro períodos acima e nos principais desenvolvimentos que possibilitaram o progresso, bem como o sucesso nos anos mais recentes.

Os pioneiros (1934-1949)

A história da física de **raios cósmicos** no Brasil inicia em 1933-34 e guarda um paralelo interessante com a história do desenvolvimento da pesquisa sistemática e estruturada em física, e com a criação de uma universidade e de instituições de pesquisa no Brasil. Embora a ciência moderna no Brasil tenha-se iniciado antes, com o apoio da Sociedade Brasileira de Ciências (atual Academia Brasileira de Ciências, ABC) a partir de 1916, foi a criação de universidades na década de 1930 e de instituições de pesquisa e agências de fomento na década de 1950, que proporcionou condições e deu impulso para o desenvolvimento da ciência no Brasil. Em todos esses passos pode-se notar a importância da contribuição de cientistas envolvidos com a física de **raios cósmicos**.

Dois físicos europeus, chegando quase que simultaneamente ao Brasil, foram responsáveis pela introdução da física de **raios cósmicos** trabalhando, respectivamente, no Rio de Janeiro e em São Paulo. Assim sucedeu que a pesquisa nesse tópico se desenvolveu em paralelo nas duas cidades, formando duas escolas com grupos de jovens estudantes se aglutinando em torno de duas figuras inspiradoras.

O primeiro físico de **raios cósmicos** a chegar ao Brasil foi Bernhard Gross, aportando no Rio de Janeiro em 1933, logo após terminar o seu doutorado na Alemanha. Gross trouxe consigo resultados de experimentos que ele havia realizado lá com o grupo de Erich Regener (1881-1955), medindo a intensidade dos **raios cósmicos** na estratosfera e sob a água. Essas medidas tinham sido feitas com sondas em voos de balão até altitudes de 20 mil m e a 250 m de profundidade no lago Constança, na Alemanha. Gross deu seminários e palestras na Escola Politécnica (EP) e no Instituto de Tecnologia, mais tarde chamado Instituto Nacional de Tecnologia (INT), apresentando aspectos interessantes dessas medidas. Uma versão resumida dessas apresentações foi publicada em 1934 (Gross, 1934) e, assim, Gross se tornou o autor da primeira publicação sobre **raios cósmicos** no Brasil.

Gross é mais bem conhecido na comunidade de **raios cósmicos** por seu trabalho sobre a transformação de Gross (Gross, 1933), que relaciona a absorção de feixes **isotrópicos** e unidirecionais de radiação. Usando essa transformação, pode-se obter a intensidade vertical de uma certa radiação por unidade

de ângulo sólido[1] em uma certa profundidade atmosférica em termos do fluxo integral (em todas as direções) dessa radiação naquela profundidade. Gross aplicou essa relação aos **raios cósmicos**. Esse trabalho foi desenvolvido antes de sua chegada ao Brasil, assim como um estudo da variação da ionização[2] causada pelos **raios cósmicos** com a pressão (Gross, 1932).

Nos anos seguintes, Gross trabalhou no INT e se dedicou à pesquisa em **raios cósmicos** e em metrologia. Ele publicou os resultados de seu trabalho em **raios cósmicos** em revistas internacionais e também nos Anais da ABC (Gross, 1935, 1936a, 1936b, 1937, 1938, 1939a, 1939b). Seu interesse na interação dos **raios cósmicos** com a matéria, que havia iniciado ainda na Europa com seus estudos da ionização causada pelos **raios cósmicos**, levou-o a gradualmente diversificar os temas de suas pesquisas. Ele veio a estudar e publicar as propriedades dielétricas de vários materiais, como a cera de carnaúba (Gross and Denard, 1945; Gross, 1949). Após 1940, motivado por seus múltiplos interesses, Gross trabalhou principalmente em tópicos tais como teoria de dielétricos, o efeito termodielétrico, viscoelasticidade e reologia. Ele também foi responsável pela descoberta de efeitos importantes de armazenamento de cargas em vidros e polímeros. Suas contribuições foram muito importantes para o progresso da pesquisa sobre eletretos[3].

Gross foi cientista completo, analisando fenômenos tanto sob a perspectiva teórica, quanto experimental. Ele foi um dos protagonistas no desenvolvimento da física no Brasil. Seus estudantes e colaboradores frequentemente reconheceram a importância da influência de Gross e sua contribuição para o desenvolvimento da física, como pode ser lido nas palavras de alguns de seus muitos estudantes e colegas, Sérgio Mascarenhas (Mascarenhas, 1999) e o também alemão Gerhard M. Sessler (Sessler, 1999). É também interessante acompanhar o testemunho do próprio Gross em entrevista para um projeto sobre a História das Ciências no Brasil (Gross, 1976).

O segundo cientista a chegar ao Brasil foi Gleb Wataghin, que veio a São Paulo em 1934. O governador do Estado de São Paulo à época, Armando de Salles Oliveira, havia criado a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL), que foi um dos pontos de partida para o posterior desenvolvimento da Universidade de São Paulo (USP). Ele deu a Teodoro Ramos, então professor da EP

---

[1] Enquanto o ângulo plano mede a abertura de um arco numa circunferência, o ângulo sólido mede o tamanho angular de um objeto bidimensional na superfície de uma esfera. O ângulo sólido é dado pela área que subtende esse objeto na esfera, quando visto do seu centro, dividida pelo quadrado do seu raio.

[2] Ionização é o processo físico de produção de **íons**.

[3] Eletreto é um material dielétrico que se mantém eletricamente polarizado. É o equivalente eletrostático do ímã permanente.

de São Paulo, a missão de convidar eminentes matemáticos e físicos na Europa, atraí-los para se fixarem em São Paulo e contribuírem para o desenvolvimento dos novos Departamentos de Física e Matemática da FFCL. O matemático italiano Luigi Fantappiè (1901-1956) e Gleb Wataghin aceitaram o convite e, já em 1935, davam aulas em São Paulo. A sugestão de convidar Wataghin para São Paulo tinha partido do italiano Enrico Fermi (1901-1954), prêmio Nobel de Física em 1938. Uma foto de Wataghin na década de 1930 quando veio se juntar à FFCL é mostrada na Figura 1.

Figura 1. Uma das raras fotos de Gleb Wataghin jovem, na década de 1930, na FFCL/USP (Acervo IF/USP)

Com a criação da USP, a EP, a Faculdade de Medicina e a Faculdade de Direito foram incorporadas à nova universidade. Estudantes de engenharia assistiam às aulas com aqueles da FFCL. No início, Wataghin lecionava em italiano e alguns de seus estudantes começaram a aprender a língua apenas para poderem acompanhar as suas aulas. Mas o seu pendor para as línguas logo o levou a se expressar em português. Foi Wataghin quem apresentou

a física moderna aos estudantes, falando com seu entusiasmo característico sobre o nascimento da mecânica quântica e sobre a teoria da relatividade. Ele também falava sobre os grandes físicos responsáveis pelos grandes avanços na física moderna que ele havia conhecido na Europa e que haviam se tornado seus amigos.

Embora fosse ele próprio um teórico, Wataghin iniciou aqui atividades de pesquisa tanto em física teórica, quanto experimental. Em 1938, ele convidou o físico italiano Giuseppe Occhialini (1907-1993) para vir a São Paulo e se juntar ao departamento. Wataghin e Occhialini haviam trabalhado juntos no grupo de Fermi, em Roma. Occhialini também havia trabalhado com Patrick Blackett (prêmio Nobel de Física em 1948) no Laboratório Cavendish, em Cambridge, entre 1931 e 1934, aplicando a técnica de contadores em coincidência a uma **câmara de nuvens** e confirmando a descoberta do pósitron[4] em **raios cósmicos**. A extraordinária habilidade experimental, a intuição apurada, a profunda perspicácia e criatividade de Occhialini muito contribuíram para impulsionar o grupo experimental em São Paulo.

Mário Schenberg (1914-1990) foi um dos primeiros estudantes de Wataghin e logo começou a trabalhar com ele em problemas teóricos. Embora ele seja mais lembrado por suas contribuições na **astrofísica** (ver "Mario Schenberg, pioneiro da astrofísica teórica no Brasil", no Capítulo "Astrofísica" no Volume I), ele também trabalhou em física de **raios cósmicos**, particularmente na teoria dos **chuveiros** multiplicativos e nas componentes dura e ultramole da **radiação cósmica** (Schenberg, 1939, 1940a, 1940b; Schenberg and Occhialini, 1939, 1940).

Entre os estudantes de engenharia daquela época estava Marcello Damy de Souza Santos (1914-2009) que, inspirado pelo entusiasmo de Wataghin, veio a se tornar um de seus assistentes. Posteriormente, veio se juntar a ele Paulus Aulus Pompéia (1911-1993). Ambos tinham grande habilidade em eletrônica, e foram responsáveis pela construção dos circuitos de coincidência usados nos primeiros experimentos em **raios cósmicos** realizados pelo grupo de Wataghin. A instrumentação e a eletrônica desenvolvida pelo grupo eram competitivas na época com aquelas usadas na Europa e nos Estados Unidos, assim como os resultados das suas pesquisas. Os circuitos de coincidência que eram construídos pelo grupo eram dez vezes mais rápidos do que outros existentes à época e possibilitaram a medida dos **chuveiros** penetrantes, experimentos que estavam então na vanguarda da física de **raios cósmicos**.

---

[4] O pósitron é a antipartícula do elétron. Um pósitron tem massa igual à de um elétron, e carga elétrica igual em módulo, porém de sinal contrário.

Medidas sistemáticas da **radiação cósmica** começaram em São Paulo, em 1937. Foi nesta época que Damy e Wataghin, ao prepararem experimento para medir **raios cósmicos**, publicaram seus progressos experimentais na construção de novos tipos de contadores (Souza Santos e Wataghin, 1937). Na década seguinte, muitos experimentos para detectar **chuveiros** penetrantes de partículas na **radiação cósmica** foram realizados por Wataghin e seus colaboradores no nível do solo, em túnel ou em altitudes de montanha. Em 1938, Wataghin e Damy publicaram os resultados preliminares de uma série de medidas da intensidade de **chuveiros** na mina de ouro de Morro Velho, MG, a uma profundidade equivalente de água de 200 e 400 m (Wataghin e Souza Santos, 1938; Wataghin e Souza Santos, 1939). No ano seguinte, já com a participação de Paulus Pompéia, eles publicaram na revista *Physical Review* os resultados de observações de grupos de partículas penetrantes em **chuveiros** de **raios cósmicos** que chegavam aos detectores simultaneamente (Wataghin *et al.*, 1940a). Essas medidas foram realizadas em São Paulo, a 750 m acima do nível do mar. Os contadores registraram grupos de partículas que tinham produzido coincidências quádruplas atravessando camada de 16 cm de chumbo. Resultados de outras medições foram relatados na ABC em 1940 (Pompéia *et al.*, 1940) e também publicados no ano seguinte na *Physical Review* (Souza Santos *et al.*, 1941). Em 1940 (Pompéia *et al.*, 1940), foram apresentados os resultados das medidas feitas no túnel em construção na Avenida Nove de Julho, em São Paulo. Medidas realizadas no túnel sob 30 m de solo argiloso (cerca de 50 m de equivalente em água) confirmaram a existência de **chuveiros** com ao menos duas partículas associadas, penetrando 20 cm de chumbo, correspondente à espessura da blindagem dos contadores subterrâneos. Na publicação seguinte dessa série de medidas, o grupo relatou a existência de **chuveiro**s com ao menos duas partículas tendo um alcance maior do que 17 cm em chumbo e com uma extensão da parte central do **chuveiro** penetrante, da ordem de 0,2 m^2 (Souza Santos *et al.*, 1941). Posteriormente, um quinto contador foi adicionado, permitindo-lhes estimar a área da parte central do **chuveiro** penetrante em 1 m^2 (Wataghin *et al.*, 1940b).

O ano de 1942 foi excepcional para a física de **raios cósmicos** no Brasil. Um grupo de físicos americanos liderado por Arthur Compton (1892-1962), prêmio Nobel de Física em 1927, visitou o país em missão com o propósito de medir a intensidade de **raios cósmicos** no hemisfério sul. Nessa ocasião, foi realizado simpósio sobre **raios cósmicos** no Rio de Janeiro, sob os auspícios da ABC. As contribuições dos físicos de **raios cósmicos** brasileiros sobressaíram nesse simpósio. A lista de autores inclui Bernhard Gross, seu ex-aluno Joaquim da Costa Ribeiro, Yolande Monteux, Giuseppe Occhiali-

ni, Gleb Wataghin, Marcello Damy, Adalberto Menezes, Mário Schenberg, padre jesuíta Francisco Xavier Roser, J. A. Ribeiro Saboya e Paulus Aulus Pompéia. A maior parte dos resultados apresentados nesse simpósio também foi publicada em revistas internacionais e somente a referência aos anais do simpósio é dada aqui (ABC, 1943). Também nesse simpósio, Wataghin apresentou sua hipótese sobre a produção múltipla de **mésons** (Wataghin, 1943). Apenas alguns anos mais tarde ele viria a publicar um tratamento mais completo sobre esse tema (Wataghin, 1946).

Em 1941, César Lattes iniciou seus estudos na USP, também como estudante de Wataghin. Este imediatamente reconheceu o seu potencial e o convidou para se tornar seu assistente. Após graduar-se em 1943, Lattes começou a trabalhar com Mário Schenberg e Wataghin em física teórica. Uma foto de Lattes por ocasião de sua formatura na FFCL em 1943 é mostrada na Figura 2. Em 1944, foi designado terceiro assistente em física teórica e matemática na FFCL/USP. Em seu primeiro trabalho, estudou a influência de condições termodinâmicas extremas sobre a abundância dos núcleos no universo. Isso resultou em sua primeira publicação em uma revista internacional (Lattes and Wataghin, 1946).

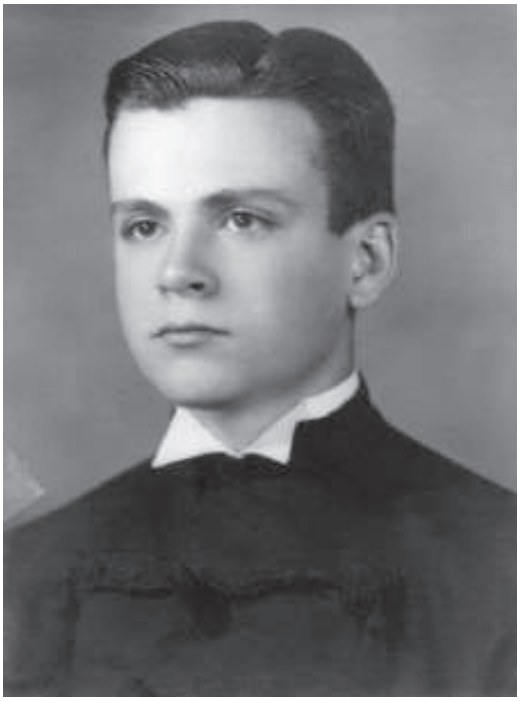


Figura 2. Cesar Lattes em 1943, por ocasião de sua formatura na FFCL da USP (Acervo Família Lattes)

Em 1945, Lattes interessou-se muito pelas atividades de Occhialini e de seu grupo experimental. Occhialini estava tentando instalar uma **câmara de nuvens**, mas sem ter êxito. Lattes gostava muito de contar uma de suas primeiras experiências em física teórica e que acabou lhe dando motivo para mudar para a física experimental (Lattes, 1999). Dizia que a sua inabilidade para manipular longos cálculos havia feito com que mudasse para a física experimental. Costumava acrescentar, não sem um largo sorriso, que a Lagrangiana[5] que ele tinha que calcular consistia de 99 termos. No entanto, os resultados dos cálculos que ele havia feito com Schenberg, em colaboração também com Walter Schützer[6] (1911-1954), envolvendo a teoria clássica de partículas carregadas e com momentos de dipolo, resultaram na publicação de um artigo (Lattes *et al*., 1947f).

Outro estudante iniciou seus estudos praticamente ao mesmo tempo que Lattes: Oscar Sala (1922-2010). Durante a mencionada missão de Arthur Compton ao Brasil em 1942, medidas da intensidade de **raios cósmicos** foram realizadas com detectores lançados em balões a partir de várias cidades do Estado de São Paulo. Esse tipo de balão era usualmente empregado em medidas meteorológicas e alcançava 20 a 30 km de altitude na estratosfera. Em Bauru, um jovem estudante cuja família vivia na cidade assistiu aos cientistas fazendo seus experimentos e sentiu-se inspirado e excitado: este era Oscar Sala. Decidiu então estudar física em São Paulo e logo começou a trabalhar com Wataghin e a medir **chuveiros** de **raios cósmicos**. Ver a nota de rodapé 11 em "Imigrantes japoneses no menor observatório do mundo" no Capítulo "Astrônomos amadores" neste Volume.

Um estudo cuidadoso da frequência de **chuveiros** penetrantes foi realizado por Sala e Wataghin (Sala and Wataghin, 1945). Nesse trabalho, os autores apresentaram resultados de estudos comparativos de **chuveiros** de partículas penetrantes em várias altitudes com diferentes materiais em altitudes de 1.750 m e 750 m, em Campos de Jordão, SP, e em São Paulo, respectivamente. O aparato experimental era similar àquele utilizado em experimentos anteriores de Wataghin e seu grupo. Coincidências quádruplas foram observadas entre contadores totalmente blindados por camadas de chumbo com espessura mínima de 10 cm, e também separados lateralmente por placas de chumbo de 10 cm de espessura. Posteriormente, novas medidas foram realizadas, adicionando uma camada absorvedora de 80 cm de água. Dessas medidas, os autores concluíram que

---

[5] Lagrangiana é uma função da mecânica clássica que, usando apenas o formalismo escalar, sem usar vetores, contém e permite obter todas as informações sobre um sistema dinâmico.

[6] Walter Schützer (1922-1963), físico teórico, trabalhou com Mário Schenberg na USP e com ele publicou vários trabalhos. Também colaborou com o americano John Archibald Wheeler e com o argentino Guido Beck.

> esta camada funciona com um absorvedor e como uma fonte de radiação secundária. Nossas observações parecem indicar que grupos de partículas penetrando mais do que 30 cm de Pb são produzidas em uma camada de água de apenas 80 cm (trecho traduzido de Sala and Wataghin, 1945).

Um segundo trabalho de Sala e Wataghin (Sala and Wataghin, 1946) também relata medidas comparativas em diferentes altitudes: em São Paulo (750 m), Campos do Jordão (1.750 m) e, em torno de 7 mil m, com medidas realizadas durante três voos em avião. Os resultados mostraram que a intensidade de partículas geradoras dos **chuveiros** de **raios cósmicos** penetrantes decrescia muito rapidamente com a profundidade atmosférica, provavelmente seguindo uma lei exponencial. Para esse experimento, Wataghin recebeu assistência da Força Aérea Brasileira (FAB). Uma foto histórica tirada em um desses voos é mostrada na Figura 3, com Wataghin e seu braço direito no laboratório, o técnico Guidolino Bentivoglio.

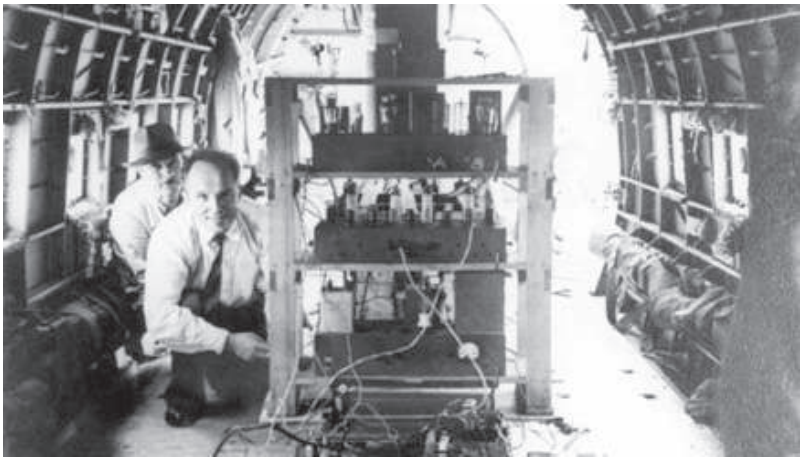


Figura 3. Gleb Wataghin (em primeiro plano) e seu braço direito no laboratório, o técnico Guidolino Bentivoglio (ao fundo), no interior de um avião da FAB com seu equipamento para medir **raios cósmicos** em grandes altitudes na década de 1940 (Acervo IF/USP)

No ano seguinte, Wataghin viria a publicar mais resultados de medidas da variação da frequência de **chuveiros** durante voos em avião em altitudes de 6.700 e 7.900 m. Com a adição dos dados obtidos a essas duas altitudes, aos valores anteriormente obtidos, ele pôde concluir que a variação observada com a altitude concordava com a hipótese de uma absorção exponencial para a radiação primária geradora de **chuveiros**, estimando o comprimento médio de absorção em 101 g/cm^2. Wataghin chegou até mesmo a dar uma estimativa para os valores

das seções de choque[7] das partículas penetrantes com núcleos de oxigênio ou nitrogênio do ar de aproximadamente $2{,}5 \times 10^{-25}$ cm^2 por núcleo (Wataghin, 1947).

Outros experimentos foram feitos pelo grupo para estudar a seção de choque para produção de **chuveiros** penetrantes em vários materiais. Os resultados das primeiras séries de medidas usando água e ferro como materiais em que os **chuveiros** eram produzidos foram publicados por Meyer[8] *et al.* (1948). Os dados revelaram que a seção de choque por núcleon[9] era maior na água do que no ferro, indicando que, ou o coeficiente de absorção dos **raios cósmicos**, ou a constituição e multiplicidade dos **chuveiros** resultantes dependia da estrutura nuclear. Um dos autores deste trabalho foi Andrea, filho de Gleb Wataghin. Posteriormente, Meyer e Georges Schwachheim[10] também publicaram uma interpretação das medidas realizadas por Cocconi[11] (1949), considerando a possibilidade de possíveis fenômenos de troca de núcleons gerando **chuveiros** penetrantes (Meyer and Schwachheim, 1949).

Anos mais tarde, dois trabalhos foram publicados investigando a natureza das partículas primárias geradoras de **chuveiros** penetrantes, a partir de medidas obtidas a uma altitude de 1.750 m acima do nível do mar, em Campos do Jordão. No primeiro trabalho (Meyer *et al.*, 1949a), os autores explicaram seus resultados experimentais considerando dois tipos diferentes de **mésons**, referindo-se à publicação de Lattes, Occhialini e Powell em 1947 (Lattes *et al.*, 1947d e 1947e), e identificando as partículas penetrantes nos **chuveiros** como "mésons μ (mu)" ou múons, como eram chamados naquela época. No segundo trabalho (Meyer *et al.*, 1949b), o alcance médio da radiação que gera **chuveiros** penetrantes foi determinado na atmosfera e na água, resultando, respectivamente, em ~120 g/cm^2 e ~55 g/cm^2. Nenhuma assimetria leste-oeste foi observada para essa radiação, dentro das

---

[7] Seção de choque é a área efetiva de um núcleo atômico, que quantifica a probabilidade de ocorrência de um processo de interação com partículas da **radiação cósmica**.

[8] O físico Hans Albert Meyer (1925-2010) chegou ao Brasil em 1940, tendo sido aluno de Wataghin em São Paulo. Retornou à Europa em 1949 e lá desenvolveu sua carreira como físico nuclear. De volta ao Brasil, em 1975, Jean Meyer, como ficou conhecido, dedicou-se à pesquisa sobre fontes de energias alternativas e trabalhou no Instituto de Física Gleb Wataghin, IFGW/Unicamp. Ver a Figura 9.

[9] Núcleon é o nome dado às partículas constituintes dos núcleos atômicos, os prótons e nêutrons.

[10] Georges Schwachheim (1925-2012) fez parte da primeira geração de físicos do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), onde atuou como pesquisador na área de algoritmos numéricos e computacionais.

[11] O físico italiano Giuseppe Cocconi (1914-2008) exerceu notável liderança no CERN (*European Organization for Nuclear Research*) e se tornou conhecido por propor a busca de vida inteligente fora da Terra através da **radioastronomia**.

incertezas experimentais. Como curiosidade, neste trabalho foi utilizada a transformação proposta por Bernhard Gross (Gross, 1933) para o estudo da absorção da radiação produzindo os **chuveiros** penetrantes.

Wataghin retornou à Itália em 1949 e continuou trabalhando na física de **raios cósmicos**. Ele não rompeu seus laços com o Brasil e com os seus estudantes, colaboradores e amigos que havia feito nos anos vividos aqui. Ele ainda retornou ao Brasil na década de 1970, indo então para a recém-fundada Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), onde Marcello Damy era diretor do Instituto de Física, e para onde César Lattes e seu grupo de física de **raios cósmicos** haviam se transferido. Em reconhecimento à extraordinária contribuição para o desenvolvimento da física no Brasil, foi dado o nome de Gleb Wataghin ao Instituto de Física da nova universidade (IFGW/Unicamp). Wataghin também chegou a dar aulas e palestras em Campinas e nova geração de estudantes pôde aprender com ele e ser influenciada pelo seu entusiasmo enquanto contava o nascimento da mecânica quântica ou da relatividade geral e falava da produção de bolas-de-fogo (ver adiante) em interações de **raios cósmicos** de **altas energias**, que lhe eram tão caras. Nessas oportunidades, ele sempre acrescentava o comentário que os seus amigos na época faziam sobre essa ideia, imitando-os, com os braços bem abertos: *Wataghin, you are dreaming*...

A Figura 4 mostra Wataghin em aula sobre relatividade geral no anfiteatro do IFGW na década de 1970. A Figura 5 foi tirada em 1975, durante uma das várias visitas de Wataghin ao IFGW, e o retrata ladeado pela autora deste texto e José Augusto Chinellato.

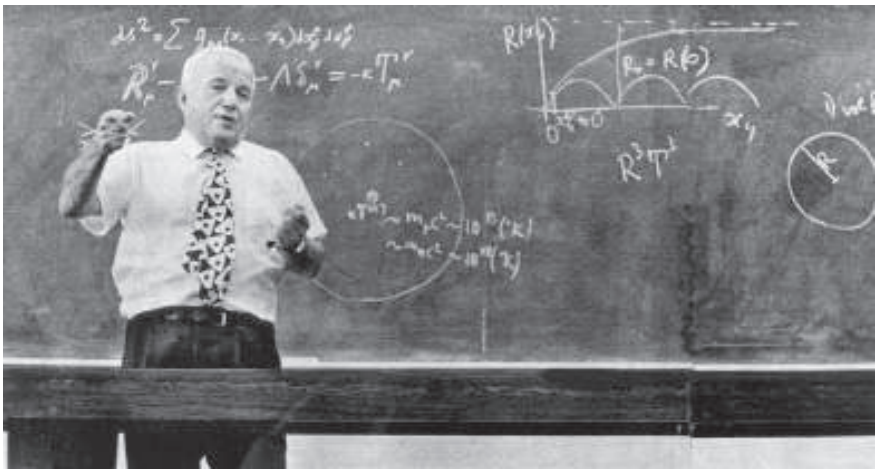


Figura 4. Gleb Wataghin dando aula de Relatividade Geral no IFGW/Unicamp na década de 1970 (Jornal da Unicamp 334, 2006)

Figura 5. Wataghin entre os professores do IFGW, a autora deste texto e José Augusto Chinellato, em 1975, no corredor central do IFGW/Unicamp (Acervo Família Chinellato)

Descoberta do píon e suas consequências (1946-1959)

Após o término da II Guerra Mundial, Occhialini transferiu-se para Bristol a fim de trabalhar com Cecil Powell (1903-1969). Naquela época, Powell e seu grupo estudavam reações nucleares utilizando como detectores emulsões nucleares produzidas pela firma britânica *Ilford Ltd*. O grupo também já tinha exposto emulsões à **radiação cósmica** nos Alpes, a 3.500 m de altitude, a fim de procurar por produtos de desintegrações nucleares. Occhialini logo começou a trabalhar com essas emulsões, inclusive com algumas novas, com maior concentração de brometo de prata, produzidas em caráter experimental pela *Ilford Ltd.*

Nesse mesmo tempo, Lattes estava trabalhando na USP com uma **câmara de nuvens** e tentava colocá-la para funcionar, em colaboração com Ugo Camerini[12] e Andrea Wataghin. Quando eles finalmente foram bem-sucedidos,

[12] O italiano Ugo Camerini (1925-) estudou na USP e trabalhou em **raios cósmicos** com Wataghin. Na década de 1950 retornou ao Brasil e trabalhou no CBPF como técnico especialista da UNESCO. Vive atualmente em Madison, WI, EUA.

Lattes enviou algumas fotografias obtidas com a câmara para Occhialini em Bristol. Em retribuição, Occhialini mandou algumas impressões de fotomicrografias[13] de traços de prótons e partículas α (alfa)[14] observados nas emulsões concentradas. Imediatamente, Lattes reconheceu o potencial deste tipo de detector e demonstrou seu interesse em se juntar ao grupo de Bristol a fim de trabalhar com essas novas placas. Powell e Occhialini convidaram-no para vir a Bristol, e Lattes lá chegou em 1946. Pouco tempo depois, Camerini atendeu ao chamado de Lattes e juntou-se ao grupo.

Uma das primeiras tarefas dadas a Lattes em Bristol foi estudar o decaimento α do elemento químico samário. Utilizando as novas emulsões concentradas e a relação alcance-energia[15] obtida no estudo de reações deutério[16]-próton e deutério-α, Lattes e Peter Cuer conseguiram determinar o tempo de decaimento do samário (Cuer and Lattes, 1946).

Lattes também foi incumbido de medir o fator de encolhimento das novas emulsões concentradas e calibrá-las, já que as emulsões encolhem após a revelação. Tendo esses objetivos em mente, Lattes decidiu investigar a relação entre a energia de prótons, partículas α e outros núcleos leves com seus alcances nessas novas emulsões. Os prótons que ele usava para tal provinham de reações nucleares induzidas por feixes homogêneos de dêuterons[17] primários de 900 keV[18], produzidos pelo acelerador de Cockcroft-Walton em Cambridge, incidindo sobre cinco alvos de elementos leves. Conhecendo as massas nucleares envolvidas, era possível calcular as energias dos prótons. As partículas α utilizadas no experimento provinham do decaimento natural de elementos radioativos. Medindo o alcance médio de grupos homogêneos de prótons e partículas α, Lattes, Peter Fowler e Peter Cuer foram capazes de obter uma relação alcance-energia para prótons de até 10 MeV[19], que posteriormente foi muito útil em pesquisas de partículas carregadas (Lattes *et al.*, 1947a, 1947b). Ao estudar esses processos, Lattes solicitou à *Ilford Ltd*. que adicionasse bórax[20] às emulsões. Sua intenção era usá-las no estudo de reações nucleares envolvendo o boro para determinar a energia e o momento dos nêutrons produzidos nas reações.

---

[13] Fotomicrografia é uma fotografia tirada através de um microscópio.

[14] A partícula α, constituída de dois prótons e dois nêutrons, é equivalente ao núcleo do hélio.

[15] Na relação alcance-energia, o alcance é o comprimento do traço deixado na emulsão pela partícula carregada leve produzida, no caso, a partícula α ou o próton.

[16] O deutério é um isótopo do hidrogênio e o seu núcleo tem um nêutron, além de um próton.

[17] Dêuteron é o núcleo do deutério.

[18] 1 keV = 1 mil eV.

[19] 1 MeV = 1 milhão eV.

[20] Bórax, ou borato de sódio, é um sal hidratado contendo sódio e boro.

Lattes e Occhialini decidiram ainda expor algumas placas de emulsão em montanhas. Occhialini levou algumas placas ao Pic du Midi (2.800 m), nos Pirineus franceses, e deixou-as expostas por seis semanas. Somente algumas dessas placas tinham sido carregadas com bórax, mas todas eram concentradas, para as quais a relação alcance-energia havia sido obtida. Após recuperar as emulsões e revelá-las, Occhialini notou diferença entre as placas normais e aquelas carregadas com bórax: essas últimas tinham registrado quantidade muito maior de eventos do que as normais. A adição de bórax havia tornado as emulsões mais resistentes contra a perda da imagem, e a imagem latente na emulsão perdurava por tempo mais longo[21]. Em consequência, aquelas emulsões registraram número maior de traços de partículas do que as normais. O número e a variedade de traços registrados nas emulsões carregadas com bórax eram tão impressionantes, que a intenção original de medir a energia dos nêutrons logo se tornou secundária. Após alguns dias de observação, uma das microscopistas achou um evento incomum. Nas palavras do próprio Lattes, ele descreve este evento como "um **méson** parando, e, emergindo do fim do seu traço, um novo méson de alcance cerca de 600 mm, todos contidos na emulsão"[22] (Lattes, 1984). O maior espalhamento múltiplo nesse traço e a variação da densidade de grãos ao longo de seu comprimento permitiam distinguir a partícula observada de um próton. Dentro de somente poucos dias, um segundo evento foi observado, mas a partícula secundária não parara dentro da emulsão. Medindo a densidade de grãos, foi possível obter um alcance extrapolado da mesma ordem daquele do primeiro evento, em torno de 610 mm. A observação desses dois eventos foi publicada na revista *Nature* (Lattes *et al.*, 1947c). No mesmo volume da revista, Lattes e Occhialini publicaram a determinação da energia e direção de nêutrons da **radiação cósmica**, obtidos por meio de tais emulsões (Lattes and Occhialini, 1947).

---

[21] A emulsão contém brometo de prata. Quando uma partícula carregada atravessa a emulsão, ela ioniza a prata. Posteriormente, quando a emulsão é revelada, ocorre uma reação de oxirredução e a prata ionizada é transformada em prata metálica. Esse é o processo de formação da imagem. A adição de bórax à emulsão protela a **recombinação** da prata ionizada com o íon de bromo, permitindo que a emulsão fique por tempo mais longo sem perder a imagem latente.

[22] Na época do descobrimento, as partículas com massa entre a massa do próton e do elétron eram chamadas genericamente de mésons. Assim, falava-se inicialmente em **méson** π (pi) e méson μ, e só anos mais tarde o méson μ passou a ser denominado múon e a ser reconhecido como um membro da família dos léptons (ver **neutrino**), não mais um méson. O **méson** π continuou sendo um **méson** e passou a ser designado simplesmente como **píon**. Por essa razão, Lattes se refere aos decaimentos do **píon** e do múon como o decaimento de dois mésons.

Quando ficou claro que era necessário registrar um número maior de eventos, Lattes foi pesquisar no Departamento de Geografia da Universidade de Bristol e descobriu que no monte Chacaltaya, nos Andes bolivianos, havia uma estação meteorológica operando a 5.200 m de altitude, a apenas 20 km da capital La Paz. Lattes propôs a Powell e a Occhialini que ele próprio voasse até a Bolívia e lá expusesse as emulsões carregadas de bórax aos **raios cósmicos**. Lattes gostava de contar que a sua escolha de viajar numa companhia brasileira, ao invés de britânica, lhe salvou a vida já que o voo no qual ele supostamente deveria ter viajado acidentou-se próximo a Dakar, vitimando todos os passageiros (Lattes, 1984). A parte restante da história é bem conhecida. Quando Lattes retornou a Bristol, as emulsões foram reveladas e examinadas. Foram encontrados 30 eventos em que se podia observar o decaimento de um **píon** em um múon, e o decaimento subsequente do múon. Da contagem de traços foi também possível obter a razão entre as massas dessas partículas. Os resultados foram publicados imediatamente (Lattes *et al*., 1947d, 1947e). Os autores identificaram a partícula mais pesada, o **píon**, como a partícula cuja existência havia sido prevista pelo físico teórico japonês Hideki Yukawa (1907-1981), (Yukawa, 1935) e a partícula secundária, o múon, como a partícula que havia sido descoberta em 1937 por C. D. Anderson e S. H. Neddermeyer (Neddermeyer and Anderson, 1937) e, independentemente, por J. C. Street e E. C. Stevenson (Street and Stevenson, 1937).

Uma montagem de fotomicrografias dos traços deixados na emulsão por um **píon** que decai, produzindo um múon, é mostrada na Figura 6. Vê-se o traço deixado por um **píon**, quase horizontal, no lado superior da Figura, e que decai em um múon, o qual, por sua vez, deixa traço mais longo, aproximadamente vertical. O comprimento total do traço do múon na emulsão é cerca de meio milímetro. A foto foi obtida pela equipe no laboratório em Bristol, e posteriormente publicada na revista *Nature* em 24 de maio de 1947 (Lattes *et al*., 1947d, 1947e).

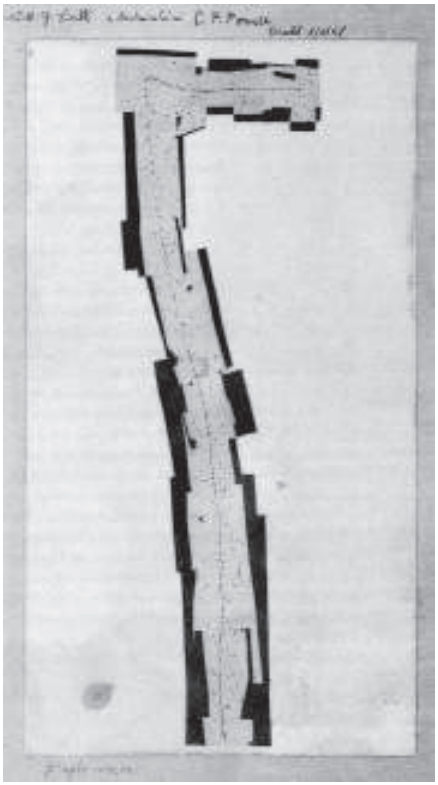


Figura 6. Fotomontagem autografada por Lattes, Occhialini e Powell, datada de 3/4/47, de um "duplo méson", como Lattes escreve no rodapé (Lattes *et al.*, 1947d)

Lattes deixou Bristol no fim de 1947 com uma bolsa da Fundação Rockefeller e a intenção de trabalhar com Eugene Gardner nos Estados Unidos, na produção artificial de **píons** no cíclotron[23] de 184 polegadas que começara a operar em Berkeley. A expectativa geral era a de que a energia das partículas α do feixe do acelerador, que era de 380 MeV, era insuficiente para produzir **píons**. Lattes, entretanto, acreditava que a energia poderia ser suficiente no caso daquelas colisões em que o momento interno do núcleon do alvo[24] estivesse alinhado com o momento do feixe, assim fornecendo energia suficiente no sistema do centro de massa para que um **píon** pudesse ser produzido. Apenas uma semana após chegar a Berkeley, Lattes foi capaz de achar traços de **píons**

[23] Um tipo de acelerador de partículas eletricamente carregadas, em que estas descrevem uma trajetória espiral, do centro para fora.

[24] O alvo mais utilizado foi de carbono, embora algumas observações também tivessem sido feitas bombardeando alvos de berílio, cobre e urânio.

nas emulsões que havia trazido de Bristol e que haviam sido expostas no acelerador. Esta descoberta tão rápida demonstra como é importante conhecer o que se procura: Lattes conhecia os traços que **píons** deixavam nas emulsões e, assim, não teve dificuldade em identificar traços dessas partículas quando produzidos artificialmente. Dois trabalhos foram publicados descrevendo o método que foi empregado e seus resultados. O primeiro descreve a observação de **píons** negativos (Gardner and Lattes, 1948) e o segundo, a observação de **píons** positivos sendo produzidos (Burfening *et al*., 1949). A maior parte dos resultados que foram relatados referem-se a **píons** produzidos em alvos de carbono. As emulsões utilizadas foram as fabricadas pela *Ilford Ltd*. Usando o valor medido do alcance dos **píons** na emulsão e o raio de curvatura no campo magnético aplicado, a massa dos **píons** foi estimada como sendo cerca de 300 vezes a massa do elétron.

Ainda em 1948, Lattes encontrou-se com Hideki Yukawa, em Princeton, nos EUA. Nessa oportunidade, foi tirada foto histórica de vários físicos brasileiros com o famoso físico japonês, foto esta mostrada na Figura 7.

Figura 7.
Da esquerda para a direita, de pé, ao fundo, Walter Schützer, Hideki Yukawa, Cesar Lattes; sentados, em primeiro plano, Hervásio de Carvalho, José Leite Lopes e Jayme Tiomno. Foto tirada em Princeton, em 1948. O fotógrafo foi o padre Xavier Roser (Acervo CBPF)

Lattes relatou também outro fato curioso ocorrido naquela época (Lattes, 1984). Pouco antes de deixar Berkeley, em fevereiro de 1949, Edwin McMillan (1907-1991), físico americano colaureado com o prêmio Nobel de Química de 1951, pediu-lhe para que olhasse algumas placas de emulsões que haviam

sido expostas a **raios** γ (gama) produzidos no síncrotron[25] de elétrons de 300 MeV, então em operação. Lattes conta que em apenas uma noite ele foi capaz de detectar doze **píons**, e que na manhã seguinte entregou as placas a McMillan com mapas informando onde ele poderia encontrar os **píons**. Essas observações nunca foram publicadas, mas, ainda segundo Lattes, essa seria a primeira observação da reação de fotoprodução de **píons**.

Lattes retornou ao Brasil em 1949 e, com outros cientistas brasileiros importantes, criou o CBPF no Rio de Janeiro. Ele deixou a USP, transferindo-se para o Rio de Janeiro para se tornar o primeiro diretor no novo centro de pesquisa e ministrar aulas na Faculdade Nacional de Filosofia (FNFi), da Universidade do Brasil (UB). Nos anos seguintes, as atividades de pesquisa em física no CBPF se desenvolveram e atraíram estudantes de todas as partes da América do Sul. Lá a física de **raios cósmicos** foi um dos temas principais de pesquisa desde os primeiros anos.

O primeiro trabalho científico realizado por físicos no CBPF reflete o legado de Lattes. Elisa Frota Pessoa (1921-), pesquisadora emérita do CBPF, e Neusa Margem Amato (1926-) usaram emulsões nucleares irradiadas no acelerador de Berkeley, que Lattes lhes havia oferecido para estudar o decaimento de **píons** positivos e concluírem que o modo de decaimento resultando em elétrons era, no mínimo, cem vezes menos frequente do que aquele resultando em múons (Frota Pessoa e Margem, 1950).

Outro gesto de Lattes teve impacto na física de **raios cósmicos** fora do Brasil, mais especificamente, na Argentina. Ele presenteou Estrella Mazzolli de Mathov com algumas placas de emulsão trazidas de Bristol. Estrella juntou um grupo de estudantes e começou a trabalhar com essas emulsões (Bonifazi, 2010), também dando impulso ao desenvolvimento da área na Argentina.

Em 1951, Lattes também participou dos esforços para criar o CNPq, de enorme importância para o desenvolvimento científico e tecnológico do país nos últimos sessenta anos. Nesse mesmo período, foram iniciados os trabalhos para a construção de um laboratório permanente de física de **raios cósmicos** no monte Chacaltaya. O espanhol Ismael Escobar Vallejo (1918-2009) foi a pessoa responsável por instalar uma rede de estações meteorológicas na Bolívia, inclusive aquela em Chacaltaya que tinha chamado a atenção de Lattes quando procurava por um local a grande altitude para expor as emulsões. A importância da descoberta do **píon** e a observação de

[25] O síncrotron é um acelerador de partículas eletricamente carregadas em que estas descrevem uma trajetória circular, sendo aceleradas em sincronia com a atuação de um campo magnético que as direciona.

seu decaimento por Lattes, Occhialini e Powell (Lattes *et al.*, 1947d e 1947e) teve repercussão no mundo todo e inspirou Escobar a apresentar, em 1949, proposta de construção de um laboratório permanente. Sua proposta foi aprovada pela *Universidad Mayor de San Andrés* e pelo governo boliviano em 1951. O *Laboratório de Física Cósmica de Chacaltaya* foi criado nesse mesmo ano. Mesmo antes de sua aprovação, cientistas de vários países tinham ido à Bolívia em missões para expor detectores à **radiação cósmica**. Em 1952, foi assinado acordo entre a *Universidad Mayor de San Andrés* e o CBPF, vindo a possibilitar que físicos brasileiros pudessem trabalhar naquele Laboratório. Nos anos seguintes, expedições científicas oriundas de vários países lá chegaram e encontros foram organizados e realizados, dando grande impulso ao desenvolvimento científico local. Um relato detalhado da história do *Laboratório de Física Cósmica de Chacaltaya* e de sua relevância para a ciência boliviana pode ser encontrado em Bastos (1999). Vários físicos brasileiros estiveram envolvidos em pesquisas nesse laboratório, em colaboração com físicos e técnicos bolivianos. Além de Lattes, Occhialini e Camerini após retornarem de Bristol, Roberto Salmeron, Hervásio de Carvalho, Alfredo Marques, Rudolph Thom, Ricardo Palmeira, Fernando de Souza Barros lá trabalharam com Ismael Escobar e Alfredo Hendel, da Bolívia, apenas para nomear alguns. Georges Schwachheim e Andrea Wataghin desenvolveram projeto para estudar a dependência da criação de **chuveiros** penetrantes com a altitude, mas seus resultados acabaram não sendo publicados em revistas internacionais.

No início da década de 1950, o CBPF dispunha da instrumentação necessária para a pesquisa em **raios cósmicos**. Se necessário, os instrumentos eram levados para o monte Chacaltaya. Sempre que possível, o transporte do Rio de Janeiro para La Paz era feito em voos regulares do Correio Aéreo Nacional da FAB, que auxiliava no transporte de instrumentos e de pessoas para a Bolívia. Para detectores maiores e mais pesados, quando o uso de aviões era impossível, o transporte era em trens ou pequenos caminhões. Rios eram cruzados em carros de bois. Tais expedições são descritas e documentadas em Marques (1994). Uma expedição foi organizada para transportar para Chacaltaya uma **câmara de nuvens** doada ao CBPF por Marcel Schein (1902-1960), da Universidade de Chicago. A intenção de Lattes e colaboradores era a de usar a câmara para medir o tempo de vida média do **píon** e investigar o **espectro de energia** e densidade de **chuveiros** em Chacaltaya. Também havia a intenção de estudar outros **mésons** e partículas instáveis nos **chuveiros** detectados. Entretanto, não há resultados publicados referentes a esses trabalhos.

Entre 1955 e 1956, Lattes passou um ano sabático nos Estados Unidos, inicialmente como pesquisador associado no Instituto Enrico Fermi para Estudos

Nucleares da Universidade de Chicago e, posteriormente, na Universidade de Minnesota. Participou então de estudos do decaimento de **píons** produzidos em interações de **raios cósmicos** de **altas energias**. Emulsões nucleares foram usadas como detectores e expostas em balões a 30 km de altitude. Desse período datam as publicações Fowler *et al.*, 1957 e Anderson and Lattes, 1957.

Retornando ao Brasil em 1957, Lattes retoma suas pesquisas e atividades de ensino no CBPF e na UB no Rio de Janeiro. Em 1960, Schenberg convida-o para retornar à USP. Ele aceita o convite e forma um grupo de pesquisa na USP para investigar interações de **raios cósmicos** de **altas energias** com emulsões nucleares expostas no monte Chacaltaya.

Entre 1960 e 1962, Lattes participa do projeto *International Cooperative Emulsion Flight*, com **câmaras de emulsões** que eram expostas a **raios cósmicos** em voos de balão organizados pelo já citado Marcel Schein e seus colaboradores da Universidade de Chicago. Os balões atingiam 30 km de altitude. Após processamento químico, as emulsões eram distribuídas entre os vários laboratórios participantes da colaboração em quinze países. O grupo de Lattes na USP era um dos participantes.

Um novo período de intensas atividades experimentais iniciou-se na década de 1960, quando Lattes e seus colaboradores prepararam a construção das primeiras **câmaras de emulsão** para serem expostas em Chacaltaya pela Colaboração Brasil-Japão.

Colaboração Brasil-Japão (1959-)

Ao fim do segundo período, a pressão sobre a área de pesquisa em **raios cósmicos** era crescente, com mais aceleradores de partículas sendo construídos e atingindo energias cada vez maiores. A pesquisa em **raios cósmicos** gradualmente mudou o seu foco para estudar interações nucleares em energias que ainda não podiam ser alcançadas nos aceleradores da época.

Neste terceiro período a maioria dos físicos que se dedicavam ao estudo de **raios cósmicos** no Brasil participou dos experimentos com **câmaras de emulsões** nucleares realizados no âmbito da Colaboração Brasil-Japão. Esta colaboração durou por mais de trinta anos e produziu resultados significativos sobre interações nucleares induzidas por partículas da **radiação cósmica** com energias entre 10^{13} e 10^{17} eV.

É interessante relembrar as circunstâncias que resultaram nessa colaboração frutuosa e nos laços que conectaram físicos desses dois países. A descoberta do **píon** e de seu decaimento no múon por Lattes, Occhialini e Powell em

1947 (Lattes *et al.*, 1947d e 1947e) forneceu evidências decisivas da existência dos **mésons**. A existência dessas partículas, além de ter sido predita por Hideki Yukawa (Yukawa, 1935), era também consistente com a hipótese da teoria dos dois **mésons** de S. Sakata e T. Inoue (Sakata and Inoue, 1946) e também de Y. Tanikawa (Tanikawa, 1947). Embora esses autores tivessem apresentado suas teorias no Japão em 1942, os trabalhos correspondentes só foram publicados em revistas internacionais anos mais tarde. Físicos japoneses também tinham participado em discussões sobre o spin[26] da partícula prevista por Yukawa. Enquanto o americano Robert Marshak (1916-1992) e o alemão Hans Bethe (1906-2005), prêmio Nobel de Física de 1967, apresentavam argumentos a favor de serem férmions (Marshak and Bethe, 1947), Taketani e seus colaboradores defendiam a ideia de que a partícula responsável pelas forças nucleares deveria ser um bóson (Taketani *et al.*, 1949).

Yukawa recebeu o prêmio Nobel em Física em 1949 após a confirmação da existência de **mésons**. Este foi um evento muito importante à época no Japão. Em reconhecimento a esta importância, a comunidade de imigrantes japoneses no Brasil e seus descendentes iniciaram um movimento para convidar Yukawa para vir a São Paulo, e coletaram fundos para sua visita (ver "Imigrantes japoneses no menor observatório do mundo" no Capítulo "Astrônomos amadores" neste Volume). Entretanto, a saúde de Yukawa impediu que essa visita se concretizasse na ocasião, de modo que os fundos foram enviados ao Japão para serem usados no apoio de atividades científicas naquele país. Em particular, uma parte desse dinheiro foi dada a um grupo de jovens físicos para estudo de **raios cósmicos** utilizando emulsões nucleares. Yoichi Fujimoto relata a importância desse apoio e a influência que teve no desenvolvimento futuro de atividades de pesquisa através da colaboração de físicos do Brasil e do Japão (Fujimoto, 1999). Em seu testemunho, ele descreve o progresso conseguido na produção de placas de emulsão nuclear de boa qualidade no Japão. Fujimoto também relata projeto para desenvolver um novo tipo de detector consistindo de um sanduíche de muitas camadas de placas de chumbo e de material fotossensível. As camadas fotossensíveis eram compostas de placas de emulsão nuclear e de filmes de raios-X altamente sensíveis, também fabricados no Japão. Esses filmes de raios-X registravam partículas de **chuveiros** eletromag-

[26] O spin é uma propriedade quântica das partículas fundamentais, relacionada ao seu momento angular intrínseco. Partículas fundamentais com spin semi-inteiro (1/2, 3/2, 5/2 ...) são férmions, enquanto aquelas com spin inteiro (0, 1, 2...) são bósons. Elétrons, prótons, nêutrons, **neutrinos** e múons são férmions, enquanto fótons e **mésons** (e, portanto, os **píons**) são bósons.

néticos como pequenas manchas distinguíveis a olho nu para **chuveiros** de 1 TeV[27] ou acima, e haviam sido adicionados a fim de possibilitar buscas rápidas de eventos a olho nu sobre grandes áreas. Um detector desse tipo havia sido testado em um voo de balão em 1956 e tinha sido bem-sucedido em registrar **mésons** produzidos em interações de **raios cósmicos** de **altas energias**. Em 1958, a fim de atingir energias maiores, os físicos planejaram aumentar a área dessa **câmara de emulsões**, expondo-a aos **raios cósmicos** no monte Norikura, a 2.800 m acima do nível do mar. Porém, essa altitude resultou ser ainda muito baixa para que se conseguisse observar um fluxo razoável de eventos. Por essa razão, o grupo japonês considerou a possibilidade de expor a câmara em Chacaltaya, onde Lattes expusera as emulsões nas quais se comprovou a descoberta do **píon**. Também era sabido no Japão que Lattes ainda trabalhava no *Laboratório de Física Cósmica de Chacaltaya*, de maneira que a ideia de uma colaboração pareceu natural.

Foi assim que em 1959 Yukawa escreveu uma carta para Lattes, informando-o sobre o Grupo Cooperativo de Emulsões no Japão que alguns físicos tinham organizado em 1954 e apresentando a intenção desse grupo de desenvolver um experimento em Chacaltaya. Yukawa também sugeriu que esse experimento fosse realizado na forma de colaboração entre grupos brasileiros e japoneses. Lattes respondeu positivamente e, em 1961, quando visitou o Japão para participar da Conferência Internacional de Raios Cósmicos em Kyoto, se encontrou com o grupo de cientistas japoneses e, juntos, planejaram os passos a serem dados para tornar o projeto uma realidade. Este foi o nascimento de duradoura e frutuosa colaboração entre físicos de instituições nos dois países. Em mais de 30 anos, 25 **câmaras de emulsões** foram expostas em Chacaltaya, a primeira delas em 1962 e a última, em 1993.

A estrutura básica das câmaras expostas em Chacaltaya era a do tipo descrito acima por Fujimoto (1999). Uma montagem típica consistia de uma câmara superior, uma camada-alvo de piche, um intervalo de 150 cm de ar e uma câmara inferior. Dessa maneira, a câmara superior era voltada à detecção de **chuveiros** iniciados na atmosfera ou em suas camadas de chumbo e, ao mesmo tempo, funcionava como blindagem para a câmara inferior contra os elétrons e **raios** γ atmosféricos. A camada de piche era praticamente transparente aos **raios** γ produzidos em interações locais, devido à sua espessura e ao baixo número atômico do carbono, seu constituinte. A câmara inferior registrava os **chuveiros** produzidos nas interações nucleares na camada-alvo. O intervalo de ar proporcionava a distância de deslocamento necessária para alcançar uma separação suficiente entre os **raios** γ na câmara inferior, possibilitando identi-

[27] 1 TeV = 1 trilhão eV.

ficá-los univocamente. Dimensões típicas das câmaras superior e inferior eram 44 m^2 e 33 m^2, respectivamente. O tempo médio de exposição de uma câmara era em torno de 500 dias. Uma foto de uma câmara inferior já montada, com os envelopes contendo filmes e emulsões nucleares intercalados com placas de chumbo, é mostrada na Figura 8. Vê-se também a estrutura metálica que suporta a câmara superior, com montagem similar à da câmara inferior.

Figura 8. A câmara inferior já montada, com os envelopes contendo filmes e emulsões nucleares intercalados com placas de chumbo. Vê-se também a estrutura metálica que suporta a câmara superior, com montagem similar (Acervo DRCC[28]/IFGW)

Uma excelente revisão dos resultados principais obtidos pela Colaboração Brasil-Japão através dos anos até 1980 foi publicada em Lattes *et al.*, 1980. Resultados importantes foram apresentados regularmente nas conferências internacionais de raios cósmicos, que ocorrem com frequência bienal e congregam a comunidade mundial de físicos de **raios cósmicos**.

[28] DRCC: Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia do IFGW/Unicamp.

Estudos sistemáticos de interações nucleares na camada de carbono e na atmosfera revelaram três tipos fenomenológicos de produção múltipla de **píons**, chamados mirim, açu e guaçu, explorando os significados das palavras na língua tupi. Os jatos mirim eram aqueles consistentes com uma simples extrapolação em escala dos dados obtidos em aceleradores na região em torno de 1 TeV. Jatos açu eram considerados responsáveis pela quebra da relação de escala e sua frequência aumentava com a energia, sendo ≈ 50% a 100 TeV. Jatos guaçu eram encontrados em interações atmosféricas em energias mais altas, em torno de 1 mil TeV. Supostamente, três estados intermediários denominados mirim, açu e guaçu seriam produzidos nas interações, correspondentes a esses três tipos de jatos. Esses eram identificados por massas de repouso[29] e multiplicidade de partículas produzidas crescente com a energia. As energias de repouso desses estados intermediários mirim, açu e guaçu foram estimadas em 2 ~ 3 GeV, 15 ~ 30 GeV e 100 ~ 300 GeV, respectivamente.

Entre os resultados interessantes publicados pela Colaboração Brasil-Japão está a observação de eventos chamados Centauro, cuja principal característica era uma quase total ausência de **raios** γ originários do decaimento de **píons** neutros, e a presença de grande número de decaimentos atribuídos a **hádrons**. A observação desse tipo de evento foi relatada na Conferência Internacional de Raios Cósmicos de 1973 (Brazil-Japan Collaboration, 1973). Este tipo de interação não foi observado em experimentos em aceleradores até o momento.

Presentemente o detector CASTOR (*Centauro And Strange Object Research*), parte do experimento CMS (*Compact Muon Solenoid*), no LHC (*Large Hadron Collider*) do CERN (*European Organization for Nuclear Research*) possibilitará estudos detalhados de partículas produzidas em colisões a energias de 14 TeV no sistema centro de massa, que é da ordem das energias de partículas próximas ao eixo de **chuveiros** observados nos experimentos com **câmaras de emulsão**. A procura por interações exóticas, tais como as observadas em **raios cósmicos,** é uma das motivações para este detector que trabalha na fronteira do conhecimento. Físicos brasileiros têm papel importante nesse experimento, tendo participado da proposta e da construção do detector CASTOR.

Em uma das primeiras linhas de uma publicação da Colaboração Brasil-Japão referente a bolas-de-fogo na produção múltipla de **píons** (Chinellato

[29] A massa de repouso de um corpo é aquela medida por um observador para o qual esse corpo se encontra em repouso. A energia relativística de um corpo é composta pela energia associada à massa de repouso mais a sua energia cinética.

et al., 1983), há a menção ao trabalho pioneiro de Wataghin, em 1941, em que é introduzida a ideia de bolas-de-fogo a partir dos experimentos com **chuveiros** penetrantes de **raios cósmicos**. Esta havia sido a contribuição de Wataghin no Simpósio de Raios Cósmicos realizado no Rio de Janeiro, em 1941 (Wataghin, 1943).

Nos 30 anos de colaboração, muitos físicos japoneses visitaram o Brasil. Yoichi Fujimoto, Shun-ichi Hasegawa, Akinori Ohsawa, Toru Shibata, Kei Yokoi, Kotaro Sawayanagi, Naoyuki Arata e outros aqui ficaram por períodos curtos e também longos, tanto no Rio de Janeiro quanto em Campinas, trabalhando com os colegas brasileiros. No Brasil, físicos participando das atividades de pesquisa eram de instituições do Estado de São Paulo (inicialmente da USP e, a partir de 1967, da Unicamp para onde Lattes e seu grupo haviam se transferido) e do Estado do Rio de Janeiro (do CBPF a partir de 1964 e, posteriormente, também da Universidade Federal Fluminense, UFF). Em Campinas, muitos físicos trabalharam com Lattes por anos, como Edison Shibuya, Armando Turtelli, Claudio Santos, Marta Mantovani, José Augusto Chinellato, Margarita Ballester, a autora deste texto, Miguel Luksys, José Bellandi, Valdir Rodrigues, Marcio Menon e muitos outros. No Rio, o primeiro físico do CBPF a se envolver na colaboração foi Anna Maria Freire Endler, a quem logo se juntaram Neusa Margem Amato e Francisco de Oliveira Castro, e ainda mais tarde, Carlos Navia e Regina Maldonado, da UFF.

Quando Lattes se aposentou na Unicamp em 1986, Edison Shibuya assumiu o trabalho de liderar o time brasileiro. Muitos estudantes também estiveram envolvidos nos experimentos, trabalhando na montagem e desmontagem das câmaras, na revelação dos filmes de raios-X e emulsões nucleares e também na análise dos resultados. Uma parte deles concluiu doutorado e continuou posteriormente trabalhando na física de **raios cósmicos**. Esses estudantes daquela época formariam a terceira geração de físicos de **raios cósmicos** no Brasil.

A Figura 9 mostra Lattes sentado no DRCC/IFGW na década de 1970, em companhia de Jean Meyer, seu colega de tempos da FFCL/USP, que havia retornado da Europa para trabalhar no IFGW. Também estão na foto a microscopista Lígia Maria Stella, à esquerda, e a autora deste texto, à direita.

Figura 9. A microscopista Lígia Maria Stella, Cesar Lattes, Jean Meyer e a autora deste texto no DRCC/IFGW, em 1975 (Acervo DRCC/IFGW)

Observatório Pierre Auger[30] (1992-)

No início da década de 1990, nova ideia desafiadora para o foco da pesquisa em **raios cósmicos** de altíssimas energias motivou a concepção e construção do Observatório Pierre Auger. Este é o maior conjunto de detectores de **raios cósmicos** já construído e é o resultado dos esforços de uma colaboração internacional de pesquisadores de 18 países. Seu objetivo principal é possibilitar o estudo dos **raios cósmicos** de mais **altas energias** já observados até hoje — acima de 10^{18} eV — a fim de obter informação sobre suas origens, processos de aceleração e propagação, composição e **espectro energético**.

Em novembro de 1995, realizou-se reunião na sede da UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*) em Paris, em que se instalou a Colaboração Pierre Auger. Nessa primeira reunião, foi decidido iniciar a construção do Observatório no hemisfério sul, na Argentina — em sua concepção original, o Observatório teria dois sítios, um em cada hemisfério. Houve

[30] Pierre Victor Auger (1899-1993) foi um físico francês que trabalhou em física atômica, nuclear e **raios cósmicos** e teve papel importante na criação do CERN.

disputa entre África do Sul, Argentina e Austrália para ser o país sede. O fator decisivo que levou à escolha da Argentina foi a existência de comunidade científica sólida na Argentina e no Brasil, assim como parque industrial avançado nos dois países, capaz de produzir os equipamentos necessários.

O desenho do Observatório foi completado em 2002, e um protótipo operou até 2005, quando se iniciou a construção do Observatório definitivo.

O Observatório está localizado nos pampas argentinos, nas proximidades da cidade de Malargüe, cerca de 370 km ao sul de Mendoza, e a 1.400 m acima do nível do mar. A sede do Observatório é mostrada na Figura 10.

Figura 10. Prédio central do Observatório Pierre Auger, em Malargüe
(Acervo Observatório Pierre Auger)

Para a detecção dos **chuveiros** induzidos pelos **raios cósmicos** de energias extremas ao atravessarem a atmosfera, são exploradas duas técnicas complementares: detectores de luz Cherenkov e telescópios de fluorescência. Cada detector de luz Cherenkov consiste de um tanque em polietileno contendo água pura, instrumentado com três fotomultiplicadoras, painel solar e baterias para alimentar a eletrônica, uma antena para a transmissão de dados até a central de aquisição, e um GPS para registrar o tempo da chegada das partículas do **chuveiro** no detector. Os fótons emitidos pelo efeito Cherenkov, quando partículas atravessam a água com velocidades maiores do que a da luz na água, são coletados pelas fotomultiplicadoras, permitindo posteriormente estimar o número de elétrons,

fótons e múons do **chuveiro** que atravessaram cada detector e, após calibração, estimar a energia do **raio cósmico** que deu origem ao **chuveiro**. No Observatório Auger, 1.660 desses detectores estão espalhados em área de 3 mil km². O arranjo é regular, com distância entre os detectores de 1,5 km. Um mapa mostrando esquematicamente a disposição dos detectores de superfície no sítio, bem como a localização dos prédios que abrigam os telescópios de fluorescência, é mostrado na Figura 11. Maiores detalhes sobre a operação dos detectores podem ser encontrados em *The Pierre Auger Collaboration* (2010b).

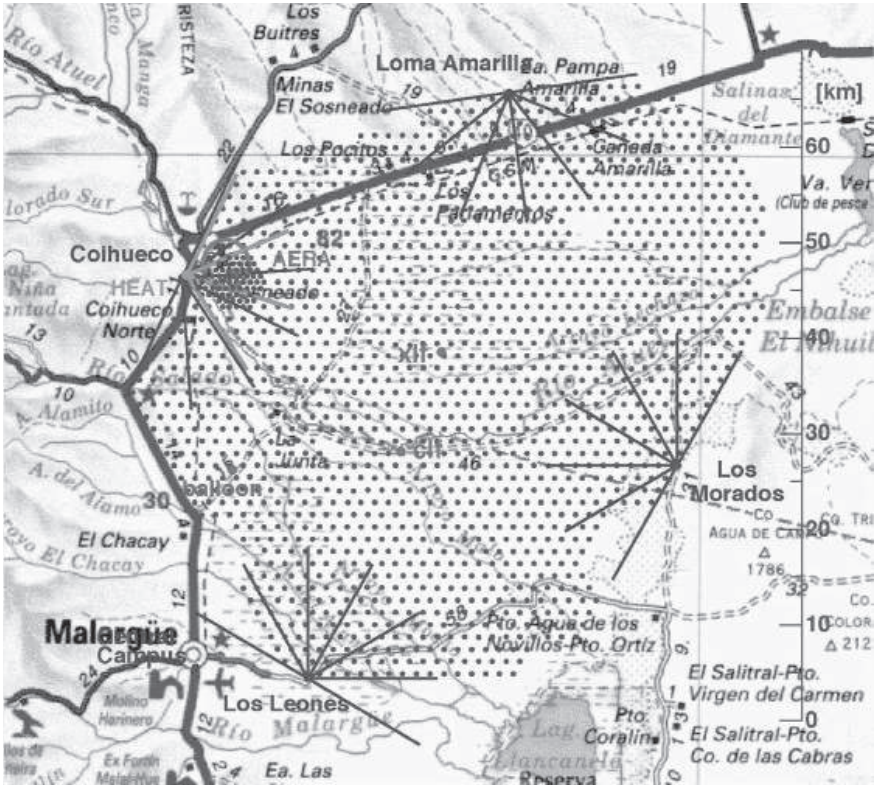


Figura 11. Disposição dos detectores de luz Cherenkov do Observatório Pierre Auger. Cada ponto representa um dos 1.660 detectores de superfície distribuídos em área de 3 mil km². Os cinco sítios de telescópios de fluorescência (Los Leones, Coihueco, Los Morados, Loma Amarilla e HEAT) estão localizados na periferia da área, com os campos de visão dos telescópios assinalados pelas retas radiais. A escala em quilômetros está à direita da Figura

Vinte e quatro telescópios de fluorescência estão instalados em quatro prédios localizados em pequenas elevações na periferia daquela área e

cobrem a atmosfera acima do arranjo de detectores na superfície. Os telescópios medem a luz de fluorescência emitida isotropicamente (ver **isotrópico**) pelas moléculas de nitrogênio excitadas pelas partículas do **chuveiro**. Cada telescópio coleta a luz que incide sobre espelho esférico de 11 m^2 e é por ele refletida numa câmara com 440 fotomultiplicadoras. No telescópio é adotada a óptica das câmaras Schmidt[31] a fim de minimizar a aberração de coma[32]. O campo de visão de cada telescópio cobre 30° em **azimute** e 30° em **elevação**. Desse modo, os seis telescópios em um prédio cobrem um ângulo azimutal de 180°. Maiores detalhes sobre a construção e o funcionamento dos telescópios de fluorescência

Figura 12. Ao fundo, um dos prédios que abriga seis telescópios de fluorescência. Em primeiro plano, um dos 1.660 detectores de superfície (Acervo Observatório Pierre Auger)

[31] Um tipo de telescópio desenhado em 1930 na Alemanha por Bernhard Schmidt, cujo esquema óptico foi otimizado para a fotografia astronômica proporcionando um amplo campo de visão e reduzida aberração óptica.

[32] Coma é um defeito na imagem produzida por telescópio, quando um feixe de raios paralelos ao eixo óptico não produz um ponto, mas imagem difusa com aparência de cometa, daí o nome.

do Observatório Auger podem ser encontrados em (*The Pierre Auger Collaboration* (2010a). Três telescópios adicionais instalados junto a um dos prédios, com campo de visão entre 30° e 60° de **elevação**, possibilitam a detecção de **chuveiros** atmosféricos de menor energia. Os telescópios de fluorescência do Observatório Auger têm 100% de eficiência para a detecção de **chuveiros** atmosféricos com energias acima de $3x10^{18}$ eV a distâncias de até 40 km. Um dos prédios do Observatório Pierre Auger que abriga seis telescópios de fluorescência é mostrado na Figura 12, com um dos 1.660 detectores de superfície em primeiro plano.

Embora a construção do Observatório Auger tenha sido completada em 2008, a aquisição de dados tem sido praticamente contínua desde janeiro de 2004, com operação mesmo enquanto era expandida a área coberta pelos detectores. Os resultados iniciais mais significativos já publicados se referem ao **espectro de energia**, às direções de chegada e ao estudo de composição dos **raios cósmicos.** Resultados envolvendo limites para o fluxo de **neutrinos** e limites para o fluxo e fração de fótons também foram publicados.

O **espectro** medido pelo Observatório Pierre Auger, cobrindo energias acima de $10^{17,5}$ eV, mostra claramente duas características: uma mudança do índice espectral[33] em $5x10^{18}$ eV, conhecida como *tornozelo* do **espectro**, e a supressão do fluxo para energias acima de $10^{19,5}$ eV (*The Pierre Auger Collaboration*, 2010c). Tais características podem ser decorrentes de interações dos **raios cósmicos** com fótons da **Radiação Cósmica de Fundo** na faixa de micro-ondas, durante a sua propagação desde as suas fontes até a Terra, ou ainda, podem ser consequência das características da aceleração dos **raios cósmicos** nas fontes, ou da localização destas últimas. Observações adicionais são ainda necessárias para melhor compreender a causa real das características observadas.

A Colaboração Auger também analisou as distribuições das direções de chegada dos **raios cósmicos** para vários intervalos de energias. Uma análise que teve grande repercussão envolveu a correlação entre as direções dos **raios cósmicos** mais energéticos, com energias acima de $55x10^{18}$ eV, com as posições de **núcleos de galáxias ativas** (*The Pierre Auger Collaboration*, 2007, 2008a, 2010d). Embora a significância do resultado não tenha aumentado com o tempo, a probabilidade de obter uma correlação como a observada a partir de uma distribuição **isotrópica** de **raios cósmicos** continua sendo menor do que 1%.

No estudo de composição dos **raios cósmicos** (*The Pierre Auger Collaboration*, 2010e), as observações indicam composição predominantemente leve para energias entre 10^{18} eV e $10^{18,5}$ eV, consistente com prótons, e uma ten-

[33] Inclinação da reta no gráfico do **espectro**.

dência para uma composição gradualmente mais pesada para energias acima dessa faixa. Entretanto, as interpretações sobre a composição química ainda dependem fortemente de modelos para as interações hadrônicas (interações que envolvem **hádrons**) a essas energias altíssimas, modelos obtidos de extrapolações de resultados de interações em aceleradores a energias duas ordens de grandeza inferiores.

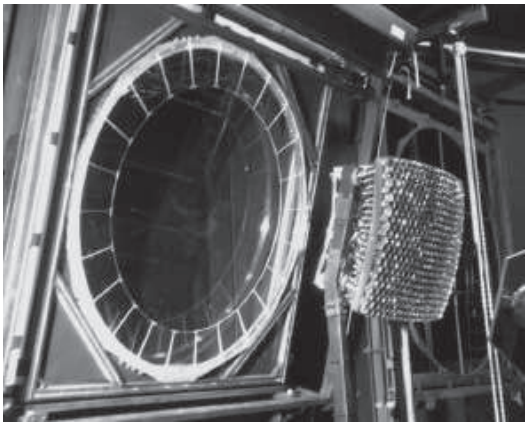
Neutrinos e fótons com energias acima de 10^{18} eV ainda não foram detectados no Observatório Auger, levando a previsões de limites para o fluxo de **neutrinos** (*The Pierre Auger Collaboration*, 2008b, 2009a) e limites para o fluxo e fração de fótons (*The Pierre Auger Collaboration*, 2008c, 2009b). Esses resultados trazem fortes implicações astrofísicas e também permitem restringir alguns modelos teóricos de produção de **raios cósmicos**.

Físicos brasileiros participaram do Observatório Auger desde o início do projeto, sob a liderança de Carlos Ourivio Escobar (IFGW/Unicamp) e Ronald C. Shellard (CBPF). Ambos presidiram o *Collaboration Board* em várias oportunidades. Outros físicos em instituições brasileiras participaram dos estágios de construção, tomada e análise de dados. Suas contribuições foram significativas tanto na construção do arranjo de detectores de superfície, quanto para os telescópios de fluorescência e vários ocupam posições relevantes na estrutura de operação do Observatório. Várias indústrias brasileiras participaram no desenvolvimento de detectores para o Observatório.

Vale destacar a contribuição brasileira no processo de produção de um anel de lentes corretoras na parte periférica do diafragma. Essas lentes aumentam a área coletora de luz nos telescópios, aumentando a razão sinal/ruído, sem causar perda significativa na **resolução**. O grupo brasileiro estudou o sistema óptico através de simulações de seu desempenho com diferentes formatos do anel corretor e escolheu o perfil que melhor cumpriria os requisitos desejados. A empresa Schwantz Ltda. em Indaiatuba, SP, aceitou o desafio de produzir os anéis corretores para o Observatório, construindo as máquinas politrizes diamantadas de grande precisão necessárias para dar forma aos anéis de lente asférica[34] de cerca de 1 m^2, certamente um feito tecnológico, já que o raio interno do anel mede 85 cm, e o externo, 110 cm. Todos os telescópios do Observatório são equipados com esses anéis corretores (Oliveira *et al.*, 2004). O conjunto do anel de lentes corretoras de um dos telescópios, bem como o espelho que reflete a luz sobre a câmara de fotomultiplicadoras, é mostrado na Figura 13.

---

[34] A lente asférica tem superfície não esférica que elimina ou reduz aberrações ópticas, evitando a complexidade de sistemas com múltiplas lentes.



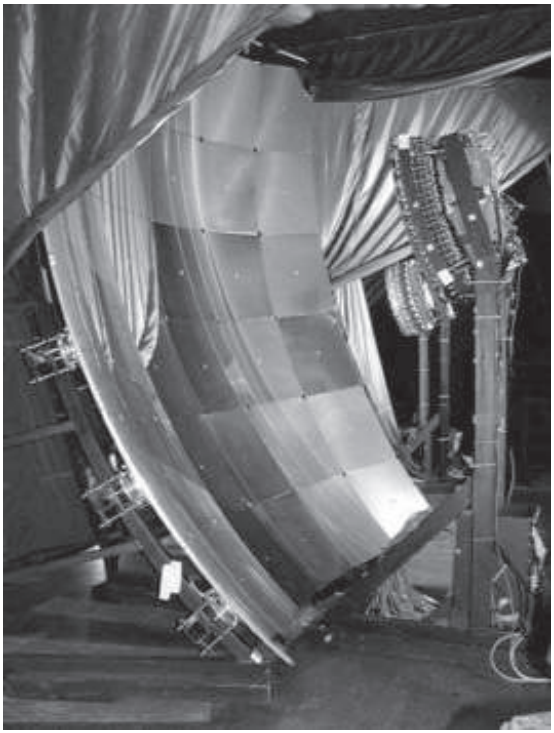


Figura 13. Acima, à esquerda, o anel de lentes corretoras de um dos telescópios de fluorescência e a câmara de fotomultiplicadoras que mede a luz após esta ser refletida em um espelho (não mostrado). Abaixo, à direita, o espelho do telescópio, que capta a luz e a focaliza sobre a câmara de fotomultiplicadoras (Acervo Observatório Pierre Auger)

Também houve participação brasileira no primeiro projeto para as janelas dos telescópios, com desenho complexo e funcionando por controle remoto, e para as persianas e cortinas de segurança dos telescópios, projeto a cargo da empresa Equatorial Sistemas, em São José dos Campos, SP. A contribuição

para o detector de superfície também foi significativa. Grande parte dos 1.660 tanques de polietileno foi produzida pelas indústrias brasileiras Rotoplastyc Indústria de Rotomoldados Ltda., em Carazinho, RS, e Alpina Termoplásticos, em São Paulo. Igualmente, grande fração das baterias que alimentam a eletrônica de aquisição de dados é produzida pela empresa brasileira Baterias Moura, em Belo Jardim, PE.

Físicos brasileiros atuam como coordenadores de tarefas de análise e são responsáveis pelo desempenho de componentes do detector. A participação de físicos de várias instituições tem recebido apoio contínuo de agências de fomento no país (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, FAPERJ; CNPq; Financiadora de Estudos e Projetos, Agência Brasileira de Inovação a partir de 2014, FINEP e Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, MCTI).

Com o Observatório Pierre Auger a comunidade de físicos de **raios cósmicos** se expandiu, ultrapassando os limites do eixo São Paulo-Rio de Janeiro. Presentemente são onze instituições no Brasil com pesquisadores envolvidos com a operação do Observatório e análise de dados: CBPF, Instituto de Física da UFRJ (IF/UFRJ), Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense (IF/UFF), Instituto de Física de São Carlos (IFSC/USP), Instituto de Física da USP (IF/USP), IFGW/Unicamp, Universidade Federal do ABC (UFABC), Faculdade Independente do Nordeste (FAINOR, Vitória da Conquista, BA), Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS, BA), Universidade Federal da Bahia (UFBA, Salvador) e Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB, Vitória da Conquista). Em todas essas instituições jovens físicos da quarta geração na física de **raios cósmicos** estão iniciando grupos de pesquisadores na área. Assim, os estudantes de hoje serão a quinta geração de físicos de **raios cósmicos** no Brasil.

Conclusão

A história da física de **raios cósmicos** no Brasil foi contada ao longo de quatro períodos. O que chama a atenção em todos eles é que o trabalho aqui desenvolvido sempre foi na fronteira do conhecimento na área e competitivo no nível internacional.

Particularmente importante no primeiro período foi o trabalho pioneiro de Gleb Wataghin e seu grupo em São Paulo, tanto do ponto de vista da predição teórica de Wataghin sobre a produção múltipla de **mésons**, quanto pelos resultados experimentais obtidos por ele e seus assistentes. Wataghin sempre

cuidou para que seus resultados fossem apresentados em revistas internacionais. Num tempo em que o acesso a essas revistas era muito mais difícil do que hoje em dia, ele mostrou estar sempre a par dos desenvolvimentos e conquistas mais recentes. Ele também soube superar o isolamento do Brasil dos principais centros de física no mundo. Publicou muitos de seus trabalhos como cartas ao editor da *Physical Review*, possibilitando assim que seus resultados principais se tornassem conhecidos e difundidos rapidamente. Wataghin cultivou boas relações e amizade com físicos famosos da época no mundo todo, o que lhe permitiu enviar seus estudantes ao exterior para trabalhar com pesquisadores importantes, proporcionando trocas de ideias e contribuindo para o desenvolvimento da física no Brasil.

Wataghin e Lattes deixaram um legado para as gerações seguintes trabalhando na física de **raios cósmicos** no Brasil. Eles estabeleceram um padrão internacional ao trabalharem na fronteira do conhecimento e em intensa colaboração com físicos de outros países.

A nova geração de físicos de **raios cósmicos** no Brasil segue essa tradição e mantém a forte cooperação internacional ao trabalhar no Observatório Pierre Auger. Cabe aos novos pesquisadores dar continuidade a essa atmosfera de internacionalismo e vanguarda, continuando a tradição deixada pelos seus antecessores.

Referências

ABC (1943), *Symposium sobre Raios Cósmicos*, Rio de Janeiro: Imprensa Nacional.

Anderson, H. L. and Lattes, C. M. G. (1957), Search for the Electronic Decay of the Positive Pion, *Il Nuovo Cimento*, 6, 1356-1381.

Bastos, C. Aguirre (1999), Formación del Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya *in* F. Caruso, A. Marques e A. Troper (Eds.), *Cesar Lattes, a descoberta do méson π e outras histórias*, Rio de Janeiro: CBPF.

Bonifazi, Carla (2010), Cosmic Ray Physics in Argentina, *4th School on Cosmic Rays and Astrophysics*, UFABC, Santo André, SP, August 23 to September 03, 2010, disponível em http://pos.sissa.it/archive/conferences/118/039/CRA%20School_039.pdf, acesso em 26/2/14.

Brazil-Japan Collaboration (1973), Air shower cores observed by Chacaltaya emulsion chamber, *Proceedings of the 13th ICRC*, Denver, 4, 2671-2675.

Burfening, John; Gardner, Eugene and Lattes, C. M. G. (1949), Positive Mesons Produced by the 184-Inch Berkeley Cyclotron, *Phys. Rev*., 75, 382-387.

Chinellato, José A.; Dobrigkeit, Carola; Bellandi Filho, J.; Lattes, Cesar M. G.; Menon, Marcio J.; Navia, Carlos E.; Pemmaraju, Ammiraju; Sawayanagi, Kotaro; Shibuya, Edison H.; Turtelli Jr., Armando; Amato, Neusa M.; Arata, Naoyuki; Oliveira Castro, F. M.; Maldonado, Regina H. C.; Aoki, Hiroshi; Fujimoto, Yoichi; Hasegawa, Shunichi; Semba, Hiroshi; Tamada, Masanobu; Tanaka, Kojiro; Yamashita, Seibun; Shibata, Toru; Yokoi, Kei; Kumano, Hiroshi; Ohsawa, Akinori and Tabuki, Takaaki (1983), Brasil-Japan Collaboration of Chacaltaya Emulsion Chamber Experiment, Fire-Balls in Pion Multiple Production, *Suppl. Prog. Theor. Phys*., 76, 1-39.

Cocconi, G. (1949), Some Properties of the Cosmic-Ray Ionizing Particles That Generate Penetrating Showers, *Phys. Rev*., 75, 1074-1078.

Cuer, P. and Lattes, C. M. G. (1946), Radioactivity of Samarium, *Nature*, 158, 197-198.

Fowler, P. H.; Freier, P. S.; Lattes, C. M. G.; Ney, E. P. and St. Lorant, S. J. (1957), Angular Correlation in the p-μ-e Decay of Cosmic Ray Mesons, *Il Nuovo Cimento*, 6, 63-68.

Frota Pessoa, Elisa e Margem, Neusa (1950), "Sobre a Desintegração do Meson Pesado Positivo", *An. Acad. Bras. Cienc*., 22, 371.

Fujimoto, Y. (1999), Discovery of Pi and Mu Mesons and Brazil-Japan Collaboration on Cosmic Rays *in* F. Caruso, A. Marques e A. Troper (Eds.), *Cesar Lattes, a descoberta do méson π e outras histórias*, 27-34, Rio de Janeiro: CBPF.

Gardner, Eugene and Lattes, C. M. G. (1948), Production of Mesons by the 184-inch Berkeley Cyclotron, *Science*, 107, 270-271.

Gross, B. (1932), Zur Druckabhängigkeit der Ionisation durch Ultrastrahlung, *Zeitschrift für Physik*, 78, 271-278.

Gross, B. (1933), Zur Absorption der Ultrastrahlung, *Zeitschrift für Physik*, 83, 214-221.

Gross, B (1934), "Raios cósmicos: resumo das conferências do Dr. Bernhard Gross, no anfiteatro de física da Escola Politécnica do Rio de Janeiro", *Revista Brasileira de Engenharia*, 27, 6-12.

Gross, B. (1935), Pour l'analyse des rayons cosmiques, *An. Acad. Bras. Cienc*., 7, 287-300.

Gross, B. (1936a), On the hard component of cosmic rays, *Phys. Rev*., 50, 1188-1189.

Gross, B. (1936b), "Sobre o efeito de transição dos raios cósmicos", *An. Acad. Bras. Cienc*., 8, 75-77.

Gross, B. (1937), Zum Breiteneffekt der Ultrastrahlung, *Zeitschrift für Physik*, 105, 334-340.

Gross, B. (1938), On the latitude effect of the soft component of cosmic rays, *Phys. Rev*., 53, 607-607.

Gross, B. (1939a), A Remark on the Latitude Effect of Cosmic Rays, *Phys. Rev*, 55, 112.

Gross, B. (1939b), "Sôbre o efeito da latitude da radiação cósmica", *An. Acad. Bras. Cienc*., 11, 43-58.

Gross, B. (1949), On Permanent Charges in Solid Dielectrics. II. Surface Charges and Transient Currents in Carnauba Wax, *J. Chem. Phys*., 17, 866-872.

Gross, B. (1976), *Entrevista a R. Guedes e T. Franken*, 92 páginas, Rio de Janeiro: CPDOC/FGV.

Gross, B. and Denard, L. Ferreira (1945), On Permanent Charges in Solid Dielectrics. I. Dielectric Absorption and Temperature Effects in Carnauba Wax, *Phys. Rev*., 67, 253-259.

Lattes, C. M. G. (1984), My work in meson physics with nuclear emulsions *in* J. Bellandi and A. Pemmaraju (Eds.), *Topics on Cosmic Rays — 60th anniversary of C. M. G. Lattes*, Vol.1, Campinas: Editora da Unicamp.

Lattes, C. M. G. (1999), "O Nascimento das Partículas Elementares", palestra dada no Rio de Janeiro em 11/10/96 no 45° aniversário do CNPq, reproduzida em F. Caruso, A. Marques e A. Troper (Eds.), *Cesar Lattes, a descoberta do méson π e outras histórias*, Rio de Janeiro: CBPF.

Lattes, C. M. G.; Fowler, P. H. and Cuer, P. (1947a), Range-Energy Relation for Protons and α-Particles in the New Ilford 'Nuclear Research' Emulsions, *Nature*, 159, 301-302.

Lattes, C. M. G.; Fowler, P. H. and Cuer, P. (1947b), A Study of Nuclear Transmutations of Light Elements by the Photographic Method, *Proc. of the Phys. Soc. London*, 59, 883-900.

Lattes, C. M. G.; Fujimoto, Y. and Hasegawa, S. (1980), Hadronic Interactions of High Energy Cosmic-Ray Observed by Emulsion Chambers, *Phys. Rep*., 65, 151-229.

Lattes, C. M. G.; Muirhead, H.; Occhialini, G. P. S. and Powell, C. F. (1947c), Processes involving charged mesons, *Nature*, 159, 694-697.

Lattes, C. M. G. and Occhialini, G. P. S. (1947), Determination of the Energy and Momentum of Fast Neutrons in Cosmic Rays, *Nature*, 159, 331-332.

Lattes, C. M. G., Occhialini, G. P. S. and Powell, C. F. (1947d), Observation on the Tracks of Slow Mesons in Photographic Emulsions, *Nature*, 160, 453-456.

Lattes, C. M. G., Occhialini, G. P. S. and Powell, C. F. (1947e), Observation on the Tracks of Slow Mesons in Photographic Emulsions Part 2, *Nature*, 160, 486-492.

Lattes, C. M. G.; Schützer, Walter and Schenberg, Mario (1947f), Classical Theory of Charged Point-Particles with Dipole Moments, *An. Acad. Bras. Cienc.*, 19, 193-245.

Lattes, C. and Wataghin, G. (1946), On the Abundance of Nuclei in the Universe, *Phys. Rev.*, 69, 237.

Marques, Alfredo (1994), "Expedições" *in* Alfredo Marques (Ed.), *Cesar Lattes 70 Anos — A Nova Física Brasileira*, Rio de Janeiro: CBPF.

Marshak, R. E. and Bethe, H. A. (1947), On the two-meson hypothesis, *Phys. Rev.*, 72, 506-509.

Mascarenhas, S. (1999), Bernhard Gross and his contribution to physics in Brazil, *Braz. J. Phys.*, 29, 217-219.

Meyer, H. A. and Schwachheim, G. (1949), Exchange Phenomena of the Nucleons that Generate Penetrating Showers, *Phys. Rev.*, 76, 149.

Meyer, H. A.; Schwachheim, G. and Wataghin, A. (1948), On the Production of Showers of Penetrating Particles, *Phys. Rev.*, 74, 846-847.

Meyer, H. A.; Schwachheim, G.; Wataghin, A. and Wataghin, G. (1949a), On the Nature of Mesons in Penetrating Showers, *Phys. Rev.*, 75, 908-909.

Meyer, H. A.; Schwachheim, G.; Wataghin, A. and Wataghin, G. (1949b), On Penetrating Showers in Cosmic Radiation, *Phys. Rev.*, 76, 598-601.

Neddermeyer, S. H. and Anderson, C. D. (1937), Note on the Nature of Cosmic-Ray Particles, *Phys. Rev.*, 51, 884–886.

Oliveira, M. A. L. de; Souza, V. de; Reis, H. C. and Sato, R. (2004), Manufacturing the Schmidt corrector lens for the Pierre Auger Observatory, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 522, 360-370.

Pompéia, P. A.; Souza Santos, M. Damy and Wataghin, G. (1940), Penetrating cosmic -ray showers, *An. Acad. Bras. Cienc.*, 12, 229-232.

Sakata, S. and Inoue, T. (1946), On the correlations between mesons and Yukawa particles, *Prog. Theor. Phys.*, 1, 143-150.

Sala, O. and Wataghin, G. (1945), Showers of Penetrating Particles, *Phys. Rev.*, 67, 55-56.

Sala, O. and Wataghin, G. (1946), Showers of Penetrating Particles at Altitude of 22,000 Feet, *Phys. Rev.*,70, 430.

Schenberg, M. (1939), "Sobre uma componente ultra-mole da radiação cósmica", *An. Acad. Bras. Cienc.*, 11, 149.

Schenberg, M. (1940a), "Origem da componente dura da radiação cósmica", *An. Acad. Bras. Cienc.*, 12, 33.

Schenberg, M. (1940b), On the theory of multiplicative showers, *An. Acad. Bras. Cienc.*, 12, 281-299.

Schenberg, M. and Occhialini, G. (1939), "Sobre uma componente ultra-mole da radiação cósmica I", *An. Acad. Bras. Cienc*, 11, 351.

Schenberg, M. and Occhialini, G. (1940), "Sobre uma componente ultra-mole da radiação cósmica II", *An. Acad. Bras. Cienc.*, 12, 197.

Sessler, G. M. (1999), Bernhard Gross and the evolution of modern electret research, *Braz. J. Phys.*, 29, 220-225.

Souza Santos, M. Damy de; Pompéia, P. A. and Wataghin, G. (1941), Showers of Penetrating Particles, *Phys. Rev.*, 59, 902-903.

Souza Santos, M. Damy de e Wataghin, G. (1937), Sopra un nuovo tipo di contatore di corpuscoli, *Il Nuovo Cimento*, 15, 104-107.

Street, J. C. and Stevenson, E. C. (1937), New Evidence for the Existence of a Particle of Mass Intermediate Between the Proton and Electron, *Phys. Rev.*, 52, 1003–1004.

Taketani, M.; Nakamura, S.; Ono, K. and Sasaki, M. (1949), On the two-meson theory, *Phys. Rev.*, 76, 60- 63.

Tanikawa, Y. (1947), On the cosmic-ray meson and the nuclear meson, *Prog. Theor. Phys.*, 2, 220- 221.

The Pierre Auger Collaboration (2007), Correlation of the highest energy cosmic rays with nearby extragalactic objects, *Science*, 318, 938-943.

The Pierre Auger Collaboration (2008a), Correlation of the highest-energy cosmic rays with the positions of nearby active galactic nuclei, *Astropart. Phys.*, 29, 188-204.

The Pierre Auger Collaboration (2008b), Upper Limit on the Diffuse Flux of Ultrahigh Energy Tau Neutrinos from the Pierre Auger Observatory, *Phys. Rev. Lett.*, 100, 211101.

The Pierre Auger Collaboration (2008c), Upper Limit on the Cosmic-Ray Photon Flux Above 1019 eV Using the Surface Detector of the Pierre Auger Observatory, *Astropart. Physics*, 29, 243-256.

The Pierre Auger Collaboration (2009a), Limit on the diffuse flux of ultrahigh energy tau neutrinos with the surface detector of the Pierre Auger Observatory, *Phys. Rev. D*, 79, 102001.

The Pierre Auger Collaboration (2009b), Upper limit on the cosmic-ray photon fraction at EeV[35] energies from the Pierre Auger Observatory, *Astropart. Physics*, 31, 399-406.

[35] 1 EeV = 10^{18} eV.

The Pierre Auger Collaboration (2010a), The Fluorescence Detector of the Pierre Auger. Observatory, Nuclear Instruments and Methods, *Physics Research A*, 620, 227-251.

The Pierre Auger Collaboration (2010b), Trigger and Aperture of the Surface Detector Array of the Pierre Auger Observatory, Nuclear Instruments and Methods, *Physics Research A*, 613, 29-39.

The Pierre Auger Collaboration (2010c), Measurement of the energy spectrum of cosmic rays above 10^{18} eV using the Pierre Auger Observatory, *Phys. Lett. B*, 685, 239-246.

The Pierre Auger Collaboration (2010d), Update on the correlation of the highest energy cosmic rays with nearby extragalactic matter, *Astropart. Phys*., 34, 314-326.

The Pierre Auger Collaboration (2010e), Measurement of the Depth of Maximum of Extensive Air Showers above 10^{18} eV, *Phys. Rev. Lett*., 104, 091101.

Wataghin, G. (1943), On the production of groups of mesotrons by high energy collisions, *Symposium sobre Raios Cósmicos*, 129-136, Rio de Janeiro: Imprensa Nacional.

Wataghin, G. (1946), On the multiple production of mesons, *Phys. Rev*., 74, 975-976.

Wataghin, G. (1947), Showers of Penetrating Particles at Altitude of 26,000 feet, *Phys. Rev*., 71, 453.

Wataghin, G. e Souza Santos, M. Damy de (1938), Sulla produzione degli sciami in profondità, *La Ricerca Scientifica*, 2, 1-4.

Wataghin, G. and Souza Santos, M. Damy de (1939), Cosmic-Ray Showers at Great Depths, *An. Acad. Bras. Cienc*., 11, 1-9.

Wataghin, G.; Souza Santos, M. Damy de and Pompéia, P. A. (1940a), Simultaneous Penetrating Particles in the Cosmic Radiation, *Phys. Rev*. (Letter to the Editor), 57, 61.

Wataghin, G.; Souza Santos, M. Damy de and Pompéia, P. A. (1940b), Simultaneous Penetrating Particles in the Cosmic Radiation II, *Phys. Rev*., 57, 339.

Yukawa, H. (1935), On the Interaction of Elementary Particles. I, *Proc. Phys.-Math.*

Capítulo 2

PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA

Parte 1
40 anos de pós-graduação em astronomia no IAG/USP: uma história de sucessos

Walter J. Maciel (IAG/USP)

Os primeiros mestres em astronomia formados no Brasil obtiveram seus títulos no fim da década de 1960 e início da década de 1970, orientados em sua maioria por pesquisadores brasileiros que haviam obtido doutoramento no exterior e por alguns estrangeiros. As primeiras instituições a oferecer cursos de pós-graduação nessa área foram o ITA, o CRAAM e o IAG/USP, seguidos por UFRGS, ON e UFMG. O curso do IAG/USP destaca-se por ter sido um dos primeiros e o maior, tanto em número de pesquisadores/orientadores quanto no número de alunos titulados. Neste Capítulo vamos resumir as principais etapas do desenvolvimento desse curso, responsável pela formação de parcela considerável dos pesquisadores em astronomia espalhados pelo país.

Inicio da pós-graduação em astronomia no Brasil

Os primeiros mestres em astronomia formados no Brasil obtiveram seus títulos no fim da década de 1960 e início da década de 1970, orientados em sua maioria por pesquisadores brasileiros que haviam obtido doutoramento no exterior e por alguns estrangeiros. As primeiras instituições a oferecer cursos de pós-graduação nessa área podiam ser contadas nos dedos de uma só mão, incluindo basicamente o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), o Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP) e o Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica da Universidade Mackenzie (CRAAM), seguidos pelos cursos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Observatório Nacional (ON) do Rio de Janeiro e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (ver depoimentos em Barbuy *et al.*, 1994).

O estabelecimento dos cursos de pós-graduação em astronomia no Brasil e, por extensão, das atividades profissionais de pesquisa, tem suas origens na década de 1960, em particular com a edição da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (1961) e por algumas iniciativas individuais, como a ação do físico e matemático Abrahão de Moraes (1916-1970), diretor do IAG/USP (Figura 1).

Figura 1. Abrahão de Moraes (1916–1970)

Abrahão de Moraes era licenciado em ciências físicas e matemáticas pela USP, tinha vasta experiência como professor em diversas instituições, sendo autor de grande número de trabalhos em física, **mecânica celeste** e matemática, além do texto sobre a astronomia no Brasil, originalmente publicado em 1955 (Moraes, 1955).

Em 1961, como resultado de suas gestões em parceria com o então diretor do ON do Rio de Janeiro, Lélio Gama (1892-1981), foi aprovada a filiação do Brasil à União Astronômica Internacional (IAU) (Marques dos Santos, 2005; Barbuy and Maciel, 2013; ver o Capítulo "Chegada da astronomia oficial a São Paulo" no Volume I). Na verdade, tratou-se de uma refiliação: o Brasil já havia sido admitido como membro na primeira assembleia geral realizada em Roma em 1922, por iniciativa de Henrique Morize, diretor do ON; posteriormente foi desligado da IAU por falta de pagamento. A proposta de filiação foi concretizada pela presença de Abrahão de Moraes na XI Assembleia Geral da IAU, realizada em Berkeley, CA, de 15 a 24 agosto de 1961, na semana em que o então presidente brasileiro, Jânio Quadros, apresentou sua renúncia ao cargo. Além disso, considerando a falta de especialistas em astronomia no país, Abrahão de Moraes promoveu a formação de jovens pesquisadores brasileiros na França, com recursos da (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) FAPESP e (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) CNPq. Os primeiros pesquisadores a retornarem ao país no fim da década de 1960 e início da década de 1970 tendo obtido o título de doutor foram Sylvio Ferraz-Mello, Paulo Benevides Soares e José Antonio de Freitas Pacheco, que se estabeleceram no Estado de São Paulo, seguidos por Licio da Silva no Rio de Janeiro.

No Estado de São Paulo, os primeiros resultados da formação de pessoal em nível de pós-graduação ocorreram no ITA, localizado em São José dos Campos, SP, essencialmente pela ação do pesquisador Sylvio Ferraz-Mello, especialista em **mecânica celeste**. As atividades da pós-graduação foram beneficiadas pela existência de um observatório no próprio *campus*, dispondo de telescópio refletor ***Cassegrain*** de 50 cm, dando maior amplitude à formação dos jovens pesquisadores. O período coincidiu com a segunda fase de pesquisas de escolha de sítio para instalação de observatórios astronômicos, cerca de 30 anos após a primeira fase, que havia sido interrompida pela II Guerra Mundial. Os resultados desta segunda fase, iniciada a partir de 1964, levaram mais tarde à construção dos observatórios da Serra de Piedade (UFMG) e Brazópolis (LNA) (Ferraz-Mello, 1982; Maciel, 1994 e Marques dos Santos, 2005; ver o Capítulo "O observatório de montanha" neste Volume). De fato, vários dos então estudantes universitários que participaram do projeto engajaram-se mais

tarde nos cursos de pós-graduação recém-instalados. No curso de pós-graduação do ITA foram concluídos até 1974 cerca de 15 mestrados, sendo sete com dissertações em **mecânica celeste**, cinco em **astrofísica**, dois em matemática e um em **astrometria**, todos sob orientação de Sylvio Ferraz-Mello, com exceção de duas dissertações em **astrofísica** e uma dissertação em **astrometria**, orientadas por J. A. de Freitas Pacheco, Sayd José Codina Landaberry e Paulo Benevides, respectivamente. Alguns anos depois surgiram os demais cursos, em particular os do CRAAM, IAG/USP, UFRGS, ON e UFMG (ver "A multiplicação de centros de astronomia no país", neste Capítulo).

Estabelecimento da pós-graduação no IAG/USP (1972-1977)

A Universidade de São Paulo (USP) foi criada em 1934 e no mesmo ano o então chamado "Instituto Astronômico e Geográfico" tornou-se instituto complementar da universidade. Mais tarde, em 1946, o instituto foi incorporado à USP na categoria de "instituto anexo" (Figura 2), onde se realizavam pesquisas, mas sem atividades de ensino.

Figura 2. O prédio da administração do IAG/USP em 1947

Esta situação prevaleceu até o início da década de 1970. Em 1972, já com o nome "Instituto Astronômico e Geofísico" (IAG), o instituto passou a ser uma unidade universitária plena, com atribuições de pesquisa e ensino (Figura 3). Na época, o IAG era dirigido por um Conselho Diretor, após a morte de Abrahão de Moraes em dezembro de 1970, com a criação dos departamentos de astronomia, geofísica e meteorologia. Este conselho foi posteriormente substituído por um diretor indicado pela Reitoria da Universidade, o físico e engenheiro Giorgio E. O. Giacaglia.

Figura 3. Portão principal do IAG em 1973

No fim de 1971 e início de 1972, o instituto beneficiou-se da chegada de alguns pesquisadores vindos da França, em particular do pesquisador J. A. de Freitas Pacheco (Figura 4), cujo doutorado em **astrofísica** havia sido recentemente concluído.

Figura 4. J. A. de Freitas Pacheco, principal responsável pela criação do curso de pós-graduação em Astronomia no IAG/USP

Pacheco formou-se bacharel em física pela USP (1965) e obteve o título de *Docteur ès Sciences Physiques* pela Universidade de Nice em 1971, com tese sobre a propagação de **raios cósmicos** na **Galáxia**. Foi o primeiro chefe do Departamento de Astronomia e o principal responsável pela criação do programa de pós-graduação em astronomia do IAG/USP, tendo sido também o primeiro coordenador da Comissão de Pós-Graduação. Posteriormente foi diretor do IAG (1989-1993), do ON do Rio de Janeiro (1979-1981) e do Observatório de *la Côte d'Azur* (OCA) na França (1994-1999). Foi ainda o primeiro presidente da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB), fundada em 1974. Suas áreas de atuação ao longo dos anos incluem a propagação de **raios cósmicos**, física do **meio interestelar**, atmosferas e ventos (ver **ventos estelares**) em **estrelas quentes**, **evolução química** de **galáxias**, física de **objetos colapsados** e **cosmologia**. Esta diversidade de linhas de pesquisa teria impacto profundo na formação de pessoal, inicialmente no IAG e, mais tarde, no ON.

Com a chegada de Pacheco vieram alguns pesquisadores europeus que tiveram papel importante no início da pós-graduação em astronomia, em particular o francês Jean Lefèvre, especialista em atmosferas estelares, **envelopes circunstelares** e física do **meio interestelar**, que iniciou experimentos envolvendo as propriedades ópticas dos grãos interestelares, e o inglês John Tully, especialista em teoria de colisões atômicas e determinação das condições de excitação de **íons** de interesse astrofísico. Mais tarde viriam também os franceses Daniel Péquignot, que trabalhava com a determinação de coeficientes de **recombinação** de **íons** de interesse astrofísico, modelos de nebulosas fotoionizadas (ver **Fotoionização**), es-

pecialmente **nebulosas planetárias**, e Guy Mathez, que se interessava pela física de **quasares** e ministrou cursos de **transporte radiativo** e **cosmologia**. Lefèvre retornou à França após um ano, e foi substituído pelo uruguaio Sayd José Codina Landaberry (1926-2006) (Figura 5). Codina teve papel importante na formação de pessoal nas áreas de **astrofísica** estelar, **meio interestelar** e grãos interestelares tanto no IAG como, posteriormente, no ON. Manteve e desenvolveu o laboratório óptico para o estudo dos grãos interestelares e estudos de polarização (ver **Polarimetria**) de origem astronômica, o que levou à produção de diversas dissertações de mestrado e teses de doutorado no Departamento de Astronomia.

Figura 5. Sayd J. Codina Landaberry (1926–2006), responsável pelas primeiras pesquisas do IAG/USP nas áreas de **meio interestelar** e grãos interestelares

No início dos cursos de pós-graduação do IAG/USP, o número de docentes era bastante restrito, resumindo-se basicamente aos nomes já mencionados. Na época da chegada ao IAG do professor Pacheco, já ali se encontrava o professor Paulo Benevides Soares, engenheiro aeronáutico pelo ITA, que havia obtido doutoramento pela Universidade de Paris I (*Panthéon-Sorbonne*) em 1968, com tese na área de geofísica. O professor Benevides possuía considerável experiência observacional em astronomia de posição adquirida no Observatório de Besançon, na França. Ao retornar ao Brasil, passou a dedicar-se à **astrometria**, desenvolvendo e complementando projetos inicialmente a cargo do Dr. Alexander Postoiev (1900-1976), astrônomo russo que se encontrava no IAG/USP desde 1952, então basicamente o único pesquisa-

dor sênior a dedicar-se a projetos na área de astronomia observacional (Marques dos Santos and Matsuura, 1998). Benevides passou a ministrar cursos nessa área e a orientar estudantes de pós-graduação, tendo sido o principal responsável pelos projetos de astronomia de posição do Instituto nesta fase inicial. Seu principal estudante e colaborador, Luiz Bernardo Ferreira Clauzet (1946-1990), apresentou já em 1973 a primeira dissertação de mestrado nessa área, com uma análise das observações feitas com o **astrolábio** de São Paulo. Posteriormente, iniciou trabalho importante de colaboração internacional e modernização dos métodos astrométricos (ver **Astrometria**), interrompido por sua morte prematura. Ainda em 1973 chegou ao IAG a professora Sueli M. M. Viegas (então S. M. V. Aldrovandi), que havia concluído o bacharelado em física pela USP (1965) e realizado doutoramento na área de astronomia pela Universidade de Paris VII (1973). Com experiência nas áreas de nebulosas fotoionizadas (ver **Fotoionização**), **núcleos ativos de galáxias** (AGNs), **quasares** e estrutura do universo, passou a ser a principal orientadora em astronomia **extragaláctica** do Instituto nesta fase inicial.

Para contornar o problema da falta de especialistas em astronomia no país, durante a gestão Giacaglia foram publicados anúncios em publicações internacionais como *Science* e *Nature* tentando atrair para o IAG alguns pesquisadores do exterior. Como resultado, vieram para o Departamento de Astronomia da USP os americanos Charles A. Dean, Franklin G. VanLandingham e Calvin M. Burgoyne, e o indiano Patan Deen Singh (1942-1999) (Figura 6), além do também indiano Dipak Basu (1939-2011), egresso da Universidade Mackenzie.

Figura 6. Patan Deen Singh (1942–1999), principal orientador do IAG/USP na área de **astroquímica**

Dos americanos, apenas Burgoyne chegou a concluir orientações no departamento, tendo os três retornado aos Estados Unidos, terminado o período contratual inicial. Singh, ao contrário, permaneceu no país até sua morte, tendo sido responsável pela criação da área de **astroquímica**, deixando diversos alunos e colaboradores, ainda hoje em atividade (Almeida *et al.*, 2000).

Em 1973/1974 o Departamento de Astronomia do IAG/USP e seu curso de pós-graduação ganharam reforço considerável com a transferência para o IAG do professor Sylvio Ferraz-Mello, principal responsável pelo bem-sucedido curso de pós-graduação em astronomia do ITA. Ferraz-Mello graduou-se em física pela USP (1959), e obteve doutoramento pela Universidade de Paris em 1966 na área de **mecânica celeste**. Com o crescimento do Departamento do IAG, este passou a ser o local ideal para um grupo forte de astronomia, o que motivou a vinda do professor Sylvio e seus alunos Tadashi Yokoyama, Massae Sato e Masayoshi Tsuchida, que recentemente haviam concluído mestrado no ITA. Além disso, o país vivia sob uma ditadura militar e o ITA era um órgão do Ministério da Aeronáutica, que demonstrava então pequeno interesse nas pesquisas e cursos de astronomia, o que levou ao deslocamento da quase totalidade de seus astrônomos e estudantes para outras instituições, como o IAG/USP, o ON e o Observatório Astrofísico Brasileiro (OAB), futuro Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) em Itajubá.

Com esta diversidade de pesquisadores, as pesquisas e projetos de dissertações e teses de natureza mais teórica no Departamento de Astronomia do IAG/USP estavam bem encaminhados já nesta fase inicial. Do lado observacional, entretanto, estavam inicialmente disponíveis apenas os instrumentos para **astrometria**, como o **astrolábio de Danjon** e o **círculo meridiano**. Essa situação foi modificada com a aquisição de um telescópio Perkin-Elmer (P&E) de 60 cm para o IAG, localizado inicialmente em Valinhos, SP, e posteriormente (1992) transferido para o Pico dos Dias, no sítio do OAB onde, desde 1980, estava instalado o telescópio de 1,60 m desse Observatório.

O curso de pós-graduação em astronomia do IAG/USP foi oficialmente inaugurado em 1973, e as primeiras dissertações de mestrado foram apresentadas logo no ano seguinte. Um resumo dos mestrados defendidos no IAG/USP no período 1974 a 1977 está mostrado na Tabela 1, por orientador. A Tabela inclui um caso de coorientação (J. A. Tully) e um projeto parcialmente realizado no ITA (P. Benevides). A quase totalidade dos projetos (13) pertencia à área de **astrofísica**, com dois projetos em **astronomia fundamental**, refletindo a composição do corpo docente do Departamento.

Orientador	Total de mestrados
J. A. de Freitas Pacheco	5
Sayd J. Codina	5
Paulo Benevides	2
Sylvio Ferraz-Mello	1
Calvin M. Burgoyne	1
J. A. Tully	1
TOTAL	**15**

Tabela 1. Mestrados em astronomia no IAG/USP no período 1974–1977

Nos primeiros anos do curso de pós-graduação em astronomia do IAG/USP havia participação maior do Instituto de Física da mesma Universidade (IF/USP), tanto no sentido de alunos do IAG matricularem-se em cursos da física, quanto no sentido inverso. Em particular, cursos como mecânica quântica, eletrodinâmica e mecânica estatística oferecidos pelo IF/USP eram rotineiramente seguidos por alunos do mestrado em astronomia do IAG, o que proporcionava formação mais sólida em física, capacitando os estudantes a atuar em problemas mais complexos de natureza teórica. Com o tempo esse hábito foi se perdendo, tanto pelo aumento do número de cursos do próprio IAG — uma consequência natural do aumento do corpo docente com doutorado — quanto pelas restrições cada vez maiores com relação ao tempo de conclusão do mestrado, impostas basicamente pelas instituições financiadoras como FAPESP, CNPq e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Consolidação dos cursos de pós-graduação (1977-2012)

No fim da década de 1970, o curso de pós-graduação em astronomia do IAG/USP já se encontrava consolidado, contando com um corpo docente com cerca de 20 pesquisadores, com títulos de mestre ou doutor. Nesta época, foram apresentadas as primeiras teses de doutoramento realizadas no Instituto, como as de Oscar T. Matsuura (1976), sob orientação de Calvin M. Burgoyne, Walter J. Maciel (1977), sob orientação de Sayd Codina, Antonio Mário Magalhães (1979), sob a mesma orientação e João E. Steiner (1979), sob orientação de J. A. de Freitas Pacheco. Foi também apresentada a tese do próprio Sayd Codina (1977), que não possuia título formal até então, nominalmente orientado por J. A. de Freitas Pacheco.

Novo reforço aos cursos de pós-graduação ocorreu por volta de 1982, quando pesquisadores do antigo Departamento de Rádio Astronomia do ON (DRA/ON) transferiram-se para o IAG, que passou a contar com grupo de radioastronomia composto por Jacques Lépine, Reuven Opher, Maria Alcina Braz e o técnico Jorge Raffaelli. Na verdade, o grupo não manteve sua constituição original, uma vez que R. Opher passou a trabalhar nas áreas de plasmas e **cosmologia**, J. Lépine dedicou-se a áreas como estrutura galáctica, astronomia do infravermelho e instrumentação astronômica e M. A. Braz faleceu prematuramente. De fato, pesquisas mais intensas na área de radioastronomia somente foram retomadas alguns anos mais tarde, em 1988, com a transferência para o IAG/USP da pesquisadora Zulema Abraham, egressa do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A regulamentação do curso de pós-graduação em astronomia do Departamento de Astronomia do IAG/USP ocorreu em 1973, em nível de mestrado, e em 1979, em nível de doutorado, obtendo recredenciamento de acordo com o dispositivo da portaria da CAPES nº. 84 de 22/12/94. O programa em astronomia está subdividido em duas grandes subáreas: (i) **astrofísica** e (ii) **astronomia fundamental** e **dinâmica** do sistema solar. Os alunos com maior potencial são recomendados a cursar o doutorado direto, sem passar pelo mestrado, o que abrevia o tempo de sua formação.

Cada uma das duas grandes subáreas tem suas disciplinas básicas. Na subárea de **astrofísica**, onde se concentra a maior parte dos alunos e orientadores, recomenda-se que o estudante curse as disciplinas de **processos radiativos**, astrofísica observacional, astronomia **extragaláctica** e evolução estelar. Nas subáreas de **astronomia fundamental** e **mecânica celeste** as disciplinas básicas são teoria planetária, **astrometria**, **teoria das perturbações**, astronomia esférica e astrofísica observacional. Após o primeiro ano os alunos de doutorado devem se submeter a exame de qualificação em que é aferido conhecimento crítico em cada uma das disciplinas básicas.

A admissão aos cursos é feita por prova escrita eliminatória de física e matemática, correspondente aos dois primeiros anos do curso de física, e também pela análise de currículo e histórico escolar. A prova de ingresso é oferecida para todos os estudantes interessados, tanto no território nacional quanto no exterior. Há dois editais por ano, e cerca de 30% a 50% dos candidatos são aceitos no programa. Praticamente desde o início, o curso de pós-graduação em astronomia do IAG/USP atraiu estudantes estrangeiros, principalmente do Cone Sul, tendência que tem se acentuado em consonância com os esforços de internacionalização da Universidade. Cerca de 50 alunos estrangeiros se matricularam no curso vindos da Argentina, Chi-

le, Peru, Colômbia, Estados Unidos, Itália, Portugal e Uruguai, mas também com representantes da Bélgica, Equador, França, Irã, Israel, República Tcheca, Ucrânia e China. Por meio de acordos com outras universidades, alguns alunos têm obtido dupla titulação, envolvendo principalmente universidades francesas. A internacionalização dos cursos de pós-graduação e, por extensão, da pesquisa feita no país, também se beneficiou do advento da *internet* e, especialmente, da instituição dos estágios de doutoramento *sandwich,* em que os alunos podem permanecer parte do período do curso no exterior. Assim, parte significativa dos alunos consegue estabelecer colaborações internacionais ainda em uma fase inicial da carreira. Além disso, são incentivadas as participações de alunos em estágios curtos e simpósios no exterior, com ajuda parcial ou integral do Programa de Excelência Acadêmica (PROEX) da CAPES.

Desde 1997 o Departamento de Astronomia da USP oferece habilitação em astronomia para os alunos do curso de graduação do IF/USP, o que permite uma formação inicial em astronomia e **astrofísica**, em complementação às disciplinas básicas do curso de física. Mais recentemente, em 2009, foi implantado um curso de graduação em astronomia pelo próprio IAG, com o ingresso feito por meio do vestibular da Fundação Universitária para o Vestibular (FUVEST).

Uma vez que os egressos do curso de pós-graduação terão possivelmente no futuro atividades docentes, o IAG/USP organiza o Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE), que inclui ciclo de palestras com temas relacionados às diferentes técnicas ou problemas de ensino, ministradas por professores e/ou profissionais da área de ensino. Em segunda etapa, o Programa PAE conta com estágio junto a uma disciplina de graduação ministrada por um dos docentes do Departamento. Esse programa tem tido excelente aceitação pelos alunos da graduação e pós-graduação e pelos próprios docentes responsáveis por disciplinas.

Desde 1981 a formação dos alunos tem sido beneficiada pela organização pelo Departamento das Escolas Avançadas de Astrofísica, atualmente em sua 16ª edição realizada em novembro de 2012. Essas Escolas, geralmente em local isolado, onde os alunos e professores podem interagir com maior intensidade, têm sido complemento ideal para a formação dos estudantes, tanto do IAG/USP quanto outras instituições. Em cada uma delas, alguns pesquisadores do exterior e do país são convidados, havendo tipicamente três a quatro cursos intensivos durando cerca de uma semana, além de minicursos sobre assuntos relacionados aos cursos.

Com o crescimento do corpo docente, praticamente todas as áreas de pesquisa astronômica passaram a ser contempladas, em particular **astronomia funda-**

mental, **mecânica celeste**, astrofísica do sistema solar, astrofísica estelar, **meio interestelar**, **galáxias**, **AGNs**, universo em grande escala, **cosmologia**, **astrofísica de altas energias** e **plasmas**, **radioastronomia**, instrumentação astronômica e **astrobiologia**. Essa diversidade de áreas de pesquisa está refletida nas disciplinas de pós-graduação oferecidas, como pode ser visto na Tabela 2.

Código	Disciplina
AGA 5702	Teoria planetária
AGA 5704	Astrometria
AGA 5712	Astrofísica de alta energia
AGA 5713	Evolução estelar
AGA 5714	Meio interestelar
AGA 5716	Astronomia extragalática
AGA 5717	Cosmologia
AGA 5718	Radioastronomia
AGA 5719	Plasmas em astrofísica
AGA 5720	Teoria de perturbações I
AGA 5721	Teoria de perturbações II
AGA 5722	Astronomia esférica
AGA 5723	Ressonâncias planetárias
AGA 5724	Atmosferas estelares
AGA 5726	Ventos Estelares
AGA 5727	Quasares e Núcleos de Galáxias
AGA 5731	Processos Radiativos
AGA 5733	Espectros Atômicos e Moleculares
AGA 5735	Astrofísica Molecular
AGA 5737	Estrutura do Universo em Larga Escala
AGA 5739	Estrutura Galática
AGA 5740	Populações Estelares em Galáxias
AGA 5741	Formação de Estrelas
AGA 5742	Métodos Modernos em Astrometria
AGA 5746	Astrofísica dos Cometas
AGA 5751	Cosmologia Observacional
AGA 5802	Astrofísica Observacional
AGA 5812	Física de Supernovas e Estrelas Compactas
AGA 5816	Evolução Química da Galáxia
AGA 5886	Ciclo de Palestras de Introdução à Astronomia
AGA 5906	Formação e Evolução de Galáxias
AGA 5907	Nova Física no Espaço
AGA 5908	Magnetohidrodinâmica de Plasmas de Laboratório e Astrofísicos

AGA 5909	Instrumentação para telescópios óticos terrestres
AGA 5910	O espectro de atmosferas estelares quentes
AGA 5911	Cosmologia Física: Constituintes Básicos do Universo e sua Evolução
AGA 5912	Teoria e modelagem numérica de turbulência interestelar
AGA 5914	Métodos Numéricos em Astrofísica
AGG 5000	Preparação Pedagógica

Tabela 2. Disciplinas oferecidas no curso de pós-graduação em astronomia

Nos anos 1980, o corpo docente do Departamento alcançou cerca de 30 pesquisadores, número que tem se mantido aproximadamente constante. Com a conclusão dos doutoramentos dos docentes lotados no Instituto e a contratação de alguns pesquisadores que haviam obtido doutoramento no exterior, todos os pesquisadores do Departamento passaram a ser também orientadores, o que levou a considerável expansão nas linhas de pesquisa desenvolvidas e também nos projetos de mestrado e doutoramento. Desta forma, o número médio de alunos chegou a cerca de 65, com pequena variação ao longo dos últimos anos, como pode ser visto na Figura 7. Nessa Figura estão os alunos matriculados no curso de mestrado (em vermelho), doutorado (em azul) e o número total (em preto). Os dados são brutos, isto é, incluem aqueles que permaneceram matriculados, os que concluíram seus cursos e os que foram desligados em cada ano. Estes últimos correspondem a uma baixa e decrescente porcentagem dos alunos matriculados, tipicamente abaixo de 5% nos últimos 10 anos, como pode ser visto na Figura 8. Nota-se também na Figura 7 que o número de alunos de doutorado supera o número de alunos de mestrado, e inclui tanto aqueles que obtiveram antes o título de mestre, quanto os que fazem o doutorado direto.

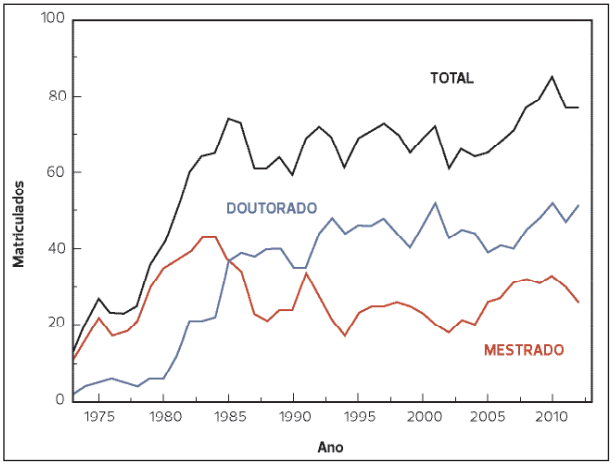


Figura 7. Total de alunos matriculados nos cursos de pós-graduação em astronomia do IAG/USP no período 1973–2012 no mestrado (vermelho), doutorado (azul) e total (preto)

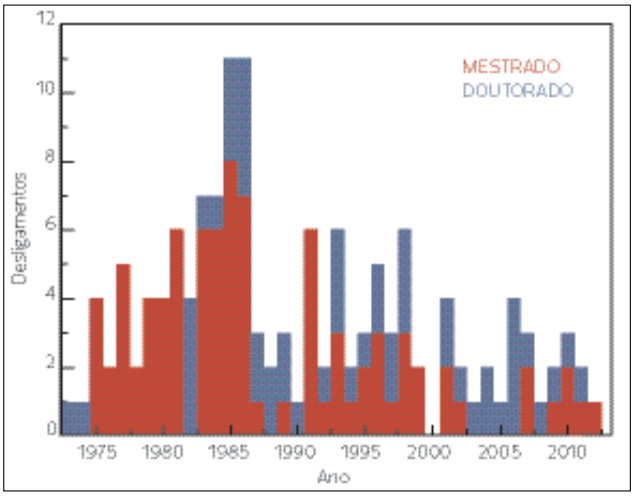


Figura 8. Desligamentos de alunos matriculados nos cursos de pós-graduação do IAG/USP no período 1973–2012 no mestrado (vermelho) e doutorado (azul)

O principal crescimento do Departamento nos últimos anos deveu-se a nova classe de pesquisadores, os pós-doutores ou pós-docs, e também ao maior número de alunos de iniciação científica, principalmente após a mudança do Departamento de seu antigo *campus* na Água Funda para a Cidade Universitária, concretizada em 2002 (Figura 9). Um mestrado profissional na área de ensino de astronomia, voltado basicamente para professores de ciências da rede pública, foi iniciado em 2013, o que deve aumentar o total de alunos do Departamento.

Figura 9. Prédio principal do IAG/USP na Cidade Universitária

Desde a fase inicial, a formação em nível de pós-graduação foi dirigida primordialmente para a pesquisa astronômica, em um esforço contínuo para a obtenção de resultados originais, publicados nas melhores revistas internacionais. Alguns indicadores quantitativos referentes aos anos de 2010 a 2012, apresentados na coleta CAPES 2012, estão mostrados na Tabela 3. Note-se que os dados de 2012 são parciais, e que o número de alunos informado nessa Tabela não inclui os que se titularam e os desligados, sendo pouco menor que os números correspondentes mostrados na Figura 7.

	2010	2011	2012
Número total de docentes	32	32	32
Número de bolsistas de produtividade[a] (CNPq)	23	24	26
Número total de mestrados titulados	11	8	4
Número total de doutorados titulados	11	6	7
Número de docentes que concluíram orientação	16	14	10
Número de discentes no programa (mestrado e doutorado)	62	60	62
Número de discentes com artigos **Qualis** A e B	19	24	13
Número de artigos **Qualis** A e B com autores discentes	53	64	39
Número total de artigos	95	95	62
Tempo médio de titulação no mestrado (meses)	27,1	28,3	28
Tempo médio de titulação no doutorado (meses)	55,5	58,2	50,1
Número de docentes em publicações **Qualis** A1, A2 e B1	29	23	26

Tabela 3. Indicadores quantitativos do curso de pós–graduação em astronomia do IAG/USP. [a]A **bolsa de produtividade** científica é concedida pelo CNPq a pesquisadores que se destacam pela produção científica

O número total de titulados entre 1974 e 2012 é cerca de 394, sendo 215 mestrados e 179 doutorados. O número de doutores corresponde aproximadamente a 50% do total de doutores em astronomia em atividade no país, segundo o levantamento da SAB em 2011. A distribuição anual desses títulos está mostrada nas Figuras 10, 11, e 12. A Figura 13 mostra alguns dados cumulativos, e pode-se notar que a taxa de crescimento era mais baixa na fase inicial, que vai até a conclusão dos primeiros doutorados no Departamento. Esses jovens doutores passaram também a orientar estudantes, somando-se aos novos docentes contratados no início da segunda fase, de modo que a taxa de crescimento dos titulados mudou de patamar (note-se a mudança de inclinação na Figura 13), por volta de 1982 para os mestrados e um pouco mais tarde, por volta de 1986, para os doutorados. Nesta segunda fase, que continua até o presente momento,

o Departamento tem formado cerca de sete mestres por ano e igual número de doutores, com média de 14 títulos concedidos por ano.

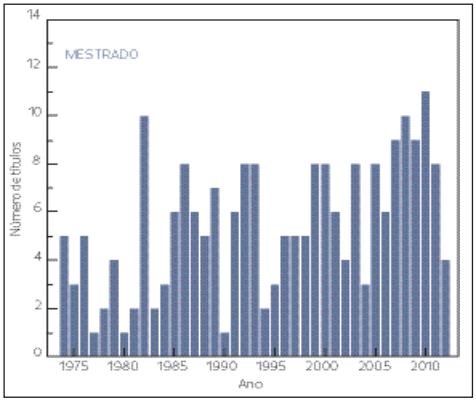


Figura 10. Mestrados obtidos no curso de pós-graduação em astronomia do IAG/USP (1974-2012)

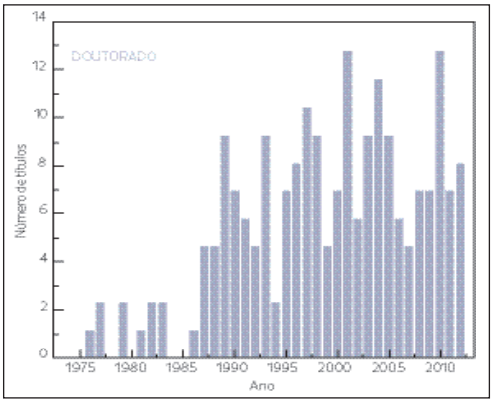


Figura 11. Doutorados obtidos no curso de pós-graduação em astronomia do IAG/USP (1974-2012)

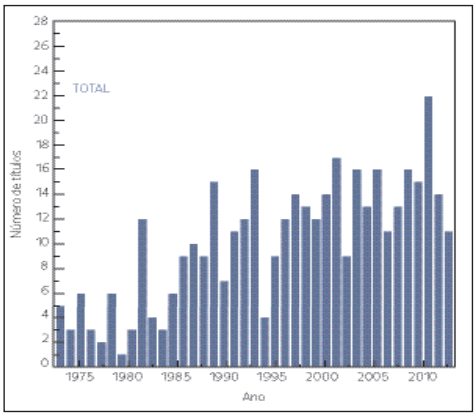


Figura 12. Total de mestrados e doutorados obtidos no curso de pós-graduação em astronomia do IAG/USP (1974-2012)

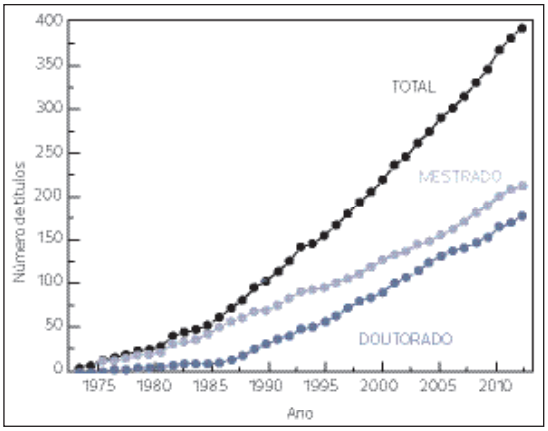


Figura 13. Distribuição cumulativa dos mestrados e doutorados obtidos no curso de pós–graduação em astronomia do IAG/USP (1974–2012)

Os tempos de titulação, no passado um difícil problema para os cursos de pós-graduação devido à inexperiência dos orientadores e a uma maior leniência por parte das agências financiadoras, têm diminuído para níveis satisfatórios nos últimos anos. Isto se deve basicamente à limitação dos tempos de bolsas pelas agências financiadoras e, em parte, à otimização dos currículos e requisitos necessários para a conclusão dos cursos. Essas medidas, ao mesmo tempo que reduziram os tempos de titulação tipicamente para cerca de 2,5 anos para o mestrado e 4,5 anos para o doutoramento, tiveram também o efeito colateral de limitar o número de cursos frequentados, o que pode produzir limitação nas futuras áreas de atuação dos estudantes.

Com relação ao destino dos titulados, dados de 2011 sugerem que 46,2% estão contratados em universidades/institutos no país, 9,6% estão contratados no exterior, 11,5% ocupam posições de pós-doutoramento (no país ou no exterior) e para 32,7% não há informações.

Para a manutenção dos cursos de pós-graduação e pesquisas nas áreas mencionadas, o Instituto dispõe de infraestrutura que inclui biblioteca bastante completa, com os principais periódicos em coleções completas e acesso *online* aos periódicos; microcomputadores para todos os alunos, *workstations*, acesso a *cluster*s, em particular o cluster *Alpha Crucis*, recentemente instalado com 2.300 *cores*, obtido pelo projeto multiusuários da FAPESP; laboratórios de óptica, eletrônica e exobiologia **(astrobiologia)**, estação de operação remota de grandes telescópios, observatório no *campus* para fins didáticos, equipamentos no Observatório Abrahão de Moraes localizado em Valinhos, como um **círculo meridiano** e um telescópio robótico. O acesso a telescópios inclui aqueles disponíveis para a comunidade brasileira, como os telescópios de 1,6 m e 0,6 m do LNA, o telescópio de 4 m SOAR (*SOuthern*

Astrophysical Research) no Chile, assim como o de 4 m (Blanco) do CTIO (*Cerro Tololo Inter-American Observatory*) também no Chile e os telescópios de 8 m Gemini (Havaí e Chile), Subaru 8,2 m, Keck 10 m e CFHT (*Canada-France-Hawaii Telescope*) 3,6 m (Havaí) e o radiotelescópio de 13,7 m do Rádio Observatório do Itapetinga (ROI) em Atibaia, SP. Esses equipamentos são geralmente utilizados em projetos em que os orientadores ou colaboradores são pesquisadores principais, de modo que os estudantes são beneficiados, especialmente nos projetos de doutorado. Os pesquisadores participam ainda de projetos internacionais, como o satélite CoRoT (*COnvection ROtation et Transits planétaires*), instrumentação para o SOAR, projeto LLAMA (*Large Latin American Millimeter Array*), CTA (*Cherenkov Telescope Array*), missão *Gaia*, satélite *Euclid*, além de diversos projetos de intercâmbio como CAPES/COFECUB (COFECUB: *Comité Français d'Évaluation de la Coopération Universitaire et Scientifique avec le Brésil*), USP/COFECUB e FAPESP/CNRS (CNRS: *Centre National de la Recherche Scientifique*). Recentemente, em uma iniciativa inédita do professor Jorge Meléndez, os alunos da disciplina "Astrofísica Observacional" do curso de pós-graduação participaram de uma missão no ESO (*European Southern Observatory*) em La Silla (Chile), tendo oportunidade de visitar os observatórios Gemini, SOAR e CTIO. Finalmente, desde 2011 os pesquisadores têm acesso a todos os telescópios do ESO.

Com base no exposto acima pode-se concluir que os 40 anos decorridos desde o início dos cursos de pós-graduação em astronomia do IAG/USP foram coroados de sucesso. Isto pode ser visto também pelo conceito obtido nas avaliações da CAPES, que conferiram ao programa a nota 7 (sete), nota máxima atribuída aos programas com excelência internacional. Além disso, em praticamente todas as instituições que desenvolvem pesquisa em astronomia no país existem pesquisadores formados pelo IAG/USP, como na Escola de Artes, Ciências e Humanidades do *campus* USP Leste (EACH/USP), Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL), Universidade Federal do ABC (UFABC), Universidade do Grande ABC (UniABC), Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), INPE, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Universidade do Vale do Paraiba (UNIVAP), Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUCAMP), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade Estadual de Londrina (UEL), Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), LNA, Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), ON, Observatório do Valongo (OV/UFRJ), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Universidade Federal de Mato Grosso

(UFMT), Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), além de algumas instituições do exterior. Muitos desses profissionais exercem também papel relevante na gestão de instituições e comitês nacionais e internacionais. Parte considerável deste sucesso deve ser creditada ao apoio financeiro recebido, em particular da FAPESP, assim como do CNPq, CAPES, Financiadora de Estudos e Projetos, Agência Brasileira de Inovação a partir de 2014 (FINEP), além de recursos da própria Universidade. Lastima-se apenas que Abrahão de Moraes não tenha vivido o suficiente para ver o sucesso do projeto que iniciou.

Agradecimentos

Sou grato aos professores Sylvio Ferraz-Mello e Gastão Bierrenbach Lima Neto, e aos funcionários da Seção de Pós-Graduação do IAG/USP Marcel Yoshio Kimura e Lilian Monteiro da Silva pela disponibilização de documentos relativos aos cursos de pós-graduação em astronomia.

Referências

Almeida, Amaury; Barbuy, Beatriz e Maciel, Walter J. (2000), "O professor Singh e a astroquímica no Brasil", *Boletim da SAB*, 19, 3, 3-12, versão html disponível em http://www.astro.iag.usp.br/~maciel/teaching/artigos/pds/pds.html, acesso em 7/1/13.

Barbuy, Beatriz; Braga, João e Leister, Nelson (1994), *A Astronomia no Brasil: depoimentos*, São Paulo: SAB.

Barbuy, Beatriz and Maciel, Walter J. (2013), Astronomy in Brazil *in* Andre Heck (Org.), *Organizations, People and Strategies in Astronomy, vol. 2*, 99-118, Duttlenheim: Venngeist.

Ferraz-Mello, Sylvio (1982), *Escolha de sítio para o observatório astrofísico brasileiro,* Rio de Janeiro: ON/CNPq.

Maciel, Walter J. (1994), "A escolha de sítio do ponto de vista dos índios", *Boletim da SAB*, 14, 2, 64-75, versão html disponível em http://www.astro.iag.usp.br/~maciel/teaching/artigos/indios/indios.html, acesso em 7/1/13.

Marques dos Santos, Paulo (2005), *Instituto Astronômico e Geofísico da USP, Memória sobre sua formação e evolução*, São Paulo: Edusp.

Marques dos Santos, Paulo and Matsuura, Oscar T. (1998), The astronomer Alexander I. Postoiev (1900-1976), *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 17, 263-279.

Moraes, Abrahão de (1955), "Astronomia no Brasil", *in* Fernando de Azevedo (Org.), *As ciências no Brasil*, 84-161, São Paulo: Edições Melhoramentos.

Parte 2
A multiplicação de centros de astronomia no país

Kepler de Souza Oliveira Filho (IF/UFRGS)

A pesquisa e a pós-graduação em astronomia no Brasil cresceram muito desde o início na década de 1970, espalhando-se pelas universidades e institutos de pesquisa do país, com o desenvolvimento de observatórios astronômicos em ondas de rádio e na faixa espectral óptica, e a participação em colaborações internacionais, mas ainda precisa se difundir para atingir a massa crítica e tornar-se competitiva internacionalmente.

Introdução

Entendemos como centros de pesquisa aqueles que produzem pesquisa científica e pós-graduação, formando novos profissionais. Este Capítulo trata então da pós-graduação em astronomia no país e, portanto, inicia na década de 1970. Por ter desempenhado papel reconhecidamente modelar, pela influência que teve na formação de novos centros e pela extraordinária vitalidade que vem mantendo até hoje, a pós-graduação do Departamento de Astronomia do Instituto Astronômico e Geofísico da USP (IAG/USP)[1] foi abordada em separado no outro texto deste Capítulo (ver "40 anos de pós-graduação em astronomia no IAG/USP: uma história de sucessos"). Por isso ela não será tratada neste texto. A **radioastronomia** é tratada em outro Capítulo (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume), no qual a implantação em 1969 da pós-graduação no Centro de Radio Astronomia e Astrofísica Mackenzie (CRAAM) é descrita.

A astronomia é parceira da física, formando a **astrofísica** que usa os objetos astronômicos e o próprio universo como laboratório para estudar as leis físicas. Por isso a pós-graduação em astronomia se espalhou no Brasil em grande parte em institutos ou departamentos de física.

Hoje mais de 30 instituições de ensino superior e pesquisa do Brasil têm professores orientadores em astronomia, **astrofísica** ou **cosmologia**. Assim o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, CBPF, desde 1978 tem o maior grupo de **cosmologia** e relatividade do Brasil (ver o Capítulo "Cosmologia teórica" neste Volume), e o Departamento de **Raios Cósmicos** e Cronologia do Instituto de Física Gleb Wataghin (IFGW) da Unicamp tem o maior grupo de física de partículas cósmicas (ver o Capítulo "Pesquisas em raios cósmicos" neste Volume). O Instituto de Geociências (IG) da Unicamp tem um grupo que estuda crateras brasileiras produzidas por impactos meteoríticos (ver "Crateras de impacto meteorítico no Brasil" no Capítulo "Meteorítica" no Volume I) e o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) tem um grupo de pesquisa dedicado ao estudo de **ondas gravitacionais** (ver o Capítulo "Ondas gravitacionais" neste Volume. Há grupos de biofísica, bioquímica e físico-química que estão trabalhando em colaboração com astrônomos em **astrobiologia.** Mas este texto tratará somente da pós-graduação em astronomia e **astrofísica** desenvolvida em departamentos

---

[1] A astronomia hoje está consolidada em diversas instituições do país, e o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG) é, no momento, a maior delas. ... Atualmente é a mais importante instituição do país em número de pesquisadores, em produção total e na pós-graduação (nota 7 na CAPES), com cerca de 1/3 dos estudantes de astronomia do país (Steiner *et al.*, 2011: 102).

de física ou astronomia de universidades e institutos de pesquisa. Não tratará das pós-graduações em **raios cósmicos**, **cosmologia** teórica, crateras meteoríticas (ver **Meteorito**), **ondas gravitacionais** etc., desenvolvidas em institutos de física, matemática e geociências de diferentes universidades ou em departamentos de institutos de pesquisa, nem de pós-graduações em **astrobiologia**, por trabalharem na fronteira com a astronomia. Também não tratará dos programas de pós-graduação de mestrado e doutorado acadêmico ou mestrado profissional em ensino de astronomia, sendo que esse assunto é abordado no Capítulo "Astronomia na educação básica" no Volume I.

A metodologia adotada neste trabalho foi a coleta de dados históricos e atuais de cada programa de pós-graduação em astronomia e astrofísica, consultando colegas, relatórios das comissões de pós-graduação e compilação de informações sobre publicações usando a base digital de dados do *Web of Science*.

ITA (1968)

As primeiras aulas de astronomia no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) foram ministradas entre 1964 e 1966 por Luiz Muniz Barreto (1925-2006), doutor em ciências nas especialidades de mecânica racional e **mecânica celeste**, em 1962, pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade Estadual da Guanabara (atual UERJ), pesquisador do Observatório Nacional (ON) desde 1945[2]. As primeiras dissertações de mestrado em astronomia no Brasil ocorreram no ITA, com a construção de um telescópio de 50 cm de diâmetro em São José dos Campos, SP, entre 1967 e 1973, e a volta para o Brasil de Sylvio Ferraz-Mello, *Docteur-dès-Sciences Mathématiques* pela Universidade de Paris (1963-1966), dando início ao Departamento de Astronomia do ITA. Ferraz-Mello orientou 12 mestrados lá (Figura 1), o primeiro em 1968, de Rodolpho Vilhena de Moraes, no Departamento de Matemática, voltado para a dinâmica orbital. Em 1974 Ferraz-Mello, o único doutor em astronomia do ITA, se transferiu para o IAG/USP. Rodolpho Vilhena de Moraes completou doutorado em 1978 no ITA, ainda sob orientação de Ferraz-Mello, com o título "Ação da Pressão de Radiação Solar e do Arrasto Atmosférico sobre Órbitas de Satélites Artificiais".

Em 1987 o nome do Departamento de Astronomia foi alterado para Departamento de Mecânica do Voo e Orbital e as pesquisas em **astrofísica** foram encerradas (Vilhena de Moraes, 1983).

---

[2] R. Vilhena de Moraes, correspondência particular, 5/3/14.

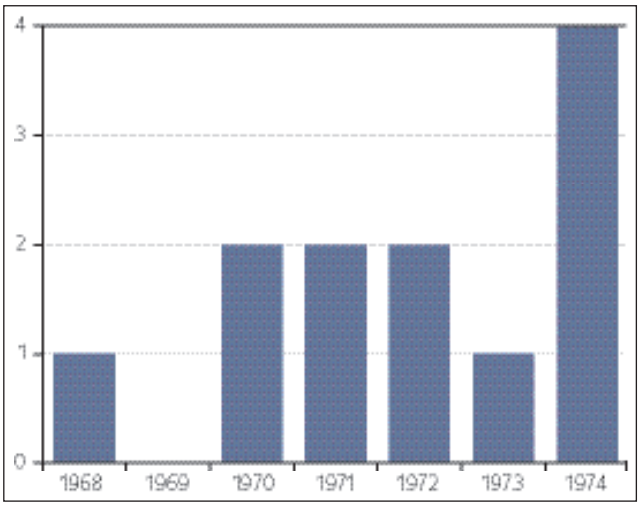


Figura 1. Mestrados concluídos no ITA

UFRGS (1971)

A astronomia na UFRGS (Universidade FederalUdo Rio Grande do Sul) existe antes mesmo da formalização institucional da universidade em 1934, com a fundação do Observatório Astronômico (OA) em 1908 (ver "O Observatório da UFRGS: patrimônio histórico nacional" no Capítulo "Acervo instrumental e arquitetônico" no Volume I).

Em 1970 foi construído o Observatório do Morro Santana, com um telescópio Zeiss de 50 cm de diâmetro, sob a chefia de Edemundo da Rocha Vieira, que havia concluído doutorado no *Instituto Argentino de Radioastronomia* da Universidade de Buenos Aires, sob orientação de Carlos Oton Rüdiger Jaschek (1926-1999), sobre a distribuição de hidrogênio neutro no centro da **Galáxia**.

Em 1971, na reestruturação das universidades federais, o Instituto de Física (IF) da UFRGS criou o Departamento de Astronomia, que passou a administrar o OA. Participaram da primeira reunião desse Departamento, em 22/3/71, já no Observatório do Morro Santana, os professores José Carlos Haertel, Edemundo da Rocha Vieira, Vitor Francisco de Araújo Haertel e Jorge Alberto Castro de Faria e os bolsistas Rogério Livi e Silvia Helena Becker Livi. Consolidavam-se assim as atividades de ensino, pesquisa e extensão em astronomia na UFRGS, incluindo a decisão de construir um fotômetro[3] estelar e oferecer a disciplina

[3] Ver **Fotometria**.

"Introdução à Astronomia" a cargo de Edemundo da Rocha Vieira, que tornou-se obrigatória dentro dos cursos de bacharelado e licenciatura em física.

No mesmo ano chegavam Federico Máximo Strauss (1942-1981), que havia feito doutorado na *Boston University* sobre física solar, sob orientação de Michael D. Papagiannis (1933-1998), um dos fundadores da procura de vida extraterrestre, e Zulema Abraham, que havia realizado doutorado de 1967 a 1971 em opacidades estelares e fluxo de **neutrinos** solares no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), sob orientação de Icko Iben Jr., que trabalhava com Martin Schwarzschild (1912-1997), considerado o pai da teoria de evolução estelar.

Sílvia Helena Becker Livi inicia então o programa de mestrado sob orientação de Zulema Abraham com dissertação intitulada "Evolução de estrelas com acréscimo[4] de massa", defendida em 23/5/75, e Jorge Ricardo Ducati, orientado por Federico Máximo Strauss defende a dissertação de mestrado intitulada "Definição e aplicação de um sistema fotométrico em Hα" em 31/1/78.

Mas em 1978 Federico Strauss e Zulema Abraham deixam a UFRGS, indo para o CRAAM/ON. De 1978 a 1979, Juan José Clariá, argentino que tinha se doutorado em Córdoba, especialista em **fotometria** fotoelétrica de aglomerados de estrelas, permanece na UFRGS e orienta o autor deste texto. Em 1979 chega da Argentina Miriani Grizelda Pastoriza, doutora especialista em astronomia **extragaláctica** e descobridora dos núcleos de galáxias ativas (ver **núcleo ativo de galáxia**) denominadas de Sérsic[5]-Pastoriza. Também chega nesse ano o argentino Horácio Alberto Dottori, especialista em **buracos negros**, mas que não havia completado doutorado por problemas com a ditadura argentina. Em 26/8/83 ele completa doutorado na UFRGS, com a tese "Espectros de absorção, contínuo óptico e avermelhamento em núcleos normais e ativos de galáxias espirais", sob orientação de José Antônio de Freitas Pacheco, do IAG/USP, e Edemundo da Rocha Vieira, da UFRGS. Foi o primeiro doutorado em astronomia da UFRGS.

Com o retorno do doutorado na França de Jorge Ricardo Ducati em 1983, e do autor deste texto em 1984, a pesquisa da UFRGS em astronomia amplia-se para a área de astronomia estelar.

Os professores do Departamento de Astronomia da UFRGS passaram de 5 em 1978 para 12 em 2012. Eles orientam também na pós-graduação em Ensino de Física do IF e Sensoriamento Remoto da UFRGS e, desde 2010, coordenam o bacharelado de física em **astrofísica**. O número de mestres formados por ano está na Figura 2, o de doutores na Figura 3.

---

[4] Ver **Acresção**.

[5] José Luiz Sérsic (1933-1993), astrônomo argentino especialista em morfologia de **galáxias** e pioneiro da astronomia extragaláctica no hemisfério sul.

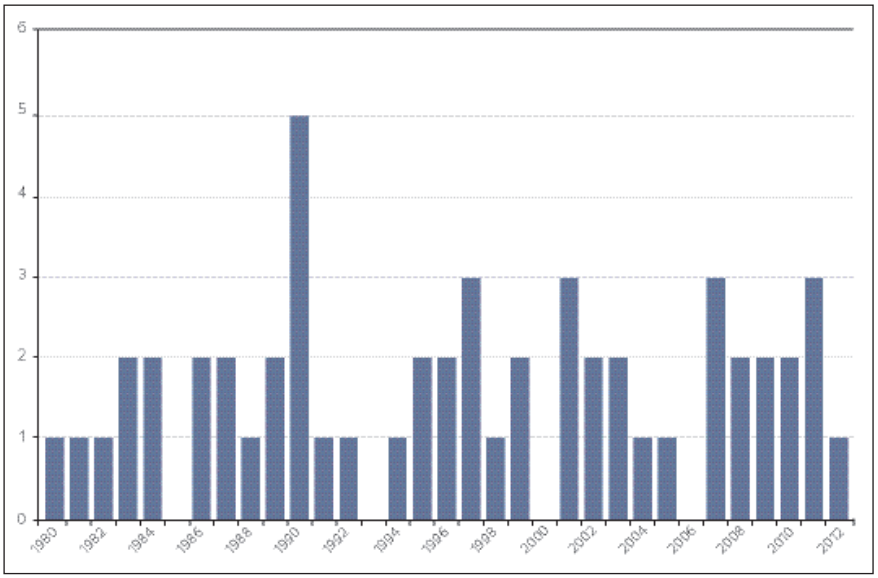


Figura 2. Mestrados a cada ano concluídos na UFRGS

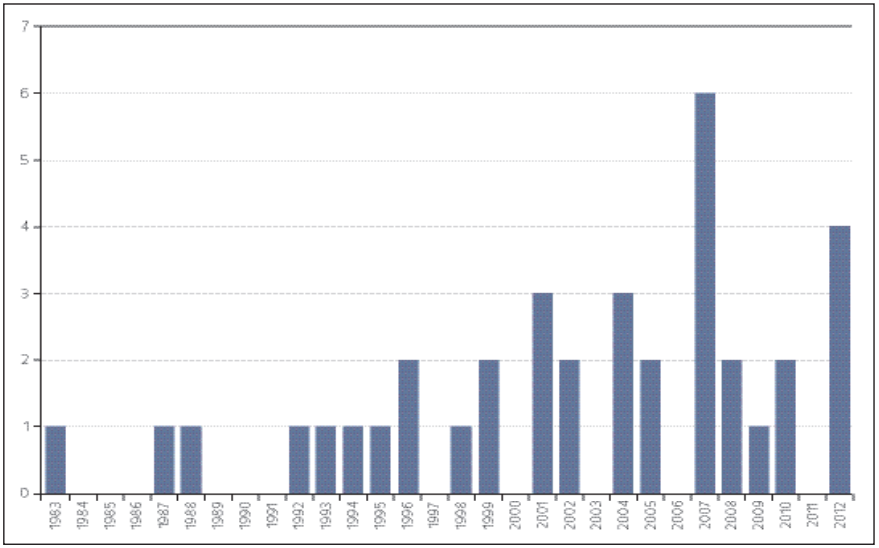


Figura 3. Doutorados concluídos na UFRGS

Em 2013, o Departamento contava com 14 docentes e formou, no total, 57 mestres e 41 doutores. Os pesquisadores do Departamento são regularmente os mais produtivos em número de artigos publicados por ano por pesquisador em toda a astronomia no Brasil (Figura 4).

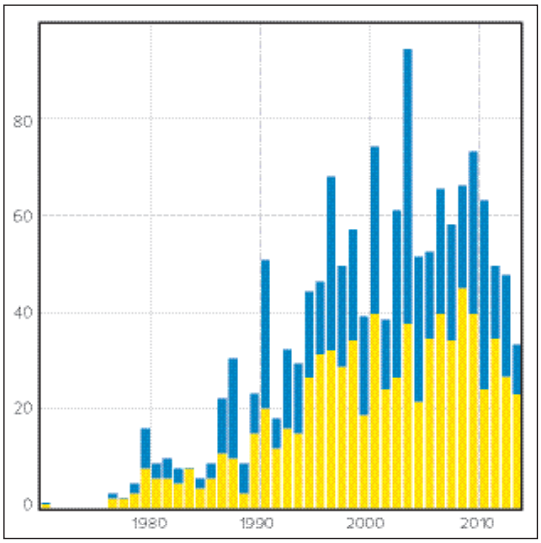


Figura 4. Evolução do número anual de publicações do Departamento de Astronomia da UFRGS. Em amarelo, publicações em revistas arbitradas. O complemento em azul mostra as publicações em revistas não arbitradas.

A Figura 5 mostra o total de citações dos artigos dos pesquisadores do Departamento de Astronomia da UFRGS, atualmente da ordem de 1.500 citações por ano, mostrando a repercussão internacional da pesquisa desse grupo. A pós-graduação em física e astronomia tem conceito 7 na CAPES, que é a nota máxima no sistema de avaliação da pós-graduação dessa instituição.

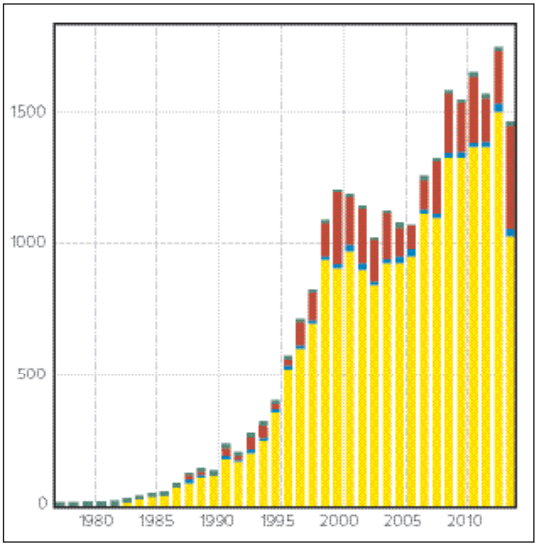


Figura 5. Número anual de citações dos artigos publicados pelos pesquisadores do Departamento de Astronomia da UFRGS. Em amarelo, citações de artigos arbitrados, em azul as autocitações e em vermelho as citações de publicações não arbitradas

UFMG (1972)

O Observatório Astronômico Frei Rosário, na Serra da Piedade, município de Caeté, MG, região metropolitana de Belo Horizonte, foi construído em 1972 com telescópios Zeiss de 60 cm e 15 cm. O grupo de **astrofísica** da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) nasceu depois da escolha de sítio para o Observatório Astronômico do Pico dos Dias (ver o Capítulo "O observatório de montanha" neste Volume). Todas as medidas em Minas Gerais para esse programa foram feitas pelo pessoal da UFMG, com Germano Quast, Paulo Marques dos Santos e Luiz Muniz Barreto. Depois desse programa, Rodrigo Dias Társia e Rogério Godoy convenceram o professor Francisco de Assis Magalhães Gomes (1906-1990), então diretor do Instituto de Ciências Exatas (ICEx) da UFMG, a criar o grupo com a ajuda de Muniz Barreto, que ia dar aulas naquela Universidade.

O Observatório Frei Rosário foi construído para fixar o grupo em torno do equipamento adquirido através do Convênio MEC/RDA (Ministério da Educação e República Democrática da Alemanha) que vigorou nos anos 1969-1970. O governo do Estado construiu o prédio com o apoio do Centro de Estudos Astronômicos de Minas Gerais (CEAMIG). Os astrônomos faziam e fazem parte do Departamento de Física do ICEx/UFMG.

O primeiro mestrado em astronomia na UFMG foi defendido em agosto de 1972 por Rodrigo Társia, sob orientação de Sylvio Ferraz-Mello, do ITA, e Jean Lefèvre, do *Observatoire de Nice*, França. A pesquisa foi realizada no IAG/USP. Ronaldo Eustáquio de Souza, hoje no IAG/USP, defendeu seu mestrado em 1973, orientado por José Antonio de Freitas Pacheco, do IAG/USP.

Entre 1975 e 1977 esteve na UFMG Eric Walter Elst, do Observatório Real da Bélgica em Uccle, que orientou dois mestrados em estrelas variáveis, de Rogério Camisassa Rodrigues e Fernando Camelier. Em 1976, José Teotônio Ferreira defendeu mestrado, orientado por Luiz Muniz Barreto, do ON.

Por volta de 1975 chegou o astrônomo espanhol, especialista em estrelas binárias, Teodoro José Vives Soteras, vindo da Argentina, que se tornou diretor do Observatório da UFMG e orientou Luiz Paulo Ribeiro Vaz que, em 1977, defendeu a dissertação intitulada "O sistema binário eclipsante RY Indi". Ainda em 1976 Vives se transferiu para o Observatório do Valongo (OV) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e, em 1982, transferiu-se para o Observatório de Calar Alto, Espanha. Posteriormente Luiz Paulo foi realizar doutorado na Universidade de Copenhague, na Dinamarca, retornando à UFMG em 1984.

Em 1978, Licio da Silva, do ON, orientou o mestrado de Dalton de Faria Lopes e Ramon Julian Quiroga orientou Gabriel Armando Pellegatti Franco em 1981.

Em 2013 o grupo contava com 7 pesquisadores na área de astronomia, nas subáreas de **heliossismologia**, **astrofísica** do **meio interestelar** e estelar. O número de mestres formados por ano está na Figura 6, e o de doutores, na Figura 7.

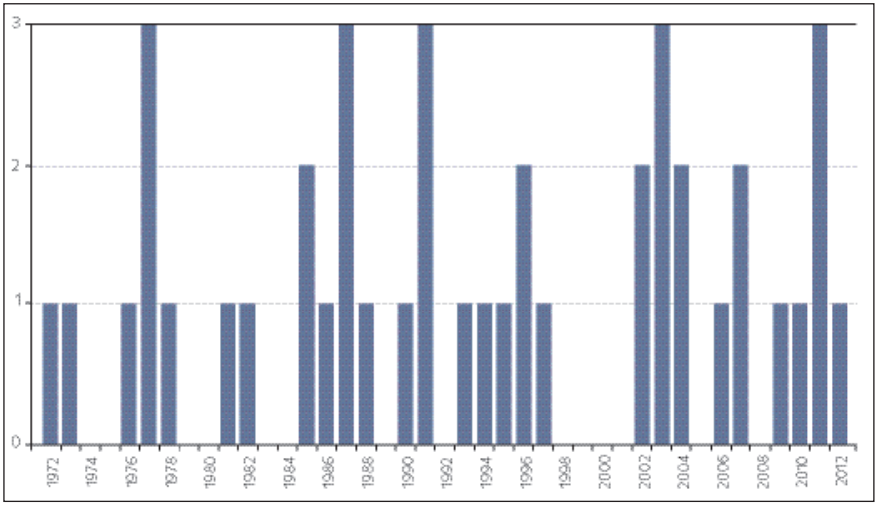


Figura 6. Mestrados a cada ano concluídos na UFMG

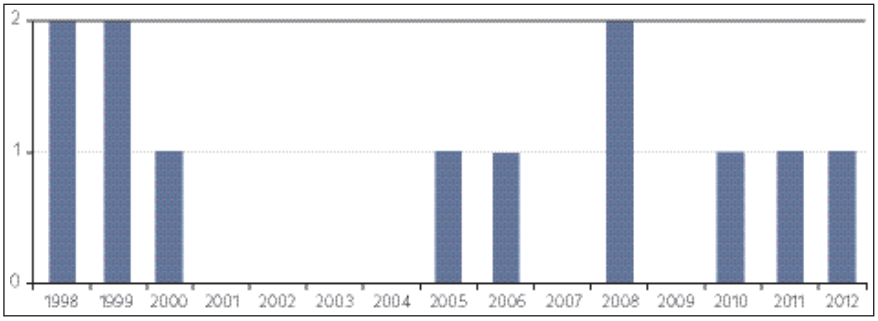


Figura 7. Doutorados concluídos na UFMG

A Figura 8 mostra a produção científica do grupo e a Figura 9, as citações a esses trabalhos. A pós-graduação em física e astronomia da UFMG tem conceito 7 na CAPES.

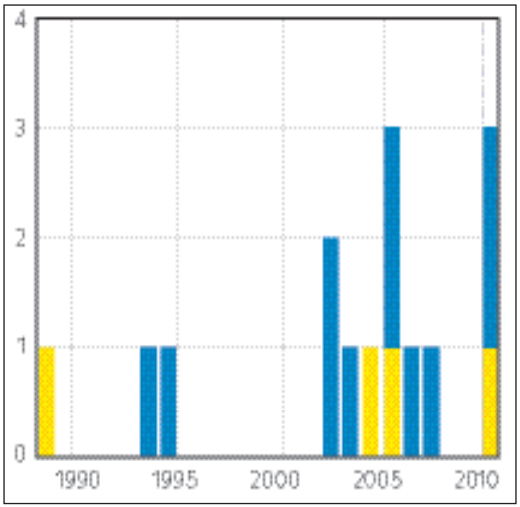


Figura 8. Evolução do número anual de publicações do grupo de astronomia da UFMG. Em amarelo, publicações em revistas arbitradas. O complemento em azul mostra as publicações em revistas não arbitradas.

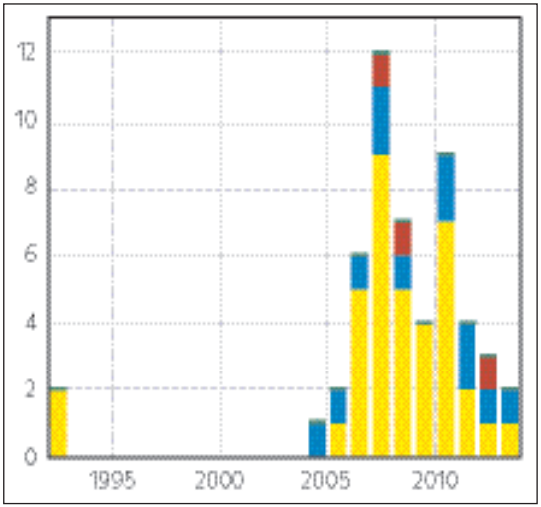


Figura 9. Número anual de citações dos artigos publicados pelo grupo de astronomia da UFMG Em amarelo, citações de artigos arbitrados, em azul as autocitações e em vermelho as publicações não arbitradas

ON (1980)

O programa de pós-graduação do ON foi inicialmente credenciado pelo Conselho Federal de Educação (CFE) através do Parecer 5/73, de 22/1/1973, com o retorno ao Brasil de Licio da Silva após doutoramento na *Université de Paris VII Denis Diderot*, realizado de 1968 a 1973, e concluído com a defesa da tese *Étude de 3 sousgéantes proches déficientes en métau*x.

Com a chegada em 1977 de Jorge Ramiro de la Reza, que havia concluído doutorado com a tese "A abundância do potássio na atmosfera solar" na *Université de Genève* na Suíça, sob orientação de Edith A. Müller e, em 1979, de Luiz Alberto Nicolaci da Costa, que havia completado doutorado com a tese *Effects of a central gas cloud in dense stellar system*s, sob orientação de Alastair Graham Walter Cameron (1925-2005) na *Harvard University*, e a transferência do grupo de **radioastronomia** do CRAAM para o ON, consolida-se a pós-graduação em astronomia no ON.

Os primeiros mestrados foram em 1981, de Nilza Pires com a dissertação "Envelope de estrelas semi regulares", sob a orientação de Jacques R. D. Lépine; de José Renan de Medeiros com a dissertação "Espectro rádio de quasares", sob a orientação de Zulema Abraham (INPE) e Nicolaci da Costa; e Marcio Antonio Geimba Maia com a dissertação "Radioestrelas" sob a orientação de Jacques R. D. Lépine, e o primeiro doutorado, em 1983, foi de Maria Alcina Braz (1947-1987) com a tese "Masers de H_2O e fontes de infravermelho em regiões de formação de estrelas".

Mencionamos aqui a construção do Observatório Astrofísico Brasileiro (OAB) em 1980, sob a coordenação de Luiz Muniz Barreto, então diretor do ON, com a instalação do telescópio Perkin-Elmer (P&E) de 1,6 m em Brazópolis, MG, completada em 1981, que permitiu a consolidação da pesquisa em astronomia óptica (ver **Óptico**) no Brasil. Depois o OAB foi transformado no Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA). Ver o Capítulo "O observatório de montanha" neste Volume.

Atualmente a pós-graduação em astronomia do ON conta com 20 docentes permanentes, atuando nas áreas de astronomia de posição, **astronomia dinâmica**, **astrofísica** do sistema solar, do **meio interestelar**, estelar e **extragaláctica**, **cosmologia** e **astrofísica** relativística, com conceito 5 na CAPES. Até o início de 2013, o programa formou 101 mestres e 66 doutores. As Figuras 10 e 11 mostram, respectivamente, a produção de mestres e de doutores por ano.

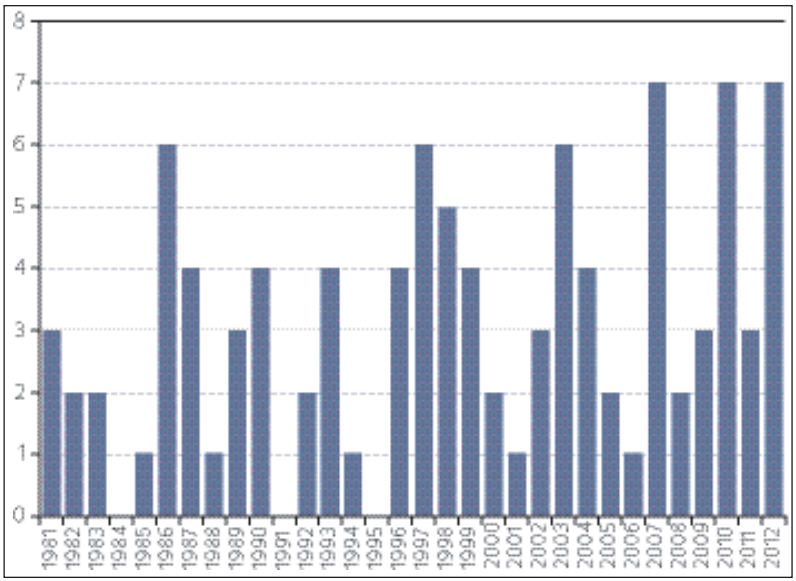


Figura 10. Mestrados concluídos no ON

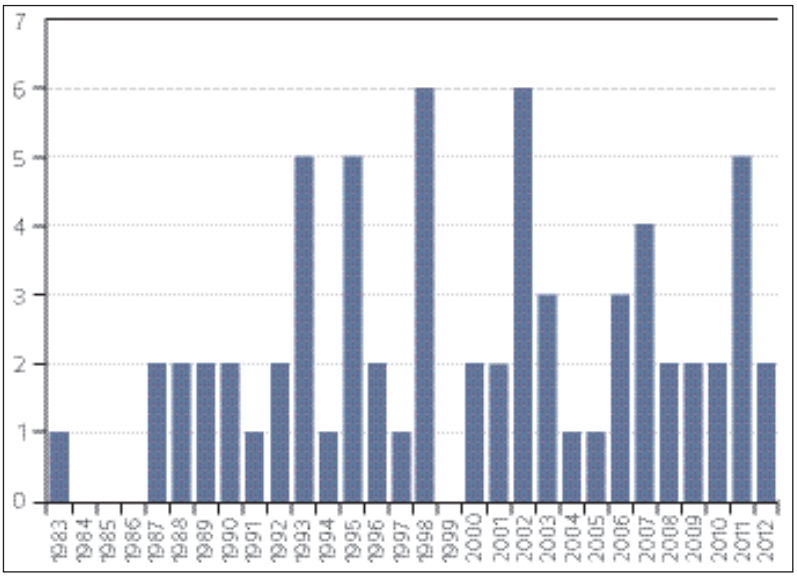


Figura 11. Doutorados concluídos no ON

A Figura 12 mostra a produção científica do grupo de astronomia do ON e a Figura 13 o número de citações a esses artigos.

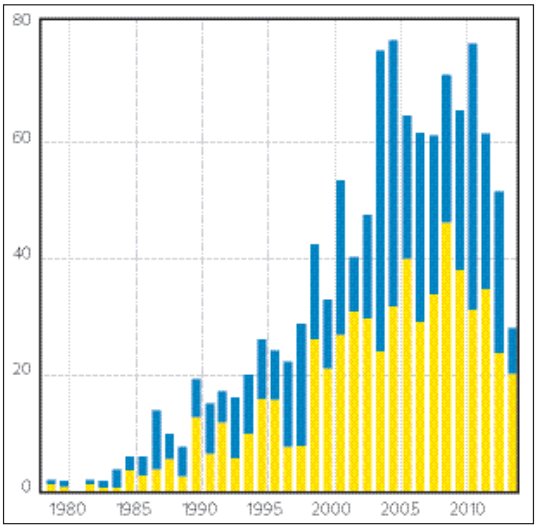


Figura 12. Evolução do número anual de publicações do grupo de astronomia do ON. Em amarelo, o número anual de publicações em revistas arbitradas. O complemento em azul mostra as publicações em revistas não arbitradas

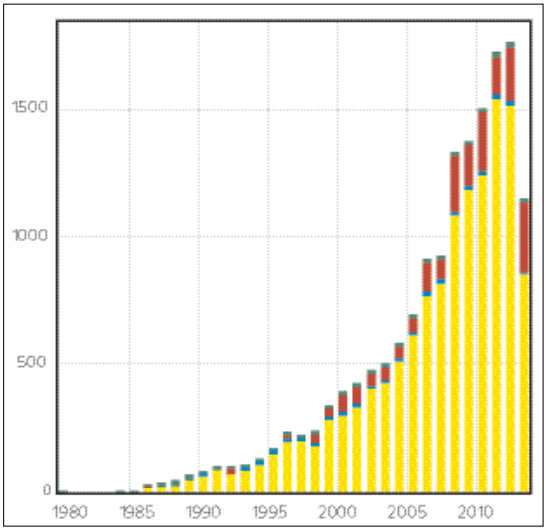


Figura 13. Número anual de citações dos artigos publicados pelos pesquisadores de astronomia do ON. Em amarelo, citações dos artigos arbitrados, em azul as autocitações e em vermelho as publicações não arbitradas

INPE (1980)

O curso de pós-graduação em astrofísica teve início no INPE em 1980, inicialmente como uma das áreas de concentração do curso de ciência espacial. Com a transferência de parte do grupo de **radioastronomia** do CRAAM e do Rádio Observatório de Itapetinga (ROI), em Atibaia, SP, para o INPE em 1982, formaram-se aí os primeiros mestres: Joaquim Eduardo Resende Costa, sob a orientação de Pierre Kaufmann com a dissertação "Influência do campo magnético na evolução temporal da radiação de explosões solares raios-X e microondas" defendida em 4/10/1982; José Willians Vilas Boas, sob a orientação de Eugenio Scalise Jr. com a dissertação "Estudo da emissão de amônia originária das **regiões H II** Galática: Orion, NGG 6332 e G328-0.5" defendida em 14/10/1982 e Ana Maria Zodi Vaz, sob a orientação de Pierre Kaufmann com a dissertação "Fenômenos oscilatórios na atmosfera solar e modulação da radiação" defendida em 20/12/82, e a primeira doutora, Liliana Rizzo Piazza, sob a orientação de Oscar T. Matsuura com a tese "Emissão em microondas e raios X durante uma expansão isentrópica e sua aplicação a explosões solares", defendida em 4/2/1982.

Em 1984-1985 deu-se a formação do grupo de Astronomia Óptica (ver **Óptico**), coordenado por João Evangelista Steiner, e o fortalecimento do grupo de **Altas Energias** com os experimentos *Galactic Emission Mappin*g (GEM), *Background Emission Anisotropy Scanning Telescope*, Telescópio Imageador de Raios-X e γ (gama) MASCO (MÁscara COdificada). A pós-graduação em astronomia, incluindo **astrofísica** estelar, **extragaláctica**, **cosmologia**, planetas extrassolares, radiação do fundo do universo (**Radiação Cósmica de Fundo** ou **CMBR**), estudos do Sol e **ondas gravitacionais**[6], conta com 12 pesquisadores. O número de mestres formados por ano está na Figura 14, o de doutores na Figura 15. Em 2013 tinha conceito 3 na CAPES. Não foi factível obter os dados de publicações e citações devido ao grande fluxo de distintos pesquisadores a cada ano no programa de pós-graduação.

[6] Ver o Capítulo "Ondas gravitacionais" neste Volume.

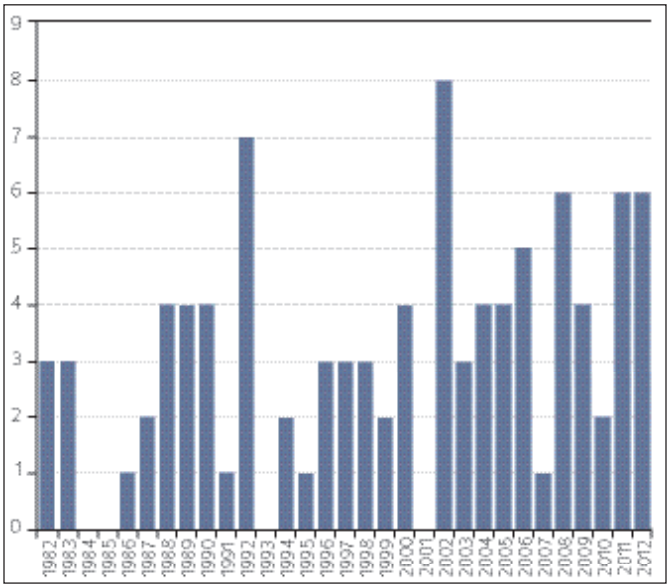


Figura 14. Mestrados concluídos no INPE

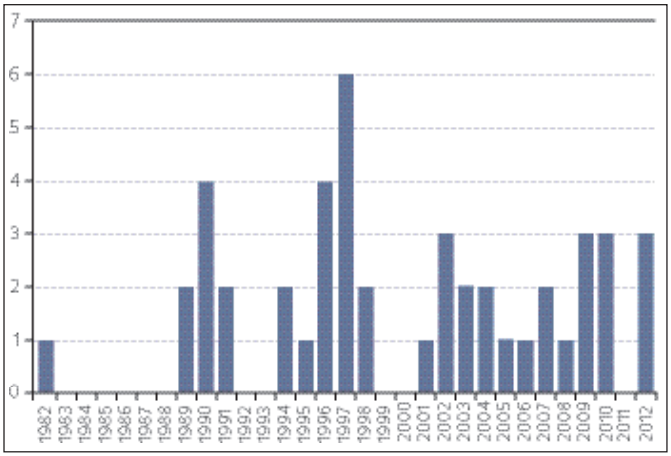


Figura 15. Doutorados concluídos no INPE

UFRN (1985)

Em 1978 Joel Câmara de Carvalho Filho retornou do doutorado na *University of Oxford*, Inglaterra, tendo defendido a tese *Diffusion models of cosmic ray propagation*, sob orientação de Dirk ter Haar (1919-2002). Ele tinha feito mes-

trado no IAG/USP de 1972 a 1974, sob a orientação de José Antonio de Freitas Pacheco, sobre produção de elementos leves no **meio interestelar**. O japonês Shigetsugu Takagi esteve de 1981 a 1986 na UFRN instalando o **astrolábio** de Natal, mas não participou da pós-graduação.

Entre 1978 e 1982, José Ademir Sales de Lima realizou mestrado no CBPF e, de 1985 a 1990, também no CBPF, realizou doutorado em **cosmologia**.

A pós-graduação em física e astronomia na UFRN teve início em 1985, e a primeira dissertação de mestrado foi de Auta Stella de Medeiros Germano, "Um estudo do processo de criação de matéria em modelos cosmológicos" defendida em 27/1/93 sob a orientação de José Ademir Sales de Lima.

Em 1990 ocorreu o retorno de José Renan de Medeiros, que realizou o mestrado no ON e o doutorado na *Université de Genève*. Mais recentemente atuou na co-coordenação da participação brasileira no programa do satélite COROT (*COnvection ROtation et Transits planétaires*).

Em 2013 a pós-graduação em física e astronomia da UFRN contava com 7 professores efetivos e um colaborador, nas áreas de **astrofísica** estelar e **cosmologia**. O número de mestres formados por ano está na Figura 16, o de doutores na Figura 17. Foram formados 50 mestres entre 1990 e 2013, e 25 doutores entre 2000 e 2013.

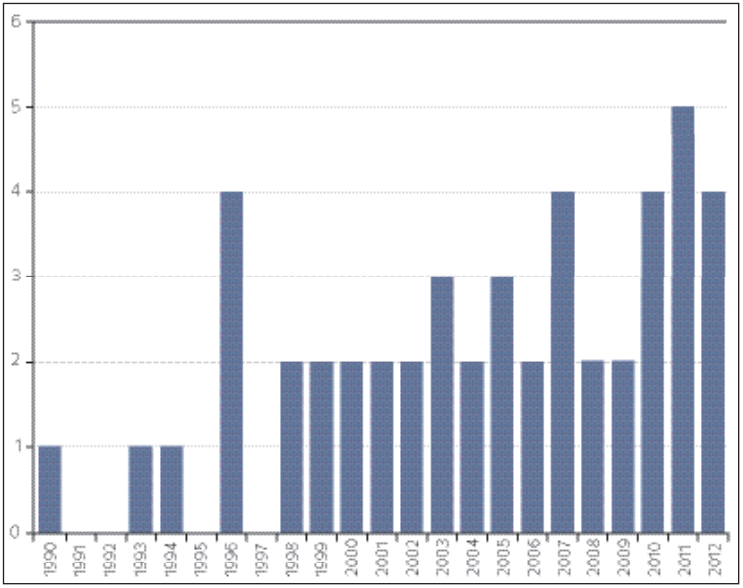


Figura 16. Mestrados concluídos na UFRN

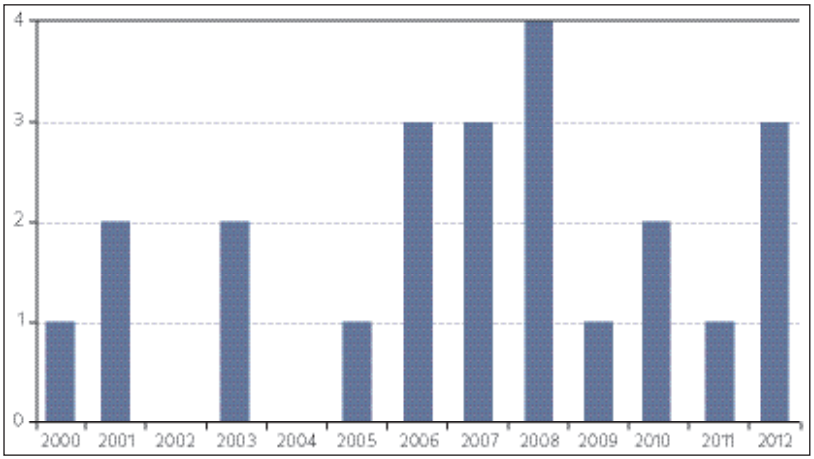


Figura 17. Doutorados concluídos na UFRN

As Figuras 18 e 19 mostram a produção científica e as citações aos trabalhos do grupo. O programa tem conceito 6 na CAPES.

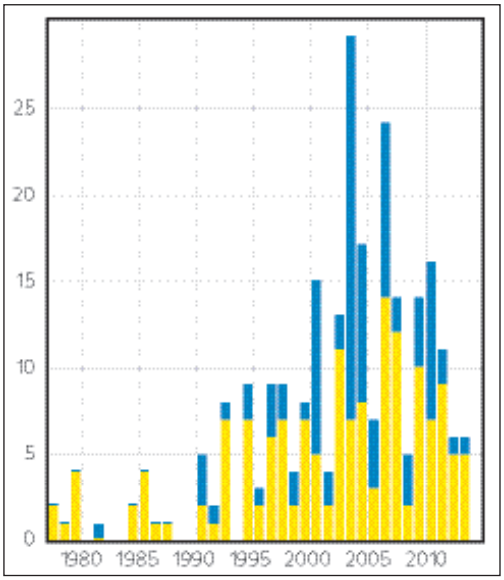


Figura 18. Evolução do número anual de publicações do grupo de astronomia da UFRN. Em amarelo, publicações em revistas arbitradas. O complemento em azul mostra as publicações em revistas não arbitradas.

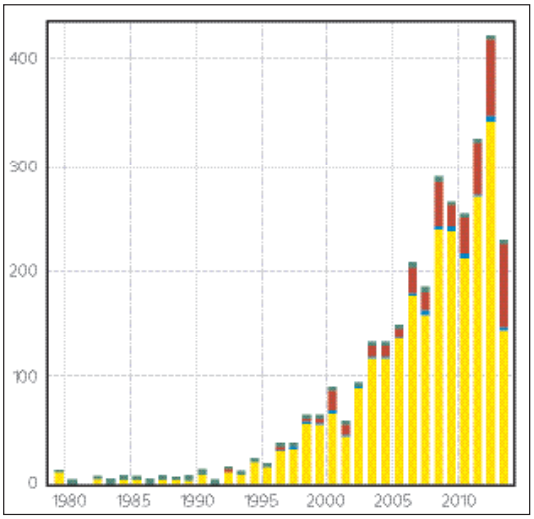


Figura 19. Número anual de citações dos artigos publicados pelos pesquisadores de astronomia da UFRN. Em amarelo, citações dos artigos arbitrados, em azul as autocitações e em vermelho as publicações não arbitradas

Universidade Presbiteriana Mackenzie (1998)

A pós-graduação em astronomia iniciada no CRAAM (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume), passou depois passou pelo ON e INPE, em cujas instituições suas atividades foram aqui descritas. Em 1989 o CRAAM passou a fazer parte do Centro de Radio Astronomia e Aplicações Espaciais (CRAAE), um consórcio que envolvia a USP, a Unicamp e o INPE. Desde 1998-1999, o CRAAM é operado em convênio entre o INPE e a Universidade Presbiteriana Mackenzie, a partir da Escola de Engenharia dessa Universidade, onde prosseguem suas atividades de pós-graduação, agora no programa de Ciências e Aplicações Geoespaciais (área de geociências) daquela Universidade. O programa de pós-graduação atual é centrado em pesquisas sobre a estrutura e atividades na atmosfera do Sol, e de galáxias ativas (ver **Núcleo ativo de galáxia** ou **AGN**) e **quasares** através de ondas de rádio, contando com 11 pesquisadores.

UNESP, Guaratinguetá (1999)

A área de dinâmica orbital e planetologia na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), no campus de Guaratinguetá, SP, teve início em 1999 contando com Rodolpho Vilhena de Moraes, que fez dou-

torado com Sylvio Ferraz-Mello em 1978, no ITA, Maria Cecilia Zanardi, Othon Cabo Winter e Silvia Maria Giuliatti Winter. No início havia apenas o mestrado, sendo que a primeira dissertação foi defendida em fevereiro de 2000, por Rita de Cassia Domingos sob a orientação de Othon Winter. O doutoramento começou em 2005, sendo que a primeira tese foi defendida em agosto de 2009 por Thierry Gregory Gil Chanut, sob a orientação de Othon Winter. No momento o Grupo de Dinâmica Orbital e Planetologia conta com 8 professores. Já formou 18 mestres e 2 doutores. Tem conceito 4 na CAPES.

OV/UFRJ (2003)

A pós-graduação conta com 19 orientadores permanentes, abrangendo as áreas de **astrofísica** de **altas energias**, **extragaláctica** e **cosmologia**, **astrofísica** estelar, **astrofísica** galáctica e do **meio interestelar**, astronomia de posição, sistemas planetários, **astroquímica** e **astrobiologia**. O mestrado começou em 2003, já tendo formado 27 mestres, mas a primeira turma de doutorado só iniciou em 2010. Já foram publicados 300 artigos. Tem conceito 4 na CAPES. A Figura 20 mostra o número de mestrados concluídos por ano.

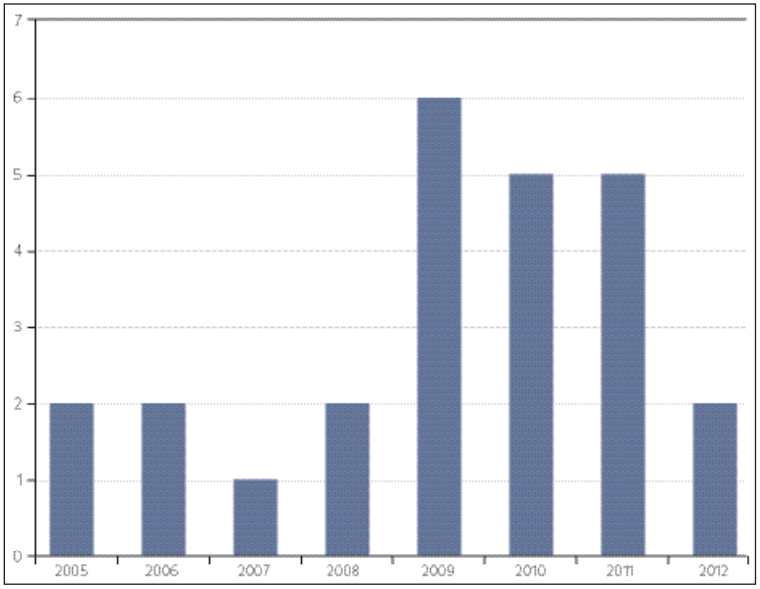


Figura 20. Mestrados concluídos no OV/UFRJ

Pós-graduação em outras universidades

UNESP, Rio Claro

A Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", campus de Rio Claro, SP, tem somente um pesquisador, Tadashi Yokoyama, em **astronomia dinâmica**, mas que já orientou 12 mestrados desde 1986. Tem conceito 3 na CAPES.

UFSM

Universidade Federal de Santa Maria, RS. O grupo tem 3 pesquisadores em **astrofísica**, oferece mestrado desde 1998 e doutorado desde 2006, na área de **astrofísica** estelar e **extragaláctica**. Foram formados 14 mestres e 6 doutores. Tem conceito 4 na CAPES.

UFSC

Universidade Federal de Santa Catarina. O grupo tem 5 pesquisadores em 2013 em **astrofísica** estelar. Desde 2000 formou 15 mestres, e desde 2006 formou 10 doutores. Tem conceito 5 na CAPES.

UNIVAP

Universidade do Vale do Paraíba. Instituição privada onde a pós-graduação em astronomia começou em 2004. O grupo tem 6 pesquisadores em **astrofísica** estelar e **extragaláctica**. Oferece mestrado e doutorado. Foram formados 8 mestres. Tem conceito 4 na CAPES.

UNIFEI

Universidade Federal de Itajubá. O grupo conta com 5 orientadores, incluindo pesquisadores do LNA. O mestrado foi implantado em 2006 nas áreas de **astrofísica** estelar, **extragaláctica**, **cosmologia** e instrumentação astronômica. Já formou 13 mestres e tem conceito 3 na CAPES.

UNICSUL

Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP. Instituição privada que oferece mestrado em **astrofísica** e física computacional desde 2008. Tem 10 pesquisadores (2013) em **astrofísica** estelar, **extragaláctica** e computacional. Formou 9 mestres sendo 3 em 2010, 1 em 2011 e 5 em 2012. Tem conceito 3 na CAPES.

UESC

Universidade Estadual de Santa Cruz em Ilhéus, BA. O mestrado estabelecido em 2010 conta com 6 pesquisadores em **astrofísica** estelar e **extragaláctica** e obteve conceito 3 na CAPES.

Considerações finais

Nos últimos anos foram contratados novos doutores em astronomia em várias universidades do país, totalizando 41 instituições com astrônomos contratados. Devido aos recursos observacionais do LNA e do ROI implantados na década de 1970-1980, e às colaborações internacionais posteriores[7]: Gemini, SOAR (*SOuthern Astrophysical Research*), CFHT (*Canada-France-Hawaii Telescope*) e ESO (*European Southern Observatory*), e ao significativo aporte de recursos pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP, a partir de 2014 mudou o nome para Agência Brasileira de Inovação), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Fundação de Apoio à Pesquisa do RN (FAPERN) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), no fim de 2012 a astronomia brasileira contava com 284 doutores e 208 estudantes de pós-graduação, formando cerca de 20 doutores (Figura 21) e 30 mestres (Figura 22) por ano.

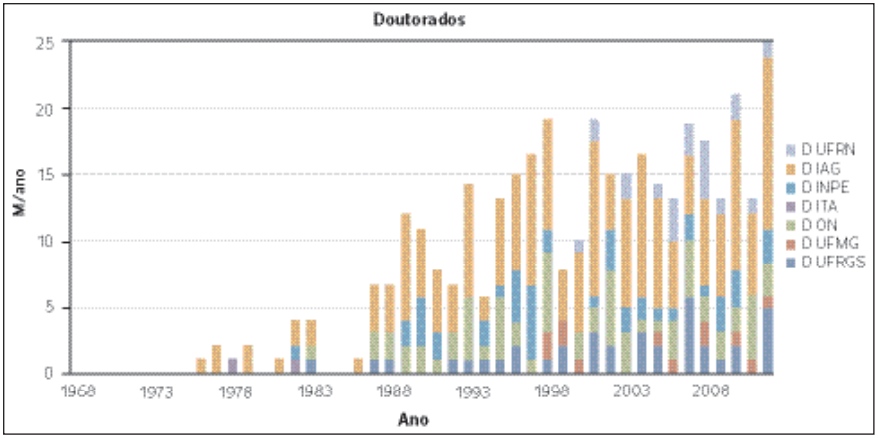


Figura 21. Número de doutorados por ano, de 1968 a 2012, das maiores pós-graduações em astronomia e astrofísica no país

[7] Ver neste Volume: "Participação do Brasil em consórcios internacionais" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" e o Capítulo "Desenvolvimento de instrumentação"

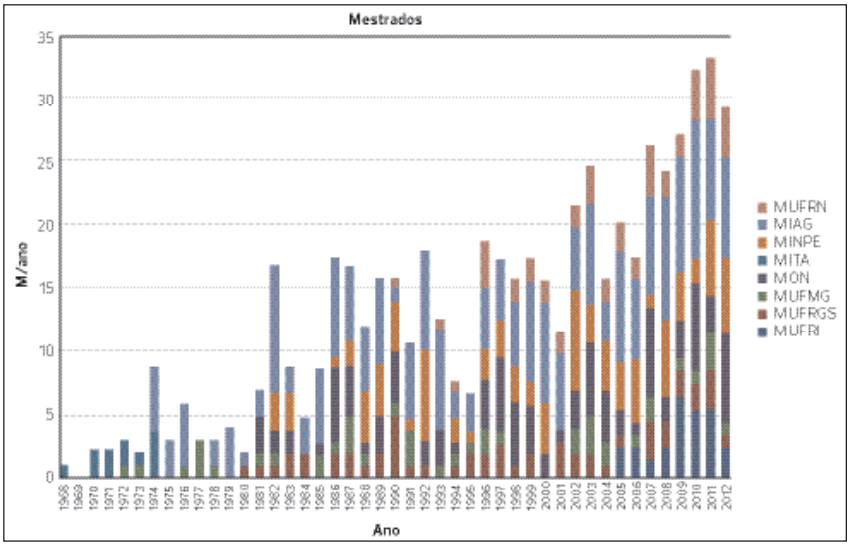


Figura 22. Número de mestrados por ano, de 1968 a 2012, das maiores pós-graduações em astronomia do país

O Brasil tem um déficit enorme de professores de ciências exatas, cientistas e engenheiros, necessários para o desenvolvimento científico e tecnológico do país. É difícil avaliar quantos astrônomos o Brasil deveria ter, mas pode-se fazer uma rápida comparação entre diversos países, incluindo-se aí o Brasil, do quociente entre o número de astrônomos filiados à União Astronômica Internacional (IAU) e toda a população.

Tomando dados da filiação à IAU em seu portal (http://www.iau.org/administration/membership/national/, acesso em 25/3/14) e dados populacionais dos países na página da Wikipedia (http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_population, acesso em 25/3/14), foi possível montar este pequeno quadro (Tabela 1):

País	Membros da IAU	População	Membros da IAU para cada 100 mil habitantes
Índia	232	1.241.940.000	0,02
China	461	1.363.500.000	0,03
Turquia	46	76.667.864	0,06
Venezuela	19	28.946.101	0,07
Brasil	174	201.032.714	0,09
México	123	119.713.203	0,10

África do Sul	86	52.981.991	0,16
Rússia	372	143.700.000	0,25
Coreia do Sul	132	50.219.669	0,26
Argentina	140	40.117.096	0,35
Portugal	41	10.413.211	0,39
Polônia	162	38.502.396	0,42
Japão	640	127.120.000	0,50
Canadá	246	35.344.962	0,70
Alemanha	568	80.716.000	0,70
EUA	2.613	317.751.000	0,82
Itália	552	59.993.524	0,92
Israel	89	8.146.300	1,09
França	728	65.844.000	1,10

Tabela 1. Número de astrônomos membros da IAU em relação à respectiva população para vários países, inclusive o Brasil

Embora parcial, esta Tabela mostra a situação do Brasil em relação a países escolhidos premeditadamente para possibilitar uma comparação. Nosso país está em situação melhor que países com população imensa, como Índia e China e, sem dúvida, bem distante de países que nem estão incluídos na Tabela. No entanto, é possível notar que há espaço para ampla expansão, já que todos os estudos mostram que qualquer investimento em ciência retorna em média para o país multiplicado por dez.

É necessário, portanto, que os centros de pós-graduação do país continuem produzindo novos mestres e doutores na taxa atual. Mas, para que esse aumento de novos profissionais seja sustentável, é necessário que os centros já existentes sejam capazes de absorver os novos pesquisadores, tanto pela expansão dos seus programas tradicionais de pesquisa, quanto pela implantação de novas linhas de pesquisa, de novas subáreas e especialidades, além da continuidade do movimento de interiorização da ciência com a criação de novos centros em novas instituições.

Mas, na opinião deste autor, a pesquisa e ensino de astronomia ainda é mais importante para a formação de cidadãos com conhecimento do método científico e das verdadeiras relações entre os astros e a Terra, como o efeito das ejeções coronais de massa do Sol nas linhas de transmissão elétricas, nos oleodutos e gasodutos, e até nas pessoas, por causa da Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul (AMAS). Mais detalhes em http://astro.if.ufrgs.br/esol/.

Referências

Steiner, João; Sodré, Laerte; Damineli, Augusto e Mendes de Oliveira, Cláudia (2011), "A pesquisa em astronomia no Brasil", *Revista USP*, 89, 98-113.

Vilhena de Moraes, Rodolpho (1983), "O Observatório Astronômico do ITA", *Boletim da SAB*, 6, 3, 18-23.

Capítulo 3

RADIOASTRONOMIA

A radioastronomia na aurora da modernização da astronomia brasileira

Paulo Marques dos Santos
(Estação Meteorológica, IAG/USP)

Oscar Toshiaki Matsuura*
(MAST/MCTI e Programa HCTE/UFRJ)

Este Capítulo narra os períodos que antecederam a consolidação da radioastronomia no Brasil, bem como o apogeu atingido na década de 1970 quando o CRAAM estava incorporado ao ON, e o Rádio Observatório de Itapetinga (ROI) em Atibaia, SP, já operava seu radiotelescópio em 22 GHz. Realizando observações na raia de emissão do vapor de água, radioastrônomos do CRAAM competiam com colegas do exterior nessa linha de pesquisa considerada de ponta na época, tendo superado os australianos na detecção do primeiro ***mega-maser*** extragaláctico na galáxia austral NGC-4945. Após a divisão do CRAAM entre o ON e o INPE, a radioastronomia jamais se consolidou como grupo independente, embora seus pesquisadores viessem a desempenhar papéis importantes nas instituições por onde passaram.

---

* Professor associado aposentado do Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP).

** ***Mega-maser:*** fonte de H_2O muito intensa na emissão *maser.*

Os primórdios na AAA-SP

Em 1959, enquanto no IAG/USP (Instituto Astronômico e Geofísico da USP) procurava-se desenvolver projeto de **radioastronomia** iniciado em 1958 (ver o Capítulo "Chegada da astronomia oficial a São Paulo" no Volume I), levando em conta os registros bem-sucedidos da radioemissão solar em 108 MHz com o radiointerferômetro nessa frequência, destinado às observações do satélite artificial norte-americano Explorer I (Marques dos Santos, 2005: 139), um grupo de astrônomos amadores da antiga Associação de Astrônomos Amadores de Astronomia de São Paulo (AAA-SP), liderado por Pierre Kaufmann da Universidade Mackenzie, criou na mesma um Departamento de Rádio Astronomia. Por iniciativa desse grupo formado por técnicos, radiotécnicos e alunos da Universidade Mackenzie, foi elaborado projeto para a construção de radiotelescópio na frequência de 300 MHz (comprimento de onda de 1 m) com antena parabólica, cujo refletor era um paraboloide de revolução construído com tela de arame, de 30 m de diâmetro e distância focal de 21 m. O conjunto todo, com a abertura da antena voltada para o zênite, foi fixado no solo constituindo um instrumento de **passagem meridiana** dos astros, tirando proveito da rotação da Terra. A frequência escolhida para a operação desse instrumento foi a de 300 MHz por ser uma frequência que, na época, era pouco influenciada por interferências radioelétricas artificiais.

O programa observacional com esse instrumento objetivava levantamento da distribuição e da intensidade das radioemissões da região central da **Galáxia**, levando em conta que essa região tem suas **passagens meridianas** próximas do zênite local, o que facilitava esse tipo de observação. Em certas épocas do ano era possível também realizar observações da radioemissão do Sol nas suas passagens pelo meridiano local (**passagens meridianas**).

Esse radiotelescópio (Figura 1), o primeiro construído no Brasil, contou com auxílio financeiro da própria AAA-SP e com a colaboração da Prefeitura Municipal de São Paulo. Com efeito, ele foi instalado no Parque Ibirapuera, do município de São Paulo, onde funcionava a sede da AAA-SP que havia sido transferida da rua Mauá para as dependências da Escola Municipal de Astrofísica, junto ao Planetário municipal. O radiotelescópio foi inaugurado pelo prefeito da cidade, Adhemar Pereira de Barros, no aniversário da cidade em 1960. O Planetário tinha sido inaugurado em 1957 e a Escola Municipal de Astrofísica seria inaugurada em 1961.

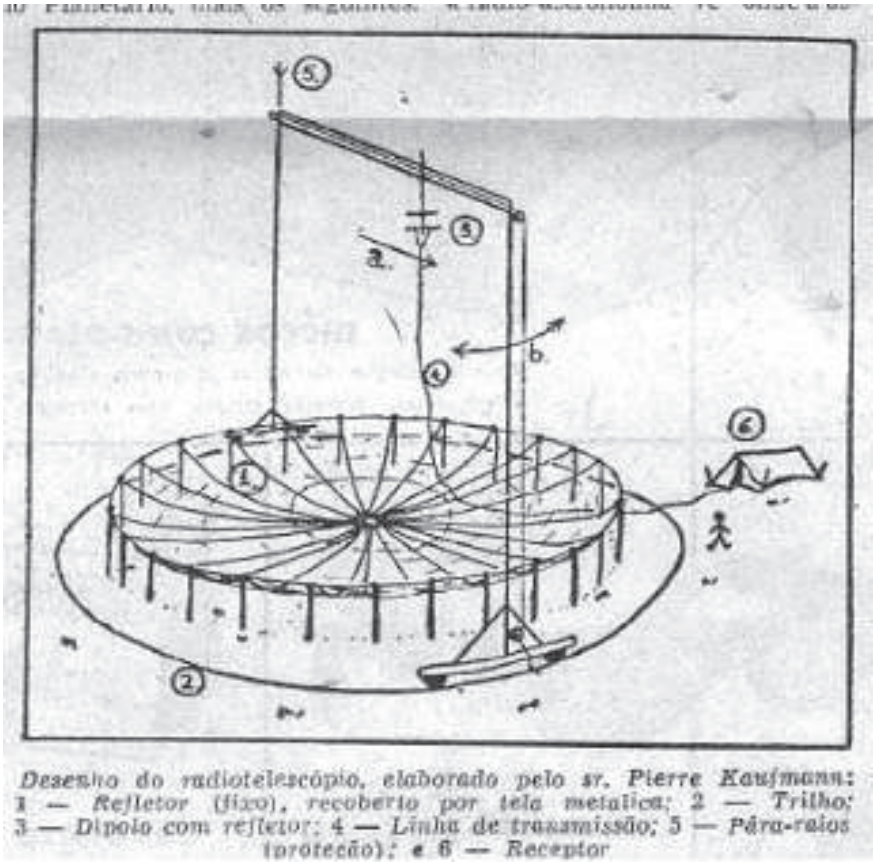


Figura 1. Desenho esquemático do radiotelescópio de 30 m de diâmetro que chegou a ser construído no Parque Ibirapuera, em São Paulo (Kaufmann, 2004)

Mas, devido à destruição do refletor parabólico da antena por vacas soltas no Parque menos de um mês após a sua inauguração, o radiotelescópio teve curta vida (Kaufmann, 2004).

A criação do GRAM

Na Universidade Mackenzie, o então diretor da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, professor Willie A. Maurer, por meio de comunicado interno datado de 23 de setembro de 1960, determinou que fosse constituído junto a essa Faculdade, sob a supervisão de Pierre Kaufmann, o Grupo de Rádio Astronomia Mackenzie (GRAM), anexo ao Departamento de Física Geral

e Experimental. Por meio de convênio, as atividades que vinham sendo desenvolvidas desde março de 1960 no Departamento de Rádio Astronomia da AAA-SP por membros que, na maioria, eram alunos da Universidade Mackenzie, foram anexadas ao GRAM, conferindo assim cunho acadêmico a essas atividades. Nessa fase foi construído o segundo radiotelescópio brasileiro, um radiotelescópio experimental com antena helicoidal de treze espiras, em montagem **equatorial**, operando também na frequência de 300 MHz (Figura 2). Esse radiotelescópio ficou pronto em 1961 e foi destinado inicialmente para a observação de **passagens meridianas** do Sol. Instalado no terraço da Escola Municipal de Astrofísica produziu bons registros da radioemissão solar, ficando comprovado o seu desempenho para o monitoramento contínuo do Sol, desde que contasse com sistema de rastreio automático, sendo assim encerrada a fase preliminar desses ensaios.

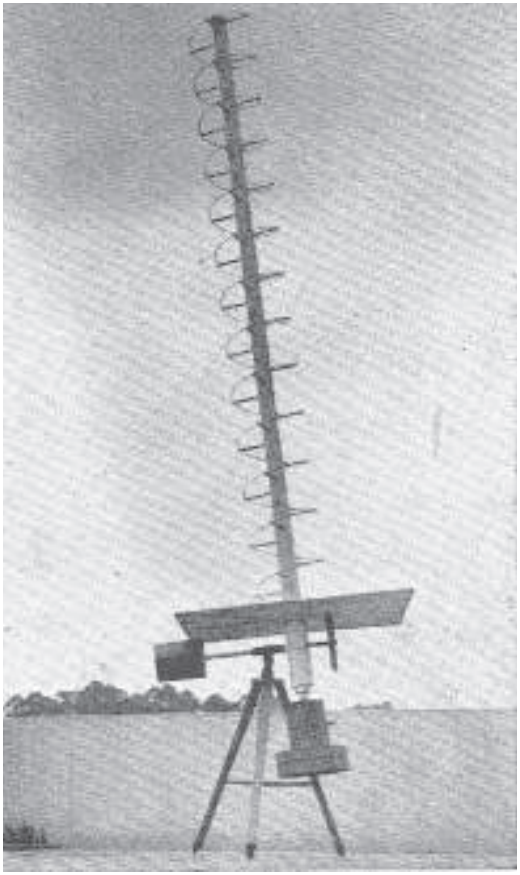


Figura 2. Antena helicoidal de 12 espiras para operar em 300 MHz (Kaufmann, 1963)

Em 1962, ainda instalado na Escola Municipal de Astrofísica do Parque Ibirapuera, mas já ligado à Universidade Mackenzie, o Departamento de Rádio Astronomia da AAA-SP recebeu da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) auxílio financeiro para ser aplicado em bolsas de estudos e em equipamentos necessários às suas atividades. Com parte desse auxílio foi possível construir no período de 1962 a 1963 outro radiotelescópio na frequência de 300 MHz. Esse novo radiotelescópio tinha antena parabólica de 5,2 m de diâmetro em montagem **altazimutal** com apontamento manual (ver Figura 3 adiante). A **largura do feixe a meia-potência (HPBW)** era de 15º.

Essa antena era a que o IAG/USP tinha recebido, por doação, do Instituto de Pesquisas da Marinha para o projeto de **radioastronomia** que pretendia desenvolver em 1958, que se encontrava abandonada na época nas dependências da oficina mecânica do Departamento de Física Geral e Experimental da USP, na Cidade Universitária, e foi doada à AAA-SP. Montada inicialmente no terraço da Escola Municipal de Astrofísica, aí foram realizadas observações do centro da **Galáxia** e do Sol durante as **passagens meridianas** dessas fontes por quatro meses em 1963. Mas, o aumento das interferências radioelétricas artificiais passaram a prejudicar as observações. Também a AAA-SP foi extinta nessa época e os membros do GRAM se dispersaram, cada um procurando seguir suas atividades profissionais.

Para superar essas dificuldades foi feito, por breve período de tempo entre 1963 e 1964, acordo de cooperação entre a AAA-SP/GRAM e a Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE), pelo qual os equipamentos radioastronômicos que se achavam instalados no Parque Ibirapuera seriam instalados nas dependências da CNAE em São José dos Campos, SP. Nessa época havia sido proposto também projeto para a construção de um radiointerferômetro na frequência de 40 MHz, em alinhamento L–O para observações da cintilação (ionosférica[1]) de radioestrelas, mas esse projeto jamais foi realizado.

Rádio Observatório do Umuarama

Em virtude do surgimento de problemas relativos à manutenção dos equipamentos da AAA-SP/GRAM instalados na CNAE, que só poderia ser realizada nos fins de semana, chegou-se à conclusão de que seria necessário buscar novo local para a instalação definitiva dos equipamentos, ou seja, construir estação própria em local conveniente.

---

[1] Ver **Ionosfera**.

Coincidentemente, em 1964 o GRAM obteve da Universidade Mackenzie a aprovação de programação básica para a subsistência das suas pesquisas, como também a verba necessária para a instalação de estação própria. O novo local escolhido para a estação definitiva foi a área do Umuarama no município de Campos do Jordão, SP, na Serra da Mantiqueira, próximo ao antigo Hotel Umuarama. Para a instalação da estação foram aproveitadas as instalações já existentes no local pertencentes ao Instituto Mackenzie, entidade mantenedora da Universidade Mackenzie, que se encontravam desativadas (Figura 3).

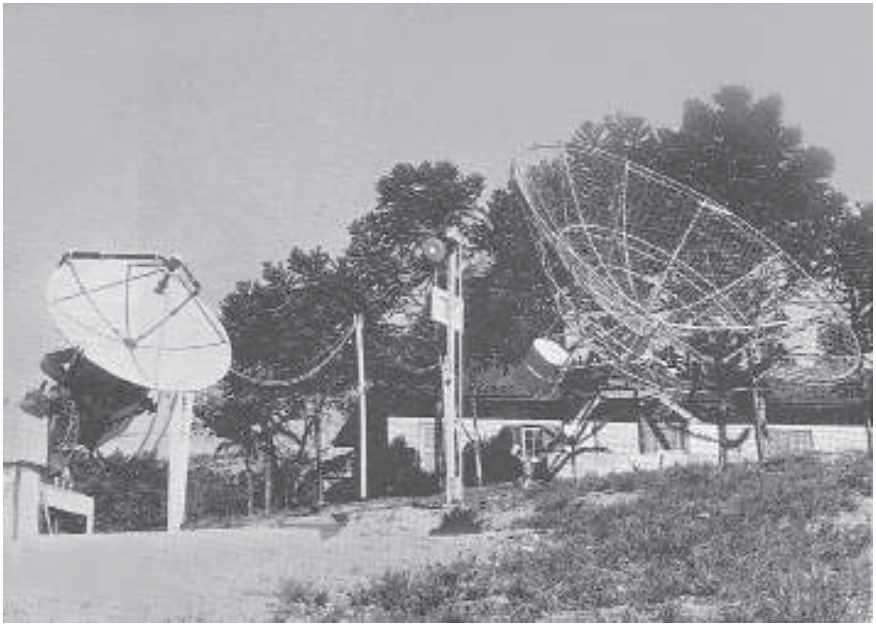


Figura 3. O Rádio Observatório do Umuarama em Campos do Jordão, SP, vendo-se da esquerda para a direita a antena de 1,5 m do radiopolarímetro em 7 GHz e a antena de 5,2 m do receptor em 300 MHz (Kaufmann, 1968)

A escolha de Campos do Jordão foi feita não só pelo fato de existirem facilidades locais, mas também pelas condições meteorológicas satisfatórias e pela pouca ou nenhuma interferência de ruídos radioelétricos artificiais. A transferência dos equipamentos do GRAM para o novo local ocorreu em agosto de 1964. As atividades que ali passaram a ser desenvolvidas foram o rastreamento contínuo do Sol em 300 MHz com a antena helicoidal, determinação diária do fluxo da emissão solar, também em 300 MHz, durante alguns trânsitos do Sol pelo feixe da antena parabólica de 5,2 m, em diferentes distâncias zenitais com apontamentos executados manualmente e um outro programa com equi-

pamento em VLF (*Very Low Frequency*) para medir o ruído da **ionosfera** terrestre e suas variações no amanhecer e anoitecer e na ocorrência de erupções solares (ver **Fulguração solar**).

Ficou assim constituído o Rádio Observatório do Umuarama, o primeiro radiobservatório instalado no Brasil que tinha as seguintes coordenadas: $\varphi = 22^0\ 46'$ S e $\lambda = 45^0\ 35{,}5'$ O a 1.750 m de altitude, distando 190 km de São Paulo.

A área a ser ocupada pelo GRAM poderia ser também utilizada para projetos futuros de maior envergadura, mas havia restrição técnica que impedia a instalação de radiointerferômetros: o excesso de ondulações no terreno.

Convênios internacionais. Radiopolarímetro de 7 GHz

Nessa época, por indicação da FAPESP da qual já tinha recebido vários auxílios, o GRAM submeteu novos projetos aos "Anúncios de Oportunidade" do Escritório de Pesquisas para Defesa dos Estados Unidos (DROLA), do Escritório Científico Regional dos Estados Unidos para a América Latina (*U. S. Regional Science Office for Latin America*). Os projetos eram de propagação de ondas VLF e de **radioastronomia** solar. Ambos foram aprovados. O primeiro previa o desenvolvimento de dois programas de radiopropagação VLF que deveria durar 5,5 anos (meio ciclo solar) e o segundo, a aquisição de um radiopolarímetro na frequência de 7 GHz. Ambos os projetos foram devidamente endossados pelo diretor da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras e pelo reitor da Universidade Mackenzie.

O radiopolarímetro foi encomendado à firma *Shimada Physical and Chemical Industries Corporation Ltd.* em Tóquio. Ele era composto por antena parabólica com diâmetro efetivo de 1,52 m e distância focal de 58,7 cm (Figura 3), tendo no foco uma caixa contendo a unidade de radiofrequência (*front end*). Uma corneta cônica funcionava como alimentador, captando a radioemissão total do Sol na banda em torno da frequência de operação, que era decomposta em duas componentes, uma com polarização circular à direita (R) e outra à esquerda (L). A decomposição era feita por meio de **placa de um quarto de onda** localizada atrás da corneta, de onde saíam dois guias de onda — um para cada polarização circular —, conectados à unidade de RF (Rádio Frequência) com saída para o *back end*, um receptor **super-heteródino** instalado numa grande caixa presa à parte traseira da antena, daí saindo os cabos com os sinais para um sistema de aquisição de dados instalado numa sala do prédio do Observatório.

O conjunto todo estava instalado numa montagem **equatorial** para o rastreamento automático do Sol. Na frequência em que operava, a antena tinha um ganho de 3 dB (rendimento de 50% na captação da radiação incidente) na direção do eixo principal e uma **largura de feixe (HPBW)** de 1,8º. Só para termo de comparação, o diâmetro do disco solar tem aproximadamente 0,5º.

O eclipse solar de Bagé, RS

O radiopolarímetro foi recebido em 1966 e inicialmente instalado nas dependências da Universidade Mackenzie em São Paulo, para os devidos ajustes e testes, antes de ser transportado para Bagé, RS, para as observações do eclipse total do Sol de 12 de novembro de 1966. Sua instalação definitiva no Rádio Observatório do Umuarama foi adiada para depois desse eclipse. A faixa de totalidade do eclipse cruzava o Estado do Rio Grande do Sul e a cidade de Bagé, situada nessa faixa, oferecia condições astronômicas e logísticas bastante favoráveis para as observações.

Isso representava também excepcional oportunidade para a realização no Brasil da primeira observação radioastronômica de um eclipse solar, o que de fato aconteceu. Nessa ocasião foi registrada a "curva de luz" do eclipse em 7 GHz conforme o Sol foi eclipsado pela Lua, assim como a respectiva polarização circular em dois canais, R e L (Figura 4). A partir desses dados brutos foi deduzida a distribuição do brilho sobre o disco solar nessa frequência, analisada a intensidade e polarização da radioemissão de duas regiões ativas então presentes no disco solar, sendo uma magneticamente bipolar e a outra unipolar; determinada a intensidade e polarização da radioemissão residual quando o Sol se achava totalmente eclipsado (Kaufmann *et al.*, 1969). A obtenção de informações sobre a polarização circular conferiu a essa observação o caráter de ineditismo. Da análise dos dados obtidos nesse eclipse foram preparados trabalhos científicos que foram publicados em diversos periódicos internacionais. Além do êxito científico, esse eclipse teve também importante papel histórico na constituição da comunidade astronômica brasileira, pois o eclipse propiciou o encontro de astrônomos de diversas instituições que mal se conheciam. No vigésimo aniversário do eclipse foi publicado artigo (Marques dos Santos e Matsuura, 1987) não só para relembrar o sucesso do eclipse para a **radioastronomia** brasileira, mas também para registrar um dos primeiros encontros que esse eclipse propiciou, de astrônomos de diversas instituições brasileiras (ON, IAG/USP, ITA, GRAM e UFRGS) que vivenciaram então a sensação de que uma comunidade astronômica brasileira estava para nascer.

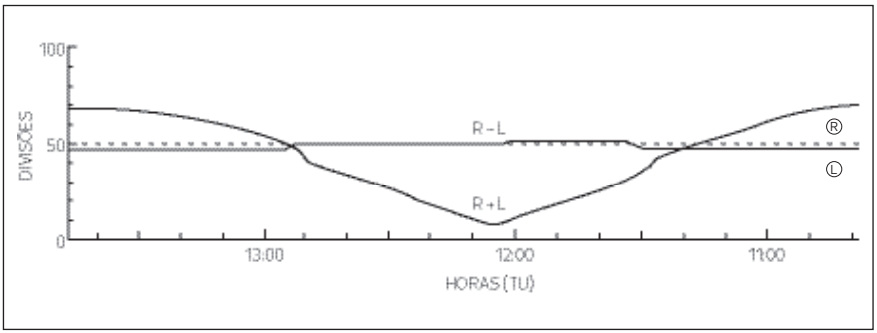


Figura 4. Registro das observações radioastronômicas do eclipse solar de Bagé com o radiopolarímetro em 7 GHz (Arquivo do autor PMS)

Retornando de Bagé, o radiopolarímetro foi instalado no Rádio Observatório do Umuarama em março de 1967, realizando a partir daí observações diárias do fluxo total da radiação solar em 7 GHz e de sua polarização circular. No curso dessas observações foram flagradas explosões solares associadas às **fulgurações solares** (***flares***) cujos estudos proporcionaram inúmeros trabalhos inéditos de pesquisa na área de **radioastronomia** solar, sobretudo porque a polarização circular da emissão solar era então assunto pouco tratado no hemisfério ocidental, já que a maioria dos radiopolarímetros existentes estava instalada no Japão.

Em 1968, devido à sua expressiva produção científica, através de ato da reitora Esther de Figueiredo Ferraz, o GRAM passou a se chamar CRAAM (Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie) e se tornou um órgão efetivo da Universidade Mackenzie.

A pós-graduação em astrofísica do CRAAM

Em 1969 foi criado no CRAAM o curso de pós-graduação na área de **astrofísica**, uma vez que o CRAAM já tinha sido aprovado como Centro de Excelência pelo CNPq (Processo 8354/68), o que permitiu o seu credenciamento para a pós-graduação pelo Conselho Federal de Educação (CFE) do Ministério de Educação e Cultura (MEC) pelo Processo 1314/69. O êxito obtido pelo CRAAM nas suas pesquisas foi decisivo para a sua consolidação como centro de pesquisa e de pós-graduação em **astrofísica**. No parecer do CFE sobre a criação da pós-graduação, o corpo docente das disciplinas especializadas, que foi considerado qualificado para as atividades em nível de mestrado, era constituído por Pierre Kaufmann, Sahadev Ananthakrishman, Dipak Basu, Mangalathayl Ali Abdu, Eugenio Scalise e PMS.

Quanto às disciplinas básicas obrigatórias, foram feitos convênios com o Instituto de Física (IF) da USP e com o Instituto de Física Teórica (IFT) de São Paulo. O curso de pós-graduação foi iniciado com total de 16 disciplinas e com 7 alunos matriculados em tempo integral. As primeiras dissertações foram apresentadas em 26 de janeiro de 1973 pelo autor OTM deste texto, sobre a dissipação de energia magnética em explosões solares e em 2 de março daquele ano pelo outro autor deste texto, PMS, sobre alguns parâmetros da coroa solar conhecidos por radiobservações de eclipse solares, seguidas por várias outras ao longo do tempo.

Com a incorporação do CRAAM ao ON (Observatório Nacional), o curso de pós-graduação em **astrofísica** ficou também incorporado a este último, onde permanece até hoje.

O projeto "Milimack" e o ROI

Por outro lado, o desenvolvimento da **astrofísica** indicava que os recursos experimentais do CRAAM no Rádio Observatório do Umuarama eram insuficientes, sendo necessário pensar em projetos experimentais mais atualizados. Nessa época o Rádio Observatório do Umuarama já vinha apresentando problemas no fornecimento de energia elétrica e também se pensava em transferi-lo para mais perto de São Paulo, considerando o longo tempo que se perdia na viagem de São Paulo a Campos do Jordão e vice-versa. Mas a procura de um novo local estava obviamente condicionada às características de novo projeto que viesse a ser programado.

Primeiramente foi considerada a construção de um radiointerferômetro solar em micro-ondas com **linha de base** de cerca de 2,5 km, composto por algumas antenas igualmente espaçadas para se ter uma **largura de feixe** bastante estreita para observações solares. Mas, nas vizinhanças da cidade de São Paulo não foi possível encontrar terreno suficiente plano para essa finalidade. Pensou-se então na possibilidade de um projeto com instrumento mais compacto, por exemplo, um radiotelescópio com antena parabólica de dimensões médias, com eficiência suficiente para realizar observações em ondas milimétricas em diversos tipos de programas de pesquisa. Nesse contexto foi elaborado projeto denominado "Milimack" que envolvia a aquisição de um radiotelescópio de precisão para ondas milimétricas. Como já estava programada a transferência do Rádio Observatório do Umuarama para as proximidades de São Paulo, a escolha do local para essa transferência ficou vinculada às condições exigidas pelo projeto "Milimack". Foram considerados essenciais, entre outros critérios,

a alta ocorrência de dias claros, baixo nível de interferências radioelétricas artificiais, condições climáticas favoráveis e proximidade de São Paulo. Em razão desses requisitos a procura desse local ficou limitada à região entre São Paulo e Atibaia, SP que, por ser considerada área de mananciais, foi sempre protegida contra a instalação de indústrias poluidoras do meio ambiente. Depois de terem sido analisados vários pontos quanto à viabilidade da instalação do novo radiobservatório, o local considerado como o mais apropriado foi uma área de aproximadamente três alqueires de terra que apresentava configuração ligeiramente côncava, o que constituía fator importante para a proteção do local contra radiointerferências espúrias.

A área em questão fazia parte de uma fazenda no município de Atibaia, SP, situada nas proximidades do pico do Itapetinga, não muito distante do pico da Pedra Grande, o mais alto da região. A área foi adquirida por Waldemar Clemente, membro do Conselho Deliberativo do Instituto Mackenzie, e doada ao CRAAM para a instalação do radiobservatório que veio a ser denominado Rádio Observatório do Itapetinga (ROI).

No início dos anos 70 foram para lá transportados todos os equipamentos que se encontravam em operação no Rádio Observatório do Umuarama, exceto o radiopolarímetro em 7 GHz que deveria ser transportado para os Estados Unidos para realizar observações radioastronômicas do eclipse solar de 7 de março de 1970 com o Radiobservatório de Sagamore Hill, do *Air Force Cambridge Research Laboratories* (AFCRL) em Hamilton, perto de Boston, MA, onde o eclipse seria parcial, com magnitude 0,96. Para as observações pretendidas isso não trazia nenhum problema, pois o radiodiâmetro do Sol em 7 GHz é maior que o diâmetro óptico. O interesse dos norte-americanos nessas observações com o radiopolarímetro era a obtenção das medidas de polarização circular, pois, nessa época, eles não contavam com nenhum radiopolarímetro na região do eclipse. Nas observações realizadas durante esse eclipse, as medidas do fluxo total da emissão solar foram excelentes (Kaufmann and Matsuura, 1968), mas as medidas de polarização não tiveram suficiente resolução instrumental. Retornando ao Brasil em outubro de 1970, após interrupção de dez meses, o radiopolarímetro em 7 GHz foi definitivamente instalado no ROI.

Dentro do projeto "Milimack" foi iniciada a procura de um radiotelescópio de precisão para ondas milimétricas e, entre outras opções, foi encontrada nos Estados Unidos a firma *Electronic Space System Corporation* (ESSCO) sediada em Concord, MA, especializada na fabricação de antenas para observações de satélites artificiais e que acabava de desenvolver um projeto para a fabricação de antenas destinadas a observações radioastro-

nômicas dentro de nova concepção denominada "Sistema Sinérgico Redoma-Antena-Pedestal" em que os três elementos só podiam ser utilizados conjuntamente, configuração essa que se adequava bastante bem ao projeto "Milimack".

Encontrado o equipamento e depois de efetuadas as estimativas de custo, o projeto "Milimack" foi encaminhado às agências financiadoras. O projeto foi aprovado com parte do financiamento proveniente do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE) e do Fundo Técnico Científico (FUNTEC), tendo recebido complementação do CNPq.

A redoma do sistema sinérgico do projeto "Milimack" tem 19,4 m de diâmetro (Figura 5). Com armação de alumínio extrudado e recoberta com uma membrana de plástico especial de material laminado desenvolvido pela fabricante, ela é transparente às ondas eletromagnéticas em que o radiotelescópio opera. Na superfície externa da membrana foi aplicada camada muito fina de uma tinta especial para evitar a corrosão e também para impedir a formação de qualquer película de água, que poderia prejudicar as radiobservações.

Figura 5.
A redoma de 19,4 m de diâmetro do radiotelescópio para ondas milimétricas do ROI em Atibaia, SP (Kaufmann *et al.*, 1976a)

A antena tem refletor primário paraboloidal com 13,7 m de diâmetro, composto por painéis de alumínio leve que formam uma superfície refletora com precisão de 0,3 mm, proporcionando ótimo desempenho na faixa de frequência

de 10 a 100 GHz (Figura 6). A antena tem também refletor secundário hiperbólico do tipo ***Cassegrain*** montado em um quadripé colocado na parte frontal do refletor primário, sendo que ambos bloqueiam 2,5% da abertura total em 22 GHz. Nessa frequência a antena tem uma **largura de feixe** de 4'.

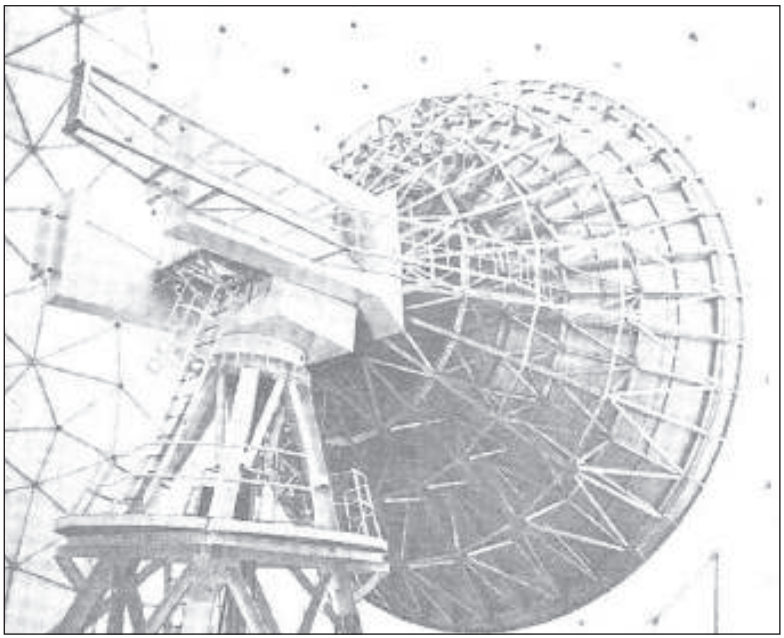


Figura 6. A antena de 13,7 m para ondas milimétricas no interior da redoma, vista por trás (Kaufmann *et al.*, 1976a)

Todo esse conjunto está fixado a uma montagem **altazimutal** cujos movimentos são feitos por dois motores elétricos para cada eixo. Na configuração inicial a montagem **altazimutal** possuía servomecanismos comandados por computador de pequeno porte HP211B com 8 K de memória, que convertia as coordenadas celestes (ascensão reta e **declinação**) em coordenadas topocêntricas (**altura** e **azimute**) para o rastreamento das radiofontes. Codificadores de posição acoplados a cada eixo forneciam leituras com resolução de 1 milésimo do grau (3,6") e de 0,5 milésimo do grau no mostrador digital luminoso, podendo o sistema também ser operado manualmente, quando a antena podia ser movimentada com diferentes velocidades.

A escolha da frequência de operação do radiotelescópio exigiu estudo à parte. Na década de 60 foram descobertas no **meio interestelar** radioemissões em linhas moleculares. No fim da década foi descoberta a radioemissão da li-

nha molecular da água na frequência de 22,235 GHz (comprimento de onda de 1,35 cm). A intensidade relativamente forte dessa linha despertou o interesse de vários radiobservatórios na época. Como no projeto "Milimack" ainda não estava definida qual frequência seria utilizada, pensou-se que seria oportuno colocar no foco da antena um receptor na frequência de 22 GHz.

Entretanto a utilização dessa frequência não era trivial devido a uma forte atenuação pela água presente na atmosfera terrestre. Essa atenuação é consequência da interação ressonante da onda eletromagnética com o dipolo elétrico da molécula de água (H_2O) em 22 GHz, donde resulta um acentuado pico de absorção das ondas eletromagnéticas pelo vapor de água. Assim, a recepção da radiação nessa frequência no contínuo, ao nível do solo, fica bastante comprometida e a atenuação será tanto maior, quanto maior for o conteúdo de vapor de água no local da observação podendo, em casos extremos, até mesmo inviabilizar a observação. Desse modo, para se ter segurança quanto à utilização dessa frequência, foi necessário avaliar previamente a viabilidade de utilizá-la nas condições observacionais reinantes no ROI e que resultados poderiam ser esperados. Para isso, estudo radiometeorológico local foi realizado por PMS para avaliar quantitativamente os valores máximos e mínimos de atenuação que poderiam ser esperados. Como essa atenuação depende fundamentalmente do teor de umidade no perfil vertical da atmosfera, foi necessário calcular esse teor em termos de água precipitável, um fator meteorológico que pode ser obtido diretamente a partir de radiossondagens meteorológicas ou calculado a partir de dados sobre a temperatura do ponto de orvalho na superfície. Os dois métodos foram utilizados: o primeiro para um único ano em que os dados de radiossondagem eram disponíveis e o segundo para comparar com os resultados obtidos com o primeiro método e determinar o coeficiente de correlação com o objetivo de se estabelecer uma extrapolação para um período mais longo.

Desse estudo foi possível concluir que as radiobservações no **espectro** continuo na frequência de 22 GHz eram viáveis no ROI. No caso de observações nessa linha do vapor de água não havia restrições, pois, pelo efeito Doppler, a frequência resultante estaria deslocada em relação ao pico de absorção. Assim sendo, essa frequência foi escolhida para o receptor do radiotelescópio.

O radiômetro para 22 GHz é um receptor normal com sistema **super-heteródino** que, no projeto, opera com duas cornetas colocadas no foco do refletor. A disposição das cornetas é tal que no foco fica a corneta principal e, um pouco afastada do foco, fica a corneta de referência, sendo o afastamento o suficiente para produzir duas aberturas de feixe no espaço, separadas aproximadamente 9'. Com essa configuração pode-se aplicar um método que alterna os feixes na ob-

servação chamado método de comutação por duplo feixe. A comparação entre os sinais de ambos os feixes possibilita minimizar as influências atmosféricas.

A instalação do radiotelescópio ocorreu no período de outubro a dezembro de 1971. Nessa época o grupo de pesquisadores do CRAAM era constituído por Pierre Kaufmann, Eugenio Scalise Jr., Ricardo Ernesto Schaal, PMS, Jacques R. D Lépine, Dipak Basu, Sahadev Anantakrishna, Liliana Rizzo Piazza, Maria Helena Paes de Barros e M. A. Abdu.

Uma vez instalado o radiotelescópio e depois de realizados os testes básicos e ajustes finais ainda sem o receptor de 22 GHz, foram realizadas em março de 1972 algumas observações experimentais usando o *front-end* do radiopolarímetro em 7 GHz no foco da antena de 13,7 m. Em 1972, nos meses de junho a setembro foram realizados testes com o receptor de 22 GHz construído no próprio CRAAM com peças importadas, com a finalidade de determinar as características eletromagnéticas da antena quanto ao seu desempenho e otimização, tendo sido também realizadas observações dos planetas Vênus e Júpiter. Terminados os testes, ainda em 1972 foram iniciadas as observações regulares de algumas radiofontes conhecidas, como UV Ceti (**anã vermelha** sujeita a erupções), BL Lac, 3C 120 e OB287 (**galáxias** com **núcleo ativo**), identificando suas variabilidades.

Em junho de 1973 foram iniciadas as primeiras observações de ***masers* galácticos** na raia de emissão molecular do vapor de água em 22 GHz, com o mero objetivo de reobservar fontes já detectadas pelo radiotelescópio de Parkes, na Austrália. Entretanto, durante essas observações foram identificadas duas novas fontes, uma na região compacta H2-3 e indícios de outra no complexo protoestelar ρ (rô) do Ofiúco.

O ROI foi oficialmente inaugurado em 20 de outubro de 1973 com a presença de autoridades. No início de 1974 foram realizadas várias observações **extragalácticas** no contínuo com algum sucesso, como o mapeamento da região central da radiofonte Centaurus A, associada à **galáxia** austral NGC 5128.

Programa VLBI

Em 1974, dentro de acordo bilateral Brasil-Estados Unidos assinado em 1972 pela *National Science Foundation* (NSF) por parte dos Estados Unidos, e pelo CNPq por parte do Brasil, foi firmado acordo de cooperação para desenvolver um programa de observações radioastronômicas de repercussão internacional usando nova técnica radiointerferométrica denominada VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*) ou interferometria com **linha de base** muito longa, do qual participaria o ROI, do CRAAM, em Atibaia, SP, e o *Haystack Radio Obser-*

vatory da *Northeast Radio Observatory Corporation* (NEROC) de Boston, MA. Essa operação conjunta dos dois radiobservatórios separados 7.200 km um do outro, realizando observações simultâneas na mesma frequência, equivaleria a observações de um único radiotelescópio com essa **linha de base**. No último trimestre desse ano de 1974, veio ao Brasil o radioastrônomo norte-americano Stanley H. Zisk para estabelecer os detalhes relativos ao convênio, trazendo um amplificador a efeito *maser* em 22 GHz, inteiramente desenvolvido em Haystack, para ser instalado no receptor do ROI, pois para o desenvolvimento do projeto VLBI era necessário que os receptores dos dois radiobservatórios utilizassem esse tipo de amplificador.

O amplificador a efeito *maser*, sendo resfriado com hélio líquido, atinge uma temperatura de 150 K e possui baixo nível de ruído interno. É extremamente eficiente na amplificação das ondas eletromagnéticas e possibilita a detecção dos sinais muito fracos das emissões cósmicas em micro-ondas.

A técnica VLBI era bastante sofisticada e requeria recursos técnicos de fronteira na época, incluindo relógios atômicos especiais de alta estabilidade que ainda não eram utilizados no Brasil, os chamados padrões atômicos de tempo e frequência de hidrogênio, bem como terminais tipo Mark I ou Mark II para gravações de alta **resolução** temporal. Em 1976 o CRAAM recebeu por empréstimo temporário um oscilador atômico de hidrogênio e um terminal Mark II para a execução do programa VLBI, tendo também sido acertada nova visita ao Brasil de Zisk por período mais longo para realizar observações experimentais referentes ao projeto. Em 1978, finalmente, após tentativas efetuadas nos anos anteriores, utilizando o oscilador de hidrogênio e o terminal Mark II, foi possível obter as primeiras franjas de interferência entre o ROI e Haystack, observando a fonte padrão de emissão intensa de H_2O, W49 situada numa **região HII**.

Em 1975, fora do programa VLBI o receptor em 22 GHz com o amplificador a efeito *maser* foi usado no ROI para radiobservações astrofísicas na linha da molécula de água. Foram observadas 157 diferentes posições no céu e foram detectados 13 novos ***masers* galácticos** de água e outros onze foram sugeridos. Esses resultados foram publicados em dois trabalhos científicos: Kaufmann *et al.*, 1976b e Marques dos Santos and Lépine, 1979.

No que diz respeito a novos equipamentos do ROI, foi concluída em 1974 a montagem, no próprio CRAAM, de receptor em 43-48 GHz (comprimento de onda de 7 mm). No ano de 1975 foi desenvolvido um programa especial para otimizar esse novo receptor para observações na linha espectral do monóxido de silício (SiO), com a cooperação técnica e científica de Masaki Morimoto (1932-2010) do Observatório de Tóquio. O receptor foi colocado para funcionar por algumas semanas em setembro de 1975, mas apenas um espectro de

SiO foi obtido após longos períodos de integração. Em todo caso, esse trabalho ajudou a resolver inúmeros problemas técnicos desse receptor, possibilitando realizar, mais tarde, outras observações durante o ano de 1976, mas desta vez com menor ruído interno.

Entretanto, em 1977 houve um acontecimento de extrema importância para o destino futuro do CRAAM, que foi a sua incorporação ao ON.

A incorporação do CRAAM ao ON

No ano de 1977 coube ao ON a participação direta num acontecimento de grande importância para a astronomia no Brasil, tendo sido ele responsável pela incorporação do CRAAM à sua estrutura administrativa, de modo a assegurar a continuidade dos trabalhos na área de **radioastronomia** que vinham sendo desenvolvidos com sucesso. O motivo dessa incorporação resultou de uma situação criada pelo Instituto Mackenzie, entidade mantenedora do CRAAM que, possivelmente por razões político-administrativo-financeiras notificou o mesmo em meados de 1976 que, a partir do ano seguinte não seria alocada nenhuma dotação orçamentária para o seu funcionamento, devendo portanto o CRAAM buscar apoio nas instituições públicas congêneres existentes na época, para ser incorporado por uma delas. No seio do CRAAM essa situação de instabilidade criou angustiante expectativa quanto ao seu destino fora da Universidade Mackenzie pois, esta, embora tivesse uma tradição de bom nível universitário era, no entanto, uma universidade particular.

Nessa época as instituições congêneres existentes eram o INPE e o Instituto de Atividades Espaciais (IAE) do Centro Técnico Aeroespacial (CTA), ambos em São José dos Campos, SP, e o ON no Rio de Janeiro. Mas naquela época, as duas primeiras quando consultadas acreditaram não ter condições necessárias para a incorporação do CRAAM a curto prazo. Restando apenas o ON, este teria possivelmente condições de receber o CRAAM, pois havia sido recentemente transferido do MEC para o CNPq e contava com um considerável número de cargos vacantes. Nessas circunstâncias, a solução mais promissora foi aquela apresentada pelo diretor do ON, que era a incorporação do CRAAM ao CNPq através de uma fusão com o ON. De certo modo isso nada mais era que tornar formal uma situação que praticamente já era realidade, pois, pela própria natureza do CRAAM dentro da Universidade Mackenzie, somente um reduzido número de funcionários tinha contratos estáveis, sendo que a maioria estava vinculada ao mesmo através de verbas do CNPq ou FAPESP, ou por contratos oriundos dos convênios com instituições estrangeiras. Na verdade o CRAAM já tinha encaminhado anterior-

mente à FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) um pedido de auxílio que poderia permitir a execução dos projetos em andamento por período máximo de três anos. Mas, mesmo que esse pedido fosse aprovado, não se podia saber o que ocorreria mais tarde. Por outro lado, se a fusão com o ON se concretizasse, haveria tempo suficiente para incorporar ao ON todos os auxílios mencionados, evitando-se assim aumento da despesa do ON com o pessoal, pois os pesquisadores oriundos do CRAAM seriam contratados pelo CNPq via ON. Os detalhes dos trâmites para efetuar a incorporação foram mencionados por Muniz Barreto (1987):

> Era necessário preservar a vinculação tradicional do CRAAM com a Universidade Mackenzie e continuar a servi-la da melhor forma possível. Era imprescindível que fossem assegurados os meios para o desenvolvimento desejado do CRAAM sem que isso afetasse os programas próprios do ON. Também era necessário que a proposta fosse aceita pelo CNPq sob os pontos de vista administrativo e financeiro. No que se refere ao quadro de pessoal o ON tinha vagas suficientes para a contratação dos funcionários do CRAAM, pois o DASP[2] havia aprovado uma lotação de funcionários para o ON e que poderiam ser aproveitados no caso. Com auxílios já aprovados seria possível assegurar uma razoável execução de orçamento até o final do ano de 1977.

Entretanto, pelas normas do CNPq o CRAAM não poderia de imediato ser um instituto independente, devendo ter a denominação de Coordenadoria de Rádio Astronomia. Contando com a boa vontade e compreensão, tanto do CNPq quanto do presidente do Instituto Mackenzie, foram assinados o Convênio CNPq–Universidade Mackenzie e o Termo de Comodato entre as instituições. Pelo Convênio o CNPq se comprometia a contratar todas as pessoas ligadas às atividades do CRAAM, ou seja, pesquisadores, técnicos, pessoal administrativo e de apoio e lotá-las no ON. O curso de pós-graduação do CRAAM deveria ser transferido para o ON e, desse modo, este asseguraria as matrículas de todos os alunos que a Universidade Mackenzie apresentasse. Havia também o compromisso formal de que todos os trabalhos e publicações teriam referências explícitas ao convênio celebrado. Pelo Termo de Comodato o Instituto Mackenzie cedia ao CNPq pelo prazo de 30 anos prorrogáveis, todos os bens móveis e imóveis de seu patrimônio que eram utilizados pelo CRAAM para uso do ON. A transferência incluía também todos os equipamentos e materiais permanentes que haviam sido obtidos com auxílios das entidades financiadoras. Uma vez integrado no ON o CRAAM passou a constituir o Departamento de Rádio Astronomia (DRA) do ON, com sede na cidade de São Paulo.

---

[2] DASP: Departamento Administrativo do Serviço Público.

Avanços nas radiobservações

Em 1978 pesquisadores do DRA/ON em São Paulo realizaram no ROI observações com o receptor multicanal[3] por dois períodos de cerca de três semanas cada um, utilizando um receptor com amplificador a efeito *maser* em 22 GHz, desta vez refrigerado com hélio líquido, cujo resultado foi a identificação de novas radiofontes de água em **estrelas tardias** e em **regiões H II** e a notável detecção do primeiro ***mega-maser* extragalático** na **galáxia** NGC 4945 por PMS e Jacques R. D. Lépine. Também foram realizadas observações nas linhas da água de alta velocidade, observações das principais **regiões H II** do hemisfério sul celeste na linha de **recombinação** H66α, variações periódicas no fluxo da radiofonte Centaurus A em 22 e 43 GHz com período de oito dias e nebulosas de reflexão, também na linha espectral da água.

A ida do CRAAM para o INPE e outros desdobramentos

O CRAAM permaneceu no ON de 1977 a 1979 mas, no início desse último ano, Luiz Muniz Barreto que havia desempenhado um papel importante no processo de integração das duas instituições, afastou-se da direção do ON e foi substituído por José Antonio de Freitas Pacheco. Em fins de 1979, outra vez por problemas político-administrativos o CRAAM se desligou do ON e foi transferido para o INPE.

Entretanto, mais da metade dos pesquisadores e técnicos preferiram continuar no ON. Em face dessa decisão o ON manteve o DRA/ON no mesmo local em São Paulo com Jacques R. D. Lépine, PMS, Reuven Opher, Maria Alcina Braz, Nelson Schuch, Marcio G. Maia e Jorge Rafaelli. Os outros pesquisadores e técnicos que preferiram passar para o INPE, continuaram também em São Paulo com sede próxima à do DRA/ON sob a denominação de Coordenaria Adjunta de São Paulo/Itapetinga–CRAAM. Assim ambos os grupos passaram a coexistir quase no mesmo espaço físico, utilizando o mesmo instrumental do ROI em Atibaia, SP.

O DRA/ON enquanto permaneceu no ON procurou desenvolver dois projetos de **radioastronomia**. O primeiro tratava da construção de um radiote-

---

[3] Num receptor multicanal a banda de frequências em que a radiação eletromagnética é recebida, é subdividida em vários canais de banda mais estreita, de acordo com a **resolução** espectral desejada. O receptor em 22 GHz do ROI tinha 46 canais, cada um com resolução de 100 kHz.

lescópio na frequência de 115 GHz para observações na linha molecular do monóxido de carbono (CO) e, possivelmente, realizar também observações na linha molecular do ozônio (O_3) em 110 GHz, para a determinação da espessura da camada estratosférica de ozônio com base na variação do alargamento da referida linha espectral. O segundo projeto denominado Telescópio de Síntese Brasileiro (TSB) tratava da construção de um radiointerferômetro em 151 MHz, com **linha de base** de 5 km para o mapeamento de radiofontes do hemisfério sul celeste aproveitando o movimento de rotação da Terra.

Em 1981 o diretor do ON, José Antonio de Freitas Pacheco, foi substituído por Lício da Silva que permaneceu no cargo até 6 de agosto de 1982, tendo sido substituído por Luiz Muniz Barreto para um segundo mandato. Antes disso, porém, por razões político-administrativas o DRA/ON já havia sido extinto em abril de 1982. Alguns técnicos e pesquisadores do DRA/ON foram para a sede do ON no Rio de Janeiro; entre eles, Nelson Schuch e Marcio G. Maia continuaram por algum tempo trabalhando em **radioastronomia**. Outros foram para o OAB (Observatório Astrofísica Brasileiro) em Itajubá, MG, e os que escolheram permanecer em São Paulo foram absorvidos pelo IAG/USP (Marques dos Santos, 1989). Essa transferência para o IAG/USP é mencionada no texto de Walter J. Maciel sobre a pós-graduação do IAG/USP no Capítulo "Pós-graduação em astronomia" neste Volume.

Com a extinção do DRA/ON o projeto do radiotelescópio em 115 GHz passou a ser desenvolvido no IAG/USP chegando a ser instalado nas suas dependências na Água Funda. O projeto do TSB em 151 MHz teve prosseguimento com o pessoal do Rio de Janeiro e teve até um programa de escolha de sítio para sua instalação que se restringiu ao Estado do Rio Grande do Sul, nas regiões do Taim e de Santa Maria. Infelizmente nenhum desses projetos foi jamais completado.

O pessoal que ficou alocado no INPE (Pierre Kaufmann, Eugenio Scalise Jr., Ricardo E. Schaal, Zulema Abraham, Federico Strauss e Liliana Rizzo Piazza) continuou na Coordenaria Adjunta de São Paulo/Itapetinga–CRAAM em São Paulo fazendo as pesquisas que vinha fazendo anteriormente, e também com a responsabilidade administrativa do ROI em Atibaia, SP. Entretanto, para as interações cientificas foi constituída a Direção de Rádio Astronomia do Departamento de Astrofísica do INPE, em São José dos Campos, SP.

Em fins dos anos 80 a Coordenaria Adjunta de São Paulo/Itapetinga–CRAAM foi transferida para São José dos Campos, passando a ser o Departamento de Rádio Astronomia e Física Solar do INPE, chefiado por Pierre Kaufmann. Em 1987, na gestão do diretor-geral do INPE, Marco Antonio

Raupp, ocorreu uma crise interna nessa instituição em que um de seus desdobramentos atingiu o chefe do Departamento de Rádio Astronomia e Física Solar, Pierre Kaufmann, por problemas administrativos relativos à demissão de alguns funcionários desse Departamento. Diante desse desentendimento Pierre Kaufmann pediu demissão em caráter irrevogável, no que foi acompanhado por outros pesquisadores.

Depois desse episódio e várias discussões a seu respeito, alguns pesquisadores do referido Departamento decidiram permanecer no INPE. Mas Pierre Kaufmann foi contratado pelo reitor da USP, José Goldemberg, para ficar alocado na Escola Politécnica (EP/USP) onde procurou formar o Centro de Rádio Astronomia e Aplicações Espaciais (CRAAE) em 1989, do qual faziam parte, além da USP, o INPE, a Unicamp e a Universidade Mackenzie, tendo inicialmente Pierre Kaufmann como coordenador. O CRAAE deveria realizar pesquisas aplicadas nas áreas de geodésia e geodinâmica espaciais junto ao Laboratório de Aplicações Espaciais do Departamento de Engenharia de Transporte da EP, no lugar das pesquisas básicas na **radioastronomia**.

Mais recentemente ocorreram iniciativas radioastronômicas, como o projeto GEM (*Galactic Emission Mapping*) do Grupo de Cosmologia Observacional do Departamento de Astrofísica do INPE, para medir a emissão galáctica em micro-ondas (0,408; 1,465; 2,3 e 5 GHz) e a sua polarização, com o objetivo de subsidiar observações da **Radiação Cósmica de Fundo** e de sua polarização. Uma antena portátil de 5 m, que também havia sido utilizada em outros pontos do globo, tem operado no campus do INPE em Cachoeira Paulista, SP, desde 1997 (Boaventura, 2013; ver menção a este projeto em "Gravitação e cosmologia" no Capítulo "Cosmologia teórica" neste Volume).

Mais ou menos na mesma época foi construído pelo CRAAM numa colaboração internacional, o Telescópio Submilimétrico Solar com antena de 1,5 m operando em 212 e 405 GHz a uma altitude de 2.550 m em El Leoncito, San Juan, Argentina.

Em 2001 teve início no *campus* do INPE em Cachoeira Paulista, SP, a construção do Arranjo Interferométrico Brasileiro para 1,2-1,7, 2,7 e 5,0 GHz que, na configuração a ser completada em três fases, deverá ter 38 antenas de 5 m de diâmetro dispostas em "T". Na primeira fase, concluída em 2006, 5 antenas foram dispostas numa **linha de base** de 216 m na direção L-O. Embora estejam previstas várias aplicações, a principal é em física solar. Mas este Capítulo termina aqui limitando-se a descrever as fases de formação, consolidação e apogeu da **radioastronomia** brasileira na década de 1970 seguida pela divisão do CRAAM entre o ON e o INPE, após o que a **radioastronomia** jamais se consolidou como um grupo de pesquisa independente.

Referências

Boaventura, André Luis (2013), "O radiotelescópio GEM: uma nova configuração para medir a potência total e a polarização da emissão do contínuo em 5 GHz", *Dissertação de Mestrado*, São José dos Campos, SP: INPE/MCTI, disponível em http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/02.17.20.42/doc/publicacao.pdf, acesso em 10/9/13.

Kaufmann, Pierre (1963), "Ensaios com o radiotelescópio experimental. Resultados Gerais", *Revista Orientador IBRAPE*, 1, abril de 1963 (separata).

Kaufmann, Pierre (1968), Solar Physics at Mackenzie University, São Paulo, Brazil, *Solar Physics*, 3, 360-363.

Kaufmann, Pierre (2004), "Primórdios da Radioastronomia no Planetário do Parque do Ibirapuera (1958-1963) e sua consolidação no Brasil" *in* Oscar T. Matsuura (Org.), *Astronomia na Cidade de São Paulo*, CD-ROM comemorativo dos 450 anos de São Paulo, São Paulo: Planetário e Escola Municipal de Astrofísica Prof. Aristóteles Orsini.

Kaufmann, Pierre; Fogarty, W. G.; Marques dos Santos, Paulo; Scalise Jr., Eugenio; Schaal; Ricardo E. and Tiba, T. (1976), Performace of the Brazilian 45 ft Itapetinga radiotelescope at C-Band, *Revista Brasileira de Tecnologia*, 7, 81-88.

Kaufmann, Pierre; Gammon, R. H.; Ibañez, Angel L.; Lépine, J. R. D.; Marques dos Santos, Paulo; Paes de Barros, M. H.; Scalise Jr., Eugenio; Schaal, Ricardo E.; Zisk, Stanley H.; Carter, J. C.; Meeks, M. L. and Sobolenski, J. M. (1976b), New H_2O celestial sources associated with H II regions in the Southern Hemisphere, *Nature*, 260, 5549, 306-307.

Kaufmann, Pierre and Matsuura, Oscar T. (1968), Solar corona at centimetre wavelengths, *Nature*, 219, 5157, 921-922.

Kaufmann, Pierre; Matsuura, Oscar T. and Marques dos Santos, Paulo (1969), On the possible emission of polarized microwave radiation from the solar hemispheres, *The Astrophysical Journal,* 156, April, 43-47.

Marques dos Santos, Paulo (1989), "O retorno da radioastronomia ao IAG/USP", *Boletim da SAB*, 11, 2, 17-24.

Marques dos Santos, Paulo (2005), *Instituto Astronômico e Geofísico da USP. Memória sobre sua formação e evolução,* São Paulo: Edusp.

Marques dos Santos, Paulo and Lépine, J. R. D. (1979), Detection of strong H_2O emissions from galaxy NGC4945, *Nature*, 278, 5699, 34-35.

Marques dos Santos, Paulo e Matsuura, Oscar T. (1987), "O Eclipse de Bagé", *Boletim da SAB*, 9, 2, 35-39.

Muniz Barreto, Luiz (1987), *Observatório Nacional — 160 anos de história 1827-1987*, Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, Secretaria da Cultura e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro, MCT/CNPq, Observatório Nacional.

Capítulo 4

COSMOLOGIA TEÓRICA

Gravitação e cosmologia

Marcos D. Maia (IF/UnB)

Apresentamos um breve relato da área de gravitação e cosmologia após o surgimento do pensamento relativístico de Einstein. Incluímos breve histórico do desenvolvimento dessa área no Brasil, desde o fim da década de 1950 até o presente. Em particular, comentamos a importância da cosmologia experimental como base de uma nova ciência.

Gravitação de Einstein

A concepção de um universo como espaço físico é bastante intuitiva e existem alusões a esse conceito desde a antiguidade. Em termos de documentação escrita, destacamos o texto de Lucrécio escrito em Roma em torno de 50 AEC (Lucretius Carus, 2008). Segundo ele, o universo que é composto de tudo o que conhecemos, não pode ter um contorno, pois se o tivesse, ele separaria o todo de algo externo, o que não é possível já que tudo o que é conhecido já faz parte do universo.

Daquele período pulamos diretamente para a idade média na Inglaterra, onde encontramos Thomas Bradwardine (c. 1295-1349) que sugeriu a possível existência de vários universos incluindo o nosso, cada um com um contorno, todos eles mergulhados em um vazio, compondo uma imagem do que chamaríamos hoje de um multiverso (Duhem, 1985).

Atualmente a nossa noção de universo se fundamenta no conceito de "variedade" (ou *Mannigfatigkeit*) descrito pelo filósofo alemão Immanuel Kant em 1781. Uma variedade pode ser pensada como uma coleção de objetos e fenômenos observáveis, incluindo os próprios observadores com suas ferramentas e métodos de percepção (Kant, 2003). Eventualmente esse conceito nos conduziu à descrição atual do universo pela teoria do "espaço-tempo" (ver adiante) em grande escala, que se originou na teoria gravitacional de Einstein. Hoje temos uma ciência de precisão denominada **cosmologia** relativística, ou simplesmente **cosmologia**, que se consolidou como tal muito recentemente. Isso somente tornou-se possível depois dos avanços tecnológicos que permitiram a realização de medidas astronômicas profundas no espaço, usando telescópios em solo (ver **Astronomia terrestre**) e espaciais, operando em várias frequências do **espectro** eletromagnético. Tais medidas permitiram a descoberta de novos fenômenos até há pouco desconhecidos, conduzindo-nos a uma reavaliação de nossos conceitos atuais sobre os fundamentos da física e sobre o universo, conforme veremos a seguir.

Uma formalização matemática das variedades de Kant foi introduzida pelo matemático alemão Bernhard Riemann quase um século depois, no seu trabalho fundamental sobre geometria (Riemann, 1873). Riemann adicionou à ideia de variedade duas novas ferramentas necessárias para caracterizar a observação: uma "métrica" que dá uma noção de distância entre dois objetos da variedade e uma "topologia" que dá uma noção da forma local de um objeto. Com esses conceitos, um observador torna-se capaz de distinguir os tamanhos e diferenciar objetos, como uma galáxia de um átomo, bem como comparar suas formas.

A propriedade métrica da geometria de Riemann causou forte impacto na matemática desde o seu início, estabelecendo o que se considera hoje a geometria padrão, substituindo a geometria de Euclides e suas generalizações, como as geometrias de Lobachevsky e Bolyai. Por outro lado, o conceito de topologia está mais obscuro na apresentação original de Riemann, mas um pouco mais explícito no seu *Nachlass* tornado publico em 1876 em Leipzig e, posteriormente, com a publicação da análise detalhada feita por Veblen e Whitehead (Veblen and Whitehead, 1931; Scholz, 1999: 25).

Em 1916 Einstein introduziu uma simbiose entre a geometria de Riemann e a física, identificando a métrica de Riemann com o potencial gravitacional e substituindo o conceito de força gravitacional pelo de curvatura da variedade riemanniana, agora denominada espaço-tempo. Isso representou uma mudança conceitual extraordinária para a época, não somente porque generalizou a Relatividade Especial de 1905, mas principalmente por alterar a teoria newtoniana da gravitação, produzindo o que ele chamou de Relatividade Geral, como sendo a nova teoria da gravitação. A Relatividade Especial é um caso particular da Relatividade Geral quando a curvatura do espaço-tempo se anula. A gravitação newtoniana é também um limite da Relatividade Geral quando os movimentos se tornam de baixa velocidade relativamente à velocidade da luz e com a reintrodução do potencial estático newtoniano. O conceito relativista de Einstein introduziu uma "sociologia" no pensamento científico, através de uma seleção entre os observadores dada pela noção de simetria do espaço-tempo. Diferentemente do absolutismo newtoniano, o tempo passa a ser um parâmetro próprio de cada observador.

A Relatividade Especial é a teoria na qual se descreve a nossa conceituação atual das partículas elementares e de campos[1]. Ela é corroborada por sólida base experimental com observadores e observáveis definidos no **espaço-tempo de Minkowski** (Minkowski, 1923; Maia, 2011). Porém, a Relatividade Especial não inclui o campo gravitacional, o que foi feito na Relatividade Geral que possui ainda uma base experimental bastante limitada, sustentando-se principalmente nos chamados **testes clássicos**: o desvio da luz pela gravitação, o desvio gravitacional para o infravermelho e o avanço do periélio de Mercúrio.

---

[1] O conceito de campo é frequentemente atribuído a James Clerk Maxwell (1831-1879), depois que ele percebeu que o campo eletromagnético se propaga por si próprio mesmo no vácuo, independentemente da existência de um meio material. Matematicamente um campo corresponde a uma função de várias variáveis (campo escalar, como o campo gravitacional newtoniano), ou a um vetor função de várias variáveis (campo vetorial, como o campo eletromagnético) ou a uma matriz função de várias variáveis (um campo matricial), um tensor, um espinor e assim por diante. O campo gravitacional de Einstein é um campo tensorial.

A existência das **ondas gravitacionais** (ver o Capítulo "Ondas gravitacionais" neste Volume), que foi prevista pela teoria de Einstein, recebeu um suporte indireto com o importante trabalho de Hulse e Taylor sobre o **pulsar binário** PSR 1913+16 (Weisberg *et al.*, 1981), mas essas **ondas** ainda não foram detectadas diretamente (Camp and Cornish, 2009). Por outro lado, a teoria gravitacional de Einstein tem também encontrado dificuldades em explicar alguns efeitos gravitacionais observados na **astrofísica extragaláctica,** como a descrição das **curvas de rotação** de estrelas situadas nos braços das **galáxias espirais**, inclusive de estrelas da nossa própria **Galáxia**, bem como a **expansão acelerada** do universo.

Muitos consideram o maior desafio teórico da gravitação de Einstein a sua incompatibilidade com a teoria quântica. A importância da gravitação quântica está na necessidade de se tratar o efeito gravitacional ao mesmo nível das outras **forças fundamentais** (a eletromagnética e as nucleares), sob as mesmas condições ditadas pela mecânica quântica, geralmente válida em pequenas escalas de comprimento. Supostamente, no universo primordial todos esses campos teriam exercido papel importante na explicação da formação de estruturas (partículas elementares, átomos, moléculas, nebulosas, estrelas e **galáxias**). Hoje podemos contar cerca de vinte diferentes propostas de teoria de gravitação quântica, quase todas elas válidas apenas no chamado **regime de Planck**, sem suporte experimental.

Cosmologia relativística

Levando em conta as atuais observações, o universo concebido no contexto da Relatividade Geral é representado por uma solução das equações de Einstein[2], onde se aplica o "Princípio Cosmológico": segundo esse Princípio, na escala de distâncias espaciais do universo observado (não contando o tempo), a matéria é uniformemente distribuída em todas as regiões (isto é, um universo homogêneo sem estruturas isoladas) e em todas as direções (isto é, um universo **isotrópico**, sem direções privilegiadas). As **galáxias**, nebulosas, estrelas, planetas e satélites que vemos no céu são estruturas caracterizadas em uma escala local, muito menor que a escala cosmológica considerada acima e, portanto, são ig-

[2] Trata-se de um sistema de equações diferenciais de 2ª ordem composto por 13 equações, uma delas sendo não linear. O lado esquerdo dessa equação contém a geometria do espaço-tempo e o lado direito, a fonte material que produz a gravitação. Não existe força gravitacional e, em seu lugar, postula-se a curvatura do espaço-tempo. Devido à não-linearidade do sistema de equações, a teoria permite a existência de gravitação mesmo no vazio, sem fonte material.

noradas na escala estabelecida pelo Princípio Cosmológico. Essas estruturas foram formadas durante a evolução do universo, quando a homogeneidade e a isotropia deixam de valer. Mas isso ainda não está completamente entendido.

O primeiro modelo cosmológico relativístico foi sugerido pelo próprio Einstein, sob a suposição de que o universo sempre existiu e sempre existirá. Tal universo estático pode ser gerado por uma constante que Einstein denominou "constante cosmológica", geralmente denotada pela letra grega Λ. Assim, em 1917 Einstein modificou a sua teoria gravitacional original, a Relatividade Geral, incluindo essa constante. Logo em seguida, em uma segunda publicação no mesmo ano, ele afirmou a sua célebre frase dizendo que a introdução daquela constante teria sido um erro, o maior de sua vida, e subsequentemente removeu aquela constante. Uma provável explicação para essa atitude é que a presença de Λ impede o surgimento do **espaço-tempo de Minkowski** como solução das equações da gravitação, tornando a teoria incompatível com a Relatividade Especial. Duas soluções das equações de Einstein modificadas pela presença de Λ são conhecidas como o universo de Sitter, gerado por um Λ positivo, e o universo anti-de Sitter tendo Λ negativo. Este último tem a propriedade de permitir a existência de linhas temporais fechadas. Isto é, a variável temporal nesse espaço-tempo forma um círculo, de modo que o tempo torna-se periódico (Hawking and Page, 1983), o que, em princípio, quebra o princípio de causa e efeito, um dos poucos guardiões remanescentes da lógica na construção de teorias.

O modelo considerado padrão da **cosmologia** relativística, conhecido pela sigla FLRW formada pelas iniciais dos seus autores, foi proposto independentemente durante um período de quinze anos (Friedmann, 1922; Lemaître, 1933; Robertson, 1936 e Walker, 1937). Trata-se de uma solução das equações de Einstein originais (sem a constante cosmológica), com fonte material composta por um fluido perfeito, caracterizado por uma pressão proporcional à sua densidade. Essa solução é interessante porque prevê um universo que se originou em uma região muito densa e quente, a qual se expandiu como uma explosão termonuclear denominada por Lemaître *Big Bang*[3]. A partir daquele instante inicial, a solução descreve um universo em expansão, como se constata pela observação do desvio para o vermelho da radiação de **galáxias** distantes.

---

[3] O modelo padrão da **cosmologia** e as medições da **radiação cósmica de fundo** (**CMBR**) indicam que o universo se originou em uma região pequena e muito quente no evento denominado *Big Bang*. Trata-se de uma singularidade para as equações de Einstein, que pode ter ocorrido há cerca de 13 bilhões de anos. Contrariamente ao que muitos pensam, uma singularidade de uma equação dinâmica não é um ponto, mas sim, uma região de convergência de curvas temporais. Ver, p. ex., Hawking and Ellis, 1973.

As medidas preliminares da **Radiação Cósmica de Fundo**, **CMBR** na sigla em inglês (Penzias and Wilson, 1965), dão um forte suporte experimental para o modelo padrão. Entretanto, até recentemente, a expectativa era de que a expansão deveria cessar pelo esfriamento natural do universo em expansão quando, então, a gravitação passaria a ter efeito dominante, causando uma contração do universo. Mas, em 1998 as observações de **supernovas** distantes do tipo Ia mostraram algo surpreendente: em vez de diminuir, a expansão do universo está aumentando aceleradamente. Até o presente não se sabe o que causa essa aceleração, mas ela passou a ser atribuída a uma entidade hipotética denominada "energia escura". As estimativas mais recentes baseadas em nove anos de observação da sonda *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (WMAP) e, mais recentemente, do observatório espacial Planck, dizem que 68,3% da energia do universo é devida a essa energia escura (Komatsu *et al.*, 2011; Planck Collaboration, 2013). Ao tentarmos entender esse fenômeno, somos levados naturalmente à conclusão de que o universo se expande aceleradamente, procurando preencher aquele vazio imaginado por Bradwardine.

Uma possível explicação para a aceleração do universo pode ser obtida com a reintrodução da constante cosmológica de Einstein com uma nova interpretação. Usando a teoria quântica de campos, onde o vácuo é descrito como sendo o menor estado de energia dos campos (e, portanto, diferente do vazio clássico), as estimativas teóricas calculadas indicam que a energia do vácuo computada desde um período muito próximo ao *Big Bang*, teria estrutura formal semelhante à constante cosmológica de Einstein (Zel'dovich and Novikov, 1983). Assim, é comum ouvirmos que a constante cosmológica é o mesmo que a energia do vácuo, que seria a responsável pela **expansão acelerada** do universo. Entretanto, o valor da constante cosmológica necessário para a aceleração do universo é muito menor que o valor calculado para a energia do vácuo. Ou seja, a energia do vácuo produziria uma aceleração absurdamente maior que a observada. A dificuldade reside no fato de que não se conhece meios dentro da teoria de campos ou da teoria gravitacional para reconciliar essa diferença. Isso ficou conhecido como o problema da constante cosmológica (Weinberg, 1987; Weinberg, 1989), que é considerado por muitos como sendo o mais difícil problema conceitual da física atual (Padmanabhan, 2003).

Outra explicação para a **expansão acelerada** do universo consiste em substituir, no lado direito das equações de Einstein, a constante cosmológica por uma função que decai com o tempo, atuando como fonte de gravitação repulsiva. Mas, as especulações sobre a **expansão acelerada** do universo

vão muito mais adiante, como exemplifica o persistente debate filosófico sobre o uso do Princípio Antrópico como solução do problema da constante cosmológica. Segundo esse Princípio, o nosso entendimento do universo somente é possível porque os valores das constantes fundamentais da física são apropriados à nossa existência. Para outros valores dessas constantes, a emergência de seres inteligentes poderia até ser possível, mas a percepção e o entendimento dos conceitos deles sobre o universo poderiam ser muito diferentes dos nossos. Assim aquele multiverso imaginado por Bradwardine seria composto de diferentes universos, cada um parametrizado por diferentes constantes fundamentais, com estruturas físicas distintas e, possivelmente, com civilizações estruturadas com diferentes percepções da realidade.

Outro problema gravitacional resultante das observações refere-se à velocidade orbital das estrelas em torno do núcleo de **galáxias espirais**. Essa velocidade é suficientemente elevada (em torno de 700 km/s para algumas **galáxias** típicas) para que as estrelas permaneçam em órbita graças à atração gravitacional produzida somente pela matéria visível que, supostamente, compõe aquelas **galáxias**. Então, em 1933 o astrônomo Fritz Zwicky, trabalhando nos observatórios de Monte Wilson e Palomar na Califórnia, sugeriu a existência de uma matéria adicional invisível (isto é, que não interage com o campo eletromagnético que descreve a luz), e cujo campo gravitacional se adicionaria ao da matéria comum, de modo a manter as estrelas em suas respectivas órbitas (Zwicky, 1933). Essa suposta matéria foi denominada "matéria escura" por Vera Rubin (Rubin, 1997). Sucede que, dentro do modelo padrão das partículas elementares e campos que compõem a matéria convencional relativística, tal matéria não existe. Originalmente pensou-se que a pequena massa dos **neutrinos** poderia explicar a matéria escura. Outra explicação considerada foi a de que existiriam planetas de grande diâmetro, formados de matéria ordinária, mas que estariam muito distante de estrelas para que pudessem ser detectados pela luz que refletissem. Entretanto, as atuais estimativas feitas com base nas medidas do observatório Planck mostram que a quantidade da suposta matéria escura corresponde a 26,8% da massa total do universo (contra apenas 4,9% de matéria ordinária estimada no universo), o que torna a hipótese da massa dos **neutrinos** ou dos planetas gigantes irrealista.

Por outro lado, em uma teoria de partículas mais ampla que a definida pelo mencionado modelo padrão, é admissível que essa exótica matéria escura de fato exista, mas possua uma interação muito fraca com a matéria ordinária e com o campo eletromagnético, tornando-se efetiva apenas quan-

do considerada em grandes quantidades, como nas **galáxias**. Tal concepção é chamada WIMP, sigla em inglês de *Weakly Interacting Massive Particles*. Entretanto, como a gravitação produzida pela matéria escura não segue as mesmas hipóteses feitas para o modelo cosmológico padrão (FLRW), i. é, as condições de isotropia e homogeneidade do Princípio Cosmológico, cogita-se que a materia escura já existiria desde o início do universo e que, portanto, ela poderia ser responsável também pela formação de estruturas como nebulosas e **galáxias**, no universo primordial. Assim costuma-se ouvir que a matéria escura seria necessária para permitir a formação de estruturas em um estágio remoto do universo. Um grande número de simulações numéricas tem sido apresentado, mostrando como seria aquela matéria escura, por vezes com auxílio de efeitos cinematográficos de grande impacto, frequentemente deixando de salientar que se trata de uma mera simulação numérica.

Em outra vertente teórica, como o efeito observado da matéria escura é de natureza gravitacional, cogita-se também que o fenômeno da matéria escura denuncia uma deficiência da teoria gravitacional de Einstein, ou do seu limite newtoniano. Assim, existem estudos de modificação da teoria de Einstein que são capazes de explicar as **curvas de rotação** das **galáxias espirais**. Um modelo bastante conhecido é baseado em uma alteração da teoria de Newton e chama-se MOND (*Modified Newtonian Dynamics*), ou seja, uma modificação da dinâmica newtoniana.

Entre outras modificações propostas para a Relatividade Geral podemos citar um complexo modelo designado TeVeS (*Tensor-Vector-Scalar Gravity*), que é uma teoria relativística de gravitação envolvendo campos vetoriais e escalares, além do tradicional campo tensorial da teoria de Einstein (Milgrom, 1983; Bekenstein, 2004). Entretanto os dados observacionais apontam para um efeito gravitacional não relativístico, geralmente denominado matéria escura fria ou CDM, sigla de *Cold Dark Matter*, que é a designação do paradigma atual. Portanto, o problema da matéria escura é complexo, pois alia-se e coexiste com o problema da **expansão acelerada**. Este último tem, como única explicação aceita atualmente, a inexplicável constante cosmológica Λ. Assim, a sigla ΛCDM combina o paradigma mais amplo para a **expansão acelerada** do universo dada por Λ, e a formação de estruturas e a dinâmica das **galáxias** dada pela matéria escura não relativística (CDM).

Como se percebe, o repertório de virtudes e problemas teóricos e observacionais da **cosmologia** é bastante extenso e eles se misturam com os problemas e virtudes da teoria de partículas e campos (Ellis *et al.*, 1993; Goenner, 2010).

Gravitação e cosmologia no Brasil

A história da física no Brasil mostra que, a partir da década de 1930, houve forte influência europeia em pesquisas na área de partículas e campos, notadamente na área de **raios cósmicos** (Moraes, 1994; Hamburguer, 2002; Lopes, 2004; ver também o Capítulo "Pesquisas em raios cósmicos", neste Volume).

Mas, enquanto na Europa e na América do Norte, a gravitação de Einstein estava em pleno desenvolvimento entre 1916 e 1950, inclusive com o estudo de diferentes modelos cosmológicos, como o já mencionado modelo de Einstein-de Sitter, o modelo de universo em rotação de Milne (Milne, 1935), o modelo de Gödel (Gödel, 1949) e o atual modelo padrão, no Brasil, naquele mesmo período, o estudo sobre a gravitação de Einstein e a **cosmologia**, de modo geral era muito pouco disseminado (ver o Capítulo "Positivismo e utilidade da astronomia" no Volume I).

A primeira publicação brasileira sobre a teoria da relatividade, com o título "Introdução à Teoria da Relatividade" por Amoroso Costa (Costa, 1922; Eisenstaedt e Fabris, 2004), apareceu em 1922. Outra menos conhecida é devida a Pedro Rache, em Minas Gerais (Rache, 1932). Mas somente a partir da década de 1940 apareceram contribuições originais em **astrofísica,** como os trabalhos de Mário Schenberg e colaborações (Schoenberg, 1941; Gamow and Schoenberg, 1940; Gamow and Schoenberg, 1941 e Schönberg and Chandrasekhar, 1942) (ver "Mário Schenberg, pioneiro da astrofísica teórica brasileira" no Capítulo "Astrofísica" no Volume I).

Tomando o surgimento de programas acadêmicos de pesquisa e pós-graduação no Brasil como início da pesquisa sistemática em gravitação e **cosmologia**, somente no fim da década de 50 surgiu um programa dessa natureza na Universidade Federal do Paraná (UFPR), liderado por Hugo Frederico Kremer. O programa do professor Kremer foi bastante ativo, com a participação de pesquisadores brasileiros em estágios e congressos no exterior e contava com pesquisadores visitantes, como M. A. Tonnelat e S. Mavridés, do *Institute Henri Poincaré* de Paris. Infelizmente, em 1969, o programa foi abruptamente interrompido após o trágico falecimento do professor Kremer. Alguns participantes daquele programa, como José Plínio Baptista (1934-2006) e Antônio Brasil Batista, ou foram para o exterior ou outras instituições e, somente anos depois, se fixaram na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Vale lembrar que, naquela mesma época, a ciência brasileira nos institutos de pesquisa e universidades federais entrava num período crítico com o advento do golpe militar de 1964, quando muitos docentes e pesquisadores foram exonerados, presos ou exilados do país. Alguns centros de pesquisa que

estavam sendo implementados, foram fechados e posteriormente alterados, como foi o caso da Universidade de Brasília (UnB), criada em 1962 para ser o paradigma da modernização das universidades brasileiras.

O Instituto Central de Física da UnB inaugurou um programa de Física de **Altas Energias**, incluindo o convênio entre a UnB e o CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) sob a liderança de Roberto Salmeron. Esse programa da UnB inaugurou de modo efetivo o binômio ensino-pesquisa, e foi nesse clima que surgiu um grupo de estudos teóricos sob a liderança de Jayme Tiomno (1920-2011), que incluía a teoria de campos, gravitação e **cosmologia**, teoria e experimentos em partículas elementares e física nuclear.

Como sabemos, a experiência original da UnB durou muito pouco, com o fechamento da universidade em 1965. O ensino de graduação na UnB foi reaberto em 1966 com um novo corpo docente, em grande parte despreparado para ocupar as funções dos que tinham sido exonerados e, para piorar, a nova UnB tinha estrutura diferente da original. Posteriormente, a universidade que era uma fundação pública se tornou uma universidade federal, perdendo com isso o seu ímpeto original. Aquela longa noite sem estrelas, para usar as palavras de José Leite Lopes (1918-2006) (Hamburger, 2002), durou vinte anos e causou enorme prejuízo ao desenvolvimento da ciência brasileira como um todo (Salmeron, 2012).

Os estudantes que estavam em Brasília em 1965 tiveram que procurar outros orientadores para completar seus estudos. Entre aqueles, os que tinham interesse explícito em se dedicar à **cosmologia** e gravitação estavam Mario Novello que seguiu para Genebra, na Suíça, para estudar com I. M. Jauch, e o autor deste texto que seguiu para São Paulo em busca de orientação com Mario Schenberg[4].

Apesar das dificuldades acadêmicas dos anos 60, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) fundados em 1951 continuavam ativos. Eram ainda instituições de pequeno porte comparadas às dimensões atuais (o CNPq sediado no Rio de Janeiro contava com poucas dezenas de

[4] Em 1966 procurei o professor Schenberg na USP para um programa de pós-graduação e fui informado que ele estava impedido de frequentar a Universidade, mas que ele poderia me atender na sua residência. Lá ele me apresentou a um oficial de justiça que estava na sala sentado, tomando um cafezinho. Ele me disse que aquela pessoa estava lá para prendê-lo e que, portanto, somente poderia me orientar se eu também fosse preso, na mesma cadeia. Quem salvou a situação foi a esposa de Schenberg ao chegar da feira segurando um peixe embrulhado em um jornal. Ela interrompeu a conversa e me pediu para ver o olho do peixe e se, na minha opinião, ele estaria fresco. Assustado, disse que não entendia muito de peixes. Fiquei mudo por um instante e disse que o momento não parecia apropriado e que retornaria depois. No mesmo dia segui para o Rio de Janeiro e infelizmente nunca retornei.

funcionários). Essas instituições financiavam professores visitantes estrangeiros, concediam bolsas de mestrado e doutorado, e promoviam eventos científicos.

No Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) do Rio de Janeiro, em 1966 Colber Gonçalves Oliveira (1931-1985) retornava do seu doutorado em Syracuse, NY, e naquele mesmo ano iniciou o segundo programa de pós-graduação efetivo em gravitação e **cosmologia** no Brasil, após o efêmero início no Paraná. Mas, de fato, foi no programa do CBPF que Colber Oliveira começou a orientação sistemática de mestres e doutores em gravitação e **cosmologia,** como os mestrados de Nilton O. Santos, Nazira Tamimura e Ivano Soares entre muitos outros que se seguiram.

Após o fechamento da UnB, Jayme Tiomno permaneceu temporariamente no Brasil como professor titular na USP, mas em 1971 migrou para a Universidade de Princeton, EUA, regressando em 1973 para a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RJ), a convite de Antonio Luciano L. Videira. A PUC/RJ desempenhou papel importante na manutenção das pesquisas em toda a física teórica no Brasil durante o período militar. Por se tratar de instituição particular, ela acolheu diversos pesquisadores que, por motivos políticos e até salariais, saíram do CBPF. Assim, a PUC/RJ tinha condições de produzir importantes contribuições, convidar visitantes estrangeiros para seminários, *workshops* e minicursos em todas as áreas da física. Sob tais condições favoráveis, Erasmo Madureira Ferreira realizou na PUC/RJ uma série anual de eventos, o "Simpósio Brasileiro de Física Teórica". Na sua primeira edição em 1969, Silvestre Ragusa apresentou um minicurso sobre gravitação e Leite Lopes outro minicurso sobre simetrias. Na edição de 1970 Jayme Tiomno apresentou um segundo minicurso sobre gravitação.

As pesquisas em gravitação e **cosmologia** na Universidade de São Paulo (USP) iniciaram na década de 1940 com Mário Schenberg, principalmente relacionadas com a teoria de partículas e campos e a teoria geométrica iniciada por ele (Schönberg, 1958). O programa acadêmico em **cosmologia** na USP iniciou só na década de 1970 com Henrique Fleming no Instituto de Física (IF). O programa procurava fortalecer a interação entre a **cosmologia** e a teoria de campos, algo que viria tornar-se importante mais tarde no estudo de modelos de unificação da física e do universo primordial. Em 1972 o IF/USP procurou desenvolver um programa mais amplo de pós-graduação na área de gravitação e **cosmologia**, mas o exíguo número de doutores então existentes em todo o Brasil naquela área não permitiu alcançar uma massa crítica. De fato, estima-se (não havia um levantamento oficial) que em 1972 existiam cerca de 200 doutores em física e 100 doutores em matemática em todo o Brasil. Na área específica de gravitação e **cosmologia** chegava-se a uma dezena, se tanto. Assim, na época da fundação do Departamento de Física-Matemática na USP em 1977, a área de gravitação

e **cosmologia** ficou excluída, essencialmente por falta de pesquisadores que desejassem migrar para São Paulo, o que ocorreu somente a partir de 1987, com o início da contratação de recém-doutores provenientes do exterior. Compete mencionar que a área de **astrofísica** teve mais sucesso na década de 70 com a departamentalização do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da USP em 1972 (ver "O Instituto Astronômico e Geofísico da USP" no Capítulo "Chegada da astronomia oficial a São Paulo" no Volume I e "40 anos de pós-graduação em astronomia no IAG/USP: uma história de sucessos" no Capítulo "Pós-graduação em astronomia" neste Volume), tendo José Antonio de Freitas Pacheco como iniciador do programa de pós-graduação em astronomia naquele Instituto.

Por outro lado, em 1973 o Instituto de Física Teórica (IFT) de São Paulo iniciou com Rubem Aldrovandi, após o regresso de seu doutorado na França, amplo programa sobre teorias alternativas de gravitação (relativamente à teoria de Einstein), usando conceitos da teoria de calibre[5]. Motivado pela perspectiva de obter uma gravitação quântica, esse programa teve condições de crescer no ambiente do IFT e perdura até os dias atuais. A **cosmologia** no IFT tomou pé com a contratação a partir de 1975 de Helio Vasconcelos Fagundes, que desenvolvia um programa de **cosmologia** observacional em que a geometria, encarada como base da gravitação, deveria ser objeto de observação e não mera linguagem matemática. Atualmente se desenvolvem no IFT importantes estudos em **astrofísica**, inclusive sobre possíveis modelos de matéria escura. Vale citar que a partir de 2012 o IFT também abriga o *South American Institute for Fundamental Research* (SAIFR), um importante centro de pesquisas teóricas filiado ao *International Center for Theoretical Physics* (ICTP) da UNESCO, sediado em Trieste, na Itália.

Em 1971 o Departamento de Matemática da UnB iniciou um programa de matemática aplicada incluindo a física-matemática, coordenado pelo autor deste texto após o retorno do seu doutorado. O programa de Brasília tinha caráter interdisciplinar inspirado no tradicional esquema europeu, onde se estuda teorias de campos e gravitação nos departamentos de matemática (e não de física, como é a tradição brasileira). Em 1973 Colber Oliveira se transferiu para o Departamento de Física da UnB para participar daquela atividade interdisci-

---

[5] Existem quatro **forças fundamentais** na natureza, todas dependentes de um potencial. Todas, excluindo a gravitação, se enquadram no que Hermann Weyl em 1918 definiu como sendo teorias de calibre, no sentido de que essas forças dependem de uma calibração do potencial. Essas forças foram incorporadas num esquema geométrico por C. N. Yang e R. Mills em 1954 e formam o que hoje se denomina teoria de Yang-Mills que é, portanto, sinônimo de teoria de calibre. A gravitação de Einstein não se enquadra no esquema de Yang-Mills e não é uma teoria de calibre. Mas, uma das possíveis teorias gravitacionais que se estuda, inclusive no Brasil, é uma teoria de calibre da gravitação.

plinar. Com auxílio do ICTP e da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), o programa prosperou com a participação de diversos visitantes estrangeiros para o oferecimento de minicursos avançados em gravitação e teoria de campos. Os recursos da FINEP e da UnB permitiram também a contratação de novos professores para os Departamentos de física e matemática como Patrício Letelier (1943-2011) em 1978. Em 1988 Letelier transferiu-se para a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) onde consolidou o programa de gravitação e **cosmologia** no Departamento de Matemática daquela instituição.

Com a mudança de Colber Oliveira para Brasília, o programa de gravitação e **cosmologia** do CBPF teve continuidade com o retorno de Mario Novello em 1972, que imprimiu naquela instituição uma forte ênfase à **cosmologia** de Gödel, caracterizada pela existência de uma rotação da matéria e de linhas temporais fechadas. Já contando com melhores condições financeiras, em 1978 o CBPF inaugurou a "Escola de Cosmologia e Gravitação do CBPF", que representou importante marco para o desenvolvimento da **cosmologia** no Brasil. Essa Escola desempenhou e ainda desempenha importante papel na formação de novos cosmólogos, principalmente pelas características do evento que inclui visitantes que permanecem por duas semanas em contato direto com os estudantes e demais participantes da Escola. O ambiente informal permite um contato de grande valor para todos. Lembro-me dos debates extra-classe com o físico soviético Evgeni Lifschitz (1915-1985) fazendo analogias entre conceitos da física de estado sólido e os fundamentos da física de campos. Ele se referia a uma possível explicação do **regime de Planck** como análogo a um ponto tríplice da transição de fase em física do estado sólido. No caso do **regime de Planck**, o ponto tríplice ocorreria entre três teorias distintas: a Relatividade Especial, a gravitação newtoniana e a mecânica quântica. Outro exemplo que me ocorre foi o debate com o físico canadense, Werner Israel, acerca da interface entre dois espaços-tempos, um problema matemático que posteriormente se tornaria importante no desenvolvimento da **cosmologia** multidimensional[6].

Em São Paulo, o Departamento de Astronomia do Instituto de Astrono-

---

[6] A **cosmologia** relativística fundamentada na teoria gravitacional de Einstein define um universo geométrico de quatro dimensões. Como a teoria de Einstein não é uma teoria de calibre (ver nota de rodapé anterior), essa limitação de dimensionalidade é apenas um postulado. Isso permite considerações sobre espaços-tempo e modelos cosmológicos com mais de quatro dimensões. O exemplo mais antigo data de 1920, com a proposta de Theodore Kaluza e Oskar Klein (este último em 1926). Hoje em dia a "teoria das cordas" e os desenvolvimentos mais recentes (teoria de branas) lideram as especulações sobre a existência de uma física multidimensional. Trata-se de um divisor de águas, pois, para muitos, uma física em mais de quatro dimensões é inadmissível.

mia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP desenvolveu um programa de **astrofísica** bastante intenso a partir de 2002 quando Reuven Opher, percebendo que o universo não podia ser estudado apenas como disciplina isolada, iniciou importante projeto interdisciplinar denominado a "Nova Física no Espaço" contando com a contribuição de cosmólogos, físicos experimentais de altas energias, matemáticos, astrônomos e estatísticos. Essa visão interdisciplinar da **cosmologia** impactou o desenvolvimento da **cosmologia** no Brasil, no sentido de que ela expõe toda a complexidade do entendimento do universo, partindo de pontos de vista diferentes, em oposição à sistemática muito verticalizada dos congressos tradicionais.

A partir de 1994 o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em São José dos Campos, SP, iniciou duas grandes contribuições brasileiras à **cosmologia**: a primeira com investimentos na pesquisa da **CMBR**, incluindo a sua medição na superfície da terra e em balões estratosféricos no projeto GEM (*Galactic Emission Mapping*), uma colaboração internacional com o intuito de mapear a emissão de ondas de rádio e micro-ondas provenientes da nossa própria **Galáxia**, permitindo assim obter melhor precisão nas medidas da **CMBR**. A outra contribuição do INPE é a do desenvolvimento de um grupo de pesquisa sob a liderança de Odylio D. de Aguiar sobre **ondas gravitacionais**, inclusive com o desenvolvimento de um detector esférico dessas ondas, o detector Mario Schenberg, projetado e construído no Brasil (ver o Capítulo "Ondas gravitacionais" neste Volume).

Mais recentemente, outras instituições de pesquisa do Rio de Janeiro e de outros estados, particularmente a Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Estadual do Rio de janeiro (UERJ) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) têm investido na formação de grupos de pesquisa em gravitação e **cosmologia**. No caso da UFRJ, Ioav Waga iniciou um programa de **cosmologia** voltado a pesquisas sobre a expansão do universo com base no modelo padrão, com a inclusão de um termo cosmológico dependente do tempo[7].

---

[7] Em 1993 diversos pesquisadores brasileiros estavam em visita ao FERMILAB, perto de Chicago, incluindo Ioav Waga, o autor deste texto, Vanda Silveira e Guilherme Silva trabalhando em possíveis generalizações da constante cosmológica. O progresso das pesquisas era apresentado periodicamente em seminários informais criados por Michael Turner e coordenados por Edward Kolb, astrofísicos da Universidade de Chicago. Em um desses seminários, falei sobre um possível termo cosmológico decaindo com o tempo. Michael Turner comentou que a constante cosmológica estava fora de moda desde que Einstein a baniu em 1917 e que, portanto, não via sentido naquele estudo. Vários membros na audiência, incluindo Ioav Waga e Josh Friemann explicaram que se tratava de uma função cosmológica e não uma constante. Algum tempo depois Turner publicou um trabalho importante intitulado *The cosmological constant is back* (Krauss and Turner, 1995). Aquele seminário ocorreu antes da observação da expansão acelerada do universo em 1998.

No mesmo sentido, o Observatório Nacional (ON) do Rio de Janeiro, que é nossa mais antiga instituição voltada ao universo, ampliou o seu programa de estudos nos fundamentos da **cosmologia**, inaugurou a Escola Jayme Tiomno de Cosmologia, que se aprofunda na busca de soluções para os problemas mais agudos da **astrofísica**. Atualmente o ON tem se concentrado na análise qualitativa de modelos de universo quando confrontados com os dados observacionais (ver "Desvendando o universo com grandes mapeamentos" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume).

Perspectivas

O entendimento da luz como fenômeno eletromagnético e as implicações posteriores para o entendimento das interações nucleares produziram um inegável salto científico e tecnológico para a civilização, a partir do pensamento relativístico de Einstein em 1905. Entretanto a extensão daquela ideia de incluir a gravitação em 1916 não acompanhou o mesmo salto, essencialmente por falta de dados experimentais. Mas, do ponto de vista teórico houve um enorme progresso na teoria de Einstein nos quase cem anos desde a sua inauguração.

Essa limitação quase que exclusivamente de natureza teórica mudou mais recentemente, graças à astronomia **extragaláctica** e o desenvolvimento de telescópios espaciais que permitiram aprimorar a medição de efeitos gravitacionais em escala cosmológica. Entre esses efeitos destacamos as **curvas de rotação** nas **galáxias espirais** e a **expansão acelerada** do universo, os quais não são explicados pela teoria gravitacional de Einstein. Por isso mesmo, a **cosmologia** atual tornou-se o grande laboratório da gravitação, permitindo testar teorias alternativas à teoria de Einstein.

Pelos dados mais recentes do observatório Planck, temos um total de 68,3% da chamada energia escura contribuindo para o total da energia do universo, sem explicação na teoria gravitacional de Einstein. Indo mais adiante, o entendimento da formação de estruturas no universo jovem requer uma gravitação quântica que possa interagir efetivamente com o eletromagnetismo e as forças nucleares. Novamente o observatório Planck aponta para uma contribuição de 26,8% da chamada matéria escura, restando apenas 4,9% de matéria ordinária formada por átomos, que gera o campo gravitacional descrito por Einstein.

Portanto a moderna **cosmologia** fundamentada nas observações, sugere a necessidade de uma teoria da gravitação que possa explicar esses novos fenômenos gravitacionais. Nesse sentido, o estudo da **cosmologia** passa a ter um novo sentido, assumindo papel fundamental na física de modo geral, e não

apenas astronômico. Ou seja, os problemas da **cosmologia** atual indicam que o entendimento da física local passa pelo entendimento do universo.

Com esse ponto de vista avaliamos que, após o conturbado início dos programas acadêmicos no Brasil nos anos 50 e 60, o desenvolvimento da gravitação e **cosmologia** no Brasil passa por período de crescimento. De fato, em rápida avaliação podemos concluir que a gravitação e **cosmologia** no Brasil atingiu a maturidade. Estimamos atualmente algo em torno de 130 doutores e doutorandos nessa área espalhados pelas universidades e institutos de pesquisa, realizando pesquisas teóricas e experimentais.

Outro indício mais recente encontra-se nas pesquisas sobre generalizações do princípio variacional de Einstein, as chamadas teorias *F(R)*, além das diferentes tentativas de formular teorias quânticas de gravitação partindo de princípios bem diferentes daqueles imaginados por Einstein e Newton, como a "teoria de cordas" ou mesmo teorias que dispensam o contínuo espaço-temporal, atualmente praticadas em várias instituições brasileiras. Nesse sentido, observando o que aqui acontece e comparando com outros países, notamos que a maioria dos pesquisadores brasileiros está engajada em programas de pesquisa originais e atuais, acompanhando os avanços observacionais.

Este desenvolvimento é recente e ele se deve em parte à existência de diversos orgãos de fomento federais e estaduais que são bastante ativos, permitindo a realização de múltiplas reuniões científicas anuais e ampla oferta de bolsas de estudo para a pós-graduação e o pós-doutoramento. Consideramos também de alta relevância nesse processo a participação dos institutos de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Entretanto, é necessário que se faça distinção entre as pesquisas realizadas naqueles institutos e as pesquisas realizadas nas universidades, distinção essa que nem sempre é levada em conta: como ocorre nos países mais avançados da Europa e América, as pesquisas nesses institutos são verticalizadas, dentro de uma certa programação estratégica para o desenvolvimento tecnológico do país. Às vezes essas pesquisas são encomendadas sob um contrato específico, inclusive com prazos para a conclusão. No Brasil temos pelo menos três desses institutos onde se faz pesquisa em gravitação e **cosmologia**: CBPF, INPE e ON, o que atesta o alto grau de importância atribuída àquela área por nossos estrategistas governamentais.

Por outro lado, a pesquisa acadêmica feita nas universidades é, como indica o próprio conceito de universidade, universal, irrestrita e desprovida de objetivos imediatos. Além disso, as pesquisas acadêmicas são realizadas em tempo parcial, já que a maioria dos pesquisadores está também obrigada a prestar serviço docente nas universidades por força de contrato.

Concluímos, portanto, que para promover o salto tecnológico e científico que o Brasil tanto almeja, torna-se necessário um mecanismo que permita aos institutos de pesquisa e às universidades uma interação mais efetiva, realizando acordos de cooperação em pesquisas entre os institutos e as universidades e entre universidades. De grande valor seria também o gerenciamento de programas de pós-graduação compostos por pesquisadores de diferentes instituições em um único programa integrado.

Referências

Bekenstein, J. B. (2004), Relativistic gravitation theory for the modified Newtonian dynamics paradigm, *Phys. Rev. D*, 70, 8, 083509.

Camp, Jordan B. and Cornish, Neil J. (2009), *The Status of Gravitational Wave Astronomy*, LIGO-Virgo Team, http://www.ligo.org/pdf_public/camp01.pdf.

Costa, M. Amoroso (1922), *Introdução à Teoria da Relatividade*, Rio de Janeiro: Livraria Científica Brasileira Sussekind de Mendonça.

Duhem, P. (1985), *Medieval Cosmology*: *Theories of Infinity, Place, Time, Void, and the Plurality of Worlds*, Roger Ariew (Transl.), Chicago: The University of Chicago Press.

Eisenstaedt, J. e Fabris, J. C. (2004), "Amoroso Costa e o primeiro livro brasileiro sobre a Relatividade Geral", *Rev. Bras. Ensino de Fisica*, 26, 2, 185-192.

Ellis, George; Lanza, Antonio and Miller, John, Eds. (1993): *The Renaissance of General Relativity and Cosmology*, Cambridge: Cambridge University Press.

Friedmanm, A. (1922), Über die Krümmung des Raumes, *Zeitschrift für Physik*, A10, 1, 377-386.

Gamow, G. and Schoenberg, M. (1940), The possible role of neutrinos in stellar evolution, *Phys. Rev*., 58, 1117.

_____ (1941), Neutrino theory of stellar collapse, *Phys. Rev*., 59, 539-547.

Goenner, H. F. (2010): What kind of science is cosmology?, *Annalen der Physik*, 522, 6, 389-418.

Gödel, K. (1949), An example of a new type of cosmological solution of Einstein's field equations of gravitation, *Rev. Mod. Phys.,* 21, 447-450.

Hamburguer, Amélia Império (2002), "Dois textos de Mário Schenberg. Publicação da obra científica de Mário Schenberg", *Estudos Avançados*, 16, 44, Jan./Abr., 215-218.

Hawking, S. W. and Ellis, G. R. F. (1973), *The Large Scale Structure of the Universe,* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Hawking, S. W. and Page, Don N. (1983), Thermodynamics of Black Holes in anti-de Sitter space*, Commun. Math. Phys*., 87, 577-588.

Kant, E. (2003), *Critique of Pure Reason*, 1ª tradução para o inglês do original de 1781 por J. Meilklejohn em 1900, New York: Dover.

Komatsu, E.; Smith, K. M.; Dunkley, J.; Bennett, C. L.; Gold, B.; Hinshaw, G.; Jarosik, N.; Larson, D.; Nolta, M. R.; Page, L.; Spergel, D. N.; Halpern, M.; Hill, R. S.; Kogut, A.; Limon, M.; Meyer, S. S.; Odegard, N.; Tucker, G. S.; Weiland, J. L.; Wollack, E. and Wright, E. L. (2011), Seven-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations**:** cosmological interpretation, *The Astrophysical Journal Supplement*, 192, 18-64.

Krauss, Lawrence M. and Turner, Michael S. (1995), The cosmological constant is back*, General Relativity and Gravitation*, 27, 11, 1137.

Lemaître, G. (1933), L'Univers en expansion, *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles,* A53, 51-85.

Lopes, José Leite (2004), *Uma História da Física no Brasil*, São Paulo: Editora Livraria da Física.

Lucretius Carus, Titus (2008), Ronald Melville (Transl.), Don Fowler and Peta Fowler (Eds.), *On the Nature of the Universe*, Oxford: Oxford University Press.

Maia, M. D. (2011), *Geometry of the Fundamental Interactions,* New York: Springer.

Milgrom, M. (1983), A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis, *The Astrophysical Journal*, 270, 365-370.

Milne, E. A. (1935), *Relativity, Gravitation and World Structure*, Oxford: Oxford University Press.

Minkowsky, H. (1923), Discurso na 80ª Reunião de Cientistas Naturais e Médicos Alemães, Colônia, 1908, *The Principles of Relativity.* A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity, Dover Publications.

Moraes, Abrahão de (1994), "A Astronomia no Brasil" *in* Fernando de Azevedo (Org.), *As Ciências no Brasil*, 2ª edição, 2 volumes, Rio de Janeiro: Editora UFRJ.

Padmanabhan, T. (2003), Cosmological Constant — the Weight of the Vacuum, *Physics Reports*, 380, 235-320.

Penzias, A. A. and Wilson, R. W. (1965), A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s, *The Astrophysiscal Journal,* 142, 419-421.

Planck Collaboration (2013), *Overview of Products and Scientific Results*, http://arxiv.org/abs/1303.5062 [astro-ph.CO].

Rache, Pedro (1932), *A Relatividade: e sua Applicação ao Estudo dos Phenomenos Physicos*, Belo Horizonte: Imprensa Official de Minas Geraes.

Riemann, B. (1873), On the hypothesis that lie at the foundations of Geometry, 1ª tradução do original de 1853 para o inglês por W. K. Clifford, *Nature*, 8, 114.

Robertson, H. P. (1936), Kinematics and World-Structure III, *The Astrophysical Journal*, 83, 25.

Rubin, Vera (1997), *Bright galaxies, dark matters*, Woodbury, NY: AIP Press.

Salmeron, R. (2012), *A Universidade Interrompida. Brasília 1964-1965*, edição revista, Brasília: Editora da UnB.

Schoenberg, M. (1941), Angular Momenta of Gravitational Fields, *Physical Reviews*, 52, 161-172.

Scholz, E. (1999), The Concept of Manifold, 1850-1950 *in* I. M. James (Ed.), *History of Topology*, 25-64, Amsterdam: Elsevier Science B.V.

Schönberg, M. (1958), *Quantum Theory and Geometry*, Sonderdruck aus der Max Planck Festschrift 1958, Berlin, 321.

Schönberg, M. and Chandrasekhar, S. (1942), On the Evolution of the Main-Sequence Stars, *The Astrophysical Journal*, 96, 2, 161-172.

Veblen, O. and Whitehead, J. H. C. (1931), A Set of Axioms for Differential Geometry, *Proc. Natl. Academy of Sciences*, 17, 551.

Walker, A. G. (1937): On Milne's Theory of World-Structure, *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2, 1, 90.

Weinberg, S. (1987), Anthropic Bound on the Cosmological Constant, *Phys. Rev. Lett.*, 59, 2607-2610.

_____ (1989), The cosmological constant problem, *Rev. Mod. Phys.,* 61, 1-23.

Weisberg, J. M.; Taylor, J. H. and Fowler, L. A. (1981): Gravitational waves from an orbiting pulsar, *Scientific American*, 245, 74-82.

Zel'dovich, Ya. B. and Novikov, I. D. (1983), Leslie Fishbone (Transl.), *The Structure and Evolution of the Universe,* Chicago: The University of Chicago Press.

Zwicky, F. (1933), Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln, *Helvetica Physica Acta*, 6, 110–127.

Capítulo 5

ORGANIZAÇÃO DA COMUNIDADE ASTRONÔMICA

Sociedade Astronômica Brasileira (SAB)

Roberto D. Dias da Costa (IAG/USP)

A SAB foi fundada em 1974 quando a astronomia brasileira começava a se consolidar e os primeiros programas de pós-graduação acabavam de ser criados, com o objetivo de ser a voz dos astrônomos com a sociedade e com o governo, e de organizar os eventos científicos da área. As Reuniões Anuais da SAB, além de serem os principais encontros científicos da área no Brasil, são também o foro onde os problemas da astronomia brasileira são apresentados e discutidos, e as políticas científicas e as estratégias de crescimento da área são propostas e debatidas. A SAB tem atuado na promoção do ensino e divulgação da astronomia, oferecendo formação complementar aos professores e apoiando a OBA. Outra preocupação é o incentivo aos grupos de pesquisa emergentes que têm surgido ultimamente em diversas instituições de ensino superior. Os desafios para o futuro da SAB serão o estímulo continuado pela inserção cada vez maior da astronomia brasileira no cenário internacional, a contínua implantação de novos centros para absorver os recursos humanos formados e a melhoria do ensino de astronomia em todos os níveis.

As origens da SAB

Na década de 1960 as atividades de pesquisa em astronomia no Brasil deram seus primeiros passos. Na verdade elas reiniciaram seus primeiros passos, já que no século 19 e início do século 20 haviam experimentado uma fase bastante produtiva, à época em que Emmanuel Liais e Louis Cruls dirigiram o então Imperial Observatório do Rio de Janeiro (IORJ), hoje Observatório Nacional (ON) no Rio de Janeiro (ver o Capítulo "Primeiras pesquisas em astronomia" no Volume I). Porém essa fase áurea passara. Ainda que no Rio de Janeiro o IORJ já existisse desde 1827 e, em São Paulo, o Observatório da Avenida, precursor dos serviços astronômicos oficiais e do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG), tivesse sido implantado em 1901 por José Belfort Mattos, as atividades científicas dessas instituições se limitavam ao cálculo e à publicação de efemérides, à determinação e difusão da hora legal e a algumas iniciativas isoladas de observação de fenômenos como eclipses e ocultações.

Apenas nos anos 70 foram criados os programas de pós-graduação em astronomia (ver o Capítulo "Pós-graduação em astronomia" neste Volume); em 1972 o Brasil todo contava com apenas cinco doutores em astronomia, todos formados em instituições do exterior. Porém, ao longo dos anos 60 muito foi feito. Com a iniciativa de pesquisadores como Abrahão de Moraes na Universidade de São Paulo (USP) e Luiz Muniz Barreto no ON foram dados os primeiros passos para a implantação de uma estrutura contemporânea de pesquisa em astronomia. Foram adquiridos os primeiros equipamentos modernos e começou a considerar-se de forma séria a formação de novos pesquisadores com o envio de jovens promissores para fazer pós-graduação no exterior. Também nessa época começaram as movimentações para dotar o Brasil de um observatório astronômico moderno, nos moldes de outros existentes no exterior (ver o Capítulo "O observatório de montanha" neste Volume).

Foi no cenário político conturbado do início dos anos 1970 que se iniciaram as discussões para a criação de uma sociedade científica que congregasse os astrônomos profissionais brasileiros, nos mesmos moldes da Sociedade Brasileira de Física (SBF) que já existia desde 1966. As discussões de então sobre a viabilidade e a conveniência de sua fundação devem ser vistas no calor das divisões — até mesmo políticas — daquela época: havia dentro do pequeno círculo dos astrônomos profissionais aqueles que eram entusiastas da ideia, porém outros que não, alegando que a Comissão Brasileira de Astronomia (CBA), órgão criado em 1963 pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que representava o Brasil junto

à União Astronômica Internacional[1] (IAU), já desempenhava esse papel. Os participantes destes momentos iniciais relatam intermináveis e acaloradas discussões sobre esta questão. Finalmente prevaleceu a ideia de que a comunidade astronômica necessitava sim de uma organização que fosse a sua voz junto à sociedade e ao governo, que promovesse congressos científicos e organizasse reuniões anuais para apresentação e discussão dos trabalhos de pesquisa. Essa era a posição de astrônomos como Sylvio Ferraz-Mello, Paulo Marques dos Santos, Pierre Kaufmann e sobretudo José Antônio de Freitas Pacheco, que defendera vigorosamente a ideia da criação da SAB desde o início e viria a ser seu primeiro presidente.

A Assembleia Geral na qual a SAB foi oficialmente fundada teve lugar no Instituto de Matemática e Estatística (IME) da USP, na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, em São Paulo, em 16 de abril de 1974. De acordo com a Ata de Fundação, dela fizeram parte os astrônomos José Antônio de Freitas Pacheco, Sayd José Codina-Landaberry, Pierre Kaufmann, Luiz Muniz Barreto, Sueli Maria Viegas Aldrovandi, Guy Mathez, Daniel Pequignot, Dipak Basu, Angel Luiz Ibañez, Paulo Marques dos Santos, Oscar Toshiaki Matsuura, Maria Alcina Braz, Nelson Jorge Schuch, Ricardo A. R. Palmeira, Eduardo Janot Pacheco, Rodrigo Dias Tarsia, Luis Arakaki, José Alberto Marcondes Machado, Luiz Bernardo Ferreira Clauzet, Hugo Vicente Capelato, Liliana Rizzo Piazza, Maria Helena Paes de Barros, Eugênio Scalise Junior, Ricardo Ernesto Schaal, Massae Sato, Cesar Basta, Wagner Sessin, Roberto Vieira Martins, Ronaldo Eustáquio de Souza, Carlos Alberto P. C. de Oliveira Torres, Lício da Silva, Jair Barroso Junior, Walter Junqueira Maciel, José Manuel Balthazar, Masayoshi Tsuchida, Tadashi Yokoyama, Sylvio Ferraz Mello, José Adolpho S. Campos, Ronaldo R. de Freitas Mourão, Edemundo da Rocha Vieira, Antônio Mário Magalhães, Nelson Vani Leister, Abraham Szulc, Germano Rodrigo Quast, Rodolpho Vilhena de Moraes, Paulo Benevides Soares, Waldyr M. Oliva e Paulo Mourilhe Silva. A Ata foi registrada no 4º Ofício de Registro de Títulos e Documentos da Comarca de São Paulo em 5 de novembro de 1974 e um extrato da mesma foi publicado no Diário Oficial do Estado de São Paulo em 27 de novembro do mesmo ano (Figura 1).

---

[1] A União Astronômica Internacional (IAU na sigla em inglês) fundada em 1919, congrega os astrônomos profissionais em nível mundial e é a responsável por promover e normatizar todos os aspectos da ciência da astronomia através da colaboração internacional, além de organizar os eventos científicos internacionais mais importantes da área que são os simpósios da IAU, tipicamente de cinco a seis por ano, as reuniões regionais que são trienais e a Assembleia Geral, também trienal. A IAU tem estados-membros, entre os quais o Brasil tem status de "país fundador" embora tenha sido desligado devido à falta de pagamento da cota nacional, mas readmitido em 1961. A IAU tem também membros individuais de cada país associado. O Brasil conta atualmente com cerca de 190 membros individuais registrados.

SOCIEDADE ASTRONÔMICA BRASILEIRA

Extrato para Reg. no Cartorio Medeiros

Conforme ata de fundação de 16 de abril de 1974, ficou constituida uma sociedade denominada: "Sociedade Astronômica Brasileira", com sede e foro nesta Capital, sem fins lucrativos, com a finalidade precipua de congregar os astrônomos do Brasil, zelar pela liberdade do ensino e pesquisa, e pelos interesses e direitos dos astrônomosc. Será dirigida por uma Diretoria composta de cinco membros, cabendo ao Presidente, representá-la em Juizo e fora dele. Os socios não respondem nem mesmo subsidiariamente pelas obrigações sociais. A sociedade somente poderá ser dissolvida por deliberação da maioria de socios, em assembleia geral. No caso de sua extinção, a mesma assembleia decidirá sobre o destino do seu patrimonio. Os estatutos somente poderão ser alterados ou reformados, em assembleia geral e aprovada pela maioria absoluta de socios quites.

(1043 — Cr$ 72,00) (27)

Figura 1. Extrato da Ata de Fundação da SAB
(Diário Oficial do Estado de São Paulo de 27/11/74)

É interessante notar-se que a vocação da SAB como voz dos astrônomos profissionais brasileiros está já no Artigo 2 dos seus Estatutos, aprovados na mesma Assembleia Geral de fundação, que diz:

> São finalidades da SAB: congregar os astrônomos do Brasil; zelar pela liberdade de ensino e pesquisa; zelar pelos interesses e direitos dos astrônomos; zelar pelo prestígio da ciência do País; estimular as pesquisas e o ensino de Astronomia no País; manter contato com institutos e sociedades correlatas no País e no exterior; promover reuniões científicas, congressos especializados, cursos e conferências;

editar um boletim informativo sobre as atividades da SAB e assuntos gerais relacionados com a Astronomia.

Os demais artigos do Estatuto regulam todo o funcionamento da Sociedade e foram recentemente adaptados à nova legislação brasileira. O Estatuto pode ser consultado no endereço eletrônico da SAB: *www.sab-astro.org.br*.

Na assembleia de fundação foi eleita a Diretoria Provisória que viria a se encarregar de todos os aspectos legais e formalidades de criação da Sociedade. Esta Diretoria era constituída por:

Presidente: José Antônio de Freitas Pacheco
Vice-Presidente: Sylvio Ferraz Mello
Secretário-Geral: Sayd José Codina-Landaberry
Secretário: Lício da Silva
Tesoureiro: Edemundo da Rocha Vieira

Funcionamento cotidiano. Reuniões anuais

A secretaria da SAB funcionou junto ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da USP, localizado no *campus* do Butantã em São Paulo, SP, desde a fundação da Sociedade até 2013, quando parte da mesma foi transferida para a Universidade Presbiteriana Mackenzie, também em São Paulo. Continuam no IAG seu banco de dados, seus materiais e equipamentos e seu servidor de informática. A secretaria cuida de toda a relação da Sociedade com os associados tais como inscrições de novos candidatos, atualizações do cadastro geral de membros, atividades de tesouraria, bem como a organização das reuniões anuais. Devido à dimensão dessas reuniões, sua organização demanda um expressivo esforço em termos de recursos humanos e materiais, trabalho este que é centralizado e coordenado pela secretaria da SAB. De 1984 a 2013 a secretária que se encarregou de todo o funcionamento cotidiano da Sociedade foi a Sra. Marina Freitas que, pelo tempo e diligência com que desempenhou suas funções, tornou-se conhecida de toda a comunidade astronômica brasileira.

Desde a sua fundação em 1974 a SAB organiza sua Reunião Anual que congrega todos os associados. Essa reunião constitui a maior atividade organizada pela Sociedade. É uma oportunidade única para os membros da Sociedade divulgarem e discutirem seus trabalhos diante de uma audiência multidiscipli-

nar, que cobre todas as áreas de pesquisa em astronomia no Brasil, bem como para assistir conferências convidadas ministradas por especialistas em distintas áreas de pesquisa do Brasil e do exterior.

Até 1987 as reuniões anuais da SAB integravam as reuniões anuais da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), porém a partir de 1988 elas passaram a ser organizadas de forma independente. Isto permitiu à SAB organizar seu próprio formato sem submeter-se à estrutura da SBPC que, por sua própria natureza, organiza reuniões bem maiores e mais complexas.

Devido às dimensões continentais do Brasil, a reunião anual também é a melhor oportunidade que os astrônomos têm para conhecer colegas de distintas regiões do país, trocar experiências e estabelecer colaborações (Figura 2). Especialmente para os astrônomos mais jovens, é também uma excelente oportunidade para conhecer e interagir com colegas mais experientes.

Figura 2. Foto da Reunião Anual de 2011 em Águas de Lindóia, SP (Foto: Júlio C. Klafke)

As reuniões normalmente têm duração de quatro a cinco dias e são realizadas em hotéis ou centros de convenções. Elas são organizadas de forma a mesclar conferências convidadas com comunicações de trabalhos em forma oral e de painéis, dando a oportunidade para todos os pesquisadores apresentarem seus resultados. A fim de garantir a qualidade dos trabalhos apresentados, no momento da inscrição cada participante submete um resumo do trabalho que vai apresentar; esses resumos são examinados por um comitê de revisores composto por especialistas de todas as áreas. Os resumos

podem ser aprovados na forma original, aprovados condicionalmente com solicitação de modificações ou mesmo recusados.

As conferências convidadas tipicamente têm de 45 a 60 minutos e as comunicações orais de 15 minutos são organizadas em sessões paralelas. Os trabalhos a ser apresentados nessas sessões paralelas são escolhidos entre os trabalhos inscritos para apresentação oral, usando-se como critério de seleção as melhores avaliações feitas pelo comitê de avaliação dos resumos. Em todos os dias da Reunião Anual há sessões de apresentação dos trabalhos na forma de painel, de modo que ao fim da reunião cada participante terá tido a oportunidade de apresentar seus resultados. Esta fórmula tem sido aperfeiçoada ao longo dos anos e mostrou ser a mais eficiente, pois, ao mesmo tempo que dá espaço na reunião para conferências sobre temas de impacto ministradas por especialistas do Brasil ou do exterior, também dá espaço para os pesquisadores iniciantes, em sua maioria estudantes de pós-graduação, que têm nas reuniões anuais suas primeiras oportunidades de exercitarem a prática de apresentar os resultados de pesquisa para seus pares.

Em termos numéricos, uma Reunião Anual típica tem atualmente cerca de 10 a 12 conferências convidadas, 60 a 70 comunicações orais e em torno de 200 apresentações na forma de painéis. Além disso, são também realizadas mesas-redondas sobre diversos temas tais como instrumentação astronômica, ensino de astronomia ou sobre os observatórios astronômicos em uso pelos astrônomos brasileiros.

As sessões de comunicações, tanto orais quanto em painéis, são divididas por áreas e as apresentações são organizadas de forma que os participantes tenham a oportunidade de assistir ao maior número possível de apresentações que lhes interesse. As áreas de pesquisa são, em ordem alfabética: **astrobiologia**, **astrometria**, astronomia estelar, astronomia **extragaláctica**, **cosmologia**, ensino e história da astronomia, física solar, **Galáxia** e Nuvens de Magalhães, instrumentação, **mecânica celeste**, **meio interestelar**, planetas extrassolares, **plasmas** e **altas energias**, relatividade e gravitação, e sistema solar.

Associados. Comunicação

A Ata de Fundação da SAB em 1974 lista 48 presentes. Os mesmos viriam a ser os sócios-fundadores da Sociedade com alguns outros que ingressaram no mesmo ano. Passadas quase quatro décadas, a SAB conta hoje com aproximadamente 750 associados, sendo que cerca de 650 deles são ativos e participantes nos eventos da mesma. Existem na SAB três categorias de associados

individuais: os Efetivos, que devem ser pesquisadores e técnicos na área de astronomia ou áreas correlatas com experiência no mínimo equivalente àquela de um mestre em ciências; os Aspirantes que são estudantes de pós-graduação em cursos relacionados à astronomia; e finalmente os Honorários, pessoas que tenham dado contribuição excepcional à astronomia ou ao desenvolvimento das ciências no Brasil. Além dos associados individuais, existem também os associados institucionais, instituições ligadas à astronomia ou à cultura em geral que se disponham a contribuir para as atividades da SAB mediante anuidades fixas, contribuições voluntárias e doações. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) é um associado institucional da SAB.

Levantamento dos currículos dos associados em atividade revela que mais de 300 são portadores do título de doutor, demonstrando a expressiva taxa de crescimento da formação acadêmica na área de astronomia no Brasil nas últimas décadas. E o número também grande de aspirantes, cerca de metade do total, mostra o potencial de crescimento da área.

Os associados estão distribuídos por quase todo o Brasil. Uma busca na lista geral de membros mostra que em sua maioria eles trabalham em universidades federais ou estaduais, seguidos por afiliados aos institutos de pesquisa do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) na área de astronomia (ON, LNA, INPE, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, CBPF, e Museu de Astronomia e Ciências Afins, MAST), a universidades particulares, a planetários e também a instituições de pesquisa do exterior. Em termos geográficos, a maioria dos associados está na região sudeste, seguida em ordem decrescente de número de associados pelas regiões sul, nordeste, centro-oeste e norte (Tabela 1).

Região	Associados por estados	Total
Sudeste	SP (314), RJ (136), MG (70)	530
Sul	RS (57), SC (14), PR (12)	83
Nordeste	RN (39), BA (19), PB (6), PE (5), PI (2), SE (1)	72
Centro-Oeste	GO (5), DF (4), MT (2)	11
Norte	RR (1)	1
Exterior		43

Tabela 1. Distribuição dos associados da SAB por região geográfica (dados de abril de 2012). Total: 740 associados

A comunicação da Sociedade com seus membros é feita através do portal na *internet* (*www.sab-astro.org.br*) (Figura 3), bem como através do Boletim da SAB, uma publicação que mescla comunicações científicas com informações de interesse geral dos associados.

Figura 3. Portal da SAB

O portal da SAB abriga todas as informações de interesse geral, tais como o quadro completo de associados, a lista das comissões permanentes com seus membros, informações sobre as reuniões anuais com álbum de fotos de reuniões passadas, além de um histórico e dos estatutos da Sociedade. Links para outros meios de comunicação via *internet* também são disponibilizados no portal. São eles o Fórum e o Blog da SAB, aos quais todos os associados têm acesso e nos quais todos podem se manifestar sobre assuntos de interesse da Sociedade. Todo o processo de inscrição e submissão de trabalhos para a Reunião Anual, bem como o processo de revisão dos resumos submetidos, também é feito via *internet* através do portal da SAB. Acompanhando a evolução dos meios de comunicação, o Boletim da SAB na versão impressa deixou de circular em 2010 e atualmente o Boletim Eletrônico, que circula semanalmente via *internet*, é o principal canal de comunicação periódica com os associados.

SAB e política científica

Ao longo de sua história a SAB sempre procurou canalizar as preocupações da comunidade astronômica brasileira quanto ao incentivo à pesquisa científica em astronomia e sua difusão em distintos centros de pesquisa. As reuniões anuais da SAB sempre foram e continuam a ser o fórum onde tais preocupa-

ções são apresentadas e discutidas, bem como novos projetos e demandas da comunidade. As reuniões anuais são sempre organizadas de forma a permitir debates de todos os temas de interesse, seja na forma de reuniões plenárias, seja na forma de mesas-redondas ou sessões temáticas onde distintos aspectos de um mesmo tema ou projeto são apresentados.

Com a entrada em operação em 1980 do telescópio de 1,60 m do então Observatório Astrofísico Brasileiro (OAB), hoje Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA/MCTI), a astronomia **óptica** no Brasil passou a viver uma fase de rápido crescimento e, com ele, aumentaram as necessidades e demandas da comunidade científica. Desde então a SAB tem participado ativamente deste crescimento, como sempre propiciando um fórum de debates para a comunidade. A partir do início dos anos 1990, com a entrada em operação dos telescópios da classe de 8-10 m de diâmetro em outros países, tornou-se claro para a comunidade científica brasileira que o telescópio de 1,60 m em pouco tempo deixaria de ser competitivo em diversos setores de pesquisa, tais como astronomia **extragaláctica** e **cosmologia** observacional. Iniciaram-se então nas reuniões anuais as discussões sobre novo passo na astronomia **óptica**, discussões essas que tiveram ativa participação do LNA. Destas iniciativas surgiu o projeto do Telescópio SOAR (*SOuthern Astrophysical Research*), uma colaboração entre astrônomos brasileiros e norte-americanos que se concretizou com o projeto e construção do mesmo, que foi instalado no Cerro Pachón, Chile. O telescópio com 4,10 m de diâmetro e dotado de tecnologia de ponta em todos os aspectos de seu projeto e construção, foi inaugurado em abril de 2004. Ver "Participação do Brasil em consórcios internacionais" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume.

Nos últimos anos tiveram grande espaço na SAB os debates em torno da adesão do Brasil ao *European Southern Observatory* (ESO), assinada em 2010 pelo governo federal e que suscitou amplos debates no seio da comunidade. O ESO é uma organização que opera atualmente três grandes observatórios, todos no Chile: La Silla, o mais antigo, localizado próximo a La Serena e que conta atualmente com 6 telescópios, todos com instrumentação de ponta; Cerro Paranal, localizado próximo a Antofagasta que abriga o VLT (*Very Large Telescope*), um conjunto de quatro telescópios cada um com 8,20 m de diâmetro. O mesmo sítio abriga também dois telescópios de grande campo destinados a levantamentos do céu em larga escala, o VST (*VLT Survey Telescope*) com 2,50 m de diâmetro que opera na faixa da luz visível e o VISTA (*Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy*) com 4,10 m que opera no infravermelho; e o ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*), um conjunto de 66 antenas de 12 m cada que, operando em conjunto, compõe o maior radiotelescópio do mundo.

Além desses observatórios o ESO está finalizando o projeto do E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), um telescópio de 39 m de diâmetro que será, de longe, o maior instrumento de seu gênero. Caso o Congresso Nacional ratifique esta adesão, o Brasil terá acesso a todos estes instrumentos. Para propiciar aos associados uma visão ampla da questão, na Reunião Anual de 2011 foi organizada uma "Sessão ESO" que contou com o próprio diretor-geral da organização, bem como especialistas de diversas áreas da mesma. Nessa sessão distintos aspectos da organização foram apresentados e os associados da SAB tiveram a oportunidade de debater as vantagens e desvantagens dessa adesão.

Outro exemplo do comprometimento da SAB com a vanguarda da astronomia no Brasil foi o conjunto de conferências convidadas voltadas para o tema dos observatórios virtuais que teve lugar na Reunião Anual de 2012. Foram convidados especialistas da *International Virtual Observatory Alliance* (IVOA), organização com o objetivo de facilitar e coordenar o desenvolvimento e instalação de ferramentas, sistemas e estruturas organizacionais que possibilitem a utilização de bases de dados internacionais integradas e interoperáveis, os chamados observatórios virtuais. Esta é uma abordagem totalmente inovadora sobre a maneira como dados observacionais em astronomia são coletados, armazenados e distribuídos, quebrando o antigo paradigma de que, para coletar dados observacionais para um projeto específico, um astrônomo deve submeter projeto de pesquisa a um observatório, esperar a aprovação e, em caso de sucesso, usar determinado telescópio por tempo pré-definido e coletar dados sobre um conjunto pré-definido de alvos. Um observatório virtual consiste de um conjunto de bancos de dados interligados com ferramentas de acesso e pesquisa comuns que permitem a um astrônomo fazer levantamento abrangente de tudo o que existe sobre uma lista de alvos. Num futuro muito próximo a astronomia observacional fará extenso uso dos resultados obtidos por grandes levantamentos automáticos que produzirão muito mais dados do que um astrônomo poderia coletar individualmente. É portanto fundamental que a comunidade brasileira esteja preparada e capacitada para o uso de tais ferramentas e a SAB está ciente dessa necessidade. Ver "Desvendando o universo com grandes mapeamentos" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume.

A SAB sempre teve papel atuante em momentos de crises de financiamento à ciência, como os que ocorreram principalmente durante os anos 1980-90. Esta atuação foi através de convites a representantes dos órgãos federais de financiamento como CNPq e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) para participar das reuniões anuais, bem com através

de manifestações da diretoria. A atuação da SAB procurou sempre se pautar pela preocupação em demonstrar a relevância da astronomia para o desenvolvimento das ciências, para a formação de pessoal qualificado e pelo seu papel no estímulo ao desenvolvimento tecnológico nacional em diversas áreas nas quais o Brasil tem reconhecida carência de pessoal qualificado, tais como óptica e mecânica de precisão, sistemas de controle e processamento numérico de alto desempenho.

Cabe à SAB indicar os membros da área de astronomia para os comitês assessores dos órgãos de fomento como CNPq, CAPES e Financiadora de Estudos e Projetos, Agência Brasileira de Inovação a partir de 1914 (FINEP). São esses comitês que julgam os pedidos de auxílios e bolsas para a área. A SAB indica também os membros da CBA, que são os representantes do Brasil na IAU; eles têm mandato de três anos e após a indicação são nomeados para o cargo pela Presidência do CNPq. Também coube à SAB indicar representantes para a Comissão Nacional Permanente de Astronomia, órgão criado pelo CNPq em 2010 com o objetivo de criar uma política de Estado de longo prazo para a área, alinhada aos objetivos estratégicos de desenvolvimento do país e garantindo a continuidade do bem-sucedido esforço feito nas últimas décadas. Ver o Capítulo "Financiamento da astronomia" neste Volume.

Grupos emergentes

A SAB tem desempenhado papel muito importante no estímulo à implantação de novos núcleos de pesquisa em astronomia. A astronomia brasileira ainda é jovem quando comparada à de outros países, mas vem crescendo de forma rápida e contínua. Os primeiros programas de pós-graduação nesta área foram criados na década de 70, e de lá pra cá muitos centros se consolidaram, porém as maiores instituições de pesquisa já estão saturadas ou com crescimento muito lento. Por outro lado, a grande maioria das universidades no país não possui nenhum professor de astronomia. É imperiosa, portanto, a necessidade de estimular o surgimento de novos centros de pesquisa na área e a SAB tem desempenhado papel importante nesse esforço, atuando como o pólo de reunião e discussão dos jovens profissionais da área, muitos dos quais dispostos a criar centros de pesquisa. Felizmente, nos últimos anos estes esforços frutificaram e o número de centros emergentes em astronomia deu um salto significativo. Novas pós-graduações em astronomia e **astrofísica** vêm sendo aprovadas pela CAPES, e pós-graduações em física já existentes vêm criando linhas de pesquisa da área de astronomia. Grupos emergentes vêm se formando inclusive em centros onde não existem programas de pós-graduação.

É natural que esses novos centros tenham dificuldades para se desenvolver quando comparados aos centros já estabelecidos. Entre as maiores dificuldades pode-se destacar aquela para a captação de recursos ou para estabelecer colaborações, bem como para captar alunos interessados na área. Para que a área de astronomia cresça de forma global e tão homogênea quanto possível em todo o território nacional é preciso incentivar o crescimento destes centros e a SAB tem atuado vigorosamente neste sentido. Iniciativas de várias agências de financiamento têm também contribuído, e muito, para que parte dessas dificuldades sejam minimizadas. Para centralizar e organizar as atividades de fomento a estes novos núcleos, a SAB criou em 2012 a Comissão de Centros Emergentes, que tem como objetivo coordenar as atividades de estímulo à implantação e consolidação destes novos centros de pesquisa em astronomia.

SAB e ensino de astronomia

A SAB sempre foi consciente de seu papel como fomentadora do ensino de astronomia no Brasil. Nas reuniões anuais da Sociedade a área de ensino de astronomia tem um espaço importante e nos últimos anos tornou-se uma das áreas com mais trabalhos submetidos, cerca de 60 a 70 por ano. Tais trabalhos consistem tipicamente no desenvolvimento de recursos didáticos, em análises de currículos e programas, em programas de educação não-formal e de formação de professores. São trabalhos voltados para o ensino fundamental, médio e superior, bem como para o público não-escolar. Assim sendo, as reuniões anuais da SAB tornaram-se um dos foros mais importantes para as discussões sobre o ensino de astronomia no Brasil. Uma das comissões permanentes da SAB é a COMED, Comissão de Ensino e Divulgação que tem por objetivo coordenar as atividades ligadas ao ensino e à divulgação da astronomia.

Faz parte de cada Reunião Anual a organização em paralelo do chamado Minicurso de Astronomia, um curso intensivo para professores do ensino médio e fundamental. Como as reuniões anuais normalmente são realizadas em lugares diferentes, a cada ano é feita campanha com as instituições de ensino médio e fundamental da região onde a reunião será realizada, convidando os professores interessados a se inscreverem no minicurso. Esta iniciativa vem sendo realizada a cada ano desde 1995 e encontra regularmente grande aceitação entre os professores do ensino médio e fundamental. Por seu potencial de multiplicação dos conhecimentos transmitidos, este projeto é muito importante e vem sendo aperfeiçoado a cada ano. Nestes cursos predominam as palestras e aulas ministradas por especialistas em diversas

áreas, todos eles cientistas que estão participando da Reunião Anual. São também executadas oficinas com recursos didáticos e metodologias para o ensino de vários conteúdos. Mais recentemente tem sido estimulada uma atuação mais ativa dos participantes por meio da troca de relatos e experiências de suas práticas pedagógicas. A cada reunião anual os minicursos de astronomia integram também atividades desenvolvidas com a comunidade do local de sua realização que consistem em palestras públicas sobre temas atuais em astronomia, sessões de observação do céu noturno, exposições e sessões de planetário onde isso é possível. Ver o Capítulo "Astronomia na educação básica" no Volume I e o Capítulo "Divulgação e educação não formal na astronomia" neste Volume.

Outra iniciativa importante da SAB na área de ensino, e também com imenso potencial de impacto por atingir parte expressiva da população estudantil do Brasil, em particular os estudantes do ensino fundamental, foi a atuação com as editoras e autores de livros didáticos com o objetivo de apontar e reduzir os erros existentes em conceitos ligados à astronomia nos livros didáticos usados pelos alunos. É no ensino fundamental que os conteúdos de astronomia são ministrados e é portanto neste segmento que deve ser feita uma atuação mais intensa. Estas iniciativas ocuparam diversos membros da SAB, em especial aqueles profissionais mais dedicados à área de ensino de astronomia, durante os anos 1990. Nessa época foram feitos amplos levantamentos que apontaram a existência de erros conceituais graves em alguns livros, bem como de conteúdos deficientes e de baixa qualidade em muitos outros. A divulgação destes resultados e o contato com as editoras e autores envolvidos auxiliaram a minimizar tais problemas.

Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA)

No fim dos anos 1990 um grupo de associados da SAB dispôs-se a organizar pela primeira vez no Brasil uma disputa envolvendo temas de astronomia para estudantes do ensino médio e fundamental vindos de instituições públicas ou privadas, nos moldes de Olimpíadas de Ciências que já ocorriam em outros países e que têm o apoio da UNESCO. A olimpíada tem como objetivo despertar a curiosidade científica dos jovens, tornando-se assim um recurso pedagógico complementar para o ensino de ciências e ainda revelando talentos precoces na área.

A primeira OBA, organizada em caráter experimental, ocorreu em 22 de agosto de 1998 e envolveu algumas centenas de alunos. Os cinco melhores classificados participaram como representantes do Brasil na III Olimpíada Internacional de Astronomia (III IAO), realizada na Rússia em outubro do mesmo ano, onde um estudante brasileiro obteve medalha de bronze. Já na segunda, organizada no ano seguinte e, desta vez, sob a responsabilidade da SAB, houve a participação de aproximadamente 16 mil alunos. Ao longo dos anos a OBA cresceu de modo exponencial e tornou-se uma das mais bem sucedidas iniciativas do gênero. Atualmente a OBA, que é organizada anualmente, envolve cerca de um milhão de alunos e dezenas de milhares de professores que representam todos os estados da Federação. O evento conta com apoio dos ministérios da Educação (MEC) e da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), além de instituições públicas e privadas. Ela é realizada pela SAB e pela Agência Espacial Brasileira (AEB) e tem se revelado excelente forma de interação entre os professores responsáveis pelo ensino de ciências e os astrônomos e engenheiros aeroespaciais. O evento tornou-se poderoso veículo pedagógico para ensinar astronomia e conceitos básicos das ciências aeroespaciais. Na SAB existe a Comissão da OBA, que faz a ligação entre a comunidade astronômica e todos os eventos da olimpíada em si. A OBA cresceu tanto desde o seu nascimento que mereceu o Capítulo "Olimpíadas de astronomia" neste Volume.

Conclusão

Quando a SAB nasceu em 1974 a astronomia brasileira estava em uma fase quase embrionária, o número de doutores na área era menor que uma dezena, os primeiros programas de pós-graduação estavam surgindo e o acesso a recursos observacionais era muito limitado. Esta época ainda está relativamente próxima, muitos de seus protagonistas são ainda hoje pesquisadores ativos em diversas instituições do Brasil. Paradoxalmente, pode-se dizer que a época da fundação da Sociedade está bem distante em vista das enormes mudanças vividas pela área. Hoje, passadas quase quatro décadas, o número de doutores na área já passa dos 300, existem programas de pós-graduação de norte a sul do Brasil e os astrônomos brasileiros têm acesso aos mais modernos recursos observacionais em razão da inserção cada vez maior da astronomia brasileira no cenário internacional.

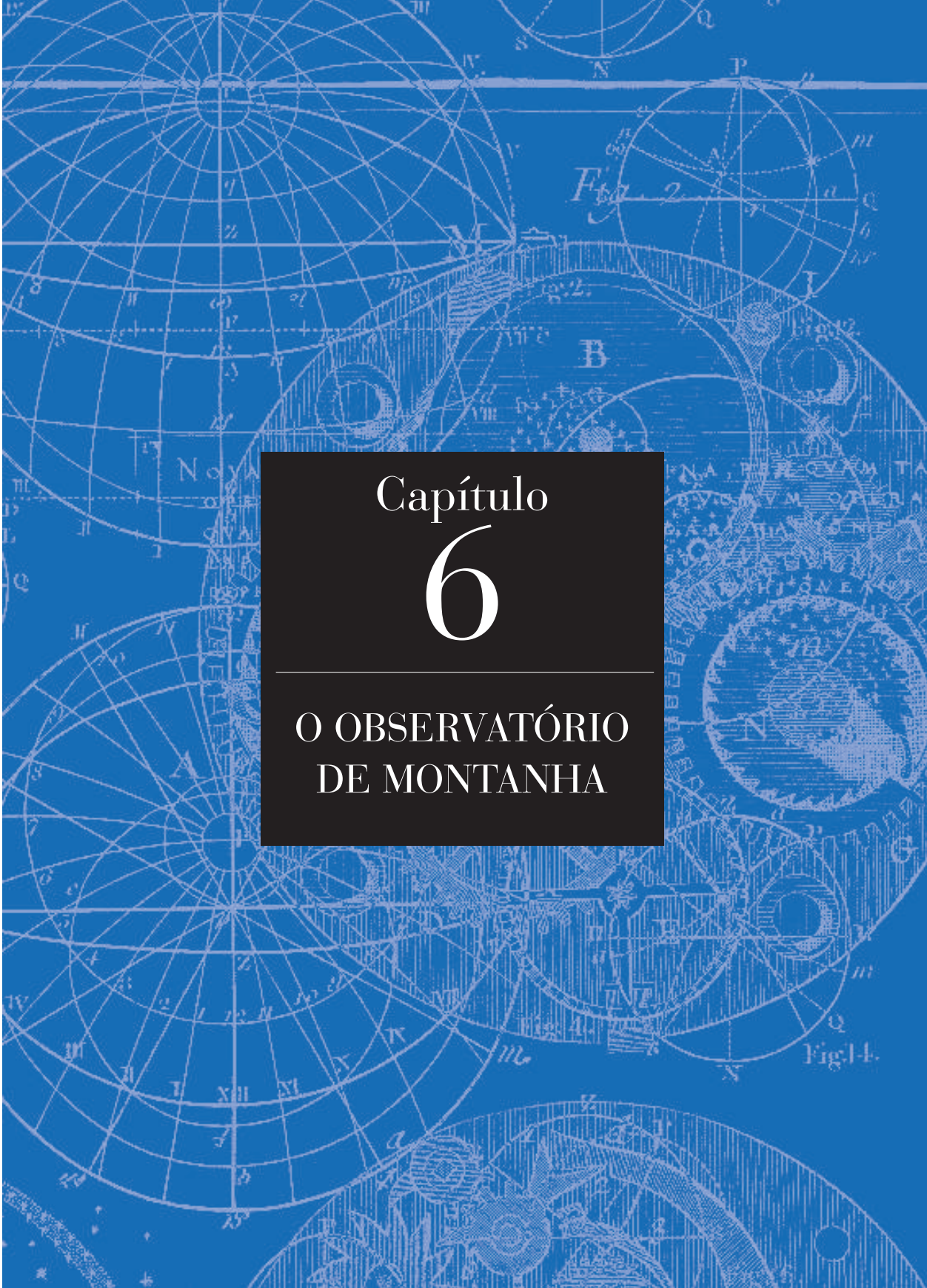
Muito foi feito ao longo da história da SAB. Seu papel como foro de discussões em todas as áreas de pesquisa em astronomia, bem como no campo das políticas científicas e da educação, foi e continua a ser fundamental para o desenvolvimento científico. Os desafios vividos pela astronomia brasileira

ao longo deste período foram numerosos e suscitaram longos debates entre os associados da SAB. Entre eles deve-se destacar a necessidade de ampliar a formação de recursos humanos com a criação de programas de pós-graduação em astronomia e a criação e consolidação de novos centros de pesquisa em astronomia em todo o território nacional, que são preocupações da SAB desde sua fundação. Outros desafios importantes foram a implantação e consolidação do então OAB, hoje LNA, nos anos 70 e 80, a construção de um telescópio brasileiro no Chile, o SOAR, nos anos 1990 e 2000 (ver o Capítulo "Desenvolvimento de instrumentação" neste Volume), a adesão do Brasil a telescópios internacionais como o consórcio Gemini e o CFHT (*Canada-France-Hawaii Telescope*) nos anos 2000 e, nos últimos anos, a participação do Brasil em grandes consórcios internacionais tais como o ESO.

Para o futuro, outros grandes desafios esperam a SAB. Sendo o foro principal onde são discutidas e de onde saem as propostas de solução para as questões-chave da astronomia brasileira, a SAB vê com entusiasmo o crescimento expressivo da astronomia no Brasil, com a formação de grande número de profissionais qualificados. Esta realidade impõe a necessidade de assegurar-se a fixação destes profissionais com a criação de novos centros e grupos de pesquisa. Da mesma forma, é preciso ampliar continuamente o acesso dos astrônomos brasileiros a recursos observacionais de ponta, tanto em astronomia **óptica** como em **radioastronomia** (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume) e em astronomia de **altas energias** (ver o Capítulo "Astronomia espacial" neste Volume). Esta iniciativa leva também à necessidade da consolidação do desenvolvimento instrumental, com a implantação de laboratórios para o projeto e construção da instrumentação astronômica competitiva. Além de ser extremamente útil para a formação de recursos humanos altamente qualificados, tal desenvolvimento é uma contrapartida usual nos observatórios internacionais em razão da participação do Brasil.

A elevação dos padrões de qualidade da educação no Brasil é uma necessidade fundamental para o desenvolvimento do país. Esta é uma preocupação de toda a sociedade e também da SAB. Iniciativas como a OBA, a avaliação dos conteúdos de astronomia em livros didáticos e a promoção de cursos para professores do ensino médio e fundamental têm como objetivo popularizar o ensino de astronomia, um veículo com grande potencial para o ensino de diversos conceitos de matemática e física, e precisam ser continuamente ampliadas.

Uma palavra deve ser também dita sobre o papel da SAB para garantir a igualdade de gêneros na astronomia brasileira. Esta sempre foi uma preocupação da Sociedade, que continuamente buscou estimular e ampliar a presença feminina em todas as suas atividades. A discussão do papel da mulher na astronomia brasileira está detalhada no Capítulo "Questão do gênero" neste Volume.



Capítulo 6

O OBSERVATÓRIO DE MONTANHA

O Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA)

Carlos Alberto de Oliveira Torres (LNA/MCTI)

Christina Helena da Motta Barboza (MAST/MCTI)

Ainda na década de 30 do século 20 o Observatório Nacional projetou fazer um "observatório de montanha". Nos anos 60, Luiz Muniz Barreto retomou o projeto com o apoio de Abrahão de Moraes da USP, designado Observatório Astrofísico Brasileiro (OAB). Iniciou-se, então, a escolha de sítio com auxílio, sobretudo, do ITA e da UFMG. A escolha recaiu no Pico dos Dias, em Brazópolis, MG. Em 1972, com recursos da FINEP, adquiriu-se um telescópio de 1,6 m que foi instalado em 1980. Divergências sobre a condução do OAB levaram à autonomia em 1985, com o nome de Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), o que foi efetivado em 1989. O LNA passou a gerenciar projetos internacionais de interesse da comunidade, como os dos telescópios Gemini, SOAR e CFHT, e a desenvolver instrumentação astronômica.

A luta por um "observatório de montanha"

As origens do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) remontam ao fim da década de 1930, quando Domingos Fernandes da Costa (1882-1956), astrônomo do Observatório Nacional (ON), elaborou proposta visando à construção de um observatório na Serra da Bocaina, na divisa entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo. A existência dessa instalação como um "anexo" ao edifício do ON, então situado em região central do Rio de Janeiro, foi prevista no novo regimento dado à instituição (Decreto n. 6.362, de 1/10/1940), e o principal equipamento científico, um telescópio de 1,60 m, escolhido por Domingos da Costa, chegou a ser encomendado. A eclosão da II Guerra Mundial fez com que esse projeto fosse abandonado (ver "O desenvolvimento da astrofísica no Brasil" no Capítulo "Astrofísica" no Volume I).

Todavia, a ideia de construir um observatório de montanha no Brasil permaneceu viva, e seria retomada em contexto mais favorável, graças à criação, em 1951, do CNPq (na época, Conselho Nacional de Pesquisas, hoje Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). O novo órgão tinha como missão promover a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico em todas as áreas do conhecimento. De fato, no campo da astronomia, não apenas incentivou a formação e especialização de profissionais, através da concessão de bolsas de estudo, como aprovou a refiliação do Brasil à União Astronômica Internacional (IAU), formalizada durante a Assembleia Geral de 1961, realizada em Berkeley, CA (ver a seção "Volta à IAU ..." em "O Instituto Astronômico e Geofísico da USP" no Capítulo "Chegada da astronomia oficial a São Paulo", no Volume I).

Segundo o relato de Luiz Muniz Barreto (1925-2006), contemporâneo de Domingos da Costa e na época vice-diretor do ON, foi justamente nessa ocasião, durante a 11ª Assembleia Geral da IAU, em visita aos observatórios de Lick, Monte Wilson e Palomar, também localizados na Califórnia, que voltou a ganhar corpo o projeto de construir um observatório de montanha no Brasil, destinado à **astrofísica**. Aquela excursão ficou marcada na sua memória pelo compromisso estabelecido com Abrahão de Moraes, então diretor do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP), visando atingir as três grandes etapas tidas como necessárias à execução do ambicioso projeto; a saber: a capacitação dos astrônomos brasileiros em **astrofísica**, a escolha do sítio adequado para erguer o observatório, e dos instrumentos a serem adquiridos.

Na verdade, o projeto de Muniz Barreto e Abrahão de Moraes ia além da construção de um observatório de montanha, e pressupunha uma revitalização

do campo da astronomia no Brasil, a qual deveria dar-se sobretudo através da consolidação da **astrofísica**, uma área de pesquisas até então ainda incipiente no país. Em dezembro de 1963, o chamado "Plano de Desenvolvimento da Astronomia no Brasil" foi apresentado ao CNPq por Abrahão de Moraes, prevendo a construção do novo observatório, a capacitação dos astrônomos, e a criação de uma comissão que coordenasse os esforços dali por diante. Moraes aproveitou a oportunidade para pedir o auxílio do CNPq no financiamento da vinda ao Brasil dos astrônomos franceses Jean Delhaye (1921-2001), Roger Cayrel (1925) e Jean Rösch (1915-1999), na ocasião, respectivamente, diretor do Observatório de Besançon, chefe da Seção de Astrofísica do Observatório de Paris, e diretor do Observatório de Pic du Midi, a fim de que os três colaborassem particularmente na escolha do sítio para a instalação do observatório.

A Comissão Brasileira de Astronomia (CBA), que tinha como atribuições tanto a coordenação do "Plano de Desenvolvimento da Astronomia" quanto a representação do Brasil junto à IAU, foi formada após intensas negociações. Seus membros eram: Moraes, Muniz Barreto, Lélio Gama (1892-1981), diretor do ON e membro do Conselho Deliberativo do CNPq, e Fernando de Mendonça, diretor-científico do Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (GOCNAE, ou CNAE, como posteriormente foi denominado, até dar origem ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE).

Até o início da década de 1960, o único curso para formação de astrônomos no Brasil era oferecido pela Universidade do Brasil (UB), (atual Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ), mas este limitava-se à graduação e privilegiava o ensino da **astrometria** e da **mecânica celeste** (ver o Capítulo "Ensino superior de astronomia" no Volume I). Assim, boa parte da primeira geração de brasileiros que buscou especializar-se em astronomia e **astrofísica** partiu para o exterior, a fim de realizar cursos de doutorado. Na sua grande maioria, eram egressos do curso de graduação em física do IF/USP, como Giorgio Oscare Giacaglia, Sylvio Ferraz-Mello, José Antônio de Freitas Pacheco, Licio da Silva e Sueli Maria Viegas, mas o ON também enviou um de seus jovens astrônomos, Ronaldo Rogério de Freitas Mourão.

Já para os que ficaram no Brasil, coube inicialmente ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em São José dos Campos, SP, o papel de capacitar os novos astrônomos, a despeito de tratar-se de instituição voltada ao ensino da engenharia. Desde o fim de 1962 o ITA contava com um telescópio de 52 cm, construído por Abraham Szulc com o auxílio de alguns estudantes. Um deles, Germano Rodrigo Quast, formado em 1966, se interessou pelo instrumento e iniciou pequenos projetos. Quando Ferraz-Mello voltou ao Brasil em 1967, após a conclusão do doutorado, atraiu outros estudantes para a **astro-**

física, entre eles Paulo Benevides Soares, ajudando a criar o Departamento de Astronomia do ITA. Ferraz-Mello passou a orientar estudantes e formou alguns mestres (ver "A multiplicação de centros de astronomia no país" no Capítulo "Pós-graduação em astronomia" neste Volume), entre os quais Germano Quast, que defendeu, em fevereiro de 1970, aquela que é considerada a primeira tese em **astrofísica** no Brasil, defendida em fevereiro de 1970, sobre **fotometria** fotoelétrica — na opinião de Ferraz-Mello, "a única coisa que podia ser feita com o pequeno telescópio do ITA" (Ferraz-Mello, 1994: 34)[1].

Por essa mesma época, meados da década de 1960, outra opção para os estudantes que queriam especializar-se em astronomia era participar do Grupo de Rádio Astronomia Mackenzie (GRAM), criado na Universidade Mackenzie, na cidade de São Paulo. Em 1969, esse grupo deu origem ao curso de pós-graduação na área de **astrofísica,** e passou a chamar-se Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie (CRAAM). (ver o Capítulo "**Radioastronomia**" no Volume I).

Escolha de sítio

Na mesma sessão do Conselho Deliberativo do CNPq em que foi aprovada a composição da CBA, os três astrônomos franceses convidados a contribuir para a escolha do sítio destinado ao observatório de montanha brasileiro tiveram a oportunidade de expor o trabalho realizado durante sua breve estada no país, no início de 1964. Após análise de mapas meteorológicos e topográficos, e com o apoio de impressões obtidas durante sobrevoos concentrados nas serras da região sudeste – cujo clima e latitude foram *a priori* considerados favoráveis às observações destinadas à **astrofísica** -, os franceses diziam haver encontrado uma área compatível com a realização de um programa de base, voltado à classificação espectral[2] (ver **Espectro**) das estrelas situadas na direção do centro da **Galáxia**.

Pouco depois, em maio de 1964, foi concluído o relatório dos três astrônomos, conhecido como "Relatório Rösch", mas de fato intitulado *Étude preliminaire sur le choix de l'emplacement d'un observatoire astrophysique au Brésil* (Rösch, 1969). Muniz Barreto considerava esse documento o "marco

---

[1] Quando os primeiros programas de pós-graduação foram implantados no Brasil, nos anos 1960, ainda não havia a distinção, hoje consagrada, entre os trabalhos de fim dos cursos de mestrado (dissertação) e doutorado (tese).

[2] A classificação espectral é uma caracterização fundamental das estrelas, que informa sobre a sua temperatura na superfície.

zero" de criação do Observatório Astrofísico Brasileiro (OAB), nome dado ao observatório de montanha brasileiro até a criação do LNA.

Em síntese, o relatório analisava 12 picos, dando preferência aos localizados a noroeste de Belo Horizonte, e levava em conta fatores diversos, como a altitude, o clima (particularmente a nebulosidade), as condições de acesso e a viabilidade de coletar mais informações. Ao fim, recomendava que fossem examinados de maneira mais cuidadosa apenas os picos da Piedade, Mateus Leme e Boa Vista (este último, situado em Araxá, com apenas 1.250 m de altitude, jamais foi estudado). Os estudos recomendados, os quais deveriam ser realizados *in loco*, compreendiam a nebulosidade noturna, a temperatura, a umidade e a qualidade das imagens obtidas com telescópios portáteis (Ferraz-Mello, 1982: 5). Foi, pois, com base nessas orientações, e com recursos do CNPq e do ON (na época ainda subordinado ao Ministério da Educação e Cultura, MEC), que teve início a pesquisa visando à escolha de sítio para o futuro OAB.

Os trabalhos foram iniciados pelo pico da Piedade (Caeté, MG), onde foi instalada uma primeira estação meteorológica experimental. O local apresentava alguns aspectos bastante favoráveis, como a proximidade a importante centro urbano, Belo Horizonte, sua altitude (cerca de 1.750 m), e a disponibilidade de infraestrutura básica (estrada até perto do topo, água, energia elétrica e telefone), explicada pelo santuário ali existente. Na verdade, Rösch, em especial, ficara impressionado com esse pico desde o primeiro momento, quando o avistara durante um dos sobrevoos realizados em 1964. Nas palavras de Muniz Barreto, a seu lado naquela ocasião:

> Jamais pude esquecer a sua explosão e entusiasmo ao divisar, a bordo do [avião] Beechcraft, a linda silhueta do Pico da Piedade a poucas dezenas de quilômetros de Belo Horizonte [...]: "Muito elegante, aquele pico isolado lá. Ele parece o Pic du Midi, a despeito de sua pequena altitude" (Muniz Barreto, 1987: 336).

A estação meteorológica do pico da Piedade funcionou, de fevereiro de 1966 até fevereiro de 1967, graças ao apoio de diversos agentes, a começar pelo governo de Minas Gerais, que pavimentou o trecho final da estrada de acesso ao pico, e ainda emprestou um jipe do Departamento de Estradas de Rodagem para o transporte até lá. Outros apoios importantes vieram do reitor do Santuário de Nossa Senhora da Piedade, frei dominicano Rosário Joffily (1913-2000), e do casal Henrique e Maria da Conceição (Zininha) Wykrota, fundadores de uma associação mineira de astrônomos amadores, o Centro de Estudos Astronômicos César Lattes de Minas Gerais (CEAMIG). A participação decisiva, porém, foi mesmo aquela dos observadores, jovens

como Rodrigo Dias Társia, Eduardo Janot Pacheco, Rogério Carvalho de Godoy, Paulo César Bandeira, Caio Márcio Rodrigues, Rogério Camisassa Rodrigues, Suez Bittencourt Rissi, Roberto Vieira Martins e Walter Junqueira Maciel — o chamado "grupo mineiro", nas palavras de Muniz Barreto, de quem "dependia o sucesso do nosso programa de escolha de sítio" (Muniz Barreto, 1987: 353, 344). Na sua maioria, eram estudantes de graduação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), que receberam bolsa de iniciação científica do CNPq para esse trabalho. Durante todo o período de funcionamento da estação meteorológica da Piedade, o grupo mineiro atuou sob a orientação de Muniz Barreto e do meteorologista do IAG/USP, Paulo Marques dos Santos, em suas frequentes viagens a Belo Horizonte.

A despeito das facilidades encontradas no pico da Piedade, os resultados da pesquisa demonstraram que o local apresentava alto índice de nebulosidade. Assim, no fim de 1967, essa estação meteorológica foi transferida para o morro de Mateus Leme, localizado no município de mesmo nome, a cerca de 60 quilômetros de Belo Horizonte. Quase simultaneamente, foi instalada uma segunda estação mais ao Sul do Estado, no pico da Bandeira (também chamado, na época, de pico da TV), situado no município de Maria da Fé, MG.

A estação de Mateus Leme funcionou entre dezembro de 1967 e abril de 1969. Entre as desvantagens evidentes do local, estavam a baixa altitude (menos de 1.300 m) e a existência de permanente névoa seca, resultante das queimadas frequentes e da poluição gerada pelas indústrias na região de Belo Horizonte. Já a estação de Maria da Fé funcionou entre junho de 1967 e abril de 1969. Nesse local foram pela primeira vez realizados estudos aprofundados da qualidade de imagens, por Germano Quast e Jair Barroso Jr., este último do ON, com o auxílio de telescópio de duplo feixe (*double beam telescope*)[3], da *Boller & Chivens* (B&C). Maria da Fé, contudo, também apresentava desvantagens decisivas, como a altitude relativamente baixa (cerca de 1.600 m), e uma umidade intensa.

Foi em Maria da Fé, no fim de mais uma noite de observação, que Germano Quast e Janot Pacheco se perguntaram se não existiria alternativa para instalar o observatório e, conforme seus depoimentos, começaram a escrutinar o horizonte. Avistaram então um pico bem mais alto que a serra em torno, cujo formato lembrava o da Piedade. Nessa época, ainda não havia mapas topográficos brasileiros com o nível de detalhamento requerido para uma análise

[3] O telescópio de duplo feixe monitora a qualidade astronômica do céu pelo movimento relativo entre duas imagens dos mesmos objetos celestes observados por duas aberturas próximas.

como a da escolha de sítio, e o mapa utilizado pelos astrônomos era o da Força Aérea dos Estados Unidos (USAF), confeccionado com a finalidade de orientar a aviação. Ao tentarem identificar nesse mapa o pico avistado (Figura 1), Quast e Janot Pacheco notaram que o mesmo encontrava-se escondido sob uma parte hachurada, a qual limitava-se a indicar a existência de uma área de proteção ao voo e que, por isso, ele ainda não havia sido selecionado para estudos *in loco*. Apenas após esse incidente, o referido pico — pico dos Dias — foi incluído nos trabalhos de escolha de sítio.

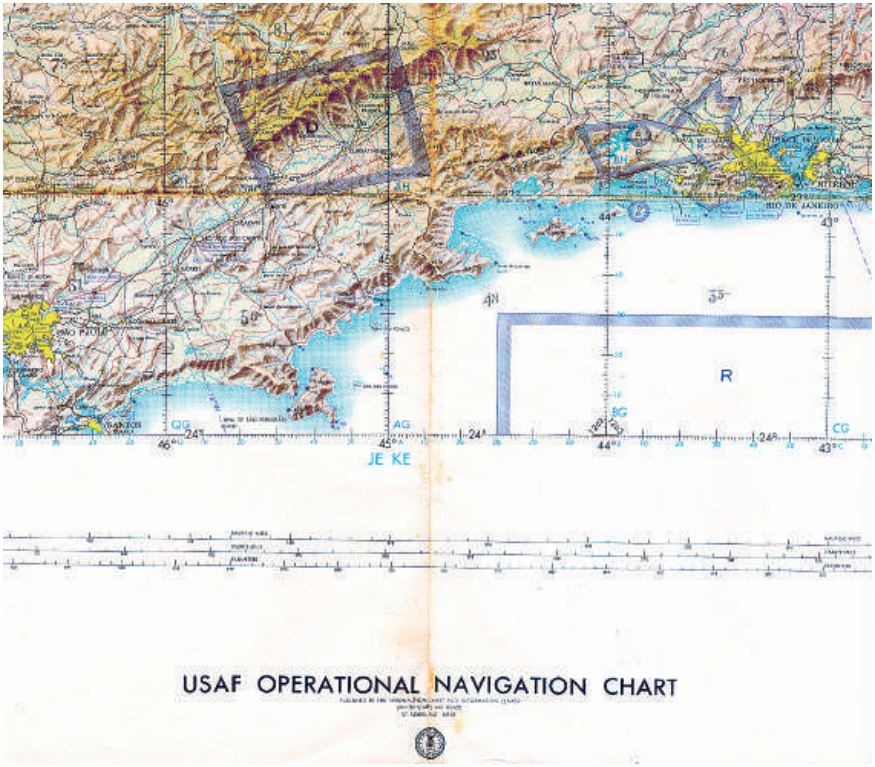


Figura 1. Mapa da USAF utilizado na escolha de sítio (Foto Rodrigo P. Campos)

Entre 28 de abril e 1º de maio de 1969 foi realizado um colóquio sobre a escolha de sítio, em Belo Horizonte, do qual participaram representantes de todas as instituições até ali envolvidas com o projeto de construção do observatório astrofísico — o ON, o IAG/USP, o ITA, a UFMG e o CRAAM. As conclusões do colóquio foram resumidas em relatório de Ferraz-Mello (1969). De modo geral, apontaram para o descarte da Piedade, devido à existência de

um persistente "chapéu" de nuvens formado por efeito orográfico[4], e de Mateus Leme, devido à já mencionada névoa seca. Já Maria da Fé, a despeito de muita umidade, apresentara resultados melhores, apontando para a necessidade de se redirecionar o foco das buscas para o sul do estado de Minas Gerais.

> Os resultados obtidos na terceira estação experimental [de Maria da Fé] vieram mostrar que a nebulosidade é bastante mais reduzida nos contrafortes setentrionais [da Serra da Mantiqueira], situados à altura da Serra do Pouso Frio, e que penetram na região sul-mineira. Nessa região situa-se [*sic*] os picos de Brazópolis [dos Dias] (1.950 m), encostado à Serra do Pouso Frio, Maria da Fé (1.680 m), Pintos Negreiros (1.700 m), Virgínia, com vários picos, o mais alto a 1.950 m, e Pedralva (1.823 m) [...]. Uma esperança é Santa Rita de Caldas (1.950 m) [Pico da Pedra Branca], onde um bom compromisso entre os vários fatores poderia ser atingido (Ferraz-Mello, 1969).[5]

Além da escolha de sítio, no colóquio de 1969 foram discutidas outras questões ligadas ao funcionamento do futuro observatório, tais como o quadro de pessoal, os equipamentos e aspectos administrativos. Nas discussões a propósito deste último tópico já é possível notar, nas suas raízes, os principais fatores que levariam à criação do LNA:

> Todos os participantes foram concordes a respeito da estrutura institucional. Deverá a instituição possuir um Conselho Diretor do qual participem pesquisadores dos vários centros de pesquisa astronômica, e que seja representativo da Astronomia Brasileira. A instituição deverá ser erigida de moldes a ficar ao abrigo de baixas manobras políticas ou de mesquinhas questões de prestígio. Espera-se [sic] que, com nova estrutura, o Observatório Nacional seja a instituição responsável pelo Observatório Astrofísico (Ferraz-Mello, 1969).

No colóquio foi também estabelecido um cronograma de trabalho. Entre os sítios que deveriam ser visitados estavam a serra da Virgínia, o pico de São Domingos, o pico do Gavião (na serra de São Tomé), o pico da Pedra Branca e

---

[4] O observatório astrofísico não foi construído no pico da Piedade, mas ainda assim esse sítio acabou abrigando um observatório, vinculado à UFMG, graças ao empenho de Francisco de Assis Magalhães Gomes, primeiro diretor do Instituto de Ciências Exatas (ICEx) daquela universidade.

[5] Deve-se notar que os nomes e dados topográficos apresentados por Ferraz-Mello foram aqui reproduzidos como constam no relatório de 1969 (Ferraz-Mello, 1969), trazendo várias informações incorretas. No relatório completo publicado por Ferraz-Mello em 1982, esses dados foram corrigidos.

o pico dos Dias. Pouco depois, em julho de 1970, a estação de Maria da Fé foi transferida para o pico dos Dias (Brazópolis, MG) e a de Mateus Leme para o pico da Pedra Branca (Caldas, MG), priorizando, nesta nova fase de estudos, a região sul-mineira. Segundo Ferraz-Mello,

> A ignorância do clima brasileiro levou de início [a busca] à região de Belo Horizonte, descartando-se, *a priori*, as proximidades da Serra da Mantiqueira. Foram muitos anos de trabalho para se concluir que a situação era ruim em toda a parte e que os únicos locais altos com alguma possibilidade, estavam no sul de Minas, nos contrafortes internos da Serra da Mantiqueira (Ferraz-Mello, 1994: 34).

As estações meteorológicas do pico dos Dias e de Caldas foram operadas, respectivamente, por Benedito Dias de Oliveira e Sebastião Silvério, sob supervisão do engenheiro-meteorologista João Caracas. Além disso, foram empreendidas algumas "missões de observação" em ambos os picos, por Germano Quast e Jair Barroso, a fim de verificar o efeito de ***seeing***, com o auxílio do telescópio de duplo feixe.

Em dezembro de 1970 morreu Abrahão de Moraes, coordenador do "Plano de Desenvolvimento da Astronomia". Essa perda abalou os ânimos dos astrônomos, mas os trabalhos prosseguiram, com Ferraz-Mello assumindo a função de coordenar particularmente os esforços para levar a termo a escolha de sítio. Em setembro de 1971, ele organizou nova reunião com os representantes das instituições interessadas, desta vez no ITA, com o intuito de redefinir o cronograma dali para diante. O projeto por ele submetido à FAPESP, elaborado com base nas decisões tomadas nessa reunião, previa a realização de observações *in loco* nos picos da Pedra Branca, dos Dias, de São Domingos e do Gavião (Figura 2); a coleta de mais informações sobre as elevações próximas a Araxá, MG, Analândia, SP, e Águas de Lindoia, SP; e uma investigação mais aprofundada sobre a nebulosidade. A FAPESP aprovou o projeto; contudo, impôs corte orçamentário que acabou levando ao cancelamento de vários itens previstos, e à concentração dos estudos nos picos da Pedra Branca e dos Dias. De modo análogo, a aprovação desse projeto — junto à aprovação, quase simultânea, do projeto de financiamento da aquisição do telescópio e construção do edifício destinado a abrigá-lo, como veremos adiante — impôs uma data-limite para o fim dos trabalhos: 31 de maio de 1973 (Ferraz-Mello, 1982: 23-24).

Figura 2. Germano Quast e Jair Barroso Jr. no pico do Gavião (Foto Germano Quast)

Com efeito, a reunião que definiu o pico dos Dias como o sítio onde seria erguido o OAB teve lugar um dia antes do prazo estipulado, em 30 de maio de 1973, no ITA. Estavam presentes representantes do ON, do IAG/USP, do ITA, da UFMG e do CRAAM. Conforme as conclusões expostas por Ferraz-Mello, os picos da Pedra Branca e dos Dias possuíam características semelhantes do ponto de vista climático, inclusive no que diz respeito a uma nebulosidade superior à desejável. Uma diferença entre os dois sítios, porém, foi decisiva na sua preferência pelo pico dos Dias, sancionada pelos presentes à reunião — o grau de umidade:

> [O]s dois sítios mostraram características semelhantes; o único ponto em que se distinguem é o relativo à umidade. Caldas apresenta-se mais úmido que Brasópolis. [...] Ficou clara a dependência em Caldas entre a umidade e a velocidade do vento, evidenciando a ascensão à Pedra Branca de camadas de ar originárias de alturas inferiores, e levando à eliminação de Caldas como possível local para o Observatório Astrofísico Brasileiro (Ferraz-Mello, 1982: 60).

Além disso, o pico dos Dias apresentava situação geográfica e condições logísticas mais favoráveis, graças à sua altitude de 1.864 m (900 m acima do nível médio da região), e à sua localização a meio-caminho entre Belo Horizonte (cerca de 400 km), Rio de Janeiro (300 km) e São Paulo (250 km), e nas

vizinhanças de Itajubá (37 km), onde havia tradicional escola de engenharia (EFEI — Escola Federal de Engenharia de Itajubá, hoje transformada na Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI).

O relatório completo sobre os trabalhos realizados nesta segunda etapa dos estudos, redigido por Ferraz-Mello e intitulado "Escolha de sítio para o OAB", foi publicado anos mais tarde (Ferraz-Mello, 1982), em meio a questionamentos quanto à escolha do pico dos Dias. Ao sair em defesa do esforço investido até chegar-se a essa decisão, o autor foi duro com os críticos:

> Críticas diversas [...] têm sido feitas à escolha do Morro dos Dias. Muitas dessas críticas vêm do pessoal que se envolveu na escolha de sítio e merecem respeito. Algumas vêm de pessoas que preferiram o conforto de seus escritórios à participação nos trabalhos e, portanto, não merecem qualquer consideração. O trabalho de escolha de sítio foi aberto a todos os que dele quiseram participar. Participaram dezenas de pesquisadores, estudantes e técnicos. Uma menção especial deve ser feita àqueles que participaram dos trabalhos de campo. [...] Subir à Pedra Branca (Caldas), noite sim noite não, é tarefa cuja dificuldade só os que conhecem o local podem avaliar. Entende-se que alguns tenham preferido não participar. As noites são menos árduas sob as luzes da cidade e o brilho dos salões (Ferraz-Mello, 1982: 3).

Escolha do telescópio

Além da capacitação dos brasileiros em **astrofísica** e da escolha do sítio, outra etapa necessária à construção do novo observatório era a definição dos equipamentos a serem adquiridos. Muniz Barreto assumiu a coordenação dos esforços nesse sentido. A partir de 1969, procurou entrar em contato, de um lado com alguns astrônomos estrangeiros em busca de indicações, e de outro lado com diversas empresas europeias e norte-americanas renomadas na fabricação de instrumentos científicos (REOSC, *Astro Mechanics*, B&C, *Zeiss Oberkochen*, *Zeiss Jena*, *Secretan*, *Nikon*, *Grubb Parsons*, *Tinsley* e *Ealing*), em busca de catálogos e orçamentos[6].

Em reunião realizada no ON, em 18 de janeiro de 1972, autointitulada primeira reunião da Comissão para Estudos da Instalação e Funcionamento do OAB, os resultados preliminares dessas consultas foram apresentados aos repre-

[6] Boa parte dessa correspondência encontra-se depositada no Fundo ON do Arquivo de História da Ciência do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST), Rio de Janeiro.

sentantes das instituições interessadas em contribuir para o projeto de criação do OAB (ON, IAG/USP, ITA, UFMG e CRAAM). Em síntese, segundo a avaliação de Muniz Barreto, das empresas consultadas, apenas três atendiam aos requisitos desejados para a fabricação do instrumento principal, a saber, um telescópio refletor com abertura da ordem de 1,50 m (similar ao instrumento projetado por Domingos da Costa, na década de 1930) e focos ***Cassegrain*** e ***coudé***. Eram elas a francesa REOSC e as norte-americanas *Astro Mechanics* e B&C (incorporada à *Perkin & Elmer*, P&E, em 1965[7]). Já no que concerne à cúpula, havia quatro propostas a serem consideradas, encaminhadas pelas firmas *Observa-Dome*, *Zeiss Jena*, *Astro-Tec* e *Ash-Dome*. Nada ficou decidido nessa reunião, além da formação de um grupo de trabalho, constituído por Germano Quast e Freitas Pacheco, com o objetivo de analisar com rigor todas as propostas. De qualquer modo, ao contrário do que ocorreu na escolha do sítio, a definição do telescópio e de seu fabricante foi relativamente rápida. Em primeiro lugar, porque a previsão era que a escolha de sítio estivesse concluída até maio de 1973, dentro da data-limite estipulada em razão do projeto aprovado pela FAPESP. Em segundo lugar, porque em 5 de setembro de 1972 foi firmado o "Convênio 146/CT", entre a FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos, atualmente denominada Agência Brasileira de Inovação) e o MEC (ao qual o ON ainda se encontrava subordinado), liberando uma verba de cerca de US$ 2 milhões para a aquisição e instalação do telescópio e demais equipamentos destinados ao OAB.

A proposta aprovada enquadrava-se no perfil nacionalista e desenvolvimentista imputado à FINEP na época, na medida em que levantava o argumento de que a implantação de um observatório astrofísico em território brasileiro provocaria impacto em alguns setores industriais, como a mecânica de precisão. Além disso, do ponto de vista científico, apresentava a criação do OAB como etapa fundamental para a consolidação de uma área de pesquisas de ponta no Brasil.

Entre as pesquisas a serem desenvolvidas no novo observatório estavam previstos tópicos gerais, tais como a classificação espectral das estrelas situadas na direção do centro galáctico (proposta pela comissão francesa, em 1964), a **espectroscopia** das linhas de absorção interestelar e de objetos especiais (como as **galáxias** Seyfert[8], restos de **supernovas** e **nebulosas planetárias**). No curto prazo, seriam contempladas pesquisas ligadas a interesses mais pontuais, específicos dos astrônomos brasileiros.

---

[7] Na realidade, a B&C tornou-se uma divisão da P&E, a despeito de ter preservado o nome e a autonomia gerencial.

[8] Tipo de **galáxias** com núcleo ativo (ver **Núcleo ativo de galáxia** ou **AGN**).

O pressuposto era que o futuro OAB seria um "observatório de missão", a exemplo dos observatórios de Kitt Peak (EUA) e Haute-Provence (França). Nesse sentido, a despeito de formalmente vinculado ao ON — instituição que encabeçava a lista de proponentes do convênio — o observatório teria caráter "nacional":

> Não se justificaria que a presente iniciativa, que representa o maior investimento da história da Astronomia brasileira, ficasse restrita ao âmbito de uma única instituição, de seus programas, e de seus recursos humanos. Ela deve, não só servir às necessidades de todas as instituições astronômicas do país, como contar com a participação de todas elas (Muniz Barreto, 1976: 13).

Com os recursos financeiros assegurados, em outubro de 1972 foi assinado o contrato com a empresa afinal selecionada para a fabricação do telescópio, a P&E, e teve início o detalhamento do projeto do refletor escolhido, de 1,60 m. O próprio Muniz Barreto fez duas viagens à fábrica da P&E em South Pasadena, CA, para discutir as linhas gerais do projeto e inspecionar sua execução. Dois técnicos do ON, Paulo Mourilhe Silva e Ivan Mourilhe Silva, também viajaram aos EUA com finalidade idêntica. Todavia, quem acompanhou de perto o projeto e a fabricação do telescópio foi Germano Quast. Nas palavras de Barreto: "Quast teve um papel essencial na preparação do projeto definitivo e no acompanhamento da construção do telescópio e seus acessórios." (Muniz Barreto, 1987: 363):

De fato, algumas modificações foram introduzidas no projeto original do telescópio, como a substituição do material utilizado na fabricação do espelho primário, da sílica fundida por um tipo novo de cerâmica, denominado *Cervit*. Além disso, foi pela primeira vez utilizada neste instrumento a montagem alemã assimétrica, até então testada pelo fabricante apenas em refletores menores.

Quast também acompanhou de perto o projeto e a construção da cúpula pela empresa selecionada, a *Observa-Dome*, cuja fábrica situava-se em Jackson, MS. A principal modificação introduzida, neste caso, foi a ampliação das suas dimensões, que passaram de 12 para 15 m de diâmetro. A cúpula foi entregue ao Brasil, por via marítima, em novembro de 1975; um ano depois, o telescópio ficou pronto para ser entregue. Restava, porém, resolver algumas pendências, antes que os equipamentos pudessem ser instalados no pico dos Dias.

A primeira pendência era a desapropriação da área destinada ao observatório astrofísico. O decreto do governo federal autorizando a desapropriação foi assinado em janeiro de 1974 (Decreto n. 73.560, de 24/1/1974), mas como nem todos os proprietários aceitaram as indenizações estipuladas por uma comissão especial-

mente formada para tanto, foi preciso aguardar uma solução jurídica[9]. Além disso, havia no alto do pico uma antena de retransmissão de TV que, se mantida ali, provocaria interferência na recepção dos sinais pelos sensíveis instrumentos astronômicos. A remoção da antena só ocorreu depois de negociações com o Conselho Estadual de Telecomunicações de Minas Gerais (COETEL) e com a Prefeitura de Brazópolis. Com tudo isso, a área só ficou disponível para o OAB em 1976.

A segunda pendência era o acesso ao pico dos Dias, até então realizado por meio de estrada de terra, estreita, íngreme e cheia de curvas. A construção e a pavimentação de nova estrada, com orçamento do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), foi determinada por outro decreto do governo federal, assinado em março de 1974 (Decreto n. 73.795, de 11/3/1974). O projeto previa uma estrada mais larga (com 6 m de largura e 2 m de acostamento), menos íngreme (com rampas máximas de 10%) e com curvas mais abertas (raio mínimo de 30 m). No entanto, a empresa que venceu a licitação pediu falência, levando a uma nova licitação e ao atraso das obras, só concluídas em 1979. Ainda assim, a estrada acabou entregue sem pavimentação.

Também foram tomadas algumas medidas de caráter administrativo, visando facilitar a instalação e a operação do OAB com recursos e sob gerenciamento do ON. Em junho de 1974, o ON finalmente recebeu novo organograma, que previa a existência de uma Divisão de Astrofísica (Decreto n. 74.226, de 27/6/1974), em substituição ao de 1940, ainda em vigor. Dois anos depois, o ON passou à alçada do CNPq (Decreto n. 77.877, de 22/6/1976), medida que, na avaliação de Muniz Barreto (Muniz Barreto, 1987: 374), foi "crucial" antes de mais nada para a própria "sobrevivência da instituição". Além disso, segundo Licio da Silva — primeiro astrônomo a assumir a chefia da Divisão de Astrofísica do ON —, apenas o CNPq poderia garantir "a agilidade administrativa indispensável ao [...] bom funcionamento" do OAB, permitindo a contratação de "engenheiros e técnicos altamente qualificados, pois [seus] níveis salariais [...] são mais compatíveis com a realidade do mercado de trabalho" (Silva, 1979: 3).

A construção do prédio destinado ao telescópio principal do OAB, na área de 3 km^2 do pico dos Dias previamente demarcada e devidamente cercada, só teve início após a resolução de todas essas pendências, em 1979. Com três andares, ele foi revestido de alumínio para evitar que o aquecimento de suas paredes pelo sol durante o dia provocasse turbulência prejudicial às observações noturnas. Nele também foram instalados o laboratório/oficina de óptica,

[9] As negociações pela área do pico envolveram não só moradores e fazendeiros locais, como também o Observatório do Valongo (OV), que possuía projeto de construir ali seu observatório de montanha, para o qual já conseguira inclusive doação de terras.

o laboratório fotográfico e a oficina eletrônica. A construção de um segundo prédio na área demarcada, destinado a algumas atividades administrativas, almoxarifado, cantina e alojamentos para os astrônomos teve início em 1980.

O grupo inicial de pesquisadores que acompanhou *in loco* a construção do OAB era liderado por Licio da Silva, e integrado por Germano Quast, Jair Barroso, Carlos Alberto Torres, Ivo Cláudio Busko e Francisco José Jablonski. Torres era ex-aluno de Ferraz-Mello no mestrado do ITA, e fora contratado pelo ON em 1973, com Licio da Silva e Germano Quast. Busko e Jablonski eram egressos do recém-criado curso de pós-graduação em astronomia do IAG/USP. Busko foi contratado pelo ON logo após seu mestrado, em 1975, e Jablonski, em 1979. Completavam o grupo alguns engenheiros, técnicos e pessoal administrativo.

O telescópio refletor P&E foi instalado no pico dos Dias no início de 1980. Até hoje é o maior telescópio instalado no país (Figura 3). Só seu espelho primário, de 1,60 m de diâmetro, pesa 900 kg. Custou, na época, cerca de US$ 856,000.00. No início de sua operação, a ele estavam acoplados o **espectrógrafo *coudé***, adquirido com o telescópio, um **espectrógrafo *Cassegrain***, obtido graças a financiamento da FAPESP concedido a Freitas Pacheco, uma câmara para fotografia direta, um fotômetro "TEXAS" (FOTEX), assim chamado porque desenvolvido pela universidade daquele estado americano, e um fotopolarímetro (cedido pelo IAG/USP). Ao longo dos anos foram incorporados outros equipamentos periféricos adicionais, como um fotômetro rápido (FOTRAP), uma câmara infravermelha (CamIV), e mais recentemente, um **espectroscópio** de fibras ópticas, o *Eucalyptus* (ver a descrição dessa instrumentação no Capítulo "Desenvolvimento de instrumentação" neste Volume). Além disso, o controle do telescópio foi totalmente automatizado, de modo que esse instrumento, ainda hoje, equipara-se aos melhores de sua classe no mundo.

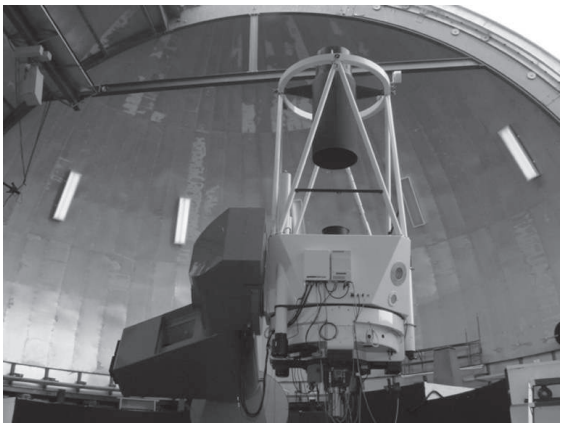


Figura 3. O telescópio P&E no interior de sua cúpula, em foto atual (Foto Rodrigo P. Campos)

A primeira coleta de luz no P&E foi feita em 22 de abril de 1980, por Jablonski e Busko. Ela foi descrita no artigo *Flare activity of V914 Sco*, publicado em dezembro de 1980, no número 1897 do *Information Bulletin on Variable Stars*, assinado por Busko, Jablonski, Quast e Torres. No segundo parágrafo do artigo, os autores localizavam o feito histórico:

> Durante quatro noites entre abril e junho de 1980, a estrela [V914 Sco] foi monitorada fotoeletricamente na **banda** U (ultravioleta) com o telescópio de 1,6 m do Observatório Astrofísico Brasileiro (Busko *et al.*, 1980: 1, tradução).

Consolidação do OAB no LNA

A solenidade de inauguração do OAB teve lugar um ano depois da **primeira luz** de seu principal telescópio, em 19 de fevereiro de 1981. Estavam presentes, entre outras autoridades, o então presidente do CNPq, Lynaldo Cavalcanti de Albuquerque. Para evitar a movimentação excessiva de pessoas no pico dos Dias, destinando o local apenas às observações, a sede administrativa do Observatório foi instalada em Itajubá, inicialmente, ainda em caráter provisório, nas dependências do antigo prédio da EFEI (hoje, prédio central da UNIFEI)[10]. Um veículo foi colocado à disposição dos funcionários e astrônomos visitantes para fazer, diariamente, o trajeto entre a sede e o pico dos Dias. A estrada de acesso, porém, ainda sem pavimentação, frequentemente ficava intransitável, e durante muito tempo representou problema à parte.

Na época da inauguração, o OAB era formalmente o Departamento de Astrofísica do ON, que possuía uma divisão no Rio de Janeiro. O OAB desfrutava, portanto, de certa autonomia. Em março de 1981, Licio da Silva foi nomeado diretor do ON e retornou ao Rio, e a situação institucional inverteu-se, sendo Freitas Pacheco nomeado para a chefia do Departamento de Astrofísica e Germano Quast, para a chefia da recém-criada Divisão OAB daquele departamento. Quast permaneceu no cargo de chefe do OAB até outubro de 1982, quando foi substituído por Busko. Finalmente, em dezembro de 1984, Carlos Alberto Torres assumiu essa função, que ocupou até 1989, quando a tensão gerada pela subordinação do OAB ao ON, entre outros fatores, culminou na separação das duas instituições.

---

[10] Quando os primeiros astrônomos se mudaram para Itajubá, no fim da década de 70, a administração do OAB funcionava em um prédio alugado no centro da cidade, na rua Santos Pereira, 199.

Com um corpo de funcionários de cerca de 40 pessoas, o OAB possuía organograma bastante simples, constituído basicamente por dois setores técnicos, além do setor administrativo e do observatório propriamente dito (segundo a terminologia burocrática da época, chamado Centro de Observações): o Setor de Engenharia, chefiado por Clemens Darvin Gneiding e responsável pela manutenção dos equipamentos e desenvolvimento de novos periféricos; e o Setor de Aquisição e Tratamento de Dados, chefiado por Antônio Humberto Carvalho Chiaradia, que respondia pelo desenvolvimento de *softwares*. Os principais laboratórios e oficinas atrelados a essa estrutura eram o Eletro/Eletrônico (sob a responsabilidade de Laércio Caldeira), o Mecânico (com Silvio Reggi à frente), o Óptico (a cargo de René Laporte), e o Fotográfico (nas mãos de Rodrigo Prates Campos).

Entre os instrumentos logo incorporados aos equipamentos do OAB estavam o já citado FOTRAP, acionado por microprocessador e com entrada de dados por fita K-7, desenvolvido por Jair Barroso e Ivan Mourilhe, e um detector do tipo Reticon, construído por uma equipe liderada por Luiz Alberto Nicolaci da Costa, do ON, utilizado apenas pela mesma e por astrônomos do ON em um projeto de pesquisa desenvolvido com o *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* (CfA) (ver "Desvendando o universo com grandes mapeamentos" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume).

Em 1982 um segundo telescópio foi instalado no OAB. Esse instrumento, um telescópio refletor de 0,60 m, fabricado pela empresa *Zeiss Jena*, fora adquirido pelo Brasil no âmbito do acordo MEC-RDA (de 1969), e estava originalmente destinado ao Observatório do Valongo (OV/UFRJ). A ideia era que fosse instalado em um observatório de montanha vinculado ao OV/UFRJ, previsto para ser construído no pico dos Dias. Com a escolha deste mesmo sítio para abrigar o observatório astrofísico, e o consequente abandono do projeto original do Valongo, as caixas contendo o telescópio e sua cúpula, entregues em meados de 1971, foram guardadas em um hangar em Brazópolis, e ali os equipamentos permaneceram em estado de abandono até que fossem restaurados e instalados pela equipe do OAB.

Os primeiros programas de pesquisa em **astrofísica** desenvolvidos pelos astrônomos residentes do OAB dividiam-se basicamente entre os estudos sobre a atividade estelar[11], os estudos **extragalácticos** e a observação de ocultações, esta última linha de pesquisas desenvolvida por Jair Barroso. Um dos trabalhos mais promissores, que envolveu Torres, Busko, Quast e Jablonski, versava sobre a descoberta de lítio em **anãs vermelhas**. Também cabia ao grupo de astrônomos residentes observar os chamados "alvos de ocasião".

---

[11] A atividade estelar designa genericamente erupções semelhantes às que ocorrem no Sol, em associação com o campo magnético das manchas solares.

Desde a sua concepção inicial, entretanto, o OAB deveria ser um observatório aberto a astrônomos de outras instituições brasileiras. De fato, uma das primeiras providências tomadas pelo Conselho Técnico e Científico (CTC) do ON, antes mesmo da inauguração oficial do OAB, foi a criação de uma Comissão de Programas (CP), formada por representantes da comunidade astronômica brasileira, com o objetivo de fazer a distribuição do tempo de utilização do P&E e demais equipamentos entre os projetos postulantes. A primeira CP, designada em 1980, era integrada por Licio da Silva, como presidente, Germano Quast e Jorge Ramiro de La Reza, como membros internos ao ON, e Miriani Pastoriza, do Instituto de Física (IF) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e Janot Pacheco, do IAG/USP, como membros externos.

Como a distribuição de tempo era feita de acordo com os projetos enviados para a CP, e as equipes do IAG/IUSP e do ON eram as maiores e mais vigorosas na época, pouco mais da metade do tempo útil de observação no P&E tendia a ser dividido entre os astrônomos dessas duas instituições. Por outro lado, logo tornou-se evidente que esse tempo era limitado, em primeiro lugar devido ao clima, que deixava apenas 150 noites por ano, em média, propícias à observação. Em segundo lugar, porque das noites restantes, cerca de 1/3 eram destinadas aos trabalhos de manutenção preventiva e desenvolvimento instrumental, a princípio a cargo do pessoal do OAB. O resultado disso era que o tempo de telescópio efetivamente posto à disposição dos astrônomos do IAG/USP e de outras instituições era pequeno.

O uso do tempo destinado ao desenvolvimento instrumental por astrônomos do ON acabou tornando-se outro foco de tensão, entre o pessoal dessa instituição, do OAB e parte expressiva da comunidade astronômica brasileira. Em meados da década de 80 essa comunidade já encontrava-se em expansão, graças ao retorno dos pesquisadores que haviam obtido doutorado no exterior, e à formação das primeiras turmas de alunos egressos dos diversos cursos de pós-graduação em astronomia criados no Brasil ao longo da década anterior no IAG/USP, no próprio ON, na UFRGS e no INPE (ver o Capítulo "Pós-graduação em astronomia" neste Volume).

Um dos principais fóruns de manifestação dos interesses dos astrônomos eram as reuniões anuais da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB), criada em 1974 (ver o Capítulo "Organização da comunidade astronômica" neste Volume). Já em 1982, na assembleia realizada durante a 10ª Reunião da SAB, em Campinas, foi claramente postulada a demanda da parcela mais organizada dessa comunidade por uma maior participação nas discussões e deliberações sobre os projetos instrumentais do OAB. Nesse sentido, foi sugerida a criação de uma Comissão de Usuários do OAB, representativa de todas as

instituições brasileiras com pesquisa em astronomia, à qual caberia formular a política de operação desse observatório, transformando-o, efetivamente, em "laboratório nacional" (SAB, 1983: 65).

Pouco depois, em relatório de avaliação da área de astronomia redigido a pedido do CNPq, era reconhecido e destacado o impacto provocado pelo P&E na capacitação da comunidade astronômica brasileira, através da oportunidade conferida aos pesquisadores de desenvolverem projetos em um instrumento de ponta instalado no seu próprio país. Por outro lado, o relatório afirmava que a manutenção desse equipamento e o desenvolvimento de seus periféricos implicavam em custo elevado demais para ser assumido por instituições isoladas, justificando, por esse viés, a necessidade de transformar-se o OAB em "laboratório nacional" (Rocha Vieira, 1982).

Dentro desse contexto, marcado pelo reconhecimento do papel e das limitações de funcionamento do OAB, foi criado o Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), em 13 de março de 1985, pelo presidente do CNPq, Lynaldo Cavalcanti (RE 036/85, de 13/3/1985). A nova unidade de pesquisa do CNPq, autônoma, herdou as instalações e pessoal do OAB. Para decidir sobre sua operação, de modo a satisfazer as demandas da comunidade astronômica brasileira e estimular as demais instituições com pesquisa em astronomia a desenvolverem projetos instrumentais, foi criada também uma "Comissão de Especialistas de alto nível", presidida por Oscar Sala (representando o CNPq)[12], e integrada por Ferraz-Mello (IAG/USP), Freitas Pacheco (ON), e Edemundo da Rocha Vieira (UFRGS). De início, a direção do LNA, propriamente dita, deveria ser exercida por um dos membros dessa comissão de especialistas. Como nenhum deles fosse pesquisador do antigo OAB e demonstrasse interesse nessa função, Carlos Alberto Torres, que era o chefe do OAB até aquele momento, ficou com a responsabilidade de administrar a nova instituição.

O período que se seguiu à criação do LNA foi marcado pela instabilidade política e institucional do Brasil. Apenas dois dias depois, em 15 de março, José Sarney assumiu a presidência da República, em lugar do presidente eleito, Tancredo Neves, que caiu doente e acabou morrendo. Nesse mesmo dia 15, foi criada ainda uma nova pasta, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, hoje MCTI — Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação), à qual o CNPq passou a ser vinculado.

No plano econômico, o Brasil sofria com a inflação acelerada e a crise da dívida externa, com reflexos em todos os institutos de pesquisa, e sobretudo nos novos. O LNA não foi dotado de uma proposta orçamentária, dependendo

[12] Oscar Sala era físico renomado, professor da USP, vice-presidente da Academia Brasileira de Ciências (ABC), e em 1985 assumiria o cargo de presidente da FAPESP.

portanto do orçamento — e da boa vontade — da sua instituição de origem, o ON. Na avaliação de Carlos Alberto Torres, diretor do novo instituto,

> [a] Nova República, sem saber o que fazer com o recém-criado LNA, demorava em implementá-lo, levando a instituição à beira da paralisia (Torres, 1994: 6).

Como consequência, Jablonski, Busko, Gneiding e o técnico óptico Laporte preferiram se transferir para o INPE, deixando o LNA bastante desfalcado de pessoal científico. Jablonski retornaria durante um breve período ao LNA, como vice-diretor de Edemundo Vieira; já Gneiding retornaria de maneira definitiva um pouco mais tarde, na administração de João Steiner.

Assim, a pedido do próprio Carlos Alberto Torres, e com o aval do novo diretor do ON, Jacques Danon, em 14 de agosto de 1986 (RN-010/86) o CNPq determinou a reincorporação do LNA ao ON, com o *status* de diretoria associada. O nome — e o caráter — de laboratório nacional foram mantidos nessa reorganização.

Por outro lado, a comissão de especialistas criada para deliberar sobre os destinos do LNA tampouco atendia às demandas da comunidade astronômica brasileira que, mais uma vez fazendo da SAB seu canal de manifestação, cobrou do novo presidente do CNPq, Crodowaldo Pavan, maior participação no gerenciamento científico daquele instituto. Sua reivindicação era que uma comissão com atribuições dessa ordem fosse integrada por usuários do LNA, escolhidos mediante consulta às diversas instituições.

Em outubro de 1986, através de nova resolução, o CNPq finalmente acatou as sugestões da comunidade astronômica, transformando a comissão de especialistas em "Comissão de Representantes dos Usuários", formada por pesquisadores do ON, IAG/USP, INPE, UFMG e UFRGS. A nova comissão teria como atribuições, simultaneamente, traçar as "diretrizes de natureza técnico-científicas" do LNA, e avaliar as "propostas encaminhadas pelos diferentes grupos existentes no país e, eventualmente, do exterior" (LNA, 1987: 2).

A despeito dessa importante conquista, a obtenção da autonomia definitiva do LNA só seria conseguida três anos depois, durante amplo processo empreendido pelo CNPq no sentido da reorganização de seus institutos de pesquisa. Esse processo teve início logo após a promulgação da nova Constituição Federal, em dezembro de 1988, quando foi nomeada uma comissão de avaliação dos institutos, formada por alguns membros do Conselho Deliberativo. O LNA foi uma das primeiras unidades visitadas por essa comissão, em maio de 1989. O resultado da avaliação apontou para a necessidade de "desvincular o LNA da estrutura do ON" (CNPq, 1989) — sugestão aprovada tanto pela Comissão de Representantes dos Usuários do LNA, quanto pelo CTC/ON. Torres tinha aproveitado os 3 anos para

formar uma equipe administrativa que se adequasse à possível desvinculação, e repusera em parte o pessoal científico, com a contratação de Maximiliano Luis Faúndez-Abans, chileno, e Mariângela de Oliveira-Abans. Além disso, mesmo antes da separação definitiva, tinha conseguido colocar o LNA na proposta orçamentária para 1990, evitando assim a situação ocorrida anteriormente.

A 9 de novembro de 1989, o LNA finalmente conquistou sua autonomia administrativa (Resolução Normativa n. 29). Torres foi mantido na direção do instituto e permaneceu nesse cargo até 1994, tendo Germano Quast como vice. Ele resumiu o processo da seguinte maneira:

> Finalmente, amadurecido e fortalecido o LNA, e com o apoio do Conselho Deliberativo do CNPq e do próprio ON, foi possível instituir o LNA como Unidade de Pesquisa do CNPq, em 9 de novembro de 1989, mantendo sua característica de verdadeiro laboratório nacional, possuindo administração e orçamento próprios (Torres, 1989: 4).

Ampliação e diversificação do LNA

O primeiro CTC/LNA, ainda provisório, era formado, da parte da instituição, por Torres, Quast e Francisco Rodrigues, e tinha como membros externos, Sayd José Codina Landaberry (ON), Jorge Ricardo Ducati (UFRGS), Freitas Pacheco (IAG/USP), João Evangelista Steiner (INPE) e Luiz Paulo Ribeiro Vaz (UFMG).

Em sua primeira reunião, ocorrida em 18 de dezembro de 1989, o CTC aprovou uma proposta de regimento interno, a ser submetida aos órgãos competentes do CNPq. Essa proposta previa, entre outros itens, a (re)criação das CPs, nomeadas pelo CTC e constituídas por especialistas em **astrofísica**, com o objetivo de avaliar os projetos de pesquisa para fins de distribuição do tempo de uso do instrumental disponível no LNA. O CTC também aprovou o novo organograma do LNA, constituído basicamente pelos departamentos administrativo, técnico e de apoio logístico. Essa estrutura sofreria diversas mudanças, ao longo dos anos, como reflexo da expansão do instrumental e das atividades desenvolvidas pelo LNA. Assim, já em 1990, passaram a ser discriminados no organograma os dois locais em que efetivamente funcionava a instituição: o Observatório do Pico dos Dias (OPD) e a sede administrativa em Itajubá, até então ainda abrigada na UNIFEI.

Durante a década de 1990, o LNA foi dirigido, primeiramente por Carlos Alberto Torres, até 1994, depois por Edemundo Vieira, de 1994 até 1997 e, finalmente, por João Steiner, de 1997 a 1999. Os quadros científico, tecnológico e administrativo foram aos poucos sendo repostos e ampliados, desde a autonomia.

Em 1992, o LNA recebeu novo telescópio refletor, da B&C, com 0,60 m de diâmetro, transferido do IAG/USP. Esse telescópio fora adquirido pela USP no início da década de 1970, por iniciativa de Freitas Pacheco, a pretexto da transformação do IAG em unidade de ensino daquela universidade, e fora instalado no Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos, SP. Um convênio assinado entre o IAG/USP e o LNA em setembro de 1989 possibilitou sua transferência para o pico dos Dias. Da mesma geração e do mesmo fabricante do telescópio principal do LNA, esse instrumento seria utilizado basicamente para **fotometria** e **polarimetria**, apresentando porém melhor desempenho que o Zeiss-Jena, de mesmas dimensões, devido à sua automação e ao uso de detectores CCD.

No ano seguinte, 1993, o LNA finalmente ganhou um edifício-sede próprio, situado à rua Estados Unidos, nº 154, no Bairro das Nações, em terreno doado pela Prefeitura de Itajubá. O novo edifício deveria abrigar a administração e os pesquisadores do LNA, mas havia a ideia de que no pequeno *campus* fossem posteriormente construídas outras instalações, onde passariam a funcionar as oficinas e laboratórios de desenvolvimento instrumental. Sua inauguração teve lugar em 4 de novembro daquele ano, em cerimônia à qual compareceram o presidente do CNPq, Lindolpho de Carvalho Dias, o diretor do IAG/USP, Igor Gil Pacca, e o diretor do ON, Codina Landaberry (Figura 4). Muniz Barreto também estava presente e foi homenageado na ocasião, ao ser-lhe dedicado o prédio do telescópio P&E.

Figura 4. Inauguração da sede do LNA, em 1993. Da esquerda para a direita: Germano Quast, Licio da Silva, Muniz Barreto, Codina Landaberry, Lindolpho Dias e Carlos Alberto Torres (Foto Geraldo Raimundo Machado)

Quando o LNA foi criado, em meados da década de 1980, já havia a demanda, por parte da comunidade astronômica brasileira, pelo acesso a telescópios mais modernos e potentes do que o P&E. Naquela avaliação da área de astronomia empreendida a pedido do CNPq, cujo relatório foi publicado em 1982, era inclusive aventada a possibilidade não apenas de o Brasil adquirir um instrumento na faixa de 3 a 6 m, como de instalá-lo fora do território nacional, em um sítio mais adequado, como Cerro Tololo, no Chile, ou Chacaltaya, na Bolívia (Rocha Vieira, 1982: 53-54).

Essa demanda voltou à cena em algumas ocasiões, já na segunda metade dos anos 1980, sob o argumento de que havia "total saturação" dos tempos de telescópio à disposição dos brasileiros (SAB, 1987: 28). De fato, a partir desse período, a comunidade astronômica brasileira passou a expandir-se com um ritmo exponencial. No que diz respeito ao número de trabalhos apresentados nas reuniões anuais da SAB, por exemplo, este teria saltado de cerca de 50, em 1986, para mais de 250, em 1996 (Maciel, 1996: 15). Segundo a avaliação de vários astrônomos, como Walter Maciel, que dedicou-se a levantar e examinar esses dados, o ritmo acelerado de expansão teria sido fortemente afetado justamente pela consolidação e maior abertura do LNA à comunidade brasileira, a partir de 1989.

Nessa época, no cenário internacional, o caminho encontrado para o aumento da capacidade instrumental dos países, sobretudo no caso de telescópios de grande porte, apontava para a construção de observatórios em determinados locais do planeta, como o Havaí e os contrafortes da cordilheira dos Andes, onde a combinação entre altitude e clima seco oferece condições especialmente favoráveis à observação astronômica. Através do estabelecimento de convênios multi-institucionais e internacionais, tornava-se possível levantar a elevada quantia necessária ao financiamento e manutenção, nesses locais, das instalações, instrumentos e equipes, ao mesmo tempo em que ficavam previamente acordados e garantidos os critérios de distribuição das responsabilidades administrativas e encargos financeiros, além do tempo de observação, entre todos os parceiros envolvidos. Assim, ao longo da década de 1990, ao invés de importar novos telescópios, o Brasil começou a participar de consórcios internacionais, procurando suprir a crescente demanda da comunidade astronômica nacional e garantir-lhe o acesso a instrumentos modernos e de grande porte.

Em outro Capítulo deste livro, "Empreendimentos internacionais", neste Volume, é possível acompanhar, com detalhes, o processo através do qual o Brasil ingressou no consórcio Gemini, formado por instituições de diversos

países (EUA, Canadá, Austrália, Reino Unido, Chile, Brasil e Argentina)[13], com vistas à construção e operação de dois telescópios idênticos, de 8,1 m, no alto de duas montanhas, uma no hemisfério sul (Cerro Pachón, no Chile), e outra no hemisfério norte (o vulcão extinto Mauna Kea, no Havaí). As negociações que levaram ao ingresso do Brasil no Gemini tiveram lugar entre meados de 1992 e o início de 1993, durante a gestão de Carlos Alberto Torres no LNA. Com o aval da comunidade astronômica brasileira, esse instituto foi principal condutor do processo de adesão ao Gemini, e até hoje é o escritório responsável pelo gerenciamento da participação brasileira no consórcio.

De igual modo, o LNA conduziu o processo de discussões e negociações que levou ao ingresso do Brasil, em 1999, em outro importante consórcio internacional, o SOAR (*SOuthern Astrophysical Research*), também descrito noutro Capítulo deste Volume (Figura 5). Embora o projeto visasse à construção de um telescópio com 4,1 m de diâmetro, portanto de menor porte que os Gemini, a fração brasileira do tempo de uso desse equipamento era — e ainda é — muito mais significativa, de cerca de 31%, já que desde o início são apenas três parceiros (duas universidades norte-americanas, a da Carolina do Norte, em Chapel Hill, e a estadual de Michigan, além do próprio Brasil, representado, inicialmente, pelo CNPq, e hoje pelo LNA). Com um tempo maior tornava-se possível desenvolver projetos de pesquisa de maior fôlego. Além disso, os astrônomos brasileiros puderam participar do SOAR de maneira ativa desde a fase de detalhamento do projeto, conduzido por João Steiner, apresentando suas demandas específicas e assumindo a responsabilidade de desenvolver parte da instrumentação periférica prevista (ver o Capítulo "Desenvolvimento de instrumentação" neste Volume). Assim como no Gemini, o LNA é o escritório do SOAR no Brasil.

[13] A composição de países integrantes do Gemini mudou ao longo dos anos, assim como a participação relativa nos custos do projeto e a distribuição do tempo de observação, proporcional aos aportes de recursos. Quando o Brasil ingressou no Gemini e sua composição era a indicada no texto, o país tinha acesso a apenas 2,31% desse tempo. Desde 2013, contudo, após a saída do Chile (em 2003) e do Reino Unido (em 2012), o Brasil conta com uma parcela um pouco maior, de 6,53%.

Figura 5. O Gemini Sul, no primeiro plano, e o SOAR logo atrás, em Cerro Pachón (Consórcios Gemini e SOAR)

Desde 2008, o Brasil participa ainda de outro consórcio internacional, o *Canada-France-Hawaii Telescope* (CFHT), formado, como o nome sugere, por instituições do Canadá, da França, e pela Universidade do Havaí. O CFHT é um telescópio de 3,6 m de diâmetro, localizado em Mauna Kea, que entrou em operação em 1979. Mais uma vez o LNA é a instituição responsável pelo gerenciamento da participação brasileira nesse consórcio, que garantiu-lhe o acesso a outro instrumento no hemisfério norte, ao lado do Gemini[14].

[14] Em decorrência de dois acordos de troca de tempo de observação firmados, respectivamente, entre o Gemini e o Subaru, e entre o SOAR e o CTIO (*Cerro Tololo Inter-American Observatory*), os astrônomos brasileiros ainda ganharam acesso a mais dois telescópios de grande porte, o Subaru, de 8,2 m, e o Blanco, de 4,0 m, situados respectivamente em Mauna Kea, no Havaí, e Cerro Tololo, no Chile.

O início do novo século foi marcado por mudança profunda no sistema de ciência e tecnologia brasileiro, ocasionada pela transferência de todas as unidades de pesquisa (UPs) do CNPq para a alçada do MCT (Decreto n. 3.567, de 17/8/2000). A Secretaria de Coordenação das Unidades de Pesquisa do MCT, criada para agrupar e coordenar as UPs no âmbito do Ministério, foi entregue a Steiner, na época diretor do LNA e no auge de seu prestígio político, graças ao sucesso das negociações que levaram ao SOAR. Com isso, Clemens Gneiding assumiu a direção do LNA, que exerceu até o fim de 2001, quando foi substituído, em caráter interino, por Albert Bruch. Astrônomo de origem alemã, Bruch foi nomeado diretor do LNA em 2002, após ser indicado por um Comitê de Busca — mecanismo visando à seleção de potenciais dirigentes de UPs por representantes da comunidade científica. Ele ainda seria reconduzido ao cargo mais uma vez, em 2007, para um mandato que se encerrou em maio de 2011[15].

No plano administrativo, a transferência para o MCT acarretou, entre outras modificações, um rearranjo no organograma do LNA, com destaque para a criação de uma Coordenação de Apoio Científico, à qual cabe o desenvolvimento de projetos de pesquisa, a assessoria às demais coordenações e aos usuários em questões astronômicas, e a caracterização e comissionamento de novos instrumentos.

Sob este último aspecto, o LNA recebeu impulso considerável após a inauguração, em 18 de agosto de 2006, de um prédio anexo à sede administrativa do *campus* de Itajubá (Figura 6), destinado a abrigar os laboratórios de óptica (incluindo a metrologia óptica e o manuseio de fibras ópticas) e eletrônica, a oficina de mecânica de precisão, além de um espaço para realizar a integração e teste dos instrumentos (ver o Capítulo "Desenvolvimento de instrumentação" neste Volume). Com isso, o LNA passou a dispor de uma infraestrutura compatível com o desenvolvimento de projetos instrumentais mais arrojados, desde a fase inicial da concepção e desenho até a construção e integração dos diversos componentes, e a realização dos testes finais, anteriores à entrega dos equipamentos. O edifício anexo ainda comporta salas para os tecnólogos, um auditório, e um terraço onde foram instalados uma cúpula e telescópios para divulgação científica.

[15] No momento em que este texto foi entregue à publicação, o diretor do LNA era Bruno Vaz Castilho de Souza, com mandato de quatro anos (2011-2015), renováveis por mais quatro.

Figura 6. Edifício-sede do LNA visto pelos fundos, à direita, com o anexo destinado aos laboratórios, à esquerda (Foto Clemens D. Gneiding)

Os mais ambiciosos projetos instrumentais desenvolvidos no LNA, até agora, foram dois periféricos do SOAR, decorrência de compromisso assumido no momento em que o Brasil ingressou nesse consórcio. O SIFS (*SOAR Integral Field Spectrograph*) foi projetado e construído em colaboração com o IAG/USP (com a participação de profissionais de outras instituições), graças a financiamento obtido na FAPESP e no MCT (através do Instituto do Milênio MEGALIT). O *Eucalyptus*, acoplado ao P&E, no OPD, foi na verdade um protótipo do SIFS já que, a despeito das diferenças, ambos utilizam a mesma tecnologia de fibras ópticas. O SIFS foi entregue ao SOAR em dezembro de 2009, e recebeu a **primeira luz** em 28 de abril de 2010. Já o projeto do STELES (*SOAR Telescope Échelle Spectrograph*), um instrumento da segunda geração do SOAR, só teve início efetivo em 2008. Em março de 2009 o projeto foi submetido e aprovado por uma comissão externa de especialistas. A fabricação foi iniciada pouco depois, e até a conclusão deste texto restava finalizar as partes mecânica e eletrônica do instrumento. Finalmente, existe a previsão de que seja construído um **espectrógrafo *échelle*** para o OPD, ao qual foi dado o nome de *ECHARPE* (ÉCHelle de Alta Resolução para o Perkin-Elmer), mas este projeto se encontra em fase inicial de elaboração. Tudo isso está descrito com maiores detalhes no Capítulo "Desenvolvimento de instrumentação" neste Volume.

O futuro do LNA

Decorridos pouco mais de 30 anos de sua inauguração, em fevereiro de 1981, ainda com o nome de OAB, o observatório de montanha concebido por Muniz Barreto e Abrahão de Moraes teve trajetória certamente bem mais atribulada e rica do que ambos podiam imaginar. De qualquer modo, se no início houve momentos de indefinição no gerenciamento das novas instalações e seus equipamentos, gerando tensões na comunidade científica, ao longo dos anos 1990 consolidou-se o *status* da instituição resultante, o LNA, como autêntico laboratório nacional, principal provedor de infraestrutura observacional na faixa óptica (ver **Óptico**) para a astronomia brasileira.

Não apenas sob este aspecto, mas também como interlocutor da comunidade astronômica com o governo brasileiro, o LNA passou a desempenhar papel cada vez mais importante, sobretudo a partir dos anos 2000. Este foi o caso da consulta feita por ocasião da adesão do país ao SOAR e ao CFHT, e da aquisição do tempo de observação do Reino Unido no Gemini. Mais recentemente, o LNA destacou-se na articulação da comunidade em torno da questão de seu ingresso na chamada "era dos telescópios gigantes" — instrumentos na faixa de 20 a 40 m de abertura, de onde, acredita-se, virão os avanços da astronomia no futuro. A despeito da existência de vozes divergentes, a decisão pelo E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), de 42 m de diâmetro (posteriormente reduzidos para 39,3m), foi tomada após análises profundas e exaustivas discussões. O então titular do MCT, Sérgio Rezende, assinou a adesão ao consórcio ESO (*European Southern Observatory*), responsável pelo projeto do E-ELT, em dezembro de 2010. Sua ratificação, contudo, ainda depende da aprovação do Congresso Nacional (ver "Participação do Brasil em consórcios internacionais" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume).

O LNA também fez consulta à comunidade brasileira sobre o futuro do OPD nesse cenário de colaboração internacional e telescópios gigantes, no início de 2010. Como resposta, os astrônomos mais uma vez reconheceram a contribuição dada pelo observatório de montanha brasileiro à expansão e amadurecimento de sua comunidade, e colocaram sua demanda de que continuem os investimentos na modernização dos equipamentos instalados e na aquisição/construção de novos. O OPD foi concebido para servir à pesquisa, e em que pesem às limitações dos seus instrumentos e do sítio em que localiza-se, o pico dos Dias, a expectativa de seus usuários é que mantenha-se nesta direção (Figura 7).

Figura 7. Vista aérea do OPD. No alto, Zeiss–Jena 0,60 m à esquerda, B&C 0,60 m do IAG à direita e P&E 1,60 m no meio. Oficina mecânica mais abaixo à esquerda. Perto da sigla, em baixo, "LNA", parte da administração, refeitório e cozinha e, mais à direita, os alojamentos (Foto Clemens D. Gneiding)

Agradecimentos

A produção deste texto contou com a colaboração de diversas pessoas, tanto no que se refere às fontes e bibliografia utilizadas, quanto no que se refere à sua redação. Gostaríamos de agradecer especialmente a Cristina de Amorim Machado, Sérgio Tadeu de Niemeyer Lamarão, Tania Pereira Dominici, Jair Barroso Jr., Germano Quast e Albert Bruch.

Referências

Barbuy, Beatriz; Braga, João e Leister, Nelson, Orgs. (1994), *A astronomia no Brasil: depoimentos*, 31-36, São Paulo: SAB.

Busko, I. C.; Jablonski, F. J.; Quast, G. R. and Torres, C. A. O. (1980), Flare activity of V914 Sco, *Information Bulletin on Variable Stars*, 28 Dec., n. 1897, 1-3. Disponível em: http://adsabs.harvard.edu/full/1980IBVS.1897....1B, acesso em 10/9/13.

CNPq (1989), *Ata da 24ª reunião do Conselho Deliberativo realizada nos dias 23 e 24 de maio de 1989*, Brasília, Livro de Atas, fl. 4 (Arquivo Histórico do CNPq).

Ferraz-Mello, Sylvio (1969), *Notas Técnicas do Observatório do ITA*, São José dos Campos, SP: NT11.

Ferraz-Mello, Sylvio (1982), *Escolha de sítio para o Observatório Astrofísico Brasileiro*, Rio de Janeiro: CNPq/ON.

Ferraz-Mello, Sylvio (1994), "Nos primeiros tempos da nossa Astronomia" *in* Beatriz Barbuy, João Braga e Nelson Leister (Orgs.), *A astronomia no Brasil*: *depoimentos*, 31-36, São Paulo: SAB.

LNA (1987), *Relatório*, Relatório Mimeografado (Arquivo Histórico do LNA).

LNA (1989), *Ata da 1ª Reunião do Conselho Técnico-Científico do LNA, realizada no Pico dos Dias — Brazópolis, no dia 18 de dezembro de 1989* (Arquivo Histórico do LNA).

Maciel, Walter J. (1996), "25 anos de pesquisa em astrofísica no Brasil: uma análise preliminar", *Boletim da SAB*, 16, 2, 11-31.

Marques dos Santos, Paulo (2005), *Instituto Astronômico e Geofísico da USP: Memória sobre sua formação e evolução*, São Paulo: Edusp.

Muniz Barreto, Luiz (1976), *Projeto para implantação do Observatório Astrofísico Brasileiro*, Projeto de Pesquisa, Mimeografado, Rio de Janeiro: ON/CNPq (AHC/MAST, Fundo ON, Caixa 45).

Muniz Barreto, Luiz (1987), *Observatório Nacional: 160 anos de história*, Rio de Janeiro: ON.

Rocha Vieira, Edemundo da (1982), *Avaliação e Perspectivas*, Ciências Exatas e da Terra, 1, Astronomia, João Evangelista Steiner (Colab.), Brasília: SEPLAN/CNPq.

Rösch, Jean (1969), *Étude preliminaire sur le choix de l'emplacement d'un observatoire astrophysique au Brésil*, Informação Interna n. 15, Rio de Janeiro: ON (AHC-MAST, LG.T.01/006, dossiês 0220/2-0223/2).

SAB (1983), Ata da 10ª Assembleia Geral Ordinária da Sociedade Astronômica Brasileira, *Boletim da SAB*, 6, 1, 63-66.

SAB (1987), Política Científica, *Boletim da SAB*, 9, 4, 28-32.

Silva, Licio da (1979), *OAB: Planejamento Geral*, Relatório Mimeografado, Rio de Janeiro: Coordenadoria de Astrofísica, ON/CNPq (Arquivo Histórico do LNA).

Torres, Carlos Alberto (1989), "Novo status do Laboratório Nacional de Astrofísica", *Boletim da SAB*, 11, 4, 4.

Torres, Carlos Alberto (1993), "O Projeto Gemini", *Boletim da SAB*, 13, 1, 12-15.

Torres, Carlos Alberto (1994), "Discurso do Diretor do LNA-CNPq", *Boletim da SAB*, 13, 3, 5-8.

Videira, Antonio Augusto Passos (2007), *História do Observatório Nacional: A persistente construção de uma identidade científica*, Rio de Janeiro: ON.

Capítulo 7

DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO

Desenvolvimento de instrumentação óptica e infravermelha no Brasil (1980-2013)

Bruno Vaz Castilho (LNA/MCTI)

Neste Capítulo apresentamos os esforços e avanços na área de instrumentação astronômica (principalmente óptica e infravermelha) realizados pela astronomia brasileira nas últimas três décadas. Desde os primeiros passos da instrumentação em radioastronomia e do desenvolvimento dos instrumentos para o Observatório do Pico dos Dias (OPD) e, mais recentemente, dos instrumentos para o SOAR (*SOuthern Astrophysical Research*) no Chile, vários institutos têm se envolvido no desenvolvimento de instrumentação criando capacitação de infraestrutura e de pessoal, que permitem hoje que o Brasil possa participar de projetos de instrumentos para telescópios da classe de 8 m, além de desenvolver a instrumentação embarcada em satélites.

Introdução

Neste Capítulo apresentamos os esforços e avanços na área do desenvolvimento de instrumentação astronômica **óptica** e infravermelha, realizados pela astronomia brasileira nas últimas três décadas, desde o início da operação do Observatório do Pico dos Dias (OPD) em 1980, até 2013.

Como visto nos Capítulos anteriores, a história da astronomia brasileira remonta aos tempos da tentativa de colonização holandesa[1] e ao império, com a criação do atual Observatório Nacional (ON)[2]. No entanto, a **astrofísica** moderna só tem início realmente no Brasil com o retorno dos primeiros pesquisadores brasileiros que realizaram doutorado no exterior no fim dos anos 60 e na década de 70 (ver "O desenvolvimento da astrofísica no Brasil" no Capítulo "Astrofísica" no Volume I e o Capítulo "Pós-graduação em astrofísica" neste Volume). Com o início da moderna **astrofísica** brasileira, se iniciam também os esforços para desenvolver instrumentos astronômicos no Brasil, tanto na área de **radioastronomia** (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume), quanto na área de astronomia **óptica** (ver o Capítulo "O observatório de montanha" neste Volume). Com a criação do OPD em 1980, o desenvolvimento de instrumentação **óptica** começa a dar os primeiros passos. Nesse início, no entanto, a instrumentação no Brasil é dependente do esforço de alguns abnegados que tentaram superar as dificuldades técnicas e burocráticas.

Com a entrada do Brasil no consórcio de construção do telescópio SOAR (*SOuthern Astrophysical Research*) no Chile, novo desafio se apresentou para a astronomia brasileira: o contrato com o SOAR incluía a instalação, através de recursos brasileiros, de dois instrumentos de grande porte para esse telescópio (ver o texto "Participação do Brasil em consórcios internacionais" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume). Esse contrato coincidiu com iniciativas bem-sucedidas do governo brasileiro na criação de projetos como o PRONEX (Projetos de Apoio a Núcleos de Excelência) e os institutos do Milênio. A comunidade astronômica brasileira se reuniu em grande número em torno desses projetos, nos quais a instrumentação era parte integrante ou mesmo o objetivo principal.

Desde então, vários institutos de pesquisa e universidades têm se envolvido no desenvolvimento de instrumentação, criando capacitação de infraestrutura e de pessoal que permitem atualmente que o Brasil participe de projetos de

---

[1] Ver "Um observatório de ponta no Novo Mundo" no Capítulo "Brasil holandês" no Volume I.

[2] Ver o Capítulo "Primeiras pesquisas em astronomia" no Volume I.

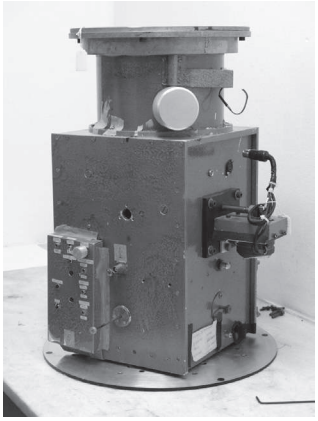
instrumentos para telescópios da classe de 8 m, além de desenvolver a instrumentação embarcada em satélites (ver o Capítulo "Astronomia espacial" neste Volume). Neste Capítulo focalizaremos principalmente o desenvolvimento da instrumentação **óptica** e infravermelha.

Polarímetro do IAG

Na segunda metade da década de 1970, poucos anos antes da criação do OPD, a equipe de **polarimetria** do Departamento de Astronomia do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da USP, liderada por Sayd Codina-Landaberry e Antônio Mário Magalhães, reconhecendo o potencial da técnica de **polarimetria**, mas, verificando a pouca disponibilidade de polarímetros, resolveu desenvolver no Brasil um equipamento que pudesse ser utilizado no telescópio de 60 cm do IAG/USP instalado no Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos, SP, como também em outros observatórios.

O polarímetro desenvolvido usava lâmina de calcita para separar a luz polarizada, um *chopper* (disco com furos equidistantes que, ao girar, interrompe periodicamente a passagem do feixe de luz), uma roda de filtros e uma fotomultiplicadora RCA7326 como detector (Laporte *et al.*, 1979). Esse instrumento foi utilizado em Valinhos, no CTIO (*Cerro Tololo Inter-American Observatory*), no Chile e no OPD.

Os resultados obtidos fizeram com que uma nova linha de pesquisa se desenvolvesse no Brasil, assim como uma série de polarímetros que substituíram esse equipamento original, estando agora um de terceira geração em utilização no OPD (Figura 1) e um novo instrumento em planejamento (ver adiante).



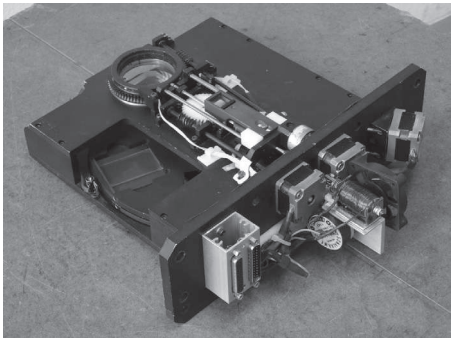


Figura 1. Polarímetro do IAG desenvolvido na década de 1970 (esquerda) e sua versão mais recente que opera no OPD com detectores CCD (direita).(Fotos Bruno Castilho)

Primeiros instrumentos para o OPD

FOTEX

Em 22 de abril de 1980, os primeiros fótons de um objeto astronômico foram coletados pelo telescópio Perkin & Elmer (P&E) de 1,6 m do OPD. Nessa época estava em operação nesse telescópio o **espectrógrafo *coudé*** adquirido com o telescópio, a câmara fotográfica que utilizava placas de vidro de 20 cm x 25 cm e o FOtômetro TEXas (FOTEX).

Adquirido da Universidade do Texas em Austin pelo ON, através de negociações lideradas por Luiz Muniz Barreto e Germano Quast, o FOTEX (Figura 2) chegou ao Brasil em meados da década de 70, quando o OPD estava em fase de construção. Para que não ficasse sem utilização, esse instrumento foi instalado no telescópio de 60 cm do Observatório de Valinhos (IAG/USP) e operou até a inauguração do OPD. Ao ser trazido para o OPD para ser instalado no telescópio P&E, foi necessária uma readaptação/reconstrução de seus módulos de controle e de leitura de dados. Para alguns astrônomos esse trabalho de instalação e adaptação do FOTEX, com a construção de *hardware* de eletrônica pela equipe do OPD (então uma divisão do ON), liderada pelos engenheiros Laércio Caldeira e Humberto Chiaradia, pelo tecnólogo Clemens Gneiding e o astrofísico Francisco Jablonski, pode ser considerado o início do desenvolvimento de instrumentação nesse Observatório. Entretanto, somente dois anos depois, o primeiro instrumento astronômico **óptico** desenvolvido no Brasil entraria em funcionamento no OPD.

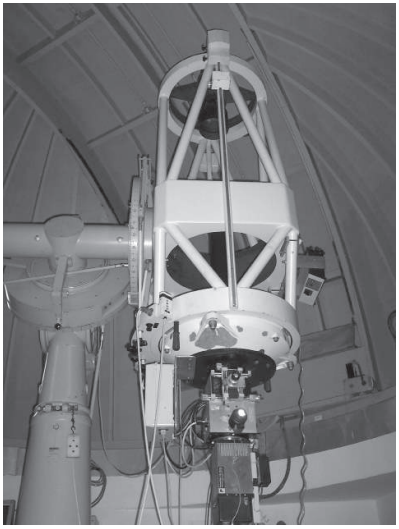


Figura 2. FOTEX em operação no telescópio Zeiss do OPD (Foto Rodrigo Prates Campos)

FOTRAP

O FOTRAP (FOTômetro RÁPido) entrou em operação no OPD em 1982, mas sua gestação começou cerca de uma década antes, quando já era discutida a criação do Observatório Astrofísico Brasileiro (OAB), atual Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA). Como relatado por Jair Barroso (Barroso *et al.*, 1986; Barroso, 1999a e Barroso, 1999b), a ideia do desenvolvimento desse instrumento "surgiu em razão da necessidade de se obter dados sobre variações rápidas de fluxo provenientes de objetos cuja física associada era mal conhecida", "após o colóquio sobre *flare stars*[3] realizado no ITA[4] em São José dos Campos".

Assim como os equipamentos atuais, o FOTRAP (Figura 3) foi desenvolvido com uma mistura de tecnologia nacional e componentes importados. Mesmo sendo um instrumento hoje considerado relativamente simples, o FOTRAP empregava um conceito inovador ao sincronizar uma roda de filtros (U, B, V, R, I) girando em alta velocidade com a leitura da fotomultiplicadora para fornecer dados em 5 **bandas** fotométricas com **resolução** temporal de até 5 ms. Certamente representou grande desafio para a equipe de desenvolvimento em várias áreas como óptica, mecânica, eletrônica e aquisição de dados.

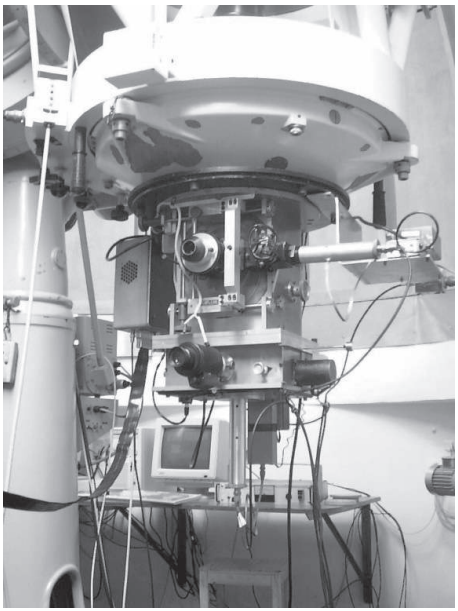


Figura 3. FOTRAP instalado no telescópio Zeiss do OPD
(Foto Rodrigues Prates Campos)

[3] *Flare stars* são estrelas **anãs vermelhas** eruptivas.
[4] Instituto Tecnológico de Aeronáutica (hoje DCTA), São José dos Campos, SP.

Os detalhes sobre o desenvolvimento desse projeto, as pessoas envolvidas e os desafios encontrados são relatados em detalhe nas referências supracitadas. Uma descrição das características do sistema fotométrico usado no FOTRAP e seu modo de operação podem ser encontrados em Jablonski *et al.,* 1994. O instrumento operou no OPD, sendo instalado tanto no telescópio P&E quanto nos dois outros telescópios de 60 cm. Desde então, dezenas de artigos e teses foram produzidos com dados obtidos com esse instrumento (http://www.lna.br/lna/public/opd/public.html). Ele foi descomissionado em 2011 em razão das novas estratégias para o OPD (Dominici, 2011) e opera agora somente no modo visitante[5].

Detectores eletrônicos no OPD

Reticon, OMA1 e OMA3

Até 1988 o OPD operava com a câmara fotográfica ***Cassegrain*** utilizando placas fotográficas, o **espectrógrafo *coudé***, o FOTEX e o FOTRAP. Justamente nessa primeira década de operação do OPD estavam sendo desenvolvidos e utilizados em vários observatórios no mundo, detectores eletrônicos para substituir as placas fotográficas. Os detectores apresentavam perda na área coletora, mas traziam um aumento significativo de sensibilidade e linearidade na resposta.

Durantes esses anos foram realizadas várias experiências com detectores eletrônicos no OPD, entre as quais podemos citar o Reticon (ver "Desvendando o universo com grandes mapeamentos" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume), o OMA1 (Vidicon) e o detector linear OMA3.

Esses instrumentos foram basicamente adquiridos no exterior e adaptados para uso no OPD e não serão detalhados neste Capítulo como desenvolvimento de instrumentação astronômica nacional. Entretanto, certamente os trabalhos de adaptação, instalação e reformulação realizados tanto no *hardware* quanto nos *softwares* pelas equipes do ON, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e LNA foram extremamente importantes para criar a cultura de instrumentação no país e treinar os engenheiros e técnicos nacionais nas novas tecnologias ópticas e eletrônicas.

---

[5] Os instrumentos disponibilizados por um observatório em geral têm sua manutenção e operação também sob responsabilidade do mesmo observatório, mas alguns instrumentos podem ser disponibilizados no modo visitante, sendo que a responsabilidade por sua manutenção e suporte para uso fica a cargo do grupo que leva o instrumento para o observatório ou requisita sua instalação, como é o caso atualmente do FOTRAP.

Câmara imageadora Cam 1

A década de 80 viu uma revolução na instrumentação astronômica. Seguindo os passos dos primeiros detectores de estado sólido, o desenvolvimento dos CCDs (*Charge Coupled Devices*), muito mais sensíveis e com maior área que os sensores anteriores, permitiram à astronomia um salto de qualidade na detecção de imagens e **espectros**.

No fim da década de 80, concomitantemente à aquisição do primeiro detector CCD científico para o OPD, a equipe de instrumentação da Divisão de Astronomia do INPE, em colaboração com o LNA, iniciou o projeto e construção da Cam 1, uma câmara imageadora com detector CCD para o OPD. Essa câmara instalada no OPD em 1989 substituiu gradativamente as placas fotográficas utilizadas para imageamento.

Essa câmara teve o seu desenvolvimento acompanhado pelos tecnólogos do INPE, Clemens Gneiding e René Laporte que, com outros pioneiros da instrumentação nacional, criaram a base para os projetos atuais. Com exceção do detector, o restante dos sistemas mecânicos, ópticos e eletrônicos foram projetados e construídos localmente (Figura 4).

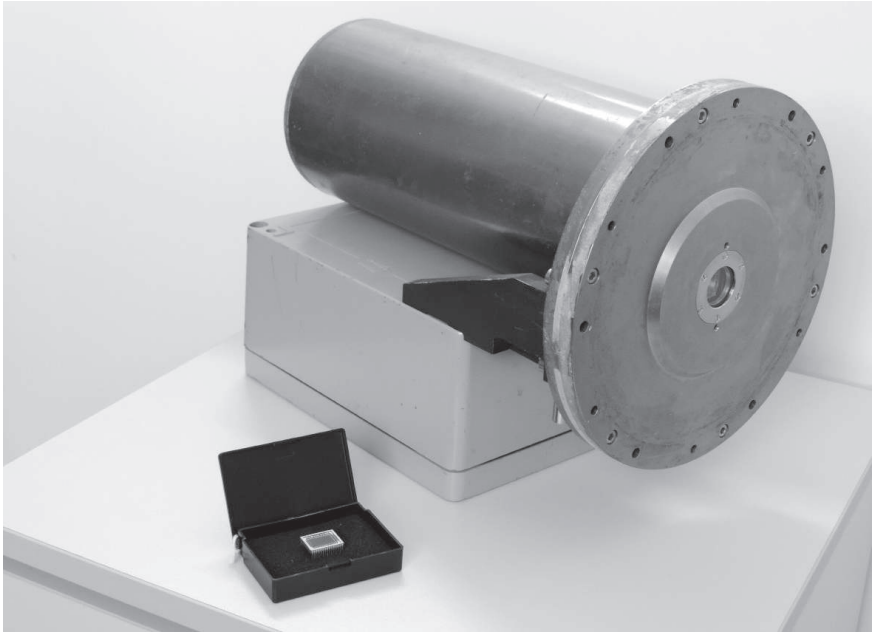


Figura 4. Primeira câmara CCD, da *Wright Instruments*. Atualmente em exibição no prédio sede do LNA em Itajubá, MG (Foto: Bruno Castilho)

Câmara Infravermelha (CamIV)

Com a instalação de câmaras CCD no OPD foi dado grande passo na modernização do Observatório e o nível de pesquisas que poderiam ser realizadas se elevou dramaticamente. Mas ainda faltava um passo: aumentar a faixa de comprimentos de onda observáveis do **espectro** eletromagnético, a faixa do infravermelho.

Para suprir essa necessidade foi iniciado em 1997 o projeto de aquisição e instalação de uma câmara infravermelha para o OPD sob a liderança do pesquisador Francisco Jablonski (INPE). Esse projeto estava inserido nos objetivos do Núcleo de Excelência Galáxias: Formação, Evolução e Atividade (NexGal), do Ministério da Ciência, Tecnologia (hoje MCTI) com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), coordenado pela professora Sueli Viegas, do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da USP.

A Câmara Infravermelha (CamIV) foi adquirida da empresa *Infrared Laboratories* (Tucson, AZ) e teve seu *software* de controle e aquisição de dados desenvolvido pela equipe do projeto no Brasil, sob a liderança do INPE (Figura 5). Ela iniciou suas observações em março de 1999. A câmara é baseada em um detector do tipo HAWAII (*Rockwell Sci.*) de 1024 x 1024 ***pixels*** de 18,5 μm/***pixel***, refrigerado a 77 K e sensível na faixa de 800 a 2.400 nm. No modo de imageamento direto e **polarimetria**, a CamIV produz um campo de 4' x 4' com escala de imagem de 0,25"/***pixel*** no telescópio de 1,6 m (8' x 8' com escala de imagem de 0,50"/***pixel*** no telescópio de 60 cm). Utilizada com o **espectrógrafo *coudé***, permite a realização de projetos espectroscópicos com poder de **resolução** *R* de até 20 mil (Boletim *online* USP 395, 1999).

Figura 5. A CamIV em operação no telescópio *Boller & Chivens* (B&C) de 60 cm no OPD (Foto Rodrigues Prates Campos)

Até 2000 o alvo principal dos desenvolvimentos de instrumentação **óptica** foi o OPD. Entretanto, outras equipes também realizaram projetos para o OPD e outros observatórios brasileiros, focalizando objetivos científicos mais específicos. Entre esses podemos citar o espectrofotômetro do ON (Codina-Landaberry *et al.*, 1986), a renovação dos equipamentos do Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos, SP, incluindo a implementação de detector CCD no **círculo meridiano** desse Observatório, o desenvolvimento de equipamento para o observatório do Morro de Santana da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a fabricação e patenteamento pela equipe do ON de um heliômetro para medida das variações da forma e do diâmetro do Sol.

O futuro do OPD

Em 2010 o OPD completou 30 anos de operação, tendo fornecido dados astronômicos para mais de uma geração de astrônomos brasileiros e gerado mais de 300 artigos em revistas internacionais arbitradas (Figura 6) e mais de 75 teses de doutorado e quase 100 dissertações de mestrado. Entretanto, com a evolução dos telescópios mundiais e o acesso do Brasil a telescópios mais modernos e de maiores diâmetros dos que os disponíveis no OPD, fazia-se necessária uma avaliação do futuro desse Observatório.

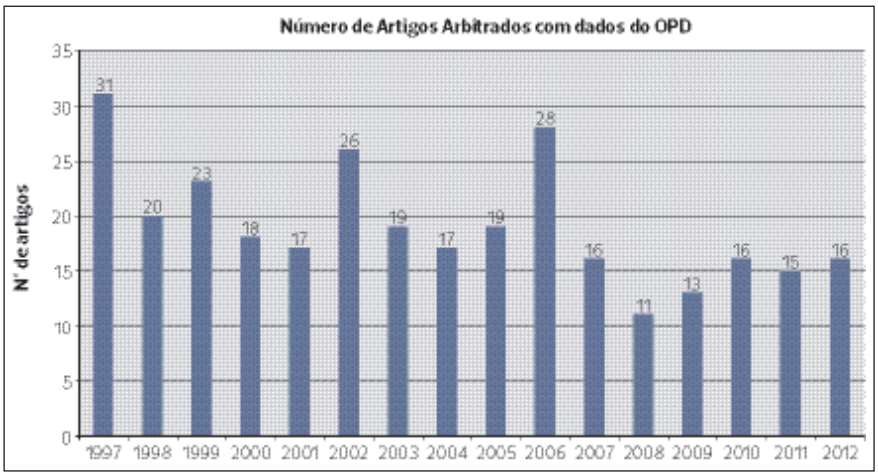


Figura 6. Publicações em revistas arbitradas incorporando observações realizadas com os telescópios do OPD entre 1997 e 2013. http://www.lna.br/lna/public/opd/public.html

Em março de 2010, o LNA promoveu o *Workshop* "OPD, SOAR e Gemini: Passado, Presente e Futuro". Para cada um desses observatórios foi dedicado um dia inteiro de palestras, mesas-redondas e discussões. No caso do OPD ficou claro que a comunidade desejava a manutenção do Observatório e que o mesmo deveria manter seu foco na pesquisa científica, mas, quanto a como realizar essa tarefa, a comunidade possuía opiniões fragmentadas e dispersas em relação ao futuro do Observatório (Dominici, 2011).

Para resolver essa questão foram criados 4 grupos de trabalho para discutir o futuro do OPD nos temas: nichos científicos, educação e treinamento, instrumentação e operações. Esses grupos, liderados pela pesquisadora do LNA, Tania Dominici, discutiram cada um dos assuntos e, como resultado, foi gerado um documento intitulado "Elaboração de Estratégias para o futuro do OPD" publicado no *site* do LNA em fevereiro de 2011: http://www.lna.br/opd/Grupos_de_trabalho_do_OPD_2011_final.pdf.

Na área de instrumentação, as diretrizes apontadas pela comunidade levaram a apoiar o desenvolvimento de novos instrumentos cientificamente competitivos nos principais nichos identificados como potencialmente ainda disponíveis para exploração no OPD: **polarimetria** e **espectroscopia** de alta **resolução**. Neste momento estão sendo desenvolvidos dois instrumentos para o OPD seguindo as diretrizes desse trabalho de avaliação:

ECHARPE (***Échelle*** de Alta **Resolução** para o P&E)

Um **espectrógrafo *échelle*** era uma solicitação antiga da comunidade astronômica brasileira, manifestada em diferentes ocasiões por vários de seus membros. Sua construção foi adiada para priorizar o desenvolvimento instrumental para o SOAR (ver adiante). Com a proximidade do término do **espectrógrafo** STELES (ver adiante), o LNA pôde dar início efetivo ao desenvolvimento de um equipamento semelhante para o OPD (Dominici, 2011).

O ECHARPE fornecerá um **espectro** com resolução $R \sim 50$ mil no intervalo de 390 a 900 nm em uma única exposição. Ele será um **espectrógrafo** de bancada, alimentado por duas fibras ópticas, sendo uma para o objeto e outra para a lâmpada de calibração ou o céu. O projeto óptico já foi concluído e o mecânico está em fase de detalhamento. Algumas partes óptico-mecânicas que puderam ser definidas até o momento já foram adquiridas, incluindo a própria rede ***échelle*** e os detectores CCD. A construção do ECHARPE terá início em 2014 e a previsão é que seja oferecido para a comunidade em 2015.

O ECHARPE (Figura 7) está sendo desenvolvido pelo LNA com financiamento[6] do MCTI, por meio de um projeto apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) liderado por Jorge Melendez (IAG/USP) e um projeto apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) liderado por Luiz Paulo Vaz, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O projeto óptico desse **espectrógrafo** foi realizado por Bernard Delabre do ESO (*European Southern Observatory*), baseado numa simplificação do STELES (ver adiante) e a pré-óptica, por Clemens Gneiding (LNA). O projeto mecânico foi realizado por Vanessa Macanham (LNA) e o projeto foi liderado até sua fase de desenho conceitual por Tania Dominici (LNA), com Bruno Castilho (LNA) como cientista do projeto (Dominici *et al*., 2012). Desde 2013 a construção do instrumento está sendo liderada por Vanessa Macanham (LNA).

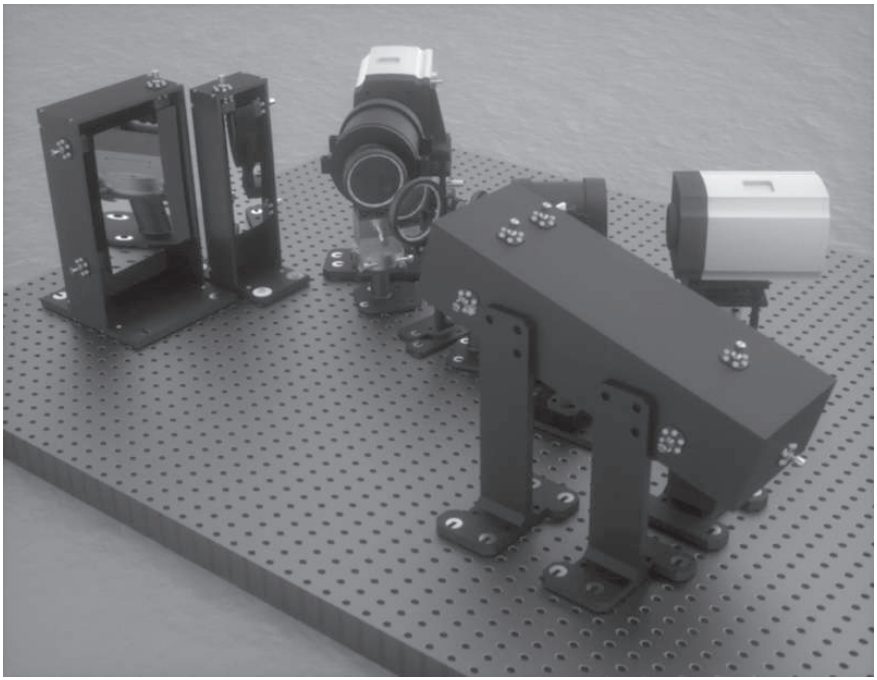


Figura 7. Representação artística do ECHARPE na bancada de montagem (Arte: Bruno Castilho)

[6] Mais sobre financiamento, ver "Quanto tem custado a astronomia no Brasil?" no Capítulo "Financiamento da astronomia" neste Volume.

SPARC4 (*Simultaneous Polarimeter and Rapid Camera in 4 Bands*)

Para suprir o nicho científico de **polarimetria** no OPD, foi proposta por Cláudia Rodrigues (INPE/MCTI) e colaboradores no fim de 2009 (Rodrigues e Jablonski, 2009) a construção de uma nova câmara imageadora e polarimétrica (Figura 8). O instrumento consiste em uma câmara com capacidade de obter imagens em 4 **bandas** fotométricas simultaneamente, tanto no modo polarimétrico quanto de imageamento com o sistema de filtros *g, r, i* e *z*, do SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*). Ele terá um campo de visão de 5′ x 5′ sem vinheta[7]. O projeto prevê que a câmara seja usada exclusivamente no telescópio P&E de 1,6 m (Dominici, 2011).

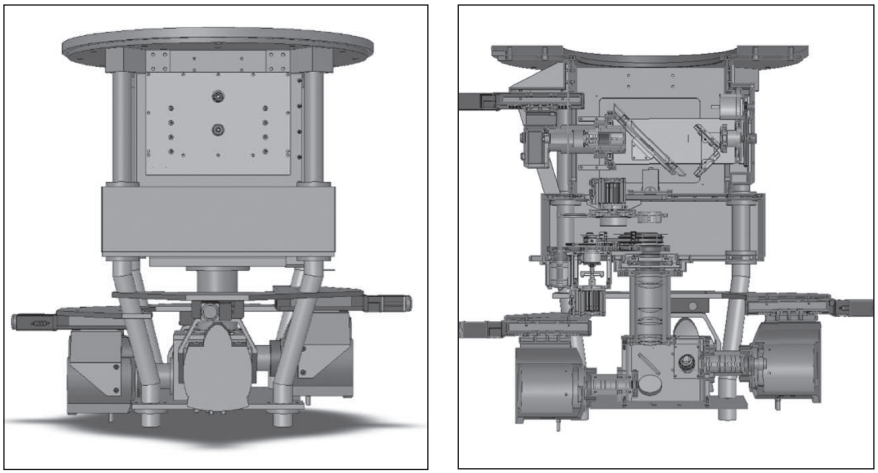


Figura 8. Modelo 3D do SPARC4 mostrando o instrumento completo à esquerda e um corte longitudinal que mostra a parte óptica à direita (Rodrigues *et al.*, 2012)

Em 2012 foi realizada no LNA a revisão de seu projeto conceitual por um comitê de pesquisadores e engenheiros do Brasil e do exterior. O projeto foi aprovado para a fase de detalhamento e foi solicitada verba da FAPESP para sua construção, que será liderada pelo INPE. O relatório da comissão avaliadora foi revisado pelo CTC (Conselho Técnico e Científico) do LNA que recomendou que o mesmo seja continuado para, posteriormente, ser avaliado como instrumento oficial do OPD (Rodrigues *et al.,* 2012).

[7] Vinheta (*vignetting*) designa um efeito óptico indesejável que consiste no obscurecimento ou redução do brilho de uma imagem quando se aproxima dos bordos.

Instrumentação para o SOAR

Como dissemos na Introdução, a entrada do Brasil no consórcio de construção do telescópio SOAR trouxe novo desafio para a astronomia brasileira: o contrato do SOAR incluía a instalação pelo Brasil de 2 instrumentos de grande porte para esse telescópio. As experiências anteriores de instrumentação mostraram que era possível, embora com grande dificuldade, a construção de instrumentos no país, mas os laboratórios de desenvolvimento, a indústria nacional e mesmo os engenheiros e astrônomos mais experientes não estavam ainda aptos a construir instrumentos desse porte. Era necessária a criação de infraestrutura e de nova cultura de instrumentação.

Felizmente esse momento coincidiu com a criação de grandes projetos como o PRONEX e os institutos do Milênio. A comunidade astronômica se aglutinou em torno desses projetos nos quais a instrumentação astronômica era parte integrante ou mesmo o objetivo principal. Além do projeto PRONEX NexGal mencionado acima, outro projeto fundamental para o desenvolvimento da instrumentação foi o Instituto do Milênio para Evolução de Estrelas e Galáxias na Era dos Grandes Telescópios (MEGALIT) focado em "Implementação de Instrumentação para o SOAR e GEMINI", coordenado por Beatriz Barbuy do IAG/USP de 2001 a 2005 (http://www.astro.iag.usp.br/~imilenio/). A colaboração iniciada nesses projetos, envolvendo dezenas de institutos e mais de uma centena de pesquisadores em torno de um objetivo comum, culminou na aprovação em 2009 do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Astrofísica (INCT-Astrofísica) que tem a missão de "inserir a astronomia brasileira no futuro da astronomia mundial". Coordenado por João Steiner (IAG/USP), esse Instituto reuniu 144 cientistas com doutorado, de 27 instituições consolidadas e emergentes, que formaram uma rede para desenvolver os objetivos do projeto (http://www.astro.iag.usp.br/~incta/index.htm).

Espectrógrafo de fibras ópticas *Eucalyptus*

Em 1999, com a confirmação da decisão do Brasil de construir um **espectrógrafo** alimentado por fibras ópticas para o telescópio SOAR, ficou reforçada a necessidade de se criar novos laboratórios de instrumentação e capacitar pessoal técnico e científico para essa tarefa. Uma das principais áreas que necessitava ser desenvolvida era obviamente a de fibras ópticas.

Em 2000, com a contratação do pesquisador Antonio Cesar de Oliveira[8]

[8] Antonio Cesar de Oliveira e o engenheiro mecânico Fernando Santoro fizeram pós-doutoramento no exterior incentivados pelo então diretor do LNA, João Steiner.

pelo LNA, recém-chegado de um pós-doutorado no *Anglo-Australian Observatory*, atual *Australian Astronomical Observatory* (AAO), deu-se início à construção do novo laboratório de fibras ópticas nas dependências do OPD/LNA, dirigido na época por Clemens Gneiding. As instalações iniciais eram precárias e a maior parte do equipamento tinha sido construída no próprio OPD pela equipe de tecnólogos e técnicos do LNA. O principal desafio da nova equipe era polir e montar fibras ópticas no Brasil com a qualidade necessária para instrumentos **ópticos** internacionais. Para complicar ainda mais a situação, o desenho óptico do SIFS[9] (*SOAR Integral Field Unit Spectrograph*) exigia a utilização de 1.300 fibras ópticas com núcleo de 50 mm de diâmetro para se adaptar ao tamanho do detector CCD e do campo de visão da unidade de campo integral ou **IFU** (*Integral Field Unit*). A equipe do SIFS considerava factível construir a **IFU** com essas fibras, mas como a tecnologia de fibras ainda era recente e historicamente outros **espectrógrafos** utilizavam fibras de 100 a 200 mm de diâmetro, os parceiros do SOAR e os revisores do projeto ficaram preocupados com a possibilidade das fibras de 50 mm inviabilizarem o projeto.

Para testar o desenvolvimento no Brasil do processo que tinha sido realizado pela equipe do AAO na Austrália com a participação de Antonio Cesar de Oliveira, decidiu-se construir no LNA um protótipo do SIFS, utilizando 512 fibras de 50 mm, que seria então instalado no telescópio P&E do OPD. A equipe de desenvolvimento desse protótipo era praticamente a mesma do SIFS, adicionada dos tecnólogos e técnicos do OPD liderados por Francisco Rodrigues, especialmente na área de automação e fabricação mecânica.

O projeto óptico do **espectrógrafo** foi encomendado ao mesmo projetista do SIFS (Damien Jones, da Austrália), que propôs para esse instrumento, que deveria ser simples e compacto, um desenho *quasi-Littrow* clássico[10], baseado no **espectrógrafo** SPIRAL do AAO, utilizando como dispersores[11] as mesmas redes utilizadas pelo **espectrógrafo *coudé*** do telescópio P&E. A óptica do **espectrógrafo** foi fabricada pelo *Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Eletronica* do México (INAOE), que foi escolhido pelo seu baixo custo e acessibilidade. A construção mecânica e automação foram realizadas no próprio LNA e por empresas nacionais. O projeto mecânico, baseado no do **espectrógrafo** SPIRAL (AAO) e o sistema de controle, ficaram sob a responsabilidade

---

[9] Ver adiante a construção do **espectrógrafo** SIFS para o telescópio SOAR.

[10] Nessa configuração, a luz vinda do telescópio atinge a rede de difração passando por um conjunto de lentes e, depois, chega ao detector passando novamente pelo mesmo caminho no sentido inverso. Isto reduz o número de componentes ópticos e o tamanho do instrumento.

[11] Dispersor é um elemento óptico que dispersa a luz em seus vários comprimentos de onda.

da equipe liderada por Francisco Rodrigues (LNA) com colaboração de engenheiros da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

A construção do protótipo apresentou vários desafios, tais como encontrar empresas nacionais capacitadas e dispostas a fabricar componentes especiais para astronomia com especificações restritas e superar a grande burocracia, principalmente nas importações. Ainda assim, o desafio maior foi, sem dúvida, a montagem do cabo de fibras ópticas.

Superando todos os problemas e a dificuldade de lidar com fibras tão finas, o protótipo foi instalado com sucesso no telescópio P&E em 2003. Foi o primeiro **espectrógrafo** astronômico a operar com fibras de 50 mm de diâmetro (Figura 9). Em homenagem à colaboração da equipe do AAO no desenvolvimento do processo de polimento de fibras de 50 mm de diâmetro e na oportunidade de treinamento da equipe brasileira naquele Observatório, o **espectrógrafo** foi denominado *Eucalyptus*, árvore de origem australiana que se desenvolveu muito bem em solo brasileiro.

O **espectrógrafo** conta com uma **IFU** de 512 fibras, montada em uma matriz de 16 x 32 microlentes cilíndricas de 1 mm, cada uma cobrindo um campo de 0,93", resultando num campo total de visão de 15" x 30". Ele trabalha na faixa espectral de 350 a 1000 nm, utilizando redes de difração de 600 e 1.800 linhas/mm (Oliveira *et al.,* 2003 e http://www.lna.br/opd/instrum/manual/Manual_160mOPD_Cap4.pdf).

Uma equipe designada pelo SOAR visitou o OPD na época de seus testes de comissionamento e pôde observar o desempenho do **espectrógrafo** *Eucalyptus*. Concordaram, então, com o procedimento do projeto SIFS utilizando as mesmas fibras ópticas.

Figura 9. O *Eucalyptus* sendo montado no OPD. À esquerda, da esquerda para a direita: Rodrigo Prates Campos, Francisco Rodrigues, Antonio Cesar de Oliveira (todos do LNA) e Jacques Lépine (IAG/USP), de costas. À direita: o *Eucalyptus* em operação na sala do **espectrógrafo *coudé*** sendo vistoriado pela equipe do SOAR
(Fotos Rodrigo Prates Campos e Clemens Gneiding)

Outro desafio, tanto para o *Eucalyptus* quanto para o SIFS, deveu-se à separação mínima entre as fibras ópticas. Pela mesma razão da escolha de fibras tão finas para que fosse minimizado o tamanho da óptica e do detector, as fibras foram posicionadas muito próximas entre si na fenda do **espectrógrafo**. Essa escolha gerava um problema que era a contaminação do **espectro** gerado no detector por uma determinada fibra óptica pelas suas vizinhas. Para solucionar essa contaminação, a equipe de *software* do SIFS, liderada por Antônio Kanaan Neto, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), desenvolveu um *software* de redução de dados inovador utilizando técnicas de deconvolução de gaussianas, tendo o **espectrógrafo** uma máscara seletora de fibras durante a tomada de imagens de calibração, com as quais é possível separar os **espectros** da cada fibra óptica com um mínimo de contaminação (Kanaan *et al.,* 2007).

O **espectrógrafo** operou no telescópio P&E de 2003 a 2011, quando foi retirado de uso devido à sua pouca utilização e necessidade de se otimizar e simplificar as operações do OPD. Embora em sua vida útil não tenha produzido tantos artigos como seria de se esperar (isto se explica tanto pela magnitude limite dos objetos observáveis, quanto pela complexidade de operação e análise dos dados), o *Eucalyptus* foi o primeiro **espectrógrafo** astronômico construído no Brasil, o primeiro do mundo a utilizar fibras de 50 mm de diâmetro e abriu o caminho para projetos cada vez mais complexos.

Espectrógrafo de fibras ópticas SIFS

Em 1999 foi realizada reunião no auditório do IAG que definiria alguns dos próximos passos importantes na história da instrumentação no Brasil. Reunidos os parceiros e a equipe do SOAR, foram discutidos quais os instrumentos prioritários para o telescópio, entre os quais o Brasil ficaria responsável pela construção do **espectrógrafo** de fibras ópticas com **IFU**, baseado na proposta liderada por Jacques Lépine (IAG/USP) submetida ao SOAR em outubro de 1998.

Construir um instrumento deste porte no Brasil pela primeira vez por si só já era uma tarefa desafiadora, mas muito mais por se tratar de um **espectrógrafo** de campo integral com fibras ópticas. As primeiras ações eram sem dúvida capacitar pessoal na área e identificar laboratórios e empresas que pudessem realizar partes do projeto. Foi quando o diretor do LNA na época, João Steiner (IAG/USP), enviou dois pós-doutores para treinamento no exterior: o físico Antonio Cesar de Oliveira foi para o AAO trabalhar com o grupo de fibras ópticas e o engenheiro mecânico Fernando Santoro foi

para o CTIO no Chile para trabalhar no desenvolvimento do ISB (*Instrument Selector Box*, módulo que, ligado ao telescópio, permite selecionar qual será utilizado, entre até 4 instrumentos instalados) do telescópio SOAR. Ambos posteriormente foram contratados pelo LNA.

Por outro lado, o IAG ficou responsável por identificar os projetistas óptico e mecânico para o instrumento. Os trabalhos iniciais foram feitos pelo projetista óptico Gilberto Moretto e pela empresa LEG Engenharia, de São José dos Campos, SP. Parte do financiamento inicial (2003-2006) foi fornecida pelo Instituto do Milênio MEGALIT e a parte principal por um projeto temático com a FAPESP liderado por Beatriz Barbuy (IAG/USP), sendo posteriormente complementado por verbas do LNA. O custo total do instrumento foi cerca de US$ 1,5 milhão.

Após a primeira revisão internacional do projeto em 2001, ficou claro que modificações radicais teriam que ser feitas no conceito. O desenhista óptico Damien Jones da Austrália assumiu o desenho óptico e a equipe do LNA (engenheiros Fernando Santoro, Vanessa Macanham, Francisco Rodrigues e Paulo Silva) assumiu o projeto mecânico, de controle e fabricação mecânica do **espectrógrafo**. Retornando da Austrália, Cesar de Oliveira deu início à construção do laboratório de fibras ópticas do LNA, onde foi construído o cabo de fibras do *Eucalyptus* (ver acima) e o projeto de desenvolvimento dos laboratórios de grande porte iniciado no LNA (ver abaixo).

O início da construção do SIFS mostrou que os laboratórios necessários para fabricação, testes e integração do instrumento teriam que ser construídos, pois as instalações disponíveis eram muito aquém do necessário. Nesta fase a liderança do projeto migrou gradativamente do IAG para o LNA e o tecnólogo Clemens Gneiding ficou responsável pelo desenvolvimento do projeto e o pesquisador inglês Keith Taylor foi contratado como consultor para a gerência do projeto. Paralelamente, a equipe liderada por Antônio Kanaan trabalhava no desenvolvimento do *software* de redução de dados, que também foi um desenvolvimento desafiador devido às características especiais de como as fibras deveriam ser montadas na fenda do **espectrógrafo**.

A fase de construção foi longa devido à necessidade de aprendizado em várias áreas e também devido a entraves burocráticos principalmente na área de importação. O fim da construção foi liderado por Cesar de Oliveira devido ao afastamento temporário de Clemens Gneiding por razões de saúde. Em 2009 o instrumento foi enviado ao Chile para instalação e testes no SOAR (Figura 10). Uma equipe do LNA e do SOAR instalou o equipamento e realizou os primeiros testes de laboratório. Em 28/4/10 o instrumento realizou a primeira observação de objeto astronômico (http://www.soarteles-

cope.org/news/sifs-first-light). Infelizmente, devido a condições climáticas extremas, ainda durante a fase de comissionamento científico em 2011, um dos tripletos ópticos da câmara teve problemas no adesivo (ocorreu um cisalhamento na cola abaixo da temperatura de 11 C) e, neste momento (2013), o SIFS se encontra em processo de manutenção. Espera-se que em 2014 ele volte a operar normalmente.

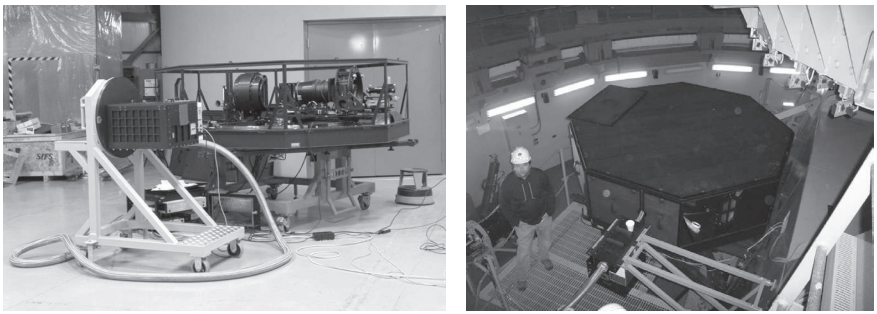


Figura 10. O *SIFS* após a primeira montagem no setor térreo do SOAR (esquerda) e já montado no telescópio (direita) (Fotos Bruno Castilho)

Câmara Infravermelha Spartan

Outro instrumento desenvolvido pelos parceiros do SOAR foi a câmara infravermelha Spartan. Esse projeto foi desenvolvido na *Michigan State University* (MSU) sob a liderança do astrofísico Edwin Loh. Devido ao interesse crescente da comunidade astronômica na área do infravermelho e da disposição de equipar o SOAR com a melhor instrumentação, o Brasil colaborou no desenvolvimento e financiamento desse instrumento. Verbas do PRONEX e do Instituto do Milênio (FAPESP e CNPq) foram utilizadas na aquisição de dois dos quatro sensores infravermelhos da câmara e o pesquisador Francisco Jablonski e o engenheiro René Laporte (ambos do INPE) participaram ativamente do desenho e construção da câmara (Loh *et al.*, 2004).

O instrumento pode fazer imageamento e **espectroscopia** de baixa resolução no infravermelho. Sua faixa espectral é de 1 a 2,5 μm. Tem duas escalas de placa: 0,041”/***pixel*** nas **bandas** espectrais H e K, e 0,068”/***pixel*** para cobrir um campo de 5’ x 5’. A câmara foi instalada no SOAR em 2009 e oferecida aos usuários em 2010 (Figura 11). Está em operação sendo utilizada por todos os parceiros e tendo fornecido dados para vários artigos astronômicos (Loh *et al.*, 2012).

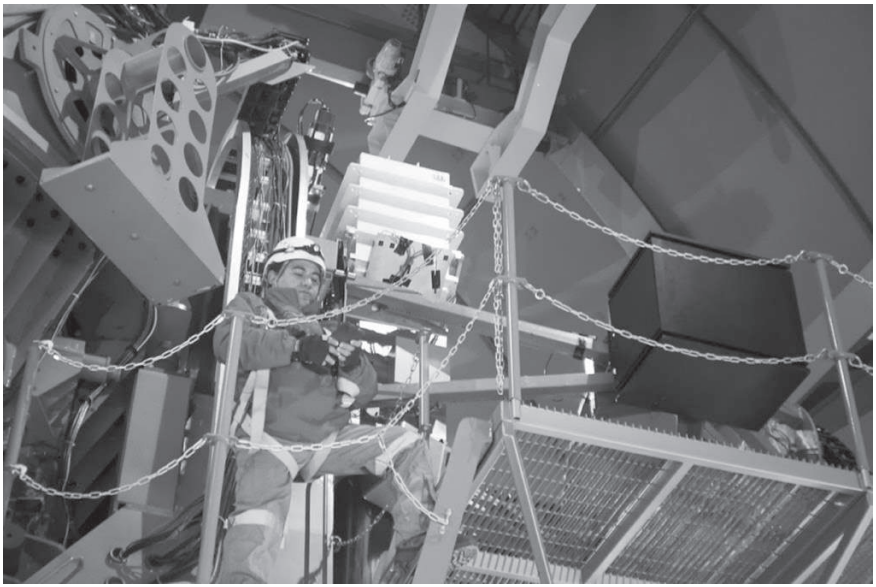


Figura 11. Câmara Spartan operando no SOAR. Na foto o técnico do SOAR Gerardo Gomes (Foto Bruno Quint)

Espectrógrafo *échelle* STELES (*SOAR Telescope* ***Échelle*** *Spectrograph*)

Entre as áreas de pesquisa na astronomia brasileira, a **astrofísica** estelar se destaca. Entre as ferramentas utilizadas para essa área, uma das principais é a **espectroscopia** de alta **resolução**. Mas um **espectrógrafo** para atender essa demanda eficientemente sempre faltou na infraestrutura disponível. Por isso, como parte da colaboração brasileira na segunda geração de instrumentos do telescópio SOAR, a comunidade astronômica brasileira propôs a construção de um **espectrógrafo** de alta **resolução** com capacidade de obter dados desde o ultravioleta próximo até o vermelho.

Em outubro de 2001 os astrônomos brasileiros interessados nesse instrumento se reuniram no ON, no Rio de Janeiro e, na presença de especialistas estrangeiros, foi discutida qual seria a ciência pretendida e que instrumento se adequaria para fornecer os dados necessários. Tudo apontava para um instrumento similar ao **espectrógrafo** UVES (*Ultraviolet and Visual* ***Échelle*** *Spectrograph*) do VLT (*Very Large Telescope*)[12] do ESO (http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/

[12] O VLT (*Very Large Telescope*) do ESO está instalado no Cerro Paranal, nos Andes chilenos, e consiste em 4 telescópios de 8 m que podem operar independente ou conjuntamente.

instruments/uves/), mas esse era um instrumento muito grande e pesado, além de caro, para ser instalado no SOAR. O autor deste texto foi então indicado para coordenar a tarefa de dar prosseguimento a esta iniciativa e encabeçar projeto conceitual que satisfizesse os requisitos científicos, tivesse porte compatível com o telescópio SOAR e ainda coubesse dentro de um orçamento razoável.

Com o auxílio do projetista óptico do ESO, Bernard Delabre, e do consultor óptico norte-americano Robert G. Tull (Universidade do Texas em Austin), da equipe do LNA e da colaboração de vários astrônomos nacionais (e estrangeiros), chegou-se finalmente em 2003 a um projeto conceitual que atendia às expectativas. O **espectrógrafo** é um ***échelle***, alimentado pelo foco Nasmith (foco do telescópio que permite que o **espectrógrafo** fique fixo em uma posição, independentemente do movimento do telescópio) do SOAR. Ele cobre toda a região espectral de 300 a 900 nm, em uma única exposição com alta **resolução** (R = 50 mil). A eficiência global planejada do instrumento é de 25% em 650 nm e 10% em 320 nm. O instrumento mede 1,8 m x 1,5 m e pesa apenas 900 kg (instrumentos similares têm quase o dobro do tamanho e o triplo do peso). Para atender os requisitos técnicos, tamanho, peso e custo foram necessárias várias inovações técnicas, tanto na área óptica quanto mecânica (Castilho *et al.*, 2004).

O financiamento inicial (2003-2006) veio do Instituto do Milênio MEGALIT e do LNA e, posteriormente, de um projeto temático da FAPESP liderado por Augusto Damineli (IAG/USP) com verbas adicionais do CNPq e da FAPEMIG. O custo total do instrumento é de cerca de US$ 2 milhões que, para um instrumento desta classe, é inferior à metade do custo tradicional.

O instrumento está na fase de montagem nos laboratórios de integração do LNA (Figura 12). Espera-se que seja terminado e enviado para o SOAR em 2014 e oferecido para a comunidade astronômica em 2015.

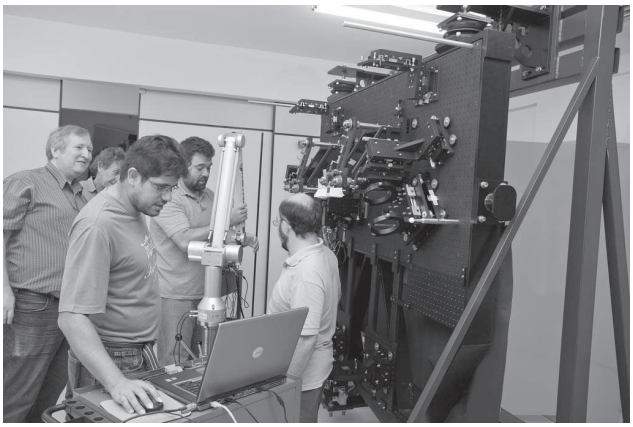


Figura 12. O **espectrógrafo** STELES sendo montado no laboratório de integração do LNA. A partir da esquerda: Clemens Gneiding, Bernard Delabre (ESO), Marcio Arruda, Bruno Castilho e Flávio Ribeiro (Foto Clemens Gneiding)

Brazilian Tunable Filter Imager (BTFI)

O conceito deste projeto surgiu no IAG/USP sob a liderança da pesquisadora Cláudia Mendes de Oliveira. No fim de 2006, quando o pesquisador Keith Taylor visitou o Brasil para trabalhos no SIFS, ele e Cláudia Oliveira, que já era usuária de instrumentos similares no ESO e no CFHT (*Canada-France-Hawaii Telescope*), discutiram a possibilidade de construir um imageador tipo **Fabry-Pérot** para o telescópio SOAR. O primeiro financiamento da FAPESP para esse projeto foi aprovado em junho de 2007, dando início ao seu desenvolvimento através de bolsas de capacitação técnica que atraíram estudantes de física e engenharia. O BTFI poderá ser usado tanto sozinho, quanto acoplado ao módulo de **óptica adaptativa** do SOAR, o SAM (*SOAR Adaptative Module*), que corrige distorções da atmosfera utilizando uma estrela padrão artificial criada por laser. Esse instrumento oferece novas capacidades científicas importantes para a comunidade astronômica SOAR, desde estudos dos centros de **galáxias** próximas e do **meio insterestelar** a investigações cosmológicas estatísticas. O conceito tira proveito de novas tecnologias, tais como as redes de difração holográficas (**redes holográficas**) e uma nova versão de **Fabry-Pérot** que utiliza as mais modernas tecnologias disponíveis no mercado, podendo gerar diversas **resoluções** espectrais (Mendes de Oliveira *et al*., 2013).

O projeto foi desenvolvido pelo IAG/USP e INPE e com contribuição do LNA, principalmente no financiamento e através da utilização dos laboratórios ópticos. O instrumento se encontra atualmente no SOAR em fase de testes dos elementos ópticos dispersivos (Figura 13). Deverá ser oferecido à comunidade usuária em 2014.

Figura 13. O BTFI sendo erguido para instalação de teste no SOAR. De costas, no primeiro plano: Cláudia Oliveira e Keyth Taylor
(Foto Denis Andrade)

Desenvolvimento laboratorial e capacitação de pessoal

Laboratórios

Como dissemos acima, o início da construção do SIFS deixou claro que a infraestrutura laboratorial para instrumentação astronômica era incipiente e insuficiente para a construção de instrumentos dessa classe. Foi necessário então um esforço direcionado para criar essa infraestrutura, tanto com novos espaços físicos para os laboratórios, quanto com novo ferramental e equipamentos de fabricação e metrologia.

O LNA encampou esta necessidade, incluindo a instrumentação astronômica como um de seus eixos estratégicos no planejamento diretor da instituição. Durante a direção de Albert Bruch de 2002 a 2011, devido aos bons resultados da economia nacional, foi possível uma recomposição do orçamento dos institutos do MCTI, assim como a criação de um programa de renovação de infraestrutura (CT-INFRA). Esse cenário favorável possibilitou a construção de um novo prédio de laboratórios totalmente equipado. Inaugurado em 2006, o prédio de Laboratórios de Instrumentação, que abriga os novos laboratórios de desenvolvimento instrumental nas áreas de óptica, metrologia óptica e mecânica, fibras ópticas, detectores, engenharia eletrônica e mecânica, automação, controle e testes térmicos, vem sendo o berço da iniciativa de desenvolvimento de instrumentos científicos **ópticos** para vários telescópios nacionais e do exterior. A concretização desta iniciativa permitiu que o LNA e suas instituições parceiras tivessem os laboratórios e oficinas necessários para concepção, construção, caracterização, teste e integração da instrumentação que está sendo desenvolvida atualmente e que se pretende desenvolver no futuro previsível.

Além do LNA, o INPE é o único outro instituto de astronomia que tem laboratórios adequados para desenvolvimento de instrumentação astronômica de grande porte no país. Com grande tradição na área de instrumentação (terrestre e para satélites), o INPE não só colabora com o desenvolvimento de instrumentação **óptica** e radioastronômica, mas lidera os esforços em **altas energias** (ver o Capítulo "Astronomia espacial" neste Volume). O Laboratório de Integração e Testes (LIT/INPE) oferece capacidades únicas no país para testes em vácuo, temperatura e vibração.

Com o aumento da interação institucional na área de instrumentação astronômica, outros institutos e universidades (IAG/USP, UFSC e Universidade Federal do Rio Grande do Norte — UFRN) vêm estudando nichos de desenvolvimen-

to de instrumentação, complementares aos já existentes, e planejam a construção de seus próprios laboratórios, além de incentivar a participação de institutos de física e engenharia (que têm seus próprios laboratórios) nos projetos.

A cultura de instrumentação e capacitação de pessoal

Mas somente desenvolver os laboratórios não era suficiente. Para implementar a cultura de instrumentação moderna na astronomia brasileira e reduzir o preconceito contra esse campo e sua "fatídica sina de acabar com a pesquisa dos astrônomos que caíssem em suas garras", era necessário trazer ao Brasil exemplos de sucesso.

Em novembro de 2003, numa iniciativa inédita no país dentro do contexto do Instituto do Milênio, foi organizado um *workshop* internacional sobre instrumentação astronômica, que foi realizado em Angra dos Reis, RJ. Mesmo com praticamente nenhuma tradição brasileira no campo de instrumentação, o *Optical and Infrared Astronomical Instrumentation for Modern Telescopes — Brazilian Workshop* reuniu cerca de 100 instrumentalistas de todo o mundo, oriundos das mais conceituadas instituições no ramo, além de engenheiros, pesquisadores e estudantes brasileiros, e serviu de apresentação tanto da instrumentação brasileira para os institutos internacionais, quanto do que estava sendo feito de melhor em instrumentação pelo mundo para a astronomia nacional (Castilho e Gneiding, 2003).

Este foi um primeiro passo para a integração de nossa comunidade de instrumentação no cenário mundial, mas que, mesmo incentivada por projetos posteriores, como o INCT-Astrofísica, ainda está muito aquém do desejado. Com o aumento das colaborações internacionais na área, espera-se que seja possível aumentar o intercâmbio de pessoal e melhorar a capacitação de nossas equipes. Por outro lado, recentemente temos observado aumento expressivo do número de dissertações e teses de doutorado envolvendo (ou completamente voltadas a) projetos de instrumentação, o que demonstra reconhecimento dos pesquisadores da importância desta área para a astronomia brasileira (http://www.lna.br/lna/public/publicg.html, abas de teses e dissertações).

Ferramentas para instrumentação

Além do desenvolvimento de infraestrutura laboratorial para desenvolver instrumentos astronômicos, o passo seguinte na realização de pesquisa em instrumentação é ter a capacidade de desenvolver ferramentas para o desenvolvimento de instrumentação científica, que ainda não estão disponíveis no mercado. Já estamos atingindo essa etapa e desenvolvendo equipamentos au-

xiliares que podem ser utilizados para o desenvolvimento de nossos projetos e serem usados pela indústria e outras áreas de pesquisa.

No início do projeto SIFS ficou claro que um dos pontos críticos do projeto seria a cobertura antirreflexiva das lentes. Na época estava em voga uma cobertura que podia ser aplicada a frio e que tinha larga cobertura espectral, o Sol-Gel. Foi criado no IAG um laboratório para se estudar a tecnologia de deposição deste gel e possivelmente aplicá-lo nas lentes do SIFS. Os esforços liderados por Jacques Lépine e o físico Militão Figueiredo levaram a várias conclusões, mas devido à pouca infraestrutura na área, não foram atingidos os resultados esperados e foi utilizada tecnologia comercial. Ainda assim, foi um passo importante para criar ferramentas para a instrumentação.

Com as dificuldades financeiras e burocráticas para realizar importações no começo da década de 2000, a equipe de fibras ópticas do LNA, liderada por Cesar de Oliveira, desenhou e construiu a própria máquina de polimento de fibras ópticas, que foi utilizada na confecção das unidades do *Eucalyptus*, SIFS e FRODOspec (ver abaixo).

Como dissemos acima, o laboratório de metrologia óptica do LNA tem a função estratégica de poder avaliar todos os componentes ópticos que são comprados (em geral importados) em sua qualidade e compatibilidade com as especificações. Mas, para se avaliar a eficiência de difração de prismas e redes, principalmente das novas **redes holográficas**, não havia nenhum instrumento disponível no mercado com os requisitos necessários. Decidiu-se que o LNA deveria desenvolver um equipamento para isso. Com a colaboração de Bernard Buzzoni, da divisão técnica do ESO, que discutiu o desenho do equipamento similar construído no ESO, Clemens Gneiding e o autor deste texto orientaram o estudante de física, Flávio Ribeiro, em sua dissertação de mestrado na UNIFEI, cujo tema era o desenvolvimento desse equipamento. A defesa de sua dissertação já apresenta os resultados de medidas de **redes holográficas** utilizando o instrumento do LNA, que agora está em operação regular e pode ser utilizado para medir de forma semiautomática a eficiência de prismas, redes e filtros não só para astronomia, mas também para fins acadêmicos de outras áreas e fins industriais (Ribeiro, 2010).

Outro equipamento que está em desenvolvimento no LNA pela mesma equipe é para a caracterização de fibras ópticas. Mesmo produzidas em escala industrial, as fibras ópticas apresentam variações de diâmetro e características depois de polidas que podem afetar muito o desempenho do equipamento. Os parâmetros fundamentais para se caracterizar uma fibra óptica são a transmissão e a degradação focal. No momento não existe no mercado equipamento que realize essas medidas e os que foram montados em diferentes laboratórios, usando aproximações diferentes, dão resultados discrepantes. Vários fabricantes de fibras ópticas não têm

capacidade para medir tais parâmetros em suas linhas de produção. Estamos desenvolvendo um equipamento que será utilizado como referência nesta medição e que poderá ser inclusive utilizado por fabricantes para caracterizar seus produtos.

O salto para 8 m e além

Abertura para o mercado internacional de instrumentação

O amadurecimento do desenvolvimento de instrumentação no país é um processo contínuo e, com certeza, ainda temos um longo caminho a percorrer para atingir a capacitação de nossas equipes e a profissionalização dos processos, mas como resultado do trabalho já realizado, o Brasil saiu do anonimato na área de instrumentação e passou a ser visto como potencial colaborador em vários projetos internacionais e até possível vendedor de instrumentação.

Em 2007 o LNA participou pela primeira vez de uma concorrência internacional para desenvolvimento de instrumentação. A *John Moores University*, de Liverpool, necessitava de um cabo de fibras ópticas para alimentar o seu **espectrógrafo** FRODOspec (*Fibre-fed RObotic Dual-beam Optical spectrograph*) para o telescópio de 2 m de Liverpool na ilha de La Palma, nas Canárias. Com a experiência do *Eucalyptus* e SIFS, foi apresentada proposta consistente tecnicamente e com preço competitivo em relação às outras equipes internacionais. O LNA venceu a concorrência e entregou o cabo no início de 2009. O **espectrógrafo** está em funcionamento (Figura 14) e as observações são realizadas remotamente da Inglaterra.

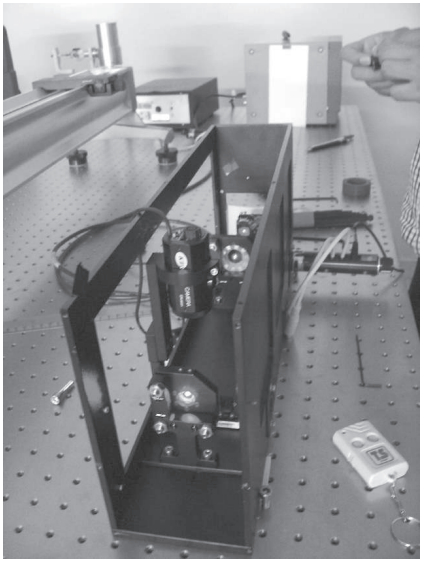


Figura 14. Unidade de acoplamento ao telescópio, do cabo de fibras do *FRODOspec* sendo testado no LNA (Foto Bruno Castilho)

Em 2009 o LNA participou com o *UK Technology Center*, Edinburgh, de uma concorrência para a construção de **espectrógrafo** para o observatório indiano no Himalaia e, em 2012, com o *National Optical Astronomical Observatory* (NOAO) e, depois, com a Universidade do Colorado para a construção do **espectrógrafo** de alta **resolução** do Gemini. Embora estas propostas não tenham sido as vencedoras, essas experiências ajudaram a consolidar o LNA como instituição desenvolvedora de instrumentação.

Atualmente o Brasil participa de várias iniciativas internacionais na área de instrumentação **óptica** e infravermelha. Entre outras podemos citar a participação do ON e IAG/USP na construção da câmara **óptica** do telescópio de 2,5 m de Javalambre na Espanha (J-PAS); LNA, UFMG e UFRN colaboram no projeto do espectropolarímetro infravermelho SPIRou (*SpectroPolarimètreInfraRouge*) do CFHT; a UFRN colaborou com o ESO no desenvolvimento da unidade de calibração a laser para o novo **espectrógrafo** de alta precisão de velocidade **radial**; o LNA e o IAG/USP colaboram no desenho do **espectrógrafo** ultravioleta do projeto CUBES (*Cassegrain U-band Brazilian-ESO Spectrograph*) para o VLT do ESO e na construção do cabo de fibras ópticas do **espectrógrafo** PFS (*Prime Focus Spectrograph*) do telescópio japonês Subaru, para múltiplos objetos no **óptico** e infravermelho próximo (Figura 15). Estes dois últimos projetos são internacionais para equipar telescópios de 8 m de diâmetro com instrumentação moderna e única. Com a perspectiva da participação do Brasil em pelo menos um dos projetos de construção de telescópios acima de 20 m de diâmetro, o horizonte se abre para novas colaborações em projetos cada vez mais ambiciosos e poderá trazer para o país possibilidades de desenvolvimento em novas áreas tecnológicas estratégicas, além de permitir aos nossos cientistas participação nas descobertas astronômicas mais importantes do século 21.

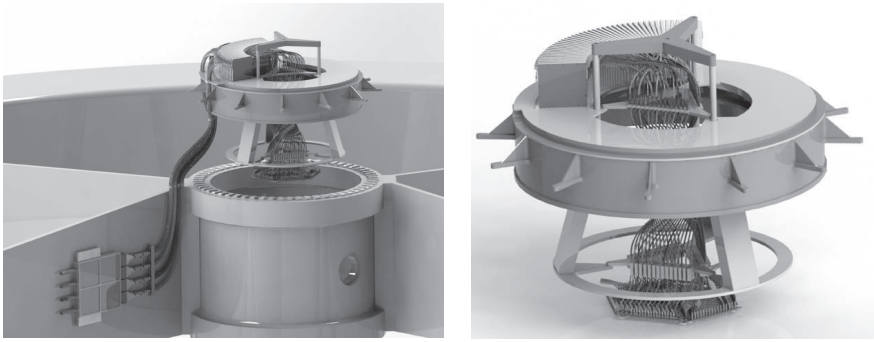


Figura 15. Modelo computacional da unidade de fibras ópticas do PFS no foco primário do telescópio Subaru (esquerda) e detalhe (direita). Modelagem e renderização: Marcio Arruda (LNA)

Conclusão

Com todo o esforço necessário e os problemas que traz, para que desenvolver instrumentação astronômica? Houve muito ceticismo sobre nossa "vocação" para desenvolver instrumentação no Brasil e um pessimismo entranhado de que o esforço não compensaria. Mas hoje, a maioria de nossa comunidade reconhece que esse é um caminho que precisa ser trilhado para que a astronomia brasileira possa ser independente e inovadora.

No logotipo do Instituto do Milênio "Instrumentação para os grandes telescópios" lia-se: "Novas tecnologias para novas descobertas" (MEGALIT em http://www.astro.iag.usp.br/~imilenio/). Com isto queríamos dizer que era hora da astronomia brasileira ser capaz de desenvolver as ferramentas necessárias para responder às perguntas que nossos astrônomos formulam, e não mais adaptar nossa ciência às ferramentas disponíveis. Eis um trecho da "Introdução":

> A instalação de uma "cultura" de conhecimento em instrumentação passa agora a ser um objetivo importante. O papel de uma instrumentação de qualidade para o rendimento científico dos telescópios é uma necessidade fundamental. (www.astro.iag.usp.br/~imilenio/).

Além disso podemos citar Steiner *et al.,* (2011):

> ... ao longo de toda a história, essa ciência [astronomia] avançou *pari passu* com o desenvolvimento tecnológico. Muitas vezes se beneficiando dele, muitas vezes o promovendo direta ou indiretamente. Se o objetivo da ciência da astronomia é fazer pesquisa básica, ela pode ser desenvolvida promovendo o desenvolvimento de instrumentação de ponta; dessa forma incentivando a cultura da inovação tecnológica.

A instrumentação astronômica força a óptica, eletrônica, engenharia mecânica e de materiais até seus limites e além, promovendo o desenvolvimento de novas tecnologias e processos que depois são incorporados pela indústria e aplicados a várias áreas.

Em relação aos países com mais tradição em astronomia, o Brasil ainda tem um longo caminho a trilhar para adquirir experiência e capacitação na área de instrumentação. Mas, se considerarmos que ingressamos realmente nessa área há cerca de apenas quatro décadas, e que somente a partir de 2000 começamos a desenvolver instrumentos de classe mundial, fica clara a velocidade das nossas conquistas e que teremos ótimas oportunidades pela frente.

Agradecimentos

A Jair Barroso Jr. (ON), pelas informações e material sobre o FOTRAP; Germano Quast, Carlos Alberto Torres e Rodrigo Prates Campos, todos do LNA, pelas preciosas informações sobre a instrumentação do OPD e sua história; Clemens Gneiding, mãos, cérebro e memória desde o início do OPD até os instrumentos atuais; Francisco Jablonski (INPE), pelas discussões sobre a instrumentação do OPD e informações sobre a CamIV e a SPARTAN; Giuliana Capistrano e Ricardo Nassif, ambos do LNA, pela revisão deste texto.

Referências

Barroso Jr., J. (1999a), "Instrumentação Astronômica no Brasil. O Fotômetro Rápido do LNA — FOTRAP", Notas inéditas Jair Barroso Junior, *Série Ciência e Memória do Observatório Nacional,* nº 05/99.

Barroso Jr., J. (1999b), "O Fotômetro Rápido do LNA — FOTRAP. Notas inéditas", Painel 238, XXV Reunião Anual da SAB, *Boletim da SAB*, 19, 1, 149-150.

Barroso Jr., J.; Nunes, M.A.; Nascimento Jr., D. e Mourilhe Silva, I. (1986), "O fotômetro ultrarrápido do Observatório Astrofísico Brasileiro", *Rev. Fís. Aplic. e Instrum*, 1, 2.

Boletim *online* USP 395 (1999), http://www.usp.br/agen/rede395.htm#Astronomia_brasileira, acesso em 10/11/2013.

Castilho, Bruno V.; Delabre, Bernard and Gneiding, Clemens D. (2004), Ground-based Instrumentation for Astronomy *in* Alan F. M. Moorwood and Iye Masanori (Eds.), A new concept for échelle spectrographs: the SOAR Telescope Échelle Spectrograph, *Proceedings of the SPIE*, 5492, 433-444.

Castilho, Bruno V. and Gneiding, Clemens D., Eds. (2003), *Optical and Infrared Astronomical Instrumentation for Modern Telescopes — Brazilian Workshop*, Angra dos Reis, RJ, November 16-20, 2003, Laboratorio Nacional de Astrofisica Proceedings, CD-ROM ISBN — 85-98138-01-0, disponível também em http://www.lna.br/~oiainstr/, acesso em 10/11/13.

Codina Landaberry, S. J.; Freitas Pacheco, J. A.; Kohl, J. L.; Bazzanella, B. and Ribeiro, R. T. (1986), The Spectrophotometer of the National Observatory, *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*, 12, 405.

Dominici, T. P. (2011), *Elaboração de Estratégias para o futuro do OPD*, http://www.lna.br/opd/Grupos_de_trabalho_do_OPD_2011_final.pdf, acesso em 5/12/13.

Dominici, Tania P.; Castilho, Bruno; Gneiding, Clemens D.; Delabre, Bernard A.; Macanhan, Vanessa B. P.; de Arruda, Marcio V.; de Oliveira, Antonio C.; Melendez, Jorge; Vaz, Luiz P. R.; Corradi, Wagner J. B.; Franco, Gabriel A. P.; do Nascimento, José D.; Quast, Germano R. and Porto de Mello, Gustavo F. (2012), ECHARPE: a fiber-fed echelle spectrograph for the Pico dos Dias Observatory *in* Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV. *Proceedings of the SPIE*, 8446, id. 844636-844636-12.

Jablonski, F.; Baptista, R.; Barroso, J.; Gneiding, C. D.; Rodrigues, F. e Campos, R. P. (1994), Calibration of the UBVRI high-speed photometer of Laboratorio Nacional de Astrofisica, Brazil, *PASP* (ISSN 0004-6280), 106, 705, 1172-1183.

Kanaan, A.; Mendes de Oliveira, C.; Strauss, C.; Castilho, B. V. and Ferrari, F. (2007), IFUs: Disentangling the Light from Neighbour Fibers *in Science Perspectives for 3D Spectroscopy*, ESO Astrophysics Symposia, ISBN 978-3-540-73490-1, 37, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Laporte, R.; Gneiding, C.; Magalhães, A. M.; Codina-Landaberry, S. J. and Freitas Pacheco, J. A. (1979) A Photoelectric Photopolarimeter Using a Star-Sky Chopper, *First Latin-American Regional Astronomy Meeting*, 16-21 January, 1978, 247, Santiago, Chile.

Loh, E.; Biel, J.; Chen, J.; Davis, M.; Laporte, R. and Loh, O. (2004), Ground-based Instrumentation for Astronomy *in* A. Moorwood and M. Iye (Eds.), *Proc. SPIE 5492, 1644*, Spartan Infrared Camera: High resolution imaging for the SOAR Telescope.

Loh, E.; Biel, J.; Davis, M.; Laporte, R.; Loh, O. and Verhanovitz, N. (2012), Spartan Infrared Camera, a high-resolution imager for the SOAR Telescope: design, tests, and on-telescope performance, *PASP*, 124, 343.

Mendes de Oliveira, Cláudia; Taylor, Keith; Quint, Bruno; Andrade, Denis; Ferrari, Fabrício; Laporte, Rene; de A. Ramos, Giseli; Guzman, Christian Dani; Cavalcanti, Luiz; de Calasans, Alvaro; Ramirez Fernandez, Javier; Gutierrez Castañeda, Edna Carolina; Jones, Damien; Fontes, Fernando Luis; Molina, Ana Maria; Fialho, Fábio; Plana, Henri; Jablonski, Francisco J.; Reitano, Luiz; Daigle, Olivier; Scarano, Sérgio; Amram, Philippe; Balard, Philippe; Gach, Jean-Luc and Carignan, Claude (2013), The Brazilian Tunable Filter Imager for the SOAR, *PASP*, 125, 926, 396-408.

Oliveira, Antonio C. de; Barbuy, Beatriz; Campos, Rodrigo P.; Castilho, Bruno V.; Gneiding, Clemens; Kanaan, Antonio; Lee, David; Lépine, Jacques R. D.; Mendes de Oliveira, Cláudia; de Oliveira, Ligia S.; Rodrigues, Francisco; Silva, J. M.; Strauss, C. and Taylor, Keith (2003), The Eucalyptus spectrograph *in* Masanori Iye and Alan F. M. Moorwood (Eds.), Instrument Design and Performance for Optical/Infrared Ground -based Telescopes, *Proceedings of the SPIE*, 4841, 1417-1428.

Ribeiro, F. (2010), "Caracterização de elementos ópticos", *Dissertação de Mestrado*, UNIFEI, Itajubá, MG.

Rodrigues, Claudia V. e Jablonski, F. (2009), "Uma nova câmara multibanda e rápida com capacidade polarimétrica para o OPD", *LNA em dia*, 10, 16, ISSN 2179-4324, http://www.lna.br/lna/LNA_em_dia/LNA_em_dia.html.

Rodrigues, Claudia V.; Taylor, Keith; Jablonski, Francisco J.; Assafin, Marcelo; Carciofi, Alex; Cieslinski, Deonisio; Costa, Joaquim E. R.; Dominguez, Ruben; Dominici, Tania P.; Franco, Gabriel A. P.; Jones, Damien J.; Kanaan, Antonio; Laporte, René; Magalhães, Antonio M.; Milone, André; Neri, José A.; Pereyra, Antonio; Reitano, Luiz A.; Silva, Karleyne M. G. and Strauss, Cesar (2012), Concept of SPARC4: a simultaneous polarimeter and rapid camera in 4 bands, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV, *Proceedings of the SPIE*, Volume 8446, id. 844626-844626-13.

Steiner, João; Sodré, Laerte; Damineli, Augusto e Oliveira, Cláudia Mendes de (2011), "A pesquisa em astronomia no Brasil", *Revista USP*, 89, Mar./Mai, 98-113.

Capítulo 8

ONDAS GRAVITACIONAIS

Pesquisa em ondas gravitacionais

Odylio D. Aguiar (INPE/MCTI)

O embrião da ideia de ondas gravitacionais começou com as primeiras discussões sobre a velocidade de propagação da gravidade, ocorridas logo após a formulação da lei da gravidade de Newton, e ganhou sua formulação final no trabalho de Einstein, quando este deduziu matematicamente a existência das ondas gravitacionais. As barras pioneiras de Weber e os detectores construídos até meados dos anos 80 formam, a seguir, o panorama mundial que motivou a entrada do Brasil nessa pesquisa. São descritas depois as primeiras iniciativas brasileiras que começaram nessa década e culminaram com a formação do Grupo Gráviton e a proposta, construção e operação do detector brasileiro de ondas gravitacionais Mário Schenberg. Por fim é descrito o engajamento brasileiro nos projetos mundiais de interferometria, com destaque para o projeto LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) e projetos de interferômetros espaciais.

De Newton a Einstein (Aguiar, 2011)

Logo depois da publicação de *Principia Mathematica* de Newton em 1687, em que ele apresentava a sua lei da gravidade, se iniciou um debate que durou cerca de dois séculos entre estudiosos e cientistas a respeito de qual deveria ser a velocidade de propagação do efeito gravitacional. Foi só depois de 1887, com a confirmação experimental por Hertz da existência das ondas eletromagnéticas, que as suspeitas de que a velocidade de propagação da gravidade era a mesma que a da luz começaram a ser consideradas seriamente. Heaviside (1893: 144, 459, 460 e 466), Lorentz (1900) e Poincaré (1905) são exemplos de cientistas que publicaram como possível/provável essa hipótese. Foi com a teoria da relatividade de Einstein que essa questão da velocidade do efeito gravitacional foi resolvida. Através de uma dedução matemática, a teoria prevê a existência de **ondas gravitacionais** que se propagam com a velocidade da luz no vácuo. O próprio Einstein fez estas deduções em trabalhos publicados em 1916 e 1918.

A relatividade geral foi um grande avanço teórico, pois a gravitação de Newton é uma teoria incompleta, na medida em que ela só fornece a intensidade e a direção da força da gravidade, mas não diz nada, por exemplo, sobre a velocidade com que o efeito gravitacional se propaga. A propósito disto, não é rigorosamente correto se dizer que a teoria da gravitação de Newton afirmava que a velocidade de propagação da gravidade era infinita, ou seja, que o efeito gravitacional se propagava instantaneamente. Isto seria o mesmo que dizer que a lei de Coulomb sobre cargas elétricas afirmava também que o efeito elétrico se propagava instantaneamente. Sabemos que a lei de Coulomb é apenas uma das quatro equações de Maxwell, que definem de forma mais completa os fenômenos eletromagnéticos. Só com o conhecimento de todas as equações de Maxwell é que podemos deduzir a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas e, portanto, da velocidade de propagação dos efeitos elétricos e/ou magnéticos.

Da mesma forma que no eletromagnetismo existe a dualidade eletricidade-magnetismo, no âmbito da gravitação existe a dualidade gravidade-gravitomagnetismo. O problema é que não temos oportunidade de experimentar o gravitomagnetismo no nosso dia a dia. Somente se vivêssemos em um planeta onde os rios tivessem densidades milhões de vezes maiores que a da água e corressem a velocidades próximas à da luz é que sentiríamos os efeitos do gravitomagnetismo. Foi a falta de leis equivalentes às de Ampère, Faraday e Gauss para o gravitomagnetismo, por causa da impossibilidade de se sentir este efeito, que impediu que um outro Maxwell pudesse unificar os efeitos da gravidade com os do gravitomagnetismo. Foi necessário um gênio como Einstein para montar toda a teoria por um outro caminho completamente

diferente: o da relatividade geral. A partir dela podemos entender o que são as **ondas gravitacionais** e quais as suas características principais.

De forma resumida, **ondas gravitacionais** são variações no espaço e no tempo (distorções ou curvaturas no contínuo espaço-tempo) causadas por movimentos de massa e energia nessa região, e que se propagam segundo a teoria da relatividade geral de Einstein, com a velocidade da luz. Apesar de não ter ocorrido ainda uma observação direta confirmada dessas ondas, existem observações indiretas da existência delas, mas irrefutáveis, que deram inclusive o prêmio Nobel de Física para Joseph H. Taylor e Russell Hulse em 1993 (ver o Capítulo "Cosmologia teórica" neste Volume).

Imagine vários relógios em uma cozinha (na parede, em cima da mesa, no seu pulso, no fogão, no aparelho de micro-ondas etc.), todos marcando exatamente a mesma hora. Aí chega uma onda gravitacional e bagunça tudo; os relógios passam a não marcar a mesma hora. Na verdade as diferenças entre os relógios são muito sutis para serem percebidas, mas existem. O tempo não corre mais igual para todos, mas fica oscilando, ora corre mais rápido, ora mais devagar; e estas coisas acontecem em momentos diferentes para cada relógio, dependendo da fase, comprimento e direção da onda. Ninguém vai notar, pois as diferenças serão de bilionésimos de bilionésimos de segundo. Precisaríamos de relógios e dispositivos muito precisos para perceber a diferença.

Simultaneamente ao efeito do diferente transcurso do tempo nos diversos relógios, a passagem da onda gravitacional pela cozinha também causaria mudança nas distâncias entre os relógios. Ora alguns se afastam e outros se aproximam, ora aqueles que se afastaram se aproximam e os que se aproximaram agora se afastam, tudo também depende da fase, comprimento e direção da onda. Se a cozinha tivesse azulejos quadriculados, eles pareceriam estar se esticando em algumas direções e se comprimindo em outras. Porém, normalmente, nada disso é percebido aos olhos humanos, pois aqui também as variações de distância são muito sutis. Basta dizer que ainda não se conseguiu detectá-las, apesar de vários aparelhos muito sensíveis existirem no mundo, construídos especificamente para este propósito. Vamos falar deles mais adiante; por ora vamos surfar um pouco nessas ondas.

As **ondas gravitacionais** têm muita semelhança com as ondas eletromagnéticas macroscópicas. As ondas eletromagnéticas são produzidas quando cargas elétricas são aceleradas, por exemplo, nas antenas de estações de rádio, televisão ou telefonia celular. De forma semelhante, as **ondas gravitacionais** são produzidas quando massas são aceleradas; só que há uma grande diferença: o efeito causado pelas **ondas gravitacionais** na matéria é absurdamente mais sutil que o causado pelas ondas eletromagnéticas.

Uma **onda gravitacional** é caracterizada completamente por apenas quatro grandezas:

- seu comprimento de onda,
- sua amplitude,
- sua polarização,
- sua direção de propagação.

O seu comprimento de onda é o tamanho de um ciclo completo da onda na direção de propagação. Como ela viaja com a velocidade da luz, a distância percorrida pela onda em um segundo, dividida pelo comprimento de onda seria igual ao número de ciclos por segundo da onda, ou seja, a sua frequência.

Já a sua amplitude é o seu tamanho no sentido transversal à direção de propagação da onda. Enquanto os comprimentos de onda são gigantescos, normalmente muito maiores que um quilômetro, as amplitudes das ondas são diminutas, muito menores que o diâmetro de um próton.

Finalmente, as ondas também têm direção e polarização. Através da sua direção de propagação sabemos de onde ela vem (é só considerar a direção oposta), podendo deduzir de onde elas se originaram no céu, ou seja, sua fonte astrofísica ou cosmológica. E a polarização é uma espécie de formato que ela tem no espaço, que nos diz muito sobre o movimento das massas na fonte que a produziu.

Outro aspecto importante a ser frisado é que todas as variações de distâncias ou tempo causadas pela passagem de uma **onda gravitacional** são relativas, não podemos, por exemplo, medi-las com acelerômetros locais presos aos relógios descritos no início desta seção. Somente as acelerações relativas entre os relógios podem ser medidas. Isto é uma consequência do "princípio da equivalência" descoberto por Einstein. Trocando em palavras mais fáceis de entender, seria a razão do porque não podemos medir a aceleração de um corpo caindo na Terra por meio de um acelerômetro preso a este corpo. O acelerômetro não iria detectar nenhuma aceleração, pois o corpo está em queda livre. Porém, se usássemos um outro tipo de acelerômetro, um que medisse a aceleração relativa do corpo em queda à superfície da Terra, por exemplo, aí sim conseguiríamos medir esta aceleração, que seria relativa.

Após os trabalhos de Einstein de 1916 e 1918 sobre as **ondas gravitacionais**, houve um período de quatro décadas no qual ocorreu um debate intenso. A questão que se debatia era se essas ondas realmente existiam fisicamente ou se elas eram apenas um ente matemático da relatividade geral. Foi no fim da década de 50 e início da década de 60 que ficou claro para os teóricos que essas ondas transportavam energia e, portanto, deviam ter realidade física.

Nessas quatro décadas também ocorreram avanços tecnológicos que permitiram a proposta dos primeiros detectores de **ondas gravitacionais** na virada da década de 50 para a de 60. Joseph Weber (Figura 1), um teórico competente e experimentalista brilhante, fez duas dessas propostas e foi o primeiro a implementar uma delas: a das **barras ressonantes**. Ele também foi um dos que independentemente propôs o detector utilizando interferometria laser (ver **Interferômetros laser**).

Figura 1. Joseph Weber junto a uma das suas antenas (**barra**) de **ondas gravitacionais** (Cortesia do grupo da antena *Allegro* da Universidade Estadual da Louisiana, LSU)

Barras de Weber (Aguiar, 2011)

Weber propôs detectar **ondas gravitacionais** utilizando uma **barra** cilíndrica horizontal de alumínio maciço, equilibrada no meio por um cabo em torno da sua "cintura", e colocada em um ambiente de vácuo para que pudesse oscilar livremente no seu modo de oscilação longitudinal, no qual ela ficaria ora com o seu comprimento alongado, ora comprimido sem sofrer atenuação, devido à ausência de ar. Ao mesmo tempo, a existência do vácuo impediria que o som externo atingisse a **barra**. Os sensores utilizados eram cristais piezoelétricos que têm a propriedade de produzir uma voltagem elétrica quando são defor-

mados (usa-se este tipo de cristal para se gerar faísca elétrica em acendedores de fogões). Weber colocou vários desses cristais na superfície da **barra** cilíndrica, próximos da sua "cintura".

O princípio de funcionamento do detector de **ondas gravitacionais** dele era simples: a onda ao chegar, colocava a **barra** cilíndrica em oscilação longitudinal que, por sua vez, causava a contração e elongação dos cristais piezoelétricos e, consequentemente, um sinal elétrico que poderia ser amplificado e registrado em fita magnética.

Weber propôs essa técnica de **barras ressonantes** em 1960. Em 1965 já tinha uma delas funcionando com boa sensibilidade e em 1969 afirmou ter detectado pulsos coincidentes de **ondas gravitacionais** em suas duas **barras**, uma na Universidade de Maryland e outra no Laboratório Nacional de Argonne a cerca de mil km de distância, e que a probabilidade de que todas essas coincidências fossem acidentais era incrivelmente pequena. Naquele tempo Weber registrava a saída de cada detector em um registrador de papel, como os que até hoje são usados para registrar terremotos ou atividade sísmica. Em torno de 1973, ele afirmava ter registrado um excesso de coincidências acima da média estatística de cerca de sete eventos por dia, que mostrava um pico na direção do centro galáctico. Estas e outras observações subsequentes foram recebidas com grande euforia, contudo as amplitudes dos sinais medidos implicavam que os sinais de **ondas gravitacionais** na fonte deviam ser muito mais fortes que os esperados pelos modelos astrofísicos relativísticos. Nos anos seguintes, vários experimentalistas construíram **barras** com maiores sensibilidades, incluindo **barras** resfriadas à temperatura de ebulição do hélio líquido para minimizar o ruído browniano. Entretanto, nenhuma delas pôde confirmar as detecções de Weber.

De qualquer forma, o trabalho pioneiro de Weber foi decisivo para o crescimento inicial da comunidade interessada em **ondas gravitacionais**. Graças aos resultados reportados por Weber em 1969, de ter encontrado sinais de **ondas gravitacionais**, cerca de 20 experimentos novos foram propostos no mundo nas duas décadas seguintes e, consequentemente, as bases da detecção de **ondas gravitacionais** foram definitivamente estabelecidas.

Os grupos que conduziram estes experimentos foram:

— um na Rússia, Moscou;
— sete nos EUA:
— BTL (Laboratórios Bell), NJ;
— Rochester, em Rochester, NY;
— IBM, Yorktown Heights, NY;
— Stanford (**barra** criogênica);
— LSU, Universidade Estadual da Louisiana (**barra** criogênica);

— Caltech, *California Institute of Technology* (**interferômetro laser**);
— MIT, *Massachusetts Institute of Technology* (**interferômetro laser**);
— dois na Inglaterra (Bristol e Reading-Lab. Rutherford);
— um na Escócia (Glasgow);
— um no Japão (Universidade de Tóquio);
— um na Alemanha, Munique (**interferômetro laser**);
— dois na China (Universidade de Zhongshan, em Guangzhou e Universidade de Beijing, na capital);
— um na França (Meudon);
— dois na Itália (Frascati e Legnaro);
— um na Austrália, Universidade da Austrália Ocidental (**barra** criogênica);
— um no Canadá, Universidade de Regina (paralelepípedo formado por cristal de quartzo criogênico);
— e um alemão-italiano (Munique-Frascati).

A maioria dessas iniciativas, entretanto, teve existência pouco duradoura. Já no fim da década de 80, os únicos grupos que ainda permaneciam nesta pesquisa experimental eram:
— o de Moscou, na Rússia,
— o de Glasgow, na Escócia,
— o da Universidade de Tóquio, no Japão,
— os dois grupos da China,
— quatro grupos no EUA (Stanford, LSU, Caltech e MIT),
— o da Universidade de Roma, na Itália,
— o da Universidade da Austrália Ocidental, na Austrália,
— e o de Munique, na Alemanha.

Na década seguinte (1990) os grupos da Rússia, China (Beijing e Guangzhou) e Stanford também encerraram suas atividades. Em compensação, surgiu um grupo novo na Itália: Legnaro (**barra** supercriogênica, pois seria resfriada até a temperatura de 0,1 K ou ainda mais baixas).

Entretanto, ainda no início da década de 80, a Caltech e MIT se uniram para estudar a construção de um grande projeto interferométrico (ver **Interferômetros laser**) nos EUA: LIGO (braços de 4 km). A França e a Itália juntaram esforços para construir também um grande projeto interferométrico: VIRGO (braços de 3 km) e o Reino Unido e a Alemanha fizeram o mesmo para outro projeto um pouco menor em tamanho, mas de grande qualidade: GEO 600 (braço de 0,6 km). Também nessa década os planos para a construção de **barras** supercriogênicas (NAUTILUS e AURIGA) foram iniciados.

Foi nesse ambiente de **barras** criogênicas e supercriogênicas e planos para **interferômetros** de braços longos que as primeiras iniciativas brasileiras ocorreram.

Primeiras iniciativas brasileiras (Aguiar, 2011)

As três primeiras teses de doutorado de brasileiros sobre a detecção de **ondas gravitacionais**, defendidas em 1990 e 1992, marcam as primeiras iniciativas brasileiras nessa área.

Em 27 de novembro 1990 o autor deste Capítulo, com bolsa americana de assistente de pesquisa e licença de afastamento não remunerado (a essas alturas) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de São José dos Campos, SP, do qual já era servidor contratado, defendeu na LSU em Baton Rouge, LA, a primeira delas, que descrevia resultados de pesquisa experimental com **transdutores** ressonantes paramétricos (ver **Transdutores eletromecânicos paramétricos**) relacionados com a **barra** criogênica Allegro. Além do tema da tese, teve também a oportunidade de trabalhar em alguns outros aspectos dessa pesquisa, como isolamento vibracional e análise de dados de detectores de **barra**, na época os da LSU (*Allegro*), Stanford, Roma (*Explorer*, que estava no CERN) e o chinês que estava em Guangzhou[1]. Em 1986 participou da análise de dados das **barras** criogênicas da LSU, Stanford e Roma (Amaldi *et al.*, 1989). Lá na LSU também teve o privilégio de conviver com William Hamilton (chefe do grupo), Warren Johnson (orientador da tese de doutorado) e colegas brilhantes na área experimental, como Bu-Xin Xu e Norbert Solomonson. Durante aquele período, em meados de 1987 participou do primeiro Simpósio Internacional de Física Experimental Gravitacional, em Guangzhou (China) quando se encontrou com Adalberto Giazzotto, chefe do grupo italiano no projeto VIRGO, que ficou sabendo que o Brasil tinha um estudante de doutorado trabalhando na LSU no tema de detecção de **ondas gravitacionais**, fato que pode ter contribuído para o interesse dos italianos em iniciar colaboração com os brasileiros em detecção de **ondas gravitacionais** dois anos depois. Quando retornou ao Brasil já trazia na bagagem a ideia de um projeto de antena ressonante esférica (ver **Esferas ressonantes**), que estava sendo intensamente estudado por Johnson com outros estudantes dele.

Em outubro de 1989 pesquisadores italianos em **ondas gravitacionais** fizeram contato, primeiro com o professor Mauro Cattani do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF/USP). Depois se juntaram à colaboração, Armando Turtelli do Instituto de Física "Gleb Wataghin" da Unicamp (IFGW/Unicamp), Nilton O. Santos do Observatório Nacional (ON), Carlos Escobar (IF/USP) e José Antônio de Freitas Pacheco do Instituto Astronômico

[1] Cidade no Brasil conhecida erradamente como Cantão que, na verdade, é o nome da região/estado.

e Geofísico da USP (IAG/USP). A ideia inicial era uma colaboração brasileira no projeto VIRGO, que estava surgindo de uma colaboração entre franceses e italianos. Fruto desta colaboração, duas teses de doutorado foram produzidas: as de Walter Ferreira Velloso Júnior e Nadja Simão Magalhães. Walter foi orientado por Freitas Pacheco e desenvolveu a sua tese de doutorado na Itália, no grupo do VIRGO. Já Nadja foi orientada por Escobar que, na época, se encontrava no IF/USP (atualmente se encontra na Unicamp). Assim, em 1992 ocorreram as outras duas defesas, ambas na USP. Walter defendeu no IAG em meados de 1992, tese sobre trabalho relacionado com isolamento vibracional do projeto VIRGO e Nadja defendeu em dezembro daquele ano, no IF, trabalho teórico de análise de dados relacionado com detecção de sinais contínuos (quase monocromáticos) que o grupo de Tóquio vinha realizando no Japão.

Grupo Gráviton (Aguiar, 2011)

Já de volta ao Brasil no início de 1991, o autor procurou alguns dos brasileiros envolvidos na colaboração com o projeto VIRGO e propôs a eles que se envolvessem no projeto de uma antena ressonante esférica (ver **Esferas ressonantes**) criogênica. Por ser ressonante, ela teria a sua sensibilidade centrada no modo quadrupolar fundamental de oscilação mecânica que, no caso, estaria em torno de 1 kHz. Além disso, seria criogênica, ou seja, resfriada até temperaturas próximas do zero absoluto, para redução do ruído térmico. A proposta, que foi apresentada a convite em vários seminários, teve boa acolhida e a maioria achou que faria mais sentido uma construída no Brasil. **Interferômetros laser** eram muito caros para o país construir sozinho, fato já sabido pelo autor desde os primeiros anos da década de 80, antes de ir para a LSU através de consulta a vários grupos sobre o custo desses detectores.

Infelizmente a aceitação da proposta comprometeu a colaboração brasileira no projeto VIRGO a longo prazo, seja porque os cientistas optaram pelo projeto brasileiro da antena esférica, seja porque não havia recursos humanos no país nessa área experimental naquela época para uma participação ativa em mais de um projeto. Este dano ao projeto VIRGO poderia ter sido compensado se o projeto da antena esférica fosse logo aprovado, mas isto não aconteceu. Na verdade, mesmo este projeto brasileiro da antena esférica teve que esperar cerca de nove anos para receber apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo).

O nome do projeto brasileiro em **ondas gravitacionais** surgiu de uma conversa informal em fevereiro de 1991, na casa do professor Mario No-

vello, pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), com o grupo de colaboradores dele do CBPF. Eram feitos planos para a construção de um detector esférico e num determinado momento se perguntou como deveria se chamar o projeto. Luiz Alberto Rezende de Oliveira, pesquisador do CBPF, propôs o nome Gráviton, que cunhou definitivamente o nome do Grupo (Figura 2), que no início contava com 26 participantes (Aguiar, 1992) e do qual já fizeram parte mais de 90 pessoas. Atualmente ele conta com cerca de 40 integrantes mais ativos (Aguiar, 2012) sendo experimentais menos da metade.

Figura 2. Alguns integrantes paulistas do Grupo Gráviton em 1992. Da esquerda para a direita, o professor Reuven Opher, Walter F. Velloso Jr., Nadja S. Magalhães, o autor e José Carlos Neves de Araujo (Nellie Solitrenick, "O Globo" de 17/5/92)

Anos do convencimento (Aguiar, 2011)

Não foi de forma alguma fácil convencer as fontes de apoio científico no país a pagar o custo da construção de uma antena esférica brasileira para detecção de **ondas gravitacionais**. Chegamos a submetê-lo ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) em meados da década de 90, mas nunca tivemos uma resposta. Vários trabalhos foram apresentados em encontros nacionais e internacionais lançando a proposta da construção desta antena esférica no Brasil (Aguiar *et al.*, 1992; Aguiar *et al.*, 1996 e Velloso *et al.*, 1997). Do momento do lançamento do projeto até a sua aprovação passaram-se mais de nove anos (janeiro de 1991 até abril de 2000). Além disso, para que o projeto fosse aprovado, o tamanho da **esfera** teve que ser significativamente reduzido.

Inicialmente a proposta era a construção de uma antena de alumínio (liga 5056) em formato de buckybola, ou seja, de um icosaedro truncado de 3 m de diâmetro que pesava cerca de 36 t, como no projeto americano TIGA. Com a entrada de Giorgio Frossati, professor da Universidade de Leiden (Holanda) no projeto (quando ele também iniciou o projeto holandês do Mini-GRAIL) em 1993, e a descoberta por ele de uma liga especial de cobre-alumínio (94% cobre — 6% alumínio) que tinha um fator de qualidade mecânica muito bom e apresentava vantagens no resfriamento até temperaturas inferiores a 1 k, a antena mudou de composição metálica e do formato de buckybola para o de **esfera** ganhando muito mais massa, chegando a ter um peso previsto de 113 t. Essa antena de 3 m de diâmetro chegou a ser batizada de Einstein.

Em 15 de janeiro de 1997 a ideia desta proposta mudou. Após vários trabalhos apresentados em conferências internacionais e no país e contatos feitos anteriormente no CNPq, numa reunião com o então ministro do MCT (hoje MCTI, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação) todas as esperanças do projeto brasileiro se iniciar pela construção de uma antena de 3 m de diâmetro foram por terra. Entretanto, no voo de retorno para São Paulo, o professor Nei Fernandes de Oliveira Jr., do IF/USP, convenceu o autor a partir para um projeto menor a ser submetido para a FAPESP.

FAPESP. Detector Mário Schenberg (Aguiar, 2011)

Quase dois anos foram necessários para a preparação da proposta do detector Mário Schenberg, que foi submetida à FAPESP em 3 de novembro de 1998, após várias reuniões com o professor Luiz Nunes de Oliveira, da FAPESP, que orientou nessa preparação. Segundo ele, a proposta tinha que ser feita com texto em inglês para ser julgada por um corpo de árbitros estrangeiros.

Um dos motivos da demora foi uma divergência com o professor Nei na concepção do projeto. Ele o concebia como uma etapa preliminar do desenvolvimento da tecnologia de antenas esféricas, visando à construção futura de um detector propriamente dito. Assim, para ele a proposta era apenas do protótipo de uma antena de **ondas gravitacionais**, que poderia até mesmo detectar **ondas gravitacionais**, mas que não teria sido construído para operar continuamente como detector, mesmo porque segundo ele, o protótipo não teria um reservatório de hélio líquido grande o suficiente (ver a próxima seção) para manter a operação sem interrupções frequentes para recarga (o reservatório dura apenas 9

dias). Entretanto o autor e o professor Frossati concebiam o projeto para a construção de um detector propriamente dito, capaz de realizar detecções regulares após atingir a sensibilidade necessária para isto (apesar de saberem que uma **esfera** de massa maior teria chances muito maiores de detecção). Talvez o professor Nunes também compartilhasse essa opinião, o que teria causado uma discussão entre ele e o professor Nei, o que acabava adiando sucessivamente a submissão do projeto. No final o professor Nei desistiu de insistir na sua visão e deixou que o autor submetesse o projeto de um detector propriamente dito. Aparentemente a FAPESP teve dificuldade para promover o julgamento do projeto, pois o resultado, no caso favorável, só saiu em abril de 2000. Finalmente, em 1º de maio de 2000 teve início o projeto do detector Schenberg (Aguiar *et al*., 2002a e 2002b).

Construção. Primeira operação da antena (Aguiar, 2011)

A construção da antena até a sua primeira operação comissionada em 8 de setembro de 2006 levou um pouco mais de seis anos e quatro meses. Foi necessário prorrogar por três anos o prazo inicial de quatro anos que tinha sido concedido a um projeto especial da FAPESP. A falta de engenheiros (na grande maioria dos casos só se pôde contar com os membros da equipe e estudantes que seguem o "ritmo" de suas teses, ou seja, seguem o cronograma dos prazos da tese e não os prazos do projeto) foi um dos motivos importantes do atraso.

A sala 108 do prédio Mário Schenberg do LESBT (Laboratório de Estado Sólido e Baixas Temperaturas) do IF/USP, que foi utilizada como sítio do detector, tinha o pé direito insuficiente. Foi necessária a construção de um fosso de quase 2 m. Além disso, foram construídos uma ponte rolante no teto e um sistema hidráulico para levantar e abaixar a plataforma de concreto sobre a qual seria montado o conjunto das câmaras criogênicas, para a montagem da antena. O projeto da ponte rolante foi todo concebido pelo professor Nei, que também foi o responsável pela modificação no sistema hidráulico (Figura 3), que permitiu que ele funcionasse mais suavemente (a versão instalada antes pela empresa contratada tinha sérios problemas de operação). Alguns anos depois, para permitir a instalação de **transdutores** mais sensíveis, a plataforma foi imobilizada a uma altura que permitisse a montagem das câmaras criogênicas por baixo e também a introdução da linha de transferência de hélio líquido por cima. Afinal, as construções já estavam prontas. Para elas é que era necessária uma plataforma com mobilidade vertical. A imobilização da plataforma

também cumpriu uma função extremamente importante, a de não danificar **transdutores** sensíveis que fossem instalados na **esfera**. Aliás esta foi a razão principal para a imobilização da plataforma.

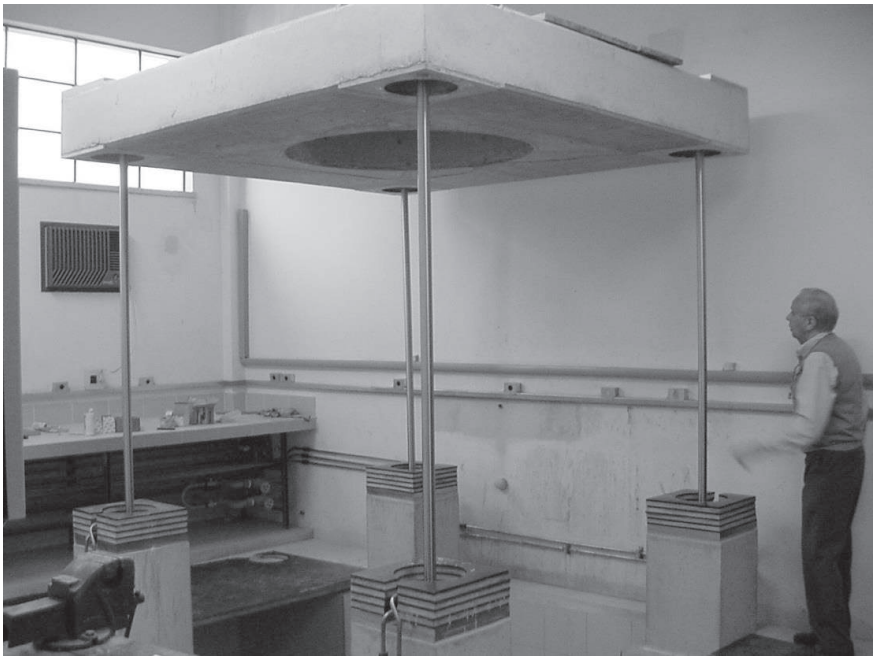


Figura 3. O professor Nei realizando teste no sistema hidráulico da plataforma de concreto em 2001. Foto tirada com câmera do Projeto do Detector Mário Schenberg

O passo seguinte foi a instalação das câmaras criogênicas. Elas foram fabricadas pela Kadel, IN, EUA. O valor real delas seria algo em torno de US$ 100 mil, mas foram pagos apenas US$ 12,5 mil. A razão disto foi que três unidades foram fabricadas, uma para o grupo brasileiro, outra para o grupo de Leiden (Frossati) e outra para o grupo de Roma (Eugenio Coccia) e Frossati havia projetado essas câmaras de forma que a Kadel não precisasse fabricar nenhuma ferramenta ou peça para a sua linha de montagem, ou seja, a Kadel só teve despesas com a matéria-prima das câmaras e mão-de-obra. A câmara saiu muito barata, mas, em contrapartida, o seu reservatório para o hélio líquido era pequeno. Ele não tinha capacidade para permitir longos períodos de operação da antena, tendo sido projetado para a duração normal de um experimento de física a baixas temperaturas.

As câmaras chegaram em abril de 2002 e em junho de 2002 elas já estavam montadas pelo pessoal da oficina mecânica do laboratório, sob a coordenação do professor Nei.

Aí foi a vez da **esfera**. Ela foi fundida na Italbronze em Arujá, SP, no km 106 da rodovia Dutra, e era a segunda **esfera** fundida pela companhia. A primeira (Figura 4) havia sido enviada para o grupo de Leiden. Esse grupo também ficou com a terceira, que foi fundida com diâmetro um pouco maior, 68 cm, em vez dos 65 cm das duas anteriores.

Figura 4. A primeira **esfera**, que foi para o Mini-GRAIL em Leiden, sendo usinada na Italbronze (27/12/2000). Da esquerda para a direita: Jaime (diretor da Italbronze), o autor, Giorgio Frossati, Nei F. de Oliveira Jr. e Sérgio Turano de Souza (na época aluno de mestrado). Foto tirada com câmera do Projeto do Detector Mário Schenberg

A **esfera** do detector Schenberg chegou ao IF/USP em 11/10/2002 (Figura 5). Um caminhão *munck* do INPE trouxe-a da Italbronze para o laboratório. Ela já veio com nove orifícios para **transdutores**. Seis dos orifícios na configuração proposta por Johnson e Merkowitz (1993) e outros três orifícios para **transdutores** extras (que podem ser utilizados para testar **transdutores**, realizar redundância com os já existentes ou monitorar outros modos de oscilação da **esfera**, como o modo monopolar, que também é chamado de modo de "respiração", pois nele a **esfera** mantém a sua forma, mas varia o seu diâmetro. Alguns desses furos podem ser vistos na Figura 6.

Figura 5. A **esfera** do detector Schenberg sendo descarregada no LESBT–IF/USP em 11/10/2002. Da esquerda para a direita: José Luiz Melo (aluno de doutorado), Isac Carneiro dos Santos (motorista do INPE), Sérgio Ricardo Furtado (na época aluno de mestrado), Rui Fernandes de Oliveira (irmão do professor Nei) e Sérgio Turano de Souza (na época aluno de mestrado)

Figura 6. O professor Nei aciona o guincho da ponte rolante para suspender a **esfera** sob o olhar atento do técnico Francisco de Paula Oliveira, o "Paulinho", em 4/12/2002

Com a chegada da **esfera**, pôde-se dar início à montagem de toda a sua suspensão, isolamento vibracional e aterramento térmico (Figura 7). A suspensão era composta por quatro filtros mecânicos: uma mola de ar (que nada mais é do que uma mola pneumática) no topo, ainda à temperatura ambiente, uma haste longa de titânio-vanádio, de baixa condução térmica, aterrada nos dois reservatórios de líquidos frios (o de hélio e o de nitrogênio, logicamente em pontos diferentes), um conjunto criogênico de 5 massas e molas metálicas de baixa condutividade térmica (foi preciso trocar as molas iniciais em formato de "C", que apresentavam alta condutividade térmica e dificultavam que a **esfera** fosse mantida a baixa temperatura) e a haste final de cobre, de alta condutividade térmica, que ligava a última das 5 massas à **esfera**.

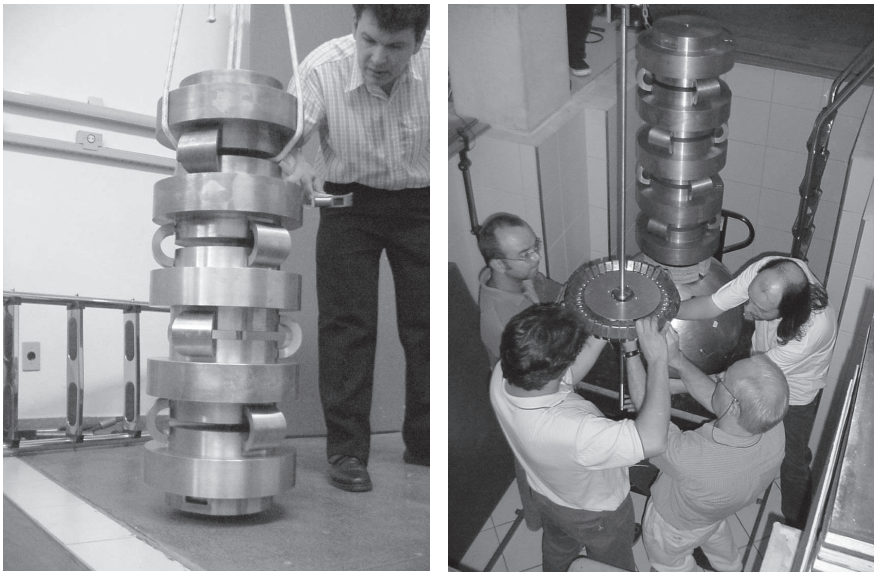


Figura 7. Montagem das partes da suspensão, isolamento vibracional e aterramento térmico da **esfera**. À esquerda, o autor encaixando as molas em formato de "C" do filtro de isolamento mecânico, em 17/12/2002. À direita, a montagem de um dos aterramentos térmicos da suspensão, em 11/3/2003. Da esquerda para a direita, José L. Melo ("Zemelo"), Sérgio R. Furtado, o professor Nei F. Oliveira Jr e Sérgio T. de Souza

A ideia era isolar a **esfera** dos ruídos sísmicos e sonoros (as câmaras eram mantidas em vácuo) e minimizar os ruídos térmicos (com o resfriamento da **esfera**), para que fossem detectadas as minúsculas amplitudes das oscilações nos modos quadrupolares (um milhão de vezes menores que o diâmetro de um próton, no caso do Schenberg), causadas pelas **ondas gravitacionais** chegando

na **esfera**. Esta detecção seria obtida através da conversão, nos **transdutores**, dos movimentos oscilatórios da superfície da **esfera** em sinais modulados na portadora pura em 10 GHz (de ultrabaixo ruído) injetada nos **transdutores**. Para que o sinal fosse maior que os ruídos, esses **transdutores** precisariam ter altos fatores de qualidade (energia armazenada no modo muito maior que a energia dissipada por ciclo), tanto mecânicos (maiores que um milhão), como elétricos (maiores que 200 mil), e uma taxa de variação da frequência de ressonância elétrica da cavidade de micro-ondas (em torno de 10 GHz) com o movimento da membrana de nióbio supercondutor acima de 0,5 GHz/mm. Estes requisitos não são fáceis de serem obtidos e têm sido, até hoje, objeto de intenso trabalho no INPE, onde os **transdutores** são desenvolvidos (Aguiar *et al*., 2003). Aliás, merece menção o fato que o INPE construiu em 2001 no prédio CEA I um grande laboratório (16 m x 6 m) com 12 m de altura, que inclui três salas de mezanino na vertical para a linha de pesquisa em ONdas Gravitacionais da Divisão de AStrofísica (ONG/DAS). Este laboratório poderia abrigar até duas antenas esféricas do mesmo material do detector Schenberg (cobre-alumínio na proporção 94%-6%) de até 1,7 m de diâmetro (centrada na frequência de 1,2 kHz). Na verdade o prédio tinha sido preparado para a montagem da primeira antena, mas a decisão da montagem no IF/USP adiou o uso desse laboratório para essa finalidade e o fez se dedicar para uso nos testes dos **transdutores** (foi inclusive adquirido um reliquefator de hélio líquido, que tanto é capaz de reliquefazer o hélio em um circuito fechado, como liquefazê-lo a partir do gás) e um projeto dentro da colaboração LIGO (que será detalhada mais adiante). O eventual uso deste laboratório para uma segunda antena ainda não está descartado, mas dependeria dos resultados satisfatórios do detector Schenberg no IF/USP.

A primeira **corrida** criogênica da **esfera** ocorreu em julho de 2003 (Aguiar, 2004). Nela foram medidas as frequências dos modos quadrupolares e o fator de qualidade mecânico da **esfera** até a temperatura de 2 K. Para este encontramos valores da ordem de 2,7 milhões, o que é muito satisfatório. As frequências ficaram em torno de 3,2 kHz, como era esperado. Uma das conclusões importantes desta **corrida** foi a de que as molas "C" e a haste de aço inox da suspensão estavam conduzindo muito calor para a **esfera**, dificultando a manutenção da baixa temperatura dela e aumentando o consumo de hélio líquido. Modificações foram feitas em 2004. As molas "C" assim como a haste de aço inox foram substituídas por pinos e haste de titânio-vanádio, respectivamente (Aguiar *et al*., 2005). Além disso, foi preparado o *software* para a aquisição e análise dos dados da primeira **corrida** comissionada com **transdutores** (Aguiar *et al*., 2006).

Em 2006, a primeira geração de **transdutores** composta por três deles ficou pronta e pôde ser testada no Schenberg. Em 8 de setembro de 2006 ocorria a primeira **corrida** com **transdutores** (a segunda **corrida** geral) (Aguiar *et al.*, 2008). O circuito eletrônico montado na **esfera** pode ser visto na Figura 8 e detalhe do posicionamento de uma das antenas microfitas, que são responsáveis pelo envio do sinal puro de micro-ondas e recebimento do sinal já modulado, em frente a um dos **transdutores**, pode ser visto na Figura 9.

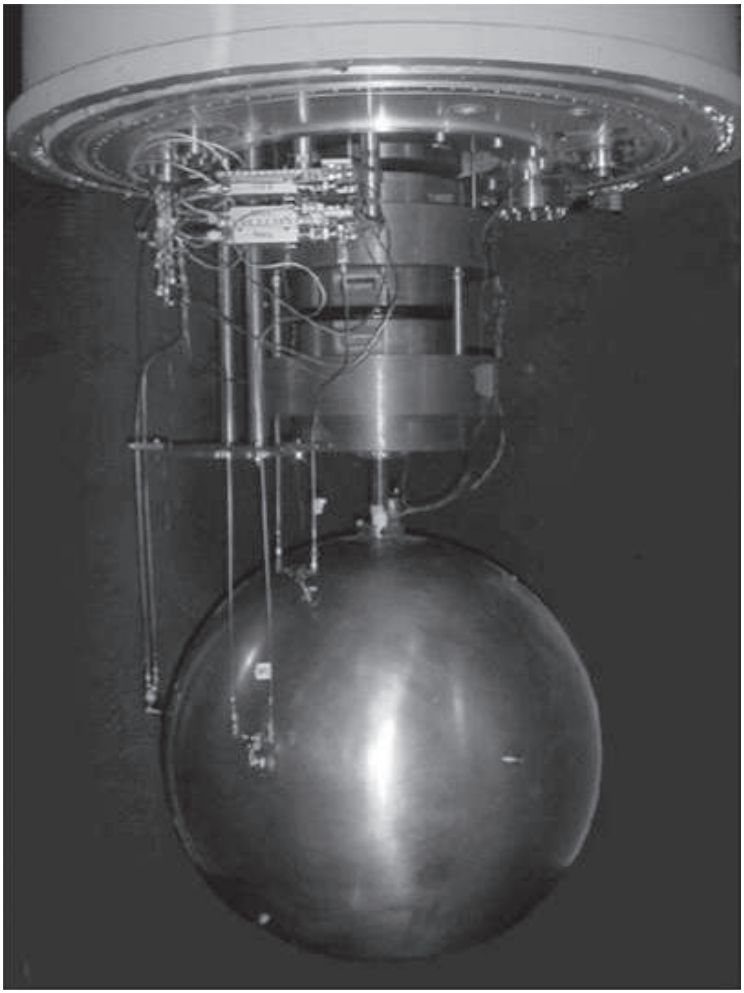


Figura 8. A primeira **corrida** com **transdutores**, ocorrida em 2006, utilizou três deles. Podem ser vistos os cabeamentos das três antenas microfitas e os amplificadores criogênicos no topo, próximos à base do reservatório de hélio liquido

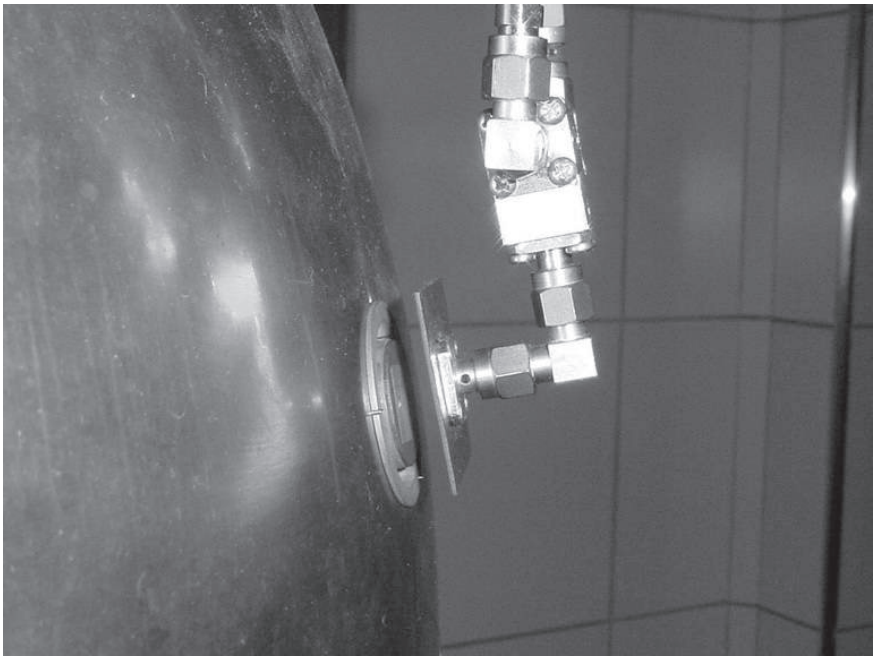


Figura 9. O sinal que ativava os **transdutores** era enviado e recebido (neste caso modulado) por pares de antenas microfitas. Nenhum cabo ou fio tocava a **esfera**, de forma a evitar a introdução de ruído sísmico ou vibracional

Aperfeiçoamentos

A **corrida** acima marcou o início da fase comissionada da antena (Costa, 2008). Ainda ocorreu mais uma naquele ano de 2006 e outra em 2007. Também foram feitos vários testes a temperatura ambiente, pois o sistema **transdutor** funcionava também nessa temperatura. Em 2008, já tinham sido realizados testes suficientes para se decidir o que precisava ser modificado/melhorado. Começaram então a ser realizadas várias modificações, desde um sistema de controle da pressão na mola de ar, até modificação nas antenas microfitas, que foram substituídas por sondas acopladas remotamente aos orifícios das cavidades de micro-ondas. Em vez de enviar e receber o sinal de micro-ondas através de antenas microfitas, que só aceitam operar em uma faixa muito restrita de frequências (em torno de apenas 200 MHz), optou-se por utilizar sondas que têm uma faixa passante mais do que dez vezes maior, após descobrirmos que os altos fatores elétricos de qualidade das cavidades permitiam um acoplamento com essas sondas, mesmo que elas fossem colocadas a 4 mm de distância da

entrada do orifício aberto na cavidade de micro-ondas. Também foi mudado o esquema do circuito eletrônico, pois foi descoberto que alguns dos acopladores e circuladores não funcionavam adequadamente em baixas temperaturas, como deveriam. O circuito ficou mais simples. Todo o cabeamento também foi mudado para possibilitar a operação de um conjunto de até nove **transdutores** e foi instalado o *1K pot* do refrigerador por diluição, que é uma das partes básicas desses refrigeradores, de modo que na próxima **corrida** a **esfera** poderá ser resfriada a temperaturas menores que 2K.

Na parte "pesada" do detector foi feito algo radical. Como já foi dito, o sistema hidráulico da base de concreto foi imobilizado. Com essa providência, **transdutores** muito mais sensíveis podem agora ser instalados, sem serem danificados pelo movimento de sobe e desce da base. Com a base de concreto na altura fixa foi montado um assoalho (removível) logo abaixo da **esfera** que permite trabalhar no mesmo nível do piso do laboratório, sem a necessidade de descer ao fosso (Aguiar *et al.*, 2012). Esta nova configuração pode ser vista na Figura 10.

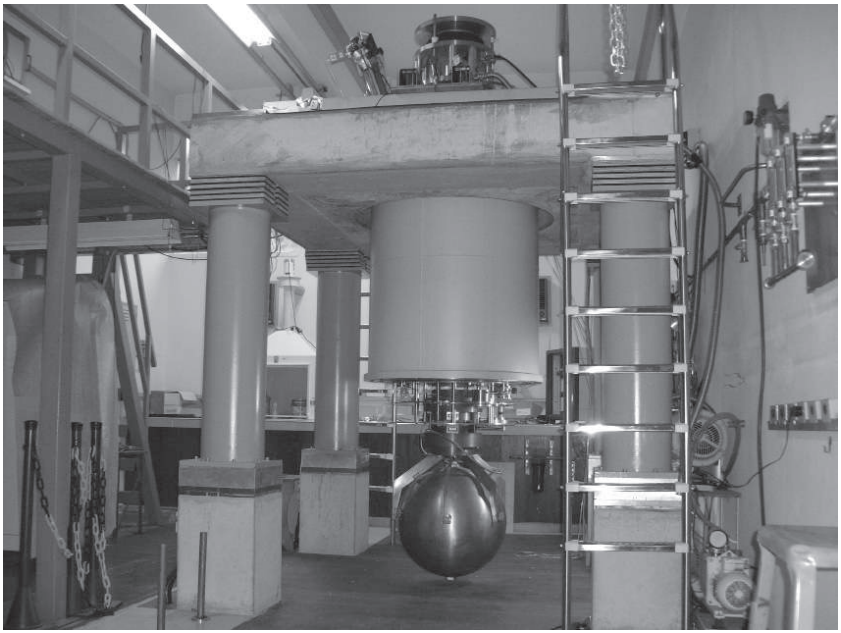


Figura 10. Visão mais recente do detector Schenberg, já com a plataforma de concreto imobilizada para proteção dos **transdutores**, em altura adequada para o fechamento da câmara criogênica por baixo (pois o assoalho é removível) e introdução da linha de transferência por cima. O sistema de aquisição e processamento dos dados fica no mezanino à esquerda. O *1K pot* do refrigerador por diluição já se encontra instalado

Paralelamente foi realizado extenso desenvolvimento nos **transdutores**, infelizmente sem a ajuda de engenheiros, mas sim com ajuda de estudantes talentosos que, apesar de muito capazes, realizavam a pesquisa, como foi dito acima, no ritmo de suas teses. Foram testados vários modelos de **transdutores** buscando, como já mencionado, altos fatores de qualidade, tanto mecânicos quanto elétricos. Nessa busca foram construídos e testados cinco tipos/conjuntos diferentes de **transdutores**. Finalmente os resultados dos testes do último desses modelos (Figura 11) foram bons o suficiente para que fosse decidida a sua utilização na próxima **corrida** do Schenberg. No momento estão sendo ajustadas as frequências de micro-ondas das cavidades dentro da faixa de operação dos amplificadores criogênicos (9 a 11 GHz), para serem iniciados os preparativos da próxima **corrida**. A expectativa é alcançar uma sensibilidade de, pelo menos, $h \sim 2 \times 10^{-21}$ $Hz^{-1/2}$ em uma banda de 50 Hz em torno de 3,2 kHz. A grandeza h define a sensibilidade em termos da amplitude da **onda gravitacional**. A unidade $Hz^{-1/2}$ vem do fato de que esta sensibilidade em amplitude depende da raiz quadrada de uma densidade espectral de ruído (a sensibilidade em energia dependeria de Hz^{-1}). Teoricamente o Schenberg pode chegar a sensibilidades tão boas quanto $h \sim 10^{-22}$ $Hz^{-1/2}$ ou até melhores se for possível realizar *squeezing* de sinal (através do qual pode-se ultrapassar o limite quântico padrão, medindo-se uma das componentes com a sensibilidade que se deseja e deixando que toda a incerteza recaia na outra componente), algo possível com o tipo de **transdutor** paramétrico que está sendo utilizado.

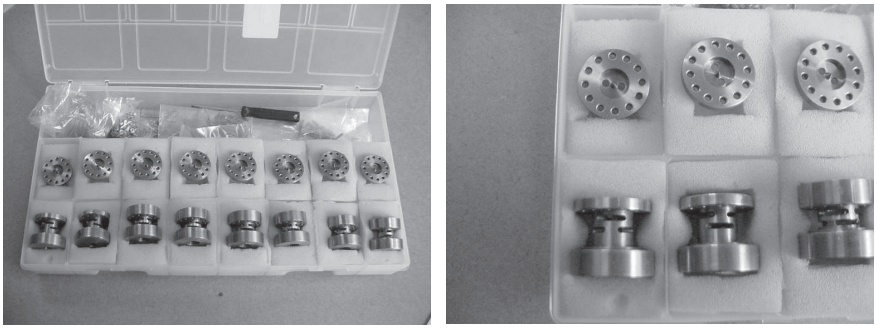


Figura 11. À esquerda: conjunto de oito **transdutores** do sexto e último modelo testado. O corpo dos **transdutores** é de nióbio muito puro (pureza da ordem de 99,99%). Uma das suas metades fica firmemente presa ao orifício da **esfera**, quando ela se resfria até temperaturas criogênicas. A outra metade pode, então, oscilar na frequência de 3,2 kHz, a mesma da **esfera**, por causa da "mola" na parte central, vista no detalhe da Figura à direita.

Evolução do Grupo Gráviton

A construção e operação do detector Schenberg não é a única atividade importante do Grupo Gráviton. A pesquisa teórica das próprias **ondas gravitacionais** e de suas fontes astrofísicas e cosmológicas, inclusive em teorias alternativas da gravitação, são também importantes.

Com este objetivo, o projeto especial da FAPESP que possibilitou a construção do detector Mário Schenberg foi continuado num projeto temático, também da FAPESP, com o título "Nova Física no Espaço: Ondas Gravitacionais". Este projeto é mais amplo que o anterior e visa também o apoio ao estudo teórico no tema das **ondas gravitacionais**.

A presença significativa da FAPESP, desde o ano 2000, no apoio à pesquisa em **ondas gravitacionais** teve consequências no perfil da comunidade brasileira nessa área. Existem, é verdade, iniciativas em outros estados brasileiros, se destacando as empreendidas no CBPF (Novello *et al.*, 1999) e Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ (Soares *et al.*, 2006), no Rio de Janeiro, mas a grande maioria da pesquisa nessa área ocorre no Estado de São Paulo. Talvez pudesse ter sido diferente se aquela reunião no MCT, em 1997, tivesse tido outro desfecho.

Do ponto de vista das bolsas dos estudantes de iniciação científica, mestrado e doutorado e dos pós-doutores e pesquisadores visitantes, a divisão é mais equânime. Tanto a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), CNPq e FAPESP (talvez FAPERJ, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro também) participam, sem destaque significativo numa ou noutra.

Existem vários grupos realizando trabalhos teóricos importantes em **ondas gravitacionais** e suas fontes astrofísicas a começar pelos encabeçados por José Carlos N. de Araujo e Oswaldo D. Miranda, ambos pesquisadores do INPE. Se destacam também os realizados por Alberto Saa e Patrício Letelier (Unicamp, Universidade Estadual de Campinas), Cecília Chirenti (UFABC, Universidade Federal do ABC), Ivano Soares (CBPF), Henrique Oliveira (UERJ), Fernando Kokubun (FURG, Universidade Federal do Rio Grande), Marcos Maia (UnB, Universidade de Brasília), Ruben Aldrovandi (IFT/UNESP, Instituto de Física Teórica/Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"), Luís Carlos B. Crispino (UFPA, Universidade Federal do Pará), Nazira A. Tomimura (UFF, Universidade Federal Fluminense) e Miguel de Campos (UFRR, Universidade Federal de Roraima) entre muitos outros. É importante mencionar também os trabalhos teóricos pioneiros, alguns até anteriores à década de 90, de Márcio R. G. Maia (UFRN, Universi-

dade Federal do Rio Grande do Norte) e Marcelo E. Araújo (UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro) e Anzhong Wang (UERJ). Logicamente nem todos esses trabalhos são realizados por membros do Grupo Gráviton.

É de se destacar também o excelente trabalho na área experimental que o professor Anderson C. Fauth, da Unicamp, vem realizando na construção de um sistema que veta **raios cósmicos**, composto de cintiladores plásticos, para o detector Mário Schenberg. Por esse sistema, em todos os momentos em que uma grande quantidade de **raios cósmicos** chegar ("chuveiros" de **raios cósmicos**), o sistema de aquisição de dados veta esses momentos na busca de **ondas gravitacionais**.

Finalmente, sempre foi e continua sendo importante a divulgação cientifica para o público leigo (de Araujo *et al*., 2006) e (Aguiar e Oliveira Jr., 2012).

Perspectivas e colaborações

A perspectiva de detecção de **ondas gravitacionais** pelas versões avançadas do LIGO e VIRGO (atualmente em reforma para melhoria de sensibilidade) a partir de 2015-2016 e a perspectiva do detector Schenberg alcançar a sua sensibilidade para iniciar **corridas** científicas nesse mesmo período, abre possibilidades muito interessantes e estimulantes. De forma a poder participar de ambas as frentes de pesquisa, o grupo do INPE assinou um MoU (*Memorandum of Understanding*) ou acordo bilateral com a LSC (*LIGO Scientific Collaboration*). Dentro desse acordo, o Grupo GWINPE, como foi cunhado para a LSC o nome do grupo de **ondas gravitacionais** (*Gravitational Waves*) do INPE, desenvolve trabalhos colaborativos na área de isolamento vibracional para versões futuras do LIGO, caracterização do detector LIGO avançado (aLIGO), trabalho desenvolvido por César A. Costa que passou recentemente dois anos nos EUA, na LSU, e modelamento de sinais e análise de dados, envolvendo uma equipe total de seis pessoas (o autor, dois pós-doutores, um aluno de doutorado, um aluno de mestrado e um técnico).

Na parte de desenvolvimento de isolamento vibracional para versões futuras do LIGO (versões que virão depois do aLIGO), foi inventado um sistema de pêndulos multianinhados, isto é, um dentro do outro (Aguiar and Constâncio Jr., 2012) que tem alto desempenho no isolamento, sem a necessidade de uso de muito espaço vertical dentro das câmaras de vácuo dos **interferômetros**. Na Figura 12 pode-se visualizar este sistema que está sendo desenvolvido no Laboratório de Ondas Gravitacionais (LOG) do INPE

Figura 12. À direita: sistema de isolamento vibracional formado por pêndulos multi-aninhados, que estão sendo desenvolvidos no LOG do INPE para utilização nas versões futuras do LIGO. Márcio Constâncio Jr., um dos alunos envolvidos neste trabalho, pode ser visto à esquerda para referência de tamanho

Esta colaboração com o LIGO e suas versões avançadas e futuras abrem também perspectivas para colaboração no VIRGO avançado, no KAGRA (*Kamioka Gravitational Wave Detector*), detector avançado do Japão e no ET (*Einstein Telescope*), detector avançado europeu.

Na área espacial está em curso uma colaboração do INPE com o pesquisador Massimo Tinto, do JPL (*Jet Propulsion Laboratory*), com a participação do pesquisador Márcio Alves, da UNESP (Universidade Estadual Paulista), S. J. Campos, SP, no estudo de um projeto espacial de detecção de **ondas gravitacionais** utilizando satélites geoestacionários (de Araujo *et al*., 2012), o que torna o projeto mais barato e atrativo até para a Agência Espacial Brasileira (AEB), que vem desenvolvendo estudos para projetos com este tipo de satélite/órbita.

Paralelamente está em andamento uma colaboração com o professor Marbey Mosso, do CETUC (Centro de Telecomunicações da PUC do Rio de Janeiro) e colaboradores de lá e da UFF, na qualificação de osciladores de ultrabaixo ruído de fase (um tipo de ruído eletrônico que tem a ver com a estabilidade da fase da oscilação senoidal do sinal puro) para uso espacial. Já se sabe construir este tipo de osciladores para o Schenberg que terão que ser modificados para poderem suportar o lançamento do foguete e a operação nas condições do espaço.

Em conclusão, com a real perspectiva de detecção nos próximos anos, estamos prestes a vivenciar e participar de momentos históricos na área de **ondas gravitacionais** em nível mundial.

Referências

Aguiar, Odylio D. (2011), Past, present and future of the Resonant-Mass gravitational wave detectors, *Research in Astronomy and Astrophysics*, 11, 1-42.

Aguiar, Odylio D.; Andrade, Luiz Alberto de; Barroso, Joaquim José; Bortoli, Flávio S.; Carneiro, Leandro A.; Castro, Pedro José de; Costa, César A.; Costa, Kátia M. F.; de Araujo, José Carlos N.; Lucena, Antônio U.; de Paula, Wayne; de Rey Neto, Edgard C.; de Souza, Sergio T.; Fauth, Anderson C.; Frajuca, Carlos; Frossati, Giorgio; Furtado, Sérgio R.; Magalhães, Nadja S.; Marinho Jr., Rubens de M.; Matos, Emílio S.; Melo, José Luiz; Miranda, Oswaldo D.; Oliveira Jr., Nei de; Paleo, Bruno W.; Remy, Marco A.; Ribeiro, Kilder L.; Stellati, Claudemir; Velloso Jr., Walter F. and Weber, Jorge (2005), The Brazilian gravitational wave detector Mario Schenberg: progress and plans, *Classical and Quantum Gravity*, 22, S209-S214.

Aguiar, Odylio D.; Andrade, Luiz Alberto de; Barroso, Joaquim José; Bortoli, Flávio S.; Carneiro, Leandro A.; Castro, Pedro José de; Costa, César A.; Costa, Kátia M. F.; de Araujo, José Carlos N.; Lucena, Antônio U.; de Paula, Wayne; de Rey Neto, Edgard C.; de Souza, Sergio T.; Fauth, Anderson C.; Frajuca, Carlos; Frossati, Giorgio; Furtado, Sérgio R.; Magalhães, Nadja S.; Marinho Jr., Rubens de Melo; Melo, José Luiz; Miranda, Oswaldo D.; Oliveira Jr., Nei F. de; Ribeiro, Kilder L.; Stellati, Claudemir; Velloso Jr., Walter F. and Weber, Jorge (2006), The Brazilian gravitational wave detector Mario Schenberg: status report, *Classical and Quantum Gravity*, 23, S239-S244.

Aguiar, Odylio D.; Andrade, Luiz Alberto de; Barroso, Joaquim José; Camargo Filho, Lúcio; Carneiro, Leandro A.; Castro, Claudio de S.; Castro, Pedro José de; Costa, Cesar A.; Costa, Kátia M. F.; de Araujo, José Carlos N.; Lucena, Antônio U.; de Paula, Wayne; de Rey Neto, Edgard C.; de Souza, Sérgio T.; Fauth, Anderson C.; Frajuca, Carlos; Frossati, Giorgio; Furtado, Sérgio R.; Lima, Liana C.; Magalhães, Nadja S.; Marinho Jr., Rubens de M.; Matos, Emílio S.; Melo, José Luiz; Miranda, Oswaldo D.; Oliveira Jr., Nei F. de; Paleo, Bruno W.; Remy, Marco A.; Ribeiro, Kilder L.; Stellati, Claudemir; Velloso Jr., Walter F. and Weber, Jorge (2004), The Brazilian Spherical Detector: progress and plans, *Classical and Quantum Gravity*, 21, S457-S463.

Aguiar, Odylio D.; Andrade, Luis Alberto; Barroso, Joaquim José; Castro, Pedro José de; Costa, César A.; de Souza, Sérgio T.; de Waard, Arllete; Fauth, Anderson C.; Frajuca, Carlos; Frossati, Giorgio; Furtado, Sérgio R.; Gratens, Xavier; Maffei, Tiago M. A.; Magalhães, Nadja S.; Marinho, Rubens M.; Oliveira Jr., Nei F.; Pimentel, Guilherme L.; Remy, Marco A.; Tobar, Michael E.; Abdalla, Élcio; Alves, Márcio E. S.; Bessada, Denis F. A.; Bortoli, Flávio S.; Brandão, Cláudio S. S.; Costa, Kátia M. F.; de Araújo, Helmo A. B.; de Araujo, José Carlos N.; de Gouveia Dal Pino, Elisabete

M.; de Paula, Wayne; de Rey Neto, Edgard C.; Evangelista, Edgard F. D.; Lenzi, César H.; Marranghello, Guilherme Frederico; Miranda, Oswaldo D.; Oliveira, Samuel R.; Opher, Reuven; Pereira, Eduardo S.; Stellati, Claudemir and Weber, Jorge (2008), The Schenberg spherical gravitational wave detector: the first commissioning runs, *Classical and Quantum Gravity*, 25, 114042.

Aguiar, Odylio D.; Andrade, Luiz Alberto de; Camargo Filho, Lúcio; Costa, Cesar A.; de Araujo, José Carlos N.; de Rey Neto, Edgard C.; de Souza, Sergio T. de; Fauth, Anderson C.; Frajuca, Carlos; Frossati, Giorgio; Furtado, Sérgio R.; Furtado, Valéria G. dos S.; Magalhães, Nadja S.; Marinho Jr., Rubens de Melo; Matos, Emílio S.; Meliani, Mara T.; Melo, José Luiz; Miranda, Oswaldo D.; Oliveira Jr., Nei F. de; Ribeiro, Kilder L.; Salles, Karla Beatriz M.; Stellati, Claudemir and Velloso Jr., Walter F. (2002a), The Status of the Brazilian Spherical Detector, *Classical and Quantum Gravity*, 19, 1949-1953.

Aguiar, Odylio D.; Barroso, Joaquim José; Carneiro, Leandro A.; Castro, Pedro José de; Costa, César A.; Furtado, Sérgio R.; Melo, José Luiz; Remy, Marco A.; Ribeiro, Kilder L.; Andrade, Luiz Alberto de; Frajuca, Carlos; Mosso, Marbey M. and Podcameni, Abelardo (2003), Transducers for the Schenberg Detector, *Programa e Resumos do XXIV Encontro Nacional de Física de Partículas e Campos*, Sociedade Brasileira de Física, 44.

Aguiar, Odylio D.; Barroso, Joaquim José; Carvalho, Natália C.; Castro, Pedro José de; Cedeño-Montaña, Carlos Eduardo; Da Silva Costa, Carlos Filipe; de Araujo, José Carlos N.; Evangelista, Edgard F. D.; Furtado, Sérgio R.; Miranda, Oswaldo D.; Moraes, Pedro Henrique R. S.; Pereira, Eduardo S.; Silveira, Patrick R.; Stellati, Claudemir; Oliveira Jr., Nei Fernandes de; Gratens, Xavier; de Paula, Leandro A. N.; de Souza, Sérgio T.; Marinho Jr, Rubens M.; Oliveira, Fernanda G.; Frajuca, Carlos; Bortoli, Flávio S.; Pires, Ricardo; Bessada, Denis F. A.; Magalhães, Nadja S.; Alves, Márcio E. S.; Fauth, Anderson C.; Macedo, Rodrigo P.; Saa, Alberto; Tavares, Dennis B.; Brandão, Cláudio S. S.; Andrade, Luiz Alberto; Marranghello, Guilherme Frederico; Chirenti, Cecilia B. M. H.; Frossati, Giorgio; de Waard, Arlette; Tobar, Michael E.; Costa, César A.; Johnson, Warren W.; de Freitas Pacheco, José Antônio and Pimentel, Guilherme L. (2012), Status Report of the Schenberg Gravitational Wave Antenna, *Journal of Physics. Conference Series*, 363, 012003.

Aguiar, Odylio D. and Constâncio Jr., Márcio (2012), 'Multi-Nested Pendula': a new concept for vibration isolation and its application to gravitational wave detectors, *Review of Scientific Instruments* (submitted).

Aguiar, Odylio D. e Oliveira Jr., Nei F. de (2012), "Contribuição da supercondutividade na detecção de ondas gravitacionais", *Revista USP*, 31 de janeiro, 167-175.

Aguiar, Odylio D.; Oliveira Jr., Nei F. de; Frossati, Giorgio; De Araujo, José Carlos N.; Miranda, Oswaldo D.; Marinho Jr., Rubens de M.; Magalhães, Nadja S.; Frajuca, Carlos; de Souza, Sergio T. and Furtado, Sérgio R. (2002b), The Gravitational Wave Detector 'Mario Schenberg': Status of the Project, *Brazilian Journal of Physics*, 32, 866-868.

Aguiar, Odylio D.; Velloso Jr., Walter F.; Mosquera-Cuesta, Herman Julio; de Araujo, José Carlos; Horvath, Jorge Ernesto; Freitas-Pacheco, José Antonio; Novello, Mario;

Freitas, Luciene R.; Magalhães, Nadja S.; Frajuca, Carlos; Escobar, Carlos O.; Oliveira, Samuel R. e Araújo, Marcelo E. (1996), "Objetivos Científicos do Telessensor de Ondas Gravitacionais", comunicação 22ª Reunião Anual da SAB, *Boletim da SAB*, 16, 164.

Aguiar, Odylio D.; Villela Neto, Thyrso; Neri, José Angelo C. F.; Cattani, Mauro S. D.; Escobar, Carlos O.; Magalhães, Nadja S.; de Araujo, José Carlos N.; Freitas-Pacheco, José Antônio; Raffaelli, George; Velloso Jr., Walter F.; Chinelatto, José A.; Turtelli Jr, Armando; Novello, Mário; de Oliveira, Luis Alberto R.; Pinto Neto, Nelson; Santoro, Alberto F. S.'Soares, Ívano, D.; Svaiter, Nami F.; Lemos, José, P.S.; Santos, Nilton, Oscar S.; Rapp, Raul E.; Maia, Marcos; Vilhena, Rodolpho; Bruno, Antonio Carlos; Costa Ribeiro, Paulo E. L. e Silva, Mariano (1992), "Projeto Gráviton — Astrofísica de Ondas Gravitacionais no Brasil" *in Anais da 44ª Reunião anual da SBPC*, SBPC.

Amaldi, Edoardo; Aguiar, Odylio D.; Bassan, Massimo; Bonifazi, P.; Carelli, P.; Castellano, M. G.; Cavallari, G.; Coccia, Eugenio; Cosmelli, C.; Fairbank, William M.; Frasca, Sergio; Foglietti, V.; Habel, R.; Hamilton, William O.; Henderson, J.; Johnson, Warren; Lane, K. R.; Mann, Antony G.; McAshan, M. S.; Michelson, Peter F.; Modena, Ivo; Pallottino, G. V.; Pizzela, Guido; Price, John C.; Rapagnani, R.; Ricci, Fulvio; Solomonson, Norbert; Stevenson, Thomas R.; Taber, R. C. and Xu, Bu-Xin (1989), First gravity wave coincidence experiment between resonant cryogenic detectors — Louisiana-Rome-Stanford, *Astronomy and Astrophysics*, 216, 325-332.

Costa, César A.; Aguiar, Odylio D.; Oliveira Jr., Nei F.; Gratens, Xavier; de Souza, Sérgio T. and Furtado, Sergio R. (2008), The Schenberg data acquisition and analysis: results from its first commissioning run, *Classical and Quantum Gravity*, 25, 184002.

de Araujo, José Carlos N.; Aguiar, Odylio D.; Alves, Márcio E. S. and Tinto, Massimo (2013), Searching for Gravitational Waves with a Geostationary Interferometer, Astroparticle Physics , 48, 50-60.

de Araujo, José Carlos N.; Aguiar, Odylio D.; Miranda, Oswaldo D. e Marranghello, Guilherme Frederico (2006), "Detecção por Ondas Gravitacionais", *Scientific American Brasil*, 31 de maio, 60-65.

Heaviside, O. (1893), Electromagnetic Theory, New York: Dover Publications, Inc.

Johnson, W. W. and Merkowitz, S. M. (1993), Truncated icosahedral gravitational wave antenna, Phys. Rev. Lett., 70, 2367-2370.

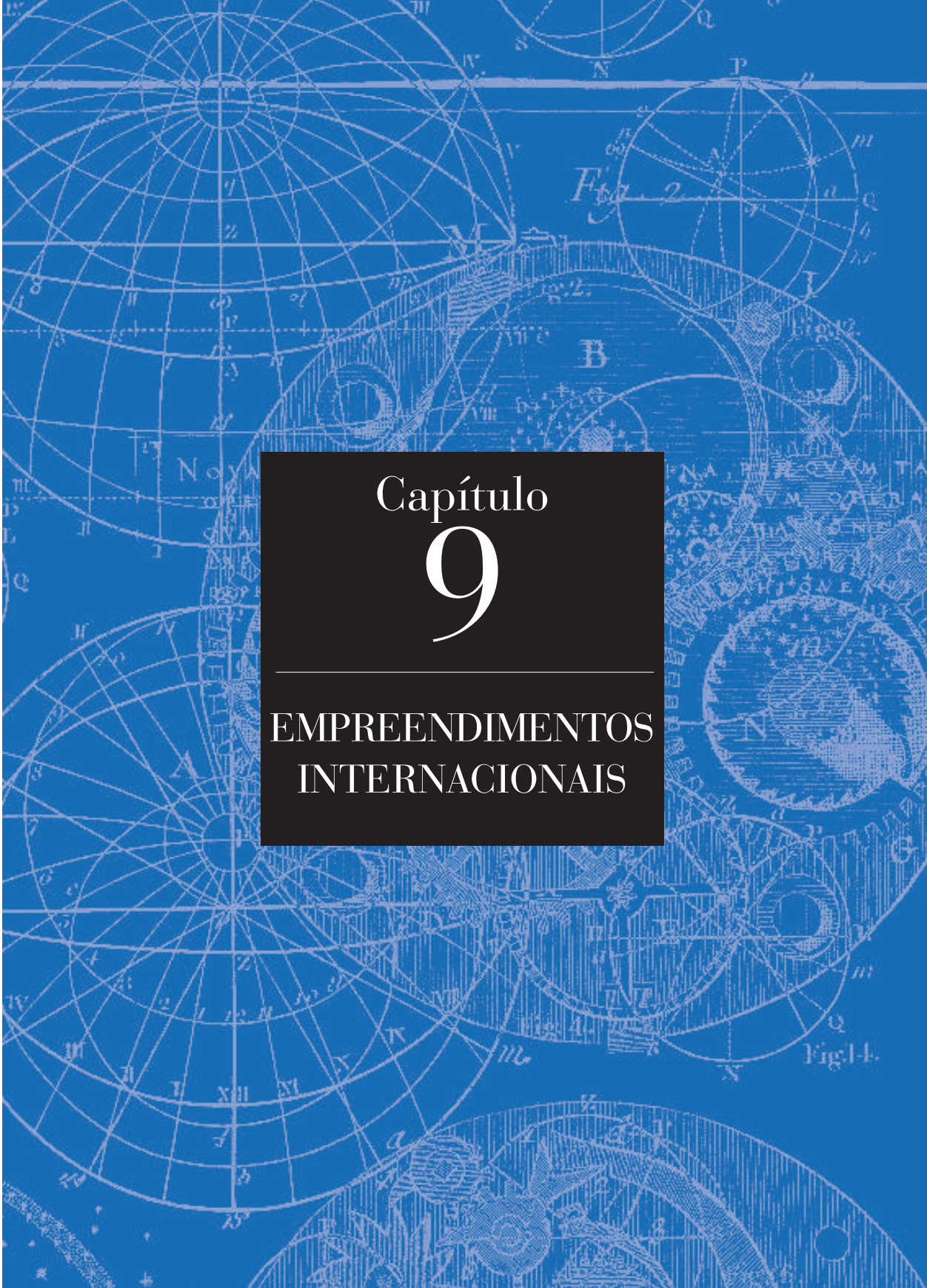
Lorentz, H. A. (1900), Consideration sur la pesanteur, Versl. K. Akad. Wet Amsterdam, 8, 603.

Novello, Mario; De Lorenci, Vitorio A.; Freitas, Luciene R. and Aguiar, Odylio D. (1999), The Velocity of Gravitational Waves, *Physics Letters*, A 254, 245-250.

Poincaré, M. (1905), Sur la dynamic de l'Électron, Rend. Circolo Matematico di Palermo, 21, 129-175.

Soares, Ivano D.; Oliveira, Henrique P. and Tonini, Eduardo V. (2006), Black Hole Bremsstrahlung: can it be an efficient source of gravitational waves?, *International Journal of Modern Physics D*, 15, 2203-2208.

Velloso Jr., Walter F.; Aguiar, Odylio D. and Magalhães, Nadja S., Eds. (1997), *Proceedings of the First International Workshop for an Omnidirectional Gravitational Radiation Observatory*, São José dos Campos, SP, Brazil, 26-31 May 1996, River Edge, NJ: World Scientific.



Capítulo 9

EMPREENDIMENTOS INTERNACIONAIS

Parte 1
Participação do Brasil em consórcios internacionais

Beatriz Barbuy (IAG/USP)

Aqui será tratada a adesão do Brasil aos observatórios dos consórcios Gemini, SOAR (*SOuthern Astrophysical Research Telescope*) e ESO (*European SOuthern Observatory*).
Serão revistos os passos dados para: a) adesão do Brasil ao consórcio Gemini em 1993: 2 telescópios de 8 m localizados no Chile e Havaí; b) construção do telescópio SOAR de 4 m com os parceiros: *National Optical Astronomical Observatory* (NOAO), *University of North Carolina* (UNC), *Michigan State University* (MSU); construção de instrumentos para o telescópio SOAR.
Serão citados também o aluguel do telescópio do CFHT (*Canada-France-Hawaii Telescope*) a entrada nos projetos SST (*Solar Sub-millimetric Telescope*), LLAMA (*Large Latin American Millimeter Array*) e GMT (*Giant Magellan Telescope*) e possibilidade no LSST (*Large Synoptic Radio Telescope*); c) adesão do Brasil ao ESO, tramitando desde 2010, o mais importante passo da astronomia brasileira.

Introdução

O primeiro passo da comunidade astronômica brasileira para ter acesso a tempo de uso de telescópio foi a construção do Observatório do Pico dos Dias (OPD) em Brazópolis, MG, que se tornou disponível no início dos anos 80. No OPD, operado pelo Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA)[1] com sede em Itajubá, MG, a comunidade astronômica brasileira passou a ter acesso aos seguintes telescópios: telescópio de 1,6 m com **espectrógrafo** de alta **resolução** no foco ***coudé*** e **espectrógrafo** de baixa **resolução** no foco ***Cassegrain***; telescópio de 0,6 m para **fotometria** clássica e, posteriormente nos anos 90, o telescópio de 0,6 m do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) para imageamento no infravermelho.

No fim dos anos 80 começou-se a pensar em telescópios maiores e, pelo requisito prioritário de céu aberto, passou a ser consensual que deveríamos ter acesso a telescópios no Chile. Diante de tais pretensões, também passou a ficar claro que seria mais razoável e conveniente a participação em consórcios internacionais.

Consórcio Gemini

A parceria internacional para a construção dos telescópios Gemini teve início na *National Science Foundation* (NSF) com membros iniciais dos EUA (50%), Canadá (25%) e RU (25%) denominados *partners* (parceiros). Mas, para o orçamento do ano fiscal de 1990, o Congresso Americano impôs, com força de lei, que "não mais que 50% das verbas da construção dos telescópios do Projeto Gemini poderão vir dos EUA". Quando o Canadá reduziu sua participação a 15%, tornou-se necessário integrar novos parceiros, e os sócios com menor fração dos custos passaram a ser Argentina, Brasil e Chile inicialmente e, posteriormente, também a Austrália, denominados *parties* (terceiros).

A entrada do Brasil no Consórcio Gemini teve início em 1992 quando Carlos Alberto Torres, então diretor do LNA, viu uma notícia de que no Projeto Gemini faltava preencher uma cota. Nessa mesma época o CNPq tinha iniciado discussão sobre programação estratégica. Começou então uma discussão interna no LNA, tendo sido definida uma missão para o LNA a ser apresentada ao Conselho Técnico-Científico do LNA (CTC/LNA) que, a seguir, foi convocado para uma reunião.

---

[1] Ver o Capítulo "O observatório de montanha" sobre o OPD e o LNA, neste Volume.

Segundo a ata do CTC/LNA de 15/9/92, dentro do item "Primeiras ideias sobre planejamento estratégico do LNA", a representante da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Miriani Pastoriza, comentou sobre o

> Projeto Gemini — construção de 2 telescópios (Chile e Havai) através de um convênio entre vários países responsáveis por diferentes cotas. O diretor do LNA considerou o projeto de grande valia para a astronomia brasileira e colocou o LNA à disposição na luta para que o Brasil entre no programa, pedindo apoio dos membros do CTC e suas respectivas instituições. A resposta dos membros do CTC foi favorável à busca de mais informações, apoiando inclusive a ida do diretor do LNA à Reunião Latino-Americana da IAU em Viña del Mar, Chile, em outubro de 1992, para busca de maiores detalhes sobre o assunto. O representante do IAG (J. A. de Freitas Pacheco) lembrou que esse é um projeto que deve ser assumido por um "Instituto Nacional", levando-se em conta que devemos obter verbas não só para investimentos de capital como também para manutenção do projeto (Ata do CTC/LNA de 15/9/92).

Logo após o CTC, Carlos Alberto Torres telefonou para Lindolpho da Silva Dias, então secretário-executivo do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), que se interessou imediatamente pelo projeto e tomou as providências necessárias para que ele comparecesse à Reunião Latino-Americana da IAU (União Astronômica Internacional) em Viña del Mar. Nessa reunião Carlos Alberto Torres e Miriani Pastoriza foram conversar com Robert (Bob) Williams, então diretor do *Cerro Tololo Interamerican Observatory* (CTIO) que se dispôs a ajudar. Na mesma reunião foram contatados diversos outros astrônomos brasileiros presentes à reunião, e todos deram seu apoio.

Havia ainda um problema: só havia uma cota de 5% e a Argentina se propunha a preenchê-la. Ainda na mesma reunião Carlos Alberto discutiu com Juan Clariá, presidente da *Associación Argentina de Astronomia* sobre o interesse de o Brasil em entrar no Projeto Gemini e, nessa conversa, surgiu a ideia de que Brasil e Argentina dividissem a cota. Clariá ficou de levar a ideia para a comunidade argentina. Bob Williams quis também que o Brasil manifestasse o interesse através de uma carta oficial do ministro, em um mês.

Há uma carta de Carlos Alberto à presidente da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB), na época a autora deste texto, relatando todos esses detalhes discutidos em 25/10/92 em Viña del Mar. O Brasil estava com um presidente da república interino, o vice-presidente Itamar Franco, já que o presidente Fernando Collor de Mello tinha sofrido *impeachment* em 29/09/92. Lindolpho da Silva Dias gostou especialmente da proposta de Brasil e Ar-

gentina dividirem a cota, pois isso estava de acordo com as ideias de Itamar Franco que acabaria levando depois a proposta ao Mercosul.

Lindolpho expôs a proposta ao ministro José Israel Vargas, do MCT, que a aceitou imediatamente e preparou a carta solicitada por Bob Williams. Em 1/12/92 Israel Vargas enviou ofício para Wayne van Citters, responsável da NSF pelo projeto (documento disponível nos arquivos do LNA):

> *Referring to the Gemini Project I am glad to inform you that Brazil considers the possibility of joining the consortium of the Project with a share of 2.5%. I was informed that Argentina is also interested in the project, intend to cover an equal share of 2.5%. I understand that the Brazilian participation of 2.5% means a financial contribution of US$4,250,000.00. I proposed that Brasil pays this amount in eight disbursements, beginning 1994, until 2000. Please be so kind to inform how to proceed in order to formalize our participation in the project.*
> *Sincerely yours,*
> *José Israel Vargas, Minister of Science and Technology of Brazil.*

Houve pronta resposta de Wayne van Citters em carta datada de 8/12/92 concordando. Houve reunião em Brasília convocada por Lindolpho da Silva Dias no início de abril de 1993, em que estavam Carlos Alberto Torres, José Antonio de Freitas Pacheco e outros membros da comunidade. O ministro Israel Vargas assinou então a proposta de acordo. Em maio de 1993 houve reunião no Rio de Janeiro em que estiveram presentes Lindolpho da Silva Dias, Carlos Alberto Torres, José Antonio de Freitas Pacheco, Sayd Codina Landaberry, Luiz Paulo Vaz, Francisco Jablonski, Miriani Pastoriza, João Steiner e a autora deste texto. O representante brasileiro no Conselho Diretor (*Board*) do Projeto Gemini então indicado foi João Steiner. Consta da *Gemini Newsletter* de junho de 1993:

> *Memoranda of Understanding have now been signed that make commitments for the full US$176M budgeted for the Project. The partners in the project will be United States (50%), the United Kingdom (25%), Canada (15%), Chile (5%), Argentina (2.5%) and Brazil (2.5%). The project team particularly wishes to welcome its three new partners and also to thank Goetz Oertel, the President of AURA, Bob Williams, the Director of CTIO, and Dick Malow, the Staff Director of the House Subcommittee on VA, HUD and Independent Agencies, for their efforts in bringing about the partnerships with Argentina, Brazil, and Chile.*

Trata-se de 2 telescópios com espelho de 8 m de diâmetro, campo de visão de 5' optimizado no infravermelho. A inauguração do Gemini Norte ocorreu em julho de 1999, e do Gemini Sul em janeiro de 2002.

Com base nas observações feitas com os telescópios do Projeto Gemini (Figura 1), a comunidade brasileira produziu 98 artigos científicos entre 2001 e 2012 (http://www.lna.br/lna/public/gemini/public.html).

Figura 1. Telescópio Gemini Sul em Cerro Pachón, nos Andes chilenos (Roger Smith)

Em 2013 o Brasil tem uma cota de 6,3% do Gemini e está solicitando a duplicação de sua participação. A cota foi ampliada unicamente pela saída da Inglaterra, que tinha 25% do tempo. A entrada da Austrália ocorreu com a saída do Chile.

O LNA/MCTI, com sede em Itajubá, MG, é o escritório nacional do Projeto Gemini, assim como dos outros consórcios internacionais de que o Brasil participa na área de astronomia. Desde março de 2008 o LNA edita o "LNA em dia", uma revista eletrônica (http://www.lna.br/lna/LNA_em_dia/LNA_em_dia.html) em que divulga para a comunidade astronômica brasileira as notícias sobre os consórcios gerenciados por ela (OPD, Gemini, SOAR e CFHT).

Consórcio SOAR (*SOuthern Astrophysical Research Telescope*)

O representante do Brasil no Conselho Diretor do Projeto Gemini em 1993—1997, João Steiner (IAG/USP), em contato com Sidney Wolff, diretora na época do NOAO (*National Optical Astronomy Observatory*), propôs à comunidade brasileira a construção de um telescópio de 4 m em colaboração com o NOAO e a UNC (*University of North Carolina*). Na verdade, a ideia desse telescópio já vinha sendo discutida desde o fim dos anos 80, proposta por Bruce Carney da UNC, e tratativas anteriores com Luiz A. Nicolaci da Costa (ON) já haviam ocorrido.

A comunidade brasileira respondeu favoravelmente e João Steiner empenhou-se então em tratar do assunto com o presidente do CNPq, José Galizia Tundisi, e também com o diretor-científico da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), José Fernando Perez.

Em 1995 foi organizado um *workshop* na FAPESP para debate e análise da questão, do qual participaram membros da comunidade astronômica e, como consultores, os convidados Moysés Nussensveig (UFRJ), Luiz A. Nicolaci da Costa, então trabalhando no ESO e Roger Davies (Universidade de Oxford).

O Projeto SOAR consiste de um telescópio com espelho de 4,3 m de diâmetro, localizado no Chile, na mesma montanha em que se encontra o telescópio Gemini Sul, Cerro Pachón, e onde se localizará o telescópio LSST (ver adiante). Trata-se de um consórcio entre o Brasil (CNPq), com fração de 33%, a agência nacional americana NOAO com 33%, a UNC com 16,5% e a MSU (*Michigan State University*) com 16,5%. O telescópio, de porte médio (da classe de 4 m), visa a observações no **óptico** e infravermelho, em imagens e **espectroscopia**, que são as áreas de maior atuação da comunidade astronômica brasileira. O custo do telescópio foi de US$ 28 milhões. O Brasil arcou com a metade dos custos de construção do telescópio, a UNC e a MSU com 80% da outra metade e o NOAO pagou US$ 2 milhões, além de arcar com a manutenção do telescópio por 20 anos, desde que o acordo foi assinado (não a partir de quando o telescópio ficou pronto), portanto até 2018.

A parte brasileira do projeto de construção civil e do telescópio foi paga pelo CNPq, com contribuição menor da FAPESP. O Brasil é representado pelo CNPq que vem pagando as cotas anuais.

O telescópio SOAR (Figura 2) está em operação desde 2004 e tem produzido ciência desde então com os instrumentos disponíveis. Foram produzidos 37 artigos científicos entre 2005 e 2012 (http://www.lna.br/lna/public/soar/public.html).

Figura 2. Telescópio SOAR em Cerro Pachón, Chile (portal eletrônico SOAR)

O contrato entre as partes exigia também que cada país se responsabilizasse pela construção de um instrumento. Ao Brasil coube o **espectrógrafo** de campo integral[2] SIFS (*SOAR Integral Field Unit Spectrograph*). Para a construção do SIFS foi obtida verba da FAPESP pela autora deste texto. O líder do projeto SIFS foi Jacques Lépine (IAG/USP) entre 2000 e 2006, a seguir Clemens Gneiding (LNA/MCTI) entre 2006 e 2010 e finalmente Antonio Cesar de Oliveira. O instrumento está instalado no telescópio SOAR, mais ainda em fase de comissionamento (ver o Capítulo "Desenvolvimento de instrumentação" neste Volume para informações mais detalhadas sobre os instrumentos aqui citados).

Uma vantagem do telescópio SOAR é que temos condições de propor iniciativas e concretizá-las em vista da grande participação brasileira no projeto. Foi proposto o **espectrógrafo** STELES, de alta **resolução** espectral, por Bruno Castilho (LNA/MCTI). As verbas foram obtidas da FAPESP, sendo Augusto Damineli (IAG/USP) o coordenador. Finalmente também está sendo desenvolvido o **espectrógrafo** BTFI (*Brazilian Tunable Filter Imager*) por Cláudia Mendes de Oliveira (IAG/USP), incluído no projeto FAPESP sob coordenação de Reuven Opher (IAG/USP), e também no INCT-A descrito no parágrafo abaixo.

---

[2] Ver **IFU.**

A verba para completar os três instrumentos, para a fase de testes e comissionamento está sendo obtida do INCT-A (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Astrofísica). Ver o Capítulo sobre "Financiamento da Astronomia" neste Volume. Espera-se que quando os três instrumentos brasileiros estiverem em pleno funcionamento, haverá intensificação na produção científica.

Aluguel do CFHT (*Canada-France-Hawaii Telescope*)

O CFHT é um consórcio entre o Canadá, a França e o estado americano do Havaí, com instalações físicas no cume do Mauna Kea. Desde 2009 até 2011 o LNA passou a pagar noites de aluguel no CFHT, tendo renovado o aluguel para 2012 até 2015, de um telescópio de 3,6 m e do telescópio de 4 m que dá acesso a **espectrógrafo** de alta **resolução** e imageamento de grande campo. O aluguel se deu por solicitação de membros da comunidade que têm necessidade de imageamento em campos de visão grandes, como proporciona o CFHT.

Participação no LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*)

O telescópio LSST, previsto para o fim da presente década, terá 8 m de diâmetro e funcionará unicamente com imageamento, varrendo todo o céu várias vezes em diferentes épocas, visando medir a variabilidade temporal de brilho e posição dos astros em todo o céu. É um projeto americano, e será instalado no Cerro Pachón, ao lado do Gemini Sul. Identificará certamente grande número de alvos que poderão ser estudados depois em mais detalhes em outros telescópios.

O *2011-2020 U. S. Decadal Survey*[3] colocou esse projeto em primeira prioridade. Com isso a verba para construção está aprovada pela NSF. Faltam, porém, verbas para o funcionamento e, por essa razão, há proposta para participação de vários países, com contribuição de US$ 1 milhão por ano, por 10 anos. O Brasil pretende participar desse projeto, mas ainda não há definição a respeito.

[3] http://sites.nationalacademies.org/bpa/BPA_049810

Ingresso do Brasil no ESO

Plano Nacional de Astronomia (PNA)

Em junho de 2009, o ministro de Ciência e Tecnologia (MCT), Sérgio Rezende, criou a Comissão Especial de Astronomia (CEA) com o objetivo de redigir um PNA para os próximos 5-10 anos.

O PNA foi elaborado com consulta ampla à comunidade através da página da SAB, encontros envolvendo a comunidade em várias ocasiões e, em particular, um dia inteiro de discussões na Reunião Anual da SAB em setembro de 2010 (ver o Capítulo "Organização da comunidade astronômica" no Volume II).

Em janeiro de 2009 teve início no âmbito do INCT-A a discussão sobre a possibilidade de adesão do Brasil a um dos três telescópios gigantes, E-ELT (*European Extremely Large Telescope*)[4] do ESO, TMT (*Thirty Meter Telescope*)[5], uma colaboração da *Caltech* (*California Institute of Technology,* Pasadena, CA), Universidade da Califórnia e ACURA (*Association of Canadian Universities for Research in Astronomy*) e GMT (*Giant Magellan Telescope*)[6]. Contatos foram feitos com representantes dos três projetos. Essa discussão foi continuada com representatividade nacional pela CEA/MCT. A opção pelo E-ELT pareceu a mais atraente, grandemente reforçada pela possibilidade de adesão ao ESO. Essa possibilidade foi considerada a melhor, depois de consulta ao então ministro Sérgio Rezende, sob o ponto de vista de custos e possibilidades, por um lado, e as consultas à comunidade por outro. Uma razão importante para essa escolha é o acesso imediato aos observatórios do ESO, com grande diversidade de instrumentos e possibilidades de participação em desenvolvimento de instrumentos e na construção do E-ELT. Pareceu claro que, sem acesso a facilidades como as do ESO em futuro próximo, a astronomia brasileira não seria competitiva daqui a dez anos, quando os telescópios gigantes entrarão em operação. A localização dos observatórios do ESO no Chile foi outra razão a favor da adesão, prevendo o envolvimento de empresas brasileiras e de um maior número de nossos estudantes.

Em levantamento realizado pela CEA em 2010, incluindo somente astrônomos brasileiros com emprego permanente, o resultado foi que a grande maioria apoiou a negociação para a entrada do Brasil no ESO. A comunidade astronômica, representada por todos os seus doutores, foi consultada pela SAB. A entrada do Brasil no ESO tem apoio de 75% da comunidade, 17% dos

---

[4] www.eso.org/sci/facilities/eelt/

[5] www.tmt.org/

[6] www.gmto.org/index/html

membros se abstiveram, principalmente por serem teóricos, e 8% foram contra, sendo a principal objeção o custo. Com base nesses resultados, o objetivo da entrada no ESO foi incorporado como recomendação principal no PNA entregue ao MCT em outubro de 2010.

O governo brasileiro, decidido a estar envolvido nos grandes avanços tecnológicos e científicos do século 21, aprovou a adesão do Brasil à *European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere*, denominação formal do ESO. Em dezembro de 2010 o ministro Sérgio Rezende, com mandato especial de aprovação do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, assinou o acordo com o diretor-geral do ESO, Tim de Zeeuw.

ESO

O ESO (Figura 3) foi fundado em 1962 com a missão de "promover pesquisa astronômica observacional no hemisfério sul da Terra". Com sede em *Garching bei München*, Alemanha, tem cerca de 700 funcionários e o orçamento foi de €$ 131 milhões em 2010. Atualmente tem como membros 14 países europeus e o formato organizacional é o de uma instituição intergovernamental regida por convenção internacional ratificada pelos parlamentos dos países membros. Uma vez ratificado pelo Congresso brasileiro o acordo entre o Brasil e o ESO, nosso país será o 15º país membro e o primeiro de fora da Europa (http://www.eso.org/public/).

Figura 3. Logo oficial do ESO (http:www.eso.org/sci/publications/Messenger/archive/no.118-dec04/Messenger-no118.pdf)

O ESO é o mais completo, mais produtivo observatório astronômico do Planeta, como relatado em *Nature* (Hand, 2009), e reconhecido pelo já citado *2011-2020 U. S. Decadal Survey* onde a seguinte frase foi mencionada (http://sites.nationalacademies.org/bpa/BPA_049810):

> *By concentrating most of its resources into a single international partnership, Europe has minimized duplication of capability between facilities, created a major international research center, and established a monolithic, multi-national institution. ESO inevitably carries a larger overhead than a US private observatory, but it serves as a good example of a successful international partnership.*

Eis uma descrição sumária dos principais observatórios operados pelo ESO:

1. Observatório de La Silla

Foi o primeiro observatório do ESO (Figura 4). Localização: 110 km ao norte de La Serena, Chile. Durante as décadas de 1980–90 foi o maior observatório do mundo com 17 telescópios em operação. Hoje perdeu parte da sua importância a outros observatórios do próprio ESO, mas permanece com alta produtividade científica (http://www.eso.org/public/teles-instr/lasilla.html).

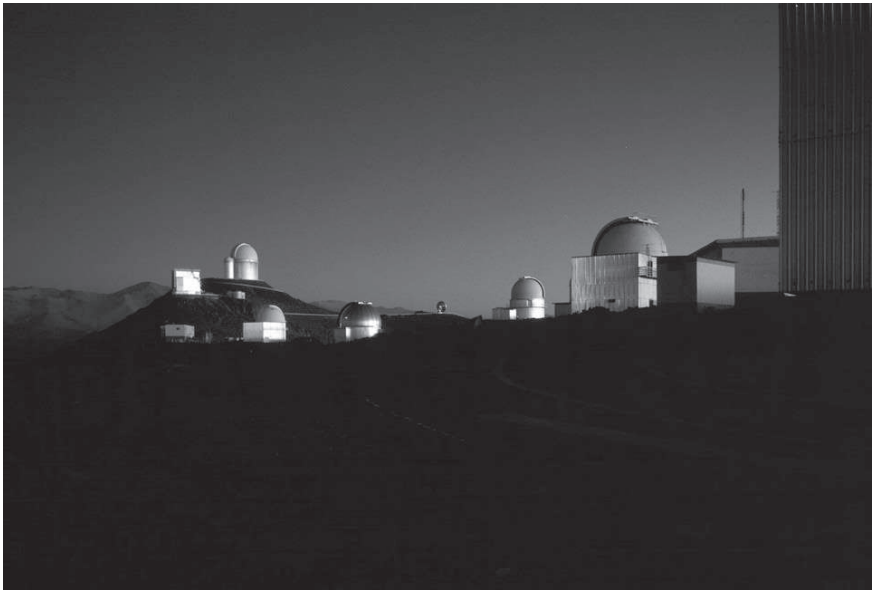


Figura 4. Vista parcial do Observatório de La Silla (Crédito: ESO)

2. Observatório Paranal

Localização: 130 km ao sul de Antofagasta, Chile. Abriga o VLT (*Very Large Telescope*), um conjunto de quatro telescópios de 8,2 m de abertura que, conjuntamente, formam o maior telescópio **óptico** atualmente existente. Os 4 telescópios do VLT, com alguns telescópios auxiliares, podem ser operados também como um único telescópio gigante (Figura 5).

O VLT é considerado atualmente a maior máquina produtora de conhecimento científico da **astronomia terrestre** no mundo.

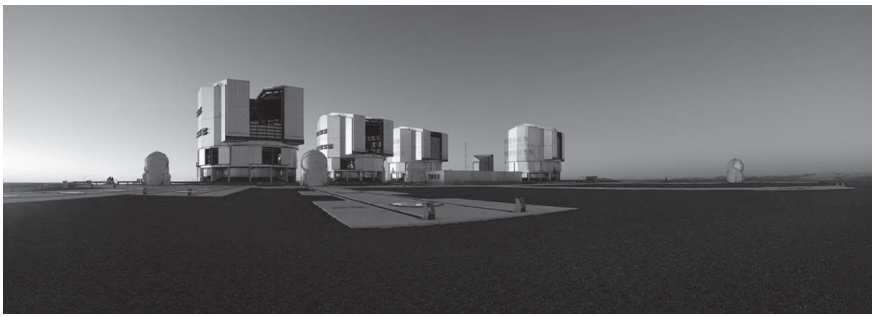


Figura 5. Os quatro telescópios do VLT e seus telescópios auxiliares no Observatório *Paranal* (Crédito: ESO)

3. ALMA

O ESO conta com mais dois telescópios de grande porte para fins específicos (http://www.eso.org/public/teles-instr/vlt/index.html). O primeiro é o ALMA (*Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array*) localizado perto de San Pedro de Atacama, nos Andes chilenos, a uma altura de 5.100 m (Figura 6).

Consiste numa colaboração entre o ESO, países da América do Norte e da Ásia oriental. Com início das operações em 2011 e inaugurado em março de 2013, o ALMA é o maior projeto do mundo para **astronomia terrestre** em construção. Visa observar uma parte do **espectro** eletromagnético entre ondas de rádio e o infravermelho, faixa espectral pouca explorada devido às dificuldades técnicas inerentes. O ALMA contará com um conjunto de 66 antenas de alta precisão, com diâmetro de 12 m, distribuídas numa extensão de até 16 km, podendo variar a distância entre as unidades individuais (http://www.eso.org/public/teles-instr/alma.html).

Figura 6. Concepção artística do ALMA no planalto de Chajnantor, Chile (Crédito: ESO)

4. E-ELT

O segundo grande telescópio do ESO é o E-ELT (*European Extremely Large Telescope*) cujo espelho primário será um mosaico composto de 798 espelhos que, conjuntamente, formarão um espelho gigante de 39,3 m de diâmetro, com área coletora 25 vezes maior do que a de cada unidade do VLT (Figura 7).

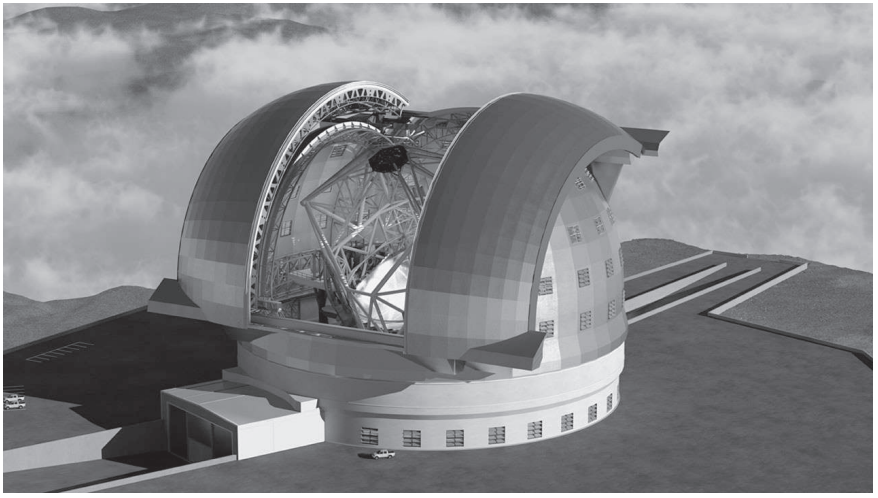


Figura 7. Concepção artística do E–ELT (Crédito: ESO)

A estrutura desse telescópio pesará cerca de 5 mil t. O prédio que o abrigará terá 100 m de diâmetro e altura de 80 m (tamanho de um estádio de futebol!). A cúpula móvel que abre e fecha terá 4 mil t de aço. O custo é de €$ 1 bilhão e o período de construção será de 2013 a 2022. A localização será o Cerro Armazones (Figura 8), próximo ao Observatório Paranal, a 2.060 m acima do nível do mar.

Figura 8. Pôr do sol no Cerro Armazones, local escolhido para o E–ELT (Crédito: ESO)

Portanto essa montanha vai abrigar o maior telescópio **óptico** de todos os tempos, com espelho cuja superfície será 1,7 vezes maior que a do TMT a ser instalado no Havaí, e 2,6 vezes maior que a do GMT a ser instalado no Chile.

Uma série de instrumentos estão sendo previstos para o E-ELT, incluindo **espectrógrafos** multiobjeto (ou seja, permitindo a observação simultânea de dezenas ou centenas de **espectros**) com várias **resoluções** espectrais, **espectrógrafos** de campo integral (conjunto de fibras ópticas que produzem um **espectro** correspondente a cada uma das fibras; ver **IFU**) e imageadores, todos operacionais permanentemente, cobrindo comprimentos de onda desde o azul até o infravermelho intermediário.

Vantagens do ingresso no ESO

1. Acordo intergovernamental
   Como o ESO é uma organização intergovernamental, a participação de cada país membro é aprovada por seu Congresso nacional dentro de acordo internacional, sob a coordenação do Ministério das Relações Exteriores. Esta estrutura é sólida e mais confiável do que outras possibilidades de projetos sob coordenação de universidades ou fundações privadas.
2. Retorno científico imediato
   A assinatura do acordo entre o Brasil e o ESO em dezembro de 2010 já permitiu à comunidade astronômica brasileira ter acesso às facilidades

do ESO desde março de 2011, e nossa comunidade já tem submetido propostas de observação em diferentes telescópios e obtido tempo de observação. Em contraste, as opções de aderir aos grandes telescópios TMT ou GMT só abriria acesso a esses instrumentos dentro de 10 anos. Além disso, o impacto mais importante é que a submissão de propostas ao ESO leva à competição por tempo de telescópio, fator necessário para melhorar o perfil da comunidade astronômica brasileira. Se o Brasil não tiver acesso a instrumentação astronômica de ponta nesses 10 anos, e não se expuser desde já à competição, será muito difícil ser capaz de competir com outros grupos na obtenção de tempo de telescópio para projetos de impacto.

3. Tempo de observação por mérito
   O ESO aloca tempo de observação pelo mérito científico do projeto e, portanto, é possível levar a cabo tarefas observacionais sem limitação de tempo, desde que o projeto seja bom. Isso de fato ocorreu em 2011, em que um proponente brasileiro obteve 88 noites no telescópio de 3,6 m do ESO, para monitorar planetas em torno de estrelas gêmeas do Sol.
4. Acesso ao radiotelescópio ALMA
   O acordo com o ESO dá acesso ao maior projeto já feito até hoje em **astronomia terrestre**, o conjunto de antenas do radiotelescópio ALMA, permitindo aos radioastrônomos brasileiros, que ficaram defasados por não ter acesso a radiotelescópios de qualidade, a ter acesso a instrumentação extremamente competitiva. Ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume.
5. Instrumentação e pacotes de redução de dados de ponta
   Nesses dois itens o ESO não tem equivalente no planeta, pois tem instrumentos únicos, como **espectrógrafos** de alta-**resolução** capazes de observer 130 estrelas simultaneamente (FLAMES) ou com cobertura espectral simultânea do ultravioleta ao infravermelho próximo. Esses instrumentos com desempenho otimizado têm alto rendimento em termos de custo/benefício. Além disso, o astrônomo encontra à disposição pacotes de redução de dados para vários instrumentos, podendo se aplicar imediatamente à interpretação científica propriamente dita.
6. Maior espelho no melhor sítio chileno
   A área coletora de 39,3 m é a maior dos três projetos. A qualidade do céu é muito superior e o número de noites abertas muito maior no sítio de Armazones do E-ELT do que no sítio de Cerro Pachón onde será instalado o GMT. Foi essa a razão principal que levou o ESO a construir o novo sítio onde está o VLT, e estará o E-ELT, não instalando esses grandes telescópios

no sítio inicial em La Silla, próximo de La Serena, como o Cerro Pachón. Esse é outro fator importante que reflete na eficiência do custo.

7. Oportunidades para a indústria local
   De acordo com as normas do ESO, o pagamento do Brasil ao ESO pode retornar ao Brasil até 75% através de contratos com indústrias, empresas e universidades. O ESO aloca contratos aos países membros e a localização geográfica do Brasil na América do Sul, próxima ao Chile, coloca nossas indústrias em posição privilegiada em termos competitivos, sob diversos aspectos.
8. Tecnologia de ponta para a indústria brasileira
   Os instrumentos altamente complexos e precisos necessários, principalmente em se tratando dos telescópios gigantes, demandarão um desenvolvimento da capacidade de nossas indústrias em alta tecnologia. Um exemplo importante é a proposta de prototipagem e construção de atuadores elétricos para os 798 segmentos do espelho do E-ELT.
9. Planos de longo prazo para instrumentação
   A estabilidade do ESO e sua "política de inclusão" dos países membros permitirá aos astrônomos brasileiros a participação no planejamento e atuação no desenvolvimento de instrumentação de alta tecnologia com perspectiva de longo prazo.
10. Impacto na educação e imprensa
    Uma consequência clara da participação no maior e mais produtivo observatório astronômico em solo e na construção do maior telescópio de todos os tempos, será o impacto na educação científica de jovens brasileiros. O mesmo se aplica ao jornalismo que, por sua vez, também tem impacto na educação.
11. Prestígio do país
    A adesão do Brasil ao ESO tem forte impacto internacional e ajuda a mostrar no que este país se tornou. Isso é importante nesses tempos de acirrada competição. O impacto ao nível mundial ficou claro no artigo publicado na revista *Nature* (Mann, 2011).
12. Benefícios políticos
    A adesão do Brasil ao ESO tem simpacto fortalecedor das relações com a Europa, a América Latina, em particular com o Chile.

Outras colaborações internacionais

Há outros três projetos a ressaltar, financiados pela FAPESP e, portanto, beneficiando a comunidade astronômica do Estado de São Paulo:

SST (*Solar Sub-millimetric Telescope*)

É um radiotelescópio para observações do Sol, operando em 212 GHz e 405 GHz. Está instalado em El Leoncito, na Argentina, dentro de colaboração Brasil -Argentina. O equipamento foi instalado nos anos 90, e vem sendo coordenado e usado desde então pelos astrônomos da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

LLAMA (*Large Latin-America Millimeter Array*)

Também é um projeto de colaboração entre o Brasil e Argentina. Trata-se de antena de 12 m, a ser instalada em Salta, Argentina. Operará nas frequências milimétricas e submilimétricas de 84 a 116 GHz, 221 a 275 GHz, 275 a 373 GHz e 602 a 720 GHz. A antena é semelhante à do radiotelescópio APEX do ESO, e também será utilizada em rede com o radiotelescópio ALMA (*Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array*), que se localiza a 200 km de distância. O equipamento deverá ser concluído entre 2015 e 2017.

GMT (*Giant Magellan Telescope*)

É um telescópio óptico de 24 m de diâmetro que está sendo construído por um consórcio internacional envolvendo os EUA, a Austrália e a Coreia do Sul. O acordo em que o Brasil é sócio se dá através de pagamento pela FAPESP de 4% do valor do telescópio. O acordo, em tramitação, é tratado com a *Carnegie Institution* dos EUA. O telescópio deve ser concluído dentro de 10 anos.

Conclusões

A comunidade astronômica brasileira vem crescendo rapidamente. Já são mais de 700 astrônomos, incluindo cerca de 350 contratados e outros 350 pós-doutores, mestrandos e doutorandos. Essa comunidade vem demandando mais acesso a telescópios.

Os objetivos principais no presente momento são: terminar e tornar eficientes os instrumentos para o SOAR, aumentar a participação no Gemini e,

como passo mais importante, efetivar a adesão ao ESO. Em termos de retorno científico, desenvolvimento de instrumentação de alta tecnologia e muitos outros aspectos, a adesão do Brasil ao ESO conduzirá a comunidade astronômica brasileira a novo patamar.

Em 19/2/13 o processo do ingresso do Brasil no ESO foi enviado ao Congresso Nacional. A Comissão de Relações Exteriores e Defesa Nacional emitiu parecer favorável que foi aprovado em setembro de 2013. O processo seguiu então às três seguintes comissões da Câmara dos Deputados: 1) Comissão de Ciência e Tecnologia, Comunicação e Informática, pela qual foi aprovado em novembro de 2013; 2) Comissão de Finanças e Tributação que emitiu parecer favorável, mas ainda pendente de definição no orçamento; e 3) Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania, pela qual já foi aprovado. Portanto na Câmara dos Deputados apenas falta a aprovação final da Comissão de Finanças e Tributação que está em andamento e deverá ser resolvida em breve. Em seguida deverá ser enviado ao Senado e, finalmente, à Presidência da República.

Assim se encontra a tramitação deste processo na data de entrega do presente texto: 22 de abril de 2014.

Referências

Hand, Eric (2009), The world's top ten telescopes revealed, *Nature News*, 6 February (doi:10.1038/news.2009.81).

Mann, Adam (2011), Brazil ignites telescope race, *Nature*, 469, 451-452.

Parte 2
Desvendando o universo com grandes mapeamentos

Luiz Nicolaci da Costa (LIneA e ON/MCTI)

Paulo Pellegrini (ON/MCTI)

Marcio A. G. Maia (ON/MCTI e LIneA)

Desde o início dos anos 80 um grupo de pesquisadores do ON vem participando de grandes levantamentos com parceiros internacionais para estudos da evolução de galáxias e de sistemas de galáxias em razão da idade do universo, da distribuição de galáxias e da massa em grande escala, e a determinação de parâmetros cosmológicos. Além de ser a mola propulsora dos maiores avanços nos estudos da estrutura da Via Láctea e do universo em grande escala, os grandes mapeamentos astronômicos estimulam a colaboração entre pesquisadores, essencial para os desafios de grandes empreendimentos de longo prazo e promovem a formação de jovens pesquisadores e sua inserção no cenário internacional.

Introdução

O surgimento da pesquisa em **astronomia extragaláctica** e **cosmologia** no Observatório Nacional (ON), teve início em 1980. Sob coordenação de um dos autores deste texto (LNC), recém-chegado de um doutorado em física na Universidade de Harvard, um pequeno grupo de pessoas, ainda em formação, iniciou uma trajetória de pesquisa, através do envolvimento em grandes levantamentos astronômicos em parceria com instituições internacionais, o que levou à adoção de modelos pioneiros de atuação na astronomia brasileira.

A fase inicial de atividades desse grupo consistiu em tentar identificar o que poderia ser feito com os limitados recursos computacionais da época: um microdensitômetro PDS (*Photometric Data Systems*) Perkin-Elmer (P&E) no ON, capaz de digitalizar placas fotográficas, e o acervo de cópias de placas fotográficas (tipo *Schmidt*) do hemisfério sul celeste, em várias **bandas** fotométricas, produzido pelo *European Southern Observatory* (ESO) no Chile. Somava-se a isso, o recém-inaugurado telescópio P&E de 1,60 m do então Observatório Astrofísico Brasileiro (OAB)[1] do ON e a disponibilidade de um **espectrógrafo** com uma **resolução** adequada para trabalhos **extragalácticos**. Estes ingredientes formaram a base inicial de uma estratégia de curto e médio prazo.

Nesse cenário estimulante e promissor, os primeiros trabalhos científicos do grupo foram feitos utilizando as facilidades mencionadas acima e desenvolvendo *software* aplicativo para análise de imagens digitalizadas (ferramenta análoga e simplificada do que hoje em dia é o programa *SExtractor*[2]), com as quais foram concluídas as primeiras teses de mestrado e doutorado na área de astronomia **extragaláctica** do ON, a partir de 1983. Nesses trabalhos foram utilizadas placas fotográficas obtidas no OAB e cópias de placas fotográficas do ESO, digitalizadas no PDS, resultando na análise de propriedades estruturais de **galáxias** e de aglomerados de **galáxias**.

Deve-se lembrar que foi nesse período que uma série de estudos seminais foram realizados, entre eles: *i)* a aplicação da função de correlação de 2 pontos[3]

---

[1] Ver o Capítulo "O observatório de montanha" neste Volume.

[2] *SExtractor* é um algoritmo desenvolvido para fazer a identificação de objetos em imagens digitalizadas, medir várias propriedades tais como a posição, a magnitude, e até fornecer o grau de similitude de um objeto identificado com a de uma estrela, entre outros parâmetros importantes para análises astronômicas.

[3] Em **cosmologia**, função de correlação de 2 pontos é uma metodologia para determinar a aglutinação de **galáxias**: uma estimativa da aglutinação relativa a determinada escala de distância pode ser feita contando-se todos os pares de objetos separados por esta distância. As **galáxias** estão mais correlacionadas (aglutinadas) em pequenas escalas.

para avaliar a aglomeração de **galáxias**, como nos trabalhos de Jim Peebles e colaboradores, p. ex., Peebles (1980); *ii)* a determinação da relação entre a morfologia e a densidade ambiental para **galáxias**; *iii)* as primeiras iniciativas de elaboração de *softwares* de análise bidimensional de grandes áreas de céu; *iv)* e o início do primeiro levantamento espectroscópico (ver **espectroscopia**) sistemático moderno, conhecido como o *CfA* ***Redshift*** *Survey*[4], feito por uma pequena equipe do *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* (CfA).

Distribuição das galáxias

O primeiro envolvimento do grupo em grande projeto internacional foi através do acordo feito com o CfA, ainda em 1980, para a realização do *Southern Sky* ***Redshift*** *Survey* (SSRS), estendendo para o hemisfério sul celeste o *CfA* ***Redshift*** *Survey*, dominado no norte pelo aglomerado de **galáxias** de Virgem, procurando-se, desta forma, obter amostra mais representativa do universo.

Para levar esse projeto adiante, alguns aspectos pioneiros tiveram que ser introduzidos. Em primeiro lugar, tratava-se de cooperação internacional entre o ON e o CfA, que mais tarde contou com a participação de pesquisadores da *California Institute of Technology* (*Caltech*) e da Universidade de Cape Town. Essa cooperação foi fundamental porque permitiu realizar observações no Brasil (OAB), EUA (*Mount Hopkins Observatory*, AZ), Chile (*Las Campanas Observatory*) e África do Sul (*South African Astronomical Observatory*), compensando desta forma a baixa eficiência das campanhas observacionais no OAB devido a condições climáticas adversas.

Em segundo lugar, permitiu a participação de tecnólogos brasileiros no desenvolvimento de um sofisticado sistema de redução e análise de dados e de um detector contador de fótons de grande sensibilidade, precursor dos CCDs[5] atuais, permitindo explorar um volume de espaço bem maior do que possível anteriormente usando placas fotográficas (ver o Capítulo "Desenvolvimento de instrumentação" neste Volume). Embora o nome original desse detector fosse *Z-machine*, no Brasil ele ficou conhecido como detector Reticon, nome do fabricante de um dos componentes (Figura 1).

---

[4] Em **cosmologia**, o ***redshift*** é uma medida da distância das galáxias porque todas se afastam umas das outras devido à expansão do universo. *Survey* é um levantamento de dados (observações), em geral sistemático e extenso.

[5] CCD = *Charge Coupled Device*.

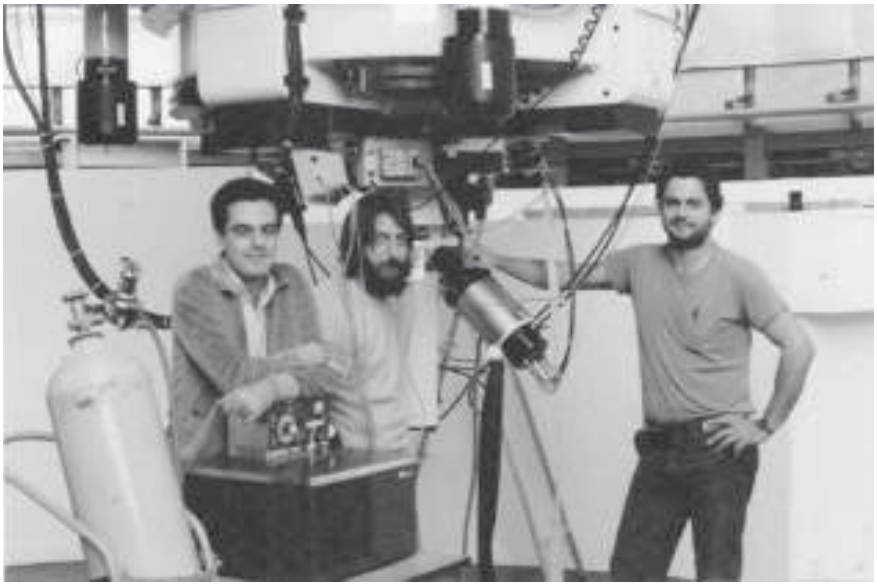


Figura 1. O detector Reticon acoplado ao **espectrógrafo *Cassegrain***, no telescópio de 1,6 m do OAB. Da esquerda para a direita: Paulo Pellegrini, Luiz Nicolaci da Costa e Marcos Nunes (Foto Marcos Nunes)

A grande vantagem do instrumento, desenhado para observação de fontes fracas, era a possibilidade de observar o **espectro** sendo integrado em tempo real, o que minimizava o tempo gasto na observação. Além disso, o *software* associado permitia que o complexo processo de redução fosse feito de forma automatizada, apesar da precariedade dos computadores da época. Esta combinação de fatores tornava todo o processo extremamente eficiente e, até hoje, serve como referência no desenho de sistemas de redução e análise de dados. Outro aspecto que deve ser mencionado é que o levantamento só foi possível graças ao acesso, antes de sua publicação, ao primeiro catálogo de **galáxias** no hemisfério sul, similar àquele utilizado pelo *CfA* ***Redshift*** *Survey*.

O projeto trouxe ainda outra novidade para o cenário da astronomia nacional: um instrumento cujo desenvolvimento foi motivado por uma ciência específica, mas cuja versatilidade e eficiência permitiam o seu uso para uma variedade de outras aplicações científicas, especialmente pelo fato de o ON na época ser responsável por um telescópio de uso geral para toda a comunidade astronômica. Como de hábito nos observatórios internacionais, o projeto que desenvolve um instrumento motivado por um objetivo científico bem definido, tem sempre um tempo de telescópio garantido para esse

fim. Seguindo este modelo, o projeto SSRS utilizou uma fração do tempo útil do telescópio de 1,60 m no pico dos Dias (Brazópolis, MG) para garantir o sucesso do levantamento. Esta proposta, atualmente aceita por todos, foi na época mal compreendida, o que gerou grandes divergências na comunidade astronômica brasileira. Finalmente, uma solução foi encontrada, que permitiu o uso do detector pelos usuários do OAB.

É importante ressaltar que o detector Reticon teve grande impacto na astronomia brasileira. Por exemplo, num levantamento apresentado em reunião da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) no início dos anos 90, feito por iniciativa do pessoal do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA, ex-OAB), foi mostrado que o detector Reticon foi o instrumento mais eficiente do observatório, tanto em número de publicações decorrentes de seu uso, quanto no de citações. Além disso, serviu para a formação de jovens pesquisadores que, logo depois de formados, participaram de programas de pós-doutoramento em importantes universidades americanas (p. ex., *Caltech*, Universidade de Cornell e Universidade da Califórnia). Quanto aos tecnólogos, estes não foram mais bem aproveitados em sua capacitação devido à crise econômica brasileira no fim da década de 80, que inviabilizou por alguns anos novos projetos de desenvolvimento instrumental.

Os resultados da primeira parte do levantamento SSRS, realizado entre 1982 e 1987, foram publicados a partir de 1988 e o catálogo, com cerca de 2 mil **galáxias** com medidas de velocidades **radiais** foi publicado em 1991. Convém mencionar que, na época, 2 mil medidas eram um número expressivo, considerando que as observações eram feitas de uma **galáxia** por vez. Essa limitação só seria superada bem mais tarde com a realização dos projetos *Las Campanas **Redshift** Survey*, *2dFGalaxy **Redshift** Survey*[6] (2dF) no *Anglo-Australian Telescope* do *Anglo-Australian Observatory* (AAO) e o *Sloan Digital Sky Survey*[7] (SDSS) no *Apache Point Observatory*, NM, EUA, utilizando sistemas de múltiplas fibras.

O projeto SSRS mostrou que o universo local[8] na direção oposta ao aglomerado de Virgem é um pouco menos denso que o observado pelo CfA, propiciando a identificação de grandes regiões vazias de **galáxias** (*voids*) e grandes estruturas na forma de paredes (*walls*). Novos grupos e aglome-

---

[6] www2.aao.fgov.au/2dFGRS/

[7] www.sdss.org

[8] Atualmente define-se o universo local como o volume esférico ao nosso redor com raio de cerca de 50 milhões a.l., dentro do qual as **galáxias** podem ser estudadas com razoável detalhe, além de conter os ambientes galácticos mais representativos, desde os vazios até os aglomerados mais massivos.

rados de **galáxias** foram identificados e suas propriedades globais determinadas. **Galáxias** com atividade nuclear (ver **Núcleo ativo de galáxia**) também foram descobertas durante o projeto, assim como uma **supernova**, esta última de modo casual, por ser mais brilhante que o núcleo da **galáxia** hospedeira.

Na tentativa de obter uma amostra representativa do universo local, um grande esforço foi realizado de forma a definir uma amostra de **galáxias** consistente com aquela observada na segunda fase do levantamento executado pelo CfA (*CfA2* ***Redshift*** *Survey*). Essa amostra começou a ser observada a partir de 1987 e, numa tentativa de melhorar a eficiência do levantamento, o detector Reticon foi transferido para o *Complejo Astronomico El Leoncito* (CASLEO), situado próximo à cidade de San Juan, Argentina, em meados de 1988. Esta mudança foi motivada pela necessidade de melhorar a eficiência das observações que, na época, já incluíam objetos menos brilhantes, em um sítio mais promissor como aquele oferecido pelo CASLEO. Essa mudança foi promovida pelo então ministro da Ciência e Tecnologia, Renato Archer, e exigiu muita preparação, culminando com a realização de um *workshop* técnico/científico no CfA com a participação das equipes americana, brasileira e argentina para a transferência de conhecimento.

Velocidades **radiais** foram medidas para um total de 5.500 **galáxias** mais brilhantes do que a magnitude aparente 15,5 na **banda** B[9]. Os resultados do levantamento *CfA2*–SSRS2 foram publicados em 1994 e um mapa da distribuição de **galáxias** desse artigo é apresentado na Figura 2. Esse mapa foi o primeiro a proporcionar uma visão panorâmica e mais representativa do universo confirmando a existência de grandes regiões vazias, e que a chamada *Great Wall* (Grande Parede) não era uma estrutura atípica, nem seu aparecimento nos mapas era causado por problemas na seleção da amostra, mas sim que estruturas semelhantes existem em outras direções do espaço. Foi então, confirmada desta forma a conclusão anterior sobre a natureza das estruturas em grande escala e sua implicação sobre a origem e evolução do universo.

---

[9] No sistema fotométrico UBV são usados três filtros que permitem a passagem da luz de um astro em três **bandas** do **espectro** eletromagnético: U (ultravioleta), B (azul) e V (luz visível).

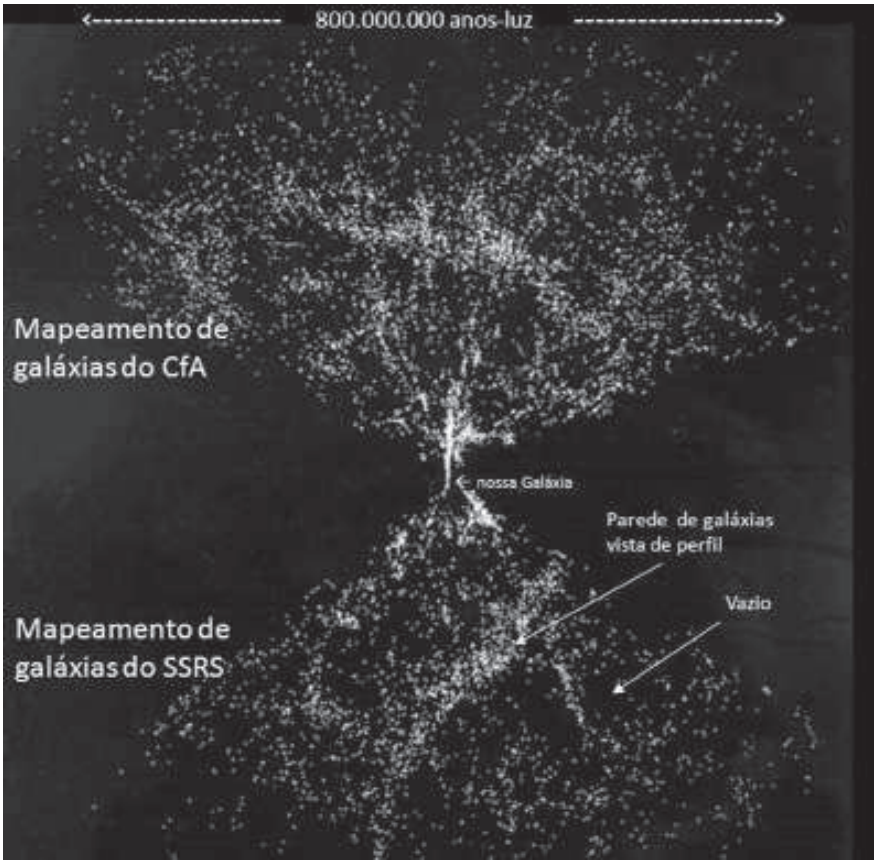


Figura 2. Distribuição de cerca de 15 mil **galáxias** dos mapeamentos *CfA2* e SSRS2. Cada ponto representa uma **galáxia**. Grandes estruturas como "paredes" e "vazios" são exemplificadas. Uma escala de distância em a.l. (anos-luz) é mostrada no topo (Adaptação: Paulo Pellegrini)

Os resultados obtidos tanto pelos participantes desse projeto, quanto pelos pesquisadores do outro projeto, representaram por mais de uma década a referência para as análises da estrutura em grande escala no universo e das relações entre propriedades das **galáxias** e o meio ambiente onde elas se encontravam. Em particular, os resultados dessas análises já mostravam um universo pouco denso, compatível com um modelo de matéria escura fria, com constante cosmológica[10] (Figura 3).

[10] Ver o Capítulo "Cosmologia teórica" neste Volume.

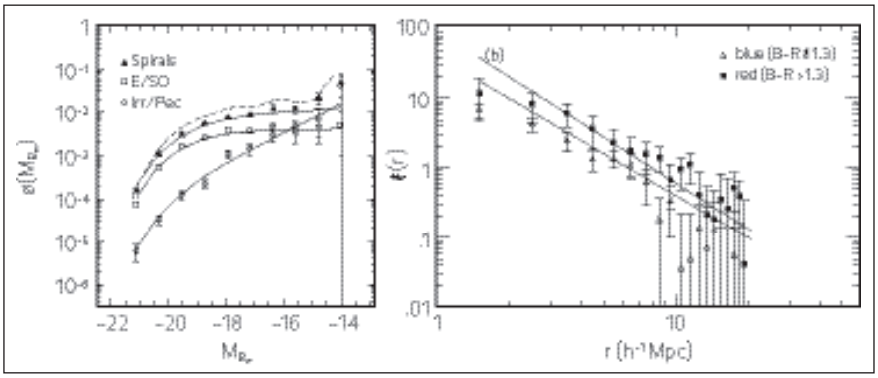


Figura 3. Funções de **luminosidade**[11] (à esquerda) e de correlação (à direita), obtidas com a amostra SSRS2 para diferentes tipos de **galáxias** contribuíram para quantificar as propriedades (quantidade e grau de aglutinação) desses objetos no universo local (Fontes: Marzke *et al.*, 1998 e Willmer *et al.*, 1998)

Mapeamentos adicionais foram realizados pelo grupo e, em particular, um efetuado na direção do aglomerado de *Hydra-Centaurus* revelou indícios que estudos posteriores identificaram como uma grande concentração de **galáxias** (oculta pela poeira da **Via Láctea**) que foi denominada "Grande Atrator", tema este que dominou por algum tempo as discussões na área **extragaláctica**.

Concluindo este ciclo, em 1989 o grupo realizou uma reunião internacional denominada *Large-Scale Structures and Peculiar*[12] *Motions in the Universe*, no Rio de Janeiro, com a participação dos mais importantes pesquisadores em atividade nesse tema. O objetivo foi o de apresentar os resultados do levantamento recém-finalizado, avaliar as novas tendências da área e explorar a possibilidade da participação brasileira na construção de um radiotelescópio de grandes dimensões, similar àquele localizado em Arecibo, Porto Rico, a ser instalado no sul do Brasil denominado *Large Southern Radio Telescope* (LSRT, Figura 4). Infelizmente, apesar do apoio dado pelo *Decadal Survey* presidido por John Bahcall e o interesse de grande parte da comunidade brasileira, o então secretário de Ciência e Tecnologia optou por não dar prosseguimento ao estudo de sua viabilidade.

[11] Função de **luminosidade** de **galáxias** é a curva que mostra o número de **galáxias** por unidade de volume, para faixas sucessivas do valor da **luminosidade**.

[12] Ver **Peculiar**.

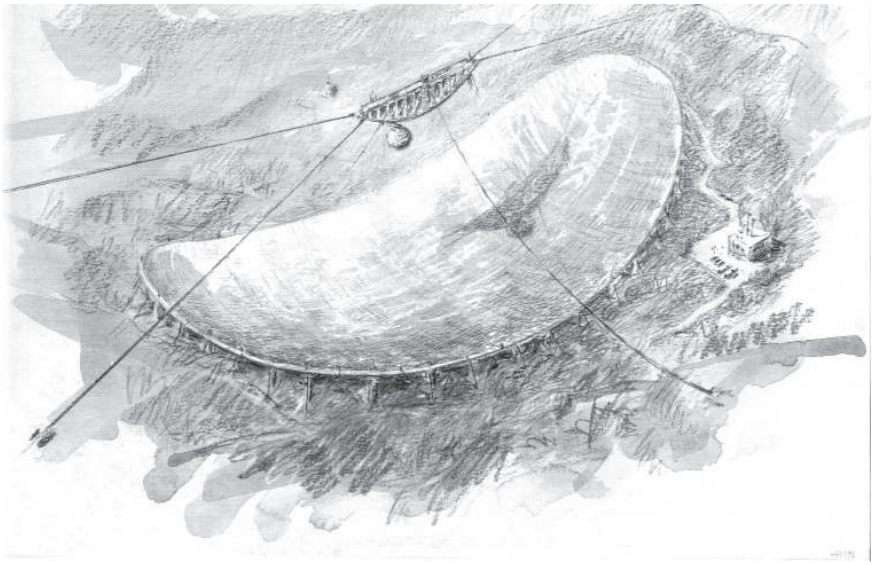


Figura 4. Concepção artística do LSRT (Arquivo dos autores)

Talvez o principal resultado da reunião de 1989 no Rio de Janeiro tenha sido a demonstração do uso de indicadores secundários de distância de **galáxias** que, combinados com a medida de velocidade **radial**, podiam determinar a componente **radial** da velocidade **peculiar** de uma **galáxia**. O importante é que, a partir do campo de velocidades **peculiares**, é possível mapear a distribuição de massa tanto luminosa (representada pelas **galáxias**) quanto escura[13], pois esses movimentos são causados pelo campo gravitacional. Essa possibilidade abriu uma nova janela para medir os parâmetros cosmológicos que caracterizam o universo.

Uma das primeiras análises usando medidas de velocidades **peculiares** compiladas durante a década de 80, sugeria que as **galáxias** da nossa vizinhança apresentavam um movimento sistemático de grande amplitude na direção do aglomerado de *Hydra-Centaurus* (o Grande Atrator). Esse resultado sugeria um universo denso, discordando significativamente dos resultados obtidos a partir da distribuição de **galáxias**. Esta discordância causou grandes debates e motivou em grande parte o esforço observacional de vários grupos, inclusive do grupo brasileiro, de mapear o campo de velocidades **peculiares** de **galáxias**, procurando definir amostras em todo céu mais homogêneas, e com dados obtidos com instrumentação mais moderna.

[13] Ver o Capítulo "Cosmologia teórica" neste Volume.

Essa e outras questões científicas motivaram o surgimento de projetos como o 2dF realizado entre 1997 e 2002 e especialmente o SDSS iniciado em 2000, significando mudança dramática na forma de se obter dados na área de astronomia **extragaláctica**. Utilizando **espectrógrafos** com centenas de fibras, a eficiência e qualidade de seus dados passaram a superar as iniciativas realizadas até então de determinações de ***redshifts*** individuais.

Distribuição da matéria (inclusive a escura)

Como dito antes, para mapear a distribuição de matéria no universo local é necessário, em primeiro lugar, mapear o campo de velocidades **peculiares**. O grande desafio é que esse tipo de estudo requer amostras cobrindo todo o céu, o que exige acesso a telescópios nos dois hemisférios do globo. Além disso, são necessárias observações espectroscópicas[14] (no **óptico** e em ondas de rádio[15]), e fotométricas[16] (no **óptico** e infravermelho). Para as **galáxias espirais**, utiliza-se como medida de distância a "relação *Tully-Fisher*" entre a **luminosidade** e a máxima velocidade de rotação da **galáxia**, e para as **elípticas**, a relação entre o diâmetro característico da **galáxia** e a dispersão de velocidades[17] das estrelas que a constituem. O motivo de se usar estas duas amostras é o de poder verificar se os resultados são robustos, uma vez que estes dois tipos de **galáxias** estão localizados em ambientes distintos e dependem de diferentes observáveis.

Para atingir esse objetivo, duas colaborações foram formadas para obtenção dos dados necessários para as duas amostras consideradas. No caso da amostra das **espirais**, isso foi feito com um dos autores (LNC) participando de um projeto organizado no fim da década de 80 envolvendo: *i)* a obtenção de **curvas de rotação** no **óptico** realizadas na Austrália; *ii)* medidas fotométricas na **banda** I[18] realizadas no *Cerro Tololo Interamerican Observatory* (CTIO) e no observatório do consórcio *Michigan-Dartmouth-MIT* (MDM) e *iii)* velocidades de rotação medidas em ondas de rádio a partir de observações realizadas no *National Radio Astronomy Observatory* (NRAO) em Green Bank, WV, e no radiotelescópio de 300 m de Arecibo, Porto Rico.

---

[14] Espectroscópico refere-se à **espectroscopia**.

[15] Ver **radioastronomia**.

[16] Fotométrico refere-se à **fotometria**.

[17] Dispersão de velocidades é uma medida do espalhamento dos valores das velocidades em torno de um valor médio. No caso das **galáxias elípticas**, isto está associado ao movimento desordenado das estrelas que reflete a quantidade de matéria nesse objeto.

[18] **Banda** fotométrica no infravermelho próximo.

No caso do projeto ENEAR (*Early-type NEARby galaxies*) liderado pelo grupo brasileiro, este teve novamente que inovar na sua estratégia. Para obter uma amostra significativa de objetos em todo o céu era necessário ter acesso a diferentes telescópios nos dois hemisférios. Para atingir este objetivo, um acordo iniciado pelo coordenador do projeto com o ESO, resultou na alocação de tempo do telescópio de 1,5 m do ESO no Chile para projetos de pesquisa do ON. Desta forma foi possível obter dados fotométricos (para medir os diâmetros característicos) e espectroscópicos (para determinar as velocidades **radiais** e dispersão de velocidades), para toda amostra selecionada. Isto foi possível graças a sucessivas missões observacionais nos telescópios do: *i)* CASLEO; *ii)* CTIO; *iii)* ESO; *iv)* MDM; *v) Mount Hopkins Observatory* e *vi)* LNA.

Esta iniciativa foi também benéfica para outros grupos brasileiros cuja pesquisa tivesse caráter de levantamento, promovendo colaborações entre pesquisadores do ON e de outros institutos, dando início a uma nova forma de atuação, similar àquela que já vinha sendo feita no exterior, e dando melhor aproveitamento ao tempo de telescópio.

Os resultados do projeto ENEAR mostraram que a distribuição da matéria escura segue essencialmente a da matéria luminosa, e que os espaços vazios de **galáxias** não são preenchidos por nenhuma matéria. Esses resultados eram coerentes com análise similar para as **galáxias espirais**, formando um quadro consistente para descrever a distribuição de matéria e o campo de velocidades em grande escala. Utilizando uma amostra maior, mais homogênea e com medidas de melhor qualidade, as discrepâncias entre as estimativas de densidade do universo baseadas no espectro de potência[19] das **galáxias**, e aquelas inferidas a partir das velocidades **peculiares** foram resolvidas, indicando um universo plano e de baixa densidade (Figura 5). A hipótese de um universo plano e de baixa densidade foi confirmada de forma mais direta pelos resultados obtidos em 1998 a partir da medida das distâncias de **supernovas** Ia, que indicou que o universo está se expandido de forma acelerada (**expansão acelerada**). A importância desta descoberta para a física fundamental foi reconhecida pela concessão do Prêmio Nobel de Física de 2011 para os líderes dos dois principais grupos envolvidos nessa descoberta.

---

[19] Em **cosmologia**, o espectro de potência fundamenta uma metodologia para determinar o grau de aglutinação de **galáxias** (análoga à função de correlação de 2 pontos), que analisa a distribuição desses objetos, inversa à escala de tamanho, através do parâmetro chamado potência. Maior potência representa maior aglutinação.

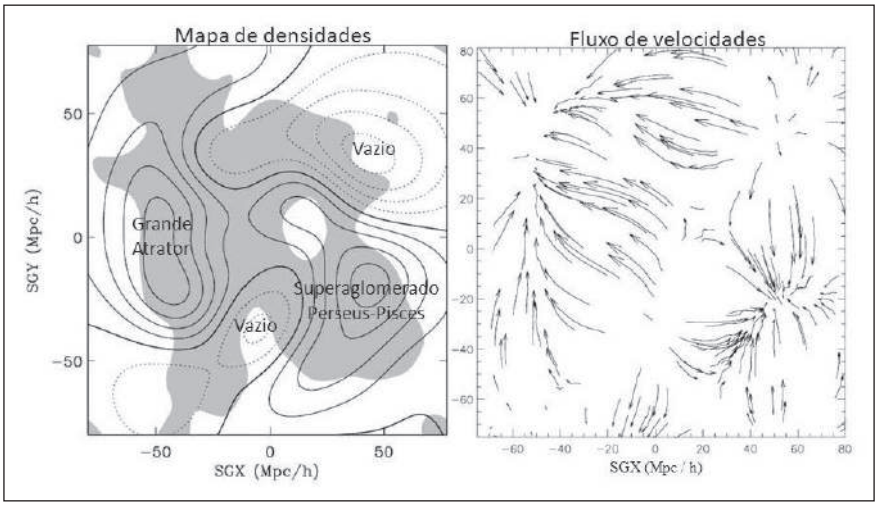


Figura 5. Mapa de densidades (à esquerda) reconstruído a partir do campo de velocidades (à direita) da amostra de **galáxias** do projeto ENEAR. Ambos os painéis são projeções da densidade e do fluxo de **galáxias** sobre um plano fictício, de coordenadas (SGX, SGY) denominado Plano Super Galáctico. Os máximos de densidade encontrados correspondem às grandes concentrações de **galáxias** conhecidas, que são indicadas no painel à esquerda (Zaroubi *et al.*, 2001)

O projeto ENEAR também produziu dados que permitiram estudo mais detalhado de propriedades de **galáxias elípticas**, especialmente aquelas envolvendo relações entre a dispersão de velocidades estelares e a metalicidade[20] de suas estrelas, colocando alguns vínculos em modelos de formação de **galáxias**. Além disso, possibilitou a elaboração de uma das melhores bases de dados de **galáxias elípticas** do universo local, anteriores ao levantamento SDSS, englobando cerca de 1.200 determinações de dispersão de velocidades estelares e de parâmetros fotométricos para cerca de 1.300 **galáxias elípticas** e S0[21]. As últimas análises realizadas pelo grupo com esses dados datam de 2008.

Com o término de levantamentos como o *CfA2*, SSRS2, ENEAR e os das **galáxias elípticas**, chegava ao fim a era da exploração do universo próximo

[20] A metalicidade de uma **galáxia** está relacionada com a proporção de elementos químicos diferentes do H e do He. O grau de metalicidade depende da quantidade de material que as estrelas devolvem ao meio interestelar através de processos diversos, entre eles, o da explosão de **supernovas**.

[21] **Galáxias** classificadas como S0 são as lenticulares (com forma de lente), de morfologia intermediária entre **galáxias elípticas** e **espirais**. As lenticulares têm um disco achatado, mas nem sinal de braços espirais.

envolvendo observações de objetos individuais, correspondendo a amostras esparsas do universo local. Iniciava-se a era de levantamentos com instrumentos dedicados, com significativas melhorias na infraestrutura computacional, e a implantação de verdadeiras "linhas de montagem" para a redução de grandes volumes de dados. Esses dados são armazenados em bancos com interfaces cada vez mais sofisticadas, permitindo a garimpagem e uso para uma ciência além da prevista originalmente no projeto. Por outro lado, as colaborações passam a envolver centenas de participantes, e requerem acesso a grandes telescópios. Estas mudanças, ocorridas ao longo da década de 90, abriram nova janela de pesquisa e exigiram novo modelo operacional, em particular, para atacar problemas na chamada "**cosmologia** na era da precisão". Assim, o grupo, para manter competitividade, teve que se adaptar aos novos tempos e participar de colaborações internacionais de grande porte descritas abaixo em maior detalhe.

Grandes levantamentos

Dark Energy Survey (DES)

A importância da descoberta da **expansão acelerada** do universo levou as agências financiadoras dos EUA a indicar um painel de cientistas, conhecido como o *Dark Energy Task Force* (DETF) para analisar o problema e sugerir formas de estudar a natureza deste fenômeno. Os resultados desta análise estão descritos no relatório[22] preparado por este painel que inclui recomendações para projetos de pesquisa no tema. Este documento estabeleceu uma sequência temporal de metas a serem alcançadas através de projetos com um grau crescente de complexidade e de custos. Isto teve como consequência a formação de grandes consórcios internacionais, estreitando a colaboração entre físicos e astrônomos, tanto para arcar com os custos envolvidos, quanto para formar equipes cobrindo um amplo espectro de conhecimento, seja na área científica ou tecnológica. Em particular, a maioria dos projetos atuais são geradores de grandes volumes de dados que precisam ser armazenados, processados e analisados e exigem uma infraestrutura de *hardware* e *software* que permita analisá-los de forma eficiente.

Neste cenário, o grupo identificou no DES[23] uma continuidade natural de sua linha de atividade e *expertise*, além do fato de que este projeto é reconhecido como um dos levantamentos mais importantes da década. Este levantamento

[22] http://arxiv.org/abs/astroph/0609591
[23] www.darkenergysurvey.org

fotométrico tem como objetivo cobrir entre 2013 e 2018, uma área de 5 mil graus quadrados[24] do céu, produzindo um acervo de dados sem precedentes em termos de área e profundidade. Do ponto de vista científico, o grande diferencial do projeto é a utilização de quatro diferentes técnicas combinadas para determinar as propriedades da energia escura[25] e a sua variação ao longo do tempo*: i)* a estatística de aglomerados de **galáxias**. *ii)* a escala característica da distribuição da matéria bariônica[26]; *iii)* o efeito fraco de lentes gravitacionais[27]; e *iv*) a distância de **supernovas**. Com seu sucesso observacional praticamente garantido, o acervo de dados do projeto DES, estimado em alguns PB[28], representará o maior conjunto de dados homogêneos na atualidade e conterá cerca de 300 milhões de **galáxias**, 20 mil aglomerados de **galáxias**, 2 mil detecções de **supernovas**, milhões de estrelas da **Via Láctea**, além de objetos do sistema solar, viabilizando estudos numa grande diversidade de temas na área de astronomia.

Em particular, sendo um levantamento fotométrico, o grupo poderá aproveitar a experiência adquirida por um dos autores (LNC) com o projeto *ESO Imaging Survey* (EIS), que coordenou por oito anos no *European Southern Observatory* (ESO). O projeto EIS utilizou várias combinações de telescópio e câmeras imageadoras no **óptico** e no infravermelho próximo para produzir a seleção de amostras adequadas para uso em programas observacionais da primeira geração de instrumentos dos telescópios de 8 m do ESO. Como o *software* desenvolvido para esses programas podia servir de ponto de partida para o desenvolvimento de *software* para o DES, isso foi usado para negociar a entrada de uma equipe de pesquisadores brasileiros na colaboração DES em 2006, quando esta ainda se encontrava em formação. Isto representou uma redução significativa do custo de participação.

Outra inovação foi a de criar consórcio de pesquisadores de diferentes instituições para formar uma rede de pesquisa denominada "DES-Brazil". Nesse consórcio participam cientistas e tecnólogos de várias instituições brasileiras descritas abaixo. Desta forma, foi possível arregimentar um time com *experti-*

---

[24] Assim como o grau (°) mede uma parte do círculo, 1 grau quadrado — $(1°)^2$ — mede uma parte de uma esfera que subtende 1°x1°.

[25] Ver o Capítulo "Cosmologia teórica" neste Volume.

[26] Matéria bariônica é a matéria ordinária formada de prótons e nêutrons (ver **bárions**), distinta de formas exóticas de matéria.

[27] A presença de massa encurva a trajetória da luz que passa por suas proximidades e pode causar o efeito de lente gravitacional. Quando o efeito é forte, a luz de um objeto distante pode se apresentar na forma de arcos ou múltiplas imagens. Isso não acontece quando o efeito é fraco, no entanto, por técnicas estatísticas é possível determinar a massa causadora desse efeito.

[28] PB é abreviação de *petabyte*, unidade de informação equivalente a 1 quatrilhão de *bytes*.

ses complementares, viabilizando o aproveitamento máximo dos dados, já que estes permitem os mais variados tipos de análise, embora o foco principal do projeto seja o estudo da natureza da energia escura.

O DES é um experimento de Fase III[29] como definido pelo DETF, aprovado para financiamento norte-americano pelo *National Science Foundation* (NSF) e *Department of Energy* (DOE) e gerenciado através de acordo estabelecido entre os laboratórios nacionais americanos *Fermi National Accelerator Laboratory* (Fermilab), o *National Center for Supercomputing Applications* (NCSA), *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBL) e o *National Optical Astronomical Observatory* (NOAO). A colaboração internacional envolve centenas de pesquisadores, cerca de 30 instituições que contribuíram tanto financeiramente quanto em termos de trabalho, reconhecidos como essenciais para o projeto. O projeto envolveu: *i)* a construção de uma câmara imageadora de alta eficiência (DECam) de 570 *mega**pixels***[30], com componentes no estado da arte, utilizando 5 **bandas** ópticas; *ii)* a reforma do telescópio Blanco de 4 m do CTIO, no Chile, onde o projeto tem mais de 500 noites de observação alocadas; *iii)* o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento dos dados obtidos (DESDM) e *iv)* o desenvolvimento de um portal científico sendo usado para a validação das reduções, produção de catálogos e *workflows*[31] para análise científica desenvolvido pela equipe brasileira.

Para minimizar o tempo de parada do telescópio Blanco para a montagem e testes da DECam, foi construído no Fermilab um simulador de telescópio (Figura 6). Só esse simulador custou US$ 2 milhões e exemplifica uma das vantagens de se colaborar com os grandes laboratórios nacionais norte-americanos, que possuem excelente infraestrutura. O simulador foi construído com a finalidade de testar a integração da câmara ao ambiente do telescópio e treinar a equipe na montagem e na desmontagem da câmara. Outro exemplo das vantagens de uma colaboração mais ampla, é que os CCDs utilizados na câmara DECam foram produzidos no LBL, laboratório este possuidor de vasta experiência nessa área.

---

[29] A pesquisa está dividida em 4 fases. A Fase III compreende projetos de curto prazo e custo médio que estão sendo propostos.

[30] Mega***pixel*** = 1 milhão de ***pixels***.

[31] *Workflow* científico é o desenho ou esquematização de procedimentos sequenciais visando à execução de *pipelines* (ver adiante) ou análises para fins científicos.

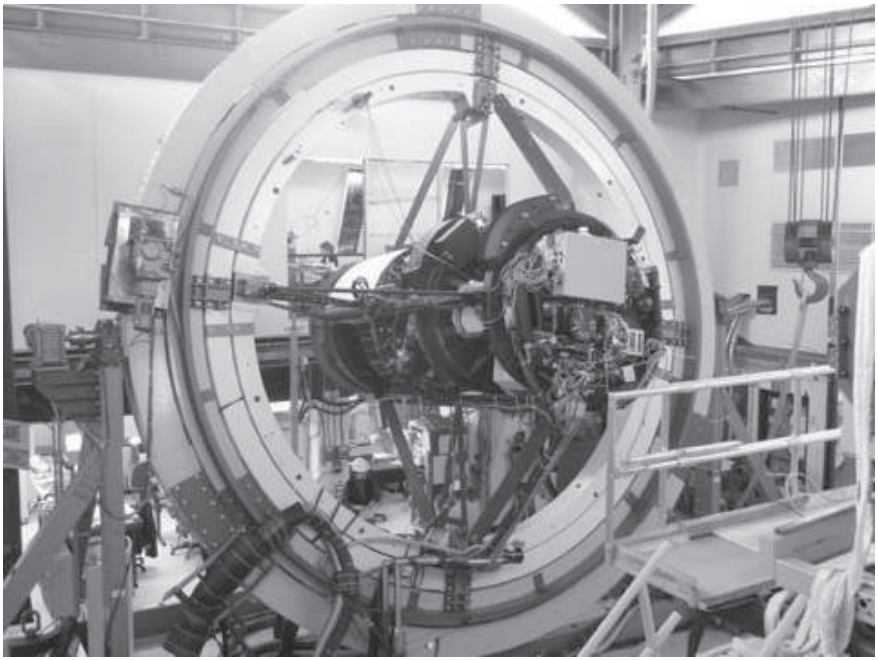


Figura 6. A DECam instalada no simulador do telescópio Blanco, construído no Fermilab (http://www.darkenergysurvey.org/)

O uso da DECam no telescópio Blanco teve início em setembro de 2012, produzindo imagens de alta qualidade em todo o seu campo focal, desde a primeira exposição. Os dois meses seguintes foram usados para testes de engenharia, que incluíram a verificação das inúmeras partes da câmara e do próprio funcionamento do telescópio e de seu novo sistema de controle. Nesse período foi instalado um dos *softwares* desenvolvido pela equipe brasileira, o *pipeline*[32] *Quick Reduce* (QR), usado para verificar a qualidade das imagens obtidas pela DECam em tempo real (Figura 7).

[32] *Pipeline* científico é uma sequência de procedimentos encadeados que são aplicados, geralmente a dados, transformando-os de um estágio mais simples para um mais elaborado.

Figura 7. O *pipeline Quick Reduce* desenvolvido pela equipe brasileira para a colaboração DES, em operação no telescópio Blanco no CTIO, Chile (Arquivo dos autores)

Entre novembro de 2012 e fevereiro de 2013 foi feita a verificação científica dos dados envolvendo a colaboração DES, a comunidade de usuários do CTIO e a equipe técnica do CTIO. Em março de 2013 a DECam (Figura 8) foi entregue para uso da comunidade e em setembro desse mesmo ano tiveram início as observações do projeto DES. Todo este processo ocorreu em tempo recorde, quando comparado com a disponibilização de outros instrumentos da mesma complexidade.

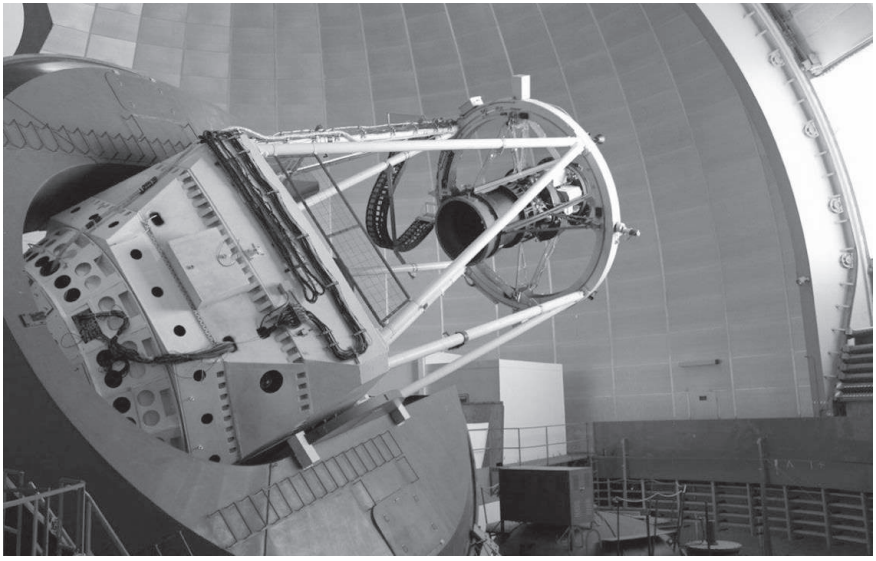


Figura 8. A DECam instalada no telescópio Blanco de 4 m do CTIO, Chile (http://www.darkenergysurvey.org/)

Os dados acumulados durante o período de verificação científica foram reduzidos pelo NCSA e distribuídos para a colaboração. Vários grupos estão analisando esse conjunto que já constitui a maior amostra disponível na profundidade considerada. Esses dados estão sendo usados pela equipe brasileira para testar os *pipelines* desenvolvidos para: *i)* identificar novos dados no banco do NCSA; *ii)* transferir catálogos e imagens para o Brasil; *iii)* ingerir os catálogos no banco de dados local; *iv)* avaliar a qualidade das reduções; *v)* preparar catálogos adequados para diferentes análises e *vi)* alimentar os *pipelines* de análise científica. Os *pipelines* de análise incluem: *i)* a estimativa de ***redshifts*** fotométricos por diferentes algoritmos; *ii)* o estudo da evolução de **galáxias**; *iii)* a identificação de aglomerados de **galáxias**, entre outros. Esses *pipelines* se encontram disponíveis num portal científico que é um sistema integrado para o gerenciamento de *workflows* desenhado para facilitar o manuseio de grandes volumes de dados. Esse portal será usado na operação do DES verificando a qualidade dos dados a serem liberados para a colaboração e mais tarde para o público. Ele fornece à colaboração os resultados dos testes, sendo o veículo responsável pela preparação dos catálogos oficiais para uso nas análises científicas.

Em fevereiro de 2014 o levantamento encerrou o primeiro ano de observações acumulando mais de 11 mil exposições ao longo de 105 noites, cobrindo uma área da ordem de 2 mil graus quadrados. Esses dados estarão disponíveis para análise pela colaboração a partir de agosto de 2014.

Sloan Digital Sky Survey III

Iniciado há mais de duas décadas o SDSS, além de ter sido o precursor dos grandes levantamentos envolvendo centenas de pesquisadores, ainda é um dos mais bem sucedidos projetos da astronomia atual, tendo em vista o impacto de seus resultados em diferentes áreas de pesquisa. Igualmente importante tem sido sua capacidade de evoluir, aprimorando e desenvolvendo **espectrógrafos** que abrem novas oportunidades de pesquisa, enriquecendo a infraestrutura já montada. Em particular, o SDSS ainda oferece o mais eficiente **espectrógrafo** de grande campo, o que define a estratégia científica adotada na escolha dos projetos de pesquisa apoiados. O projeto contabilizou em junho de 2013 mais de 5 mil publicações arbitradas que foram citadas cerca de 200 mil vezes. O SDSS representou na prática a transição para uma era de grandes colaborações internacionais e uma nova sociologia com respeito à forma de interação entre cientistas. O grande número de autores nos trabalhos produzidos é o resultado natural de uma concentração de alta capacitação (científica e técnica) e de re-

cursos financeiros de diversas instituições. Sem ambos os fatores, dificilmente o impacto incontestável do projeto teria sido atingido.

O projeto SDSS-III é uma continuação do projeto inicial e consiste de quatro levantamentos distintos*: i)* BOSS que está mapeando a distribuição espacial de **galáxias**, **quasares** e sistemas Lyman-alpha para detectar a escala característica da distribuição de **bárions**; *ii)* SEGUE e *iii)* APOGEE para o estudo no **óptico** e no infravermelho, respectivamente, da estrutura cinemática e química da **Via Láctea;** e, por fim*, iv)* MARVELS para a busca e caracterização de planetas extrassolares e/ou estrelas de baixa massa (**anãs marrons**) e de suas estrelas hospedeiras, que auxiliam os estudos da formação de sistemas planetários.

O envolvimento do grupo com atividades em Astronomia Extragaláctica e Cosmologia do ON no SDSS-III foi fruto da busca por parcerias internacionais dos coordenadores do próprio projeto internacional. A afinidade com tópicos de subprojetos como o levantamento da distribuição de galáxias para o mapeamento do sinal da oscilação acústica de bárions tinha claras vantagens para a inserção deste grupo nesta colaboração internacional. Além disso, como visão de que a atuação do ON como uma instituição nacional deva ser consolidada em ações práticas, a participação num projeto com vertentes científicas nas áreas extragaláctica, estelar e planetária tornaram a participação no SDSS-III uma excelente oportunidade a ser coordenada pelo instituto. Assim, de uma forma também pioneira, um acordo de cooperação internacional concretizou a participação brasileira num projeto internacional, com contrapartida financeira do ON.

Tendo em vista a variedade de tópicos científicos e seguindo o exemplo adotado no caso do DES, um anúncio de oportunidade foi feito procurando identificar membros da comunidade interessados em participar deste projeto. Levando em conta o limite de participantes permitido pela colaboração internacional (correspondente ao valor pago), foi formada a rede denominada *Brazilian Participation Group* (BPG) constituída de pesquisadores, pós-doutorandos e alunos de diferentes universidades brasileiras e outras instituições. Este esquema tem permitido a participação brasileira proativa nos quatro experimentos, nas reuniões de colaboração e na publicação dos resultados em todos os levantamentos. Particularmente importante é a participação nos projetos BOSS e APOGEE que serão estendidos na próxima fase do projeto conhecida como SDSS-IV que terá três levantamentos (e-BOSS, APOGEE-2 e MANGA). No momento, a renovação da participação do BPG (com uma nova composição) está sendo negociada e, para reduzir os custos, o grupo brasileiro vem mantendo no Brasil um espelho do banco de dados primário do SDSS localizado na Universidade Johns Hopkins, visando atender às necessidades de pesquisadores brasileiros e como sistema de *backup* para aquela universidade.

Legado e visão de futuro

Esta trajetória de 35 anos, além de ter produzido resultados de impacto científico e de acompanhar as tendências da pesquisa internacional, mostrou a necessidade da criação de uma infraestrutura para apoiar projetos interinstitucionais. Para preencher essa lacuna foi criado em 2010 o Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia[33] (LIneA), que atualmente conta com a participação do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), do ON e da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) e do LNA, como convidado. O LIneA é um laboratório multidisciplinar e multiusuário de acesso internacional, criado para atender à demanda de pesquisadores, pós-doutorandos e alunos de institutos de pesquisa e departamentos universitários para lidar com o grande volume de dados gerados por levantamentos atuais como SDSS-III e DES e futuros como o *Dark Energy Spectroscopic Instrument*[34] (DESI) e o *Large Synoptic Survey Telescope*[35] (LSST).

As atividades do LIneA são apresentadas esquematicamente na Figura 9. Estas incluem: *i)* o desenvolvimento, manutenção e operação de um centro de dados para a transferência, armazenamento e processamento de grandes volumes de dados; *ii)* a distribuição de dados produzidos pelos levantamentos apoiados, bem como outros de relevância para análises científicas; *iii)* o desenvolvimento de algoritmos científicos, *pipelines* e um gerenciador de *workflows* científicos (Portal Científico); *iv)* o apoio logístico para o trabalho em rede e uma interface administrativa com as colaborações internacionais.

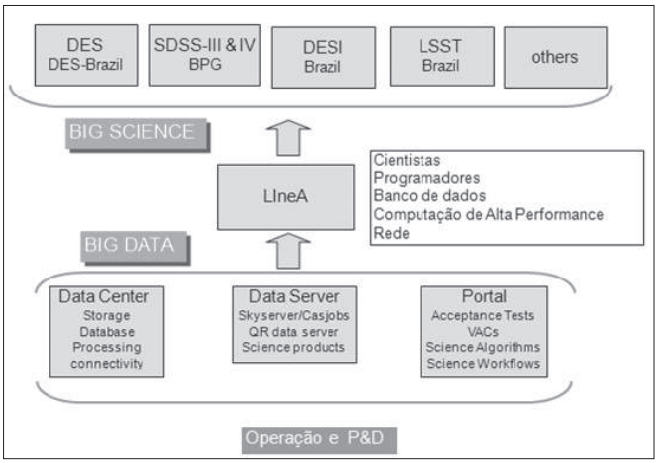


Figura 9. Esquema do LIneA que, através da sua infraestrutura de *Data Center*, *Data Server* e Portal Científico, apoia as atividades de ciência que envolvem grandes bases de dados (LIneA)

[33] www.linea.gov.br
[34] desi.lbl.gov
[35] www.lsst.org

A infraestrutura atual do LIneA consiste de dois ambientes, um de produção e outro para pesquisa e desenvolvimento. A natureza das atividades do laboratório exige alta capacidade de processamento e armazenamento e, para atender a essas necessidades, o ambiente de produção consiste de: *i)* um *cluster* de processamento; *ii)* um *cluster* dedicado ao sistema de compartilhamento de arquivos, essencial para a paralelização dos processos; *iii)* um sistema para o armazenamento de grandes volumes de dados; *iv)* um *cluster* de virtualização onde estão instalados os diversos serviços prestados aos usuários; *v)* uma máquina dedicada ao desenvolvimento de algoritmos; *vi)* um repositório de códigos para versionamento e preservação de código legado; *vii)* um *cluster* onde está instalado o sistema de gerenciamento de banco de dados usado para o DES; *viii)* um *cluster* onde estão instaladas as interfaces de acesso aos dados acumulados pelo SDSS ao longo dos últimos 14 anos; *ix) firewall*; *x)* uma máquina para o monitoramento da rede e *xi)* uma máquina dedicada à transferência de dados. Esta infraestrutura é permanentemente atualizada tentando atender às crescentes demandas.

Outro importante legado do trabalho foi a consolidação de redes de pesquisa como DES-Brazil e BPG. Nesses grupos participam tanto pesquisadores brasileiros com uma tradição de trabalho em diferentes áreas, quanto jovens pesquisadores e alunos que se aproveitam da exposição internacional que obtêm, através das teleconferências e reuniões internacionais para sua formação científica. Estes pesquisadores participam de grande número de reuniões organizadas pelas colaborações internacionais em diferentes locais, inclusive no Brasil (Figuras 10 e 11), apresentando seus resultados de pesquisa em diferentes grupos de trabalho. Esta interação constante e sistemática abre novos horizontes de pesquisa e fornece um aprendizado de trabalho em conjunto, ainda raro no Brasil, mas cada vez mais comum no cenário internacional. Destas redes participam pesquisadores, pós-doutorandos, alunos e tecnólogos de diferentes instituições que além do LNCC, ON e RNP incluem: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual Paulista (UNESP) (campus de São Paulo), *Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam* (AIP), *Universitá di Padova* e *Observatoire de la Côte d´Azur* (OCA).

Figura 10. Participantes da reunião da colaboração DES patrocinada pelo DES–Brazil, realizada no Rio de Janeiro em 2009 (Arquivo dos autores)

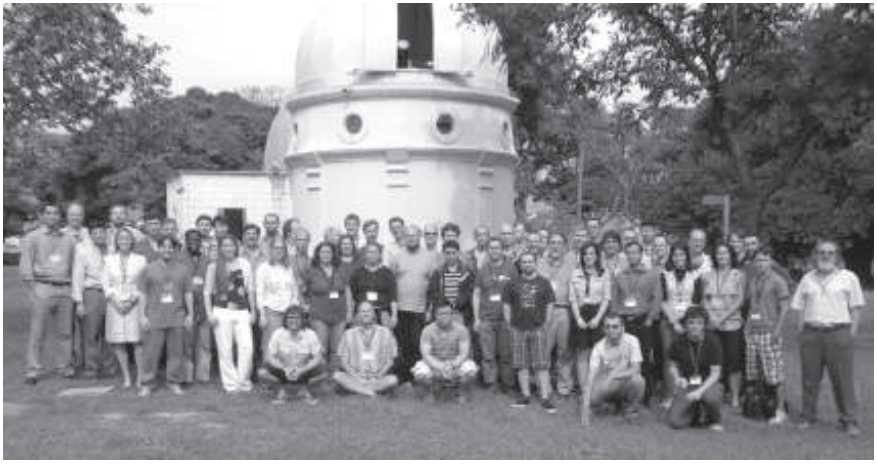


Figura 11. Participantes da reunião da colaboração SDSS–III, patrocinada pelo BPG, realizada no Rio de Janeiro em 2012 (Arquivo dos autores)

A experiência acumulada pela equipe do LIneA e dos consórcios DES -Brazil e BPG, e as lições aprendidas na execução dos respectivos projetos são um importante legado, pois habilitam a astronomia brasileira a se engajar em futuros levantamentos ainda mais ambiciosos. Além disso, a participação brasileira tanto no DES quanto no BPG foi paga, em parte, com o desenvolvimento de produtos como o portal científico, com a operação de um espelho do SDSS e com a implantação da infraestrutura computacional existente. Es-

tes investimentos são não só um legado para comunidade astronômica brasileira, mas também podem servir como moeda de troca para a entrada do Brasil em futuros projetos.

Um claro caminho para o futuro se abre com levantamentos como o SDSS -IV, DESI e LSST, todos com uma forte ênfase no estudo da natureza da energia escura, mas que geram dados que atendem às aspirações de inúmeras áreas de pesquisa. Também importante é o fato de que todos esses projetos fazem parte da estratégia de longo prazo desenvolvido pelo NSF e DOE. Esses projetos foram priorizados através de processos liderados pela comunidade científica como o *Decadal Survey*, conduzido pela comunidade astronômica norte-americana, e um processo semelhante (*Snowmass*) realizado pela comunidade norte-americana de físicos da área de **altas energias**.

O conhecimento científico que vem sendo acumulado com a participação brasileira no DES e o SDSS-III, somado à experiência técnica e ao patrimônio sendo instalado pelo LIneA, permite vislumbrar uma participação de jovens pesquisadores brasileiros extremamente proativa e competitiva para os próximos 25 anos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os pesquisadores e tecnólogos que colaboram ou colaboraram nos projetos acima mencionados.

Referências

Marzke, Ronald O.; da Costa, L. Nicolaci; Pellegrini, Paulo S.; Willmer, Christopher N. A. and Geller, Margaret J. (1998), The Galaxy Luminosity Function at Z £ 0.05: Dependence on Morphology, *The Astrophysical Journal,* 503, 617–631.

Peebles, P. J. E. (1980), *The Large-Scale Structure of the Universe,* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Willmer, Christopher N. A.; da Costa, L. Nicolaci and Pellegrini, Paulo S. (1998), Southern Sky Redshift Survey: Clustering of Local Galaxies, *The Astronomical Journal,* 115, 3, 869–884.

Zaroubi, S.; Bernardi, P. M.; da Costa, L. N.; Hoffman, Y.; Alonso, M. V.; Wegner, G.; Willmer, C. N. A. and Pellegrini, P. S. (2001), Large-scale power spectrum and structures from the ENEAR galaxy peculiar velocity catalogue, *Mon. Not. R. Astron. Soc.,* 326, 375–386.

Capítulo 10

FINANCIAMENTO DA ASTRONOMIA

Quanto tem custado a astronomia no Brasil?

Jacques R. D. Lépine (IAG/USP)

É apresentado um levantamento dos principais gastos relacionados com a pesquisa em astronomia no Brasil, desde 1965 até hoje. Aplicamos correções para atualizar os valores para dólares de hoje. Embora contenha incertezas e algumas aproximações toscas, este estudo pode ser visto como uma primeira aproximação válida para descrever a evolução dos gastos da astronomia brasileira ao longo das últimas décadas.

Introdução

O exercício a que nos propomos neste Capítulo é avaliar quanto se gastou no Brasil com pesquisa em astronomia nos últimos 50 anos, e quanto se gasta hoje. Estamos focalizando a astronomia *stricto sensu*, sem incluir ciências afins, divulgação por planetários (ver "Planetários" no Capítulo "Divulgação e educação não formal na astronomia" neste Volume), nem serviços como o Serviço da Hora do Observatório Nacional (ON) (ver o Capítulo "Difusão da Hora Legal" no Volume I). Incluímos alguns casos em que a astronomia está na fronteira com outras áreas da física (**ondas gravitacionais**[1], **raios cósmicos**[2]). Abordaremos nosso tema com uma perspectiva histórica de cinco décadas, apresentando, como veremos abaixo, duas formas de atualização dos valores gastos no passado. No máximo, podemos pensar em ordens de grandeza, pois seria tarefa muito árdua fazer um censo exato. Partindo deste levantamento, temos condições de tecer algumas considerações sobre os mecanismos de financiamento e perspectivas futuras.

Atualização monetária

Qualquer que seja a moeda, 1 k denotará mil unidades monetárias, 1 M denotará um milhão e assim por diante. Para efeitos comparativos de custos em épocas diferentes, a unidade monetária aqui escolhida será o dólar americano (US$). Afinal, muitos custos do passado eram avaliados em dólares, e as moedas brasileiras daquelas épocas não existem mais. No entanto, US$ 5 M em 1972 — tomando o exemplo do radiotelescópio do Itapetinga — representavam muito mais do que US$ 5 M hoje. Apresentamos todos os gastos em valores equivalentes de 2013, pois este Capítulo foi escrito em 2013, e revisado em meados de 2014, ano ainda não terminado. No fim, para apresentação na forma gráfica, fizemos uma extrapolação de gastos previstos até o fim de 2014 (mas expressos em US$ de 2013) para completar a década. Estima-se que a inflação do dólar no período de 43 anos entre 1970 e 2013 corresponde a um fator 6 (utilizando o *US Inflation Calculator*, disponível na rede). Esta inflação corresponde a um fator médio de 1,042 por ano e de 1,51 por década.

Parece pertinente fazer também, no caso do exemplo acima, correção para a variação do PIB (Produto Interno Bruto) no mesmo período. Isso

---

[1] Ver o Capítulo "Ondas gravitacionais" neste Volume.

[2] Ver o Capítulo "Pesquisas em raios cósmicos" neste Volume.

representa uma medida do "esforço nacional" que um dado investimento representou, comparado com a riqueza do país. Essa correção seria equivalente a expressar os gastos em fração do PIB, só que o resultado é apresentado em dólares de 2013, pois a fração é multiplicada pelo PIB atual.

Utilizamos os dados do Banco Mundial disponíveis na *internet*, para os anos de 1970 e 2013. De acordo com o Banco Mundial, em 1970 o PIB do Brasil era de US$ 42.3376[3] G, enquanto que o do conjunto de países do mundo era de US$ 2.8966 T. Em 2013 o PIB brasileiro era de US$ 2.246 T e o do mundo US$ 74.90 T. O PIB brasileiro aumentou de um fator 53,0 enquanto o do mundo, de um fator 25,8. O Banco Mundial deixa claro que os PIBs fornecidos estão em dólares correntes, não corrigidos pela inflação. Como vimos anteriormente que o dólar teve uma inflação de aproximadamente um fator 6 em 43 anos, devemos corrigir por este fator. Na realidade, então, o PIB brasileiro aumentou de um fator 8,83 no período de 43 anos em termos "absolutos", em vez de 53,0. A correção pelo PIB representa um fator 1,64 por década ou 1,052 por ano, aproximadamente. Tanto para esta correção, quanto para a anterior (inflação do dólar), estamos fazendo a aproximação de que os fatores de correção por ano não variaram ao longo do período. Por exemplo, em x anos, a correção pelo PIB é $1{,}052^x$.

Nosso procedimento é o seguinte: para todos os investimentos (só investimentos), damos os valores em dólares da época, sua correspondência em dólares de 2013, com a correção de inflação, e seu equivalente atual em dólares corrigidos em termos de proporção ao PIB.

Salários

Como exemplo da dificuldade de se avaliar os gastos com a astronomia, grande parte dos mesmos se dá na forma de salários. Nos EUA hoje, é tradição explicitar em qualquer projeto o quanto de homens-hora de engenheiros, técnicos, gerentes e mesmo de astrônomos, estão embutidos nos custos. Mas esta não é nossa tradição. Como avaliar o quanto se gasta em salários?

A SAB (Sociedade Astronômica Brasileira) conta hoje com cerca de 720 astrônomos, incluindo profissionais contratados, bolsistas de mestrado, doutoramento e pós-doutoramento (ver o Capítulo "Organização da comunidade astronômica" no Volume II). Se a média salarial for da ordem de R$ 5 k, isto representaria R$ 36 M por ano. Para alcançar este valor, contribuem universidades federais e estaduais, universidades particulares, institutos de pesquisa

[3] Em US$ o ponto separa a parte decimal, conforme a convenção americana.

do MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação) e agências de fomento (CAPES — Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CNPq — Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, e agências estaduais) por meio de bolsas. Uma parte dos salários é paga a professores que, além de realizar pesquisa em astronomia, têm atribuições de docência em física, matemática ou outras matérias. Ou seja, não se dedicam integralmente à astronomia. Em compensação, existem físicos que trabalham em **cosmologia** teórica, em vários institutos de física e não frequentam a SAB. Temos ainda que incluir engenheiros, técnicos e mesmo pessoal administrativo, que não são membros da SAB, mas trabalham para a astronomia. Vamos considerar aqui que estão na proporção de 20 % dos astrônomos. Numa estimativa um pouco grosseira, podemos falar então em R$ 43,2 M ou US$ 19.6 M por ano, em valores de 2013.

Procedimento relativo a orçamento de instituições

Além da questão dos salários, devemos esclarecer o procedimento adotado com relação ao orçamento de instituições. A título de exemplo, o orçamento anual do LNA (Laboratório Nacional de Astrofísica, MCTI) foi da ordem de R$ 8 M ou US$ 4 M em 2013. Em dólares, os valores têm se mantido aproximadamente constantes nos últimos 6 anos. Este orçamento inclui salários, serviços, aquisição de material para construção de equipamento, a manutenção dos grandes telescópios do exterior (Gemini, SOAR — *SOuthern Astrophysical Research*, CFHT — *Canada-France-Hawaii Telescope*)[4] etc. Tudo no LNA, em rigor, se dá em razão da astronomia. Mas os salários já foram computados acima com base no número de associados da SAB, portanto não devem mais ser contados. Além disso, incluiremos os gastos anuais com os grandes telescópios em item à parte na Tabela 2, dos gastos correntes, apresentada neste Capítulo; estes representam mais da metade do orçamento do LNA. Uma parte dos gastos com o desenvolvimento de instrumentos pelo LNA[5] veio do próprio orçamento da instituição, no entanto, a parte extraorçamentária (recursos obtidos de agências financiadoras, através de colaborações com grupos externos ao LNA) também é considerável. Seria difícil separar no custo dos instrumentos as contribuições orçamentárias e extraorçamentárias. O custo dos instrumentos será

[4] Ver "Participação do Brasil em consórcios internacionais" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume.

[5] Ver o Capítulo "Desenvolvimento de instrumentação" neste Volume.

avaliado de forma global e, quando a informação é disponível, mencionaremos entre as fontes de financiamento o orçamento da instituição.

Para os outros institutos do MCTI que desenvolvem atividade importante em astronomia (ON — Observatório Nacional, INPE — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), mas possuem também departamentos de outras áreas, não conseguimos a informação da fração do orçamento correspondente ao que nos interessa. Pelos motivos expostos, e para maior uniformidade, não incluiremos o orçamento de nenhuma instituição como item separado. Consideraremos que o grosso do orçamento já está computado através dos itens tais como salários, investimentos, etc. Agindo desta forma, estaremos talvez subestimando os gastos do MCTI e mesmo de universidades com astronomia, pois existem gastos administrativos e salários de funcionários não-astrônomos, além dos que já foram considerados. Estes custos podem alcançar da ordem de 20% dos orçamentos. Se o leitor assim desejar, poderá majorar os valores finais com esta porcentagem.

Esclarecemos ainda que não incluímos a construção de prédios como os que foram construídos no IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP), INPE e ON, por exemplo. No entanto, quando se trata de prédio especificamente destinado a abrigar um instrumento ou mesmo um laboratório (por exemplo, o laboratório de metrologia e de mecânica fina do LNA e cúpulas de telescópios), nossa opção foi de incluir o gasto com a construção.

Investimentos

Década de 1965 a 1974

Vamos inicialmente nos concentrar nos investimentos em projetos importantes. Na primeira metade do século 20, investimentos vultosos foram feitos. Temos por exemplo a construção do magnífico edifício sede do ON no Rio de Janeiro a partir de 1913 e a aquisição, para esse observatório, de equipamento como a luneta **equatorial**, **luneta meridiana** e equipamento fotográfico (ver "Patrimônio científico da astronomia brasileira" no Capítulo "Acervo instrumental e arquitetônico" no Volume I). Outros exemplos são a construção dos edifícios do Observatório de São Paulo, com suas colunas gregas, vitrôs e azulejos (ver o Capítulo "Chegada da astronomia oficial a São Paulo" no Volume I). O Observatório de Porto Alegre, cujo edifício é patrimônio nacional, já contava também desde 1908 com um **círculo meridiano** e uma luneta **equatorial** fabricados na França (ver "O Observatório Astronômico da UFRGS: patrimônio histórico nacional" no Capítulo "Acervo instrumental e arquitetônico" no Volume I).

Fixamos arbitrariamente a fronteira entre o passado e a história recente por volta de 1965. O motivo é que é difícil quantificar os gastos de épocas anteriores a essa data. Além disso, o período de 1965 a 1975 foi a década na qual foram instalados equipamentos que marcaram, com outros fatores, um salto em direção à modernidade. Os outros fatores foram a volta de pesquisadores com título de doutor obtido no exterior, a criação de cursos de pós-graduação (ver o Capítulo "Pós-graduação em astronomia" neste Volume) e a fundação da SAB em 1974 (ver o Capítulo "Organização da comunidade astronômica" neste Volume).

No fim da década de 1960 e no início da década de 1970, vários observatórios foram contemplados com telescópios de 50 ou 60 cm, fabricados pela *Zeiss/Jena* da República Democrática Alemã (RDA), conseguidos através do "acordo do café". A RDA pagava o café importado do Brasil com instrumentos científicos. Segundo o Decreto-Lei 861 de 11/9/69 o montante para equipamentos da RDA era US$ 20 M. No entanto, nem tudo foi na forma de equipamento para astronomia, e vários planetários foram incluídos (não conseguimos informações mais precisas). Assim os observatórios da Serra da Piedade, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), de Porto Alegre, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e o Observatório do Valongo (OV) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) foram equipados com esses telescópios. O observatório da Serra da Piedade também recebeu um telescópio refrator com abertura de 15 cm da Zeiss. Esses telescópios serão contabilizados com os outros da mesma década mencionados a seguir.

Os telescópios de 52 cm do ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica) em São José dos Campos, SP, e de 60 cm do IAG/USP (Boller & Chivens, B&C), instalado em Valinhos, SP, tiveram origem diferente. O telescópio do ITA foi o único inteiramente construído no Brasil. O fato é que muitos telescópios da classe de 60 cm surgiram em poucos anos. Além destes, devemos mencionar um **círculo meridiano** e um **astrolábio**, também instalados em Valinhos pelo IAG em 1975. Os telescópios de 50 a 60 cm com seus fotômetros (ver **fotometria**), assim como os outros instrumentos, foram utilizados em pesquisa, sendo um prenúncio do que estava por vir. Podemos estimar o total desses investimentos feitos na década de 60 e 70 somados, incluindo os telescópios com seus instrumentos, cúpulas e prédios, em algo da ordem de US$ 2.3 M em 1970. Essa estimativa pode estar errada por um fator 2. Em valores atuais seriam US$ 13.8 M, e com a correção do PIB, US$ 20.3 M.

Até o momento estávamos mencionando investimentos relativamente pequenos. Os maiores investimentos, na década de 1970, foram o Observatório do Pico dos Dias (OPD) com seu telescópio de 1,6 m (ver o Capítulo "O observatório de montanha" neste Volume), e o radiotelescópio de 13,7 m do Itapetinga, no município de Atibaia, SP (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume).

O OPD, construído em razão do telescópio de 1,6 m, fez parte do ON até 1989, e hoje é operado pelo LNA. O telescópio Perkin Elmer (P&E) de 1,6 m custou cerca de US$ 900 K, seu **espectrógrafo *coudé***, aproximadamente US$ 110 k, e a cúpula do telescópio US$ 229.2 k num total de US$ 1.24 M. A construção do Observatório (estrada, prédio), até sua inauguração, consumiu US$ 1 M. Os recursos vieram basicamente da FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) e do orçamento do ON. O telescópio Zeiss instalado no mesmo pico já foi contabilizado e a transferência do telescópio do IAG para o local se deu mais tarde. Em resumo, a implantação do então OAB (Observatório Astrofísico Brasileiro) consumiu US$ 2.3 M do início da década de 1970 (fixaremos o ano de 1972 para nossa contabilidade). Este valor corresponde a US$ 14.0 M de hoje, e US$ 18.4 M se normalizado pelo PIB.

O radiotelescópio de 13,7 m do Rádio Observatório do Itapetinga (ROI) teve investimento de US$ 5 M em 1972, obtido da FINEP pelo CRAAM (Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie). Antes da instalação do radiotelescópio de 13,7 m, o CRAAM possuía o radiopolarímetro de 7 GHz (US$ 50 K), estações de rastreio de VLF (*Very Low Frequency*) para detecção de efeitos solares da **ionosfera** e periféricos, incluindo relógio atômico, num valor de US$ 30 k. No entanto as estações de VLF servem muito mais para geofísica do que para astronomia e não serão computadas. O investimento no ROI corresponde a US$ 27.3 M de hoje ou US$ 40.4 M se feita a correção pelo PIB.

Um **espectrógrafo *Cassegrain*** foi adquirido em 1974 para o telescópio de 60 cm de Valinhos, com auxílio da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). Além do **espectrógrafo *Cassegrain*** B&C, cujo valor da época foi US$ 90 k, o projeto incluiu um detector SIT-Vidicon no valor de US$ 3 k e um sistema de aquisição de dados OMA (*Optical Multichannel Analyzer*), no valor de US$ 3.5 k. O total de US$ 96.5 k corresponde a US$ 0.48 M de hoje ou US$ 0.70 M com a correção pelo PIB.

Década de 1975 a 1984

A década entre 1975 e 1984, talvez mesmo até 1990, foi praticamente perdida, em termos de grandes investimentos. Qual seria a causa dessa lacuna? Ainda estávamos numa época em que só existia astronomia **óptica** e **radioastronomia**. Esta ficou dividida e enfraquecida devido ao triste episódio associado à transferência do radiotelescópio do Itapetinga para o INPE em 1979. Não estamos questionando aqui a transferência em si, mas a maneira como ela foi conduzida, que levou a metade do grupo a não aceitá-la (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume). Talvez, após os grandes investimentos da dé-

cada anterior, foi necessário um tempo para a digestão, ou seja, colocar em funcionamento o que existia. Além disso, o país estava em crise, enfrentando forte inflação, e qualquer recurso obtido derretia nas mãos dos contemplados num prazo de dois meses. As importações eram dificultadas.

Todavia, não deixaremos o período em branco, mencionando o início da computação. O movimento se iniciou com alguns computadores HP9810, lançados em 1971 nos EUA ao custo de US$ 2.5 k. Foram seguidos de modelos HP9830, programáveis em linguagem *Basic*, lançados em 1972, com impressora de papel térmico e unidade de fita, e chegavam a custar US$ 9 k. Embora as datas de lançamento nos EUA sejam anteriores, provavelmente só a partir de 1975 passaram a povoar nossos institutos em número razoável. Acreditamos que chegou a existir algo como 20 destas máquinas. A partir de 1978 apareceram os computadores *Apple*, em particular o *Apple II* ao custo de US$ 3 k. De forma um pouco arbitrária, vamos supor que US$ 300 k de 1975 foram gastos com os ancestrais dos microcomputadores nessa década. Correspondem a US$ 1.4 M de hoje, ou US$ 2.0 M se corrigidos pelo PIB.

O microdensitômetro PDS (*Photometric Data Systems*) 1010A do ON foi um instrumento bastante competitivo em nível internacional. Sua finalidade era fazer leitura eletrônica de placas fotográficas, por meio de um feixe de luz que atravessava a placa e era detectado por uma fotomultiplicadora. A varredura da placa era feita por meio do sistema de controle de posição *x, y*. O equipamento tinha computador associado para aquisição dos dados. Estimamos que o investimento foi de US$ 300 k em valores de 1978, correspondentes a US$ 1.3 M de hoje, ou US$ 1.8 M com correção pelo PIB.

Mencionaremos ainda aqui a instalação do detector Reticon, um antecessor dos CCDs, no telescópio de 1,6 m do OAB, no valor de US$ 300 k em 1983, com seu sistema de aquisição de dados, que dispensou o processo fotográfico para a obtenção de **espectros**. Na mesma época o FOTEX (Fotômetro Texas) para **fotometria** em três **bandas** (UBV) foi disponibilizado no OAB. Na falta de maiores informações estimamos seu custo em US$ 20 k. Somaremos os valores destes dois instrumentos de uma mesma época, o que nos dá US$ 320 K, ou US$ 1.1 M hoje, ou ainda US$ 1.5 M, se atualizado pelo PIB.

Década de 1985 a 1994

Em 1988 o IAG adquiriu, com apoio da FAPESP, um computador VAX 8530 que funcionava em rede com três estações gráficas MicroVAX 3200, a um custo, com a instalação, da ordem de US$ 0.8 M, equivalente a US$ 2.2 M de hoje, ou US$ 2.8 M com correção pelo PIB.

Em 1992 foi inaugurada a sede do LNA em Itajubá, MG, em prédio com valor da ordem de US$ 200 k (ver o Capítulo "O observatório de montanha" neste Volume). Trata-se de um avanço importante para a astronomia brasileira e por isso, neste caso, a construção de um prédio será contabilizada. Em 1994 o LNA instalou o fotômetro FOTRAP, com valor da ordem de US$ 20 k. Devido a seu baixo custo, não o incluímos como item separado; contaremos US$ 220 k em 1992, US$ 0.5 M em 2013 corrigindo pela inflação e US$ 0.6 M corrigindo pelo PIB.

A redoma do radiotelescópio do Itapetinga foi trocada no ano de 1994, ao custo de US$ 1 M, que corresponde a US$ 2.2 M de hoje ou US$ 2.6 M com a correção pelo PIB.

Na década de 1990, possivelmente até o ano 2000 (mas serão computadas apenas na década 1985-1994), vieram as "estações de trabalho", máquinas de marcas como SUN ou DEC, muito mais poderosas do que os computadores anteriores, utilizadas para cálculos teóricos. Todo grupo que se respeitava tinha que possuir uma. Valiam da ordem de US$ 20 k em 1995. Estimamos que foram adquiridas cerca de 20 pela astronomia brasileira. Um computador Cobra e um VAX foram instalados na UFRGS, e dois VAX no INPE/Sul em Santa Maria, RS. Surgiram também os computadores do tipo PC, como instrumento indispensável para qualquer pesquisador, incluindo alunos de iniciação científica, mestrado e doutoramento. Houve época em que cerca de 80% dos pedidos individuais de auxílio ao CNPq se referiam à aquisição destes computadores, vários num mesmo pedido, muitas vezes acompanhados de impressoras. Serviam também para sistemas de aquisição de dados. Estes computadores se tornavam rapidamente obsoletos e tinham que ser trocados depois de 2-3 anos. Nossa estimativa é que foram adquiridos cerca de 200 microcomputadores ao longo desses anos, por um valor de US$ 3 k de 1995 por unidade. Somando com as estações de trabalho, temos como ordem de grandeza US$ 2.5 M, ou US$ 5.2 M de hoje, com a correção de inflação, ou US$ 6.2 M, com a correção pelo PIB.

Década de 1995 a 2004

A participação brasileira nos telescópios Gemini se deu através do LNA. O acordo internacional para a construção desses telescópios foi assinado em 1993. O Brasil, com direito a 2,3% do tempo de uso, se comprometeu com US$ 4.6 M. A inauguração do Gemini Norte foi no fim de 1998, e a do Gemini Sul em 2002. Vamos usar 1997 como data de referência para as correções. Em 2013, o investimento corresponde a US$ 8.9 M, e considerando o PIB, US$ 10.4 M. Os gastos anuais de manutenção serão tratados em outra parte deste Capítulo.

O projeto SST (*Solar Sub-millimetric Telescope*), liderado pelo CRAAM, consistiu na instalação de um radiotelescópio solar em El Leoncito, Argentina, a um custo de cerca de US$ 2 M em 1999 (US$ 3.6 M hoje, US$ 4.3 M com a correção do PIB). A fonte de recursos foi a FAPESP.

O LNA contou com muitos projetos pequenos ou médios, cujo financiamento teve origem em outras instituições nacionais ou em seu próprio orçamento, mas que serão contabilizados juntos aqui, para não entrar em detalhamento exagerado. O **espectrógrafo *Cassegrain*** mencionado anteriormente, adquirido pelo IAG em 1974, sofreu modificações no LNA para poder utilizar detectores CCD, ficando disponível a partir de 1996. Outros exemplos são o *upgrade* do fotômetro FOTEX em 2004, a aquisição de detetores CCD, a CAMIV (CÂMara InfraVermelha), gaveta polarimétrica (ver **polarimetria**), *Eucalyptus* (protótipo para o SIFS, *SOAR Integral Field Spectrograph*), a automação da cúpula e o banco de dados do LNA. Vamos avaliar o conjunto em US$ 1.5 M, para uma época média de 2000, o que daria US$ 2.6 M hoje, ou US$ 2.9 M considerando o PIB.

O projeto "Telescópios na Escola" teve por objetivo montar 5 telescópios didáticos que poderiam ser acessados remotamente por alunos de escolas interessadas. Foi dito na introdução que não incluiríamos projetos destinados à divulgação da astronomia. No entanto, este projeto foi incluído aqui por estar muito próximo da pesquisa, já que os professores e alunos das escolas planejam e realizam observações. O projeto foi concebido e acompanhado por pesquisadores de nossas principais instituições de pesquisa, e os telescópios foram instalados nessas mesmas instituições (Colégio Militar de Porto Alegre, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, IAG, INPE, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN). A Fundação Vitae doou US$ 180 k em 2001. Cada instituição recebeu um telescópio com sua montagem e um detector CCD. Outros auxílios de menor valor foram conseguidos da FAPESP, CNPq e USP em anos seguintes. Simplificando, podemos dizer que foi investido o equivalente de US$ 250 k em valores de 2001, ou US$ 0.4 M em 2013, ou US$ 0.5 M com a correção pelo PIB.

O telescópio SOAR, administrado pelo LNA, foi inaugurado em 2004, mas os investimentos foram iniciados em 1999. A maior parte do custo foi bancada pelo MCTI, com contribuição da FAPESP. O SOAR custou para o Brasil US$ 12 M, podemos dizer em valores de 2002, fazendo uma média do período de investimentos (seriam US$ 18.9 M hoje, ou US$ 21.0 M pelo PIB).

A participação do Brasil no Observatório de **Raios Cósmicos** Pierre Auger, situado na Argentina, tem base na Unicamp (ver o Capítulo "Pesquisas em Raios Cósmicos" neste Volume). O observatório contou com uma contribui-

ção brasileira de US$ 2.5 M (FAPESP, FINEP, CNPq-PRONEX[6]), que situaremos em 2002. A incerteza no valor é grande devido à flutuação da taxa de câmbio no período. O projeto está numa fronteira entre a astronomia e a física, mas certamente deve ser contado aqui, como será feito com o detector de **ondas gravitacionais**. Seriam US$ 3.9 M hoje, ou US$ 4.4 M pelo PIB.

O CPADA (Computador de Alto Desempenho em Astronomia), foi um laboratório para desenvolvimento de *software* e processamento de dados do Departamento de Astronomia do IF/UFRGS, instalado com recursos do Instituto do Milênio a partir de 2002. O custo aproximado foi de US$ 200 k (US$ 0.3 M hoje, US$ 0.35 M pelo PIB).

O projeto GEM de levantamento de radioemissão da **Galáxia** (apoio da FAPESP, CNPq e orçamento do INPE) custou cerca de R$ 300 k, ou US$ 100 k pela taxa de câmbio da época. Tomaremos como época média 2003. Seriam US$ 150 k em 2013 ou US$ 166 k corrigindo para o PIB.

O detector de **ondas gravitacionais** Mário Schenberg foi desenvolvido através de colaboração entre o INPE e o Instituto de Física (IF) da USP (ver o Capítulo "Ondas Gravitacionais" neste Volume). Foi financiado pela FAPESP, num total de US$ 1 M. Tomaremos 2003 como data média dos investimentos. Os valores atualizados são US$ 1.50 M e US$ 1.7 M, pelo PIB.

Na área de pesquisa espacial (ver o Capítulo "Astronomia espacial" neste Volume) foi desenvolvido o projeto MASCO (MÁScara Codificada) para obtenção de imagens em raios-X. Na época do lançamento do balão com esse detector, no início de 2004, foram realizados investimentos da ordem de US$ 1 M (apoio da FAPESP, CNPq e orçamento do INPE), equivalentes a US$ 1.45 M em 2013 ou US$ 1.6 M, atualizando pelo PIB.

O SIFS, **espectrógrafo** de campo integral (ver **IFU**) para o SOAR, foi construído pelo LNA e pelo IAG, onde foi projetado e onde foi efetuada a importação dos componentes básicos (lentes, **redes holográficas**, fibras ópticas). Foi financiado por FAPESP, Instituto do Milênio e orçamento do LNA, num total de US$ 1.1 M, que podemos situar em média em 2004 (atualizados, US$ 1.6 M e US$ 1.7 M, pelo PIB).

De 2005 até 2013

O projeto Impacton (ver "O evento do Curuçá: a queda de bólidos em 13 de agosto de 1930" no Capítulo "Meteorítica", no Volume I) consiste na instalação de um telescópio robótico **óptico** de 1 m no interior do Estado de Pernambuco

[6] PRONEX: Projetos de Apoio a Núcleos de Excelência.

para o estudo de NEOs (*Near Earth Objects*). A maior parcela do financiamento proveio da FINEP em 2005, complementada por recursos de Editais Universais do CNPq, verba orçamentária do ON, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e outros. Consideraremos um orçamento de US$ 800 k em 2005 (US$ 1.1 M hoje ou US$ 1.2 M, atualizado pelo PIB).

Varios projetos envolveram aquisição de pequenos telescópios (30 cm) instalados no Observatório Abraão de Moraes: telescópios Obelix, Asterix e Prometeu (o instrumento de "Telescópios na Escola" já foi contado). Estima-se o valor de cada um em US$ 40 K, total 120 K em 2005. Em outros centros do país pequenos telescópios foram instalados, por exemplo na UFSC para desenvolvimento de automação. Por isso multiplicamos por dois a estimativa, indo para US$ 0.24 M (US$ 0.33 M em 2013 ou US$ 0.36 M, se corrigido pelo PIB).

Em 2006 foi inaugurada a primeira estação de observação remota para os usuários do SOAR no IF/UFRGS. Foi seguida por outras no IAG/USP, LNA/MCT e UFSC, adquiridas com recursos da USP, do Instituto do Milênio e Edital Universal do CNPq. Os custos dessas instalações são muito baixos; consideramos US$ 100 k para o total delas, US$ 0.13 M em 2013, ou US$ 0.14 M pelo PIB, arredondando.

O Laboratório de Instrumentação instalado no LNA foi equipado com recursos do Instituto do Milênio; possui equipamento para metrologia **óptica**, um centro de usinagem de precisão para produzir componentes mecânicos e um laboratório para polimento e tratamento de fibras ópticas (ver o Capítulo "Desenvolvimento de Instrumentação" neste Volume). O custo do prédio e do equipamento é de US$ 1 M de 2006, aproximadamente, US$ 1.3 M em 2013, US$ 1.4 M pelo PIB.

A câmera de imageamento *Spartan*, desenvolvida em colaboração com a *Michigan State University*, destinada ao telescópio SOAR, foi financiada em 2007 por meio de um projeto PRONEX do IAG, e teve participação importante do INPE, em termos de pessoal. Seu custo (parte brasileira) foi da ordem de US$ 200 k, ou US$ 0.26 M em 2013 e US$ 0.27 M com correção pelo PIB.

O BDA (*Brazilian Decimetric Array*), interferômetro com 26 antenas já instaladas em Cachoeira Paulista, SP, pelo INPE, teve início com um protótipo instalado em São José dos Campos, SP. A avaliação do custo é complexa, pois estes se distribuem ao longo de uma década. Estão ancorados em dois projetos temáticos da FAPESP com vigência entre 2002 a 2006 e 2007 a 2012. Os recursos do CNPq e do orçamento do INPE também estão distribuídos no tempo. Foram obtidos recursos da FINEP. Consideraremos uma época média de 2007 e valor de US$ 4.2 M ou US$ 5.4 M de hoje, US$ 5.7 M com atualização pelo PIB.

A participação do Brasil no satélite internacional COROT (ver o Capítulo "Astronomia espacial" neste Volume), principalmente francês, ficou assegurada por meio do financiamento da estação de recepção de sinais do satélite de Alcântara, MA (US$ 1 M, pago pelo INPE), da manutenção dessa estação, da ordem de US$ 240 k em seis anos, e de bolsas para os engenheiros que participaram do desenvolvimento de partes do projeto e para participação nas reuniões (*COROT Weeks*, congressos) (US$ 600 k da CAPES, CNPq e FAPESP). Vamos dizer que a participação brasileira custou da ordem de US$ 1.8 M de 2009 (considerando uma época média) ou US$ 2.1 M hoje ou US$ 2.2 M, se atualizado pelo PIB.

O *LIneA Data Center* (Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia), formado pelo ON, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) e Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), investiu até o momento, em 8 anos, da ordem de US$ 5 M em equipamento (ver "Desvendando o universo com grandes mapeamentos" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume). Vamos tomar 2009 como data de referência. Os projetos de **cosmologia** observacional incluem o SDSS (*Sloan Digital Sky Survey*) no qual se investiu US$ 900 K em 6 anos, e o DES (*Dark Energy Survey*), US$ 300 K em 12 anos. Estes são subprojetos associados ao *LIneA*, que já inclui em seu custo mencionado acima os gastos com pessoal. Para manter maior uniformidade com outros projetos, não foram arrolados os gastos com pessoal do DES. Simplificando bastante, todos os valores dados acima serão somados na rubrica *LIneA Data Center* no total de US$ 6 M de 2009, US$ 7.1 em valores de 2013 e US$ 7.3 corrigindo pelo PIB.

O **espectrógrafo** de alta **resolução** STELES (*SOAR Telescope Echelle Spectrograph*) foi iniciativa do LNA. Obteve um total de recursos de US$ 1.3 M entre FAPESP, Instituto do Milênio, LNA, CNPq, FAPEMIG, INCT-A (ver adiante). Podemos contar que a média das despesas ocorreu há cerca de 3 anos, o que hoje corresponde a US$ 1.5 M e US$ 1.5 M com a correção pelo PIB.

O BTFI (*Brazilian Tunable Filter Imager*) é um imageador **óptico** interferométrico construído para o telescópio SOAR, com novo conceito, que incorpora um filtro Bragg sintonizável baseado em **rede** de difração **holográfica** e um sistema ***Fabry-Pérot***. Foi concluído em 2012. Seu custo foi de US$ 1.5 M, para os quais colocaremos a data média de referência como sendo 2010. Atualizando, seriam US$ 1.7 M em 2013 e US$ 1.7 M pelo PIB.

O Telescópio Robótico Brasileiro, de 1,5 m, está sendo instalado no Observatório Interamericano de Cerro Tololo (CTIO), Chile, para realizar mapeamentos do céu em 12 **bandas** multiusuárias, e com capacidade polarimétrica (**polarimetria**). Trata-se de colaboração entre IAG, INPE, ON, LNA. Permitirá

estender para o hemisfério sul o projeto espanhol J-PAS que visa aplicações cosmológicas (ver adiante). Seu custo é de US$ 1.6 M, financiado pela FAPESP e INCT-A (ver adiante). A aprovação do projeto foi em 2009, mas vamos considerar que a média das despesas ocorreu em 2010 (US$ 1.8 M em 2013, US$ 1.9 M com correção pelo PIB).

O POEMAS é um conjunto de receptores polarimétricos funcionando em 45 GHz e 90 GHz, instalados no CASLEO (*Complexo Astronomico de El Leoncito*), Argentina. O projeto foi financiado em 2011 pela FAPESP e fundo MackPesquisa, da Universidade Mackenzie, no valor de US$ 325 k (US$ 0.35 M em 2013, US$ 0.36 M com a correção pelo PIB).

O Laboratório de **Astrobiologia**, instalado no Observatório Abraão de Moraes do IAG, em Valinhos, SP, foi financiado com recursos do INCT-Espaço (ver adiante), FAPESP e Núcleo de **Astrobiologia** da USP, num total equivalente a US$ 1.2 M em 2011 (US$ 1.3 M em 2013, US$ 1.3 M com a correção pelo PIB).

Encontra-se em desenvolvimento no INPE o satélite Lattes, que será parcialmente dedicado à astronomia, com detector de raios-X e, parcialmente, ao monitoramento da atmosfera terrestre. A parte astronômica do satélite[7] incorporou o projeto MIRAX, que se encontrava em fase de desenvolvimento, e que ia ser apenas astronômico, no qual foram investidos poucos recursos (~US$ 100 k), faltando ainda investir a maior parte (~US$ 10 M). No satélite Lattes como um todo já foram investidos cerca de US$ 20 M do orçamento total de US$ 110 M, valor que inclui o lançamento e que consta oficialmente do Plano Nacional de Atividades Espaciais. Complementando este grande projeto espacial, existe ainda o projeto de balão denominado protoMIRAX, que pode ser considerado parte do MIRAX, no qual já foram investidos cerca de US$ 1.5 M oriundos da FINEP (CT-Espacial[8]) e cerca de US$ 250 k do INCT-Espaço (ver adiante). Vamos avaliar o que já foi investido nas atividades Lattes + MIRAX + protoMIRAX, considerando para o Lattes apenas a metade do satélite destinada à astronomia; temos um investimento de US$ 12 M em valores de 2012. Esta conta é incerta porque os projetos têm sido alterados e são de difícil acompanhamento. A partir de 2012 consideramos que as atualizações em dólares passam a ser desprezíveis e não são mais aplicadas.

Um telescópio infravermelho encontra-se em construção em Macon, nos Andes argentinos, produto de colaboração entre o IAG, a Universidade

---

[7] Ver o Capítulo "Astronomia espacial" neste Volume.

[8] CT-Espacial denota o Programa da FINEP de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Setor Espacial.

Católica do Chile e a Universidade de Córdoba (Argentina). A participação brasileira representa US$ 350 k em 2012, financiados por um Núcleo de Pesquisa da USP.

O supercomputador Alpha Crucis no IAG representa investimento de US$ 870 k em 2012, financiados pela FAPESP, Centro de Informática da USP, CAPES e INCT-A (ver adiante).

A câmara SPARC4 (*Simultaneous Polarimeter and Rapid Camera in 4 bands*), destinada ao telescópio de 1,6 m do LNA (US$ 0.1 M) é um projeto em andamento coordenado por pesquisadora do INPE.

O J-PAS é uma colaboração internacional Brasil-Espanha para levar a cabo o ***J**avalambre **P**hysics of the Accelerating Universe **A**strophysical* , que envolverá a construção de dois telescópios robóticos no Pico de Buitre, Sierra de Javalambre, Espanha. O telescópio principal (T250) com 2,6 m de diâmetro, completamente dedicado ao projeto, terá uma câmara (construída pelo Brasil) com um sistema de mais de 40 filtros de **banda** estreita. Esse sistema vai fornecer **espectroscopia** de baixa **resolução** de todos os objetos observados no levantamento. Existe um projeto de extensão para o hemisfério sul (projeto PAU-Brasil, onde PAU é a sigla de *Physics of the Accelerated Universe*). A FAPESP alocou cerca de US$ 2.05 M, o ON US$ 2.2 M e os recursos da FAPERJ e FINEP somam da ordem de US$ 1.63 M. O total é de cerca de US$ 5.9 M em valores de 2012.

O projeto de **espectrógrafo** para o foco primário do telescópio japonês Subaru de 8,2 m de diâmetro instalado no Havaí (*Subaru Prime Focus Spectrograph*) e projeto científico associado *Subaru Measurements of Images and Redshifts* contam com participação brasileira, através do IAG e do LNA. A FAPESP concedeu US$ 0.86 M através de projeto temático em 2012.

O projeto SPIRou (*SpectroPolarimètreInfraRouge*), liderado pela França, visa à construção de um espectropolarímetro no infravermelho para o telescópio CFHT. No Brasil, o LNA, a UFMG e a UFRN participarão no desenvolvimento das fibras ópticas no infravermelho e fornecerão os elementos dispersivos do **espectrógrafo**. Mencionaremos aqui também o ECHARPE (*ÉCHelle* de Alta Resolução para o P&E), um **espectrógrafo *Échelle*** de dois canais e alimentado por fibras, para o OPD. Os dois projetos (SPIRou e ECHARPE) foram contemplados com R$ 1,2 M pela FINEP, equivalente a US$ 0.5 M.

O LLAMA (*Large Latin American Millimeter Array*) é uma colaboração entre FAPESP, USP e Ministério de Ciência e Tecnologia da Argentina, visando à instalação de um radiotelescópio a 4.850 m de altitude, nos Andes argentinos. A antena funcionará entre 40 e 900 GHz, tanto no modo de antena individual como para interferometria com outros radiotelescópios, como ALMA (*Ataca-*

ma Large Millimeter/Submillimeter Array), APEX (*Atacama Pathfinder Experiment*) e outros radiotelescópios mais distantes. A FAPESP concedeu US$ 11 M (incluindo a reserva técnica) por meio de projeto temático sediado no IAG/USP, cujo termo de outorga foi assinado em dezembro de 2013.

O projeto GMT (*Giant Magellan Telescope*) teve sua aprovação anunciada no momento da última revisão deste Capítulo, em julho de 2014. A participação brasileira no telescópio gigante (25 m de diâmetro) a ser instalado em Las Campanas, no Chile, de US$ 40 M, financiada pela FAPESP, corresponde a 4% do total do projeto. Adotamos a hipótese de que este projeto será contemplado com 10% de reserva técnica, totalizando então US$ 44 M, e que não deverá haver outros projetos importantes aprovados até o fim do ano de 2014.

O projeto CTA *Mini Array*, uma parceria com o *Istituto Nazionale di Astrofísica* (INAF) da Itália, que representa uma primeira fase do projeto CTA (*Cherenkov Telescope Array*) foi aprovado pela FAPESP em meados de agosto de 2014 e, por isso, não foi incluído na Tabela 1, nem nos gráficos. Representa um investimento de cerca de US$ 3.5 M.

Visão geral dos gastos com equipamentos e projetos

Recapitulamos na Tabela 1 a lista dos investimentos em equipamentos e projetos descritos acima, em ordem cronológica, mas também agrupados por décadas. Note-se que muitos projetos demoraram cerca de uma década para serem concluídos, portanto essa divisão do tempo faz sentido. O conteúdo desta Tabela não coincide com o que se chama normalmente de despesas de capital, pois em geral os projetos incluem também itens como serviços, gastos com viagens etc.

Investimento	Ano	Custo na época	Custo atualizado pela inflação do dólar	Custo atualizado pelo PIB
		(US$ M)	(US$ M)	(US$ M)
Vários telescópios de 50–60 cm	1970	2.3	13.8	20.3

OPD	1972	2.3	14.0	18.4
Radiotelescópio 13,7 m	1972	5.05	27.3	40.4
Espectrógrafo *Cassegrain*	1974	0.1	0.5	0.7
Total década 1965–1974			***55.6***	***79.8***
Computadores década 75–84	1975	0.3	1.4	2.0
Microdensitômetro do ON	1978	0.3	1.3	1.8
Reticon + Fotex	1983	0.32	1.1	1.5
Total década 1975–1984			***3.8***	***5.3***
Computador VAX no IAG	1988	0.8	2.2	2.8
Sede do LNA + FOTRAP	1992	0.22	0.5	0.6
Nova redoma Itapetinga	1994	1	2.2	2.6
Estações de trabalho + computadores	1995	2.5	5.2	6.2
Total década 1985–1994			***10.1***	***12.2***
Gemini (capital)	1997	4.6	8.9	10.4
SST no CASLEO	1999	2	3.6	4.3
Detectores do LNA	2000	1.5	2.6	2.9
Telescópio na Escola	2001	0.25	0.4	0.5
SOAR (capital)	2002	12	18.9	21.0
Observatório Pierre Auger	2002	2.5	3.9	4.4
CPADA – *cluster* da UFRGS	2002	0.2	0.3	0.35
GEM	2003	0.1	0.2	0.2
Detector Mário Schenberg	2003	1	1.5	1.7
SIFS	2004	1.1	1.6	1.7
MASCO	2004	1	1.45	1.6

Total década 1995–2004			***43.3***	***49.0***
Impacton	2005	0.8	1.1	1.2
Vários pequenos telescópios	2005	0.24	0.33	0.36
Salas de observ. remota SOAR	2006	0.1	0.13	0.14
Lab. Instrumentação LNA	2006	1	1.3	1.4
Spartan (câmara infravermelha)	2007	0.2	0.26	0.27
BDA (radiointerferômetro)	2007	4.2	5.4	5.7
LineA	2009	6	7.1	7.3
Satélite COROT	2009	1.8	2.1	2.2
STELES – espectrógrafo para SOAR	2010	1.3	1.5	1.5
BTFI (imageador filtro sintonizável)	2010	1.5	1.7	1.7
Telescopio Robótico	2010	1.6	1.8	1.9
POEMAS – radiopolarímetro	2011	0.3	0.35	0.36
Laboratório de Astrobiologia	2011	1.2	1.25	1.3
Câmara SPARC4	2012	0.1	0.1	0.1
Lattes+MIRAX	2012	12	12	12
Telescopio Infravermelho (Macon)	2012	0.35	0.35	0.35
Cluster Alpha Crucis	2012	0.9	0.9	0.9
Projeto J-PAS (*Javalambre Survey*)	2012	5.9	5.9	5.9
Subaru Prime Focus Spectrograph	2012	0.86	0.86	0.9
Projeto SPIRou e ECHARPE	2013	0.5	0.5	0.5
Radiotelescopio LLAMA	2013	11.0	11.0	11.2
Telescopio Gigante GMT	2014	44.0	44.0	44.0
Total "década" 2005 – 2014			***100.1***	***101.2***

Tabela 1. Lista dos principais investimentos

Manutenção e aluguel de telescópios internacionais

Passamos a descrever a partir desta seção um tipo de despesa que chamaremos de "despesas correntes". Nesta seção trataremos das despesas com manutenção de telescópios no exterior e, nas seguintes, de despesas com reuniões científicas no país e com viagens e estadas no exterior.

A partir de 1998 o ON passou a pagar aluguel do telescópio de 1,5 m do ESO em La Silla, ao custo de US$ 300 k por ano. Esta operação se estendeu por 3 anos, pelo menos (não conseguimos informação precisa). Adotaremos 1999 como ano de referência; o valor acumulado do aluguel em 3 anos, em valor de 2013, seria aproximadamente US$ 1.8 M, ou US$ 2.0 M se a correção for pelo PIB. Esta despesa encontra-se contabilizada na Tabela 3.

Os custos de manutenção ou pagamento por uso dos grandes telescópios devem ser contados (Tabela 2). O orçamento anual para os telescópios SOAR, Gemini e CFHT representa atualmente US$ 2.58 M desde 2009. Discriminando, temos:

Telescópio	Gasto anual (US$ M)
Gemini	1.652
SOAR	0.509
CFHT	0.424

Tabela 2. Gasto anual atual com os grandes telescópios

Não há necessidade de atualização desses números, pois estamos apresentando valores de 2012. Assim, se quisermos avaliar o total que foi gasto com a manutenção desses três telescópios desde que entraram em operação ou foi feita a negociação (no caso do CFHT), podemos multiplicar por 17 o gasto com Gemini, por 12 o do SOAR e por 6 o do CFHT o que dá US$ 36.8 M (já fazendo a extrapolação para 2014, e supondo que o primeiro pagamento de manutenção se deu 1 ano após o início da operação para Gemini e SOAR). Na Tabela 3 os gastos desta modalidade serão apresentados por décadas, para poder incluí-los da mesma forma que os outros gastos da Figura 1.

Reuniões científicas

A organização de simpósios, *workshops*, escolas avançadas etc., constitui uma das fontes de gastos em astronomia, assim como em outras áreas da ciência. Há três décadas, as Escolas Avançadas de Astronomia, organizadas

pelo IAG a cada 2 anos, eram reuniões científicas de grande relevância para o país. Talvez o primeiro *workshop* de porte razoável, com 50 participantes, incluindo estrangeiros, foi o "Colóquio sobre Fenômenos de Ejeção de Massa", realizado em Cambuquira, MG, em 1979. As reuniões anuais da SAB vêm acontecendo anualmente desde 1978 (ver o Capítulo sobre "Organização da comunidade astronômica" neste Volume). A Escola Brasileira de Cosmologia e Gravitação, organizada pelo CBPF a cada 2 anos, teve início também em 1978. Ainda em 1979 foi realizado um Colóquio de Dinâmica Orbital, que também passou a ser repetido a cada 2 anos. Desde então as reuniões foram se multiplicando, muitas instituições organizando suas próprias escolas e próprios eventos.

Não caberia aqui listar as grandes reuniões que foram organizadas. Destaca-se a Assembleia Geral da IAU, realizada no Rio de Janeiro em 2009, que contou com mais de 2 mil participantes (ver o Capítulo "Assembleia Geral da IAU no Rio de Janeiro", neste Volume). Embora uma taxa de inscrição fosse cobrada, um apoio das agências financiadoras e empresas privadas no valor de R$ 1,5 M ou US$ 750 k foi necessária. Contribuíram o CNPq, a FAPERJ, o MCT, o ON, o LNA, a FAPESP, a CAPES, a Embratur, a revista A&A (*Astronomy & Astrophysics*), a Fundação Gruber, a Sul América, a L'Oréal, além de anônimos.

Nos anos de 2012 e 2013 pudemos contar pelo menos 15 reuniões com mais de 50 participantes, realizadas no Brasil. Exemplos de reuniões recentes, além das tradicionais como a Reunião Anual da SAB, Escolas Avançadas do IAG e do ON, Colóquios de Dinâmica e a reunião Nova Física no Espaço, foram as do SDSS-III no ON, *26th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics* (São Paulo, SP), *Circumstellar Dynamics at High Resolution Workshop* (Foz do Iguaçu, PR), *Compact Stars in the QCD Phase Diagram* (Guarujá, SP), *USP Conference on Cosmology* (~ 250 participantes), Reunião Regional Latino-Americana da IAU em Florianópolis, SC. Foram ainda realizadas (pequenas) reuniões em homenagem a pesquisadores que se aposentaram no ON, IAG e UFRGS.

A *grosso modo*, contando 10 reuniões por ano com mais de 50 participantes, algumas com mais de 100 participantes e com financiamento médio da ordem de R$ 200 k cada, temos um gasto anual de US$ 1 M, em valores atuais. Só a título de exercício, supondo que o número de reuniões multiplicado pelo de participantes tenha aumentado linearmente, partindo do zero em 1978, gastamos cerca de US$ 17.5 M (em valor atualizado) em reuniões científicas desde que estas começaram a ocorrer de forma sistemática.

Despesas no exterior

O Brasil fornece bolsas de doutoramento e de pós-doutoramento por meio de suas agências de fomento. Uma fração dos brasileiros que realizam pós-doutoramento consegue pagamento por instituições do exterior. Vamos supor que as agências de fomento financiem um total de 20 bolsas anuais ao custo de US$ 5 k por mês; isso representaria US$ 1.2 M por ano.

A participação de brasileiros em congressos internacionais tem aumentado significativamente. Na reunião da IAU em Beijing em 2012, por exemplo, foram pelo menos 30. Entre diárias e passagens, isso representa gasto de US$ 120 k. Podemos considerar, além disso, mais 10 congressos com 2 participantes brasileiros em cada um, e chegamos a um total de US$ 200 k para participação em congressos.

Existem outras despesas com bolsas sanduíches, viagens a serviço e missões observacionais, participação em comitês científicos dos grandes telescópios e em projetos de intercâmbio como CAPES/COFECUB (*Comité Français d'Évaluation de la Coopération Universitaire et Scientifique avec le Brésil*), USP/COFECUB e FAPESP/CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*). Colocaremos aqui a mesma quantidade que adotamos para a participação em congressos.

Estimamos assim que o gasto total com viagens e estadas no exterior representa cerca de US$ 1.6 M anuais (valores atuais).

Visão geral dos gastos

Separamos dos investimentos em equipamento, aquilo que chamamos de despesas correntes, que são calculadas de outra forma. As despesas com salários, reuniões científicas e despesas no exterior são, em primeira aproximação, proporcionais ao número de sócios da SAB. Essas despesas são avaliadas com relativa facilidade nos últimos 1-2 anos (os valores foram fornecidos nas secções anteriores). Mas nosso objetivo é avaliar essas despesas por décadas. O procedimento foi o seguinte: avaliamos a despesa para o ano de 2013, somando despesas com salários (US$ 19.6 M), organização de reuniões científicas (US$ 1 M), e gastos no exterior (US$ 1.6 M), o que nos dá US$ 22.2 M para as "despesas correntes" anuais em 2013 (sem contar as despesas com manutenção de telescópios). A soma desses três itens para 2013 serviu de base para calcular o valor correspondente para cada um dos anos anteriores (período de 1965 a 2012), utilizando a razão entre o número de sócios da SAB no ano considerado e em 2013 (720). Finalmente, somamos os valores dos dez anos de cada década. De 1965 a 1973 a SAB não

existia; estimamos em 20 o número de astrônomos profissionais nesse período. Note-se que como as despesas correntes já se encontram em valores de 2013, não há necessidade de aplicar fatores de correção pela inflação. Depois deste processo somamos a manutenção dos telescópios do exterior às despesas correntes, sendo que neste caso também não há necessidade de correção monetária, como já foi explicado (Tabela 3). Fizemos, finalmente, pequena extrapolação das despesas correntes para cobrir até o fim de 2014, para não apresentar uma década com um ano a menos que as outras, expressando tudo em dólares de 2013.

Numa breve discussão dos erros sobre os valores apresentados, tanto para os investimentos quanto para as despesas correntes, podemos dizer que para vários itens de menor valor a incerteza pode alcançar um fator dois para mais ou para menos, principalmente quando se trata das duas primeiras décadas. Em casos mais recentes, os valores declarados pelos responsáveis de projetos podem não ser muito realistas. No entanto, estes erros não estão sempre na mesma direção e se encontram somados com valores maiores para os quais a incerteza é bem menor. Por este motivo, e com base em alguns exercícios, acreditamos que os erros sobre os valores globais por décadas não devem ser maiores do que 20%. As épocas atribuídas a determinados projetos certamente contêm incertezas, mas estas também não afetam os resultados de forma dramática.

Década	**1965–1974**	**1975–1984**	**1985–1994**	**1995–2004**	**2005–2014**	**Total de 5 décadas**
Salários + reuniões científicas+despesas no exterior	7.7	18.3	43.8	90.6	170.6	331.0
Manutenção de telescópios no exterior	0	0	0	12.6	24.2	36.8
Aluguel telescópio	0	0	0	2.0	0	2.0
Total	**7.7**	**18.3**	**43.8**	**105.2**	**194.8**	**369.8**

Tabela 3. Despesas correntes, por década, em US$ M de 2013, com extrapolação de despesas para incluir 2014

Na Figura 1 apresentamos a evolução dos gastos por década, separadamente para os investimentos (dados da Tabela 1) e para os gastos correntes (dados da Tabela 3), assim como esses valores somados. Vê-se que a ordem de gran-

deza do gasto total em astronomia no Brasil, dentro das hipóteses adotadas, alcança atualmente por volta de US$ 300 M por década.

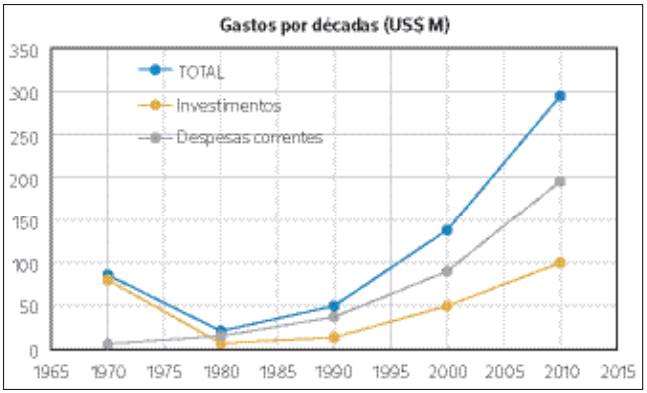


Figura 1. Gasto por década. Em laranja escuro os investimentos em instrumentos (telescópios e novos equipamentos); em cinza os gastos correntes (salários, reuniões científicas, manutenção de telescópios no exterior, participação em reuniões e bolsas no exterior) e, em azul, o total de gastos. Cada ponto representa as despesas feitas na década, desde 5 anos antes até 4 depois do ano indicado. O último ponto (2010) de cada curva fez uso de uma pequena extrapolação dos gastos até o fim de 2014, para evitar que ele ficasse com menos anos.

Na Figura 2 apresentamos os gastos decadais correntes e em investimentos, e gastos totais, acumulados a partir de 1965.

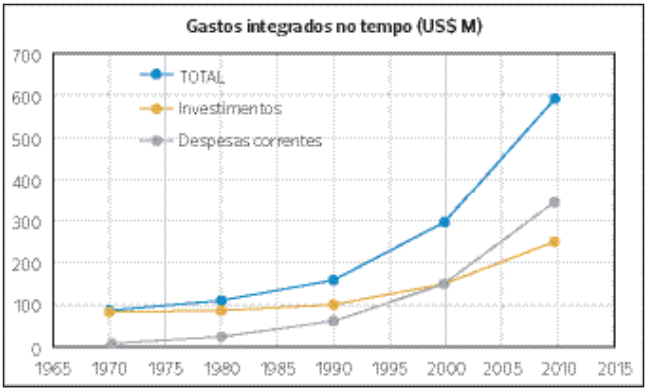


Figura 2. Gastos acumulados desde 1965

Mecanismos de financiamento

No passado o financiamento de projetos de pesquisa se dava através de projetos individuais submetidos ao CNPq ou à FAPESP, e existiam projetos de caráter mais institucional, por meio da FINEP. Os "projetos temáticos" da FAPESP são mais amplos que os individuais, contando geralmente com vários pesquisadores. É impressionante a contribuição da FAPESP no cômputo geral dos investimentos feitos em astronomia. Não nos atrevemos a calcular a fração que ela representa, pois muitos projetos foram financiados por várias fontes, e não temos acesso a todas as contas. A FAPESP beneficia os astrônomos de todo o país, pois em geral os equipamentos desenvolvidos têm sido colocados à disposição da comunidade. A FAPESP desenvolveu um processo de avaliação de grandes projetos, com organização de *workshops* e consultas a especialistas do exterior, como aconteceu no caso do SOAR e do LLAMA, que não possui equivalente no MCTI. Outras agências estaduais, como FAPERJ (principalmente), FAPEMIG e FAPERGS estão passando a ter papel relevante.

Nos anos recentes a astronomia foi beneficiada por formas de financiamento coletivos mais amplos, oferecidas pelas mesmas agências de fomento já mencionadas: PRONEX, Instituto do Milênio, INCT-A (ver adiante), INCT-Espaço (ver adiante). Estes planos coletivos representam mudança de paradigma. Por envolverem um número maior de cientistas do que os projetos individuais, tendem a canalizar os recursos para projetos cuja prioridade é consensual e fomentar o desenvolvimento de forma mais eficiente. Não se deve somar os valores advindos destes financiamentos coletivos, com outros mencionados anteriormente, para se chegar aos gastos totais em astronomia. Esses financiamentos coletivos são utilizados para desenvolver instrumentação, organizar reuniões científicas, pagar bolsas etc., itens que já foram contabilizados. Criado em 1996 pelo CNPq, o PRONEX é um instrumento de estímulo a "Núcleos de Excelência", que são grupos organizados de pesquisadores e técnicos de alto nível. A partir de 2003, o PRONEX passou a ser executado em parceria com agências estaduais de fomento à pesquisa.

Um projeto PRONEX liderado pelo IAG (Galáxias: Formação, Evolução e Atividade), com início no fim de 1996, teve participação do INPE, ON, OV/UFRJ e UFRN, com dotação de R$ 1,4 M, na época equivalente ao mesmo valor em dólar. Financiou equipamentos como CAMIV, CCD + redutor focal, e a câmara de imageamento *Spartan*, desenvolvida em colaboração com a *Michigan State University*, além de infraestrutura computacional e apoio a grupos emergentes.

Um outro projeto PRONEX foi liderado pela UFRGS (Sistemas Estelares e sua Conexão com a Evolução das Galáxias na Era dos Grandes Telescópios -

CNPq/FAPERGS), com orçamento de R$ 0,5 M, com início em 2005. Foi utilizado, entre outras finalidades, para renovar o *cluster* CPADA de computadores para a astronomia, adquirido com verbas do Instituto do Milênio (próximo parágrafo), aquisição de computadores, assinaturas de revistas, passagens e diárias.

O Instituto do Milênio, cujo nome completo prossegue: para Evolução de Estrelas e Galáxias na era dos Grandes Telescópios: Implementação de Instrumentação para o SOAR e Gemini, foi de certa forma semelhante. Teve vigência entre janeiro de 2002 e outubro de 2006, e envolveu 21 instituições: IAG/USP, LNA/MCT, ON/MCT, INPE/MCT, UFRGS, UFRJ, UFMG, UFRN, UFSC, UFES (Universidade Federal do Espírito Santo), UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá, MG), UEFS (Universidade Estadual de Feira de Santana, BA), UESC (Universidade Estadual de Santa Cruz, BA), UEL (Universidade Estadual de Londrina, PR), UERJ (Universidade do Estado do Rio de Janeiro), UERGS (Universidade Estadual do Rio Grande do Sul), UEPG (Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR), UNICAP (Universidade Católica de Pernambuco), UCS (Universidade de Caxias do Sul, RS), UNIP (Universidade Paulista) e UNICSUL (Universidade Cruzeiro do Sul). Os objetivos foram: 1) desenvolvimento tecnológico na área de instrumentação de ponta no país; 2) fortalecer a pesquisa em astronomia de forma a impactar o sistema educacional em todos os níveis; 3) promover o fortalecimento de centros emergentes e criação de novos grupos, aumentando assim o número de usuários dos telescópios de grande porte. O Instituto do Milênio foi contemplado com R$ 3,1 M numa época média situada em 2004, o valor correspondente em dólares na época era aproximadamente US$ 1 M.

O INCT-A é o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Astronomia, que inclui cerca de 150 pesquisadores e obteve recursos de aproximadamente US$ 2.7 M repartidos entre CNPq e FAPESP. Praticamente as mesmas instituições do projeto do Milênio acima participaram. O objetivo desse instituto é preparar a entrada do país em grandes projetos internacionais, ou seja, tem um caráter prospectivo. Além disso, desenvolve outras ações como apoio a grupos emergentes, desenvolvimento de ensino a distância etc.

O INCT-Espaço (INCT para Estudos do Espaço) é outro dos institutos nacionais implantados recentemente, cuja direção é compartilhada entre a UFRN e o ITA, já que é o resultado da fusão das propostas de INCT de Tecnologias Espaciais (ITA) e INCT de Ciências do Espaço (UFRN). O INCT-Espaço tem financiado diversos projetos já mencionados neste Capítulo: protoMirax, Laboratório de **Astrobiologia**, mas também projetos de desenvolvimento tecnológico para a área espacial que não estão diretamente relacionados com a astronomia.

Finalmente, mais um mecanismo de financiamento surgiu recentemente. A USP criou seu próprio sistema de fomento, através dos Núcleos de Pesquisa, que até onde sabemos, ainda não têm seu equivalente em outras universidades, nesse grau. Os "Núcleos" já existiam há mais de uma década, mas só recentemente passaram a contar com recursos apreciáveis, da ordem de R$ 1 M ou mais. Esses núcleos, para serem aprovados, devem ter caráter abrangente, envolvendo mais de um instituto da universidade. Vários núcleos da área de astronomia tiveram sucesso em obter recursos, como foi o caso do NARA (Núcleo de Pesquisa em Radioastronomia) e do NAP/Astrobio (Núcleo de Apoio à Pesquisa em **Astrobiologia**) e o Núcleo de **Cosmologia**.

Conclusão

Nosso país vem investindo de forma séria e cada vez mais sistemática em astronomia há mais de um século. Em cada época, os investimentos se deram de forma diferente, sendo o acordo do café um exemplo intrigante. No geral, ficamos impressionados com o que foi feito, quando os valores são atualizados. Os resultados estão aí; estamos participando em muitos projetos internacionais, organizando reuniões científicas também internacionais. O desenvolvimento se espalhou pelo país; temos uma dezena de centros emergentes, além dos centros consolidados, e muitos mestres e doutores. Somos capazes de produzir instrumentos para serem instalados nos melhores telescópios do mundo.

Para contar esta história, inclusive em seus aspectos financeiros, um trabalho mais profundo do que o presente mereceria ser feito. Poderia ser um trabalho coordenado pela SAB, por exemplo. Se for estabelecido um cadastro dos projetos em andamento, nos quais os próprios responsáveis declarem os recursos obtidos, os historiadores do futuro poderão produzir relatos muito mais precisos. E nós mesmos ficaríamos sabendo de muitos projetos cuja existência ignoraríamos.

Em resumo, na década de 1965-1975, foram feitos investimentos equivalentes a cerca de US$ 80 M, em termos de "esforço nacional" em dólares de hoje. Na década seguinte houve um forte recuo e, na de 1985 a 1995, uma recuperação gradual. Depois de 1995, voltamos a um nível adequado de investimentos com a participação brasileira nos telescópios Gemini e SOAR, e com o desabrochar do desenvolvimento no Brasil de instrumentos sofisticados e competitivos em nível internacional. Além disso, houve diversificação dos investimentos, com projetos como o Auger (**raios cósmicos**), Mário Schenberg (**ondas gravitacionais**), BDA (radiointerferometria) e projetos

espaciais. No último ano houve aceleração dos investimentos, com a aprovação de grandes projetos como LLAMA e GMT pela FAPESP. Chegamos a um nível de investimento da ordem de US$ 100 M por década.

As novas formas de financiamento por meio de "Institutos" têm se revelado bastante benéficas, por permitir projetos ambiciosos e de consenso entre muitos pesquisadores. No entanto, existe um risco quando o número de participantes cresce demais, de novamente os dirigentes perderem o contato estreito com as bases, e de o instituto deixar de ter foco definido. Falta ao país um foro adequado para analisar os grandes projetos e discutir os rumos da astronomia. O MCTI anunciou, há cerca de dois anos, que iria criar um conselho de especialistas, mas ainda não efetivou essa decisão.

Com as reuniões científicas se gasta cerca de US$ 1-2 M por ano. Podemos até considerar que o número de reuniões no país atingiu seu máximo razoável, tendo em vista que é praticamente impossível para um astrônomo participar de todas que são de seu interesse, lembrando que é desejável a participação em reuniões no exterior, além das nacionais. Em 2012 as datas das Escolas Avançadas do IAG e do ON coincidiram, e várias reuniões foram tão próximas umas das outras, que era impossível estar presente em todas. Assim, cada reunião no país perde seu alcance; os pesquisadores de uma instituição frequentam pouco os eventos das outras e a interação tem diminuído. Caberia, talvez, algum ordenamento pela SAB.

E a entrada do Brasil no ESO (*European Southern Observatory*), o que representaria, frente ao quadro acima? Ver "Participação do Brasil em consórcios internacionais" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume. Embora o presidente da República e o ministro de Ciência e Tecnologia tenham assinado em dezembro de 2010 o termo de adesão ao ESO, até a presente data o acordo não foi ratificado pelo Congresso Nacional. O Brasil teria que pagar, segundo informações constantes no *site* da SAB, uma taxa de entrada de €$ 130 M ou US$ 170 M (para permanecermos na unidade utilizada até agora), parcelada em 11 anos. Além disso, teria que pagar as anuidades estimadas em cerca de €$ 18 M (US$ 24 M) por ano, com desconto decrescente de 90% para 0% em 10 anos. Ou seja, no primeiro ano teria que pagar um total de cerca de US$ 17.7 M. Com essa quantia, teríamos acesso à totalidade dos telescópios pertencentes ao ESO, inclusive ao ALMA, o maior projeto da **radioastronomia** mundial, e seríamos participantes do E-ELT (*European Extremely Large Telescope*), telescópio **óptico** de 39 m de diâmetro, também o maior do planeta. Uma parte importante dos recursos voltariam ao país, na forma de encomendas a indústrias brasileiras. Parece ótima oportunidade, que não destoa da ordem de grandeza de financiamen-

to conseguida no passado, dentro de uma progressão natural. Como vimos, na década 1965-1975 foram adquiridos o radiotelescópio do Itapetinga, o telescópio de 1,6 m e vários telescópios de 0,6 m, correspondentes a um valor corrigido pelo PIB da ordem de US$ 80 M, hoje.

Estamos nos tornando perigosos, abocanhando uma parte cada vez maior dos recursos destinados à ciência, como pensam alguns colegas de outras áreas que se declaram contrários a nossos projetos? Não, porque nosso crescimento é apenas igual ao crescimento da nação. Com base em nossa história científica e financeira, parece justo almejar sermos parceiros do E-ELT. Para efeitos comparativos, a reforma do Laboratório de Luz Sincrotrônica, prevista para ser concluída em 2016, vai consumir US$ 325 M. Esse projeto merece todo nosso apoio. Ainda para nos situar, o orçamento do MCT foi de US$ 3.6 G em 2013, excluindo os créditos da FINEP (O Estado de São Paulo, 10/4/2013).

A entrada no ESO é um grande passo, mas não contempla toda a astronomia e nem esgota nossas necessidades. Assim, a astronomia espacial necessita de recursos para o lançamento do Lattes e outros satélites futuros. Outra área, a de astronomia de **raios** γ (gama) a partir do solo, já conta com uma iniciativa para a participação brasileira no CTA (*Cherenkov Telescope Array*). Mesmo na área de **radioastronomia**, apesar da provável entrada no ESO nos dar acesso ao ALMA, este interferômetro cobre apenas uma parte do **espectro** rádio e das possibilidades, mesmo na região milimétrica. O projeto LLAMA, de construção nos Andes argentinos de um radiotelescópio semelhante aos do ALMA, permitirá operação no modo *single dish* e também em interferometria de longa distância (VLBI), complementando o ALMA, e estabelecendo parcerias com outros telescópios mais distantes. Para as baixas frequências, devemos considerar no futuro próximo a participação em outro consórcio internacional, o SKA (*Square Kilometer Array*) e, em particular, com sua vertente situada na África do Sul, o *Meerkat* que está em construção. Seria perfeitamente razoável colocar algumas antenas no Brasil para complementar o *Meerkat*. Além disso, deveríamos aproveitar as várias antenas de 32 m de Morungaba (SP) e de Tanguá (RJ), usadas no passado pela Embratel para telecomunicações, para integrar uma rede nacional e internacional de VLBI. Porque não se investe na antena do Itapetinga? Parece que convém a alguns acharem que ela está obsoleta. Não é verdade. Com um investimento pequeno, ela poderia fazer parte de rede de VLBI e, além disso, realizar levantamentos automatizados na **Galáxia** da molécula NH_3, entre outras. Existem nichos para a **radioastronomia** centimétrica, a faixa de operação do ROI. Para fazer perante os projetos radioastronômicos citados, deveríamos

construir uma estrutura adequada; por exemplo, um Instituto de Radioastronomia, funcionando nos moldes do LNA, e que seria uma semente de nosso NRAO (*National Radio Astronomy Observatory*). O leitor deve perdoar o viés radioastronômico da discussão acima, pois não caberia ao autor se manifestar aqui sobre os projetos futuros das diversas áreas da astronomia.

Agradecimentos

Agradecemos a Oscar Matsuura pela firme condução e aconselhamento sobre a organização do Capítulo, e Adriana Valio, Beatriz Barbuy, Bruno Castilho, Carlos Escobar, Cláudia Mendes de Oliveira, Claudia Villegas, Daniela Lazzaro, Eduardo Janot-Pacheco, Gabriel Franco, Hanumar Sawant, Heloisa Boechat, João Braga, João Steiner, Jorge Horvath, José Pacheco, José Williams Vilas Boas, Kepler de Oliveira, Luis Nicolaci da Costa, Odylio Aguiar, Pierre Kaufmann, Renato Dupke, Ruth Gruenwald, Sueli Viegas, Thyrso Villela e Vera Jatenco por informações, correções ou sugestões.

Capítulo 11

ASSEMBLEIA GERAL DA IAU NO RIO DE JANEIRO

Agosto de 2009: o Brasil sediando o maior evento da astronomia mundial

Daniela Lazzaro (ON/MCTI)

Neste Capítulo são abordados os diversos aspectos da realização no Brasil do maior evento da astronomia mundial, a Assembleia Geral (GA) da União Astronômica Internacional (IAU). Partindo das primeiras ideias surgidas dentro da comunidade astronômica brasileira sobre a possibilidade de sediar esse evento, são descritos os caminhos percorridos até a sua realização em agosto de 2009, no Rio de Janeiro.

Das primeiras ideias à candidatura

A União Astronômica Internacional (IAU) é uma organização sem fins lucrativos para promover e defender a ciência da astronomia em todos os aspectos, através da cooperação internacional. Ela nasceu na assembleia fundadora do Conselho Internacional de Pesquisa (IRC), realizada de 18 a 28 de julho de 1919 no *Palais des Académies* em Bruxelas (Blaauw, 1994). O Brasil se tornou país-membro da IAU quando da sua primeira Assembleia Geral (GA) realizada em Roma em 1922 (Oliveira, 2009).

O relacionamento entre o governo brasileiro e a IAU se deu, inicialmente, através do Observatório Nacional (ON), depois através do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq)[1] e, mais recentemente, da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB)[2]. Desde que o CNPq assumiu em 1963 a função de entidade aderente, as negociações passaram a ser feitas em nome do CNPq pela Comissão Brasileira de Astronomia (CBA) que, posteriormente, passou a ser indicada pela SAB. Atualmente a IAU tem 73 países-membros, sendo que o Brasil tem 187 membros individuais oriundos das diferentes instituições científicas dessa área.

Entre as diversas atividades organizadas pela IAU, certamente a maior e mais importante é sua GA, organizada a cada três anos em um de seus países-membros. No fim da década de 90, com o crescimento da comunidade astronômica no Brasil, começou a tomar corpo a ideia de sediar uma GA. O primeiro passo nessa direção foi dado em julho de 2000 durante a GA em Manchester (Inglaterra) quando o então presidente da CBA, Walter J. Maciel (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG, da Universidade de São Paulo, USP), apresentou uma carta de intenção para sediar a GA de 2009 (GA2009) no Brasil. Esse assunto foi levado à Reunião Anual da SAB, onde recebeu amplo apoio, o que levou a diretoria da SAB a indicar, em novembro de 2000, a "Comissão Preliminar IAU2009" para analisar a viabilidade e o interesse de realizar uma GA da IAU no Brasil. Para compor essa comissão preliminar foram indicados 18 astrônomos representando diferentes instituições do país, sendo Walter J. Maciel o coordenador.

Em agosto de 2001, durante a XXVII Reunião Anual da SAB em Águas de São Pedro, SP, a Comissão Preliminar apresentou um relatório detalhado sugerindo a cidade do Rio de Janeiro para sediar a GA2009, indicando Flo-

---

[1] Após ter sido desligado durante vários anos por falta de pagamento da anuidade, em 1961 o Brasil foi readmitido na IAU. Ver a seção "Volta à IAU. Astrometria. Observatório Abrahão de Moraes" em "O Instituto Astronômico e Geofísico da USP" no Capítulo "Chegada da astronomia oficial a São Paulo", no Volume I.

[2] Ver o Capítulo "Organização da comunidade astronômica" neste Volume.

rianópolis, SC, e Natal, RN, como cidades alternativas (SAB, 2002: 5). Tendo obtido a aprovação da assembleia geral da SAB em dezembro daquele ano, a diretoria da SAB constituiu a "Comissão IAU2009" com a missão de preparar o dossiê de candidatura, a ser encaminhado para a CBA até outubro de 2002 (SAB, 2003: 4). Essa comissão era composta por Beatriz Barbuy (IAG/USP), José Eduardo Telles (ON), José Renan de Medeiros (Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, então presidente da CBA), Luiz Paulo Vaz (Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG), Paulo Pellegrini (ON, presidente), Roberto Cid Fernandes (Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC), Thaisa Storchi Bergman (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS) e Walter J. Maciel. Entretanto, devido a problemas diversos, em meados de novembro de 2002 ficou evidente que o dossiê não ficaria pronto no prazo exigido pela IAU, que era dezembro de 2002.

Foi nesse momento que um pequeno grupo do ON composto por mim (membro da CBA), Francisco Xavier de Araújo e Claudio Bastos, decidiu assumir a responsabilidade de preparar o dossiê. Com a ajuda fundamental do diretor do ON na época, Wladimir Pirró e Longo, que abriu as portas para uma efetiva colaboração da Secretaria de Turismo do Rio de Janeiro e outros órgãos municipais, foi possível preparar e encaminhar o dossiê de candidatura dentro do prazo. A proposta ainda era substanciada por convite formal do então ministro de Ciência e Tecnologia, embaixador Ronaldo Mota Sardenberg, além de cartas de apoio do prefeito do Rio de Janeiro e de autoridades de diversas instituições ligadas à pesquisa e ensino no Brasil.

Sydney 2003: a grande decisão

Encaminhar o dossiê de candidatura foi certamente passo importante, mas isso não garantia a GA2009 no Rio de Janeiro, pois havia outras três candidaturas: Beijing (China), Calgary (Canadá) e Honolulu (Havaí, EUA). Vale mencionar que a cidade/país sede de uma GA é decidida pelo Comitê Executivo (EC) da IAU com 6 anos de antecedência. Portanto, a decisão sobre a GA2009 deveria ser tomada durante a GA realizada em Sydney (Austrália) em julho de 2003, e anunciada durante a assembleia geral dos membros na segunda semana desse evento.

A defesa do dossiê perante o EC em Sydney ficou a meu cargo, por ter sido um dos responsáveis por sua elaboração, contando com o apoio de Katia Cunha (ON), que me acompanhou na reunião. Um detalhe de certa forma hilário sobre essa defesa da candidatura brasileira é que, quando Kátia e eu

saímos da reunião, cruzamos com a equipe da China formada por meia dúzia de sisudos homens puxando dois carrinhos carregados de material de divulgação. O contraste entre a apresentação simples da candidatura do Brasil, ainda por cima por duas pesquisadoras, com as demais, todas realizadas por profissionais da área de captação de eventos, talvez tenha sido um diferencial que tenha influenciado favoravelmente os membros do EC. Outro ponto que deve ter influenciado foram os contatos mantidos por pesquisadores brasileiros presentes à GA, em particular Elizabeth G. dal Pino (IAG/USP), Ramiro de la Reza (ON), Horácio Dottori (UFRGS) e outros que ficaram no anonimato mas que, com seu entusiasmo, mostraram uma comunidade astronômica com garra para realizar uma grande GA.

No entanto, todos os presentes à GA em Sydney tiveram a clara impressão de que a candidatura da China seria imbatível. Além do poder econômico e da organização, o universo também conspirava a favor deles com um apoio muito desleal: em julho de 2009 ocorreria um eclipse total do Sol, visível apenas da China!

Tendo eu retornado ao Rio antes do anúncio da decisão do EC, encaminhei longa mensagem ao diretor do ON e aos demais colegas relatando os acontecimentos em Sydney e terminando com uma frase que sintetizava meus pensamentos: "Fizemos o que era possível, aprendemos e tentaremos de novo." Felizmente eu estava enganada e durante a assembleia geral, em 24 de julho, foi anunciado que o Rio de Janeiro tinha sido escolhido para sediar a GA2009.

Essa conquista se revestiria de uma importância ainda maior quando a 62ª Assembleia das Nações Unidas, em 19/12/07, proclamou 2009 com o Ano Internacional da Astronomia (AIA) para celebrar o quarto centenário do primeiro uso astronômico documentado do telescópio por Galileu Galilei e da publicação de *Astronomia Nova*[3] de Johannes Kepler.

2003-2006: início da organização

Tendo o Brasil sido escolhido para sediar a GA2009, começaram duas ações importantes: formar o comitê organizador do evento, conhecido como *National Organizing Committee* (NOC) e providenciar a quitação das anuidades atrasadas do Brasil à IAU. De responsabilidade do CNPq, as anuidades não tinham sido pagas desde 2001, razão pela qual o Brasil foi impedido de votar

[3] Uma das obras mais importantes de astronomia, relata os resultados de dez anos de estudos de Kepler sobre o movimento de Marte, baseados nas observações de Tycho Brahe.

durante a GA em Sydney. Isso acabou se tornando mais dramático com a escolha do Rio de Janeiro para sediar a GA2009, pois chegaram reclamações ao EC de que um país que não saldava suas dívidas não poderia organizar uma GA. Com a ajuda do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) e do ON que pagaram parte das anuidades atrasadas, além do próprio CNPq, foi possível saldar as dívidas e, em dezembro de 2004, o Brasil voltava a estar quite financeiramente perante a IAU. Entre 2004 e 2009 as anuidades continuaram sendo pagas em nome do CNPq pelo ON, graças à compreensão de seu diretor, Sergio Luis Fontes, da importância disso para a comunidade astronômica. Mas, a partir de 2010, a responsabilidade do pagamento passou à SAB que, até o presente, tem utilizado o saldo dos recursos levantados na organização da GA2009.

Quanto ao NOC, o núcleo inicial foi indicado pela diretoria da SAB já em julho de 2003, sendo formado por Daniela Lazzaro (presidente), Beatriz Barbuy (co-presidente), Kepler de Oliveira (UFRGS e, então, presidente SAB), Luiz Paulo Ribeiro Vaz, José Renan de Medeiros (então presidente da CBA) e Walter J. Maciel. A este grupo se juntaram pesquisadores representativos das principais instituições da astronomia brasileira, chegando-se em agosto de 2006 à composição definitiva do NOC, a saber: Daniela Lazzaro (presidente), Beatriz Barbuy (co-presidente), Adriana Silva-Valio (Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie, CRAAM), Albert Bruch (LNA), Eduardo Janot Pacheco (IAG/USP), Francisco Xavier de Araújo, Licio da Silva (ON), Luiz Paulo Ribeiro Vaz, Miriani Pastoriza (UFRGS), José Renan de Medeiros, Kepler de Oliveira, Silvia Lorenz-Martins (Observatório do Valongo, OV, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ). Thyrso Villela (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE e Agência Espacial Brasileira, AEB) e Walter J. Maciel.

Em sua primeira reunião, em agosto de 2003, o NOC entendeu a necessidade de contar com o apoio de uma empresa especializada para poder organizar um evento do porte de uma GA. Isso levou a uma chamada pública realizada com o apoio do "Rio Bureau & Convention Center", quando se candidataram seis empresas. Finalmente, em junho de 2004, o NOC, baseado no dossiê encaminhado e na apresentação feita por cada uma das empresas candidatas, escolheu a "JZ Congressos". Na decisão pesou essencialmente a extensa experiência da empresa na organização de eventos de grande porte.

O primeiro grande teste para o NOC e a JZ foi a visita do EC ao Rio ocorrida em setembro de 2005. Participaram da visita pelo EC: Catherine Cesarsky, presidente-eleita, Oddbjørn Engvold, secretário-geral, Karel Van der Hucht, secretário. Entre as diversas atividades realizadas nessa ocasião merece menção a visita ao centro de convenções "RioCentro", indicado no dossiê de candidatura como local onde deveria ser realizada a GA, e a hotéis da Barra da Tijuca que,

por serem os mais próximos a esse centro, hospedariam a maior parte dos participantes. Além disso, também houve reunião no ON (Figura 1), quando foram discutidos diversos pontos relativos à organização, em particular, as obrigações do NOC representando a SAB como anfitriã do evento em 2009. Os recursos necessários para a organização do evento seriam de responsabilidade exclusiva do NOC, sendo que a IAU apenas concederia auxílios para a participação de pesquisadores e alunos. Prejuízos, assim como saldos, ficariam apenas com a SAB.

Figura 1. Reunião no ON durante a visita do EC em setembro de 2005 (arquivo da autora)

O ano seguinte, 2006, foi de muita efervescência tendo ocorrido a memorável GA em Praga quando "Plutão foi rebaixado". Memorável também para a organização da GA2009, pois foi quando aprendemos o que deveria ser feito e o que não deveria ser feito para que a GA no Rio fosse um sucesso.

Os preparativos para a participação brasileira na GA de Praga começaram bem cedo. Como já é tradição, a GA2009 teria um *stand* no setor da exposição para divulgar o evento no Rio (Figura 2, acima). Para isso foi conseguido um auxílio da EMBRATUR viabilizando a ida de dois representantes da JZ, além da produção de cartazes, *folders*, material de divulgação e o transporte de todo o material para Praga. Outra ação importante do NOC foi o incentivo à participação de pesquisadores e estudantes brasileiros nos eventos científicos e na GA para ajudar a divulgar o evento. A resposta dos brasileiros foi positiva,

pois o *stand* do GA2009 no Rio esteve sempre com algum pesquisador ou estudante brasileiro dando informações e encorajando a vinda ao Brasil dali a três anos. Além do *stand*, foi organizado também um evento em conjunto com a Embaixada do Brasil em Praga. Esse evento contou com a presença do embaixador Alfonso Emílio de Alencastro Massot, em clara demonstração do apoio do governo brasileiro à GA que seria realizada no Rio três anos mais tarde. Para o NOC e a JZ a presença na GA de Praga foi fundamental para entender o funcionamento de um evento desse porte e tomar conhecimento dos desafios a serem enfrentados, e culminou com o convite a todos os participantes na cerimônia de encerramento (Figura 2, direita).

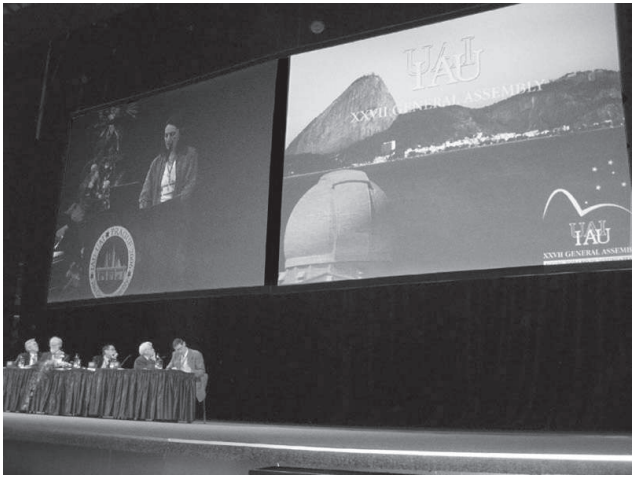


Figura 2. Acima: *stand* da GA2009 do Rio de Janeiro em Praga. Direita: convite para a GA2009 do Rio na cerimônia de encerramento em Praga (arquivo da autora)

Retornando da GA de Praga, a primeira ação do NOC foi criar subcomitês, cada um tratando de um aspecto da organização, com dois objetivos: primeiro, de dividir o imenso trabalho e, segundo, envolver mais membros da comunidade astronômica brasileira. Foram criados sete subcomitês:

1. Executivo — composto por um subgrupo do NOC e encarregado da tomada de decisões entre as reuniões do NOC.
2. Financeiro — encarregado de supervisionar as finanças do evento e buscar financiamento governamental.
3. *Sponsor* — tendo a função de, em estreita colaboração com o subcomitê financeiro, procurar apoio financeiro não governamental, ou seja, de empresas e instituições privadas.
4. *Web* — com a tarefa de desenvolver e manter o *site* oficial da GA2009.
5. *Marketing* e Mídia — promover o evento na mídia.
6. Eventos sociais — responsável pelo planejamento e organização dos eventos sociais, em particular as cerimônias de abertura e de encerramento.
7. Eventos associados — organizar, em conjunto com a comissão nacional do AIA, eventos para o grande público nas semanas da GA2009.

Dois outros subcomitês temporários foram também criados: Científico e Jornal GA. O primeiro teve como tarefa supervisionar e realizar ações para que a programação científica durante a GA fosse a mais atraente possível. Embora a programação científica de uma GA seja de responsabilidade do EC, os diversos eventos são propostos por membros da IAU. Daí a necessidade de garantir que tanto a comunidade científica brasileira, quanto a latino-americana, pudesse propor eventos de seu interesse.

O segundo subcomitê temporário cuidaria de uma antiga tradição das GAs, de publicar um jornal diário, de distribuição gratuita aos participantes. Ele deveria discutir com jornalistas e editoras as possíveis formas de publicar esse jornal diário e seria substituído por uma Comissão Editorial a ser indicada em 2007.

2007-2009: o esforço da comunidade astronômica brasileira

Talvez a parte mais árdua do trabalho do NOC, que envolveu muitas decisões a serem tomadas em tempo hábil, tenha sido a difícil articulação com o EC, então dedicado a fiscalizar, a distância, o andamento da organização. Formalmente a

GA é organizada pela IAU através de seu EC, contando com a parceria da instituição local, no caso, a SAB, através do NOC. Isso resulta em não poucos conflitos e cobranças que, na maioria das vezes, mais atrapalham do que ajudam. Um exemplo ocorreu no início de 2007, no enfrentamento de um problema que atormentava tanto o NOC quanto o EC, que foi o oferecimento de hospedagem barata para pesquisadores e estudantes com menos recursos. O RioCentro, local inicialmente cogitado para a GA, se situa na Barra da Tijuca onde a maioria dos hotéis é de alto padrão. No dossiê de candidatura tinha sido aventada a possibilidade do uso dos alojamentos construídos para os atletas dos Jogos Pan-Americanos de 2007. Entretanto, já em fins de 2006 o NOC teve conhecimento de que esses apartamentos não estariam mais disponíveis, pois seriam vendidos logo após o encerramento dos Jogos. Isso acabou gerando situação de estresse que somente foi superada com o convite para que o EC viesse novamente ao Rio e aceitasse rediscutir o local de realização da GA, já que estava em vias de ser concluído um novo centro de convenções localizado próximo do centro do Rio de Janeiro.

Essa nova visita do EC ocorreu em agosto de 2007, quando uma programação foi organizada incluindo visitas aos dois centros de convenções, o RioCentro, na Barra da Tijuca, e o CidadeNova, no centro da cidade (Figura 3). Participaram da visita Catherine Cesarsky, presidente, Robert Williams, presidente eleito, e Karel van der Hucht, secretário-geral do EC, além da assistente executiva Monique Léger-Orine. Monique estava chefiando a secretaria da IAU há mais de 20 anos, sendo conhecida por sua eficiência e conhecimento na organização das GAs. Infelizmente, essa seria sua última viagem, pois ela viria a falecer alguns meses depois, em janeiro de 2008, devido a um mal súbito. Essa pode ser considerada a primeira grande perda para a organização da GA do Rio; outra, muito mais traumatizante para o NOC, infelizmente, viria a ocorrer a apenas um mês do início do evento, como veremos mais adiante.

Figura 3. Visita do EC e do NOC ao centro de convenções CidadeNova, em agosto de 2007. Da esquerda para direita: Miriani Pastoriza, Augusto Daminelli, Catherine Cesarsky, Luiz Paulo Vaz, Thyrso Villela, Silvia Lorenz-Martins, Francisco Xavier de Araújo, Karel van der Hucht, Daniela Lazzaro, Albert Bruch, Robert Williams, Monique Léger-Orine, Beatriz Barbuy, Monica e Renata (JZ) e Licio da Silva (arquivo da autora)

Voltando à visita do EC, essa também foi a primeira vez e, talvez, a única antes da GA, em que praticamente todos os membros do NOC estiveram presentes numa reunião preparatória do evento. A visita ao RioCentro foi realizada quando lá estava ocorrendo congresso científico do porte da GA, organizado pela JZ. Isso fez com que o EC e o NOC tivessem uma ideia mais clara da infraestrutura. Isso não ocorreu no caso da visita ao CidadeNova, pois o centro de convenções acabava de ser inaugurado. Na comparação da infraestrutura física disponível, os dois centros praticamente empatavam, mas o CidadeNova tinha a grande vantagem de estar localizado no centro da cidade com uma estação do metrô na porta. Essa linha do metrô liga Ipanema à Tijuca, passando por Copacabana, Botafogo, Flamengo, Catete e o centro, um trajeto onde existem hotéis dentro de todas as faixas de preço, dos mais caros em Ipanema e Copacabana, até os mais baratos na região do Flamengo, Catete e centro. Pela facilidade de acesso e localização, a decisão do EC e NOC foi unânime na escolha do CidadeNova como sede da GA2009.

Tomada essa decisão, começaram as negociações para a reserva definitiva do centro de convenções CidadeNova. Entretanto, a assinatura do contrato que garantiria a reserva exigia o pagamento de 50% do valor do aluguel, estipulado em R$ 600 mil após intensas negociações. Essa despesa deveria ser feita num momento em que nenhum financiamento ainda estava disponível, já que as agências de fomento apenas liberam recursos cerca de seis meses antes do evento e, neste caso, a verba era necessária com dois anos de antecedência. A solução veio através da iniciativa do LNA e do ON, dois institutos do MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). O LNA repassaria R$ 330 mil ao ON. Este completaria o total com os restantes R$ 270 mil e ficaria encarregado de cuidar de toda a burocracia relativa ao pagamento, inclusive a obtenção da autorização da Advocacia-Geral da União (AGU). Finalmente, em dezembro de 2007 foi assinado o contrato entre o ON e a SulAmérica, proprietária do CidadeNova, referente ao uso do centro de convenções no período de 3 a 14 de agosto de 2009 para a realização da GA.

O subcomitê financeiro já vinha trabalhando na captação dos recursos necessários durante as fases preparatórias da GA2009 e, desde o início do ano, vinha realizando visitas ao MCT, CNPq, CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e diversos órgãos dos governos estadual e municipal do Rio de Janeiro, com o intuito de explicar a complexidade do evento e viabilizar formas de auxílio prévias ao evento. Como resultado direto desses trabalhos, um primeiro auxílio de R$ 40 mil foi concedido pelo CNPq já em janeiro de 2008 para a organização da GA. Esses recursos foram utilizados basicamente para custear a participação dos membros do NOC nas reuniões e também para o pagamento do desenvolvimento do *software*

para a submissão dos resumos das comunicações. Este foi encomendado a Cesar Strauss (INPE), que já era o responsável pelo sistema utilizado pela SAB em suas reuniões anuais.

Outro apoio veio do presidente do Comitê de Ciência da Cidade do Rio de Janeiro, Sergio Bruni, que viabilizou a logística de retirada do lixo do centro de convenções. Esse detalhe é citado para ilustrar a diversidade de itens, a maioria completamente desconhecida dos participantes, que compõem o orçamento de um evento desse porte.

O ano de 2007 terminaria com uma reunião do NOC quando, além dos informes dos diversos subcomitês, foram discutidos os valores a serem propostos para a taxa de inscrição. Esse é um ponto muito delicado na organização de um evento já que, se de um lado existe o desejo do comitê organizador de estipular taxas as mais módicas possíveis para favorecer a vinda de muitos pesquisadores e estudantes, do outro existe o compromisso com a realização de um bom e bonito evento. Quando se participa de um evento científico se espera que ele ocorra num local de fácil acesso, que as salas permitam boa visão das palestras, que o som seja adequado, que se tenha acesso à *internet*, que existam lugares para discussões informais, que haja intervalos com um bom *coffee-break*, que os eventos sociais sejam interessantes etc., etc. Para os organizadores todos esses itens redundam em custos. Cabe a eles ponderar com sabedoria os dois lados: um bom evento e uma taxa de inscrição justa. Também é preciso destacar que uma GA tem uma estrutura e dinâmica diferentes das dos demais congressos: durante duas semanas ocorrem dezenas de eventos científicos, a maior parte equivalente aos de congressos ordinários, mas também reuniões de trabalho das diversas divisões e comissões da IAU[4], sendo que a taxa de inscrição permite a participação em todos os eventos.

Considerando as despesas previstas foi preliminarmente proposta uma taxa de inscrição de R$ 1 mil para pesquisadores e R$ 300 para estudantes. Um desconto seria dado para quem fizesse a inscrição até inícios de março de 2009 e um acréscimo para quem deixasse para fazer a inscrição na GA. Pelo câmbio do fim de 2008, esses valores correspondiam a cerca de US$ 500 e US$ 150, contra os US$ 950 e US$ 255 da GA de 2006 em Praga, ou seja, eram bem mais baratos. A partir desse momento, passou a ser uma questão de honra para o NOC fazer com que esses valores não mudassem até o início do evento o que,

[4] Em sua estrutura, a IAU é formada por várias divisões que coordenam as atividades nas várias subáreas da astronomia, e por várias comissões que executam as tarefas nessas subáreas. As divisões e comissões podem contar com grupos de trabalho ou de programa para realizar tarefas específicas por prazo limitado. Também fazem parte da estrutura os diversos comitês, geralmente administrativos e financeiros (p. ex., o EC, várias vezes citado no texto).

de fato, acabou acontecendo. Mas, por ser a taxa de inscrição fixada em reais, o valor a ser pago pelos estrangeiros ficou na dependência das flutuações do câmbio, sobre as quais o NOC não teria nenhum controle.

Nessa mesma reunião foi definido o modelo e estrutura da equipe que estaria à frente do jornal diário da GA (Figura 4), com base num relatório elaborado por uma subcomissão composta por Daniela Lazzaro, Walter J. Maciel, Adriana Silva-Valio e Hélio Rocha Pinto (OV). O relatório, elaborado a partir de discussões com conhecidos jornalistas científicos, sugeria que o jornal diário deveria ser produzido por duas equipes: uma técnica, composta por pessoal especializado em jornalismo, e uma científica, composta por membros da comunidade astronômica. Como editor chefe, que coordenaria ambas as equipes, foi convidado João Evangelista Steiner (IAG), tendo como editor associado científico Hélio Rocha Pinto e, como editor associado técnico, o jornalista Salvador Nogueira. Caberia a estes elaborar o projeto editorial definindo o título, o tipo de matérias, a proporção de matérias frias (preparadas antes do início da GA) e quentes (elaboradas durante a GA). Também deveriam encomendar e supervisionar a elaboração do projeto gráfico definindo o formato do jornal, a estrutura da distribuição das matérias, tipo dos caracteres, desenho do título etc. Entre outras responsabilidades caberia a eles montarem o restante da equipe, além de encaminhar ao NOC orçamentos para os diversos trabalhos. À equipe científica posteriormente se juntaram Fernando Roig (ON) e Roberto Cid Fernandes, enquanto a equipe técnica acabou sendo formada por três jornalistas, um fotógrafo, um revisor de inglês e um diagramador.

ESTRELA D'ALVA
The Morning Star

DAY 01 — MONDAY, AUGUST 3RD, 2009

WELCOME TO THE IAU GENERAL ASSEMBLY 2009

I have the honor and great pleasure of welcoming you to the XXVII General Assembly (GA) of the International Astronomical Union, in beautiful Rio de Janeiro. After the Buenos Aires GA in 1994, this is the second GA taking place in South America. In the intervening time, as regular participants of the Latin American Regional Meetings can testify, astronomy has much expanded and matured in this part of the world and we will be waiting here to its present vitality and vigour.

At the 2003 GA, in Sydney, the IAU General Assembly voted unanimously a resolution to declare 2009 International Year of Astronomy (IYA), at the 400th anniversary of the first astronomical observation through a telescope by Galileo Galilei. UNESCO was prompt in joining IAU in the organization of the celebration and, in due time, the United Nations proclaimed 2009 to be the International Year of Astronomy (IYA). Many astronomers throughout the world are engaged in IYA activities, putting their knowledge and their enthusiasm at the disposal of public and educators, helping them to reach out to "the universe, yours to discover". Here, we will have a Special Session on IYA, and be able to make a first assessment of its impact. Many IYA tasks are related to education at all levels and to the global development of astronomy. Indeed, only 43 countries are IAU National Members, while 142 countries are enrolled in IYA. To bridge the gap, it has become necessary to review the long term strategy of IAU in development and education, and to devise a strategic plan for the next ten years. The draft plan, which is an ambitious one, will be presented for discussion to the astronomers attending the GA, and we look forward to your inputs to arrive, with all your help, at the definitive version.

The scientific programme is diverse and attractive. The six Symposia, and 26 Special Sessions and Joint discussions cover a wide variety of topics in contemporary astrophysics. As is suitable in this IYA year, historical topics will be addressed, including a Special Session for the 400th anniversary of the publication of Kepler's Astronomia Nova. There will be three Invited Discourses, supplemented by a special presentation on Galileo for the 400th anniversary of his first viewing through a telescope, and by a lecture by the recipients of the Gruber cosmology Prize. As astronomy is moving forward at an unprecedented speed, it is more and more valuable to have chances to catch up on the news in other topics. Thus, one of the reviews of each of the Symposia will be turned into a plenary talk, and we hope that you will be numerous to attend these new plenary sessions. Also, there will be three lunch meetings, devoted respectively to young astronomers, women in astronomy, and astronomy education.

I wish you all a memorable time in the Rio GA, a meeting held just Ninety years after the foundation of our Union.

CATHERINE CHARNEY

CELEBRATING THE 90TH ANNIVERSARY

IAU 90 YEARS

IAU's creation was the result of emerge of several international projects. One of them was the Carte du Ciel (Map of the Sky), in French, an ambitious effort to catalogue and map the positions of millions of stars up to the 12th magnitude. Others were the Solar Union and the Bureau International de l'Heure (International Time Bureau). All of those pointed out to the need of an international organization that could handle astronomy's interests in a proper manner.

So, in 1919, the International Astronomical Union was founded. Its creation occurred during the Constituent Assembly of the International Research Council (IRC), organized in Brussels from July 18 to 28, and its founding president was Edouard Benjamin Baillaud, a French astronomer who was an enthusiastic supporter of the Carte du Ciel and was the director of the Paris Observatory from 1907 to 1926.

The first General Assembly was held in Rome, in 1922, and others were conducted in three-year periods, except during World War II. The organization grew steadily, and now has true worldwide representation, with 63 national members, and more than 9,000 individual members. During the last 90 years, the IAU organized 26 General Assemblies, 200 Colloquia, 361 Symposia, 23 Regional Meetings, 19 International Schools for Young Astronomers, and many other activities, proving it is possible to promote the science of astronomy efficiently through international cooperation.

SALVADOR NOGUEIRA

Figura 4. Primeira página do primeiro número do jornal diário da GA2009

Também em fins de 2007 foram definidas as equipes responsáveis por dois almoços tradicionais que ocorrem nas GAs: o das mulheres e o dos jovens astrônomos. Miriani Pastoriza e Zulema Abraham (IAG) se encarregaram do primeiro e Adriana Silva-Valio e Denise Gonçalves (OV) do segundo. Essas indicações são aqui relatadas para dar ideia de como, com o passar do tempo, a equipe responsável pela organização foi sendo ampliada, contando com a participação direta de mais pesquisadores das diversas instituições do país.

Pouco mais de um ano antes do início da GA2009, em maio de 2008, foi finalmente conhecida a programação científica do evento, definida durante a reunião do EC com os presidentes das divisões da IAU. De forma geral a programação científica ficou assim estruturada: 6 simpósios[5], 16 discussões conjuntas[6] e 10 sessões especiais[7]. Entre os eventos selecionados, 4 simpósios, 2 discussões conjuntas e 2 sessões especiais tiveram pesquisadores brasileiros na coordenação científica, o que demonstra que a comunidade astronômica brasileira esteve envolvida na organização tanto local, quanto científica da GA2009.

A programação detalhada do evento pode ser encontrada no *XXVII General Assembly, 3-14 August 2009, Rio de Janeiro, Brazil, Program Book* (NOC, 2009) e é resumida nas tabelas 1, 2 e 3 a seguir.

Título	Coordenação científica
Stellar populations – Planning for the next decade	Bruzual (Venezuela), Charlot (França)
Icy bodies of the Solar System	Fernández (Uruguai), Ferraz-Mello (Brasil), Schulz (Holanda)
Solar and stellar variability – Impact on Earth and planets	Andrei (Brasil), Kosovichev (EUA), Rozelot (França)
Chemical abundances in the Universe – Connecting first stars to planets	Cunha (Brasil), Spite (França), Barbuy (Brasil)

[5] Os temas dos simpósios da IAU devem ser suficientemente amplos, muito bem definidos, de grande interesse e atualidade. Cada simpósio se estende tipicamente por 5 dias e objetiva avançar significativamente no tema, buscando respostas para questões-chave e elucidando conceitos emergentes através de revisões convidadas, trabalhos convidados, contribuições orais e painéis, sendo reservado bastante tempo para discussões.

[6] As discussões conjuntas, com duração entre 2 e 3 dias, visam aprofundar discussões sobre tópicos de interesse de duas ou mais comissões, aumentando a interação entre disciplinas distintas.

[7] As sessões especiais, também com duração entre 2 e 3 dias, visam a discussão de tópicos bem específicos, geralmente de grande atualidade e repercussão.

Star clusters – Basic galactic building blocks throughout time and space	de Grijs (RU), Lépine (Brasil)
Co-evolution of central black holes and galaxies	Peterson (EUA)

Tabela 1. Simpósios da GA2009

Título	Coordenação científica
Dark matter in early-type galaxies	Koopmans (Holanda), Treu (EUA)
Diffuse light in galaxy clusters	Arnaboldi (Itália), Gerhard (Alemanha)
Neutron stars – Timing in extreme environments	Belloni (Itália), Méndez (Holanda), Zhang (China)
Progress in understanding the physics of Ap and related stars	Cunha (Portugal)
Modelling the Milky Way in the era of Gaia	Binney (RU)
Time and astronomy	Defraigne (Bélgica), Brzezinski (Polônia)
Astrophysical outflows and associated accretion phenomena	Dal Pino (Brasil), Raga (México)
Hot interstellar matter in elliptical galaxies	Kim (EUA), Pellegrini (Itália)
Are the fundamental constants varying with time?	Molaro (Itália), Vangioni-Flam (França)
3D views on cool stellar atmospheres – Theory meets observation	Ludwig (França)
New advances in helio- and astero-seismology	Zhao (EUA), Shibahashi (Japão), Houdek (RU)
The first galaxies – Theoretical predictions and observational clues	Wiklind (EUA), Bromm (EUA), Mobasher (EUA)
Eta Carinae in the context of the most massive stars	Damineli (Brasil), Gull (EUA)
FIR2009: the ISM of galaxies in the far-infrared and sub-millimetre	Cunningham (Austrália)
Magnetic fields in diffuse media	Dal Pino (Brasil), Lazarian (EUA)
IHY global campaign – Whole Heliosphere Interval	Thompson (EUA)

Tabela 2. Discussões conjuntas na GA2009

Titulo	Coordenação científica
IR and sub-mm spectroscopy – a new tool for studying stellar evolution	Wahlgren (EUA), Käufl (Alemanha), Kerber (Alemanha)
The International Year of Astronomy 2009	Cesarsky (França)
Astronomy in Antarctica	Burton (Austrália)

Astronomy education between past and future	de Greve (Bélgica), Kochhar (Índia), Guinan (EUA)
Accelerating the rate of astronomical discovery	Norris (Austrália), Ruggles (RU)
Planetary systems as potential sites for life	Courtin (França)
Young stars, brown dwarfs, and protoplanetary disks	Gregório-Hetem (Brasil), Alencar (Brasil)
The Galactic plane – in depth and across the spectrum	Walton (RU), Damineli (Brasil)
Marking the 400th anniversary of Kepler's 'Astronomia Nova'	Mahoney (Espanha)
Next generation of large astronomical facilities	Gilmore (RU), Schilizzi (Holanda)

Tabela 3. Sessões especiais da GA2009

Uma novidade foi introduzida na programação científica da GA do Rio: cada simpósio teria palestra de revisão em horário no qual não seriam agendados outros eventos paralelos. Segundo o EC e presidentes das divisões isso tinha o objetivo de permitir uma saudável interação entre as diversas áreas de pesquisa. Por ter sido bem-sucedida, essa prática foi repetida na GA seguinte, em 2012 na China, e deverá continuar nas que se seguirem.

Também foram definidas as quatros tradicionais palestras convidadas, ponto alto de todas GAs: *The Legacies of Galileo*, por Franco Pacini (Itália), *Water on planets*, por James F. Bell III (EUA), *Do low-mass stars really matter?*, por Maria Tereza Ruiz (Chile) e *Evolution of structures in the Universe* por Simon D. M. White (Inglaterra).

No início de 2008 parte do NOC esteve numa reunião com Sergio Rezende, então ministro de Ciência e Tecnologia, da qual participaram também o chefe da Assessoria de Assuntos Internacionais, José Monserrat Filho, e o diretor do Departamento de Popularização e Difusão da Ciência, Ildeu de Castro Moreira, ambos do MCT. Nessa reunião foi solicitado o apoio do ministro ao evento e formalizado o convite para participar da cerimônia de abertura, a ser realizada em 4 de agosto de 2009. Os presentes também discutiram como viabilizar a presença do presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, na cerimônia de abertura, num sinal claro do compromisso do governo federal com o avanço da ciência no Brasil. Apesar do otimismo naquele momento, a presença do presidente acabou não se concretizando o que, entretanto, não significou descaso com o evento que contou em sua abertura com a presença do ministro de Ciência e Tecnologia, do prefeito da cidade e do governador do Rio de Janeiro, além de outras personalidades.

Finalmente, depois de meses de intensos trabalhos, em 1º de novembro de 2008 iniciaram formalmente as inscrições dos participantes. A página do evento, através de *links* distintos, permitia a realização da inscrição na GA2009, submissão de trabalhos, reserva de hotel, solicitação de auxílio para viagem à IAU, pedido de carta convite para solicitação de visto de entrada no Brasil, reserva com direito a desconto, dos livros de anais dos simpósios a serem publicados pela *Cambridge University Press*, além de informações diversas. Tudo isso foi elaborado pela subcomissão *Web*, coordenada por Luiz Paulo Vaz, em contato direto com o secretário-geral da IAU, Karel Van der Hucht, e com a JZ, que ficou a cargo das inscrições e pagamentos. Infelizmente, problemas de pagamento com cartões de crédito atrasaram a cobrança efetiva das taxas de inscrição, causando certo constrangimento ao NOC, pois pairaram dúvidas se o atraso seria devido a uma manobra cambial, já que no período o real estava se valorizando perante o dólar americano e o euro. Na realidade o problema era devido à demora do banco e das bandeiras dos cartões de crédito para entregar as maquinetas que permitem efetuar a cobrança. As inscrições começaram tímidas, totalizando apenas 7 no primeiro mês, mas foram crescendo à medida que se aproximava a data-limite para pagamento com desconto, e mantiveram o ritmo de aumento até o início do evento (Figura 5).

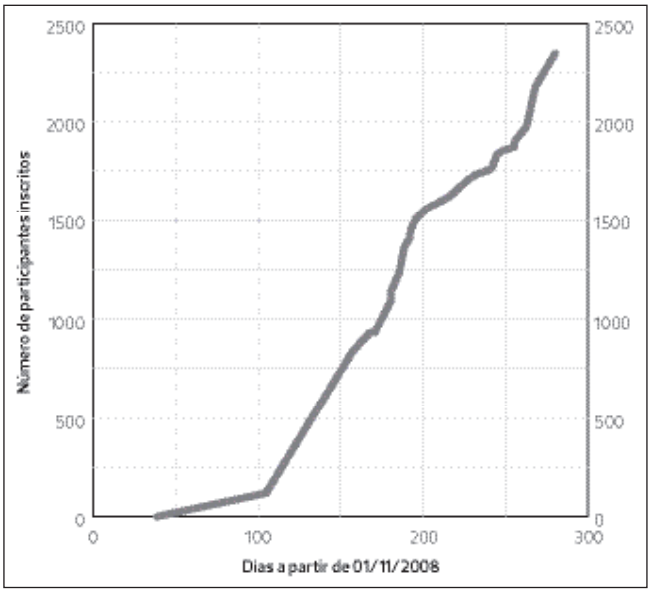


Figura 5. Gráfico mostrando a evolução das inscrições a partir de 1/11/08

Enfim, a GA2009 no Rio de Janeiro

Com a aproximação do evento, uma subcomissão em particular entrou numa fase de grande efervescência: a de eventos sociais. Cabia a esta organizar as cerimônias de abertura e encerramento, além do banquete oficial e outras atividades sociais durante as duas semanas da GA. Já é tradição, por exemplo, que a cerimônia de abertura, além dos costumeiros discursos, apresente alguns aspectos da cultura do país organizador. O NOC, após prolongada discussão, concluiu que o foco da apresentação deveria ser a musicalidade do povo brasileiro, representada essencialmente pelas danças das diversas regiões do país. Como seria e quem faria essa apresentação foi talvez o maior desafio do comitê de eventos sociais, coordenado por Silvia Lorenz-Martins e composto por Ramiro de la Reza, Teresinha Rodrigues (ON), Elisabete G. dal Pino, Adriana Silva-Valio, Gabriel Franco (UFMG) e François Cousinier (OV). Desde sua formação em fins de 2007, essa subcomissão estudou as diversas possibilidades dentro das restrições impostas pelo NOC entre as quais, um local com espaço para cerca de 2.500 espectadores, um tempo máximo de 20 minutos para a apresentação cultural e um custo compatível com o orçamento do evento. Entre os diversos espaços considerados, o que melhor atenderia os requisitos para a realização de uma cerimônia de abertura inesquecível seria o Teatro Municipal, que chegou a ser visitado pelo EC em agosto de 2007. Entretanto, o teatro entraria em obras em fins de 2007 com grandes incertezas quanto à sua disponibilidade em julho de 2009. Finalmente, ficou decidido que a cerimônia de abertura seria realizada no próprio centro de convenções o que, ao mesmo tempo, diminuiria os custos e evitaria o deslocamento dos participantes. Diversas opções foram avaliadas e a escolha recaiu sobre o *show* intitulado *Brazilian Celebration, Yes!* da Companhia Folclórica do Rio da UFRJ (Figura 6). Além de apresentação lindíssima e empolgante em termos de técnica, figurinos e escolha dos ritmos, o que chamou a atenção dos participantes da GA foi o fato de a equipe ser formada por professores e alunos ligados a uma universidade através de projeto de pesquisa sobre o folclore brasileiro.

Figura 6. Imagem do *show* folclórico durante a cerimônia de abertura
(foto oficial IAU/GA2009)

Na cerimônia de abertura estiveram presentes diversos diretores de institutos e universidades do país, além de políticos (Figura 7). Depois da execução do Hino Nacional Brasileiro pelos corais "Atrás da Nota" e "Associação Coral do CPRM[8]" sob a direção do maestro Mario Assef, a presidente da IAU, Catherine Cesarsky, deu as boas-vindas aos participantes e abriu a palavra às autoridades convidadas. A importância do evento para a nação e a ciência brasileiras foi destacada nos discursos do presidente da Academia Brasileira de Ciências (ABC), Jacob Palis, do ministro de Ciência e Tecnologia, Sergio Rezende, também representando o presidente da República, do prefeito da cidade do Rio de Janeiro, Eduardo Paes, e do governador do Estado do Rio de Janeiro, Sergio Cabral.

Figura 7. Autoridades presentes à cerimônia de abertura, durante a execução do Hino Nacional Brasileiro. Da esquerda para direita: Catherine Cesarsky, presidente da IAU, Eduardo Paes, prefeito da cidade do Rio de Janeiro, Sergio Cabral, governador do Estado do Rio de Janeiro, Sergio Resende, ministro de Ciência e Tecnologia, Jacob Palis, presidente da ABC, e Alexandre Cardoso, secretário de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro (foto oficial IAU/GA2009)

[8] CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, empresa governamental da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia.

Outros eventos sociais foram organizados ao longo das duas semanas do evento, com destaque para: o banquete de confraternização "Noites Cariocas", realizado no Morro da Urca; a cerimônia de encerramento com a apresentação *Emblematic songs and rhythms of Brazil*, novamente com os corais regidos pelo maestro Mario Assef, e um recital do Quarteto Carioca de Violões formado por Nicolas de Souza Barros, Marco Lima, Felipe Rodrigues e Miguel De Laquila. Nesse recital foram apresentadas algumas das peças de autores brasileiros, tais como Francisco Mignone, César Guerra-Peixe, Edino Krieger, Roberto Gnattali, Arthur Verocai e Nicanor Teixeira, gravadas num CD produzido especialmente para a GA2009 e distribuído aos participantes no ato da inscrição. Como curiosidade vale mencionar que a produção do CD somente foi possível graças a uma doação individual de uma pessoa a qual, entretanto, exigiu o anonimato.

Além da música e das danças, o Brasil esteve presente na GA também através de sua flora e suas origens. A flora brasileira foi magnificamente apresentada nos arranjos florais distribuídos pelas salas do evento e demais áreas do centro de convenções (Figura 8). Os arranjos foram idealizados por Verônica Huziwara, astrônoma formada pelo OV, com mestrado em **astrofísica** pelo ON. Quando ela soube que a GA seria realizada no Rio, entrou em contato com o NOC oferecendo serviço diferenciado no qual sua proficiência em arranjos florais seria integrada a seus conhecimentos em astronomia. Cada sala teve um arranjo diferente e de acordo com o tema da atividade ali realizada, geralmente reproduzindo com flores e folhagens tropicais uma imagem astronômica.

Figura 8. Arranjo floral representando a famosa imagem "Pilares da Criação" do Telescópio Espacial Hubble (arquivo da autora)

Outro aspecto único da GA2009 foi que as salas do centro de convenções receberam nomes de nações indígenas do Brasil. Desta forma, o auditório principal chamou-se Kayapó enquanto as demais salas tiveram os seguintes nomes: Yanomami, Pareci, Guarani, Kamayurá, Yawalapiti, Pataxó, Juruna, Xerente, Potiguara, Kaxinawá, Karajá, Kuikuro, Kaingang, Yawanawa, Xavante e Terena. A partir de informações obtidas por Teresinha Rodrigues no Museu do Índio, no Rio de Janeiro, uma pequena descrição da nação e sua localização eram apresentadas à entrada de cada sala. Adicionalmente, um vídeo sobre as diversas nações indígenas brasileiras foi exibido em todas as salas durante os intervalos, em justo tributo do NOC aos primeiros habitantes do Brasil (Figura 9).

Figura 9. Imagem do vídeo sobre as nações indígenas brasileiras exibido em todas as salas do centro de convenções durante os intervalos (arquivo da autora)

Quantitativamente a GA2009 teve um total de 2.308 inscritos distribuídos entre 1.646 pesquisadores, 555 estudantes, 71 acompanhantes e 36 expositores. Compareceram participantes de 70 países distintos, conforme apresentado na Tabela 4.

País/Participantes		País/Participantes		País/Participantes	
África do Sul	15	Alemanha	135	Angola	1
Argentina	52	Armênia	3	Austrália	56
Áustria	6	Azerbaijão	2	Bélgica	12
Bolívia	1	**Brasil**	**412**	Bulgária	1
Canadá	45	Chile	103	China (Nanjing)	74
Colômbia	8	Coreia do Sul	13	Coreia do Norte	2
Croácia	2	Dinamarca	6	Egito	2
Equador	1	Eslováquia	2	Espanha	58

Estônia	3	EUA	443	Finlândia	13
França	117	Geórgia	1	Grécia	3
Holanda	68	Honduras	2	Hong Kong	1
Hungria	2	Índia	16	Indonésia	2
Irã	4	Iraque	1	Irlanda	4
Israel	11	Itália	64	Japão	64
Látvia	2	Lituânia	3	México	35
Mongólia	1	Noruega	3	Nova Zelândia	3
Peru	3	Polônia	30	Porto Rico	5
Portugal	12	Quênia	1	Reino Unido	105
República Tcheca	18	Romênia	6	Rússia	36
Sérvia	3	Suécia	12	Suíça	16
Tailândia	2	Taiwan	4	Tajiquistão	1
Tunísia	1	Turquia	5	Ucrânia	6
Uruguai	10	Uzbequistão	1	Vaticano	2
Venezuela	8				

Tabela 4. Número de participantes por país

A delegação brasileira contou com 412 participantes, entre pesquisadores e estudantes, ficando atrás apenas dos EUA, com 443. Esses números demonstram que a GA2009 envolveu toda a comunidade astronômica brasileira e que esta é bastante ativa. A Tabela 4 mostra também que todos os continentes estiveram representados. A participação relativa da América do Sul foi bem significativa, atingindo cerca de 30%, ficando atrás apenas da Europa, como pode ser visto esquematicamente na Figura 10.

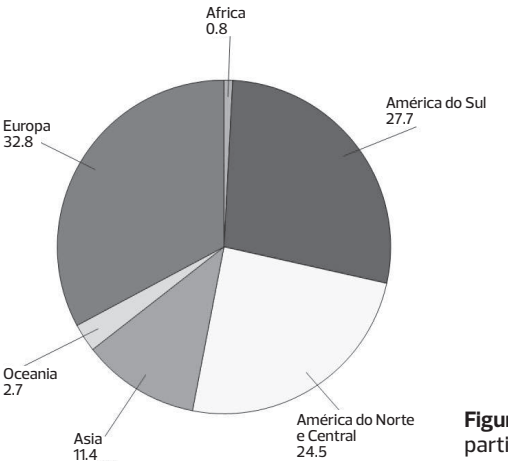


Figura 10. Distribuição por continente dos participantes da GA2009

Um fato que surpreendeu o NOC foi o grande número de participantes que fizeram a inscrição no local. Se, de um lado, isso causou algumas filas nos primeiros dias, por outro teve como efeito positivo um aumento, inicialmente não previsto, na receita. A arrecadação relativa às 169 inscrições feitas no local não foi utilizada na organização do evento, propiciando um saldo que, cerca de 8 meses após o encerramento da GA2009, mais precisamente em abril de 2010, foi entregue à diretoria da SAB. Essa quantia, de R$ 259.890,00, vem sendo desde então utilizada para o pagamento das anuidades do Brasil à IAU.

A programação científica da GA2009 não poderia ter sido mais interessante e proveitosa para a comunidade astronômica brasileira. Foram tantas oportunidades de palestras brilhantes, abrangendo tópicos na fronteira do conhecimento e com discussões inspiradoras, que seria necessário um livro inteiro para falar de todas. Mas uma em particular merece aqui ser mencionada, pois para o NOC talvez tenha sido um dos momentos mais memoráveis: a palestra de Franco Pacini. Poucos souberam que naquele momento os primeiros sinais da doença da qual viria a falecer três anos mais tarde, em janeiro de 2012, já estavam começando a se manifestar e, entre estes, uma ocasional perda da memória. Na véspera de sua apresentação ele chegou a pedir para que esta fosse cancelada, pois sentia-se muito inseguro. Com a ajuda de Giancarlo Setti que presidiu a sessão e, na época, era um dos vice-presidentes da IAU, foi possível convencer Pacini a vir, com a garantia de que teria um ambiente mais informal e adequado para a situação. No palco foram instaladas duas poltronas e a sessão começou com Pacini tranquilamente acomodado numa delas, enquanto Setti fazia breve apresentação do palestrante. Terminada a apresentação Setti se acomodou na outra poltrona e Pacini ministrou magnífica palestra sobre o legado de Galileu Galilei (Figura 11). Palestra esta que, aliás, ele repetiria alguns dias mais tarde no Planetário da Cidade do Rio de Janeiro para o público em geral, com tradução simultânea promovida pelo Consulado Italiano do Rio de Janeiro. Talvez essas tenham sido as últimas apresentações públicas de Pacini e o NOC tem muito orgulho de ter conseguido criar as condições necessárias para que isso pudesse ocorrer.

Figura 11. Franco Pacini proferindo a palestra (esquerda) e Giancarlo Setti (direita). (arquivo da autora)

O carinho dispensado a Franco Pacini muito provavelmente refletiu também o trauma sofrido pelo NOC, a menos de um mês do início da GA2009, com o falecimento de seu membro mais engajado e querido, Francisco Xavier de Araújo (Figura 12). Embora com a saúde debilitada devido a uma antiga doença, Chico, como era conhecido por todos, esteve envolvido com a realização da GA no Rio desde a preparação do dossiê de candidatura até praticamente as vésperas de seu falecimento, ocorrido em 10 de julho. Continuar na organização e na realização do evento foi, sem sombra de dúvida, o maior desafio do NOC. Coube a mim prestar-lhe homenagem em nome do NOC na cerimônia de encerramento. Ninguém soube que, enquanto subia ao palco para as poucas palavras preparadas às duras penas, outro membro do NOC, Kepler de Oliveira, tinha às mãos o mesmo discurso, pronto para me substituir caso a emoção me impedisse a fala. Apesar de ter conseguido ler o pequeno discurso que terminava com *Chico, we miss you so much!*, cabe aqui o desabafo de que foi esta certamente a tarefa mais difícil entre as muitas que enfrentei durante os mais de seis anos da preparação e organização da GA2009 no Rio.

Figura 12. Francisco Xavier de Araujo (esquerda) ao lado do secretário-geral da IAU, Karel van der Hucht, durante visita ao Morro da Urca em 2008 (arquivo da autora)

Por fim, cabe mencionar que a China, que organizaria a GA seguinte em 2012, esteve presente com um *stand* e que durante a cerimônia de encerramento foi anunciado Honolulu (EUA) como sede da GA em 2015.

O legado para a comunidade astronômica brasileira

A GA2009 da IAU, o maior evento da astronomia e **astrofísica** mundial, foi realizada com muito sucesso pela primeira vez no Brasil e, apenas pela segunda vez num país da América do Sul nos 90 anos de existência da IAU[9]. O evento teve maior repercussão por se realizar durante o propalado AIA. A participa-

[9] A primeira GA da IAU na América do Sul foi realizada em 1991 em Buenos Aires, Argentina.

ção nacional e internacional concretizou-se dentro das mais otimistas expectativas dos organizadores, o que garantiu o alto nível dos trabalhos apresentados.

Talvez o principal legado científico sejam as publicações resultantes do evento, em particular os *Proceedings* dos simpósios (Andrei *et al.*, 2009; Bruzual and Charlot, 2009; Cunha *et al.*, 2009; de Grijs and Lépine, 2009; Fernández *et al.*, 2009; Peterson *et al.*, 2009). Estes livros, por serem essencialmente coletâneas dos artigos referentes às palestras ministradas pelos pesquisadores convidados, se tornaram referência nos diversos tópicos abordados pelos simpósios. Outras duas importantes publicações, resultantes da GA2009, foram os *Highlights in Astronomy* (Corbett, 2009a) e as *Transactions* (Corbett, 2009b). A primeira apresenta os principais destaques científicos da GA, entre os quais as conferências convidadas e o panorama geral das discussões conjuntas e das sessões especiais. A segunda reproduz os discursos proferidos na cerimônia de abertura e na de encerramento, assim como detalha as discussões e decisões nas duas assembleias gerais e os relatórios trienais apresentados por todas as divisões, comissões e grupos de trabalho durante a GA.

O NOC, assim como todos os envolvidos na organização, sente-se particularmente orgulhoso pela oportunidade propiciada aos estudantes e jovens pesquisadores brasileiros de participar de evento desse porte e poder interagir com pesquisadores dos mais renomados no mundo, assim como com colegas dos mais diversos países. Nesse sentido, vale aqui mencionar o programa "Voluntários da IAU2009". Esse programa consistiu na seleção, a partir de chamada na comunidade, de 50 estudantes de graduação e início do mestrado, para apoio à organização. A organização bancou a taxa de inscrição desses voluntários, enquanto a SAB pagou ajuda de custo para os estudantes de fora do Rio de Janeiro. Os voluntários, separados em equipes, foram alocados ou para apoio nas salas dos eventos, podendo dessa forma aproveitar as apresentações e discussões científicas, ou nas sessões de painéis, permitindo a interação direta com os pesquisadores do mundo todo. A experiência foi altamente proveitosa, recebendo muitos elogios tanto dos próprios voluntários, que se sentiram parte de um evento histórico para a astronomia brasileira, quanto dos pesquisadores brasileiros e estrangeiros, que reconheceram o alcance da iniciativa para a efetiva formação de nossos estudantes.

O maior legado da realização da GA2009 no Rio de Janeiro é o reconhecimento do novo patamar alcançado pela comunidade astronômica brasileira no contexto internacional. Foi a oportunidade de apresentar a pesquisa aqui produzida e representada em todas as áreas da astronomia, assim como a de demonstrar a capacidade de organização da comunidade na realização de um evento científico de porte. A GA2009 no Rio de Janeiro não foi o evento do

NOC, deste ou daquele pesquisador, mas foi o evento de toda a comunidade astronômica e essa união foi a clara demonstração de que podemos mais quando estamos unidos num mesmo ideal.

Não cabe aqui citar todos os envolvidos direta e indiretamente na organização da GA2009. Os nomes dos que participaram formalmente das comissões podem ser encontrados no *Program Book* do evento (NOC, 2009), mas a grande maioria, a que participou diretamente com seu trabalho ou indiretamente com seu apoio e estímulo, ficará para sempre no anonimato ou na memória dos que, como eu, viveram o sonho de trazer o maior evento de astronomia do mundo para o Brasil.

Referências

Andrei, Alexandre; Kosovichev, Alexander and Rozelot, Jean-Pierre, Orgs. (2009), Solar and Stellar Variability: Impact on Earth and Planets, *Proceedings of the International Astronomical Union*, Volume 5, Issue S264, Cambridge: Cambridge University Press.

Blaauw, Adriaan (1994), *History of the IAU. Birth and First Half-Century of the International Astronomical Union*, Dordrecht (Netherlands): Kluwer Academic Publishers.

Bruzual, Gustavo and Charlot, Stephane, Orgs. (2009), Stellar Populations — Planning for the Next Decade, *Proceedings of the International Astronomical Union*, Volume 5, Issue S262, Cambrigde: Cambridge University Press.

Corbett, Ian F., Ed. (2009a), *XXVIIth General Assembly — Highlights of Astronomy Vol. 15* As presented at the XXVIIth General Assembly of the IAU, Cambridge: Cambridge University Press.

Corbett, Ian F., Ed. (2009b), *IAU Transactions XXVIIB Proceedings of the Twenty Seventh General Assembly Rio de Janeiro 2009*, Cambridge: Cambridge University Press.

Cunha, Katia; Spite, Monique and Barbuy, Beatriz, Orgs. (2009), Chemical Abundances in the Universe: Connecting First Stars to Planets, *Proceedings of the International Astronomical Union*, Volume 5, Issue S265, Cambridge: Cambridge University Press.

de Grijs, Richard and Lépine, Jacques R. D., Orgs. (2009), Star clusters: basic galactic building blocks throughout time and space, *Proceedings of the International Astronomical Union*, Volume 5, Issue S267, Cambridge: Cambridge University Press.

Fernández, Julio A.; Lazzaro, Daniela; Prialnik, Dina and Schulz, Rita, Orgs. (2009), Icy Bodies in the Solar System, *Proceedings of the International Astronomical Union*, Volume 5, Issue S263, Cambrigde: Cambridge University Press.

NOC (2009), *XXVII General Assembly, 3-14 August 2009, Rio de Janeiro, Brazil, Program Book*, disponível em http://www.fisica.ufmg.br/~iau2009/GA-Program-Book-final-16-july.pdf, acesso em 4/2/14.

Oliveira, Raquel dos Santos (2009), "A participação do Observatório Nacional na União Astronômica Internacional: instrumentos da diplomacia (1919-1938)", *XXV Simpósio Nacional de História, ANPUH*, Fortaleza, http://anpuh.org/anais/wp-content/uploads/mp/pdf/ANPUH.S25.1233.pdf, acesso em 5/2/14.

Peterson, Bradley; Somerville, Rachel and Storchi-Bergmann, Thaisa, Orgs. (2009), Co-evolution of Central Black Holes and Galaxies, *Proceedings of the International Astronomical Union*, Volume 5, Issue S267, Cambridge: Cambridge University Press.

SAB (2002), "Ata da 29ª Assembleia Geral Ordinária da Sociedade Astronômica Brasileira", *Boletim da SAB,* 21, 3, 3-7.

SAB (2003), "Ata da 30ª Assembleia Geral Ordinária da Sociedade Astronômica Brasileira", *Boletim da SAB,* 22, 3, 3-6.

Capítulo 12

MUSEU E UNIDADE DE PESQUISA

MAST, um projeto precursor

Ana Maria Ribeiro de Andrade (MAST/MCTI)

Sibele Cazelli (MAST/MCTI)

O trabalho analisa o processo de criação do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST) na década de 1980, destacando o contexto político e os fatores locais que propiciaram o êxito de uma proposta inovadora. Para isso, remonta ao debate protagonizado por renomados cientistas do Rio de Janeiro e de São Paulo onde, hoje, é seu prédio sede. O MAST iniciou suas atividades em 1985, sob orientação de um plano diretor e vinculado ao principal órgão de gestão e fomento da ciência do país, o CNPq. Detentor de importantes acervos arquivístico, museológico e arquitetônico, o MAST consolidou as características de um museu de ciência e tecnologia no sentido amplo do termo: instituição de pesquisa e ensino que, além da história da ciência e da educação em ciências, privilegia a divulgação da ciência e as atividades inerentes à preservação do patrimônio nacional da ciência e tecnologia.

Introdução

Passada a euforia que caracterizou as primeiras décadas posteriores ao término da II Guerra Mundial — período marcado pela confiança irrestrita na ciência e no que ela tinha para oferecer para o bem-estar, progresso e desenvolvimento das sociedades —, transformações na forma de produção e organização da atividade científica se acentuaram desde os anos de 1970, bem como refletiram na sua percepção. Desde então, alterou-se de forma decisiva o regime de produção da ciência, consequentemente também o sistema de inserção da ciência na sociedade, começando a esgarçar o equilíbrio entre ciência e bem público, assim como a concepção de ciência como um bem industrial (Pestre, 2007: 56). Diferentes interesses, objetivos e valores divergentes começaram a comandar as enumeráveis possibilidades de vínculo entre universidades, laboratórios, governos, indústrias, militares e Estados, acirrando-se os conflitos entre a ciência pública e a ciência privada, as normas, a legislação, as formas de controle e de fiscalização. Os negócios no mundo da ciência começaram a crescer com rapidez imprevista, rendendo incalculáveis dividendos financeiros às empresas fabricantes de produtos com alto valor agregado de tecnologia. As transações mais identificadas pelo público são referentes ao comércio de patentes farmacêuticas e sementes de produtos alimentares, mas há inúmeras práticas veladas entre ciência e guerra, *e.g.,* que envolvem a pesquisa básica e aplicada em diversas áreas do conhecimento.

Há algumas décadas o *ethos* da ciência não é mais o mesmo, como também a percepção pública da ciência. Em diversos segmentos das sociedades desenvolvidas da Europa e América do Norte já se encontra consolidada a crítica sobre o papel da ciência ao longo da história. Ao romper a confiança na ciência, o cientista igualmente perdeu seu *status* privilegiado nos fóruns híbridos, ficando evidente que suas atividades jamais estiveram imunes às injunções políticas, disputas entre os Estados e, em particular, ao jogo de interesses do capital industrial investido no mercado de tecnologia. No mundo desenvolvido – ou seja, nos países que são centros produtores de ciência — a mercantilização do conhecimento científico resultou no rompimento de barreiras éticas, políticas e ideológicas, submetendo a ciência às pressões do mercado.

No outro extremo — isto é, nos países consumidores da ciência produzida nos grandes centros —, a realidade das sociedades menos desenvolvidas social e economicamente era (e continua sendo) muito diferente: crescente dependência dos produtos da ciência originários de outros países e negociados a preço do mercado internacional; baixo nível de compreensão do processo de produção da ciência pela imensa maioria dos cidadãos; e imperiosa

necessidade de melhorar o ensino de ciências ou de estender a alfabetização científica[1] para a maioria da população.

Apesar de a "crise da ciência" em outros continentes, começaram a ganhar força no Brasil as iniciativas voltadas para a criação de museus dinâmicos e centros de ciência, onde deveriam sobressair os experimentos e laboratórios de ciências, as exibições interativas, as exposições e atividades participativas. A mobilização se deu em decorrência desse triste cenário e visava superar o "analfabetismo científico", como encurtar a distância entre o país e os centros produtores de ciência. As propostas apresentadas eram novidade, mas se espelhavam nas concepções pedagógicas em vigor em instituições museais dos Estados Unidos, França e Alemanha, em particular, pautadas pela proposta de aprender-fazendo ou do *hands-on*. Afora as controvérsias e críticas à importação do modelo dos *science centers*, uma preocupação fundamental marcou o debate em torno da divulgação e ensino de ciências no Brasil na década de 1980: na esteira do processo de revitalização da política que o país atravessava depois de anos de silêncio imposto pela ditadura militar[2], era preciso democratizar a ciência e o acesso do cidadão ao conhecimento científico (Andrade, 2010: 3-7).

Com a volta da liberdade política, que deu lugar à ampliação e fortalecimento do debate nas universidades, instituições científicas, escolas e noutros fóruns, transpareceu a necessidade de novas diretrizes para a educação em ciências e de estimular mais intensamente a produção de conhecimento científico no país. Assim, começaram a ser promovidas simultaneamente iniciativas não isoladas de reflexão e divulgação da ciência, embora as motivações e os processos de criação de museus interativos de ciência e tecnologia tenham sido singulares. Em Salvador, o Museu de Ciência & Tecnologia, vinculado à reitoria da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), abriu o caminho ao ser inaugurado em 1979. No Rio de Janeiro, em 1982, grupo de cientistas e professores empenhados em aproximar a ciência do cotidiano do cidadão criou o Espaço Ciência Viva; e, em 1985, o CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) viabilizou a criação do MAST (Museu de Astronomia e Ciências Afins), o objeto deste trabalho. A iniciativa do CNPq teve desdobramentos na cidade de São Paulo com a

---

[1] N. Ed.: sobre alfabetização científica, ver nota 2 do capítulo "Divulgação e educação não formal na astronomia", neste volume.

[2] Discorda-se da premissa de que a ciência e a tecnologia foram contempladas durante a ditadura, com base no fato de que inúmeros cientistas reconhecidos, ao serem cassados ou forçados a deixar o país, interromperam o processo natural de reprodução do conhecimento e de formação de novos quadros.

inauguração, em 1987, da Estação Ciência. Esse processo só foi possível porque a redemocratização se tornou um valor constante na sociedade brasileira, uma palavra de ordem, cujo significado podia ser empregado inclusive no sentido de inclusão científica.

As reflexões críticas que aprofundaram os debates nos meios científicos e intelectuais sobre as novas bases da produção da ciência e do lugar do cientista na sociedade, em especial na França e Reino Unido, não se reproduziram nessas instituições brasileiras, mas orientaram as diretrizes de ação e moldaram a proposta do MAST e de outros grupos. Afinal, na Universidade de São Paulo (USP) o Núcleo de História Social da Ciência se consolidava e esse novo campo do conhecimento, cujos preceitos influenciavam grupos de estudo e pesquisa no Rio de Janeiro, contribuiu para estreitar as fronteiras entre a sociologia da ciência, a política científica, a filosofia da ciência e a educação em ciências. A historiografia brasileira sobre ciência no período limitava-se à obra clássica de Fernando de Azevedo, aos ensaios de intelectuais "desenvolvimentistas nacionalistas" sobre educação e desenvolvimento econômico-social, às raras histórias de instituições científicas e laudatórias biografias de médicos e engenheiros, e ao então recente trabalho de Simon Schwartzman sobre a comunidade científica local. Em paralelo, Gerald Holton, Karl Popper, Gaston Bachelard, Robert Merton, J. Ben-David, Thomas Kuhn, J. Piaget e as obras completas de J. D. Bernal, por exemplo, foram as primeiras obras que contribuíram para a formação dos pesquisadores e debate sobre as diretrizes do MAST.

As linhas de ação do MAST estabelecidas desde o debate em 1982 – divulgar a ciência; preservar o patrimônio da cultura científica; e fazer a história da ciência – são registradas neste trabalho, que analisa a sua criação no âmbito do contexto político e dos fatores locais que propiciaram esse êxito. Ressalta-se o empenho do presidente do CNPq e as estratégias de seus fundadores para consolidar a Instituição. Poucas instituições nasceram de posse de tão importantes acervos arquivístico, museológico e arquitetônico, e nenhuma tivera ainda o apoio para investir na pesquisa em história da ciência. Passadas quase três décadas, não resta dúvida de que a criação do MAST ocorreu em um momento singular da história dos museus e centros de ciência, bem como da própria história da ciência, e que sua proposta precursora estimulou a fundação de outros museus de ciência no Brasil com propostas muito semelhantes.

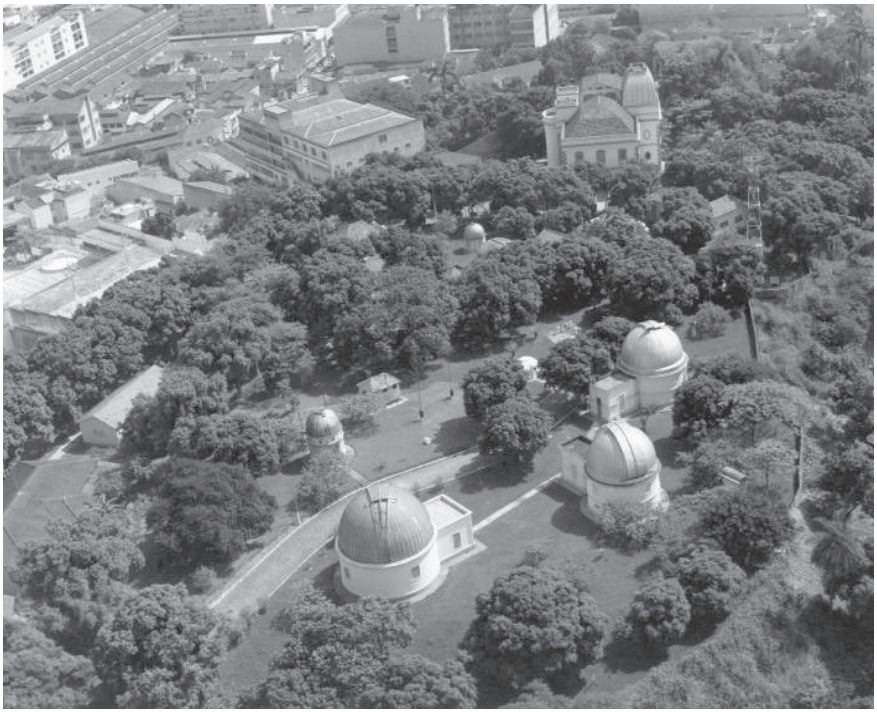


Figura 1. Acervo arquitetônico do MAST: cúpulas de observação do céu e prédio sede (1986). Arquivo MAST

Origem do MAST

A história do MAST remonta ao Grupo Memória da Astronomia, cujos objetivos eram organizar os acervos históricos do Observatório Nacional (ON), tanto o acervo arquivístico como a preciosa coleção de instrumentos científicos, além de promover atividades voltadas para a divulgação da astronomia para o público em geral. Assim, em 1982, o conjunto de cúpulas de observação do céu construídas no *campus* do ON, localizado no bairro de São Cristóvão, foi aberto à visitação pública. Foi um sucesso de público que, pela primeira vez, observou o céu da cidade do Rio de Janeiro através de antigas lunetas e conheceu edificações típicas da arquitetura e da engenharia para a astronomia dos primórdios do século 20.

A finalidade do evento era sensibilizar o cidadão comum para a importância da ciência e para a necessidade da preservação do patrimônio da cultura científica. A astronomia, diante do fascínio dos objetos celestes, era perfeita para esse fim

e a ocasião era propícia para mobilizar aliados na comunidade científica e entre os gestores de ciência, dado que outras iniciativas tinham curso na esfera do governo federal e aglutinavam amplos setores dos meios acadêmico e cultural. No plano do então Ministério da Educação e Cultura (MEC), a Fundação Pró-Memória estava em pleno processo de consolidação com a missão de contribuir para o inventário, a classificação, a conservação, a proteção, a restauração e a revitalização dos bens de valor cultural do país. No âmbito da Secretaria de Planejamento da Presidência da República, o próprio CNPq, ao qual pertencia o Observatório Nacional, estava liberando recursos para a continuidade do Programa de Apoio a Museus e Coleções Científicas. E, no *campus* de São Cristóvão, previa-se a desocupação do prédio sede da administração do Observatório Nacional, visto que as atividades seriam transferidas para outra edificação. Logo, eram grandes as possibilidades do imponente prédio do ON, inaugurado em 1922 e fiel às características da arquitetura eclética, transformar-se em museu de ciência.

Figura 2. Interior do prédio sede. Durval Reis/Arquivo MAST

Naquele mesmo ano, o Grupo Memória da Astronomia — liderado pelo astrônomo e divulgador da ciência Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, e do qual faziam parte os historiadores da ciência José Carlos de Oliveira e João Carlos Victor Garcia —, organizou uma mesa-redonda[3] para discutir o perfil de um novo museu de ciência. Estiveram presentes reconhecidos cientistas, como os físicos Mário Schenberg (USP) e José Leite Lopes (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, CBPF); o biofísico Carlos Chagas Filho (Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ); o matemático do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA) e presidente da Academia Brasileira de Ciências (ABC), Maurício Mattos Peixoto; o geneticista da USP e presidente da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) Crodowaldo Pavan; e o químico Simão Mathias (USP). Este último estava acompanhado do historiador da ciência Shozo Motoyama, ambos do Núcleo de História da Ciência da USP, bem como tomaram parte do debate a museóloga Fernanda Moro (Fundação Anita Mantuano de Artes do Estado do Rio de Janeiro, FUNARJ), o astrofísico Lício da Silva e o antropólogo George Leite Zarur, respectivamente diretor do Observatório Nacional e representante do CNPq[4]. Shozo Motoyama foi o coordenador da mesa-redonda e aliado de primeira hora da implícita proposta de criação de um museu naquele local.

As discussões evidenciaram a preocupação dos cientistas não apenas com a divulgação da ciência, mas igualmente com a preservação do legado histórico da produção científica e tecnológica do país (Cazelli, 1992: 68-73). Com essa dupla preocupação, defendiam a criação de uma instituição dinâmica e interdisciplinar, onde o público pudesse ser estimulado intelectualmente. Isto é, um espaço voltado para a promoção de atividades relacionadas à cultura científica, tais como: exposições, debates, biblioteca especializada, arquivos de ciência e tecnologia, edição de livros e periódicos. O encontro resultou no envio de documento ao presidente do CNPq, Lynaldo Cavalcanti de Albuquerque, sugerindo: a adoção de política abrangente de recuperação e preservação do acervo histórico da cultura científica nacional; o apoio ao Grupo Memória da Astronomia para ampliar seus trabalhos e criar um museu de ciência no prédio principal do Observatório Nacional; o tombamento do patrimônio histórico da cultura científica, incluindo conjuntos arquitetônicos, bibliotecas e instrumentos científicos; e o apoio a cursos, pesquisas e centro de documentação na área de história da ciência[5].

---

[3] Mesa-redonda sobre a criação de um museu de ciência [transcrição]. Rio de Janeiro, 17 maio de 1982. MAA 333 (Arquivo MAST).

[4] O CNPq é o principal órgão financiador da pesquisa no Brasil desde a década de 1950.

[5] Carta endereçada ao presidente do CNPq, Lynaldo Cavalcante de Albuquerque, assinada por

Atividades precursoras

Os desdobramentos foram rápidos. O presidente do CNPq transformou o Grupo Memória da Astronomia em "Projeto Memória da Astronomia no Brasil e Ciências Afins", responsável pela concepção e montagem da exposição *Passagem de Vênus no disco do Sol* inaugurada em 8 de dezembro de 1982. A mostra ocupou o salão nobre de reuniões e outras duas salas do antigo prédio sede da administração do Observatório Nacional. Chamou atenção pelo projeto expográfico que elegeu uma concepção moderna de divulgação da ciência. Com a ajuda de mediadores[6], o público aprendia inclusive a medir a **paralaxe** solar e tinha a oportunidade de examinar de perto instrumentos científicos, conferir documentos históricos originais, assim como de se deleitar com charges, caricaturas e notícias publicadas em jornais de 1882[7]. Ao lado de instrumentos utilizados na expedição chefiada pelo astrônomo Luis Cruls a Punta Arenas (Patagônia), havia ainda cartas marítimas e amostras da vegetação do inóspito local, emprestadas pelo Herbário do Museu Nacional. Em outro ambiente, painéis alusivos às três expedições brasileiras para observar a Passagem de Vênus remetiam às querelas entre os partidários e opositores do imperador Pedro II, durante a tramitação do pedido de verba para financiar a pesquisa científica. As imagens reproduzidas deixavam evidente que o imperador e os astrônomos do Imperial Observatório do Rio de Janeiro (IORJ, antiga denominação do Observatório Nacional) eram alvo de impiedosas críticas da imprensa carioca, que questionava as despesas com as expedições, a utilidade da astronomia[8] para a sociedade e o próprio interesse do monarca pela ciência.

Em doze dias úteis, a exposição foi visitada por mais de mil e duzentas pessoas. O visitante ficava particularmente surpreso diante da réplica do pavilhão central do observatório brasileiro montado na ilha de Saint Thomas, para onde se dirigiu o barão de Teffé. Reconstituído com base em fotografias e no minucioso relatório da expedição publicado nos *Annaes do Observatório* de 1887 (Teffé *et al.*, 1887), dentro havia um **círculo meridiano** fabricado por Brunner, um barômetro Fortin e outro de Bôhne, um psicrômetro de August e uma **pêndula** sideral de Moulleron fixada em uma das paredes laterais de madeira (Andrade, 2007: 8-11). Os instrumentos pertenciam ao acervo his

---

alguns dos participantes da mesa-redonda realizada em 17 de agosto de 1982, no Observatório Nacional (Arquivo MAST).

6 Uma das autoras, Sibele Cazelli, e Maria Esther Alvarez Valente participaram da equipe de mediadores, quando se integraram à equipe precursora do MAST.

7 No Arquivo do MAST há registros da exposição: fotografias e reprodução de charges exibidas nos painéis da mostra.

8 N. Ed.: ver o capítulo "Positivismo e utilidade da astronomia" no Volume I.

tórico do Observatório Nacional e fizeram parte das expedições para observar a passagem de Vênus sobre o disco do Sol. Tendo como fio condutor a história social da ciência, à qual se pôde integrar a história dos instrumentos de astronomia, meteorologia e tantos outros de valor histórico, a exposição tinha características inovadoras, foi muito divulgada na imprensa e despertou a atenção para a necessidade de o governo implementar ações visando à preservação dos acervos de ciência e de tecnologia. A riqueza do tema e as possibilidades de análise estimularam pesquisas originais na área de história da ciência desenvolvidas por pesquisadoras da instituição na década de 1990 (Crespo, 1991: 9-13; Barboza, 1994; Barboza, 1995: 5-23) e, posteriormente, de divulgação da astronomia (Mourão, 2005).

Em novembro de 1984, após a solicitação firmada por notáveis arquitetos, intelectuais e pessoas ligadas às áreas artísticas, científicas e culturais — entre as quais: Oscar Niemeyer, Sergio Bernardes, Carlos Drummond de Andrade, Roberto Marinho, José Reis, Jayme Tiomno, Jacques Danon, Nelson Werneck Sodré, Luiz Pinguelli Rosa, Antonio Houaiss, Franklin de Oliveira e todos aqueles que haviam participado anteriormente da mesa-redonda de 1982 —, a Subsecretaria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional tombou o antigo prédio sede do Observatório Nacional, o conjunto de nove pavilhões ou cúpulas de observação astronômica e outras cinco edificações de caráter histórico existentes no *campus* de São Cristóvão, bem como todo o acervo museológico no qual se destaca a coleção de instrumentos científicos pertencentes ao ON.

No mesmo ano, o "Projeto Memória da Astronomia no Brasil e Ciências Afins" ganhou o *status* de coordenação, diretamente subordinada à presidência do CNPq, e o nome de Núcleo de Pesquisa em História da Ciência (NHC)[9]. Os objetivos do grupo eram claros: realizar pesquisas no âmbito da história da ciência; criar um museu de ciência em colaboração com o Observatório Nacional e demais institutos de pesquisa do CNPq; e fomentar o intercâmbio com instituições brasileiras e estrangeiras[10]. Conforme o organograma inicial, as áreas fins do NHC eram o Setor de Documentação, o Setor de Pesquisa em História da Ciência, e o Museu de Astronomia e Ciências Afins. Esta estrutura albergava, respectivamente, as atividades referentes à preservação de acervos documentais para a história da ciência; pesquisa em história da ciência no Brasil; e todas as tarefas relativas à divulgação da ciência e acervos, museológico e arquitetônico[11].

---

[9] CNPq, Resolução Executiva 142/84. Institui o Núcleo de Pesquisa em História da Ciência. Brasília, Arquivo MAST.

[10] CNPq, Resolução Executiva 142/84. Brasília, Arquivo MAST.

[11] CNPq, Resolução Normativa 007/86. Estabelece a estrutura organizacional para o Museu

Estudantes do ensino fundamental e médio procedentes de escolas particulares e públicas, famílias e grupos de amigos prosseguiram visitando as edificações do *campus*, como as cúpulas de observação do céu, a exposição *Passagem de Vênus no disco do Sol* e uma nova exposição: *Panorama da Astronomia Moderna*, realizada com a colaboração do *Palais de la Découverte* (Paris). Em parceria com o Espaço Ciência Viva, realizavam-se as atividades de divulgação da ciência denominadas *Noite do Céu* e *Astronomia na Praça*. Na mesma época, começou a ser desenvolvido o projeto arquitetônico e pedagógico conhecido como *Parque da Ciência* (Schvarsberg *et al.*, 1987), cujos protótipos de brinquedos foram construídos paulatinamente no *campus*. Serviam de apoio às atividades de ensino de ciências, visando proporcionar às crianças oportunidade de experimentação de diversos fenômenos científicos. Inspirado em experiência desenvolvida na Índia, a iniciativa foi replicada em outras cidades por iniciativa de alguns prefeitos (Vitória, ES; Caxambu, MG; etc).

O *Parque da Ciência* foi premiado em 1986, na categoria Desenho Industrial para fins educativos, pelo Instituto de Arquitetos do Brasil. Ao lado desse reconhecimento institucional, o *Parque da Ciência* teve grande impacto nos meios de comunicação social pelo seu caráter inovador na área de educação em ciências em espaço não formal, contribuindo para a afluência de muitas visitas escolares, com turmas de estudantes de idades e interesses distintos. Esse resultado motivou o início de projetos de pesquisa em Educação em Ciências com o objetivo de avaliar as práticas pedagógicas e traçar um perfil do público de museu de ciência.

O Arquivo Lélio Gama, astrônomo que dirigiu o Observatório Nacional de 1951 a 1967 e o IMPA, entre 1952 e 1967, foi o primeiro arquivo particular entregue ao Núcleo de História da Ciência. Este também se tornou depositário dos documentos pertencentes ao Arquivo Administrativo do Observatório Nacional e do Arquivo do CNPq referente ao período 1951-1975, que se encontrava guardado em um galpão do *campus* desde a transferência do órgão para Brasília. Compreendia processos de bolsas e auxílio à pesquisa; os livros de atas e anais do Conselho Deliberativo, instância máxima de decisão do órgão; fotografias e relatórios. Na tentativa frustrada de transferir esse acervo documental para a capital federal antes da criação do Núcleo de História da Ciência, o Arquivo do CNPq sofreu graves perdas em decorrência do modismo de microfilmar e descartar os originais sem o controle de qualidade. Também a ausência de avaliação prévia e sistemática por historiadores da ciência resultou em dano irreparável: o descarte dos processos indeferidos, fotografias e outros documentos!

---

de Astronomia e Ciências Afins. Brasília, Arquivo MAST.

Criação do MAST

A meta do grupo de historiadores reunidos no Observatório Nacional — na gênese limitada a preservar os acervos institucionais de valor histórico e divulgar a astronomia —, transformou-se no projeto de criação de um museu de ciência. A literatura disponível e as ideias apresentadas na mesa-redonda de 1982 contribuíram para a formulação da proposta de um museu nos moldes do que já estava estabelecido internacionalmente: uma instituição capaz de estimular intelectualmente a participação de seu público. Em 1983, o grupo então denominado Projeto Memória da Astronomia no Brasil e Ciências Afins (PMAC) tinha finalizado a proposta de criação de um museu de ciência para ser submetida ao CNPq (PMAC, 1983). Para reforçar a proposta, o grupo elencou o conjunto de fatores favoráveis ao empreendimento, tais como: a disponibilidade de pessoal; o local; os acervos documental, museológico e arquitetônico, nos quais se incluíam as cúpulas e respectivos telescópios, ambos defasados para o desenvolvimento de pesquisas científicas em astronomia (Cazelli, 1992: 74-76).

Figura 3. Detalhe da fachada do prédio sede do MAST, construído em 1922 para o ON. Arquivo MAST

As finalidades mencionadas no documento deixam claro que a proposta idealizada objetivava a criação de um museu pulsante e distante das concepções tradicionais, cuja tarefa principal limitava-se a dispor os instrumentos científi-

cos em fileiras por onde passam os visitantes. Ao contrário, o grupo de historiadores do Observatório Nacional vislumbrava um museu de segunda geração; ou seja, um museu dinâmico para apresentar instrumentos científicos de seu acervo em funcionamento, aparatos interativos e visão interdisciplinar para:

> preservar e divulgar o acervo de instrumentos, documentos e iconografias pertencentes à história da cultura científica brasileira. Incluem-se neste objetivo o recolhimento e tratamento de arquivos pessoais de cientistas e administradores da política científica governamental e o registro de seus depoimentos orais. Serão mantidos, igualmente, arquivos relativos a eventos contemporâneos;
>
> promover e desenvolver pesquisas e atividades culturais voltadas para a produção de conhecimentos na área de história da ciência, assim como os estudos museológicos pedagógicos capazes de apoiar a recuperação e divulgação das coleções do acervo; e
>
> difundir e popularizar a ciência com o propósito de despertar vocações para a atividade de pesquisa, estimular o pensamento crítico e favorecer a compreensão do papel destacado da ciência e tecnologia na vida social. São objetivos básicos desta ação pedagógica: apresentar, através de recursos simples, as leis da natureza; expor a evolução das ideias e conceitos sobre a estrutura física da natureza; mostrar o desenvolvimento dos métodos e recursos da investigação científica; mostrar as conexões entre as leis da natureza e os princípios tecnológicos, isto é, entre as ciências e suas aplicações práticas; e, finalmente, mostrar as inúmeras formas pelas quais a ciência e a tecnologia intervêm na vida cotidiana (PMAC, 1983).

A preocupação com a preservação do patrimônio da ciência e da tecnologia contagiou positivamente a presidência do CNPq, na gestão de Lynaldo Cavalcante. A discussão em torno da criação de um museu de ciência na antiga sede do ON ultrapassou as fronteiras, quando o CNPq instituiu comissão de estudos para um projeto de preservação do patrimônio da ciência e da tecnologia constituída por representantes do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), Coordenação de Ciências Exatas e da Terra/Superintendência de Desenvolvimento Científico (CET/SDC) do CNPq, e contando com a colaboração do diretor do Observatório Nacional[12].

---

[12] CNPq, "Designação Especial 576/83"; institui a comissão de estudos para o projeto de preservação da memória científica brasileira". Arquivo MAST.

O relatório final da comissão, ou as "Recomendações", propunha a criação do NHC subordinado à presidência do CNPq, em substituição ao PMAC e independente do Observatório Nacional. A CET/SDC foi mais longe ao se dirigir à direção do ON e pedir celeridade na desocupação do prédio sede.

Entre as finalidades do NHC, destacavam-se:

> Realizar pesquisas científicas no domínio da história da ciência, com particular ênfase na memória científica brasileira e tomar iniciativas visando à criação de um museu de astronomia e ciências afins, em colaboração com o Observatório Nacional e demais institutos do CNPq (CNPq, 1984).

Finalmente, em 8 de março de 1985, foi criado o MAST, cujo evento reuniu alguns dos cientistas presentes na mesa-redonda de 1982 — Mário Schenberg, Carlos Chagas Filho, Shozo Motoyama e Jacques Danon, os avalistas da nova instituição —, além de o presidente do CNPq e grande aliado Lynaldo Cavalcante, e de importantes historiadores, Francisco Iglesias (Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG) e Fernando Novais (USP), membros do primeiro Conselho Científico.

Realizações

Ao longo de três anos, o objeto de estudo do Grupo Memória da Astronomia foi ampliado para abranger a pesquisa em história da ciência e a criação de um museu moderno de ciência. A astronomia permaneceu na liderança em razão da importância da coleção de instrumentos científicos e do acervo arquitetônico oriundos do ON. Também é interessante observar que praticamente todas as atividades desenvolvidas no MAST, no período de quase trinta anos, estavam previstas no Plano Diretor de 1985 (Moro, 1985).

Considerando as três vertentes de atuação planejadas — preservação da memória da ciência e tecnologia (documentação); pesquisa em história da ciência; e divulgação da ciência — apenas uma nova vertente de atuação foi acrescida: desde a década de 1990 são desenvolvidas atividades voltadas para a formação continuada de professores; oferecidos cursos de especialização nas suas áreas de competência, em especial nas áreas de educação, divulgação da ciência e documentação; e, mais recentemente, a coparticipação em programas de pós-graduação, mestrado e doutorado, oferecidos pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) nos campos da museologia e da história.

Na vertente da divulgação da ciência/educação em ciências em espaço não formal, o escopo das atividades se expandiu quando confrontado com o Plano Diretor de 1985, devido ao desenvolvimento de pesquisas sobre público visitante e educação em museus e a criação do Laboratório de Inovação de Recursos Educacionais (LIRE).

Figura 4. Acervo museológico: luneta utilizada no programa de *Observação do Céu*. Arquivo MAST

As ações para divulgar a ciência e o patrimônio científico brasileiro são desenvolvidas no *campus* MAST/ON de São Cristóvão, como ultrapassam essa fronteira: outras instituições; praças e praias de vários bairros; cidades do interior do estado do Rio de Janeiro; e capitais do país (ver "A astronomia e o público leigo" no Capítulo "Divulgação e educação não formal na astronomia" neste Volume). Algumas atividades marcam a história da instituição pelo ineditismo, vanguarda e sucesso de público. Destacam-se o *Museu vai à praia* (em especial as edições de 1987 e 2012) e a atividade que se integrou ao consumo cultural do carioca: a *Observação do Céu* através de centenárias lunetas e modernos telescópios. Também fazem parte do calendário do MAST, desde os primór-

dios de sua história, a participação em eventos, tais como: Reunião Anual da SBPC, desde a 38ª edição realizada na Universidade Federal do Paraná (UFPR) em 1986; e o Seminário Nacional de História da Ciência e Tecnologia (MAST, 2012), cuja primeira edição foi realizada no MAST, em 1985.

Hoje estão reunidos na Coordenação de Documentação e Arquivo (CDA) mais de três dezenas de arquivos pessoais e de instituições científicas brasileiras. Totalizam cerca de 1.500 metros lineares de documentos textuais, além de documentos iconográficos, cartográficos, tridimensionais e audiovisuais. Destacam-se o importante conjunto de documentos reunidos no Arquivo do Conselho de Fiscalização das Expedições Artísticas e Científicas, integrante do Programa Memória do Mundo da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), e o Arquivo CNPq/ Acervo MAST fundamental para o desenvolvimento de pesquisas sobre o fomento à pesquisa e a respeito da política científica brasileira, entre 1951 e 1973. Além de terem sido os primeiros fundos documentais confiados ao MAST, complementam a documentação reunida nos arquivos pessoais de astrônomos, físicos, químicos, matemáticos, engenheiros, entre outros especialistas e gestores de instituições científicas. É o caso do Arquivo Lélio Gama, tombado pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) e que foi entregue para guarda ao NHC (Núcleo de História da Ciência). O Arquivo Institucional do MAST também faz parte desse acervo (MAST, 2012).

O Laboratório de Conservação e Restauração de Documentos em Papel (LAPEL) é um aprimoramento do antigo Setor de Conservação e Restauração criado em 1986. Dispondo igualmente do Laboratório de Conservação de Objetos Metálicos (LAMET), responsável pela conservação e restauração dos objetos do Acervo Museológico, temos mais uma razão para enfatizar que o MAST é um projeto precursor.

Em trinta anos, as publicações da área de história da ciência confirmam a vocação da instituição idealizada em 1982: traduções de clássicos; pesquisas cujos temas promovem a inserção de pesquisadores em grupos internacionais e nacionais, ao abordar a ciência na interface com a religião, cultura, relações internacionais e militares, assim como temas atuais de amplo interesse (ciências naturais, meteorologia, divulgação da ciência, arqueoastronomia); e histórias de instituições e cientistas.

Considerações finais

Passados todos esses anos, pode-se reafirmar com segurança que a criação do MAST ocorreu em momento singular da história dos museus e centros de ciência, como coincidiu com a criação da Sociedade Brasileira de História da Ciência (SBHC), em 1983, e com as discussões sobre a reestruturação do sistema de ciência e tecnologia, e consequente debate sobre a criação de um ministério da ciência e tecnologia. Ao lado da influência do crescente número de instituições voltadas para a divulgação da ciência e da tecnologia em distintos países, no Brasil era imperioso renovar a concepção museológica e a proposta pedagógica para atender as demandas da sociedade brasileira na década de 1980. Por isso, os traços característicos que distinguem a geração de museus e centros de ciência desse período são as motivações para a criação e, principalmente, a abrangência dos projetos e da concepção diretiva, visto que ambos rompiam com os cânones anteriores. À exceção dos centros de ciência, um princípio balizou os projetos expográficos daquela época: a necessidade de fazer referência ao contexto político, social e ou econômico da construção da ciência para justificar a utilização dos objetos exibidos. O MAST não foi diferente.

Assim, concomitante à influência do processo em curso de renovação dos projetos museológicos nos países que enfrentavam a chamada crise da ciência, contribuíram para a concepção do primeiro plano diretor do MAST[13] as novas questões propostas pela história social da ciência e o ambiente de efervescência política e de luta pela liberdade do pensamento que marcou os últimos anos do regime militar no Brasil.

Referências

Andrade, Ana Maria Ribeiro de (2007), "O nascimento de um museu de ciências" *in* Ana Maria Ribeiro de Andrade (Org.), *Caminho para as estrelas. Reflexões em um museu*, 8-19, Rio de Janeiro: MAST.

Andrade, Ana Maria Ribeiro de (2010), "MAST: um quarto de século", *Urânia,* 3, 6, 3-7.

Barboza, Christina Helena (1994), "O encontro do rei com Vênus. A trajetória do Observatório do Castelo no ocaso do Império", *Dissertação de Mestrado*, Niterói: Programa de Pós-Graduação em História, UFF.

[13] O primeiro plano diretor do MAST foi formulado por Fernanda Moro (Moro, 1985). Em 1986 foi anexado ao plano diretor o documento intitulado "Projeto Museu Dinâmico".

Barboza, Christina Helena (1995), "Entre o céu e a Terra. Astrônomos e engenheiros na polêmica sobre o meridiano absoluto", *Perspicillum*, 9, 1, 5-23.

Cazelli, Sibele (1992), "Alfabetização científica e os museus interativos de ciência", *Dissertação de mestrado*, Rio de Janeiro: Departamento de Educação da PUC/Rio.

CNPq (1984), *Resolução Executiva 142/84*, institui o NHC, 2f. Arquivo MAST.

Crespo, Samyra Brollo (1991), "Passagem do planeta Vênus pelo disco do Sol em 1882. A ciência no Parlamento brasileiro", *Perspicillum*, 5, 1, 9-3.

MAST (2012), *Divulgação da ciência*, site institucional <http://www.mast.br/divulgacao_da_ciencia.html>, acesso em 22/4/13.

Moro, Fernanda C. A. (1985), *Museu de Astronomia e Ciências Afins: plano diretor*, Rio de Janeiro: Arquivo MAST.

Mourão, Ronaldo Rogério de Freitas (2005), "Nos braços de Vênus às poltronas da Academia", *Navigator*, 1, Jun., 7-40, disponível em http://www.revistanavigator.com.br/navig1/art/N1_art1.html, acesso em 5/3/13.

Pestre, Domenique (2007), "Não será preciso um novo regime de produção e regulação das ciências na sociedade de hoje?" *in* Ana Maria Ribeiro de Andrade (Org.), *Caminho para as estrelas. Reflexões em um museu*, 56-71, Rio de Janeiro: MAST.

PMAC (1983), *Museu de Ciência. Proposta de criação*, 3f, Rio de Janeiro: ON. Arquivo MAST.

Schvarsberg, Benny; Camenietzki, Carlos Ziller; Cazelli, Sibele; Duarte, Jusselma e Sergio, Nilo (1987), *Parque da Ciência: o brinquedo como possibilidade do aprendizado*, Rio de Janeiro: Salamandra/Museu de Astronomia e Ciências Afins.

Teffé, Barão de *et al.* (1887), "Relatório da Commissão da Ilha de S. Thomaz" *in* Luis Cruls (Org.), Observação da passagem de Vênus em 1882, *Annales de l'Observatoire Imperial de Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro: Typhographia e Lithographia H. Lombaerts & C., t. 3, disponível em: http://www.docvirt.no-ip.com/obnacional/principal.htm, acesso em 20/3/13.

Capítulo 13

DIVULGAÇÃO E EDUCAÇÃO NÃO FORMAL NA ASTRONOMIA

Parte 1
A astronomia e o público leigo

Douglas Falcão (MAST/MCTI*)

Maria Esther Valente (MAST/MCTI)

Eugenio Reis Neto (MAST/MCTI)

O artigo explora a área da divulgação da ciência com foco na astronomia, a partir das tendências que visam maior aproximação das questões da ciência com o público não especializado. Inserem-se nesse contexto as questões relativas à dificuldade de construção de conceitos e dimensões da disciplina da astronomia. Abordando as ações práticas da divulgação, o texto apresenta experiências tendo o Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST) como exemplo da abordagem de diversas estratégias que buscam tornar acessíveis os conhecimentos da astronomia.

* Diretor do Departamento de Popularização e Difusão de Ciência e Tecnologia do MCTI.

Divulgação da ciência, um campo a ser explorado

Construímos algo que, de certa forma, pode ser encarado como um paradoxo. Vive-se uma época na qual a ciência e a tecnologia passam a ter maior visibilidade no cotidiano dos indivíduos. No entanto, estudos evidenciam que as pessoas não estão familiarizadas com os conceitos e fenômenos científicos básicos, frequentemente incompreendidos. Além disso, essas pessoas não se sentem aptas a participar das discussões em que a ciência e tecnologia interferem no cotidiano de suas vidas (Falcão, 2009).

Uma chave para o entendimento dessa questão é a forma de percepção da ciência. Para o público mais amplo, a visibilidade da ciência dá-se por meio de seus produtos, e não de seus métodos de investigação, teorias, conceitos e modelos. Nesse sentido, cabe observar a relação entre o nível de compreensão do conhecimento científico que viabiliza o funcionamento dos produtos, e o que é exigido do cidadão comum para o seu uso.

Os princípios científicos, que viabilizam tais produtos, tornam-se cada vez mais complexos e de domínio restrito para aqueles que detêm uma especialização, o que contribui para um crescente distanciamento entre a ciência e o cidadão comum. No modelo de consumo vigente, o uso dos produtos da ciência está na maioria das vezes dissociada da compreensão de seus princípios científicos. Muitos são os exemplos e entre eles destacamos o computador.

Até meados da década de 1980, no Brasil, o computador estava basicamente restrito a centros de pesquisa e grandes empresas. Aqueles que tinham acesso a esse equipamento deveriam, por absoluta necessidade, dominar em certa medida a linguagem computacional e ainda estar familiarizados com algum sistema operacional. Hoje, esse quadro mudou radicalmente. Em vez de se programar, usam-se aplicativos. Nesse sentido, para o uso satisfatório de um computador não é necessário o domínio da linguagem computacional. A ciência que não gera produtos visíveis para o cidadão comum, a ciência básica, tende a permanecer restrita a especialistas e ao âmbito de publicações e fóruns acadêmicos.

Entre as ciências a astronomia, no entanto, tem posição muito particular, pois diz respeito tanto a fenômenos cruciais para a organização da vida humana (ciclos de natureza astronômica como dia e noite, estações do ano, marés, a dinâmica do movimento celeste etc.), quanto à procura por respostas a indagações eminentemente filosóficas como a origem do universo. Muito antes da própria institucionalização da ciência, as questões relacionadas aos ciclos astronômicos constituíam um programa de pesquisa imperativo para a huma-

nidade. Hoje, com a astronomia estabelecida por conhecimento consolidado, as indagações sobre a origem do universo continuam a ocupar um exército de astrônomos na condição de profissionais da ciência, mas, também, a povoar a imaginação de grande parte dos indivíduos.

Tal situação pode ser caminho para explicar porque a astronomia toma posição privilegiada no imaginário social. Em geral, todos são interessados em possíveis respostas para questões relativas à nossa origem cósmica. Reportagens sobre recentes descobertas na astronomia ocupam, com facilidade, posição de destaque nos meios de comunicação. Com condições de contorno aparentemente tão favoráveis, se poderia esperar que tal empenho acabasse por gerar, de fato, uma maior compreensão da astronomia, quando comparada a outras áreas do conhecimento. No entanto, não é bem isso que os educadores e divulgadores da ciência constatam. Essa percepção se confirma independentemente do modelo de comunicação adotado, seja ele dialógico, seja de uma única via.

A divulgação da ciência, reservada por muito tempo aos salões de uma elite de estudiosos, é cada vez mais um assunto de todos. Atualmente, considera-se que é importante fazer com que os indivíduos se envolvam com as questões da ciência e tecnologia que os atingem e para isso, é exigido um debate informado que depende do conhecimento científico. Quando as pessoas adquirem algum conhecimento sobre a ciência, podem compreender melhor as decisões que devem ser tomadas, o que é fundamental em uma sociedade democrática (Hoffmann, 1992).

Nesse sentido, uma questão se impõe: como tornar acessível a linguagem hermética da ciência para os leigos, considerando também seus interesses? No século 17, um dos pioneiros da difusão do saber foi Galileu que nos deixou alguns recursos. Um deles está registrado na obra "Diálogos sobre dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano". Por meio de seus escritos e de estratégia de transmissão, usando a linguagem teatral a partir de um diálogo entre personagens que apresentam características de formação diferentes, defendeu o sistema de mundo copernicano.

Segundo Perales (2010), a prática da Comunicação Pública da Ciência (CPC) — concebida em sua forma mais elementar, como uma atividade orientada a transmitir conhecimento científico ao público mais amplo, fora do circuito formal educacional — se processou paralelamente ao próprio avanço da ciência moderna. Não obstante, sua institucionalização em grande escala não ocorreu até o século 20, quando se estabeleceram as bases que a favoreceram. A partir da segunda metade do século passado, as reflexões sobre a transmissão e a percepção pública da ciência foram incentivadas. Ao longo do tempo, as formas de atingir um público cada vez mais numeroso foram sendo idealizadas e hoje são muitas e diversificadas.

A discussão em torno do entendimento público da ciência e da comunicação da ciência foi sendo impulsionada há algumas décadas, objetivando contornar o déficit de conhecimento do público leigo sobre a ciência e, estimulando os indivíduos a participar do debate das implicações da ciência na sociedade. De forma geral, diversos movimentos, entre eles Alfabetização Científica (*Science Literacy*) (ver nota de rodapé adiante), Entendimento Público da Ciência (*Public Understanding of Science* — PUS), Ciência, Tecnologia e Sociedade — CTS (*Science, Technology and Society*), mais recentemente acrescido do E de *Environment* — STSE) e Cultura Científica e Tecnológica (termo mais usado na França) continuam contribuindo para a busca da melhor forma de aproximação da ciência e os diferentes grupos sociais que integram a sociedade.

Esses movimentos, desenvolvidos principalmente nos Estados Unidos, Inglaterra e França nas décadas de 1970, 1980 e 1990, criticam fortemente as formas de abordar a ciência e a tecnologia dirigidas ao público leigo (Lewenstein, 2003), e procuram detectar as dificuldades de aproximação dos indivíduos com as questões de caráter científico (Valente, 2008).

Foi na década de 1970 que se desenhou um cenário de mudanças da CPC. Desse curto período de sua trajetória sublinham-se aqui, brevemente, duas passagens que determinaram os estudos teóricos e das práticas de CPC, importantes para os processos de institucionalização da divulgação e popularização da ciência.

A partir dos anos 1970 apareceram em cena novas concepções vinculadas à CPC. A perspectiva do público tomou cada vez mais a posição de destaque e proliferaram os estudos de percepção pública (Shen, 1975; Miller, 1998), motivados pelo reduzido êxito das estratégias de comunicação aplicadas até então. Em 1985 a *Royal Society* publicou o *The Public Understanding of Science*, conhecido como o Relatório Bodmer (Bodmer, 1985), que procurou analisar os problemas subjacentes à relação entre ciência e público. O documento teve o mérito de chamar atenção para o distanciamento entre os cientistas e os leigos. Isso provocou movimentação em prol da legitimação da popularização da ciência e o engajamento da comunidade científica para atuar nessa área, inspirando diferentes países da Europa na organização de ações voltadas à comunicação da ciência. É, então, lançada a ideia de se estabelecer maior comunicação com o público não especializado de forma eficaz e, assim, superar o modelo linear implícito na concepção mais difundida da CPC. Até aquele momento, o denominado modelo de déficit visava transmitir informações científicas e, na sequência, eram realizados estudos de percepção pública com o fim de levantar o quanto os indivíduos sabiam sobre os fatos científicos. Nesse modelo, não era considerado o tipo de conhecimento que poderia influir no estabelecimento da relação de interesse dos cidadãos com a ciência.

Já em 2000 (Perales, 2010), o relatório "Ciência e Sociedade", da Câmara Britânica dos Lordes, comparado ao Relatório Bodmer de 1985, incluía menos referências à "ignorância do público", e estava mais orientado à promoção do diálogo, à discussão e ao debate público. O documento tinha por contexto a crise de confiança por que passava a ciência, manifestada à época pela crescente dúvida dos cidadãos sobre as afirmações da comunidade científica em torno de problemas que vinham afetando a sociedade. O informe apontava tanto a necessidade de mostrar ao público os valores da atividade científica, como a necessidade de que os responsáveis pela tomada de decisões levassem em conta os valores e atitudes do público mais amplo. Além disso, era preciso também o reconhecimento positivo, por parte dos cientistas, à promoção de atividades que contribuíssem na compreensão pública da ciência. Estes aspectos vinham abrir novas vias de diálogo com a sociedade.

Cabe lembrar que no Brasil, pesquisas promovidas no período das ocorrências aqui destacadas procuraram também conhecer a percepção que os brasileiros tinham da ciência. "O que o brasileiro pensa da Ciência e da Tecnologia? — a imagem da Ciência e da Tecnologia junto à população urbana brasileira" foi a primeira pesquisa do gênero produzida no Brasil, levada a cabo pelo MAST (Museu de Astronomia e Ciências Afins), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) em 1987, apenas dois anos depois que a *Royal Society* publicou o Relatório Bodmer. Vinte anos depois o MCT, através do Departamento de Popularização e Difusão da Ciência e Tecnologia da Secretaria de Ciência e Tecnologia para a Inclusão Social, produziu uma nova pesquisa "Percepção Pública da Ciência e Tecnologia", contando com a parceria do Museu da Vida da Fundação Oswaldo Cruz e do LabJor (Laboratório de Estudos Avançados em Jornalismo) da Unicamp (Universidade Estadual de Campinas).

Os episódios mostram como surgiram algumas das estratégias de CPC promovidas para fazer frente aos problemas vinculados à comunicação, compreensão e percepção da ciência. Paulatinamente modelos horizontais, multidirecionais e participativos foram adotados em substituição ao modelo clássico, vertical e unidirecional em que o público tem papel passivo no processo de comunicação da ciência.

No entanto, cada uma das noções que orientam os movimentos de CPC, em razão de suas especificidades nas abordagens da relação ciência e público, ainda provoca certo desconforto na produção de estudos acadêmicos. O uso dos termos que definem seus conceitos ainda apresenta constituição imprecisa. Entretanto, deve ser ressaltado que, apesar de se apresentar frágil, a área da divulgação da ciência tem se mostrado fértil no encaminhamento de soluções

para implementar investigações e ações com metodologias mais adequadas às atuais demandas da sociedade. Ao mesmo tempo, a disseminação de práticas de divulgação de ciências tem fortalecido não só os divulgadores, mas também os pesquisadores em divulgação científica, mais frequentemente oriundos das áreas das ciências sociais e humanas, que se debruçam sobre o estudo dessas práticas, cujos resultados orientam ações para atuar sobre as questões da relação ciência e público.

Na expectativa da inovação em um quadro mais contemporâneo, é possível identificar a montagem de exposições e ações de orientação mais aberta, exploradas por diversas perspectivas disciplinares, e que confrontam questões controversas da ciência (Pedretti, 2013), além da instalação de ambientes não formais onde o público pode se expressar e manifestar suas opiniões e demandas. A preocupação com a alfabetização científica[1] da sociedade é a tônica de muitos desses empreendimentos.

Com esse intuito, os movimentos PUS têm procurado atenuar as inquietações sobre a relação ciência e público, estabelecendo vínculos com a alfabetização científica, e buscado apoio popular à atividade científica. Esses movimentos realizam-se com o fim de medir o conhecimento científico e tecnológico que os indivíduos demonstram diante da ciência e da tecnologia, e de estabelecer esquemas para promover melhor compreensão da ciência por parte dos diferentes públicos. Além disso, procuram elaborar estratégias de análise sobre essa promoção (Bauer *et al.*, 2007; Miller, 2005; Raichvarg, 2005). Cabe destacar que os movimentos passam a ter êxito na medida em que se inscrevem nas agendas políticas dos países da Europa, da América do Norte e da América Latina.

A difícil tarefa de divulgar astronomia

O fascínio pelo céu sempre esteve presente na vida do ser humano, o que fez da astronomia uma das ciências mais antigas. São vários os exemplos de evidências da observação do céu para a organização da vida do homem na Terra. Entre eles, a determinação do aparecimento de **constelações** específicas no começo da noite ao longo do ano, relacionadas aos ciclos naturais (a sazonalidade das plantas, o comportamento dos animais e os períodos de secas e chuvas),

[1] Alfabetização científica é uma expressão usada para designar o que o público em geral deve saber a respeito da ciência. Segundo John Durant (Durant, 2005) o termo deve ser olhado a partir da distinção entre três abordagens: conhecimento científico com ênfase no conteúdo; ênfase nos processos da produção do conhecimento científico e por fim a ênfase nas estruturas sociais ou nas instituições da ciência (cultura científica).

ajudou na elaboração dos primeiros calendários. Outro exemplo de destaque diz repeito à relação entre os mapas celestes e a geometria, conhecimento fundamental para que os indivíduos pudessem se localizar e se orientar na Terra de forma mais precisa.

O ciclo dos dias e das noites, o ciclo das estações do ano, as fases e o movimento da Lua, os eclipses e as estrelas cadentes (**meteoros**) são outros indicadores de como os fenômenos astronômicos permeiam nosso cotidiano, o que confere também à astronomia a sua popularidade, refletida no grande número de entidades que concentram o interesse em observar o céu, como os inúmeros clubes de astronomia amadora espalhados pelo Brasil e pelo mundo (ver "Dos tempos do Império aos observatórios robóticos" no Capítulo "Astrônomos amadores" neste Volume).

As pessoas, independentemente da classe social e do nível de escolaridade, têm muita curiosidade sobre a astronomia. Vivemos hoje a época dos grandes observatórios, da Estação Espacial Internacional, das sondas espaciais e dos planetas extrassolares. Além dos programas de televisão especializados, reportagens sobre descobertas na astronomia ocupam, com frequência, posição de destaque nos meios de comunicação, ou seja, esse campo de saber tem hoje vasta rede disseminadora de informação e conhecimento.

Apesar disso, o público muitas vezes apresenta grande desconhecimento dos aspectos básicos, principalmente no que diz respeito à compreensão das enormes escalas espaciais e temporais envolvidas na astronomia. Outra dificuldade comumente percebida refere-se à forma e aos movimentos da Terra (ciclo dos dias e das noites, movimento aparente das estrelas e a ocorrência das estações do ano — que a maioria das pessoas associa à variação da distância Terra-Sol). Também, observa-se a incompreensão da concepção tridimensional do sistema Terra-Lua-Sol (fases da Lua, eclipses e definição dos pontos cardeais e sua ligação com o movimento aparente do Sol), assim como o entendimento sobre o campo gravitacional terrestre (ausência aparente do peso quando se orbita ao redor da Terra). Em direção a outro setor da astronomia, mais um aspecto desconhecido do público tem relação com o funcionamento das lunetas e telescópios. Conhecimento que se sabe, não é trivial, mas curiosamente muitos acreditam ser possível fazer observações astronômicas mesmo com o tempo nublado.

Diferentes pesquisas mostram que na escola, muitos professores ensinam astronomia com um nível de entendimento próximo ao de seus alunos, cometendo erros ao abordarem os temas da área (Puzzo *et al.*, 2006). Além disso, seguem orientações e sugestões de autores de livros didáticos utilizados em sala de aula, que apresentam problemas ao trazer informações e interpretações

equivocadas (Canalle *et al.*, 1997; Trevisan *et al.*, 1997). Mas, pode-se perceber também que, fora da escola, inúmeras vezes os assuntos de astronomia são veiculados incorretamente por agências de notícias despreparadas e sem uma revisão do conteúdo científico. Nesse cenário, uma das grandes questões dos divulgadores e educadores de ciência reside na formação dos profissionais pouco preparados sobre os conteúdos disciplinares e que, com o público leigo, protagonizam a construção de um conhecimento sobre a astronomia. As diferentes práticas de divulgação são fruto de seu tempo e apresentam desafios associados a suas demandas, a partir das quais devem ser enfrentados.

A atividade de divulgação da ciência no Brasil, como nos informa Ildeu Moreira e Luisa Massarani "em que pese sua real fragilidade ao longo do tempo, tem pelo menos dois séculos de história" (Moreira e Massarani, 2002: 43). Nesses 200 anos encontramos inúmeros testemunhos da proposta de levar a ciência para os leigos. As diferentes publicações, editadas no decorrer do século 19, de maneira geral eram produzidas com abordagens variadas: umas de cunho mais voltado ao entretenimento e outras preocupadas em ensinar conteúdos da ciência, mas também podiam ser localizadas na mesma edição artigos de perfis variados. As iniciativas editoriais estavam vinculadas a instituições de caráter científico ou entidades particulares que viam nessa prática um instrumento importante de disseminação dos saberes científicos. Nessas publicações eram veiculadas notícias das diferentes áreas do conhecimento. Podem ser citados como exemplos: *O Patriota* de 1813; *Miscelanea Scientifica* de 1835; *Revista do Rio de Janeiro* de 1876; *O Vulgarisador* de 1877 e *Ciência para o Povo* de 1881.

Na área mais específica da astronomia, a publicação da *Revista do Observatório*, criada em 1886, vinha cumprir o papel de atuar junto a um público diferente dos especialistas. Em sua primeira edição o antigo diretor do Imperial Observatório do Rio de Janeiro (IORJ), Luiz Cruls, registrou que: "Pretendemos, pois, dar a revista o cunho de uma publicação de vulgarização de conhecimentos exatos, apresentados debaixo de uma forma que os torne accessível para todos" (*apud* Gesteira *et al.*, 2011: 41).

No interesse de divulgar, deve ser sublinhado que a circulação do conhecimento se fez também através da participação de instituições brasileiras em eventos como as Exposições Universais. Um exemplo de destaque é a apresentação e premiação na Exposição Universal de Paris de 1889 do instrumento astronômico Altazimute[2] Prismático, produzido no IORJ, idealizado por Emmanuel Liais, diretor da antiga instituição científica, e construído nas "Officinas

[2] Ver **Altazimutal**.

e Armazém d'Óptica e de Instrumentos Scientíficos" de José Maria dos Reis e José Hermida Pazos (ver "Patrimônio científico da astronomia no Brasil" no Capítulo "Acervo instrumental e arquitetônico" no Volume I).

Um forte veículo de divulgação do século 20 foi a Rádio Sociedade (do Rio de Janeiro), instituída na década de 1920, da qual fez parte Henrique Morize, diretor do Observatório Nacional (ON) à época. Na diversidade de meios de comunicação, o cinema foi mais um importante recurso de divulgação a partir da criação em 1937 do Instituto Nacional do Cinema Educativo (INCE) que foi dirigido por Roquete Pinto, do Museu Nacional (MN). O órgão produziu entre os anos de 1930 e 1960 inúmeros filmes, entre os quais se podem destacar "A medida do tempo", "Sistema Solar" e "Céu do Brasil".

No século 20 foram marcantes as ações de divulgação da ciência empreendidas, principalmente a partir da década de 1980, quando o cenário é ampliado com o incentivo à abertura de novos espaços como museus e centros de ciência. O MAST é criado nesse momento de efervescência (ver o Capítulo "Museu e unidade de pesquisa" neste Volume).

A história da divulgação da astronomia no Brasil passa por atores centrais que buscaram novos caminhos para a divulgação. Um deles é o professor Rodolpho Caniato[3] que, em entrevista concedida recentemente ao MAST, apresentou aspectos de sua trajetória. A origem de sua experiência remonta a seus anos de graduação em física quando, decepcionado em perceber que a admiração que tinha em observar o céu como um amador, não era correspondida pelas herméticas aulas da universidade. Concluiu então que havia grande distância entre as expectativas de saciar sua apaixonada curiosidade e as disciplinas áridas, como a **mecânica celeste**. E, foi essa tensão que o motivou a procurar na astronomia a grande síntese do conhecimento geral do mundo, em particular com a física.

Essa insatisfação acabou gerando muitos frutos positivos. Caniato, desejoso de criar estratégias que viessem a facilitar a compreensão dos movimentos dos astros no céu, montou em 1955 um telescópio na PUC (Pontifícia Universidade Católica) de Campinas, e elaborou um curso de cosmografia para alunos de geografia, com o mesmo fim de tornar a **Mecânica Celeste** mais palatável. O curso e as sessões de observação com o telescópio marcaram o começo da sua contribuição à divulgação da ciência. A partir daí, foram gerados subsídios didáticos que se desdobraram na produção de filmes, aparatos de baixo custo como o "Planetário de pobre", modelo didático rico em conceitos de **astro-**

[3] O professor Rodolpho Caniato concedeu entrevista a um dos autores deste texto (ERN) durante o 36º Encontro Regional de Ensino de Astronomia em Pitanga, PR, em abril de 2013.

nomia fundamental, além de inúmeras publicações, muitas vezes reeditadas, entre elas "O Céu" (Caniato, 2011) e o "Joãozinho da Maré" (Caniato, 1985). Estas são algumas das referências que se estendem da década de 1960 até os dias de hoje para a divulgação da astronomia.

A produção desse divulgador da astronomia esteve sempre intimamente ligada a seu interesse em entender as interpretações divergentes dos conhecimentos básicos da área, como as estações do ano, pontos cardeais, meio-dia verdadeiro etc., e das situações embaraçosas dos profissionais de ensino ao serem confrontados com suas próprias dificuldades. Caniato diz que atua junto aos professores "convidando-os" a pensar.

Mesmo com o esforço crescente que tem sido feito para minimizar as dificuldades na compreensão dos tópicos de astronomia já citados, segundo Caniato:

> A divulgação da astronomia, no que diz respeito aos professores do ensino fundamental e médio, ainda hoje é muito tímida. Existem atualmente ótimas iniciativas, como os Encontros Regionais de Ensino de Astronomia (EREAs), que são uma grande oportunidade para muitos, mas que em relação às necessidades nacionais ainda são muito pequenas. ... Vejo também limitações quando se pretende propor qualquer projeto que vise educação e ensino, que é vencer barreiras que são típicas e características da nossa cultura: a resistência às atividades práticas que sejam interessantes, lúdicas e desafiadoras, pois elas sempre criam situações novas e os professores, por formação, não estão habituados ao confronto, o que não faz parte do nosso repertório de ensino tradicional (entrevista de Caniato a Eugenio Reis Neto em 2013).

Mas, apesar desses obstáculos, a divulgação tem lançado mão de recursos que vêm contribuir significativamente na divulgação da astronomia:

> Os planetários[4] também têm uma grande virtude que é a de despertar paixões e ideias fundamentais. ... Os Museus de Ciência, por sua vez, podem ser recursos importantes, pois podem deixar de ser simples repositórios de objetos para passarem a ter um papel mais dinâmico no treinamento e formação de professores. Atividades podem ser desenvolvidas com peças historicamente importantes para dar a elas um sentido maior, como a **luneta meridiana** do antigo Observatório Nacional, hoje sob a guarda do Museu de Astronomia e Ciências Afins. Este instrumento já esteve na fronteira do conhecimento, algumas décadas atrás, e era considerado o grande ponteiro do relógio cujo mostrador móvel era o céu (entrevista de Caniato a Eugenio Reis Neto em 2013).

---

[4] Ver "Planetários" neste Capítulo.

No quadro da divulgação da astronomia cabe também destacar o nome do astrônomo Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, que publicou mais de 80 livros de divulgação e que influenciou gerações de interessados em saber sobre o universo. Sua produção se caracterizou em manter atualizado o fazer da astronomia. Nessa mesma perspectiva, entre outras publicações, encontra-se o "Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica" (Mourão, 2008). Foi o primeiro diretor do MAST onde imprimiu um papel importante para a divulgação da ciência e mais especificamente da astronomia.

Os museus de ciências e tecnologia representam hoje valioso recurso na divulgação da ciência. E têm cumprido o papel de aproximar a ciência e, particularmente a astronomia, do público leigo, sendo ao mesmo tempo extremamente motivador da curiosidade e estimulador do interesse pela ciência e tecnologia.

Divulgação da astronomia, o exemplo do MAST

A forte presença dos museus e centros de ciência na divulgação está ligada ao contexto dos processos de democratização do país que levaram o CNPq, a partir dos anos 1980, a adotar políticas mais contundentes de apoio a essas instituições e à institucionalização de disciplinas como a história da ciência e a divulgação da ciência. Esta última contou com um comitê assessor no CNPq implantado em 2004, ato que veio valorizar o setor, então discriminado pelos próprios cientistas em relação àqueles que se dedicavam à divulgação da ciência, muitos deles cientistas. Essa mudança de comportamento tem sido objeto de estudo, confirmando a ascendência do setor. A dissertação de Navas (2008) aborda esse comitê e a forma como vem sendo tratada a área da divulgação da ciência no Brasil, comparada com outros países da América Latina.

Cabe assinalar que os estudos desenvolvidos no âmbito da divulgação da ciência guardam um estreito interesse sobre os frequentadores da instituição museu e vêm redimensionar o caráter público, não só do espaço museológico, mas também da relação dos indivíduos com a ciência. Todos os processos de aproximação pública com a ciência são construções históricas, implementadas simultaneamente à promoção das ciências ao longo dos séculos e, em grande medida, também no interior dos museus. Vale destacar que os estudos fornecem subsídios para entender a formação dos museus brasileiros de ciências e tecnologia e oferecem pistas para a identificação e compreensão das permanências tradicionais na concepção das atuais iniciativas institucionais de divulgação. As pesquisas vêm, assim, sinalizando um caminho a ser seguido.

Nesse sentido, os museus de ciência e tecnologia, considerados um dos espaços privilegiados de divulgação da ciência passam a desenvolver programas voltados para disseminação da cultura científica. A cultura científica e técnica é entendida, de maneira geral no interior desses espaços, como o conjunto de relações que os indivíduos podem manter com a ciência e as técnicas. Conhecer a cultura científica é entender o fazer científico e técnico relacionado às suas diferentes incidências: econômica, social, cultural e ambiental. Portanto, é resultado de todas as formas de relação entre os domínios que são importantes para a vida coletiva ou individual, presente ou futura. É a gama de relações da ciência e da técnica com a sociedade. Promover a cultura científica de uma população é criar instrumentos que permitam modificar essas relações — o tipo e nível de mudança é questão política de cada setor da sociedade (Guédon, 1986).

No MAST, embora a instituição tenha o compromisso de divulgar o conhecimento da ciência em geral, a astronomia tem evidentemente papel destacado no programa educativo e de divulgação da instituição. São desenvolvidas diversas estratégias e recursos com o objetivo de popularizar essa área do conhecimento na sociedade e, também, de contribuir para a melhoria da qualidade do ensino formal da disciplina.

Um importante aspecto que caracteriza a divulgação da astronomia no MAST é a sua estreita relação com a pesquisa em educação em ciências. O setor educativo desenvolve investigações que estudam formas de aumentar a efetividade das atividades por meio do desenvolvimento de instrumentos de avaliação estatísticos e qualitativos. Destacam-se também as pesquisas que visam promover o uso de instrumentos científicos de valor histórico na divulgação da ciência.

As atividades de divulgação de astronomia acontecem desde o início da criação do MAST, em 1985, e já passaram por várias transformações. A instituição sempre optou por modelos de comunicação da ciência pautados no diálogo com as pesquisas na área de educação em ciências. Isto significa dizer que as práticas de divulgação em astronomia foram fortemente influenciadas pelas teorias construtivistas nas suas mais diversas versões, como as teorias de concepções alternativas (Agan, 2004), mudança conceitual (Strike and Posner, 1985), modelos e modelagens (Johnson-Laird, 1983).

A apropriação dessas teorias, decorrentes de pesquisas em educação em ciências, é intensificada a partir do fim da década de 1970 e início de 1980 (Cazelli *et al*., 1999). A perspectiva cognitivista/construtivista associada ao enfoque histórico e filosófico da ciência (Marandino, 1994) é centrada nas abordagens que resgatam a dimensão social e procura vincular o ensino de ciências como fator importante na transformação social.

Nesta perspectiva, a teoria das concepções alternativas produziu amplo mapeamento das explicações fornecidas por alunos, antes e durante a aprendizagem formal sobre os mais diversos conhecimentos, entre elas as concepções alternativas de astronomia. Os resultados dos estudos encaminhavam as futuras ações educacionais na direção da mudança conceitual da concepção alternativa dos alunos para o conceito científico, em um processo que entende a aprendizagem, não como simples recepção, mas como uma reorganização ou um desenvolvimento das ideias prévias dos alunos.

No entanto, observou-se que tais concepções alternativas são persistentes e não se modificam facilmente. Aprender um conceito científico é mais que a reordenação de conceitos existentes e/ou a junção de fatos à estrutura anterior do aluno. Isto implica, necessariamente, na construção de todo um novo quadro conceitual, a partir de elementos já presentes. A evidência das limitações da teoria das concepções alternativas carrega, em linhas gerais, o entendimento de que a mudança conceitual é um processo muito mais complexo, e que deve ser pensado de outra maneira, mais como "evolução conceitual" do que como substituição de concepções (Moreira, 1997).

A partir da problematização dessas constatações, outras teorias são concebidas, entre elas a dos modelos mentais e da modelagem, que traz nova perspectiva à discussão sobre a cognição humana. Modelo, no caso, é uma representação de uma ideia, objeto, evento, processo ou sistema e, modelagem é o processo de construção de modelos. Nesse sentido, os modelos mentais são considerados construções pessoais que podem ser expressas por meio da fala, da escrita, do desenho etc. (Cazelli *et al.*, 1999). Ao mesmo tempo, os modelos são uma ferramenta de ensino, gerando modelos pedagógicos elaborados pelos professores, de modo a levar os alunos a compreender os modelos consensuais da ciência (Krapas *et al.*, 1997). O estudo dos processos de modelagem contribui para a compreensão da construção dos modelos mentais, para superar algumas limitações da teoria das concepções alternativas. Modelos usados como representação de ideias têm sido tema destacado nos estudos sobre aprendizagem em ciências, tanto nos espaços formais de educação — escolas — quanto nos não formais — museus — (Falcão *et al.*, 1997). Apoiados nessa concepção, para a elaboração de diferentes exposições do MAST foram elaborados modelos consensuais consagrados pela história da astronomia e modelos pedagógicos interativos sobre astronomia e ciências afins, que são expostos para visitação pública.

Mais recentemente, outras perspectivas ampliam o quadro das teorias que vem auxiliar o entendimento das formas de transposição e mediação dos conhecimentos das ciências para os indivíduos. Entre outras, sublinham-se

as teorias sócio-interacionistas (Leinhardt and Crowley, 2002) e as voltadas para a motivação (Lepper *et al*., 2005).

Na perspectiva sócio-interacionista, a ideia de aprendizagem é vista como processo de longo prazo que envolve progressos e regressões. Muito mais do que uma simples substituição de ideias, implica um processo contínuo e recorrente (Falcão *et al*., 2003), como um diálogo entre o indivíduo e o meio, ao longo do tempo (Falk, 2001). Em seu estudo sobre a especificidade da aprendizagem em museus, Figueroa (2012) destaca também, entre outras abordagens, a aprendizagem como o ato de interpretar para fazer sentido pessoal, mas como atividade articulada de um grupo. Esta é uma visão de base sociocultural, centrada nos indivíduos da aprendizagem que refletem as conexões pessoais e afetivas, realizadas a partir das elaborações conversacionais entre os sujeitos envolvidos nas atividades educacionais e de divulgação de ciências.

As pesquisas avançaram e passaram a apontar, ainda, a necessidade de se definir uma tipologia mais complexa para a concepção da motivação das pessoas para aprender. Os indivíduos não só possuem diferentes graus de motivação, mas também se distinguem por diferentes tipos de motivação. O fenômeno da motivação pessoal varia não somente em relação a seu nível ou intensidade, mas também em relação à sua orientação para a ação. A orientação, neste contexto, diz respeito à razão pela qual o indivíduo toma uma decisão e age, ou seja, o porquê da ação, o porquê do indivíduo se sentir impelido a realizar alguma atividade. Essa teoria admite para o contexto educacional que, qualquer sujeito, independentemente de suas habilidades pessoais ou de seu *background* socioeconômico, apresenta uma orientação natural para o desenvolvimento, e isso se dá por meio da conjugação entre o atendimento das necessidades psicológicas e as condições socioculturais do ambiente (Cazeli e Coimbra, 2013).

Hoje, estas diferentes teorias são importantes referências no desenvolvimento de práticas e ações de divulgação e educação em ciências do MAST. Tais orientações teóricas se materializam nas práticas, por meio do reconhecimento da necessidade de dispor de uma diversidade de estratégias, a fim de dialogar com a variabilidade natural de motivações e de interesses da população, pelo respeito a diferentes formas de conhecimento e pela diversidade dos diferentes públicos.

No que se refere às atividades de divulgação, essas são orientadas pelos pesquisadores da área de educação em ciências do MAST, mas em sua maioria são efetivamente executadas por bolsistas e estagiários da Coordenação de Educação em Ciências (CED). Para cada atividade educativa é constituída uma equipe que fica responsável pela gestão e realização da atividade. Nesse sentido, o protagonismo é fortemente estimulado. O modelo participativo tem como principal resultado a formação de novos divulgadores, a melhor capacitação

de professores para o ensino da astronomia e a sensibilização de pesquisadores para o exercício da divulgação da ciência.

As atividades de divulgação de astronomia do MAST dirigidas ao público de visitação espontânea são apresentadas de forma breve abaixo, na Tabela 1.

Atividade	Descrição
Ciclo de Palestras de Astronomia	Um astrônomo ou físico conversa em linguagem simples com o público abordando diversos temas relacionados ao universo como **galáxias**, estrelas, planetas, fenômenos astronômicos e à astronáutica.
Observação do Céu	Promovida desde 1985, está entre as atrações mais populares do MAST. A atividade leva o público a observar e a conhecer planetas, **galáxias**, nebulosas, aglomerados e outros objetos e fenômenos estudados pela astronomia, usando uma luneta centenária e instrumentos modernos de observação.
Planetário Inflável	O MAST possui um planetário analógico e um digital. Em ambos os casos, esse equipamento se revela como uma poderosa ferramenta na divulgação de astronomia para o público visitante e na formação continuada de professores.
ASTROmania	Atividade de divulgação de astronomia para o público sem a exigência de conteúdos formais. A temática de astronomia é abordada por meio de apresentações, jogos e brincadeiras.
Visita orientada	Atividade dirigida ao público, programada e estimulada, na qual um mediador apresenta o conjunto arquitetônico histórico e a coleção de instrumentos científicos que o MAST abriga.
Contando mitos	Divertidos esquetes teatrais criados no MAST são utilizados para difundir a mitologia grega e a de grupos indígenas brasileiros eternizada nos planetas e **constelações**.
Cine Ciência	Mostra de vídeos relacionados a temas científicos dirigidos ao público. Sempre depois do filme, um profissional ligado à área do tema do filme conversa com a audiência, debatendo aspectos da ciência envolvida. Essa atividade não contempla apenas a astronomia.
Faça você mesmo	Oficina dirigida ao público, na qual os participantes durante o programa aprendem a fazer experimentos lúdicos que, após a atividade, podem ser levados para casa. Essa atividade não contempla apenas a astronomia.

Tabela 1. Atividades de divulgação de astronomia do MAST dirigidas ao público de visitação espontânea

O MAST ainda realiza oficinas de astronomia para professores do ensino fundamental e médio. As práticas têm por objetivo oferecer subsídios ao professor para que se apropriem das diversas atividades apresentadas, a fim de

usá-las em sala de aula com o propósito de motivar os alunos ao aprendizado de ciências. As oficinas são ministradas no MAST, nas escolas, ou ainda nas cidades do interior do Estado do Rio de Janeiro como parte do projeto Praça da Ciência Itinerante[5]. As oficinas, também, acontecem em diversas cidades brasileiras no âmbito dos EREAs, a convite dos organizadores do evento. Além disso, o MAST é convidado a levar as atividades de divulgação de astronomia aos diversos eventos organizados por outras instituições, por exemplo, as Reuniões Anuais da SBPC.

Uma importante atividade na grade da programação de divulgação de astronomia do MAST é a Semana de Astronomia, evento anual que desde 1993 apresenta os mais diversos temas da área de astronomia por meio de mesas-redondas, palestras, oficinas, atividades recreativas, observação do céu, planetário etc. Um dos principais objetivos da Semana de Astronomia é criar oportunidades para que público e cientistas tenham um contato direto e a população tome conhecimento sobre as Instituições brasileiras que fazem pesquisa na área.

É importante destacar o compromisso da instituição em divulgar o conhecimento astronômico básico, como aquele aplicado ao sistema Terra-Lua-Sol, ao mesmo tempo em que está preocupada em divulgar a astronomia contemporânea. Evidentemente, não se trata de afirmar que o conhecimento sobre a astronomia básica seja uma pré-condição para a compreensão das questões de ponta em astronomia, mas acreditamos que o conhecimento básico nessa área seja importante para melhor visão de mundo.

Uma segunda linha de ação de divulgação de astronomia no MAST consiste nas exposições permanentes e temporárias ou ainda itinerantes. Essa última em particular, mostra-se um poderoso recurso de divulgação, na medida em que permite alcançar localidades que tendem a ter menos acesso aos equipamentos culturais na área da ciência. A equipe também desenvolve recursos educacionais diversos como material impresso, multimídia e aparatos interativos. Esses diferentes materiais têm a vantagem de disseminar o conhecimento mais amplamente do que as atividades que requerem a mediação presencial humana. Somam-se ainda a essas, as diversas atividades organizadas em razão de efemérides astronômicas, uma vez que estas encontram uma imprensa favorável a divulgar os eventos como: eclipses, aproximação máxima de planetas, **chuvas de meteoros** etc.

---

[5] O projeto Praça da Ciência Itinerante atua na área de ensino e divulgação da ciência através de capacitação de professores e futuros professores, e de realização de exposições interativas para alunos, professores e público em geral. É um esforço conjunto de várias instituições do Estado do Rio de Janeiro (Fundação Cecierj, MAST, Espaço Ciência Viva etc.), sendo que o MAST participa do projeto desde a sua criação em 1994.

Outro tema importante é a valorização da história da astronomia. No MAST, esse tópico é fortemente orientado pelo acervo arquitetônico e de instrumentos científicos existentes na instituição (ver "Patrimônio científico da astronomia no Brasil" no Capítulo "Acervo instrumental e arquitetônico" do Volume I). Nesse contexto, a luneta **equatorial** de 21 cm, um instrumento centenário em plenas condições de funcionamento, é a estrela do programa educativo e de divulgação da astronomia.

Instrumentos históricos e divulgação da astronomia

Embora atualmente a importância da história da ciência na educação em ciências seja amplamente reconhecida nos meios acadêmicos, ela raramente está presente no cotidiano das escolas e das instituições de divulgação de ciência. E quando está presente, sua função ilustrativa é a mais frequente. Entretanto a superação desse enfoque não é tarefa fácil. Muitas vezes faltam elementos que sejam capazes de levar o imaginário do jovem estudante, ou ainda do grande público, participantes de uma atividade de divulgação, a pensar sobre o passado da ciência. Neste sentido, o recurso do instrumento científico pode ser um caminho promissor. Sublinhando sua importância, a temática do uso de instrumentos históricos na educação em ciências foi o tema central no *9th International Conference for the History of Science in Science Education* realizado em 2012 na cidade de Flensburg na Alemanha.

O uso de instrumentos científicos é inerente ao processo de construção da ciência e, portanto, tem papel crucial no seu processo de divulgação. No caso da astronomia, a questão da instrumentação ganha contornos tangíveis para o público, na medida em que o telescópio, por exemplo, é um ícone da ciência e, ao mesmo tempo, apresenta uma variada tipologia de estruturas e funções que podem ser exploradas no contexto da divulgação da astronomia e da sua história. Da luneta de Galileu aos modernos telescópios, é possível acompanhar a evolução da astronomia em termos do aumento de complexidade desses instrumentos, de sua relação com os modelos científicos vigentes, das questões de pesquisa investigadas e, mais recentemente, como testemunhos da natureza colaborativa da ciência, quando se olha os grandes projetos de cooperação internacional.

O uso de instrumentos científicos históricos nas atividades de divulgação da astronomia contribui para que o público reflita sobre as mudanças da astronomia ao longo do tempo. Este é o caso, por exemplo, de um conjunto de instrumentos do acervo do MAST, como a já mencionada luneta **equatorial** de

21 cm, a luneta **equatorial** de 32 cm, o **foto-heliógrafo**, a **luneta meridiana** Bamberg e o **círculo meridiano** de Gautier. Reis Neto e Falcão (2011) mostram que o uso simultâneo de instrumentos históricos e contemporâneos em atividades de divulgação é promotor de reflexão sobre a história da astronomia. O visitante pode ser estimulado a pensar sobre a história da astronomia por meio da exploração das especificidades destes instrumentos, das pesquisas nas quais eles foram utilizados, pelas indagações sobre o perfil do cientista que usava o instrumento e sobre os detalhes de sua utilização e funcionamento. Tudo isso, leva a refletir sobre o passado e o presente da astronomia.

Astronomia em museus e centros de ciência

Hoje, no Brasil, há diversos agentes que atuam de forma sistemática na comunicação pública da astronomia. Entre eles, merecem destaque: os clubes de astronomia amadora (ver o Capítulo "Astrônomos Amadores" neste Volume), o jornalismo científico, o ensino dos níveis fundamental e médio (ver o Capítulo "Astronomia na educação básica" no Volume I), projetos de extensão universitária, olimpíadas de astronomia (OBA, IOAA e OLAA)[6] (ver o Capítulo "Olimpíadas de Astronomia" neste Volume), *internet*, planetários (ver o texto "Planetários" neste mesmo Capítulo), observatórios (ver "Observatório de uma centenária Escola de Engenharia e sua função hoje" e "O Observatório da UFRGS: patrimônio histórico nacional" no Capítulo "Acervo instrumental e arquitetônico" no Volume I) e museus de ciência.

No panorama da mobilização para a divulgação da ciência, entretanto, pode-se evidenciar um desequilíbrio. A segunda edição do guia da Associação Brasileira de Centros e Museus de Ciência, ABCMC (Massarani *et al.*, 2009) lista os museus e centros de ciência existentes nos estados brasileiros. Os quantitativos e a distribuição geográfica dos equipamentos culturais indicam um cenário preocupante. Das 128 instituições constantes do guia (excluindo-se os planetários), cerca de 62% se localiza na região sudeste, 19% no sul, 13% no nordeste, 5% na região norte e apenas 1% na região centro-oeste. Somente a parcela da população brasileira localizada nos municípios "agraciados" ou na sua vizinhança, tem acesso a tais equipamentos culturais.

---

[6] OBA: Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica. OLAA: Olimpíada Latino-Americana de Astronomia e Astronáutica. IOAA: *International Olympiad on Astronomy and Astrophysics*. Essas ações são desenvolvidas em parceria com a OBA por meio de seu coordenador nacional, professor João Batista Garcia Canalle, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Por outro lado, as experiências encontradas nos museus de ciência na área da divulgação de astronomia são muito ricas e variadas: observação do céu com telescópios (noturna ou diurna), exposições, publicações paradidáticas, oficinas, palestras, vídeos, sessões de planetários fixos ou infláveis, eventos temáticos, produção de material didático, teatro científico, cinema, visitas escolares, cursos de formação continuada de professores, cursos sobre temas da astronomia para a população em geral ou ainda combinações de todas as modalidades em ações de divulgação de ciência itinerante.

Tais atividades podem estar presentes de forma continuada ou eventual, a depender do museu de ciência. Vê-se, portanto, que esse tipo de instituição tem um papel singular na divulgação, mas para alcançar impacto nacional, deve ampliar o número de equipamentos culturais e, principalmente, mais bem distribuído no país.

Abordagem final

A ciência e a tecnologia estão presentes em todos os aspectos da vida moderna. Nos dias de hoje, o conhecimento sobre essas áreas tem assumido importante papel para o cidadão que, cada vez mais, deve estar informado para compreender o mundo a sua volta e, assim, tomar decisões melhor balizadas para sua própria vida. Nesse contexto, se faz necessária uma divulgação da ciência que não apenas apresente o conhecimento por uma única via, mas que seja capaz de contribuir de diversas formas na aproximação com um público cada vez mais amplo, facilitando a compreensão da ciência como parte da cultura da sociedade, tornando-a útil e aplicável ao dia a dia de cada um.

A preocupação com o nível de conhecimento sobre ciência da população tem se intensificado em todo o mundo. Entre a maior parte dos pesquisadores e professores que se dedica à divulgação e educação em ciências, há um consenso quando se trata da divulgação do conhecimento da produção científica e tecnológica. Na ótica desses profissionais, ela deve ter como objetivo principal, formar um cidadão alfabetizado cientificamente, de forma que adquira um nível mínimo de competências que o insira no debate das questões da ciência e tecnologia da atualidade. Esses profissionais são motivados pela ideia de que, estando a sociedade cada vez mais inserida em um ambiente científico-tecnológico, todas as pessoas devem receber uma formação, que lhes permita discernir sobre os riscos e benefícios envolvidos nos procedimentos científicos e nas inovações tecnológicas.

Nos últimos 30 anos verificou-se profunda transformação na relação entre o conhecimento gerado nos centros de pesquisa e a informação transmitida

para o público leigo. O advento dos microcomputadores e de redes de informação, aliada à maior penetração da televisão e de outros meios de comunicação, fizeram com que a informação fosse colocada ao alcance de grande parte da sociedade. Ao mesmo tempo, o pesquisador sente a necessidade de divulgar os resultados de seu trabalho através de notícias veiculadas pelos meios de comunicação (jornais, revistas, televisão, *internet*), uma vez que esta visibilidade também pode afetar positivamente o seu trabalho científico.

No entanto, apesar das inúmeras ferramentas disponíveis para a divulgação do conhecimento, muitos entraves para a concretização de ações mais duradouras ainda persistem. Na maioria das vezes, é a dificuldade criada pelos obstáculos inerentes à natureza da tradição e a especificidade dos diferentes profissionais envolvidos no processo de divulgação, que retardam a prioridade da relação entre cientistas e público leigo. Nesse sentido, esta mudança ainda não foi totalmente assimilada, nem pelo cientista que gera o conteúdo, nem pelo divulgador que veicula a informação, e nem pelo público que dela se apropria.

A descrição científica de muitos fenômenos atinge o público de forma completamente hermética e o distanciamento entre cientistas e o público mais amplo é uma questão recorrente na prática da divulgação da ciência. Ainda a divulgação das pesquisas científicas para o público não especializado é pouco priorizada e tem sido adiada por muito tempo. Nesse quadro e, apesar das limitações, muitos programas de divulgação da ciência para a população têm sido elaborados.

Ampliar cada vez mais o diálogo entre os pesquisadores com os diferentes indivíduos da sociedade, é a condição que deve ganhar destaque. Diálogo que, além do olhar indagador e atento para o mundo em que nos encontramos, exige a troca entre disciplinas. A troca deve ser vista como uma ponte para melhorar a apreensão da construção do conhecimento entre diferentes setores da sociedade. Procurar incluir outros elementos nesse processo, incentivando a conversa entre cientistas e os outros indivíduos que estão fora do mundo acadêmico; provocar a participação do cientista nessa iniciativa é fundamental, entendendo que o papel social do cientista também é o de divulgar seu trabalho.

A democratização do conhecimento científico é um dos principais desafios para aqueles que enfrentam a tarefa de tornar mais palatável o saber da ciência, ou seja, promover a comunicação da ciência e da tecnologia como um conjunto de atividades multidisciplinares, que visa facilitar a relação ciência-sociedade na apropriação do conhecimento. Nesse esforço, considera-se ainda a abordagem de temáticas científicas com implicações sociais e considerações sob múltiplas perspectivas, o que é importante para o processo de inclusão social e a melhoria da qualidade de vida dos indivíduos. Afinal,

um cidadão bem informado é capaz de melhor perceber as oportunidades oferecidas pelas novas tecnologias, de melhor apreciar o trabalho da ciência e de medir a natureza dos riscos associados à evolução técnico-científica, estando apto também, quando preciso, de se proteger de suas possíveis ameaças, e distinguir entre a superstição e o científico, promovendo dessa forma as necessárias relações entre o conhecimento científico e a vida cotidiana.

Referências

Agan, L. (2004), Stellar ideas: exploring student's understanding of stars, *Astronomy Education Review*, 3, 1, 77-97.

Bauer, Martin W., Allum, Nick and Miller, Steve (2007), What can we learn from 25 years of PUS survey research? Liberating and expanding the agenda, *Public Understand of Science*, 16, 79-95.

Bodmer, W. (1985), *The Public Understanding of Science*, London: The Royal Society.

Canalle, J. B. G.; Trevisan, R. H. e Lattari, C. J. B. (1997), "Análise do conteúdo de Astronomia de livros de Geografia do 1º grau", *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 14, 3, 254-263.

Caniato, R. (1985), "Ato de fé ou conquista do conhecimento. Um episódio na vida do Joãozinho da Maré", *A Terra em que vivemos*, 69-77, Campinas: Papirus.

Caniato, R. (2011), *O Céu*, Campinas: Editora Átomo.

Cazelli, Sibele e Coimbra, Carlos (2013), "Proposta para a avaliação da prática pedagógica de professores", *Ensino em Re-Vista* (dossiê temático sobre educação em museus), 20, 1, jan./jun., 133-149, Uberlândia, MG: EDUFU, Universidade Federal de Uberlândia.

Cazelli, S.; Queiroz, G.; Alves, F.; Falcão, D.; Valente, M. E.; Gouvêa, G. e Colinvaux, D. (1999), "Tendências pedagógicas das exposições de um museu de ciências", *II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (ENPEC), Anais (CD-Rom), Valinhos, SP.

Durant, John (2005), "O que é alfabetização?" *in* L. Massarani, J. Turney e I. Moreira (Orgs.), *Terra Incógnita: a interface entre ciência e público*, 115-132, Rio de Janeiro: Vieira&Lent, UFRJ e FIOCRUZ.

Falcão, Douglas (2009), "A divulgação da astronomia em observatórios e planetários no Brasil", *ComCiência*, 112, Campinas, disponível em http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-76542009000800009&lng=en&nrm=iso, acesso em 2/5/13.

Falcão, D.; Alves, F. e Colinvaux, D. (2003), "Museus de Ciências: aprendizagem e modelos mentais" *in* G. Gouvêa, M. Marandino e M. C. Leal (Orgs.), *Educação em museus: a construção social do caráter educativo dos museus de ciências*, 185-206, Rio de Janeiro: FAPERJ e Access Editora.

Falcão, D.; Cazelli, S.; Marandino, M.; Gouvea, G; Valente, M. E. e Franco, C. (1997), "Mudanças em Modelos Expressos de Estudantes que visitaram uma Exposição de Astronomia", *II ENPEC*, Águas de Lindóia, SP, Atas, 201-207, Porto Alegre: IF/UFRGS.

Falk, J. (2001), Free-choice Science Learning: framing the discussion, *in* J. Falk (Ed.), *Free-choice Science Education: how we learn science outside the school*, 3-20, New York: Teachers College, Columbia University.

Figueroa, Ana Maria Senac (2012), "Os objetos nos museus de ciências: o papel dos modelos pedagógicos na aprendizagem", *Tese Doutorado*, São Paulo: Faculdade de Educação/USP, <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-22102012-135253/>, acesso em 8/11/13.

Gesteira, H.; Valente, M. E. e Vergara, M. (2011), *Olhar o Céu Medir a Terra*, Rio de Janeiro: MAST.

Guédon, Jean-Claude (1986), La maison des sciences et des téchniques de Montréal, *Museum*, 150, 38, 2, 133-136.

Hoffmann, Roald (1992), "A responsabilidade de divulgar ciência", Entrevista, *Ciência Hoje*, 14, 82, 45.

Johnson-Laird, P. N. (1983), *Mental models*, Cambridge, MA: Harvard University Press.

Krapas, S.; Queiroz, G.; Colinvaux, D.; Franco, C. e Alves, F. (1997), "Modelos: Terminologia e Sentidos na Literatura de Pesquisa em Ensino de Ciências", *Investigação em Ensino de Ciências*, 2, 3, 1-18.

Leinhardt, G. and Crowley, K. (2002), Objects of learning, objects of talk: changing minds in museums *in* S. Paris (Ed.), *Multiple Perspectives on Object-Centered Learning*, 301-324, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Lepper, R. M.; Corpus, J. H. and Iyengar, S. S. (2005), Intrinsic and extrinsic motivational orientation in classroom: age differences and academic correlates, *Journal of Educational Psychology*, 97, 184-196.

Lewenstein, B. V. (2003), Models of public communication of science and technology, Symposium *Role and Responsibilities of the Land Grant System in Building Community Strengths to Address Biohazards*, 8-9 September 2003, Ithaca, NY: Cornell University.

Marandino, M. (1994), "O Ensino de Ciências e a Perspectiva da Didática Crítica", *Tese de Mestrado*, Programa de Pós-Graduação em Educação/PUC/RJ.

Massarani, L.; Ferreira, J. R. e Brito, F. (2009), *Centros e Museus de Ciência do Brasil*, Rio de Janeiro: ABCMC, Casa da Ciência/UFRJ e Museu da Vida/Fiocruz.

Miller, J. D. (1998), The measurement of civic scientific literacy, *Public Understanding of Science*, 7, 3, 203-223.

Miller, S. (2005), "Os cientistas e a compreensão pública da ciência" *in* L. Massarani, J. Turney e I. Moreira (Orgs.), *Terra Incógnita: a interface entre ciência e público*, 115-132, Rio de Janeiro: Vieira&Lent, UFRJ e FIOCRUZ.

Moreira, Ildeu e Massarani Luisa (2002), "Aspectos históricos da divulgação científica no Brasil", *in* L. Massarani, I. Moreira e F. Brito (Orgs.), *Ciência e Público — caminhos da divulgação científica no Brasil*, Rio de Janeiro: Casa da Ciência e Editora UFRJ.

Moreira, M. A. (1997), "Modelos Mentais", *Investigação em Ensino de Ciências*, 3, 1-39.

Mourão, Ronaldo R. de F. (2008), *Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica*, 2ª edição revisada e ampliada, Rio de Janeiro: Lexicon Editorial.

Navas, Anna Maria (2008), "Concepções de popularização da ciência e da tecnologia no discurso político: impactos nos museus de ciência", *Dissertação de mestrado*, Faculdade de Educação/USP.

Pedretti, Ermínia (2013), Courting controversy: body worlds exhibition and the visitor experience, *41st Conference of the International Committee of Science and Technology Museums* (CIMUSET), Anais (CD-ROM), Rio de Janeiro.

Perales, Óscar Montañés (2010), Cuestiones actuales sobre comunicación pública de la ciencia, *ArtefaCToS*, 3, 1, diciembre, 3-11.

Puzzo, D.; Trevisan, R. H.; Lattari, C. J. B. e Canalle, J. B. G. (2006), "Dificuldades e Qualidades na aula de Astronomia no Ensino de Ciências", *in XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Anais, Rio de Janeiro.

Raichvarg, Daniel (2005), *Sciences pour tous?*, Collection-Découvertes, Paris: Gallimard.

Reis Neto, E. e Falcão, Silva. D. (2011), "Ciência e História na Trilha do Fotoheliógrafo", *XII Reunião Bienal da RedPop*, Campinas, SP, Caderno de Resumos, 27-28.

Shen, Benjamin S. P. (1975), Science literacy and the public understanding of science *in* S. B. Day (Ed.), *Communication of scientific information*, 44-52, New York: S. Karger.

Strike, K. A. and Posner, G. J. (1985), A conceptual change view of learning and understanding *in* L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change*, 211-231, Orlando: Academic Press.

Trevisan, R. H.; Lattari, C. J. B. e Canalle, J. B. G. (1997), "Assessoria na avaliação do conteúdo de Astronomia dos livros de ciências no primeiro grau", *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 14, 1, 7-16.

Valente, M. E. A. (2008), "Museus de ciências e tecnologia no Brasil: uma história da museologia entre as décadas de 1950-1970", *Tese de Doutorado*, Instituto de Geociências, Unicamp.

Parte 2
Planetários

Maria Helena Steffani
(Planetário Prof. José Baptista Pereira, Porto Alegre)

Fernando Vieira
(Fundação Planetário da Cidade do Rio de Janeiro)

Este texto começa com um breve histórico sobre os projetores de estrelas concebidos para a simulação dos astros no céu em cúpulas desde 1923. Depois é apresentado um panorama geral dos planetários brasileiros em vários aspectos: crescimento do número de planetários por década, a natureza do órgão gestor a que estão vinculados, a distribuição geográfica dos mesmos. Finalmente é descrita a contribuição dos planetários brasileiros para a educação e a divulgação científica, a atualização tecnológica dos equipamentos e a qualificação dos planetaristas, o papel da Associação Brasileira de Planetários (ABP) e o potencial, ainda não explorado, dos planetários como fonte para pesquisa educacional.

Introdução

Uau! É o que se ouve em vários momentos das sessões de Planetário: quando começa o anoitecer e surgem inúmeras estrelas; quando são projetados os desenhos das constelações; quando comparamos os tamanhos da Terra e do Sol; ou ainda quando comparamos o Sol com a estrela Antares. Após a sessão, as perguntas que são feitas pelos estudantes e o brilho nos olhos das crianças dão a certeza de que o planetário cumpriu seu principal papel: ensinar, divulgar e maravilhar.

Em "O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro", ao relatar sua experiência de divulgação da ciência para estudantes das séries iniciais da educação básica, Carl Sagan afirma:

> As crianças inteligentes e curiosas são um recurso nacional e mundial. Precisam receber cuidados, ser tratadas com carinho e estimuladas. Mas o mero estímulo não é suficiente. Temos de lhes dar também as ferramentas essenciais com que pensar (Sagan, 1996: 313).

Eis o nosso desafio: dar aos estudantes "as ferramentas essenciais com que pensar", considerando principalmente o contexto histórico e social em que vivemos. Apesar das rápidas mudanças que caracterizam a sociedade atual, nosso modelo de educação permanece arraigado a conceitos como verdade absoluta, certeza, transmissão do conhecimento e outros. Em "Aprendizagem Significativa Crítica", Moreira (2005: 5) resume:

> Nossa educação fundamental acaba com a capacidade natural que as crianças têm de perguntar e as transformam em memorizadoras de respostas corretas para coisas que elas não perguntam.

Espaços de educação não formal como planetários, observatórios, museus e centros de ciências são aliados em potencial para a construção e adequação dessas ferramentas essenciais que permitirão ao aluno aprender a aprender e ao cidadão ampliar seu horizonte de conhecimento. A visitação a esses espaços precisa, contudo, ser planejada e realizada de forma a favorecer a aprendizagem significativa, além de despertar o interesse e a admiração dos estudantes e do público como um todo para as ciências.

Planetários

> O estudo da astronomia tem fascinado as pessoas desde os tempos mais remotos. A razão para isso se torna evidente para qualquer um que contemple o céu em uma noite limpa e escura. Depois que o Sol — nossa fonte de vida — se põe, as belezas do céu noturno surgem em todo o seu esplendor. A Lua, irmã da Terra, se torna o objeto celeste mais importante, continuamente mudando de fase. As estrelas aparecem como uma miríade de pontos brilhantes, entre as quais os planetas se destacam por seu brilho e movimento. E a curiosidade para saber o que há além do que podemos enxergar é inevitável (Oliveira Filho e Saraiva, 2000: XV).

Devido à poluição luminosa e atmosférica, os habitantes das grandes metrópoles já não podem contemplar o céu em todo seu esplendor. O encantamento provocado pelo céu estrelado, no entanto, ainda pode ser vivenciado em planetários.

Antes de apresentar o breve histórico que vem a seguir, cabe informar que, ao longo do presente texto, a palavra "planetário" aparecerá ora escrito como um substantivo comum (planetário), ora como um substantivo próprio (Planetário). A primeira forma é usada para designar unicamente o projetor de estrelas e a última para identificar o espaço físico como um todo, que recebe o público para sessões na cúpula e outras atividades científico-culturais.

O primeiro planetário foi fabricado na Alemanha em 1923 pela empresa *Carl Zeiss*, resultado de 10 anos de pesquisa. Não só o projetor, mas também a cúpula, com 16 m de diâmetro onde seria instalado o planetário, foi um enorme desafio de engenharia. A reação do público já nas primeiras apresentações foi muito além do esperado. Em poucos meses, o aparelho que conseguia reproduzir de forma fiel o céu e seus movimentos levou milhares de pessoas às apresentações, primeiramente na cidade de Jena, sede da Zeiss e, posteriormente, em Munique onde ele permaneceu instalado por alguns meses. Após esse sucesso, foram feitas várias encomendas à Zeiss (Vieira, 2007). Até o início da II Guerra Mundial havia cerca de 25 planetários no mundo; atualmente há cerca de 3.400 planetários. A maioria está instalada nos Estados Unidos, Japão e Alemanha.

Planetários são equipamentos didáticos por excelência; neles é reproduzido o céu como se visto de qualquer latitude, além da posição precisa do Sol, da Lua e dos planetas em qualquer época. Alguns fenômenos astronômicos como o sol da meia-noite, as estações do ano, os eclipses e as fases da Lua necessitam, para serem plenamente entendidos, de uma abstração muito grande. Para a maioria dos estudantes os desenhos do quadro negro ou do livro não são sufi-

cientes para sua compreensão. Ademais, muitos livros-texto apresentam sérios problemas conceituais (Langhi e Nardi, 2007; Amaral e Vaz de Oliveira, 2011), os quais seguem sendo propagados pelos próprios professores que, por sua vez, também receberam uma formação deficiente. Daí a importância da ida de professores e estudantes ao Planetário quando tópicos de astronomia estão sendo abordados em sala de aula.

As sessões na cúpula são a principal atração de um Planetário. Consistem de apresentações em que são empregados o projetor de estrelas e vários outros projetores auxiliares, procurando reproduzir fenômenos astronômicos. Embora os planetários sejam valiosos instrumentos didáticos, os programas não são necessariamente aulas; as informações podem ser transmitidas de forma lúdica, combinando educação científica e entretenimento. As sessões são conduzidas por um profissional chamado planetarista que, além de operar o planetário, é também o mediador entre o conhecimento científico e o público. As apresentações podem ser a viva voz ou gravadas.

Em sessões a viva voz, o planetarista descreve os fenômenos enquanto opera os equipamentos. Desse modo se consegue maior interação com o público e, também, pode-se abordar tema específico e pontual como o eclipse que vai acontecer na próxima semana, ou comentar notícia que saiu hoje no jornal, ou falar do céu daquela noite. O público em geral aprecia muito esse tipo de apresentação e sente-se mais à vontade para fazer perguntas durante ou após a apresentação.

Nas apresentações gravadas, o programa é previamente gravado e pode ser exibido centenas de vezes. A vantagem é que a produção é mais elaborada, com efeitos e trilha sonora, podendo também ser empregados vários efeitos visuais. Em geral esse tipo de apresentação é mais adequado para o público infantil, onde o conteúdo é transmitido de forma mais lúdica. Mas a desvantagem é que não permite interrupção nem possibilita interação.

Planetários no Brasil

A história dos planetários no Brasil iniciou em 1957. A iniciativa de instalar o planetário da cidade de São Paulo partiu da Associação de Astrônomos Amadores (AAA-SP) capitaneados pelo professor Aristóteles Orsini, que posteriormente viria a ser seu primeiro diretor (ver "Dos tempos do Império aos observatórios robóticos" no Capítulo "Astrônomos amadores" neste Volume). A ideia era que ficasse pronto para as comemorações do IV Centenário da cidade (1954). Consultada a fábrica Zeiss, esta informou que havia um

projetor modelo III pronto, que estava originalmente destinado à cidade de Praga, Tchecoslováquia, cuja venda não havia se concretizado por conta da II Guerra Mundial. Não obstante a sede da Zeiss fosse um dos alvos durante aquele conflito, o aparelho não sofreu qualquer dano. Apesar da chegada do equipamento a São Paulo se dar em 1952, a inauguração do primeiro planetário do Brasil só aconteceu 5 anos depois, quando a cúpula de 20 m foi concluída (Varella, 2004).

Figura 1. Planetário Prof. Aristóteles Orsini, São Paulo, SP.
Foto: Irineu Gomes Varella (2012)

O segundo planetário, o modelo A-2 fabricado pela empresa americana Spitz, foi instalado em 1961 na Escola Naval, Rio de Janeiro. Este foi implantado para instrução dos alunos nas disciplinas de navegação astronômica. Contudo, eram reservados dois dias na semana para atendimento ao público e aos estudantes das escolas públicas e privadas.

Seriam necessários vários anos até que novos planetários fossem instalados no Brasil. Graças ao convênio entre o Ministério da Educação e Cultura (MEC) e a República Democrática Alemã (RDA) foram importados dez planetários: seis do modelo Spacemaster (Figura 2), dois ZKP-1 e dois ZKP-2.

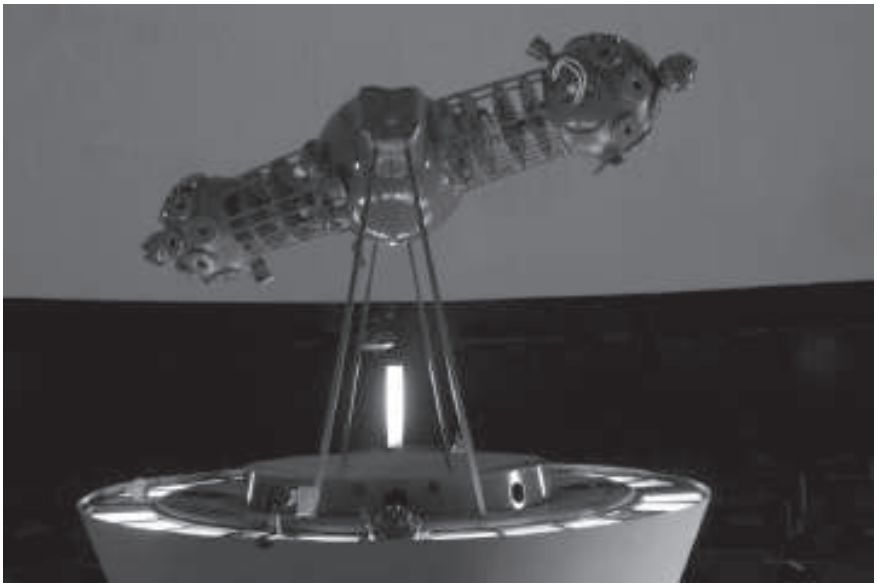


Figura 2. Projetor Zeiss Spacemaster.
Autor: Elizabete Rocha (2009)

A história desse convênio merece ser lembrada. Em 1966 durante visita à RDA, com objetivo de modernizar as instalações da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), o reitor José Mariano da Rocha Filho identificou recursos disponíveis que o governo brasileiro desconhecia, pois os entendimentos prévios com a RDA foram anteriores ao movimento de 1964 e as informações se perderam. Esses recursos se destinavam a equilibrar o saldo da balança comercial. Com a retomada das negociações com a RDA, foi preparado um projeto para equipar as universidades brasileiras, iniciativa bem-sucedida de convencimento daquele reitor junto ao presidente Costa e Silva. Isso daria origem ao convênio MEC-RDA.

A partir daí foram enviadas aos reitores das universidades brasileiras solicitações para que indicassem suas necessidades de equipamentos. Contudo, alguns planetários, além de telescópios e microscópios já haviam sido incluídos numa lista prévia. A distribuição dos planetários naquela época foi principalmente política e Santa Maria só se beneficiou graças ao fato do mentor do projeto ser reitor da UFSM.

O primeiro planetário daquele convênio foi da UFG, Universidade Federal de Goiás (1970) e, como se pode constatar do texto abaixo, extraído do livro "Planetário da Universidade Federal de Goiás: Uma história de Vida", alguns técnicos em posições estratégicas para definição do destino daqueles equipamentos não sabiam claramente o que era um planetário:

> A história do Planetário começou no início da década de 70 com um pedido feito pelo Prof. José Ubiratan de Moura, que na época lecionava a disciplina de Cosmografia para a Geografia. Ele pediu um equipamento chamado telúrio que é um tipo de planetário, um modelo didático simples para colocar em cima de uma mesa, no qual se pode simular o movimento da Terra em torno do Sol em um referencial heliocêntrico. Porém o pedido não foi compreendido pelos técnicos do governo federal e como o MEC estava em negociação com o governo da Alemanha Oriental, Goiânia foi escolhida para receber um planetário (Almeida *et al.*, 2010: 10).

Inspirados, como em São Paulo, na comemoração do IV centenário da cidade do Rio de Janeiro (1965), astrônomos amadores argumentavam que a cidade deveria ter um planetário com mais recursos técnicos que o da Escola Naval. Originalmente o Rio não seria beneficiado pelo convênio MEC-RDA, pois a prioridade eram as universidades federais, mas graças à negociação do então secretário de Ciência e Tecnologia do Estado da Guanabara, Arnaldo Niskier, com o MEC, o projeto foi executado e o planetário inaugurado em novembro de 1970.

Além de Goiânia e Rio de Janeiro, também receberam planetários as seguintes cidades: Florianópolis (1971), Santa Maria, RS (1971), Porto Alegre (1972), Brasília (1974), Curitiba (1978), João Pessoa (1982), Campinas, SP (1987) e Vitória (1995).

Não há dúvidas que convênio MEC-RDA foi bastante exitoso. Seria muito bem-vindo que ações desse tipo fossem mais frequentes, tendo em vista que esses equipamentos são extremamente caros e são poucas as instituições públicas que têm condições de arcar com investimentos dessa ordem.

Os planetários descritos até aqui são classificados como fixos e operam em instalações permanentes. Mas há também os planetários móveis que têm a vantagem, tanto de serem mais baratos quanto de permitirem que esse recurso pedagógico chegue a localidades mais afastadas. Os primeiros surgiram no Brasil em meados dos anos 80. Consistem, em geral, de uma cúpula inflável de 5 m a 7 m de diâmetro em cujo centro encontra-se o projetor de estrelas. Esses planetários podem comportar até cerca de 50 pessoas e prestam serviço extremamente relevante, pois seu público, em geral, não tem acesso a um planetário fixo.

Recentemente passaram a serem empregados no Brasil planetários digitais. Essa tecnologia emprega projetores de vídeo de alto desempenho, além de computadores onde estão armazenados os *softwares* astronômicos e as sessões. O potencial desses equipamentos é muito grande, vários recursos extremamente realistas estão agora disponíveis. Contudo, a qualidade do céu digital é menos impactante que a produzida pelos planetários opto-mecâni-

cos. Por isso alguns optam por sistemas híbridos, nos quais se procura tirar proveito das vantagens dos dois sistemas. Nos planetários digitais podem também ser exibidas apresentações não astronômicas como uma viagem pelo interior do corpo humano ou ao mundo dos dinossauros, contudo essas apresentações não devem ser predominantes, sob o risco de haver a perda de identidade do espaço.

Com o objetivo de obter informações para conhecer, com maior precisão, o panorama nacional dos planetários, foi elaborado um instrumento de levantamento de dados que foi enviado para os planetários, por *e-mail*. Além disso, seguiram-se inúmeros contatos telefônicos para sensibilizar a comunidade planetarista da importância desse levantamento. Por fim, os dados foram complementados através de consulta aos *sites* da ABP (www.planetarios.org.br/), Omnis Lux Astronomia & Projetos Culturais Ltda. (www.omnislux.com.br/) e *Association des Planétariums de Langue Française* (http://aplf-planetariums.info/). Apesar do intenso esforço empreendido nesta pesquisa, é possível que, por falta de informação dos dados, alguns planetários em operação não estejam incluídos na "Tabela de Planetários brasileiros" abaixo e na estatística apresentada a seguir.

	Nome	Tipo	Cidade – UF	Ano inaug.	Gestão	Cúpula (diâmetro/ assentos)	Público anual
1	Planetário Prof. Aristót. Orsini	F	São Paulo – SP	1957	Municipal	18 m/ 300	52.000
2	Planetário da Escola Naval	F	Rio de Janeiro – RJ	1961	Federal	6 m/ 45	4.800
3	Planetário da UFG	F	Goiânia – GO	1970	Federal	12,5 m/ 124	22.000
4	Fund. Planet. Rio de Janeiro Cúp. G. Galilei	F	Rio de Janeiro – RJ	1970	Municipal	12,5 m/ 90	280.000 **
5	Planetário da UFSC	F	Florianópolis – SC	1971	Federal	6 m/ 38	12.350
6	Planetário da UFSM	F	Santa Maria – RS	1971	Federal	12,5 m/ 110	28.940
7	Planetário da UFRGS	F	Porto Alegre – RS	1972	Federal	12,5 m/ 136	40.000
8	Planetário de Brasília	F	Brasília – DF	1974	Distrital	12,5 m/ 140	100.000

9	Observat. e Planetário Col. Estad. Paraná	F	Curitiba – PR	1978	Estadual	6,15 m/ 63	18.000
10	Planetário da Fund. Espaço Cult. Paraíba	F	João Pessoa – PB	1982	Estadual	12,3 m/ 135	28.000
11	Planetário do Observatório Astr. Antares	F	Feira de Santana – BA	1986	Estadual	6 m/ 50	3.530
12	Planetário do MAST	M	Rio de Janeiro – RJ	1986	Federal	7 m/ 30	20.000
13	Planetário do Museu Dinâm. Campinas	F	Campinas – SP	1987	Municipal	8 m/ 61	NI
14	Planetário SBEA	M	São Paulo – SP	1987	Privada	5 m/ 35	NI
15	Planetário da UFES	F	Vitória – ES	1995	Municipal e Federal	10 m/ 80	26.000
16	Planetário Teatro das Estrelas	M	Londrina – PR	1995	Privada	7 m / 55	22.000
17	Fund. Planet. Rio de Janeiro Cúp. C. Sagan	F	Rio de Janeiro – RJ	1998	Municipal	23 m/ 260	(**) Já computado
18	Planetário do Museu C&T PUC/RS	M	Porto Alegre – RS	1998	Privada	5 m/ 20	15.000
19	Planetário Espaço Ciência	F	Olinda – PE	1998	Municipal e Federal	6 m/ 35	NI
20	Planetário Rubens de Azevedo	F	Fortaleza – CE	1999	Estadual	11 m/ 80	53.550
21	Planet. Pará Sebastião Sodré Gama	F	Belém – PA	1999	Estadual	11 m/ 105	NI
22	Planetário Além Paraíba	M	Além Paraíba – MG	1999	Privada	4 m/ 30	7.200
23	Planet. Aster Domus 1	M	São Paulo – SP	1999	Privada	7 m/ 60	NI
24	Planetário Móbile	M	São Paulo – SP	1999	Privada	5 m/ 25	NI
25	Planetário de Tatuí	F	Tatuí – SP	2000	Privada	NI	NI

26	Fund. Centro de Estudos do Universo	F	Brotas – SP	2001	Privada	10 m/ 74	12.000
27	Planetário do Valongo	M	Rio de Janeiro – RJ	2001	Federal	7 m/ 50	3.000
28	Planet. Parque da Ciência	F	Pinhais – PR	2002	Estadual	4 m/ 25	45.000
29	Planetário de Nova Friburgo	F	Nova Friburgo – RJ	2002	Municipal	6 m/ 30	220
30	Planetário CINT	M	Rio de Janeiro – RJ	2002	Privada	7 m/ 50	60.000
31	Planetário Maywaka	M	Macapá – AP	2002	Estadual	6 m/ 40	3.000
32	Planet. Dr. Odorico Nilo Menin Filho	F	Presidente Prudente – SP	2002	Municipal	11,5 m/ 91	NI
33	Planetário Prof. Benedito Rela	F	Itatiba – SP	2003	Municipal	8 m/ 65	NI
34	Planetário Erna Gohl	F	União da Vitória – PR	2003	Privada	3 m/ 25	2700
35	Planetário Cosmos	F	Americana – SP	2005	Municipal	4 m/ 20	NI
36	Planetário do Parque Carmo	F	São Paulo – SP	2006	Municipal	20 m/ 220	NI
37	Planetário da UFOP	M	Ouro Preto – MG	2006	Federal	5 m/ 40	1.600
38	Planetário do Clube Ciência de Frutal	M	Frutal – MG	2006	Privada	5 m/ 35	4.000
39	Planetário de Londrina	F	Londrina – PR	2007	Municipal e Estadual	8 m/ 44	14.000
40	Planetário da UCS	M	Caxias do Sul – RS	2007	Privada	4,9 m/ 27	2.100
41	Planetário de Parnamirim	F	Parnamirim – RN	2008	Municipal	8 m/ 59	24.000
42	Fund. Planet. Rio de Janeiro Cúpula D. Pedro II	F	Rio de Janeiro – RJ	2008	Municipal	12 m/ 88	(**) Já computado
43	Planet. Museu Parque Saber	F	Feira de Santana – BA	2008	Municipal	13 m/ 165	50.000
44	Planetário da UFJF	M	Juiz de Fora – MG	2008	Federal	6 m/ 40	15.000

45	Planetário da Est. Ciência	M	João Pessoa – PB	2008	Municipal	5 m/ 15	NI
46	Planetário da CCTECA Galileu Galilei	F	Aracaju – SE	2009	Municipal	6 m/ 31	19.500
47	Polo Astron. Casimiro M. Filho	F	Foz do Iguaçu – PR	2009	Federal	11 m/ 69	15.369
48	Planetário Tatanka	M	Brasília – DF	2009	Privada	5 m/ 40	20.000
49	Planetário da UFPel	M	Pelotas – RS	2009	Federal	6 m/ 40	1.000
50	Planetário da UNICSUL	M	São Paulo – SP	2009	Privada	6 m/ 50	6.000
51	Planetário da UFU	M	Uberlândia – MG	2009	Federal	6 m/ 30	2.500
52	Planetário da UFLA	M	Lavras – MG	2009	Federal	7 m/ 35	NI
53	Planetário PUC/MG	M	Belo Horizonte – MG	2009	Privada	5 m/ 40	12.000
54	Espaço TIM UFMG do Conhecimento	F	Belo Horizonte – MG	2010	Estadual	9 m/ 65	42.800
55	Planet. Móvel Meteoro	M	São João Nepomuceno – MG	2010	Privada	6 m/ 40	33.500
56	Planetário da UFRR	M	Boa Vista – RR	2010	Federal	8 m/ 40	NI
57	Planetário da Estação Ciência USP	F	São Paulo -SP	2010	Estadual	8,2 m/ 50	NI
58	Planet. Indíg. Museu da Amazônia	F	Manaus – AM	2010	Estadual	NI	NI
59	Hiperlab Equipamentos Científicos	M	São João del Rei (MG)	2010	Privada	5 m/ 60	NI
60	Espaço Ciência e Vida	F	Duque de Caxias (RJ)	2010	Estadual	8 m/ 68	16.469
61	Planetário Johannes Kepler	F	Santo André – SP	2012	OSCIP	18 m/ 247	80.500

62	Planetário de Arapiraca	M	Arapiraca – AL	2012	Municipal	10,5 m/ 70	25.900
63	Uma Nova Astronomia para Todos	M	Bagé – RS	2013	Federal	6 m/ 40	NI
64	Planetário Digital de Anápolis	F	Anápolis-GO	2014	Municipal	6 m/ 40	NI

Tabela de planetários brasileiros
(F: Planetário fixo. M: Planetário móvel. NI: Não informado)

Atualmente existem cerca de 70 planetários no Brasil entre fixos e móveis. O gráfico abaixo mostra o número de novos planetários, por década. Nota-se que ocorreu um crescimento significativo dos planetários entre 2001 e 2010, particularmente dos planetários móveis. Isto ocorreu provavelmente graças ao crescimento econômico do país naquele período e também porque, nesse período, ocorreram alguns editais públicos que fomentaram a aquisição de novos planetários, especialmente os móveis.

	Fixos	**Móveis**	
1951-1960	1	0	
1961-1970	3	0	
1971-1980	5	0	
1981-1990	3	2	
1991-2000	6	5	
2001-2010	18	17	
2011-2013	3	2	
total	**39**	**26**	**65 planetários**

Figura 3. Novos planetários brasileiros por década, desde 1950

A Figura 4 mostra a natureza do órgão gestor aos quais os planetários estão vinculados. Nota-se que mais de 72% são administrados pelo poder público. Uma análise mais detalhada dos dados coletados discriminando fixos e móveis, mostra que há um predomínio da administração pública nos planetários fixos, pois apenas 28% são administrados por empresas privadas ou OSCIP (Organização da Sociedade Civil de Interesse Público). A participação da administração privada aumenta para 54% quando se trata dos planetários móveis. Entre os planetários que atenderam à solicitação para a coleta de dados, quase 30% não informaram seu público anual. Considerando-se apenas os dados informados, pode-se afirmar que os planetários brasileiros recebem anualmente mais de um milhão de pessoas, podendo esse número ser significativamente maior.

GESTÃO	
Municipal	16
Estadual	11
Federal	15
Privada	18
Municipal + Federal	3
Municipal + Estadual	1
OSCIP	1
Distrital	1
Total	**65**

Figura 4. Distribuição dos planetários brasileiros segundo a natureza do órgão gestor das instituições a que estão vinculados. "Distrital" refere-se ao Distrito Federal

A maioria dos planetários brasileiros é filiada à ABP. Criada em 1995, a ABP tem como objetivo congregar os planetários, favorecer a troca de ideias e experiências, estimular a criação de novos planetários e assessorar sua implantação. Em nível mundial há a *International Planetarium Society* (IPS), que congrega planetários e associações regionais. A participação nas reuniões da IPS, além de propiciar a troca de experiências extremamente ricas, permite aos participantes conhecer mais detalhadamente novos equipamentos e produtos. A ABP está sempre representada nas reuniões da IPS e os temas de maior relevância são relatados nos encontros anuais da ABP.

Ensino não formal e divulgação de astronomia

Não chega a ser tarefa difícil sensibilizar o público de maneira geral e estudantes, em particular, para as atividades de ensino e divulgação de astronomia, por esta ser bastante sedutora e mexer com o imaginário como nenhuma outra ciência. Os meios jornalísticos sempre divulgam alguma descoberta recente e o entretenimento também explora muito esse tema.

A astronomia é multidisciplinar. Em um Planetário pode-se explorar além das ciências afins como física, matemática, química e geografia, outras como história, literatura e artes. Os planetários, assim como museus e centros de ciências também podem contribuir para estimular o interesse e o gosto pelas ciências e matemática. Além de o tema ser sedutor, o ambiente de um Planetário também favorece a contemplação e a atenção e, por conseguinte, a assimilação de informação.

Aproximadamente 60% do público anual dos planetários brasileiros provém da comunidade escolar. Não obstante, os planetários brasileiros atenderem quase no limite de sua capacidade, a maioria esmagadora dos estudantes não terá a oportunidade de conhecer um Planetário. O público dos planetários é dividido em duas categorias principais: escolar e público geral. No primeiro as turmas escolares são agendadas previamente e as sessões procuram manter sintonia com o currículo escolar. Já as apresentações para o público visam mais o entretenimento e a divulgação científica.

Em *Learning Science in Informal Environments: People, Places and Pursuits*, Bell *et al.* (2009: 155) discutem os propósitos e interesses dos espaços de educação não formal e do público que os frequenta:

> *When visitors are seen as strangers, the institution focuses primarily on its responsibility and interest in its collection or subject matter and not on the interests or needs of the visiting public. When visitors are viewed as "guests", the institution is inclined to attend to their interests through educational and entertainment activities. Objects and ideas are still central to the institution's values and work, but they also give significant credence to their visitors.*

É, portanto, importante que os espaços de educação não formal avaliem e reavaliem permanentemente seus objetivos e sua relação com o público.

Segundo a teoria do americano especialista em psicologia cognitiva, Jerome Bruner, a aprendizagem é um processo ativo em que os aprendizes constroem novas ideias ou conceitos, baseados em seus conhecimentos prévios. Bruner afirma também que "é possível ensinar qualquer assunto, de uma maneira honesta, a qualquer criança em qualquer estágio de desenvolvimento" (Moreira, 1999: 81). Contudo, a adequação da linguagem científica ao público a que se destinam as sessões de Planetário e atividades complementares deve ocorrer sem prejuízo do rigor conceitual científico. Esse é o grande desafio que planetaristas, palestrantes, astrônomos, curadores e professores convidados enfrentam nos espaços de educação não formal.

Assim como a escola, os espaços de educação não formal também devem refletir sobre sua influência no processo de ensino e aprendizagem, especialmente de seu público escolar. Cada aprendiz tem uma estrutura cognitiva pré-existente, própria, que pode diferir da dos demais, e a estrutura cognitiva de cada pessoa funciona como um ancoradouro para os novos conceitos. Estes, por sua vez, não são simplesmente absorvidos, mas interagem com os conceitos já existentes, alterando a estrutura cognitiva original de cada pessoa (Ausubel *et al*, 1978). Muitos outros referenciais teóricos poderiam

embasar a prática da divulgação e ensino não formal em planetários, mas não é esse o objetivo do presente texto.

Falta, contudo, abordar um aspecto operacional importante: o Planetário como recurso didático inigualável para superação das dificuldades no estudo da dinâmica celeste e, também, como elemento motivador para a aprendizagem. Mesmo sendo um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e atraente do que o da sala de aula, os planetários têm sido utilizados predominantemente apenas como elemento de diversão (Barrio, 2010). Tanto que a ida ao Planetário, independentemente do planejamento didático dos professores é frequentemente referida como "visita" ao Planetário. Esse termo, que geralmente é usado também pelos planetaristas, reforça o aspecto lúdico em detrimento do planejamento escolar. Quando realizada uma única vez durante o período em que o professor aborda conteúdos de astronomia em classe, em geral, a ida ao Planetário é motivadora e lúdica, principalmente porque foge da rotina cotidiana da sala de aula. Entretanto, via de regra, não há um planejamento prévio envolvendo o professor e a equipe do espaço extraescolar para qualificar pedagogicamente a visita. O Planetário pode ser explorado no início da abordagem de conteúdos de astronomia em sala de aula, como um elemento motivador e, principalmente, como organizador prévio. Idealmente, uma visita posterior poderia expandir as fronteiras do conhecimento abordado em sala de aula, provocar novas discussões e interesses pelo tema e despertar vocações científicas.

Os planetários oferecem, além das sessões, outras atividades de divulgação científica como observação telescópica, palestras, oficinas, cursos e exposições.

A observação telescópica é uma das atividades que mais desperta interesse do púbico. Um pequeno telescópio, mesmo num céu metropolitano, permite a observação das crateras lunares, dos satélites de Júpiter, dos anéis de Saturno, além de vários outros astros. Em alguns casos basta a olho nu, identificar estrelas, planetas, **constelações** e satélites artificiais. Durante a observação a interação com o público é muito grande.

Para algumas pessoas as sessões de Planetário não são suficientes para saciar seu interesse e sua curiosidade. Por isso, os planetários oferecem cursos de iniciação científica e oficinas, atividades estas caracterizadas pela informalidade e interatividade com o público. Novamente aqui o projetor de estrelas é também a estrela principal. Os cursos que mais atraem tratam da identificação das estrelas e **constelações**, sistema solar e **cosmologia**.

Alguns planetários reservam um espaço para exposições. Painéis fotográficos com legendas curtas e maquetes não só divulgam como também entretêm o público enquanto aguardam a sessão.

Conclusões

O Brasil é um país com dimensões quase continentais, habitado por um povo que exibe grande diversidade étnica e cultural e que se distribui geograficamente de forma não uniforme no território nacional. As regiões sul e sudeste são as de maior densidade demográfica, enquanto as regiões centro-oeste e norte apresentam densidade muito inferior. O mapa da Figura 5 mostra a distribuição geográfica dos planetários em todo o país. Como se pode observar, a região mais populosa, a sudeste, concentra o maior número de planetários. Já as regiões norte e centro-oeste estão praticamente desprovidas deste fantástico recurso. O mesmo acontece em algumas capitais e cidades populosas do país. Particularmente quanto à interiorização dos planetários, se analisados os projetos em curso, não há perspectiva de mudança desse quadro. Convém ressaltar que, dada à concentração de planetários em algumas cidades ou estados, não foi possível representar, com precisão, a localização deles no mapa.

Figura 5. Distribuição dos planetários pelo Brasil

Para criar novos planetários são necessários o engajamento da sociedade local e o real interesse da instituição a que o planetário ficará vinculado, pois o mesmo deverá permanecer em funcionamento independentemente das alterações nas gestões políticas da instituição. Além dos equipamentos serem caros, há necessidade de profissionais qualificados que não podem ficar a mercê de interesses que ponham em risco a continuidade do atendimento.

Tão importante como a instalação de novos planetários brasileiros é a atualização tecnológica dos pré-existentes. Alguns estão em operação há décadas e, provavelmente em poucos anos, ficarão totalmente inoperantes devido ao desgaste de componentes críticos, não mais comercializados.

Ademais é preciso melhorar a capacitação dos planetaristas e criar mecanismos de incentivo à sua permanência. Não há ainda um curso para capacitação de planetarista; em geral, se aprende no dia a dia com alguém mais experiente. É fundamental que haja um curso, mesmo que parcialmente não presencial, para capacitar os futuros planetaristas ou atualizar a formação dos já existentes.

É por iniciativa dos professores que os estudantes frequentam o Planetário e, é por meio deles que os conceitos astronômicos podem ser incorporados à estrutura cognitiva dos alunos de forma mais clara e correta. Oferecer cursos de capacitação em astronomia para professores e estimular atividades prévias e posteriores à visita podem favorecer a aprendizagem significativa e despertar o interesse dos estudantes para a área científica. Conscientizar os professores para que tratem a ida ao Planetário não como uma visita, mas sim como uma atividade complementar da sala de aula inserida em seu planejamento didático, é uma meta a ser perseguida.

O número expressivo do público que os planetários brasileiros recebem anualmente é apenas um dos indicadores que devem ser considerados em um processo de avaliação do sucesso dos mesmos. Para avaliar se os objetivos primordiais dos planetários — ensinar, divulgar e encantar — são atingidos, são necessários mecanismos e estratégias embasados em pesquisas, mas ainda são poucos os trabalhos nessa área: Bishop, 1979; Riordan, 1991; Barrio, 2005 e outros.

Nos dias atuais, em que a educação nacional demonstra sua fragilidade nas avaliações realizadas pela Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) e pelo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), é preciso que a comunidade acadêmica se mobilize para alterar nossa realidade educacional. Considerando que vários planetários brasileiros estão vinculados às universidades, esperar-se-ia que muitos trabalhos de conclusão de curso, especialmente os de licenciatura, fossem desenvolvidos nesses planetários. O mesmo deveria acontecer com os programas de mestrado, principalmente os de caráter profissional. Como apontado por Barrio (2010), algumas iniciativas de pesquisas em planetários, ainda que de forma tímida, passaram a se desenvolver em alguns poucos planetários brasileiros.

Neste início de século um grande desafio operacional se impõe para o sistema educacional brasileiro — o da inclusão. O primeiro parágrafo do Artigo XXVII da Declaração dos Direitos Humanos, em 1948, estabelece que "Todo ser humano tem o direito de participar livremente da vida cultural da

comunidade, de fruir das artes e de participar no progresso científico e de seus benefícios" (ONU, 1948). Espaços de educação não formal e informal estão em processo de adequação da infraestrutura física e de propostas pedagógicas para atendimento aos portadores de necessidades especiais, como exemplificado nos trabalhos de Ortiz-Gil *et al.* (2009), Dominici *et al.* (2008) e Zanatta *et al.* (2011). No questionário para levantamento de dados enviado aos planetários foram incluídas questões sobre acessibilidade e as respostas demonstraram que, no que diz respeito às sessões para esse público especial, os avanços ainda são incipientes.

A divulgação e popularização da ciência é um compromisso social e político importante tendo em vista, principalmente, o grande avanço científico e tecnológico dos últimos anos. É fascinante poder viver este período da história humana de incessante busca e aprimoramento de conhecimentos e de descobertas de novos corpos celestes e novos fenômenos. Já são tantos os planetas detectados fora do nosso sistema solar, orbitando outras estrelas que, num futuro não muito longínquo, talvez o ser humano venha a descobrir que existem outros planetas como a Terra, orbitando estrelas como o nosso Sol e, quem sabe, que também não estamos sós no Universo. E, em linguagem científica apurada e adequada, os planetários contarão essa história para todos!

Referências

Almeida, S. A.; Sobreira, P. H. A.; Barrio, J. B. M. e Martins, C. S. (2010), *Planetário da Universidade Federal de Goiás: uma história de vida*, Goiânia: Editora Vieira.

Amaral, Patrícia e Vaz de Oliveira, Carlos Eduardo Quintanilha (2011), "Astronomia nos livros didáticos de Ciências — uma análise do PNLD 2008", *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia,* 12, 31-55.

Ausubel, D. P.; Novak, J. D. and Hanesian, H. (1978), *Educational psychology: a cognitive view*, 2nd ed., New York: Holt, Rinehart and Winston.

Barrio, Juan Bernardino Marques (2005), *El Planetario: un recurso didáctico para la enseñanza de la Asronomia*, España: Proquest Information and learning.

_____ (2010), "A Investigação Educativa em Astronomia", Cap. 8 *in* M. D. Longhini (Org.), *Educação em Astronomia: experiências e contribuições para a prática pedagógica,* 159-178, Campinas: Editora Átomo.

Bell, P.; Lewestein, B.; Shouse, A. W. and Feder, M. A., Eds. (2009), *Learning Science in Informal Environments: People, Places and Pursuits,* Committee on Learning Science in Informal Environments, National Research Council, Washington: National Research

Press (http://www.nap.edu/catalog/12190.html, acesso em 14/3/13.

Bishop, J. E. (1979), Educational Value of the Planetarium, *The Planetarian*, 8, 1, 7.

Dominici, T. P.; Oliveira, E.; Sarraf, V. e Del Guerra, F. (2008), "Atividades de observação e identificação do céu adaptadas às pessoas com deficiência visual", *Rev. Bras. Ensino de Física*, 30, 4, 4501-4508.

Langhi, Rodolfo e Nardi, Roberto (2007), "Ensino em Astronomia: erros conceituais mais comuns presentes em livros didáticos de ciências", *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24, 1, 86-111.

Moreira, Marco Antonio (1999), *Teorias de Aprendizagem,* São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.

_____ (2005), *Aprendizagem Significativa Crítica,* Porto Alegre: Associação Brasileira de Planetários (http://www.planetarios.org.br/, acesso em 15/3/13.

Oliveira Filho, Kepler de Souza e Saraiva, Maria de Fátima Oliveira (2000), *Astronomia e Astrofísica,* Porto Alegre: Editora UFRGS.

ONU (1948), *Declaração Internacional de Direitos Humanos* (www.onu-brasil.org.br/documentos_direitoshumanos.php, acesso em 2/2/13.

Ortiz-Gil, A.; Blay, P.; Gallego Calvente, A. T.; Gómez Collado, M.; Guirado, J. C.; Lanzara, M. and Matínez Nuñez, S. (2009), Astronomical activities with disabled people *in* D. Valls-Gabaud & A. Boksenberg (Eds.), The Role of Astronomy in Society and Culture, *Proceedings IAU Symposium No. 260,* 490-493, Cambridge: Cambridge University Press.

Riordan, R. (1991), Planetarium education: a review of literature, *The Planetarian,* 20, 3, 18-26.

Sagan, Carl (1996), *O Mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro,* São Paulo: Companhia das Letras.

Varella, Paulo Gomes (2004), "O Planetário a Escola Municipal de Astrofísica de São Paulo", *in* Oscar T. Matsuura (Org.), *Astronomia na Cidade de São Paulo*, CD-ROM comemorativo dos 450 anos de São Paulo, São Paulo: Planetário e Escola Municipal de Astrofísica Prof. Aristóteles Orsini.

Vieira, Cassio Leite (2007), "A invenção do planetário", Cap. 2 *in* N. M. Santos (Org.), *Memória do Planetário do Rio de Janeiro: Astronomia Para Todos*, 32-55, Rio de Janeiro: Fundação Planetário da Cidade do Rio de Janeiro.

Zanatta, C. V.; Steffani, M. H.; Mianes, F. L. e Galon da Silva, C. E. (2011), "Esticando horizontes: astronomia e artes no ensino de deficientes visuais", *Revista da Extensão UFRGS*, 3, 30-35 (http://issuu.com/extensaoufrgs/docs/rev_ext_web?mode=window&viewMode=doublePage, acesso em 16/4/13.

Capítulo 14

OLIMPÍADAS DE ASTRONOMIA

Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA)

João Batista Garcia Canalle (IF/UERJ)

Descrevemos a fundação da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA), sua consolidação e crescimento, a inclusão da astronáutica, os múltiplos desdobramentos da OBA em eventos decorrentes dela, tais como a organização da Mostra Brasileira de Foguetes, a Jornada Espacial, a Jornada de Foguetes, a participação brasileira na Olimpíada Internacional de Astronomia e Astrofísica e a fundação da Olimpíada Latino--Americana de Astronomia e Astronáutica visando à multiplicação nos países latino-americanos da bem-sucedida experiência brasileira de quinze anos de organização da OBA.

Nascimento da OBA

No início de 1998 Daniel Fonseca Lavouras, formado em engenharia aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), dava aulas de física no Sistema Titular de Ensino na cidade de Belém, PA, quando ficou sabendo que havia uma Olimpíada Internacional de Astronomia (IAO, sigla em inglês), realizada anualmente na Rússia, na região do Cáucaso, junto ao maior telescópio daquele país.

Ele contatou o Comitê Organizador da IAO na pessoa de Michail Gavrilov e foi informado que não havia nenhuma manifestação por parte do Brasil para participar do evento. Foi pedida então autorização a esse comitê para que, preliminarmente, o Sistema Titular de Ensino se responsabilizasse pela tentativa de representar o Brasil no evento. Esta autorização foi concedida em 2 de junho de 1998. No entanto, a III IAO seria realizada em outubro do mesmo ano, ou seja, em menos de quatro meses (Lavouras e Canalle, 1999)!

De posse de um convite oficial, foi constituída uma comissão organizadora e feito um grande esforço para que uma entidade representativa de nível nacional assumisse a coordenação da Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA), porém nenhuma das instituições aceitou o encargo devido ao exíguo tempo disponível. A Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) manifestou apoio preliminar em 14 de julho, mas recuou após avaliação mais cautelosa em sua Reunião Anual no início de agosto. Contudo, a Universidade do Estado do Pará (UEPA) acolheu a ideia que veio ao encontro dos interesses do projeto do Planetário de Belém, que seria em breve inaugurado naquela cidade. Foi estabelecida, assim, parceria entre a UEPA e o Sistema Titular de Ensino, que energizou o processo e garantiu a continuidade dos trabalhos para realizar a I OBA. A Comissão Organizadora da I OBA foi constituída com membros do Planetário de Belém (UEPA), do Sistema Titular de Ensino de Belém e do Sistema Elite de Ensino do Rio de Janeiro, Recife, Niterói, Curitiba e Campinas.

Mesmo assim, ainda pairavam dúvidas se não seria melhor adiar a participação para 1999, para contar com maior planejamento e envolvimento de entidades e pessoas de maior competência. Decidiram, contudo, seguir em frente e assumir os desgastes e as falhas que seriam cometidas no decorrer do processo.

Ficou definido que a I OBA seria realizada em 22 de agosto, tendo em vista que a data-limite de confirmação para participação na III IAO expiraria em 5 de setembro de 1998.

A documentação de divulgação da I OBA começou a ser formalmente enviada por correio eletrônico em 15 de julho. No período anterior preparou-se um *mailing list* com endereços eletrônicos de astrônomos, colégios, professo-

res, observatórios, planetários, secretarias estaduais de educação, jornais, revistas, enfim, tudo que pudesse tornar a divulgação o mais efetiva possível.

Com o apoio da UEPA foram confeccionados cartazes que ficaram prontos em 5 de agosto e foram imediatamente enviados pelo correio aos representantes já cadastrados. Infelizmente alguns locais receberam os cartazes com pouco tempo disponível para a divulgação, ou os receberam depois da data da prova! Porém, todos tiveram a clareza de que a olimpíada, muito mais que uma competição, era uma maneira de despertar a curiosidade científica nos jovens. Pretendia-se utilizar a OBA como um recurso pedagógico, um instrumento que, muito mais do que premiar os melhores estudantes, atingisse o objetivo de cativar o interesse dos jovens pela ciência. A prova deveria ser interessante e que não afastasse o estudante pela falta do conhecimento necessário. O desafio era grande. Sem dúvida, o evento poderia servir também para revelar talentos precoces, promover a astronomia e unir as pessoas que se empenhavam no ensino e popularização da astronomia.

A I OBA foi realizada no sábado, 22 de agosto de 1998, às 14h, com aplicação simultânea em todo o país da prova com questões de astronomia e temas relacionados. A prova teve dois níveis: nível 1 para estudantes de até 16 anos e nível 2 para estudantes de até 18 anos, pois estes eram os critérios para se participar da IAO. Ou seja, foram elaboradas duas provas, uma ao nível dos alunos do ensino fundamental e outra ao nível dos alunos do ensino médio.

A execução da I OBA ficou a cargo da UEPA e do Sistema Elite de Ensino, este representado em Belém pelo Sistema Titular de Ensino.

Eis um resumo dos resultados obtidos: 1) cerca de 150 escolas/instituições em doze estados foram contatadas; 2) 53 demonstraram interesse pelo evento e indicaram um professor representante; 3) 34 delas entraram na lista para receberem cartazes; 4) a prova foi efetivamente aplicada para alunos de 21 instituições em 8 cidades; 5) a maior participação foi a do Colégio Olavo Bilac, de São José dos Campos, SP, onde 53 alunos se inscreveram para participar e 35 realizaram a prova; 6) em Belém, onde houve mais divulgação (TV e jornais), 35 alunos se inscreveram para participar do evento e 17 compareceram à prova. Houve outros participantes, mas não se tem as estatísticas deles.

Apesar das dificuldades, do curto intervalo de tempo, da falta de recursos, o fato é que foi realizada a I OBA e uma equipe foi constituída para participar da III IAO. Nascia assim a OBA.

Porém, os problemas da I OBA ainda não tinham terminado, pois ainda faltava participar da IAO na Rússia.

A histórica equipe de alunos que representaria o Brasil na III IAO estava composta por dois alunos de São José dos Campos, SP, dois de Belém, PA, e

um de Castanhal, PA. Além dos cinco alunos era necessário que dois professores os acompanhassem e pelo menos um deles deveria ser um astrônomo. Nesse momento Daniel Lavouras entrou novamente em contato com a SAB e foi encaminhado para falar com o coordenador da Comissão de Ensino da SAB (CESAB), presidida na época pelo autor deste Capítulo. Este aceitou de imediato o convite para participar, como segundo líder da equipe, com Daniel Lavouras.

A III IAO seria realizada no *Special Astrophysical Observatory — Russian Academy of Sciences* (SAO RAS) na cidade de Nizhnij Arkhyz, no Cáucaso, em 1998. Além das passagens era necessário pagar a taxa de inscrição de US$ 300.00 para cada aluno e professor. Os recursos financeiros para a viagem foram obtidos com as famílias e escolas dos alunos. O Sistema Titular de Ensino pagou a passagem de Daniel Lavouras e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pagou a passagem e demais despesas do segundo líder da equipe que lá trabalhava desde 1995.

Apesar da intenção inicial de 20 países participarem do evento, devido provavelmente às instabilidades sociais e econômicas da Rússia, acabaram participando apenas as equipes da Rússia (Moscou), Bulgária, república do Komi (Federação Russa), Índia e Brasil, cada uma com cinco participantes, além de dois observadores da Dinamarca.

O ambiente da olimpíada foi mais de confraternização do que de competição, pois os alunos do hemisfério norte ajudavam os alunos do hemisfério sul a reconhecerem o céu daquele hemisfério. No fim não houve perdedores, pois todos foram, de alguma forma, ganhadores: de uma experiência nova, de um estímulo para estudar mais e crescer, e ainda da possibilidade de ver que objetivos que pareciam longínquos podem ser realmente atingidos. Os objetivos primordiais da olimpíada não eram de eleger campeões, mas sim de estimular o estudo da astronomia entre os jovens e propiciar a confraternização entre os jovens dos diversos países, e isso foi conseguido.

Os estudantes tiveram também a oportunidade de participar de uma programação de cinco dias que incluiu visita a um dos maiores observatórios astronômicos do mundo, o SAO RAS com espelho principal de 6 m de diâmetro, e ao radiotelescópio RATAN-600 cuja antena circular tem 576 m de diâmetro. O evento também foi válido, inclusive para os acompanhantes, na medida em que foram trocadas experiências com outros países onde olimpíadas de astronomia e outras ciências são prestigiadas como instrumentos de reconhecida eficiência para inculcar o interesse científico nos jovens. Durante a viagem os estudantes puderam conhecer o Kremlin e a Praça Vermelha em Moscou. A necessária conexão em Londres permitiu também visita ao Museu de Ciência

de Londres, onde os estudantes puderam apreciar as galerias de Exploração do Espaço **Óptica** e Energia Nuclear, entre outras.

Apesar da falta de condições para treinarmos nossa equipe, ainda assim um brasileiro conquistou a medalha de bronze na III IAO para alegria de todos. Além disso, estava automaticamente convidada para participar da IV IAO no ano seguinte.

A astrônoma líder da equipe da Bulgária ao retornar ao seu país, após a III IAO, resumiu perfeitamente as impressões de todos os participantes daquele evento (correspondência privada):

> *Finally, the competition itself, the results and the awards are important of course, but much more valuable are the new friends from so distant countries, the unique impressions of the famous Astrophysical Observatory, the special spirit there, the contacts with professional astronomers and teachers so enthusiastically involved in explaining interesting things about the telescopes as well as the historical monuments in the region, creating the problems and organizing the olympiad. As a team leader, I am fond of the friendly atmosphere and the lucky chance to meet and work with all these people. Now, when we are already back home in Brazil, Bulgaria, Denmark, India and Russia our talks and discussions are still going on via e-mail and I hope we will keep working together for the fruitful idea of the International Astronomical Olympiads aimed at improving the astronomical education of the children in our countries and attracting the most talented of them to professional astronomical careers.* Eva Stefanova Bojurova, Astronomical Observatory & Planetarium "N. Copernicus", Varna, Bulgaria.

A ida dos cinco estudantes à Rússia e a conquista de medalha de bronze foi fundamental para coroar a I OBA e, assim, fortalecer a decisão de se organizar a II OBA em 1999. A OBA assim se consolidava.

Mutirão para a II OBA

Analisando os resultados da I OBA (Lavouras e Canalle, 1999), a Diretoria da SAB decidiu encarregar a CESAB de organizar a II OBA em 1999. A CESAB constituiu a Comissão Organizadora da II OBA, cuja primeira ação foi redigir o Regulamento da II OBA.

Nessa ocasião foi decido que o ideal seria dividir os alunos, não em apenas dois níveis (ensino fundamental e ensino médio como foi feito na I OBA), mas em três níveis:

- Nível 1 para alunos do 1º ao 5º ano do ensino fundamental (no regime de nove anos)
- Nível 2 para alunos do 6º ao 9º ano do ensino fundamental (no regime de nove anos)
- Nível 3 para alunos de qualquer série do ensino médio.

Devido à total ausência de recursos financeiros, foi solicitada a colaboração de voluntários para a tarefa de divulgar o evento. Para isso foi instituída a figura do "Representante Regional da II OBA" e foram convidados todos os membros da SAB, Sociedade Brasileira de Física (SBF), sociedades de astrônomos amadores, clubes, museus e centros de ciências, bem como todos os astrônomos amadores e estudantes (e ex-estudantes) de cursos de astronomia (de extensão ou não). Responderam positivamente a este convite 430 pessoas. A cada um dos 430 representantes regionais atribuímos um conjunto de escolas para as quais eles deveriam enviar correspondência (com recursos de suas instituições) ou visitar divulgando a II OBA, pois não havia nenhum recurso público disponível.

O trabalho deste contingente de voluntários, trabalhando em mutirão, resultou em 1.171 estabelecimentos de ensino cadastrados para realizarem a II OBA. A todos esses estabelecimentos de ensino foram enviadas as provas da II OBA e demais orientações. Como resultado, tivemos 15.481 alunos pertencentes a 597 estabelecimentos de ensino, distribuídos por 22 estados, incluído o DF, participando da II OBA, o que foi uma grande vitória e nos motivou a continuarmos a organizar a III OBA em 2000 (Canalle *et al.*, 2000). A II OBA iniciou seus trabalhos sem nenhum recurso financeiro, de modo que o envio inicial de milhares de correspondências foi feito graças às colaborações do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST/MCT), Observatório Nacional (ON/MCT), UERJ e principalmente do mutirão de voluntários.

Concluída a II OBA, foram novamente selecionados cinco alunos entre aqueles de maior nota e dentro da faixa etária exigida pelas regras da IAO para constituírem a equipe que representou o Brasil naquela olimpíada organizada pela Sociedade Astronômica Euro-Asiática (Nielsen, 2000), realizada na Ucrânia em 1999 no Observatório Astrofísico da Criméia e no Laboratório Astrofísico da Criméia do Instituto Astronômico Sternberg, da Universidade de Moscou.

A equipe brasileira foi liderada pelos astrônomos João Batista Garcia Canalle e Lilia Irmeli Arany-Prado (Observatório do Valongo, OV, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ) e por alunos de São José dos Campos, SP, Rio de Janeiro, RJ, Votorantim, SP, Piracicaba, SP e Belém, PA. Para felicidade

de todos, o mesmo brasileiro que tinha conquistado a medalha de bronze no ano anterior conquistou, desta vez, a medalha de prata e assim o Brasil estava automaticamente habilitado para participar da V IAO de 2000.

O suporte financeiro para a participação da equipe brasileira na IV IAO foi dado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação VITAE e UERJ. Portanto tinha sido encontrada uma forma de organizar a OBA, embora precária, mas que possibilitaria realizar a III OBA em 2000.

Ao organizar a II OBA percebeu-se que os representantes nas escolas estavam estimulados, porém, por não terem a formação adequada em astronomia, sentiam-se inseguros. Percebeu-se também que usavam livros didáticos para estudarem astronomia antes de ensinar aos alunos, mas infelizmente esses livros tinham muitos erros conceituais. Além disso, era preciso mostrar gratidão e reconhecimento ao professor e ao aluno por terem participado da OBA. Assim, a Comissão Organizadora da II OBA enviou a todas as editoras do Brasil cartas pedindo doação de livros, revistas, vídeos, CDs etc., com conteúdos de astronomia, ou não. Foram recebidos cerca de 400 itens entre revistas, livros, livretos, vídeos, binóculos, lunetas, assinaturas de revistas e globos terrestres para serem distribuídos entre os alunos que receberam medalhas. Foram impressos também certificados para todos os participantes. E aos que obtiveram medalhas, este fato constou do certificado.

Ao contrário das competições esportivas, onde se premia apenas os três primeiros classificados, na II OBA foram distribuídas 1.672 medalhas entre os participantes. Também os professores representantes nas escolas, bem como os representantes regionais receberam seus respectivos certificados de participação. Ou seja, medalhas e brindes foram distribuídos para motivar os participantes. Isso satisfez a todos e acabou virando uma tradição na OBA. Em 2012 foram enviadas 27 toneladas de materiais diversos entre livros, planisférios[1], revistas, etc. para as escolas participantes da XV OBA. Entre 2010 e 2011 foram enviadas 17 mil lunetas para as escolas participantes.

Porém, o mais importante foi que durante os trabalhos da II OBA ficou evidenciado que a OBA: a) contribuiu para desenvolver o estudo da ciência astronômica em todo o Brasil; b) incentivou muito a população estudantil no aprofundamento dos estudos da ciência astronômica, pois tinham uma motivação lúdica; c) é um veículo extremamente profícuo, inclusive para contestar

[1] O planisfério consiste num mapa celeste desenhado num disco, sendo esse disco acoplado a uma máscara que gira sobre ele deixando à mostra a porção do céu visível de uma certa latitude numa determinada hora de uma determinada data do ano.

conhecimentos errôneos advindos do "bom senso" ou do livro didático; d) incentivou os professores responsáveis pelo ensino dos conteúdos de astronomia no ensino médio e fundamental a se atualizarem para melhor poderem atender aos anseios de boa classificação dos seus alunos, pois tivemos pela primeira vez um número expressivo de participantes no IV Encontro Brasileiro de Ensino de Astronomia, realizado no Planetário do Rio de Janeiro na primeira semana de dezembro de 1999; e) estimulou o nascimento de clubes de astronomia ou clubes de astrônomos amadores; f) envolveu os professores dos conteúdos de astronomia, seus coordenadores pedagógicos e diretores num mutirão de caráter nacional em prol do ensino da astronomia, pois tiveram que preparar cursos "de férias" ou especiais para seus alunos participarem da II OBA sem fazer "feio"; g) estreitou os contatos entre os astrônomos profissionais do Brasil que constituem a SAB (ver o Capítulo "Organização da comunidade astronômica" neste Volume), astrônomos amadores (ver o Capítulo "Astrônomos amadores" neste Volume) e planetaristas (ver "Planetários" no Capítulo "Divulgação e educação não formal na astronomia" neste Volume) com os professores do ensino médio e fundamental, responsáveis pelo ensino dos conteúdos de astronomia, pois pela primeira vez todos eles estiveram reunidos no IV Encontro Brasileiro de Ensino de Astronomia; e h) estimulou a visitação aos planetários fixos e móveis, como relataram os diretores dos planetários brasileiros reunidos na IV Reunião Anual da ABP (Associação Brasileira de Planetários). Além disso, a possibilidade de o aluno ser selecionado para representar o Brasil na IAO foi elemento fortemente motivador para a participação dos alunos na II OBA, e o recebimento de certificado de participação e/ou de medalha num evento de caráter nacional para jovens desta faixa etária (ensino médio e fundamental) se mostrou extremamente motivador para eles se dedicarem ao estudo de astronomia. Não há dúvida de que este tipo de evento tem um potencial de estímulo aos estudos que pouco tem sido explorado no Brasil.

Diante dessas evidências e tendo encontrado algumas pequenas fontes de financiamento, a comissão organizadora não teve dúvida de que deveria dar continuidade à organização da OBA.

Escola de astronomia

Ano a ano a OBA continuou crescendo. Na sua terceira edição em 2000, já participaram 23.913 alunos distribuídos por todos os 26 estados e o Distrito Federal. A delegação brasileira foi à V IAO na Rússia, desta vez com o presidente em exercício da SAB, José Renan de Medeiros. O brasileiro que já tinha conquistado a medalha de bronze em 1998 e de prata em 1999 conseguiu a de bronze em 2000.

Contudo, nas três primeiras participações na IAO, o processo de seleção dos membros da equipe era baseado só na nota obtida na prova da OBA, e não era dado nenhum treinamento adicional aos alunos. A partir de 2001, na IV OBA decidiu-se selecionar a equipe internacional numa segunda fase. Nascia, portanto, uma primeira iniciativa da OBA para promover a capacitação de seus participantes: a Escola de Astronomia (Canalle *et al.*, 2002a).

Para selecionar os cinco alunos que iriam à IAO foi convidado um grupo de 22 alunos que participaram da IV OBA, do nível 3 (ensino médio na ocasião), entre aqueles que obtiveram as melhores notas. Esse grupo de alunos foi reunido num hotel em Águas de São Pedro, SP, em agosto de 2001. O hotel foi pago com recursos da FAPERJ. A escolha do local e período foi porque, ao lado desse hotel e no mesmo período, seria realizada a XXVII Reunião Anual da SAB e as aulas e palestras para os alunos seriam ministradas pelos astrônomos da SAB. Dessa forma não haveria custos adicionais com os palestrantes e os alunos ganhariam uma boa ideia das atividades que estavam sendo desenvolvidas pelos astrônomos brasileiros. A primeira experiência, que foi denominada Escola de Astronomia, foi um sucesso e a partir daí continuou sendo organizada e ampliada anualmente.

Hoje essa escola é um longo curso à distância que termina fazendo a seleção dos participantes brasileiros nas competições internacionais.

IAO – IOAA

Desde a primeira edição da OBA em 1998 o Brasil participou da IAO até 2007 tendo ganhado pelo menos uma medalha em cada participação (Tabela 1).

Ano	IAO	Local	Medalhas de ouro	Medalhas de prata	Medalhas de bronze	Total de medalhas	Medalhas acumuladas
1998	III	Rússia	0	0	1	1	1
1999	IV	Ucrânia	0	1	0	1	2
2000	V	Rússia	0	0	1	1	3
2001	VI	Rússia	–	–	–	–	3

2002	VII	Ucrânia	0	0	2	2	5
2003	VIII	Suécia	0	1	1	2	7
2004	IX	Rússia	0	1	2	3	10
2005	X	China	1	0	0	1	11
2006	XI	Índia	0	1	1	2	13
2007	XII	Ucrânia	0	1	1	2	15

Tabela 1. Medalhas obtidas pelo Brasil na IAO. Em 2001 não houve participação devido ao ataque terrorista de 11 de setembro nos EUA

Em 2007 o Brasil participou da fundação da Olimpíada Internacional de Astronomia e Astrofísica (IOAA, sigla em inglês) e participou da mesma sendo que, a partir de 2008, não participou mais da IAO por discordar, como muitos outros países, do gerenciamento da mesma.

A I IOAA foi realizada na Tailândia em 2007. Os 21 países participantes daquele evento de fundação foram: Azerbaijão, Bangladesh, Belarus, Bolívia, Brasil, China, Grécia, Índia, Indonésia, Irã, Coreia do Sul, Laos, Lituânia, Myanmar, Polônia, Romênia, Singapura, Eslováquia, Sri Lanka, Tailândia e Ucrânia. A II IOAA foi realizada em 2008 em Bandung, Indonésia, e teve a participação de 22 países, sendo que Camboja e Malásia participaram pela primeira vez. A III IOAA foi realizada em 2009 em Teerã, Irã. Participaram 20 países, sendo que Cazaquistão e Sérvia participaram pela primeira vez. A IV IOAA ocorreu em 2010 em Pequim, China, com a presença de 23 países. A V IOAA foi realizada em 2011 na Polônia, pela primeira vez na Europa com a presença de 26 países.

Faz parte do regulamento da IOAA que todo país participante deve um dia organizar a IOAA em seu país. O Brasil se ofereceu para organizar a IOAA de 2009, Ano Internacional da Astronomia (AIA) no qual seria realizada no Brasil, pela primeira vez, a Assembleia Geral da União Astronômica Internacional (IAU, em inglês)[2]. Infelizmente isso não foi possível naquele ano, mas a VI IOAA foi realizada nas cidades do Rio de Janeiro, Vassouras, RJ, e Barra do Piraí, RJ, de 4 a 14 de agosto de 2012, com 28 países participantes.

[2] Ver o Capítulo "Assembleia Geral da IAU no Rio de Janeiro" neste Volume.

A Comissão Organizadora Local foi coordenada pela líder da equipe brasileira em todas as IOAAs, Thais Mothé Diniz (OV/UFRJ), que conseguiu a colaboração de muitas pessoas das seguintes instituições: ON, Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Planetário da Cidade do Rio de Janeiro, SAB, MAST, AEB (Agência Espacial Brasileira), OBA, CCD (ver adiante) e o grupo de astronomia amadora NGC-51.

A VI IOAA contou principalmente com recursos financeiros do CNPq e FAPERJ, mas também das instituições acima mencionadas. Diversos outros eventos foram realizados simultaneamente em Vassouras para que a população local pudesse também tirar proveito desse acontecimento. Escolas da região receberam a doação dos 20 telescópios usados na VI IOAA.

Por ser o país-sede, o Brasil pôde participar da VI IOAA com duas equipes. A Tabela 2 mostra as medalhas obtidas pelo Brasil na IOAA desde a sua fundação.

Ano	IOAA	Local	Medalhas de ouro	Medalhas de prata	Medalhas de bronze	Total de medalhas	Medalhas acumuladas
2007	I	Tailândia	0	1	1	2	2
2008	II	China	0	1	1	2	4
2009	III	Irã	0	1	1	2	6
2010	IV	China	0	1	3	4	10
2011	V	Polônia	0	0	2	2	12
2012	VI	Brasil	0	2	1	3	15

Tabela 2. Medalhas obtidas pelo Brasil na IOAA desde a sua fundação

CCD: colaboração de ex-alunos

Em 2004, na VII OBA, já eram selecionados 50 alunos para a segunda fase, em geral em agosto para a equipe participar da IAO no ano seguinte. Com mais tempo para o treinamento e tendo já seis anos de experiência em OBAs e IAOs, um grupo de ex-alunos medalhistas da OBA e participantes de IAOs se dispôs

espontaneamente a colaborar no treinamento dos alunos da segunda fase. Esses alunos se autodenominaram CCD significando "Comitê de Colaboradores Discentes", sigla conhecida na astronomia de *Charge Coupled Device* que tem por finalidade coletar fótons e transformá-los em informação. De certa forma o CCD da OBA faz algo similar, mas ao inverso, pois coleta os novos participantes da OBA para dar-lhes informações.

Em 2004 os 50 alunos da segunda fase foram reunidos de 8 a 12 de agosto em São Pedro, SP. Durante esse período ocorreu no mesmo local a XXX Reunião Anual da SAB e, novamente, a presença dos astrônomos profissionais foi aproveitada para ministrarem aulas e minicursos para os alunos da segunda fase. Esse grupo de alunos foi mantido em contato com os membros do CCD até que foram reunidos em Itapecerica da Serra, SP, de 20 a 22 de maio de 2005 para o exame final e seleção dos cinco alunos que constituíram a equipe brasileira que iria à X IAO na China, em outubro de 2005. Foram oito os membros iniciais do CCD. Hoje são dezenas de colaboradores, muitos deles fazendo mestrado ou doutorado, alguns deles em astronomia.

Em 2012 foram selecionados 2.800 alunos entre os 100.755 alunos do nível 4 (ensino médio) (em 2004 subdividimos o nível 1 em dois, de forma que alunos do 1º e 2º anos passaram a ser do nível 1, alunos do 3º e 4º, nível 2, 5º ao 8º ano, nível 3 e com isso os alunos do ensino médio passaram a ser do nível 4) que participaram da XV OBA. Esses alunos receberam treinamento à distância entre setembro de 2012 e fevereiro de 2013 e fizeram no fim uma prova à distância. Os 200 mais bem classificados fizeram outra prova, desta vez presencial, em março de 2013, organizada pelo CCD em diversas cidades do Brasil, com um nível de dificuldade compatível com as provas da IOAA. No fim foram selecionados cinco alunos para participarem da VII IOAA a ser realizada na Grécia em 2013, mais outros cinco para participarem da V OLAA (ver adiante) a ser realizada na Bolívia em 2013.

Inclusão da astronáutica

Em 2004 havia sido organizada a VII OBA, da qual participaram 123.001 alunos (60,7 % mais do que na OBA anterior) distribuídos por 2.721 escolas (73% mais do que na OBA anterior) distribuídas por todos os estados brasileiros, sendo que 75,5% delas eram públicas e 24,5% particulares (Canalle *et al.*, 2006).

Por outro lado havia o Programa AEB Escola, da AEB, trabalhando com a popularização das atividades aeroespaciais no Brasil. Ora, era possível juntar experiências e recursos fazendo parceria.

Assim, em 2005 foi firmado convênio com a AEB para incluir a astronáutica na OBA, que passou a se chamar Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica, porém, sem mudança da sigla. É bem sabido que os avanços da astronomia moderna são, em parte, decorrentes dos avanços da astronáutica[3] e que as leis que governam os movimentos das estrelas, planetas, luas e **galáxias** são as mesmas que regem os movimentos dos satélites artificiais, além de que ambas têm como objetos de trabalho e estudo tudo o que está fora da Terra. Logo, a associação pareceu pertinente e foi muito bem recebida pelos alunos e professores.

A Comissão Organizadora da OBA foi ampliada de modo a incluir membros dos principais órgãos envolvidos com as ciências e tecnologias aeroespaciais do Brasil, ou seja: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), INPE e AEB. Ampliando a abrangência da OBA de modo a incluir a astronáutica, foi mantida a filosofia de abrir mais um canal de interação entre os profissionais da astronáutica brasileira e os professores de física e ciências das escolas brasileiras. Além disso, as provas olímpicas continuaram, como sempre, visando muito mais a dar informações sobre astronáutica, do que examinar o conhecimento dos alunos e indiretamente dos seus professores.

No fim da prova de 2005 foi apresentado um questionário e uma das perguntas era: "Neste ano introduzimos as perguntas de astronáutica. No seu entender esta introdução foi positiva?" Houve 97,2% de respostas positivas e apenas 2,8% de respostas negativas. De fato, os resultados foram animadores, pois participaram da VIII OBA (agora com astronáutica) 187.726 alunos distribuídos por 3.229 escolas de todos os estados brasileiros mais o Distrito Federal. O número de alunos participantes foi 52,4% maior que em 2004. Além disso, participando nesse ano da X IAO na China, em outubro de 2005, um brasileiro ganhou medalha de ouro pela primeira vez (Canalle *et al.*, 2007a)

Jornada Espacial. Fundação Estudar

Com a introdução da astronáutica foi organizado também um curso presencial para os alunos com as melhores notas nas questões de astronáutica. Esse curso era nos mesmos moldes daquele para selecionar os alunos para a IAO, porém, sem o compromisso de selecionar uma equipe de astronáutica, já que não existe olimpíada internacional só de astronáutica. A ideia, portanto, era a de premiar e, mais do que isso, incentivar alunos talentosos que tivessem obti-

[3] Ver o Capítulo "Astronomia espacial" neste Volume.

do ótimas notas nas questões de astronáutica. Para não excluir os professores do processo, os alunos seriam convidados com pelo menos um professor da sua escola, preferencialmente o professor de física. Assim nasceu em 2005 a Jornada Espacial, um evento de uma semana organizado quase que exclusivamente pelos membros da Comissão Organizadora da OBA da área de astronáutica. Esse evento é usualmente realizado nas instalações do Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA) em São José dos Campos, SP, onde estão instaladas outras instituições responsáveis pelo desenvolvimento espacial do Brasil como o IAE, o INPE, o ITA e o Memorial Aeroespacial Brasileiro (MAB) que preserva boa parte da história do desenvolvimento espacial brasileiro.

A I Jornada Espacial foi realizada de 5 a 13 de novembro de 2005 com cerca de 50 alunos e 50 professores. Os alunos são escolhidos de forma a se ter, quando possível, pelo menos um aluno de cada Estado. Atualmente é selecionado anualmente um grupo de 60 alunos e os seus respectivos professores.

Para dar uma ideia dos temas abordados na Jornada Espacial, na primeira foram realizadas as seguintes palestras, oficinas e visitas: 1) Filme "O céu de outubro"; 2) O Programa AEB Escola; 3) Viagem pelo sistema solar e experimentos didáticos de ensino de astronomia; 4) O contexto histórico da corrida espacial; 5) Construindo e lançando foguetes; 6) Satélites, como funcionam e para que servem; 7) Visita ao centro de visitantes e rastreio de satélites; 8) O uso de imagens de satélites; 9) Interpretando imagens de satélites; 10) Como funcionam os aviões; 11) O Veículo Lançador de Satélites (VLS); 12) Por dentro do ITA; 13) Visita à biblioteca do ITA; 14) Noite de observações no observatório do CTA; 15) Visita à divisão de geração de imagens; 16) Visita ao Centro de Previsão do Tempo e Clima (CPTEC/INPE); 17) Visita ao laboratório de propulsão e combustão; 18) Lições de Física, Parte 1 e 2; 19) O uso de imagens de satélites na transmissão de TV; 20) O uso de satélites na meteorologia; 21) Visita ao Laboratório de Integração e Testes (LIT); 22) O ambiente de microgravidade — Projeto SARA (SAtélite de Reentrada Atmosférica); 23) Visita ao túnel de vento do CTA/IAE; 24) A tecnologia aplicada aos aviões; 25) Visita ao centro de realidade virtual; 26) Visita à linha de montagem da EMBRAER.

Nos anos seguintes os temas foram aproximadamente estes sendo que, em geral, há uma palestra do astronauta brasileiro Marcos Pontes. Os alunos e professores saem extremamente surpreendidos com a capacidade tecnológica que o Brasil já domina na área aeroespacial.

Em 2011 a OBA firmou parceria com a Fundação Estudar que concedeu seis bolsas para alunos participantes da VII Jornada Espacial. Em 2012 a parceria foi mantida e mais seis bolsas foram concedidas para participantes da VIII Jornada Espacial. Estas bolsas consistem num curso de inglês, num

notebook e, o que é mais importante, no acesso à orientação para estudos em universidades internacionais. A finalidade da Fundação Estudar é conceder bolsas para alunos brasileiros estudarem no exterior e recentemente ela começou a também oferecer bolsas para jovens talentosos e medalhistas de olimpíadas do conhecimento.

MOBFOG

Quando incluiu a astronáutica em 2005, a OBA passou a orientar as escolas na construção e lançamento de foguetes simples movidos a impulsão ou por ação e reação, conforme a faixa etária dos participantes. Essas atividades eram tão atraentes aos alunos e professores que, a partir de 2007 deram lugar à Olimpíada Brasileira de Foguetes (OBFOG) que, em 2012 passou a ser chamada Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG). A parte presencial para premiar os vencedores da MOBFOG começou em 2009 e foi denominada Jornada de Foguetes (próxima seção).

Assim, anualmente durante a própria OBA é realizada também a MOBFOG, da qual podem participar alunos do ensino fundamental e médio, separados nos mesmos quatro níveis da OBA. Aos do ensino fundamental é pedido que lancem foguetes por simples impulsão usando canudinhos de refrigerante, por exemplo. Aos do ensino médio é pedido que lancem foguetes usando, como combustível, vinagre e bicarbonato de sódio numa garrafa PET. Aos alunos de ambos os níveis são dadas algumas orientações preliminares e normas de segurança. Cabe aos participantes descobrir os aperfeiçoamentos para lançarem seus foguetes o mais longe possível.

Em 2008, na segunda edição do evento que ainda era chamado OBFOG, participaram 2.261 alunos e professores de 498 escolas de todo o território nacional. Desde esse ano as três equipes que fazem os lançamentos mais longínquos dos seus foguetes são também premiadas com o convite para participarem da Jornada Espacial.

Em 2011 participaram 19.130 alunos, quase o dobro do ano anterior e, em 2012, 39.391 alunos, mais que o dobro do ano anterior. Esse evento tomou tão grandes proporções que passou a ser organizado como um evento independente da OBA, porém compartilhando da infraestrutura da OBA. Em 2012 foi obtida verba própria para o MOBFOG através do Edital de Feiras de Ciências e Mostras Científicas (ver adiante). O rápido crescimento da MOBFOG é apresentado na Figura 1.

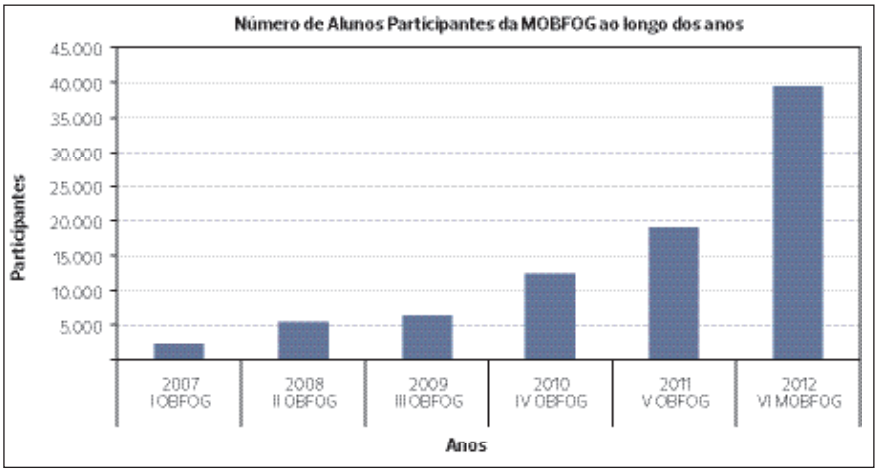


Figura 1. Evolução anual do número de participantes da MOBFOG

Deve-se sublinhar que a participação na MOBFOG não é tarefa simples, pois demanda construção de foguetes, bases de lançamento, testes da quantidade de combustíveis a serem usados, testes da aerodinâmica dos foguetes etc. Mas a execução dessas tarefas revela aos alunos e professores que, havendo motivação, eles descobrem o próprio talento inventivo, o que fortalece as relações entre ambos, promove a união dos alunos e contribui para a melhoria do ensino e do aprendizado. Os lançamentos de foguetes exigem ainda espaços amplos e externos à escola, logo devem ocorrer em horários diferentes daqueles das aulas normais. Isso demanda mais do esforço e interesse dos participantes voluntários. Um amplo espaço aberto equivalente, no mínimo, a um campo de futebol, não está disponível a todas as escolas, principalmente as de grandes centros urbanos. Contudo há participantes provenientes de todos os estados.

A Figura 2 mostra a distribuição estadual de escolas participantes das seis edições da MOBFOG. São Paulo tem a maior participação, seguido por Minas Gerais e Ceará.

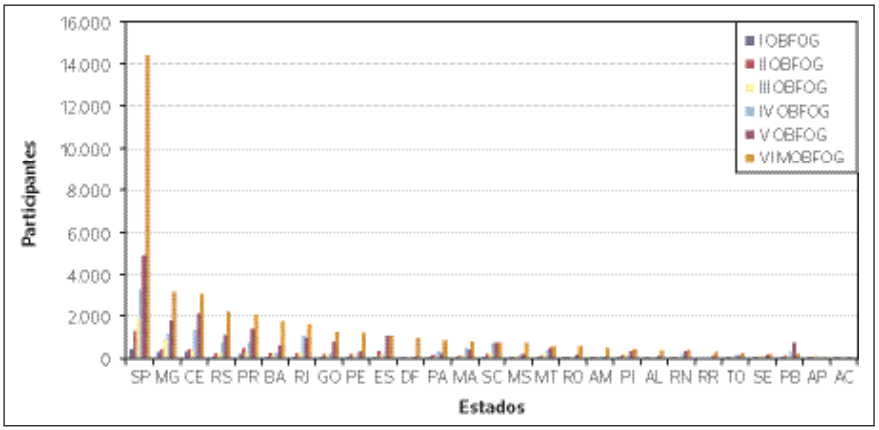


Figura 2. Distribuição estadual do total de alunos participantes da MOBFOG nas seis primeiras edições

Jornada de Foguetes

Em 2009, quando foi comemorado o AIA, foi criada uma etapa adicional à então chamada OBFOG. Essa etapa foi denominada Jornada de Foguetes. Para a I Jornada de Foguetes em 2009 foram selecionadas 30 equipes de 30 diferentes escolas que fizeram os mais longos lançamentos em escala nacional. A I Jornada ocorreu na cidade de Mendes, RJ. Além de receberem os prêmios, os alunos e também os seus professores tiveram a oportunidade de assistir a diversas palestras sobre a área. Tiveram também a oportunidade de exibir seus foguetes e lançá-los perante todos os participantes e organizadores do evento. A equipe que conseguiu fazer os mais longínquos lançamentos dos seus foguetes nesta ocasião foi convidada a participar da V Jornada Espacial no mesmo ano. O sucesso da Jornada de Foguetes foi enorme e demonstrou que a premiação, a apresentação dos resultados e as palestras contribuíram de forma fundamental na capacitação dos professores e estímulo dos alunos.

Em 2010 todos os participantes da IV MOBFOG receberam certificados, não só os premiados para participar da Jornada de Foguetes. Cada escola das 30 equipes selecionadas deveria enviar um professor e, no máximo, quatro alunos totalizando 150 participantes. Nessa Jornada de Foguetes foi instituída uma banca de avaliação composta pelos professores líderes das equipes participantes que avaliaram os seguintes itens: 1) acabamento do foguete; 2) originalidade do foguete; 3) acabamento da base de lançamento; 4) originalidade da base de lançamento; 5) apresentação feita pela equipe e 6) segurança do lançamento.

Além dessa avaliação, as equipes tiveram que lançar os seus foguetes e mostrar que eles realmente funcionavam. Nos lançamentos cada equipe teve direito a apenas uma tentativa. Após esses lançamentos os líderes com a comissão organizadora do evento mediram as distâncias alcançadas pelos foguetes.

Os dez vencedores segundo a avaliação da banca dos líderes receberam livros paradidáticos como prêmio. As dez equipes que fizeram os mais longínquos lançamentos na II Jornada de Foguetes foram premiadas com dez troféus, réplicas do VLS que o Brasil está construindo e as três equipes mais bem-sucedidas foram convidadas para participar da VI Jornada Espacial no mesmo ano.

Em 2012 recursos foram obtidos através do Edital MCTI/CNPq/MEC/CAPES/SEB Nº 25/2011-Apoio à realização de Feiras de Ciências e Mostras Científicas para a realização da VI MOBFOG e a IV Jornada de Foguetes. A VI MOBFOG teve divulgação pela primeira vez com cartazes no formato A3 e com o anúncio de que seriam distribuídas 5 mil medalhas entre os concorrentes. A Figura 3 mostra os três tipos de medalhas da VI MOBFOG.

Figura 3. Medalhas de ouro, prata e bronze distribuídas, em 2012, na VII MOBFOG

A IV Jornada de Foguetes reuniu 500 participantes ou 100 equipes, mas só com alunos do ensino médio. Como o hotel comportava só 250 pessoas, foi preciso dividir os participantes em dois grupos sucessivos. Após a competição do lançamento de foguetes, foi feita a distribuição de 70 bolsas de iniciação científica júnior obtidas pelo edital acima citado. Além disso, cada aluno recebeu o livro "Missão Cumprida" de Marcos Pontes. Das 100 equipes participantes 50 ganharam troféus de campeãs (lado esquerdo da Figura 4) em razão do alcance obtido nos lançamentos. Outras 20 equipes ganharam troféus de menção honrosa (lado direito da Figura 4).

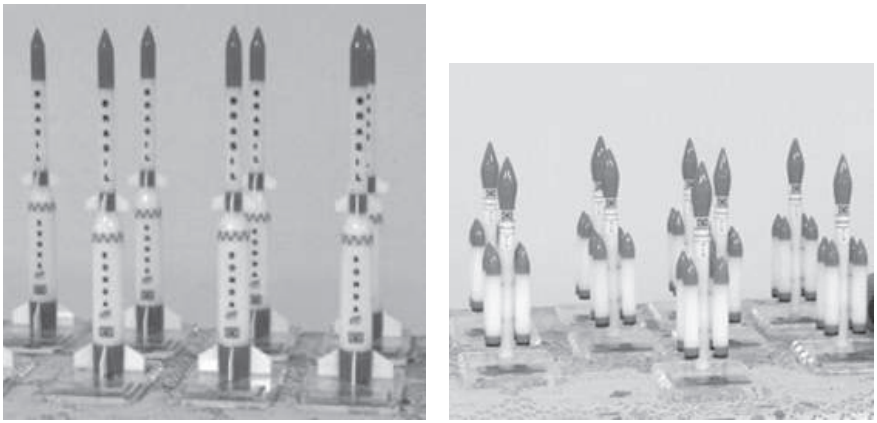


Figura 4. Troféus de campeões (à esquerda) e de menção honrosa (à direita) distribuídos na IV Jornada de Foguetes

Jornada de Energia

Em 2008 foi firmada uma parceria da OBA com Furnas Centrais Elétricas S/A, atualmente chamada Eletrobrás Furnas. Com isso foram introduzidas duas questões nas provas da OBA relacionadas com energia, poluição luminosa, preservação ambiental etc. e tiveram início as Jornadas de Energia. Mas em 2012 essa jornada não foi realizada e talvez seja descontinuada.

OLAA

Durante um Acampamento Espacial (ver adiante) realizado em maio de 2008 no Equador, a coordenadora do Programa AEB Escola, Ivette Maria Rodrigues Soares, propôs a realização de uma Olimpíada Latino-Americana de

Astronomia e Astronáutica (OLAA). Essa ideia prosperou e no fim de 2008 a OLAA foi fundada no Uruguai.

A OBA foi membro fundador da OLAA e a intenção era a de incentivar a organização de olimpíadas nacionais nos países das Américas do Sul, Central e do Norte. Até 2012 os países participantes das OLAAs foram Argentina, Brasil, Bolívia, Chile, Colômbia, México, Paraguai e Uruguai.

A I OLAA foi organizada pela OBA e realizada em Mendes, RJ, em 2009, Ano Internacional da Astronomia. A II OLAA foi realizada na Colômbia em 2010. A III OLAA foi realizada pela OBA em Passa Quatro, MG, em 2011. A IV OLAA foi realizada na Colômbia em 2012 e a V OLAA será realizada na Bolívia em 2013.

A Tabela 3 mostra o quadro de medalhas obtidas nas OLAAs pelo Brasil, que é o país que mais ganha medalhas nessas olimpíadas. Além da qualidade excepcional dos nossos alunos, outro fato que muito contribui é que eles são selecionados de um universo de 100 mil alunos do ensino médio que participaram da OBA do ano anterior. Depois eles são treinados por cerca de um ano por uma equipe do CCD.

Ano	OLAA	Local	Medalhas de ouro	Medalhas de prata	Medalhas de bronze	Total de medalhas	Medalhas acumuladas
2009	I	Brasil	2	3	0	5	5
2010	II	Colômbia	4	0	1	5	10
2011	III	Brasil	2	3	0	5	15
2012	IV	Colômbia	2	3	0	5	20

Tabela 3. Medalhas obtidas pelo Brasil nas OLAAs

EREA

Em 2009 nasceu o Encontro Regional de Ensino de Astronomia (EREA) visando a capacitar professores do ensino fundamental e médio no ensino de astronomia, e como parte das comemorações do AIA. Esta iniciativa se mostrou tão profícua que foi mantida nos anos seguintes e, em dezembro de 2012, já era organizado o 35º EREA.

Os EREAs se mostraram capazes de aproximar os astrônomos profissionais dos astrônomos amadores da região, de apresentar métodos práticos de ensino de astronomia e astronáutica, de capacitar os professores para fazer observa-

ções astronômicas, além de criar oportunidade de doação de materiais didáticos para os participantes e de lunetas para as suas escolas.

Durante os EREAs são ministradas de 6 a 8 palestras e realizadas de 6 a 10 oficinas de astronomia. Quando o tempo permite, são feitas observações noturnas do céu, mas se o tempo estiver nublado é apresentado o programa *Stellarium*. Em todos os EREAs são distribuídas as lunetas chamadas Galileoscópios que foram adquiridas no AIA. Das 20 mil lunetas adquiridas naquela ocasião, 17 mil foram enviadas para escolas e o restante está sendo distribuído nos EREAs.

Foram realizados três EREAs em 2009, nove em 2010, doze em 2011 e onze em 2012, totalizando 35 EREAs. A média de professores participantes é de 150 em cada EREA, logo, 5.250 professores já foram beneficiados com a capacitação. Um diferencial importante é que a capacitação é oferecida nos mais diferentes pontos do país. A Tabela 4 mostra as datas e localidades dos onze EREAs de 2012. Os programas e fotos de todos os EREAs podem ser vistos em *www.erea.ufscar.br*.

EREA	Local	UF	Período	Ano	Organizador Local
XXV	Feira de Santana	BA	28 – 31/03	2012	Paulo César da Rocha Poppe
XXVI	Pinhais	PR	27 – 30 /04	2012	Oswaldo Loureda
XXVII	Maringá	PR	28 – 31 / 05	2012	Marcelo Emilio
XXVIII	Belo Horizonte	MG	07 – 10 / 06	2012	Alcione Caetano
XXIX	Toledo	PR	19 – 21 / 07	2012	Rosana do Rosário Ossucci
XXX	Natal	RN	23 – 27 / 07	2012	Silvia Calbo Aroca
XXXI	Foz do Iguaçu	PR	19 – 22 /09	2012	Janer Vilaça
XXXII	Vassouras	RJ	07 – 11/08	2012	Leonardo Santos Correa
XXXIII	Cascavel	PR	02 – 04 /10	2012	Marcia Fontanella
XXXIV	Teresina	PI	29/10 –1/11	2012	Francisca Regina Ibiapina Costa
XXXV	Maceió	AL	05 – 07 /12	2012	Adriano Aubert S. Barros

Tabela 4. Locais e datas dos onze EREAs de 2012

Em geral a realização de um EREA acaba promovendo alguma ação local mais permanente. Por exemplo, em Toledo, PR, o EREA contribuiu para a correção de um grande relógio de sol numa praça da cidade. Esse relógio foi construído por ordem do prefeito como uma réplica de uma outra cidade. Infelizmente o prefeito e seus engenheiros não sabiam que o eixo deveria ficar elevado de um ângulo igual ao da latitude da cidade. Por ocasião do EREA o mesmo prefeito lançou o edital para a compra de um telescópio para dar início ao Observatório Municipal. Em Teresina, PI, o secretário de educação e o prefeito foram convencidos a adquirirem um planetário fixo.

Space Camp

Em 2012 foi realizado o I Space Camp do Brasil (Acampamento Espacial). Esse é um evento muito popular nos Estados Unidos. Um dos sócios da empresa Acrux Aerospace Technologies, do setor aeroespacial, ex-participante da OBA, decidiu organizar esse evento no Brasil com o apoio da OBA. A Acrux está sediada em São José dos Campos, SP, e tem grande interesse em popularizar as atividades aeroespaciais. O I Space Camp foi realizado em janeiro de 2012 em São José dos Campos com alunos do ensino médio selecionados entre os que participaram da XIV OBA e seus professores, totalizando 120 pessoas. Os participantes assistiram a palestras sobre satélites, foguetes, aviões e astronomia, fizeram observações astronômicas, participaram de oficinas, inclusive de construção de robôs, assistiram ao lançamento de um foguete de sondagem de pequeno porte e fizeram competição de foguetes de garrafas PET movidos a ar comprimido e água. Marcos Pontes prestigiou o evento, dando palestra para a alegria e motivação de todos. No fim os participantes visitaram o MAB.

Em janeiro de 2013 foi realizado o II Space Camp em Taubaté, SP, nos mesmos moldes do I Space Camp. Houve a participação de 50 pessoas entre alunos e professores.

Desdobramentos da OBA

A Tabela 5 mostra esquematicamente a OBA e seus diversos desdobramentos ao longo dos anos.

1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Ano/Evento
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	**OBA**
III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII						**IOA**
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	**Escola de Astronomia**
							I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	**Jornada Espacial**
									I	II	III	IV	V	VI	**IOAA**
									I	II	III	IV	V	VI	**MOBFOG**
											I	II	III	IV	**Jornada de Foguetes**

										I	II	III	IV		**Jornada de Energia**
											I	II	III	IV	**OLAA**
											I	.....		XXXV	**EREA**
														I	**Space Camp**

Tabela 5. A OBA e seus desdobramentos ao longo dos anos

Portanto a OBA é muito mais que a simples realização de uma olimpíada de conhecimento, embora isso já seja extremamente trabalhoso e meritório, pois é utilizada como um veículo pedagógico de alcance nacional. Na verdade, o alcance da OBA vai muito além do que pôde ser explicitado, pois não se pode saber exatamente a sua influência em estimular novos astrônomos profissionais e amadores, planetários, observatórios, clubes e associações de astronomia a organizarem mais eventos de divulgação e/ou ensino, formal ou não formal, de astronomia. Não se sabe também quantos novos planetários fixos e móveis foram instalados ou comprados, quantas escolas adquiriram telescópios, graças à expansão das atividades da OBA e seus desdobramentos. Talvez esses efeitos secundários e, sobretudo, a motivação pela astronomia proporcionada a centenas de milhares de alunos e professores, sejam até mesmo mais importantes do que os resultados imediatos das ações da OBA.

Crescimento da OBA

O crescimento da participação de alunos nas quinze primeiras edições da OBA é mostrado na Figura 5. Nela vemos que o crescimento foi inicialmente quase exponencial até 2009 quando ocorreu o AIA. Nesse ano houve súbito crescimento, explicável pela intensa divulgação das comemorações do AIA, bem como pelo substancial aumento de recursos para a organização da OBA naquele ano.

Contudo, nos anos seguintes o número de participantes ficou num patamar próximo de 800 mil alunos. O total de alunos que participaram da OBA desde o seu início em 1998 já soma 4.876.474.

A Figura 5 não deixa dúvida de que a OBA é atraente para os alunos e talvez só não tenha um número maior de alunos porque os professores têm receio de envolver seus alunos numa disciplina na qual eles têm pouco conhecimento.

Resultados detalhados das OBAs anteriores podem ser encontrados em Canalle *et al*. 2000, 2002a, 2002b, 2004, 2006, 2007a, 2007b, 2008a, 2008b, 2009, 2010, 2011, Lavouras e Canalle, 1999 e Rocha *et al*., 2003.

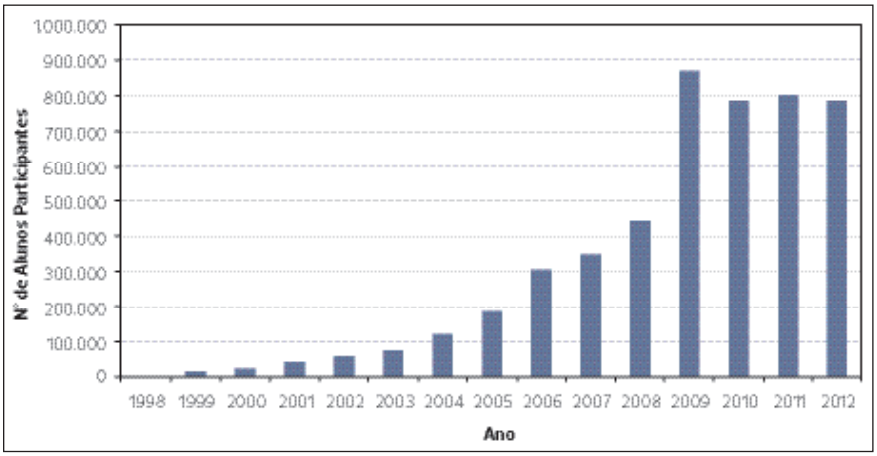


Figura 5. Número total de alunos participantes da OBA ao longo dos anos

OBA na mídia

A OBA e todos os eventos dela decorrentes foram bastante divulgados na mídia. A Tabela 6 mostra o total de *links* sobre a OBA ou eventos decorrentes dela. Nela também estão incluídas as matérias em TVs, rádios e PDFs de textos impressos. Todos os *links* estão disponíveis no portal OBA (*www.oba.org.br*) em "OBA na mídia".

Mês	Nº de *links*	Mês	Nº de *links*
Janeiro	24	Julho	78
Fevereiro	113	Agosto	175
Março	112	Setembro	60
Abril	60	Outubro	88
Maio	153	Novembro	85
Junho	55	Dezembro	71

Tabela 6. Números de *links* mensais de 2012

O futuro da OBA

A tendência é a continuidade dos desdobramentos da OBA em eventos realizados por outras instituições, mas com o apoio da infraestrutura da OBA. Abaixo apresentamos três eventos que iniciarão em 2013 com o apoio da OBA.

Cansat

Um campeonato de pequenos satélites, do tamanho de uma lata de refrigerante (daí o nome *Cansat*), será realizado pela AEB em parceria com a OBA com essa denominação. Os satélites são construídos por alunos do ensino médio e/ou superior e lançados por pequenos foguetes devendo cumprir uma certa missão.

Foguetemodelismo

Os foguetes usados na MOBFOG são movidos a vinagre e bicarbonato de sódio (no ensino médio) e com ar comprimido no ensino fundamental do 6º ao 9º ano. A AEB irá convidar as melhores equipes da MOBFOG para participarem de um campeonato piloto chamado Foguetemodelismo em que será usado combustível sólido.

Olimpíada Astropontes

O astronauta brasileiro Marcos Cesar Pontes constituiu em 2012 a Fundação Astropontes e uma das suas primeiras ações será a promoção de uma Olimpíada Astropontes. Nela os alunos do ensino fundamental e médio serão convidados a lançar foguetes movidos a água e ar pressurizado e também a construir e operar robôs. A OBA será parceira da Olimpíada Astropontes a ser lançada em 2013.

OBA fora do Brasil

A OBA está sendo realizada inclusive por escolas de outros países. Por exemplo, em 2011 uma escola de Moçambique participou da OBA. Em 2012 uma escola no Japão para filhos de brasileiros aplicou a prova do Brasil naquele país. O mesmo aconteceu numa escola do Timor Leste e até mesmo da Argentina que preferiu participar da OBA, apesar de aquele país ter olimpíada de astronomia.

Internacionalização da Jornada de Foguetes

Prevê-se a transformação da Jornada de Foguetes num evento com a participação de alunos de vários países da América do Sul. Em 2013 haverá a participação de pelo menos uma equipe do Uruguai e outra da Colômbia como convidadas.

Duplicação da Jornada Espacial

A partir de 2013 serão organizadas duas jornadas espaciais por ano, uma como sempre em São José dos Campos, SP, e outra no Centro de Lançamentos da Barreira do Inferno (CLBI) em Natal, RN. Com isso o dobro de alunos passará a ser premiado.

Conclusão

A OBA está num processo crescente de desdobramentos, levando cada vez mais pessoas e instituições a se preocuparem e a trabalharem com as questões de ensino e popularização da astronomia e astronáutica. Ela disponibiliza sua infraestrutura de envio massivo de *e-mails* para professores e alunos para a divulgação de cursos, palestras, exposições, livros recém-lançados, mestrados profissionais, cursos à distância, concursos etc. Ou seja, está servindo à comunidade de astrônomos que queiram interagir com professores e alunos.

Certamente a OBA tem contribuído para o sucesso de muitos alunos, pois muitos dos seus medalhistas recebem convites para cursarem, com bolsas parciais ou integrais, o ensino médio, em excelentes colégios particulares. Outros, após a conclusão do ensino médio, foram aceitos em renomadas universidades internacionais, tais como o MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) ou *Harvard University*.

Porém, quando se consegue medalhas na OBA, isso significa que o aluno estudou muito mais do que o normal e a consequência disso é que ele ficou muito melhor preparado para os vestibulares das universidades brasileiras. Frequentemente temos observado que os medalhistas são aprovados, simultaneamente, em vários dos vestibulares dos quais participam.

Grupos de talentosos alunos, que ganharam medalhas na OBA, têm organizado grupos informais de preparação de novos alunos para participarem e ganharem medalhas na OBA. Ou seja, são alunos, voluntariamente se auto-organizando para prepararem novos alunos para ganharem medalhas. A explicação deles é que gostariam que muitos possam sentir o prazer que eles sentiram ao ganharem suas medalhas.

Contudo, além do sucesso de muitos alunos e da empolgação deles em colaborar com a preparação de novos alunos, acreditamos que o auxílio que estamos prestando na capacitação dos professores envolvidos na OBA tenha contribuído para que muito mais alunos estejam compreendendo melhor os fenômenos astronômicos.

Não há dúvida de que o professor que melhor entende os fenômenos astronômicos pode melhor ensiná-los e faz isso com muito mais segurança e desenvoltura, o que certamente contribui para o melhor aprendizado dos seus alunos.

A ideia inicial da fundação da OLAA foi de brasileiros com o objetivo principal de incentivar os países das Américas a instituir suas olimpíadas nacionais para participar da OLAA. Foi feito o caminho inverso, pois, o normal seria cada país ter primeiro a sua olimpíada nacional para, então, se criar uma olimpíada latino-americana. Contudo, o objetivo de induzir a criação de olimpíadas nacionais está sendo alcançado em vários países da América do Sul e no México.

Referências

Canalle, João Batista Garcia; Lavouras, Daniel Fonseca; Arany-Prado, Lilia Irmely e Abans, Mariângela de Oliveira (2000), "II Olimpíada Brasileira de Astronomia e participação na IV Olimpíada Internacional de Astronomia", *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 17, 2, Ago., 239-247, http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/19821/18190, acesso em 12/3/13.

Canalle, João Batista Garcia; Lavoura, Daniel Fonseca; Trevisan, Rute Helena; Souza, Célia Maria Resende; Scalise Jr., Eugênio; Afonso, Germano Bruno (2002b), "Resultados da III Olimpíada Brasileira de Astronomia", *Física na Escola*, 3, 2, 11-16, www.sbfisica.org.br/WWW_pages/Journals/Fne/Vol3/Num2/a06.pdf, acesso em 12/3/13.

Canalle, João Batista Garcia; Rocha, Jaime Fernando Villas; Aguilera, Nuricel Villalonga; Wuensche, Carlos Alexandre; Silva, Adriana Roque Valio da; Padilha, Maria de Fátima Catta Preta; Costa, Antônio Carlos Rodrigues; Dantas, Márcia Pragano; Medeiros, José Renan de; Martins, Roberto Vieira; Maia, Márcio Antonio Geimba; Poppe, Paulo César da Rocha; Dottori, Horácio Alberto (2004), "Resultados da VI Olimpíada Brasileira de Astronomia", *Boletim da SAB*, 23, 3, 39-59.

Canalle, João Batista Garcia; Rocha, Jaime Fernando Villas; Ferreira, José Leonardo; Pessoa Filho, José Bezerra; Maia, Marcelo; Diniz, Thaís Mothé e Pinto, Hélio Jaques Rocha (2009), *Resultados da XII Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica*, www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/historico%20da%20oba/Relatorio%20da%20XII%20OBA%20(8).pdf, acesso em 12/3/13.

Canalle, João Batista Garcia; Rocha, Jaime Fernando Villas; Pessoa Filho, José Bezerra; Diniz, Thaís Mothé e Pinto, Hélio Jaques Rocha (2011), *Resultados da XIV Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica*, www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/historico_da_oba/Relatorio_XIV_OBA.pdf, acesso em 12/3/13.

Canalle, João Batista Garcia; Rocha, Jaime Fernando Villas; Pessoa Filho, José Bezerra; Maia, Marcelo; Diniz, Thaís Mothé e Pinto, Hélio Jaques Rocha (2010), *Resultados da XIII Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica*, www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/historico_da_oba/Relatorio_da_XIII_OBA.pdf, acesso em 12/3/13.

Canalle, João Batista Garcia; Rocha, Jaime Fernando Villas; Rodrigues, Ivette Maria Soares; Wuensche, Carlos Alexandre; Diniz, Thaís Mothé e Pessoa Filho, José Bezerra (2007b), *Resultados da X Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica*, www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/historico%20da%20oba/RElatorio%20da%20X%20OBA.pdf, acesso em 12/3/13.

Canalle, João Batista Garcia; Rocha, Jaime Fernando Villas; Rodrigues, Ivette Maria Soares; Wuensche, Carlos Alexandre; Diniz, Thaís Mothé e Pessoa Filho, José Bezerra (2008b), *Resultados da XI Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica,* www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/historico%20da%20oba/RELATORIO%20DA%20XI%20OBA%20COLORIDO%20(7).pdf, acesso em 12/3/13.

Canalle, João Batista Garcia; Rocha, Jaime Fernando Villas; Wuensche, Carlos Alexandre; Aguilera, Nuricel Villalonga; Padilha, Maria de Fátima Catta Preta; Medeiros, José Renan de; Dantas, Márcia Pragano; Silva, Adriana Roque Valio da; Martins, Roberto Vieira; Dottori, Horácio Alberto; Maia, Márcio Antonio Geimba; Poppe, Paulo César da Rocha e Costa, Antônio Carlos Rodrigues (2006), "Análise dos resultados da VII Olimpíada Brasileira de Astronomia", *Boletim da SAB,* 25, 2, 31-58, www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/historico%20da%20oba/histviioba2004.pdf, acesso em 7/3/13.

Canalle, João Batista Garcia; Rocha, Jaime Fernando Villas; Wuensche, Carlos Alexandre; Ortiz, Roberto Pereira; Aguilera, Nuricel Villalonga; Padilha, Maria de Fátima Catta Preta; Pessoa Filho, José Bezerra e Rodrigues, Ivette Maria Soares (2007a), "VIII Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica", *Boletim da SAB*, 26, 3, 31-68, www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/historico%20da%20oba/2005_historico_viii_oba.pdf, acesso em 7/3/13.

Canalle, João Batista Garcia; Rocha, Jaime Fernando Villas; Wuensche, Carlos Alexandre; Ortiz, Roberto Pereira; Aguilera, Nuricel Villalonga; Pessoa Filho, José Bezerra e Rodrigues, Ivette Maria Soares (2008a), *IX Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica*, www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/historico%20da%20oba/RELATORIO%20DA%20XI%20OBA%20COLORIDO%20(7).pdf, acesso em 12/03/12.

Canalle, João Batista Garcia; Silva, Adriana Roque da; Medeiros, José Renan de; Lavouras, Daniel Fonseca; Dottori, Horácio Alberto e Martins, Roberto Vieira (2002a), "Resultados da IV Olimpíada Brasileira de Astronomia — IV OBA", *Boletim da SAB,* 21, 3, 59-67, http://www.oba.org.br/sisglob/sisglob_arquivos/historico%20da%20oba/2001_historico_iv_oba.pdf, acesso em 12/3/13.

Lavouras, Daniel Fonseca e Canalle, João Batista Garcia (1999), "I Olimpíada Brasileira de Astronomia", *Boletim da SAB,* 18, 3, 39-42.

Nielsen, Holger (2000), Astronomy Olympiads in the Caucasus, *Sky & Telescope*, 99, 3, 86, http://business.highbeam.com/436983/article-1G1-61372153/astronomy-olympiads-caucasus-international-astronomy, acesso em 12/3/13.

Rocha, Jaime Fernando Villas; Canalle, João Batista Garcia; Medeiros, José Renan de; Wuensche, Carlos Alexandre; Silva, Adriana Roque da; Dottori, Horácio Alberto; Maia, Márcio Antonio Geimba; Poppe, Paulo César da Rocha e Martins, Roberto Vieira (2003) "Resultados da V Olimpíada Brasileira de Astronomia", *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 20, 2, 257-270, www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6553/6038, acesso em 12/3/13.

Capítulo 15

ASTRÔNOMOS AMADORES

Parte 1
Dos tempos do Império aos observatórios robóticos

Tasso Augusto Napoleão (REA, CASP, CEAMIG)

Descrevem-se no capítulo a história e as contribuições prestadas pelos astrônomos amadores brasileiros desde o século 19 até os dias atuais. Ênfase particular é dada às atividades e realizações dos amadores nos anos mais recentes, como resultado das inovações tecnológicas e das novas formas de comunicação disponíveis desde o final do século 20.

Astrônomos: amadores e profissionais

Logo de início, consideramos adequado delimitarmos as abordagens e o escopo usados neste capítulo, para evitar ambigüidades e controvérsias. Embora o uso da expressão "Astronomia Amadora" seja popular e corrente, evitaremos aqui o seu uso por uma questão de coerência: claramente, uma ciência em si, na acepção etimológica do termo (do latim *scientia* ou "conhecimento"), não pode ser subdividida em "ciência amadora" ou "ciência profissional". A astronomia não poderia ser exceção a essa regra.

Já os astrônomos – aqui entendidos, de forma abrangente, como todas as pessoas que se dedicam ou praticam regularmente a astronomia – estes sim podem fazê-lo de forma profissional ou amadora. Mas como estabelecer a distinção entre "astrônomos profissionais" e "astrônomos amadores"?

Tradicionalmente, dois critérios alternativos têm sido adotados: no primeiro, leva-se em consideração a titulação acadêmica, reservando-se a expressão "astrônomo profissional" àqueles que possuem graduação – ou pós-graduação – em astronomia. Em geral, este é o critério usado pelas instituições profissionais para a admissão de seus sócios efetivos, incluindo a SAB (Sociedade Astronômica Brasileira) em nosso País e a IAU (União Astronômica Internacional) em âmbito mundial. Já no segundo, o critério é basicamente etimológico, entendendo-se por "profissional" aquele que exerce um determinado ofício como sua profissão remunerada, enquanto que um "amador" (entendido como "aquele que ama") o praticaria de forma diletante, sem remuneração e nas horas livres do seu próprio ofício profissional.

Ambos os critérios apresentam fragilidades: existem, por exemplo, pessoas que se titulam em astronomia e acabam por encontrar a sua profissão remunerada em outros ofícios, por uma opção pessoal ou outros motivos. Por outro lado, existem também aqueles que se dedicam à astronomia durante toda a vida como ocupação remunerada, mas não necessariamente são ligados a universidades ou instituições de pesquisa, e nem sempre possuem titulação formal em astronomia. Este caso, por sinal, costuma ser mais frequente nas atividades ligadas à divulgação astronômica junto ao público leigo.

Não nos cabe aprofundar aqui essa discussão, porém, a bem da coerência e clareza, torna-se recomendável adotarmos um critério preferencial para o texto que se segue. Especificamente para as finalidades deste capítulo, parece-nos que a segunda alternativa seja a que melhor se adapta á análise da história dos astrônomos amadores brasileiros; dessa forma ela será preferencialmente utilizada aqui de maneira genérica, embora consideremos que, em alguns poucos casos individuais, certa ambigüidade possa persistir, em função da ausência de um critério universalmente reconhecido.

É indispensável também estabelecermos uma distinção entre o que conceituamos aqui como "astrônomo amador" e o simples entusiasta por astronomia. Este último é o diletante que se interessa por astronomia por uma saudável curiosidade intelectual, porém se satisfaz em atuar de maneira passiva – ou seja, sem outro compromisso senão o de se informar (nem sempre por fontes confiáveis) sobre temas gerais ligados à ciência astronômica. Já aqueles que se conceituam modernamente como "astrônomos amadores" se caracterizam não somente por um aprendizado astronômico mais elaborado (seja este formal ou autodidata), mas principalmente por assumirem uma postura pró-ativa em pelo menos uma das funções clássicas às quais os astrônomos amadores se dedicam: as atividades observacionais, a divulgação junto ao público leigo, o ensino não-formal de astronomia e a construção de instrumentos para a observação (funções essas às quais se acresce, nos dias de hoje, o desenvolvimento de *softwares* para finalidades observacionais ou educacionais). É dentro desse escopo que os astrônomos amadores podem prestar uma contribuição efetiva para a ciência astronômica no cenário contemporâneo - frequentemente trabalhando sistematicamente em colaboração com pesquisadores ou entidades profissionais, como se verá mais adiante.

Mas toda essa discussão sobre terminologias se refere a uma perspectiva atual. Certamente ela não era a mesma há séculos atrás, quando a estrutura das instituições científicas era bem diferente: seria totalmente irrelevante, por exemplo, discutirmos se Tycho Brahe[1] ou Georg Marcgrave[2] seriam astrônomos amadores ou profissionais! Neste particular, o marco divisório para o modelo que levaria ao astrônomo amador moderno parece se situar em fins do século 18/inícios do século 19, em torno da figura de William Herschel (1738-1822). Nascido na Alemanha e emigrado para a Inglaterra aos dezenove anos, Herschel era músico por profissão e autodidata em astronomia, mas desde cedo se tornou obcecado pela observação. Monitorando o céu sistematicamente ao longo de quase cinco décadas com telescópios de sua própria construção e sempre auxiliado por sua fiel irmã Caroline, Herschel nos legaria, além da descoberta de Urano, os três primeiros catálogos de estrelas binárias e múltiplas (publicados em 1782, 1784 e 1812, e abrangendo 848 desses sistemas estelares) e, principalmente, os seus três extensos catálogos de "objetos de fundo do céu"

---

[1] Tycho Brahe, ou Tyge Ottesen Brahe (1546-1601), astrônomo dinamarquês reputado principalmente pela extraordinária precisão de suas observações, feitas anteriormente ao uso do telescópio.

[2] Georg Marcgrave, ou Georg Marggraf, ou ainda Jorge Margrave (1610-1644), naturalista e astrônomo alemão emigrado para o Brasil em 1638, geralmente considerado como marco fundador da astronomia no país. A respeito de Marcgrave, ver Matsuura (2011).

(hoje conhecidos também pela expressão inglesa *deep sky objects*), publicados em 1786, 1789 e 1802 e abrangendo 2.500 nebulosas, galáxias e aglomerados estelares. Os três catálogos de William Herschel, suplementados pelos 1.754 objetos descobertos posteriormente por seu filho, o não menos notável astrônomo John Herschel (1792-1871), constituiriam o pilar principal para a edição, em 1888, do *New General Catalogue* (NGC), que é usado amplamente até os dias de hoje.

Astrônomos amadores do século 19

Curiosamente, seriam também de um britânico as primeiras observações que poderíamos classificar como sendo de um astrônomo amador em nosso território: o botânico e naturalista William John Burchell (1781-1863). Em viagem ao Brasil entre 1825 e 1830, Burchell foi o primeiro a perceber as variações de magnitude da famosa estrela eta Carinae (na época conhecida como eta Navis ou eta Argus). Como esta estrela possui declinação muito austral, seu monitoramento visual só é possível do hemisfério sul. Assim, apenas em 1677 ela foi notada (por Edmond Halley, em viagem a Santa Helena), sendo subsequentemente catalogada por Nicolas Lacaille em 1752. Embora Halley lhe tivesse atribuído a quarta magnitude e Lacaille a segunda, essa diferença passaria despercebida por um século e meio. Burchell, porém, possuía bom conhecimento do céu, e já havia observado a estrela no período em que esteve na África do Sul, entre 1810 e 1815 - época em que eta Carinae se apresentava novamente com magnitude quatro. Todavia, observando a estrela em São Paulo, no dia 1 de fevereiro de 1827, ele avaliou seu brilho como de primeira magnitude; e, em Goiás, no dia 20 de fevereiro de 1828, como de "pelo menos segunda magnitude". Não restava nenhuma dúvida que eta Carinae apresentava um comportamento peculiar. Burchell comunica a J. Duncan sua primeira observação por carta enviada do Brasil, em julho de 1827:

> *I am curious to know whether any one has hitherto noticed that the star Eta Navis which is marked as being of the fourth magnitude (and which was always so when I was in Africa) is now of the first magnitude, or as large as Alpha Crucis* (Frew, 2004:24).

Anos depois, Burchell escreveria novamente a M. Johnson, em Oxford, que por sua vez repassou as informações a John Herschel. Este viria a consolidar as observações de eta Carinae no período em que viveu na África do Sul (en-

tre 1834 e 1838), abrangendo inclusive a grande erupção iniciada em 1837, quando a estrela atingiu brilho comparável a Canopus, a segunda estrela mais brilhante do céu. Herschel creditaria as observações relatadas nas duas cartas de Burchell nas páginas 35 e 36 de sua obra *Results of astronomical observations at the Cape of Good Hope*, publicada em 1847 (Lynn, 1907).

Seria, entretanto, da França e não da Inglaterra que viria a mais marcante influência para o florescimento da astronomia entre os amadores brasileiros durante o século 19: a figura de Nicolas Camille Flammarion (1842-1925), um incansável e prolífico popularizador da astronomia. Fascinado pelo estudo do céu desde a infância, Flammarion consegue uma posição de aluno-astrônomo no *Observatoire de Paris* já aos dezesseis anos, e se dedica ao trabalho no bureau de cálculos desse Observatório. Porém, apenas quatro anos depois, ao publicar seu primeiro livro de grande repercussão - *La pluralité des mondes habités* - ele é sumariamente demitido pelo diretor do Observatório, Urbain Le Verrier (o famoso co-descobridor de Netuno), que o acusa de "não ser um aluno-astrônomo, mas sim um aluno-poeta" (Flammarion, 1911:211). Este conflito era previsível e provavelmente inevitável. Por um lado, Flammarion já se ressentia da prioridade dada por seus pares ao que ele chamava de "astronomia matemática" (a astronomia fundamental) em detrimento da nascente "astronomia física" (o que seria hoje a astrofísica). Por outro, ele transcendia em suas obras os limites da ciência clássica, recheando-as (ao lado dos conhecimentos astronômicos convencionais) de filosofia, história, poesia, idéias espiritualistas (Flammarion se tornaria um dos pioneiros da difusão da doutrina kardecista) e, em certos trechos, de pura fantasia. Era demais para a índole rígida e austera de Le Verrier.

Apesar de, pouco depois, Flammarion ter sido readmitido por Charles Delaunay para trabalhar no *Bureau des Longitudes*, ele preferiu desenvolver a sua carreira longe do formalismo acadêmico. Ao longo das décadas seguintes, ele se tornaria redator científico da revista *Le Siècle*, proferiria numerosas conferências públicas sobre divulgação científica, e escreveria cerca de sessenta livros dedicados à popularização da astronomia, da meteorologia e do espiritualismo. Muitos deles alcançaram imenso sucesso junto ao público leigo e aos estudiosos, incluindo personalidades como o escritor Victor Hugo ou o compositor Camille Saint-Saens, e granjeando a Flammarion uma notoriedade e prestígio sem precedentes. Em especial, ele publicaria em 1880 o clássico *Astronomie Populaire*, uma extraordinária obra de divulgação que teria mais de cento e trinta mil volumes vendidos nas décadas seguintes, atraindo milhares de pessoas na França e no exterior para a contemplação e o estudo do céu. No ano de 1883, segundo sua própria autobiografia, Flammarion funda o Observatório de Juvisy (nas proximidades de Paris), no qual se dedicaria regularmente durante muitos anos à observação astronômi-

ca. Esse Observatório, por sinal, receberia uma prestigiosa visita no dia 29 de julho de 1887, como veremos mais adiante; essa data é por vezes também considerada como a de sua fundação. Finalmente, em 1887, Flammarion funda a *Societé Astronomique de France* (SAF), entidade aberta à participação de astrônomos amadores e profissionais de todo o mundo, e dirige até a sua morte a publicação do rico boletim da Sociedade, que até hoje é editado sob o nome *L´Astronomie*.

A SAF – ativa até os dias atuais – teve uma influência decisiva nesta fase inicial do desenvolvimento da astronomia entre os amadores brasileiros no século 19. E talvez, de certa forma, também entre os astrônomos profissionais da época: uma indicação dessa hipótese é encontrada na primeira edição da *Revista do Observatório*, publicada em 1886 pelo Imperial Observatório do Rio de Janeiro (o precursor do atual Observatório Nacional). Abrindo o primeiro número da Revista, em lugar de honra, encontra-se justamente uma carta de Flammarion (apresentada por Louis Cruls, então Diretor do Observatório), felicitando os colegas brasileiros pela criação da Revista. Em seu texto, dizia o astrônomo francês:

> *Sous l´heureuse inspiration d´un prince ami du progrès, le Brésil a vu s´élever le temple d´Uranie au dessus de sa belle capitale, et maintenant de ce temple va descendre un enseignment qui progressivement initiera tous ceux qui en seront dignes à la connaissance des conquêtes intellectuelles qui sont la vraie gloire du esprit humain...* (Flammarion, 1886 :2)

A menção a um "príncipe amigo do progresso" não deixa dúvidas sobre a quem Flammarion se referia. Uma compilação recente das primeiras edições de *L´Astronomie*[3] demonstra que, durante o período entre 1888 e 1910, existiam nada menos que 78 associados da SAF no Brasil. Entre outros nomes ilustres, como os de Alberto Santos-Dumont (sócio de número 2871, admitido em 1901) e de dois diretores do Imperial Observatório do Rio de Janeiro, Louis Cruls (sócio 187, 1889) e Henrique Morize (sócio 2927, 1901), chama imediatamente a atenção o primeiro nome da lista: ninguém menos que o imperador Dom Pedro II, que havia sido o primeiro brasileiro a ser admitido na SAF (em 1888, sob o numero 85), recebendo também o título de "membro-fundador" da Sociedade.

O papel de D. Pedro II (1825-1891) como mecenas e grande incentivador do desenvolvimento da astronomia no Brasil é sobejamente conhecido, e está

[3] Essa compilação foi realizada por Alexandre Amorim e gentilmente fornecida ao autor deste capítulo (comunicação privada, 2012).

descrito em outros capítulos da presente obra. Paralelamente, no entanto, ele foi durante toda a vida um dedicado astrônomo amador. Leitor assíduo de obras sobre astronomia (em especial as de Flammarion, com o qual se correspondia e de quem se tornaria amigo), D. Pedro II mantinha também, no Paço Imperial, em São Cristóvão (atual Museu Nacional da UFRJ) um observatório astronômico particular, dotado de lunetas, relógio de sol e outros equipamentos, no qual o monarca se dedicava aos seus próprios estudos e passava horas observando o céu (persistiram até nossos dias alguns poucos registros das suas observações, como, por exemplo, o de um eclipse lunar ocorrido em 1862). Ele visitava também com freqüência o Imperial Observatório, onde possuía um gabinete para estudos e repouso. Os conhecimentos astronômicos de D. Pedro II são bem descritos por Léon Cap, em *L´Astronomie au Brésil* (1929), citado, em tradução para nosso idioma, por A. Moraes: "O imperador discorria com rara competência sobre questões de astronomia, e todos os astrônomos que o conheceram são unânimes em reconhecer que ele conhecia a fundo a ciência do céu" (Moraes, 1955-1984: 44).

No dia 29 de julho de 1887, D. Pedro II visitaria o Observatório de Camille Flammarion em Juvisy, acompanhado por Louis Cruls. Além de conferir a Flammarion uma comenda e de plantar uma árvore em comemoração à visita, o imperador aproveitaria a oportunidade para observar o planeta Vênus com a nova luneta equatorial de abertura 24 cm:

> *D. Pedro d´Alcantara, membre de l´Institut de France, comme il s´est plu à l´inscrire sur le registre de l´Observatoire, a inauguré l´equatorial pour l´observation de la planète Vénus, qui, non loin du Soleil, offrait l´aspect d´um croissant élegant.* (Flammarion, 1887:330)

Apesar de se tornar alvo de críticas de opositores e de parte da imprensa por sua devoção às ciências, letras e artes em geral, o fato é que D.Pedro II nos deixou um legado cultural significativo. No meio astronômico - em especial entre os amadores - costuma-se comemorar a data de seu aniversário (dia 2 de dezembro) como o Dia da Astronomia no Brasil. Infelizmente, ao nosso conhecimento, até a data atual (inícios de 2013), essa efeméride foi instituída oficialmente apenas no estado do Rio de Janeiro e no município de Feira de Santana (BA). Desde 2009 existe, todavia, um projeto de lei em tramitação no Congresso Nacional para formalizá-lo também em âmbito nacional[4].

Não é, pois, de se admirar que em fins do século 19 a astronomia tivesse tantos adeptos e entusiastas no país. Vários deles eram também membros da

[4] Projeto de Lei número 5931/2009, de autoria do Deputado Guilherme Campos.

SAF, e alguns se destacariam por seus trabalhos observacionais, de ensino ou divulgação. Não temos aqui a pretensão de esgotar o tema, mas tentaremos a seguir citar brevemente alguns desses pioneiros. A este respeito, é indispensável comentar que, em seu rico trabalho sobre a história do Instituto Astronômico e Geofísico da USP, Marques dos Santos (2005) nos oferece também preciosas descrições da vida e dos trabalhos dos amadores dessa época no estado de São Paulo.

Claude Charles Marion, mais conhecido como frei Germano de Annecy (1822-1890) nasceu em Annecy, província de Haute-Savoie, na França, e ordenou-se frade franciscano, da Ordem dos Capuchinhos, em 1845. No ano de 1858, emigra para o Brasil para se tornar professor do Seminário Episcopal de São Paulo, onde lecionaria física, matemática, botânica, mineralogia e astronomia até 1878. No seminário, ele realizaria observações astronômicas e meteorológicas. Sabe-se que ele colaborou com o jornal *A Província de São Paulo* de forma regular quanto aos boletins meteorológicos e esporadicamente com dados de algumas observações astronômicas, porém infelizmente os registros de sua produção astronômica não foram preservados. Frei Germano construiria também dois relógios de Sol na capital paulista, um dos quais ainda se encontra razoavelmente conservado. Em razão de sua saúde precária, muda-se de São Paulo em 1878, inicialmente para Uberaba e posteriormente para a cidade paulista de Franca, onde viveria até 1890. Permanecendo nessa cidade por cerca de dez anos, ele lecionaria, realizaria observações meteorológicas, e construiria mais um relógio de Sol, inaugurado em 1887 e perfeitamente preservado até hoje. Embora frei Germano não tenha deixado nenhuma obra escrita, sabe-se que ele possuía bastante prestígio junto à comunidade astronômica da época – a ponto de ter sido convidado por D. Pedro II para assumir a vice-diretoria do Imperial Observatório, durante a época em que Emmanuel Liais foi o seu diretor (1871-1881). Este convite, todavia, não pôde ser aceito por frei Germano por motivos de saúde, e então D. Pedro o nomeou membro correspondente do Observatório.

José Brazilício de Souza (1854-1910) nasceu na província de Pernambuco, mas mudou-se aos dois anos de idade para Desterro (atual Florianópolis), SC, cidade em que viveria até sua morte. Foi professor, jornalista, músico (é de sua autoria a melodia do Hino do Estado de Santa Catarina) e astrônomo amador. Seu primeiro registro astronômico data de 1882, e daí para diante – por um período de 27 anos – ele se dedicaria regularmente à observação visual e ao registro dos mais diversos objetos e eventos: cometas, planetas, asteróides, a Lua, o Sol, eclipses, ocultações, conjunções, meteoros, estrelas duplas e variáveis. Brazilício foi associado à SAF desde 1895, sob número 1094, sabendo-se que ele chegou a remeter observações à Sociedade. Dentre seus instrumentos, Brazilício observava com uma luneta *Molteni*, com objetiva de 95 mm. Um

amplo levantamento sobre o trabalho de Brazilício, incluindo o resgate de suas observações, tem sido realizado em Florianópolis, e uma versão compacta dessa pesquisa foi recentemente publicada em Amorim (2012).

José Vieira Couto de Magalhães (1837-1898) nasceu em Diamantina, MG, bacharelou-se e doutorou-se em Direito na Faculdade de Direito de São Paulo. Político e militar de influência no Império, recebeu a patente de General-Brigadeiro por bravura na Guerra do Paraguai, tendo sido nomeado Presidente das Províncias de Goiás, Pará, Mato Grosso e São Paulo – esta última, a posição que ocupava quando foi proclamada a República. Homem culto, falava vários idiomas, era escritor e folclorista de renome, e se interessava por matemática e ciências, em particular a astronomia. Entre 1888 e 1889, Couto de Magalhães montaria o que muito provavelmente tenha sido o primeiro observatório astronômico amador no Brasil, localizado na sua chácara da Ponte Grande, às margens do rio Tietê, em São Paulo. Para equipá-lo, Couto de Magalhães importou da Inglaterra uma luneta *Cooke* com abertura de pelo menos 135 mm (o que não era nada desprezível para a época). Os diários de Couto de Magalhães remanescentes em nossos dias, todavia, mostram apenas alguns registros singelos de localização de objetos celestes simples, feitos anteriormente à chegada da nova luneta. A partir de abril de 1888, segundo Marques dos Santos (2005:41), esses registros simplesmente cessam, e não se tem notícias do uso real que o general teria feito do seu novo instrumento. Sabe-se, no entanto, que a luneta chegou de fato a seu destino, e que o observatório acabaria por ser doado finalmente à Escola Politécnica, fundada em 1893, local onde os primeiros cursos regulares de astronomia em solo paulista seriam realizados.

Ainda na cidade de São Paulo, dois outros observatórios amadores seriam construídos nos anos a seguir. O primeiro deles pertenceu a José Feliciano de Oliveira (1868-1962), professor da Escola Normal de São Paulo (posteriormente, Instituto de Educação Caetano de Campos, no centro da cidade). Docente de astronomia na Escola Normal e membro da SAF, Feliciano construiu o observatório, com recursos próprios, na sua residência no bairro da Consolação – ao que consta, para uso de seus alunos em aulas práticas de observação. Por volta de 1895, a cúpula estava pronta, abrigando uma luneta de abertura 135 mm, cedida por um colega, o professor João Lourenço Rodrigues. Apesar de instalado em um local mais favorável que o Observatório da Ponte Grande, o observatório de Feliciano nunca chegou a ser utilizado para as finalidades previstas, pois os cursos de astronomia da Escola Normal foram suprimidos logo a seguir. Segundo Cap (1929:30), Feliciano, sentindo-se entristecido pelo fato, decide deixar São Paulo, mudando-se para Paris, de onde só voltaria no fim de seus dias.

Já o segundo observatório foi montado em 1901 por José Nunes Belfort Mattos (1862-1926), engenheiro civil, diretor do Serviço Meteorológico do Estado de São Paulo e também membro da SAF. Conhecido como "Observatório da Avenida" por se situar na residência de Belfort, na Avenida Paulista, ele possuía duas lunetas com montagens equatoriais, além de instrumentos para registros meteorológicos. Ao contrário dos seus antecessores, consta que o Observatório da Avenida foi efetivamente utilizado para observações astronômicas e meteorológicas durante cerca de dez anos, a despeito das limitações impostas pela crescente ocupação da avenida. Com a subseqüente construção do primeiro observatório oficial do Estado (o Observatório de São Paulo, inaugurado em 1912 e também localizado na Avenida Paulista), os instrumentos do Observatório da Avenida foram para lá transferidos por Belfort (Marques dos Santos, 2005:46). A titulo de curiosidade, note-se que o próprio Observatório de São Paulo não teria vida longa na Avenida Paulista: vítima do aumento da iluminação em seu redor e da vibração causada pelo trânsito de bondes, em menos de vinte anos ele se tornaria impraticável para observações astronômicas. Este foi o fator motivador para a sua posterior transferência para o Parque do Estado, no bairro da Água Funda. Porém, essa já é outra história, que é contada em outros capítulos da presente obra.

A primeira metade do século 20

Durante as primeiras décadas do século 20, o cenário para o desenvolvimento da astronomia no Brasil não parece ter sido dos mais animadores. O advento da República não havia trazido um estímulo oficial significativo. Como nos diz Abrahão de Moraes: "Nesse sentido, são saudosos os tempos em que D. Pedro II se interessava pessoalmente pelo Observatório do Rio de Janeiro, dando vigoroso impulso à astronomia brasileira, então incipiente" (Moraes, 1955-1984:78). As perspectivas para a formação de astrônomos amadores, por outro lado, não eram mais estimulantes: no ensino secundário, as antigas disciplinas de Astronomia e Cosmografia que integravam a grade curricular de alguns poucos colégios na virada do século acabariam por ser transformadas, na época do Estado Novo (em 1931) em meros conteúdos da cadeira de Geografia, que eram ministrados muitas vezes por instrutores sem qualificação apropriada para tanto (Sobreira, 2005). Note-se ainda que o primeiro curso formal de graduação em Astronomia só seria implantado em 1958, na antiga Universidade do Brasil, no Rio de Janeiro.

Nesse cenário, a compreensível tendência era para que os astrônomos amadores continuassem trabalhando de forma autodidata e isolada, a exemplo do que já vimos nos parágrafos anteriores. Mesmo em âmbito regional, ainda inexistiam associações amadoras no Brasil; os aficionados não dispunham assim de recursos e espaços em que o aprendizado informal pudesse ser praticado e o intercâmbio de observações pudesse ser efetuado. Não é de se estranhar, portanto, que a produção relativamente escassa dos astrônomos amadores brasileiros da época acabasse por ser encaminhada à própria SAF francesa.

A esse respeito, cabe mencionar que, a nível internacional, a virada do século 20 foi exatamente a época em que várias das grandes entidades amadoras ainda hoje existentes seriam fundadas, algumas delas nos moldes da congênere francesa. Este é o caso da *British Astronomical Association, BAA,* no Reino Unido, em 1890[5]; da *Astronomical Society of the Pacific, ASP,* nos Estados Unidos, em 1903[6] (quando de sua fundação, a ASP era uma interessante mescla de astrônomos profissionais do *Lick Observatory* e de astrônomos amadores – entre os quais figuraria depois um brasileiro, Louis Gex, da cidade de Santos); da *Royal Astronomical Society of Canada*, RASC, em 1902[7] ; e da *American Association of Variable Stars Observers*, AAVSO, em 1911[8] . Esta última, formada pela iniciativa do astrônomo amador William Tyler Olcott e do então diretor do *Harvard College Observatory*, Edward C. Pickering, se tornaria um paradigma da colaboração entre astrônomos profissionais e amadores. A AAVSO possui hoje o maior repositório de dados sobre estrelas variáveis no mundo, tendo ultrapassado no ano de seu centenário a marca de vinte milhões de observações de variáveis em seu banco de dados. Ao longo do século 20, a entidade se transformaria progressivamente, de associação norte-americana para associação internacional: tanto é assim que, nos dias de hoje, cerca de dois terços de seus dados são provenientes de observadores externos aos EUA, muitos deles no Brasil. O banco de dados da AAVSO é disponibilizado a todos os pesquisadores mundiais que necessitem de observações dessas estrelas, não sem antes passar por critérios internos de validação, que permitem reduzir a dispersão dos dados e asseguram a qualidade dos mesmos para fins de pesquisa.

---

[5] A respeito da história e das atividades atuais da *British Astronomical Association* (BAA), ver o *website* institucional da associação, em http://britastro.org/baa/(acesso em 5 de novembro de 2012).

[6] Sobre a história e das atividades atuais da *Astronomical Society of the Pacific (ASP)*, ver o *website* da associação, em http://astrosociety.org/ (acesso em 5 de novembro de 2012).

[7] Sobre a história e das atividades atuais da *Royal Astronomical Society of Canada* (RASC), ver o *website* da associação, em http://www.rasc.ca/ (acesso em 5 de novembro de 2012).

[8] Sobre a história e das atividades atuais da *American Association of Variable Stars Observers* (AAVSO), ver o *website* da associação, em http://www.aavso.org/ (acesso em 5 de novembro de 2012).

Voltemos, entretanto, à difícil situação dos astrônomos amadores brasileiros nas primeiras décadas do século 20. O cenário de isolamento que descrevemos acima só seria mudado pela incansável ação de alguns pioneiros, que iriam lançar as sementes para a formação dos primeiros grupos e associações amadoras em vários estados brasileiros. Vejamos alguns desses nomes:

Rubens de Azevedo (1921-2008), nascido em Fortaleza, CE, era professor de Geografia e História, artista plástico, e foi um dedicado astrônomo amador, incansável na divulgação da astronomia e na fundação de associações amadoras no Brasil. Excelente observador da Lua e com um talento inato para o desenho e pintura, produziu os primeiros mapas selenográficos feitos no Brasil. Escreveu também diversas obras de divulgação astronômica fundamentais na época, notadamente aquelas sobre nosso satélite natural. Em 1947, em Fortaleza, fundou a Sociedade Brasileira dos Amigos da Astronomia (SBAA), a primeira associação amadora do país, até hoje existente. Mudando-se para São Paulo em 1951, integrou-se ao grupo de Jean Nicolini (de quem falaremos mais adiante); proferiu palestras e cursos em muitas instituições; fundou a Sociedade Brasileira de Selenografia (1956) e realizou importantes trabalhos observacionais na área lunar, correspondendo-se com astrônomos amadores do exterior especializados no mesmo campo. Em 1966, muda-se para Natal, RN; passa a fazer parte da recém-fundada Associação Norte-Riograndense de Astronomia (ANRA); e, trabalhando com Antonio Soares Filho, colabora decisivamente na organização do congresso da Liga Latino-Americana de Astronomia, realizado naquela cidade em 1967. Mudando-se em seguida para João Pessoa, PB, foi co-fundador da Associação Paraibana de Astronomia (APA) em 1967, prossegue realizando seus estudos lunares e torna-se peça importante nos estudos para a futura implantação de um planetário naquela cidade. Finalmente, retorna a Fortaleza, onde atuaria como um catalisador essencial para a construção de observatórios em uma universidade e dois colégios; para a implantação local de cursos de astronomia; e, juntamente com Dermeval Carneiro, para a sensibilização das autoridades locais para a construção de um planetário em Fortaleza – que hoje, com muita justiça, leva o seu nome[9]. Um nome, por sinal, prestigioso e respeitado, não apenas no nordeste como na comunidade amadora de todo o país até os dias de hoje.

Jean Nicolini (1922-1991) foi sobretudo um observador – seguramente, dos mais talentosos que o país já teve. Descendente de franceses e autodidata, Jean

[9] Um interessante testemunho sobre a vida de Rubens de Azevedo, incluindo a descrição do seu avistamento de um possível vale na superfície lunar que seria designado informalmente como "Val Brasiliensis" pode ser encontrado em Travnik (2012).

teve desde cedo (como tantos outros) a sua atenção despertada para a astronomia pela leitura dos livros de Flammarion (Travnik, s/d). Aos vinte e seis anos (em 1948) funda no bairro paulistano de Vila Olímpia, o Observatório do Capricórnio (OC), cujo nome deriva do fato da capital paulista situar-se próxima ao Trópico do Capricórnio. Rapidamente o OC se tornaria o principal pólo de observação astronômica amadora no país: a essa altura, Nicolini dispunha de uma preciosa equipe de colaboradores que contava, entre outros, com Rômulo Argentière, Orlando Zambardino, Rubens de Azevedo, Frederico Funari, Norberto Parada e Paulo Gonçalves. A instrumentação também evoluiu, desde os modestos newtonianos de aberturas 150 mm e 200 mm usados no início, até um refletor *Cassegrain* de abertura 300 mm e refratores de 186 e 150 mm, além de outros telescópios e câmeras solares (Napoleão e Funari, 2004). As observações realizadas no Capricórnio seguiam um ritmo intenso, concentrando-se principalmente nas áreas solar, lunar e planetária. Em particular, por suas observações dos planetas Marte e Vênus, o próprio Nicolini seria laureado pela SAF com o prêmio *Georges Bidault de L´Isle* em 1963. Membro ativo de organizações amadoras internacionais, como a SAF, AAVSO, ALPO (*The Association of Lunar & Planetary Observers*), BAA e outras, Jean colaborou também com o Observatório de Paris-Meudon nesse período, assim como, em 1968 (juntamente com outros observadores, como Rubens de Azevedo, Nelson Travnik e mais cerca de vinte participantes) em um projeto pioneiro de colaboração entre astrônomos amadores e profissionais: a rede internacional LION (*Lunar International Observers Network*), que era liderada no Brasil por Ronaldo Mourão, então no Observatório Nacional (Mourão, 1977). A principal atividade da rede LION era a de monitoramento da superfície lunar para a eventual detecção de FLTs (Fenômenos Lunares Transitórios). Em 1976 muda-se para a cidade de Campinas, recebendo convite da prefeitura local para orientar a instalação do Observatório Municipal de Campinas, que seria inaugurado no ano seguinte, e em cujo sítio foram instalados também os instrumentos de propriedade de Nicolini, provenientes do OC. Nesse local – que foi o primeiro Observatório Municipal existente no país – Jean continuaria se dedicando ativamente ao que talvez tenha sido a sua maior paixão: a observação sistemática do Sol, atividade que exerceu diariamente durante quase quarenta anos. Os registros da atividade solar feitos por Nicolini seriam posteriormente compilados por seus colegas de observatório, Julio. Penereiro e Walter Maluf, e publicados posteriormente em sua memória (Penereiro et al. 2007). Ainda em plena atividade, lamentavelmente Jean viria a falecer em 1991, em um acidente rodoviário na região da cidade de Americana. Em justíssima homenagem, o observatório municipal de Campinas passou a denominar-se "Observatório Municipal de Campinas Jean Nico-

lini" (OMCJN) a partir de 1992. O Observatório de Campinas foi também um modelo para a instalação de vários outros observatórios municipais no estado, em cidades como Americana (1985) e Piracicaba (1992), ambos coordenados pelo astrônomo Nelson Travnik, colega de Nicolini em Campinas desde 1976.

Jean Nicolini publicou dois livros, um deles "Manual do Astrônomo Amador" permanece como uma referência e uma inspiração para os novos astrônomos amadores até hoje. Não é de se estranhar: com uma vida dedicada à observação astronômica, ele foi certamente um precursor dos astrônomos amadores observacionais contemporâneos.

Aristóteles Orsini (1910-1998) nasceu em Avaré, no interior paulista, e mudou-se para São Paulo em 1922. Graduou-se em Medicina pela USP em 1933, doutorando-se em 1934 e estudando subsequentemente também Física e Matemática na mesma Universidade. Foi professor da Escola Paulista de Medicina e da Faculdade de Farmácia e Odontologia da USP, onde, em 1947, seria aprovado em concurso para Professor Catedrático. Mais tarde receberia também o honroso título de Professor Emérito da Universidade de São Paulo (Varella, 2005). A par de sua vastíssima cultura e de sua brilhante carreira como médico e professor universitário, Orsini foi astrônomo amador dos mais conceituados. Seu nome está estreitamente ligado à Associação de Amadores de Astronomia de São Paulo (AAA-SP), da qual foi um dos fundadores e diretor durante muitos anos, bem como ao Planetário do Ibirapuera (o primeiro no Brasil) e à Escola Municipal de Astrofísica, ambos na capital paulista. Orsini seria o principal responsável pela implantação dessas duas entidades (respectivamente em janeiro de 1957 e janeiro de 1961); ele as dirigiria até o ano de 1980. Ambas as instituições levam hoje, meritoriamente, o nome do professor Orsini.

A AAA-SP foi criada em 1949 nas dependências da Faculdade de Farmácia e Odontologia da USP, por um grupo de nove pessoas que incluíam, além de Orsini e outros, o nome de Abrahão de Moraes, que posteriormente (entre 1955 e 1970) seria o diretor do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da USP. É impossível descrever, no espaço deste capítulo, a extraordinária dinâmica e a diversidade das atividades a que a AAA-SP se dedicaria nos anos seguintes, mas tentemos listar alguns destaques. Em 1959, ao completar dez anos de existência, a AAA-SP publicou um balanço de suas atividades no período (Associação de Amadores de Astronomia de São Paulo, 1959), alguns tópicos do qual resumiremos a seguir: ela já havia alcançado a marca de mais de mil sócios inscritos (um recorde que só seria igualado na cidade de São Paulo cerca de meio século depois), e operava gratuita e voluntariamente o Planetário há menos de dois anos sob a direção de Orsini, dotando-o de uma eficiência e produtividade até hoje inigualadas:

Desde a sua inauguração até o dia 31 de outubro [de 1959] foram realizadas 1.201 apresentações, assistidas por 339.487 pessoas e todas as apresentações feitas, graciosamente, por membros da A.A.A., que também se encarregaram da distribuição gratuita de ingressos ao público, da parte musical e das projeções auxiliares.

Ela havia instalado uma oficina de construção de telescópios ao lado do Planetário, confeccionando mais de duzentos instrumentos e colocando-os à disposição do público paulista para sessões de observação astronômica: nada menos de setenta mil pessoas desfrutaram dessas sessões no período. Ela havia criado também um departamento de radioastronomia, e iniciava a construção do primeiro radiotelescópio da América Latina. (A este ponto, devemos notar que esse departamento estava a cargo de talentosos jovens, vários dos quais viriam a se tornar importantes pesquisadores brasileiros; eles eram então liderados por Pierre Kaufmann, atual coordenador do Centro de Rádio-Astronomia e Astrofisica Mackenzie. Assim, não é incorreto dizer que esse departamento foi também a semente da radioastronomia brasileira).

A dissolução da AAA-SP em 1965 representou uma triste notícia para as atividades de divulgação astronômica ao público na cidade de São Paulo. Parte das conseqüências dela, lamentavelmente, é sentida até os dias de hoje na capital paulista.

Anos 1950 a 1990: o florescimento dos clubes de astronomia

No início da segunda metade do século 20, ainda contavam-se nos dedos o número de associações astronômicas amadoras no Brasil. Porém, nas décadas seguintes, haveria um crescimento vigoroso dessas sociedades: um censo efetuado durante a realização do Ano Internacional da Astronomia (AIA) em 2009, mostrou a existência de cerca de 160 clubes de astronomia em quase todos os estados do país. Uma grande parcela dessas entidades foi fundada entre as décadas de 1950 e 1990, e ainda continua atuante.

Certamente, a atuação de pioneiros como Orsini, Nicolini e Rubens de Azevedo (e outros que mencionaremos mais adiante) foi um dos maiores catalisadores para o florescimento dos clubes brasileiros nas décadas acima citadas. Existem outros fatores, todavia, que incrementavam o interesse geral por astronomia nesse período, e consequentemente estimularam a criação de novos clubes, no Brasil e no mundo. Os primeiros tempos da corrida espa-

cial, desde o *Sputnik* (1957), passando pelo vôo orbital de Gagarin (1961) e pela missão *Apollo XI* à Lua (1969), sem esquecer as sondas não-tripuladas enviadas a diversos planetas nessas décadas, eram amplamente divulgados pela mídia da época e não podem ser desprezados. Os esforços de popularização da astronomia por alguns autores através de livros e programas televisivos, notadamente Carl Sagan (1934-1996) e Patrick Moore (1923-2012) despertariam muitas vocações em futuros astrônomos, tanto profissionais como amadores[10]. No Brasil, a implantação de planetários municipais (e posteriormente, de observatórios municipais) em diversas cidades estimulava os entusiastas e curiosos a aprenderem mais sobre astronomia. Até mesmo alguns eventos naturais específicos, como os eclipses solares totais de 1947 e 1966, ou a passagem periélica do cometa Halley em 1986, serviram de incentivo para que alguns clubes iniciassem as suas atividades. Para este último evento, chegou a ser criada uma campanha de observação com abrangência nacional: o Programa Brasileiro para a Observação do Cometa Halley (PBOCH), que se filiava ao IHW - *International Halley Watch* (Amorim, 2007).

Por outro lado, curiosamente, a motivação tão frequentemente citada nos EUA (Cameron, 2010) para o crescimento drástico dos clubes de astronomia em meados do século 20 (a redução dos custos de fabricação artesanal ou industrial de telescópios logo após a II Grande Guerra) não parece ter tido um efeito semelhante na Europa, e tampouco no Brasil. Talvez uma evidência de que os nossos padrões neste setor se aproximam mais dos europeus do que dos norte-americanos.

Já mencionamos aqui alguns dos nossos primeiros clubes: a SBAA, a ANRA, a APA, a AAA-SP. Tentaremos reproduzir a seguir as trajetórias de outros que surgiriam no período abordado neste tópico. Antes, porém, o autor gostaria de se dirigir ao leitor, em especial aos seus colegas astrônomos amadores. Evidentemente, seria impossível relacionar individualmente neste texto as quase duas centenas de clubes de astronomia atuais do país. Assim, optamos por mencionar aqui, levando em conta também os registros do AIA em 2009, uma amostra de clubes significativos e ainda atuantes (o que não quer dizer, obviamente, que os demais não o sejam). Desde já pedimos a sua compreensão se este ou aquele clube, ou nomes específicos, não puderam ser citados por essa questão de espaço, o que inevitavelmente irá ocorrer em alguns casos.

O atual CEAMIG (Centro de Estudos Astronômicos de Minas Gerais) resultou da fusão, em 1972, de dois grupos anteriormente existentes na capital

[10] Um bom relato dos esforços de popularização da astronomia nessas décadas é visto em Moore (1988).

mineira: o Centro de Estudos Astronômicos César Lattes, que havia sido fun-dado em 1954 por Henrique e Conceição (Zininha) Wykrota (Rosa Campos, s/d); e a SEA (Sociedade de Estudos Astronômicos), criada por jovens estudantes de Física e Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais (Rodrigo Dias Társia, Caio Márcio Rodrigues, Eduardo Janot Pacheco e outros), que já estavam envolvidos na implantação do observatório astronômico da UFMG na Serra da Piedade (Tambasco, 1997); vários destes acabariam por se tornar pesquisadores de renome no futuro. Essa união parece ter sido benéfica para o CEAMIG, que cresceria com um perfil muito diversificado, orientado tanto para a divulgação astronômica ao público, como para a construção de equipamentos ATM (do inglês *Amateur Telescope Making*), como ainda para a pesquisa observacional a nível amador – traços esses que conserva até os dias atuais, em que o clube mantém uma ampla programação de palestras e observações públicas em Belo Horizonte, bem como um observatório (hoje denominado "Wykrota", em homenagem ao casal de fundadores) na mesma Serra da Piedade, próximo ao observatório da UFMG. Sem dúvida, o CEAMIG é um dos mais organizados e ativos clubes de astronomia brasileiros da atualidade.

A este ponto, não se pode deixar de mencionar um extraordinário observador do CEAMIG deste período: Vicente Ferreira de Assis Neto (1936-2004). Agropecuarista, Vicente aproveitava os céus límpidos de sua fazenda do Perau, em São Francisco de Paula (MG), para observar visualmente - em particular cometas, área na qual seria considerado um dos observadores mais ativos do hemisfério sul. Ele observaria 112 desses astros entre 1957 e 2004, enviando sistematicamente os seus registros para publicação nas Circulares da IAU desde 1977 (Amorim, 2004). Vicente, no entanto, foi também um talentoso observador do Sol, de estrelas variáveis e de novas, colaborando também com a IAU nessas áreas.

No Rio Grande do Sul, na década de 1960, o engenheiro José Baptista Pereira (1898-1971), professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e astrônomo amador, empenhava-se na aprovação do projeto de um planetário para a cidade de Porto Alegre. Dedicado divulgador da astronomia e muito hábil na construção de instrumentos de precisão, Pereira já havia construído em sua própria casa, no ano de 1953, um observatório dotado de um telescópio de abertura 400 mm (o maior fabricado no Brasil até então) e havia fundado, em 1964, a Associação Astronômica do Rio Grande do Sul. O sonho do engenheiro seria finalmente realizado em 1972, quando o Planetário de Porto Alegre, da UFRGS, abriu suas portas. Infelizmente, Pereira não pôde presenciar a inauguração: havia falecido no ano anterior. Em

sua homenagem, no entanto, o novo espaço foi batizado com o seu nome[11]. Quanto à Associação Astronômica do Rio Grande do Sul, não sobreviveria por muito tempo à morte do seu fundador. Em 1979, ela seria sucedida pela SARG (Sociedade Astronômica Riograndense), um grupo que contava com excelentes jovens observadores em seu quadro, tais como Luiz Augusto L. da Silva, Carlos Adib, Gilberto Renner e outros. A SARG seria especialmente ativa na década seguinte, época em que chegou a sediar por vários anos a UBA (União Brasileira de Astronomia), uma entidade que foi a primeira tentativa de congregar as diversas associações astronômicas amadoras brasileiras existentes. Nesse período a UBA seria bastante ativa, chegando a reunir vários desses clubes em torno de campanhas observacionais, publicando ainda o boletim "Informativo Astronômico"[12]. Nos anos posteriores, no entanto, a UBA não prosperaria, encontrando-se infelizmente inativa nos dias atuais.

Desde os dias de Georg Marcgrave no século 17, o nordeste brasileiro cultiva uma rica tradição astronômica. Mais de três séculos depois de Marcgrave, um outro europeu (desta vez, nascido na Holanda e não na Alemanha) viria a prestar uma significativa contribuição à astronomia nordestina e brasileira: Johannes Michael Antonius Polman (1927-1986), mais conhecido como padre Polman. Natural de Amsterdam, Polman chegou ao Brasil em 1952, ordenando-se sacerdote em 1957 no Recife, PE. Em 1970, ingressa no Colégio São João, na mesma cidade, como professor de ciências, e a partir do ano seguinte começa a desenvolver com seus alunos diversas atividades observacionais e a ministrar cursos introdutórios sobre astronomia. O crescente interesse dos alunos seria a semente para que ele fundasse duas associações amadoras nos anos seguintes: o CEA (Clube Estudantil de Astronomia, 1972) e a SAR (Sociedade Astronômica do Recife, 1973), bem como para que montasse no mesmo local um observatório astronômico e uma oficina para construção de instrumentos (1974). De personalidade carismática e inovadora, muito ativo na divulgação astronômica, na participação em congressos e no relacionamento com outras entidades (dirigiu também a UBA em fins da década de 1970, e foi um dos articuladores da criação da Liga Ibero-Americana de Astronomia), Polman era, no entanto, sobretudo um observador e um mestre; e, como competente professor, sabia bem como transmitir a sua paixão pela observação para seus discípulos. É dele o lema constantemente lembrado até hoje por seus alunos e admiradores:

---

[11] O *website* institucional do Planetário da UFRGS "José Baptista Pereira" oferece uma rica biografia do seu patrono. Ver http://www.planetario.ufrgs.br/biografia.html (acesso em 28 de novembro de 2012).

[12] Um relato cronológico das observações e demais atividades da SARG e da UBA nesse período pode ser encontrado em Adib (2008).

Que o esteio, a espinha dorsal de qualquer associação seja um programa rotineiro de observação; que seja observação de variáveis; do Sol; ocultações; planetas; Lua; não importa o que. Mas que haja uma rotina, uma especialização que resulte em observar, observar, sempre observar. (Prazeres, 2004:19)

Na mesma época em que Polman iniciava seus cursos em Recife, uma iniciativa semelhante se dava em Curitiba, PR, nas dependências do Colégio Estadual do Paraná. Como uma extensão dos cursos introdutórios de astronomia e astrofísica ministrados no Colégio, o professor José Manoel Luis Ungaretti da Silva fundava em 1973 o CACEP (Clube de Astronomia do Colégio Estadual do Paraná). Nos primeiros anos as atividades do CACEP concentravam-se na observação solar, lunar, de eclipses e de estrelas variáveis pelos alunos, usando pequenos telescópios. Com o passar do tempo, entretanto, a infra-estrutura astronômica do Colégio seria ampliada enormemente, incluindo a instalação de um planetário em 1978 e, finalmente, do Observatório Astronômico do Colégio Estadual do Paraná (OACEP) em 1994, ambos também sob a direção do Prof. José Luís. Abertos ao público e em plena atividade, o OACEP, o CACEP e o Planetário formam nos dias de hoje um complexo astronômico digno de nota e, sem dúvida, representam um importante pólo de divulgação, ensino e observação astronômica para a comunidade do Paraná e de toda a região sul[13].

Ainda na década de 1970 seria fundado, em 1976, no Rio de Janeiro, o CARJ (Clube de Astronomia do Rio de Janeiro) sendo Ronaldo Rogério de Freitas Mourão o seu primeiro presidente. O clube se dedica a atividades de divulgação, promovendo reuniões e palestras mensais e editando periodicamente Boletins e Circulares[14].

Em Alagoas, em 1978, começa a tomar forma o que posteriormente seria o CEEAL (Centro de Estudos Astronômicos de Alagoas) através dos esforços de Genival Leite Lima, que havia freqüentado cursos no CEA, no Recife. De origem humilde e usando uma pequena luneta emprestada em um modesto observatório na sua casa, ele procurava, ainda que com parcos recursos, estimular a divulgação da astronomia em seu estado e formar um grupo (ainda informal) de astrônomos amadores. Gradualmente, isso iria ocorrer, até que em 1989, por iniciativa do professor Adriano Aubert Silva Barros e

---

[13] Informações sobre o histórico e a programação de atividades do CACEP, OACEP e do planetário do Colégio Estadual do Paraná podem ser vistas no seu *website* institucional, em http://www.cacep.com.br/ (acesso em 12 de dezembro de 2012).

[14] Informações sobre o histórico e a programação de atividades do CARJ podem ser encontradas em seu *website* institucional, em http://www.astronomia-carj.com.br/ (acesso em 20 de janeiro de 2013).

alguns outros associados, o CEAAL passou a ter existência formal. A evolução do CEAAL a partir dessa data é notável: após estabelecer parcerias com a Universidade Federal de Alagoas (UFAL), o CEAAL passa a oferecer regularmente cursos, palestras e observações semanais (inclusive em praças públicas) para a comunidade alagoana, bem como aulas de astronomia em escolas públicas; estabelece um quadro efetivo de observadores de estrelas variáveis, remetendo seus dados para a AAVSO e outras instituições; e passa a operar um planetário inflável da UFAL, com sessões abertas ao público. Em 2006 Genival viria a falecer precocemente, como patriarca do clube. Em sua homenagem, três anos depois seria inaugurado o "Observatório Astronômico Genival Leite Lima" (OAGLL), uma unidade do Centro de Ciência e Tecnologia da Educação do Estado, que é operado também pelo CEAAL sob a coordenação do professor Adriano Barros, oferecendo observações públicas três vezes por semana[15]. Durante o AIA em 2009, o CEAAL receberia premiações internacionais (concorrendo com clubes de astronomia de todo o mundo) em função do alcance e do ritmo de seus trabalhos de divulgação junto à comunidade alagoana (*International Astronomical Union,* 2010).

Em Santa Catarina, ainda nesse período, seriam fundadas duas importantes instituições amadoras. O Observatório Astronômico de Brusque (OAB), no Convento Sagrado Coração de Jesus, foi inaugurado em 1979 pelos padres Pedro Rauber e Tadeu Mikowski. Dotado atualmente, entre outros instrumentos, de um refletor de abertura 300 mm, o Observatório é aberto a visitas de escolas e do público, e tem sido operado desde sua fundação por Silvino de Souza e a equipe do Clube de Astronomia de Brusque (CAB), entidade criada em 1988[16]. Já em Florianópolis, fundava-se em 1985 o Grupo de Estudos de Astronomia (GEA), entidade que mantém parcerias com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e que tem oferecido desde então ao público florianopolitano uma ampla programação anual de reuniões, cursos, palestras e observações públicas[17]. Falando em Santa Catarina, no entanto, é impossível deixar de mencionar um outro extraordinário observador visual brasileiro: Avelino Alcebíades Alves. Nascido em 1928 e autodidata, Avelino foi co-fundador do Núcleo de Estudos de Astronomia

[15] Informações sobre o histórico e a programação de atividades do CEAAL e do OAGLL podem ser encontradas no *website* institucional, em http://www.ceaal.al.org.br/ (acesso em 20 de janeiro de 2013).

[16] Informações sobre o histórico e a programação de atividades do CAB e do OAB podem ser encontradas no *website* institucional, em http://www.geocities.ws/oab/ (acesso em 20 de janeiro de 2013).

[17] Informações sobre o histórico e a programação de atividades do GEA podem ser encontradas no *website* institucional, em http://www.gea.org.br/ (acesso em 20 de janeiro de 2013).

da UFSC, grupo que posteriormente evoluiria para o GEA, do qual ele seria o primeiro vice-presidente. No entanto, a maior contribuição de Avelino seria na observação de estrelas variáveis - em especial as binárias eclipsantes. Membro ativo da AAVSO (entidade para a qual colaborou com cerca de nove mil observações), além da AFOEV (*Association Française des Observateurs d'Étoiles Variables*), da REA (ver adiante), da LIADA (Liga Iberoamericana de Astronomia) e de outras entidades, Avelino se tornou reconhecido internacionalmente pela precisão das suas estimativas visuais de magnitude. Curiosamente, ao completar 80 anos, Avelino seria homenageado, pela Câmara de Vereadores da cidade, com o título de Cidadão Honorário de Florianópolis...apesar de ele ser florianopolitano nato ! (Amorim, 2009).

Ainda na década de 1980 seria fundado em 1986 o Clube de Astronomia de Brasília (CAsB). Apesar de relativamente jovem, o CAsB já possui uma tradição de clube bem organizado e de atuação muito dinâmica, tendo recebido também uma premiação internacional durante o AIA em 2009. O clube oferece regularmente um extenso leque de atividades ao público da Capital Federal (muitas vezes em parceria com universidades locais) incluindo cursos, palestras de divulgação e observações públicas, geralmente realizadas na Praça dos Três Poderes[18]. É de se ressaltar também que o CAsB possui uma excelente equipe de astrofotógrafos, e que nos anos recentes tem organizado todas as edições do Encontro Brasileiro de Astrofotografia, nas quais os participantes se deslocam durante alguns dias para a região de reserva ambiental na Chapada dos Veadeiros, onde os céus perfeitamente escuros proporcionam um dos melhores locais para essa prática no Brasil.

Completando essa "era pré-Internet", em janeiro de 1988 foi criada a REA (Rede de Astronomia Observacional) por um grupo de astrônomos amadores residentes em São Paulo: Carlos Colesanti, Cláudio Brasil, Edvaldo Trevisan, Reinaldo del Dotore e o autor deste capítulo. O modelo adotado desde o início pela REA, entretanto, não foi o de um clube de astronomia local, e sim o de uma rede de observadores individuais, especializada exclusivamente em uma das áreas da atividade amadora: a observação astronômica. Com esse escopo original, a REA passou a congregar imediatamente um grande número de astrônomos amadores experientes e dedicados à área observacional, independente do local onde residiam. Dois meses após sua fundação, ela contava com um quadro de algumas dezenas de obser-

[18] Informações sobre o histórico e a programação de atividades do CAsB podem ser encontradas no seu *website* institucional, em http://www.casb.org.br/ (acesso em 20 de fevereiro de 2013).

vadores em todo o país (hoje, vinte e cinco anos depois, ele congrega em torno de 150 membros). Nessa sua fase inicial, a REA – estruturada em diversas secções observacionais – propunha mensalmente aos seus associados uma série de projetos de observação em base sistemática e padronizada, para que os membros pudessem registrar seus dados e enviá-los à central de coordenação que, por sua vez, se encarregava de consolidá-los e publicá-los. Apesar de, na época, tudo isso ser feito por via impressa e por correio - afinal, computadores eram raros e a Internet ainda estava em seus primórdios no Brasil - esse formato em rede (precursor das redes astronômicas hoje comuns na Internet) produziu resultados notáveis: nos seus primeiros dez anos, a REA havia desenvolvido 232 projetos observacionais e coletado mais de 22 mil observações realizadas por seus associados nas mais diversas áreas. Com o advento definitivo da Internet, a REA passou a atuar basicamente como um vínculo virtual de comunicação diária entre a comunidade dos observadores amadores brasileiros. A grande maioria destes continua filiada à REA nos dias de hoje, independentemente de pertencerem ou não a clubes locais específicos. As dezenas de *papers* observacionais produzidos pelos associados foram publicadas periodicamente em meio impresso nos "Reportes da REA", e estão disponíveis ao público na Internet[19].

Da década de 1990 à atualidade

A partir do final do século 20, o avanço da microeletrônica e a ampliação da escala de produção industrial de instrumentos tornaram economicamente acessíveis aos amadores o uso de telescópios de alto desempenho e, em especial, os detectores CCD (*charge-coupled devices*), que se tornariam um divisor de águas nas técnicas de obtenção de imagens astronômicas. O uso generalizado de computadores pessoais e de *softwares* específicos possibilitou também a automação desses instrumentos. Paralelamente, o advento da Internet viabilizou tanto a transmissão instantânea de dados para os grandes centros astronômicos mundiais, como também a operação remota de observatórios amadores (robotização), aumentando drasticamente a sua produtividade. No campo observacional, o uso dessas novas ferramentas incrementou a utilização dos dados obtidos por amadores para fins científicos, resultando também em uma série de descobertas

[19] Embora todas as edições impressas dos Reportes da REA tenham se esgotado logo nos primeiros meses de sua publicação, é possível obtê-las em formato pdf em http://www.rea-brasil.org/docs/reportes.php (acesso em 21 de fevereiro de 2013).

por astrônomos amadores brasileiros (asteróides, NEOs – ver adiante -, cometas, supernovas), abrindo assim uma ampla oportunidade de interação entre os astrônomos amadores e profissionais nas atividades de pesquisa.

Por outro lado, nas atividades de divulgação e ensino não-formal, a Internet possibilitou novas modalidades de popularização da astronomia em uma escala antes inexplorada (*Websites*, listas de discussão, fóruns, redes sociais). Isso passou a ser feito principalmente pela atuação dos clubes regionais, que passaram a explorar competentemente essas novas formas de comunicação. O efeito de toda essa revolução tecnológica sobre essas áreas clássicas de atuação dos astrônomos amadores brasileiros será o objeto dos parágrafos seguintes deste capítulo.

Antes, porém, cabe fazer aqui uma ressalva. O conjunto de todas as ações acima citadas às vezes costuma ser chamado, em jargão informal, de "a nova astronomia amadora", expressão que não consideramos particularmente feliz. Não apenas pelas restrições terminológicas mencionadas no início deste capítulo, mas também porque o seu uso poderia implicar, por exemplo, que a observação praticada anteriormente ao uso dos detectores CCD (ou seja, a observação visual) se tornou "velha" ou obsoleta. Não compartilhamos desta visão. A nosso ver, a observação através de CCDs e computadores e a observação visual não são rivais, e sim complementares entre si; a prática de ambas em paralelo permite contornar as limitações naturais de cada técnica. A prática visual sistemática e padronizada, amparada pela rapidez de comunicação característica da Internet, se converteu em uma ferramenta poderosa em atividades de monitoramento, alertas e detecção, especialmente úteis quando essas observações são consolidadas em um banco de dados disponível a todos via Internet. Já citamos aqui o caso da AAVSO na área de estrelas variáveis; um bom exemplo no Brasil seria o banco de dados de observações visuais da secção de cometas da REA, dirigida por Alexandre Amorim (um destacado observador visual catarinense, na melhor tradição de Brazilício e Avelino Alves): em janeiro de 2013 ele continha cerca de 6.500 observações visuais de cometas feitas por observadores brasileiros, além de descrições, efemérides e curvas de luz para cada cometa observado e de tutoriais e formulários-padrão para os que desejarem se iniciar nessa área[20].

Iniciemos, pois, com a área observacional e, mais especificamente, com os avanços e descobertas efetuadas por astrônomos amadores brasileiros pelo uso das técnicas de imageamento digital por câmeras CCDs e de computadores. Como um breve

[20] O banco de dados da secção de cometas da REA está disponível ao público pela Internet, no *website* dessa secção, em http://www.rea-brasil.org/cometas/ (acesso em 03 de março de 2013).

preâmbulo, pode-se citar que, pouco antes dessa fase, uma técnica de gravação de imagens eletrônicas através de câmeras comerciais de *video-tape* acopladas a telescópios, já vinha sendo utilizada. Por esse processo (que nos dias de hoje seria considerado rudimentar, mas para a época era inédito), Nelson Falsarella (São José do Rio Preto, SP) já havia logrado obter o mapeamento de Marte na oposição de 1988 (Falsarella, 1989), bem como monitorar regularmente Jupiter e outros planetas.

A primeira câmera CCD para uso amador no Brasil (modelo *SpectraSource Lynxx*) seria instalada em junho de 1991 no Observatório Orion, em Mairinque, SP. Acoplada a um refrator "*Brandon*" de abertura 94 mm e a um computador tipo PC, ela foi usada de início principalmente para imageamento digital do Sol e dos planetas, efetuado por Carlos Alberto Colesanti e pelo autor deste capítulo. Em julho de 1994, já dotado de um *Schmidt-Cassegrain* de abertura 355 mm, este Observatório produziria o único registro digital no Brasil do choque do cometa *Shoemaker-Levy 9* com o planeta Júpiter (Funari e Aguiar, 1994). Nos anos imediatamente a seguir, o Observatório receberia câmeras mais sofisticadas, além de novos telescópios e computadores mais modernos, passando a se especializar principalmente em trabalhos de fotometria diferencial de estrelas variáveis[21]. Boa parte das observações (principalmente de estrelas variáveis de longo período e semi-regulares) seria encaminhada rotineiramente à AAVSO, enquanto outras (como as de certas variáveis cefeidas de período ultracurto, da classe SX Phoenicis) viriam a ser utilizadas como contribuição observacional para *papers* especializados de pesquisadores profissionais[22].

Uma importantíssima linha da pesquisa amadora brasileira, muito ativa até os dias de hoje, se iniciaria também na década de 1990. Obedecendo a uma determinação de 1992 do Congresso norte-americano, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) começava a coordenar uma série de programas de busca e descoberta de *Near Earth Objects* (NEOs). Pela sigla "NEO" entende-se corpos menores do sistema solar (asteróides e cometas) cujas órbitas eventualmente os levam às proximidades da Terra. Sob determinadas condições, alguns desses podem representar um risco potencial de impacto com a Terra, sendo então denominados PHOs (*Potentially Hazardous Objects*). Visando identificar esses objetos, a meta inicial da NASA era a de descobrir, no prazo de dez anos, pelo menos 90% dos NEOs cujo diâmetro fosse de 1 km ou mais. Para cumprir esse objetivo, a NASA estabeleceu na época vários programas de monitoramento visando à descoberta e astrometria de NEOs, geralmente em parcerias com universidades, observatórios e a Força Aérea

[21] Ver a respeito, por exemplo, Napoleão e Colesanti (2001).
[22] Ver a respeito, por exemplo, Fu et al. (2008)

norte-americana: *LINEAR*[23], *NEAT*[24], *LONEOS*[25], *Spacewatch*[26], e outros O monitoramento diário era feito com a nova tecnologia de telescópios automatizados e câmeras CCD dedicadas. A centralização das observações dos NEOs descobertos e a sua catalogação passaram a ser efetuados pelo MPC (*Minor Planet Center*) da IAU[27]. Não tardou muito para que alguns astrônomos amadores em todo o mundo se juntassem a esse esforço, usando essencialmente o mesmo processo de monitoramento.

No Brasil, Paulo Holvorcem já trabalhava com astrometria de asteróides e cometas desde 1996, inicialmente com uma câmera CCD e um telescópio em Campinas e, de 1997 a 2003, no Observatório Abrahão de Moraes, da USP, em Valinhos, SP. Doutor em Matemática Aplicada, desde o início Holvorcem optou por desenvolver *softwares* originais para a automação das tarefas de planejamento e execução das observações, bem como de análise dos resultados. A partir de 2000, ele criou *softwares* também para a operação remota de telescópios e ampliou a sua atuação através de uma parceria com o observador norte-americano Michael Schwartz, do *Tenagra Observatories*, usando remotamente telescópios de aberturas 50cm e 81cm. Essa combinação de equipamento sofisticado com a operação robótica através dos *softwares* permitiu uma produtividade inédita: mais de 4 mil medidas astrométricas de NEOs e cometas, além da descoberta de 220 asteróides, foram realizadas até 2004. Estendendo mais ainda as suas parcerias internacionais, Holvorcem descobriu entre 2001 e 2003 mais 180 asteróides e o seu primeiro cometa, em conjunto com o astrônomo amador norte-americano Charles Juels. Em seguida, ele cria um novo *software* para detecção automática de objetos móveis nas imagens CCD, e passa também a trabalhar com instrumentos de pequena abertura e grande campo, acoplados a CCDs de grande formato. Mais uma vez o resultado foi um sucesso. Em fins de 2013, Holvorcem contava com um

---

[23] O programa *LINEAR* (*Lincoln Near Earth Asteroid Research*) opera desde 1996 e é uma colaboração entre a NASA, a Força Aérea norte-americana e o *Massachussets Institute of Technology* (MIT).

[24] O programa *NEAT* (*Near Earth Asteroid Tracking*) operou entre 1996 e 2007 e era liderado pelo *Jet Propulsion Laboratory* da NASA, em colaboração da Força Aérea norte-americana.

[25] O programa *LONEOS* (*Lowell Observatory Near-Earth Object Search*) era uma parceria entre a NASA e o observatório Lowell, de Flagstaff, Arizona, tendo operado entre 1998 e 2008.

[26] Liderado pela Universidade do Arizona e pela NASA, o programa *Spacewatch* foi o primeiro a realizar a detecção automática de NEOs, descobrindo o primeiro pela nova tecnologia em 1990.

[27] As estatísticas de detecção de NEOs pelos programas citados, bem como por outros que surgiriam nos anos seguintes (como o CSS - *Catalina Sky Survey*), estão disponíveis em http://neo.jpl.nasa.gov/stats/ (acesso em 2 de março de 2013).

registro impressionante de descobertas: nove cometas, doze NEOs e centenas de asteróides, além de milhares de medidas astrométricas de corpos menores do sistema solar (Holvorcem, 2013). Tudo indica que a sua brilhante carreira nessa área continuará nos anos vindouros.

Na mesma linha de pesquisa de Holvorcem, em Belo Horizonte, o engenheiro Cristóvão Jacques iniciava em 1999 o monitoramento de asteróides com câmera CCD e os telescópios do Observatório Wykrota, do CEAMIG, tendo descoberto dezenove desses astros (alguns deles em conjunto com colegas desse clube). Posteriormente, Cristóvão viria a continuar a sua pesquisa de asteróides, cometas e NEOs operando remotamente o observatório robótico "CEAMIG-REA", construído por ele e Eduardo Pimentel em Belo Horizonte (Jacques e Pimentel, 2007). Esse observatório seria usado também para o programa de busca de supernovas BRASS, como veremos mais adiante. Cristóvão havia reportado ao MPC, até o ano de 2013, mais de duas mil observações astrométricas de NEOs, participando também ativamente junto ao CBAT (*Central Bureau of Astronomical Telegrams*), da IAU, do processo de confirmação de novas descobertas (cometas, supernovas, novas, etc.), bem como de campanhas internacionais de observação de ocultações asteroidais[28].

Até a presente data (início de 2013), dezessete supernovas haviam sido descobertas por observadores brasileiros. A primeira delas foi a SN 2007D, descoberta em 2007 pela astrônoma profissional Duilia de Mello, durante uma sessão de observações de galáxias no telescópio de 1,52 m do ESO em La Silla, no Chile (de Mello, s/d). A segunda foi a SN 2002bo, descoberta pelo astrônomo amador Paulo Cacella, de Brasília, em março de 2002, durante uma sessão de imageamento CCD de galáxias na constelação do Leão (Cacella, 2002). No entanto, essas duas descobertas (assim como a descoberta independente, em 1999, da nova galáctica V382 Velorum pelo observador paulista Renato Levai (Napoleão, 2000)), foram incidentais – ou seja, a intenção nos três casos não era a das descobertas em si, mas sim a de realizar um outro tipo de observação. Claro que isso não afeta em nada o mérito das mesmas: se elas ocorreram, foi unicamente devido à aguda percepção, talento e conhecimento do céu dos respectivos descobridores.

---

[28] Em fins de 2013 o mesmo Cristóvão Jacques, em parceria com Eduardo Pimentel e João Ribeiro de Barros, colocaria em operação um novo observatório robótico para monitoramento e detecção de NEOs e outros corpos menores do Sistema Solar. Denominado SONEAR (*Southern Observatory for Near Earth Asteroids Research*) e situado na cidade mineira de Oliveira, este observatório descobriria o seu primeiro cometa (C/2014 A4 SONEAR) já no mês de janeiro de 2014. O SONEAR, por sinal, é no início de 2014 o único projeto de patrulhamento sistemático de NEOs em todo o Hemisfério Sul, o que lhe confere um grande potencial para outras descobertas em futuro muito breve.

As restantes quinze supernovas descobertas por brasileiros foram encontradas pelo primeiro programa amador para busca automatizada de supernovas na América Latina: o BRASS (*Brazilian Supernovae Search*), criado em 2003 por um grupo de quatro astrônomos amadores (Carlos Colesanti, Cristóvão Jacques, Eduardo Pimentel e o autor deste capítulo). No início desse programa, preparou-se um catálogo específico de galáxias-alvo, estatisticamente otimizadas quanto à probabilidade de ocorrência de supernovas, de acordo com diversos parâmetros astrofísicos. Foi selecionada assim uma amostragem de 3.600 galáxias para a busca. Para cada uma delas foi feita em seguida uma imagem CCD padrão ("de acervo") para a posterior comparação. Paralelamente, foram desenvolvidos os *scripts* e programas para robotização do equipamento usado (principalmente no já citado Observatório CEAMIG-REA). A aquisição das imagens era feita a distância via Internet. Em cada noite favorável eram feitas 400 a 500 imagens CCD de galáxias do catálogo, que eram armazenadas no servidor do observatório e examinadas na manhã seguinte pelos membros do grupo, comparando-as com as imagens de acervo através da técnica de *blinking*. Eventuais suspeitas eram testadas segundo diversos critérios e, em caso de persistência da suspeita, era feita uma imagem de confirmação na noite seguinte. Somente após finalizados esses testes, comunicava-se oficialmente à IAU a provável supernova (Napoleão, 2006). Das quinze comunicações feitas pelo BRASS à IAU entre 2004 e 2009, todas elas foram confirmadas como supernovas de fato, recebendo os nomes oficiais de SN 2004cw, SN 2004cz, SN 2004ew, SN 2005af, SN 2005al, SN 2005aw, SN 2005cb, SN 2005cn, SN 2005dn, SN 2006D, SN 2006ci, SN 2006co, SN 2008M, SN 2008eu, e SN 2009ev. Note-se que, para se chegar a essas quinze descobertas, foi necessária a análise de mais de quinhentas mil imagens nos cinco anos de duração do programa. Várias das supernovas descobertas pelo BRASS viriam a ser alvo de pesquisas e *papers* profissionais posteriormente[29]. Além das supernovas, foram descobertas também – incidentalmente - três novas estrelas variáveis pela equipe do programa.

Na área de ocultações astronômicas, já existia entre os amadores brasileiros uma tradição de observações visuais de ocultações de estrelas e planetas pela Lua, prática incrementada pelo uso de *softwares* específicos para previsões e planejamento das observações (Giacchini 2013). Em tempos mais recentes, porém, vários observatórios amadores dotados de câmeras CCD passaram também a

[29] Dentre as quinze supernovas descobertas pelo BRASS, duas delas despertaram interesse científico peculiar: a SN 2005af, por ter sido, a uma distância de apenas 3,9 megaparsec, uma das supernovas mais próximas descobertas nos anos anteriores (ver a respeito, por exemplo, Kotak *et al*., 2006); e a SN 2006D, por ser uma das raras supernovas descobertas antes de atingir o brilho máximo (ver a respeito, por exemplo, Thomas *et al*., 2007).

colaborar com os seus registros para programas internacionais de observações de ocultações de estrelas por objetos transnetunianos ou por asteróides, sob a coordenação de pesquisadores profissionais. Não raro, astrônomos amadores brasileiros têm feito parte desse esforço e figuram, ao lado de seus pares profissionais, como co-autores em *papers* publicados em periódicos científicos de renome[30]. Esta é mais uma área em que a colaboração entre astrônomos amadores e profissionais pode resultar em contribuições tangíveis e significativas para a ciência.

Nas atividades de monitoramento digital da atividade solar, destaca-se o trabalho realizado no Observatório Solar "Bernard Lyot", em Campinas, SP, dotado de um sofisticado instrumental inteiramente projetado e construído pelo astrônomo amador Rogério Marcon[31]. O acompanhamento regular de fulgurações solares (*flares*) através de imagens CCD e vídeos, feito em luz branca e em luz monocromática nas freqüências de hidrogênio-alfa e cálcio ionizado, rivaliza com os melhores do mundo nessa área.

Ainda na área de pesquisa amadora com uso de câmeras CCD, existem duas áreas ainda pouco exploradas no Brasil, mas que prometem desenvolvimento intenso no futuro. Em espectroscopia, os primeiros resultados datam de 2003, com os registros do famoso evento espectroscópico de eta Carinae no Observatório de Mairinque, SP, com um espectrógrafo amador especialmente construído por Rogério Marcon (Napoleão, Marcon e Colesanti 2003). Desde então, outras observações espectroscópicas têm sido realizadas em Mairinque e também em Brasilia, por Paulo Cacella. Um programa sistemático de monitoramento no Brasil, no entanto, ainda está por ser implantado. Quanto à área de planetas extrasolares (em especial o monitoramento de trânsitos por amadores, que vem se tornando relativamente frequente no exterior nos últimos anos), a situação no Brasil é ainda incipiente: a única observação de um evento desse tipo por amadores brasileiros até o momento foi feita apenas em 2011: um trânsito do exoplaneta HD 209458b, no "Observatório Longa Vista", em Bragança Paulista, SP[32]. Em ambos os casos, entretanto, há boas perspectivas e o futuro parece promissor[33].

---

[30] Ver a respeito Sicardy *et al*. (2006) e Ortiz *et al.* (2012).

[31] Parte do instrumental do Observatório Solar Bernard Lyot e alguns trabalhos com ele realizados podem ser vistos no *website* de Marcon, em http://www.astroimagem.com (acesso em 4 de março de 2013).

[32] O registro dessa observação pode ser visto no banco de dados TRESCA (*Transiting Exoplanets and Candidates*), mantido pela *Czech Astronomical Society*, que atualmente é o maior repositório mundial das observações de astrônomos amadores na área de trânsitos de planetas extrasolares. Ver http://var2.astro.cz/EN/tresca/transit-detail.php?id=1320096127 (acesso em 4 de março de 2013).

[33] Poderia ser ainda citada uma terceira área relativamente latente no Brasil: as medidas dos parâmetros orbitais de estrelas binárias, em que o engenheiro paulista Roberto Frangetto

Finalmente, um tópico de especial destaque é o da astrofotografia digital, geralmente com finalidades estéticas. Até poucas décadas atrás, a única opção para os astrofotógrafos eram as câmeras analógicas. Isso requeria uma considerável experiência e amplo domínio da técnica fotográfica para o ajuste de parâmetros como abertura do diafragma, tempo de exposição, sensibilidade do filme etc. Como os sensores dessas câmeras eram películas químicas, sua sensibilidade era baixa - tornando necessários, em certas circunstâncias (como em fotografias de objetos *deep sky*), longos tempos de exposição, e mesmo demorados processos de hipersensibilização prévia dos filmes. Além disso, os filmes tinham de ser revelados, o que geralmente só podia ser feito em locais especializados ou pelo próprio astrofotógrafo. Todos esses fatores tornavam o processo bastante trabalhoso e caro. O advento das câmeras CCD, *webcams* e câmeras digitais (DSLR) mudou tudo isso, praticamente reinventando a astrofotografia. Como seus sensores eletrônicos são muito mais sensíveis que as antigas películas químicas, tornou-se possível trabalhar com tempos de exposição muito mais curtos; as imagens digitais resultantes podem também ser somadas eletronicamente com o auxílio de *softwares* adequados, contornando-se assim certas limitações como a turbulência atmosférica; os resultados da exposição podem ser avaliados instantaneamente, permitindo facilmente correções; e a antiga revelação de filmes foi substituída pelo pós-processamento das imagens digitais em computadores, existindo para tanto uma ampla gama de *softwares* de processamento de imagens. Finalmente, as imagens finais podem ser divulgadas de imediato pela Internet, geralmente através de *websites* especializados em astrofotografia, *websites* e *blogs* dos próprios astrofotógrafos ou redes sociais. Todas essas vantagens tornaram a prática da astrofotografia mais simples, barata e acessível ao iniciante. Como seria de se esperar, dezenas – talvez hoje centenas – de aficionados aderiram à prática da astrofotografia no Brasil, muitos deles com excelentes resultados divulgados em uma multiplicidade de sítios na Internet. Por uma questão de espaço, seria totalmente inviável mencioná-los todos aqui, e desde já apresentamos a eles nossas desculpas por essa impossibilidade. À guisa de uma homenagem a todos esses dedicados amadores, entretanto, citaremos brevemente três exemplos entre os nomes mais representativos de nossa astrofotografia, todos eles ativos desde a fase das câmeras analógicas.

O médico carioca Marco de Bellis é um pioneiro na astrofotografia desde 1968, tendo trabalhado com todas as técnicas analógicas e digitais e tendo sido

(1938-1985) era um grande especialista, colaborando (ainda na era pré-Internet) com várias entidades internacionais nessa área. Após o prematuro desaparecimento de Frangetto, a atividade nesse setor foi bastante reduzida, havendo mais recentemente várias tentativas para reativá-la, notadamente por Odilon Simões Corrêa, de Minas Gerais.

um dos primeiros a usar no Brasil a técnica de hipersensibilização de filmes para a obtenção de fotografias de objetos *deep sky*[34]. Outro médico carioca, José Carlos Diniz, além de astrofotógrafo internacionalmente premiado, se dedica com especial atenção à divulgação e ao ensino das técnicas de astrofotografia junto aos iniciantes, sendo considerado um mestre nessa área em todo o país[35]. Já o paulista Fabio "Plocos" Carvalho se especializou na astrofotografia lunar e planetária de alta resolução; alguns de seus trabalhos com os planetas Júpiter e Saturno o têm credenciado para figurar entre os co-autores de *papers* publicados em renomados periódicos científicos nos últimos anos[36].

Como vimos, a redução dos custos da instrumentação decorrente das novas tecnologias veio alavancar o crescimento das atividades de pesquisa amadora e astrofotografia entre os astrônomos amadores a partir da década de 1990. O mesmo, entretanto, não parece ter ocorrido com outra atividade popular entre os aficionados nas décadas anteriores: a construção dos seus próprios telescópios artesanais (uma prática mais conhecida pela sigla ATM). Isto é compreensível especialmente no Brasil, onde houve na mesma época uma abertura maior para as importações em geral. Com a possibilidade de aquisição imediata de telescópios mais simples e de baixo custo (embora nem sempre de boa qualidade) a motivação dos iniciantes para fabricar o seu próprio instrumento tende de certa forma a se reduzir. Mesmo assim, a atividade ATM persiste vigorosamente, principalmente graças a hábeis especialistas - astrônomos amadores que poderiam ser comparados aos *luthiers* dos bons instrumentos musicais, e que conservam a tradição de se concentrarem exclusivamente na qualidade óptica dos instrumentos. Alguns deles comercializam espelhos e telescópios que são altamente reputados entre os amadores. Estimulados pela experiência desses especialistas através de listas de discussão ou de detalhados e instrutivos *websites*[37], contam-se hoje no Brasil às centenas os amadores que se interessam ou se dedicam à prática ATM. Seria, pois, inviável aqui a menção de nomes individuais.

---

[34] Ver a respeito: de Bellis (1991). Uma amostra de imagens obtidas por de Bellis com o uso de várias técnicas e equipamentos pode ser vista em http://usuarios.uninet.com.br/~debellis/astroimg.htm (acesso em 5 de março de 2013)

[35] Diversas imagens obtidas por Diniz, bem como textos didáticos sobre astrofotografia, podem ser vistas em http://www.astrosurf.com/diniz/index.html (acesso em 5 de março de 2013).

[36] Imagens obtidas por Fabio Carvalho, bem como links para as publicações mencionadas acima, podem ser vistas em http://www.cyberplocos.com.br/ (acesso em 5 de março de 2013).

[37] Alguns desses websites incluem mesmo projetos, desenhos e instruções práticas sobre os materiais e processos usados na construção dos equipamentos. Ver, por exemplo, o *website* do ATM Marcelo Moura em http://www.observatorio-phoenix.org/ (acesso em 26 de março de 2013).

Por fim, a par dessa atividade ATM clássica, destaca-se ainda um astrônomo amador (Rogério Marcon, de Campinas, já citado) que se especializou na construção de coletores e detectores mais complexos, tais como espectroheliógrafos, espectrógrafos, câmeras CCD, câmeras Schmidt, celostatos e outros, sempre usando materiais caseiros e para seu próprio uso em seu observatório.

Examinemos agora alguns efeitos da revolução tecnológica sobre as atividades de divulgação pública e da popularização da astronomia, tradicionalmente exercidas pelos amadores brasileiros e em especial pelos clubes de astronomia. Nesta área, o fator crucial, evidentemente, foi o advento da poderosíssima ferramenta de comunicação que é a Internet. Desde seu início, proliferaram os *websites* dos clubes amadores: praticamente todos eles possuem um nos dias atuais - todos de grande utilidade para divulgar sua história e suas atividades, e para atrair o interesse do público leigo para a astronomia. Criaram-se também listas de discussão; muitas delas – a exemplo da pioneira lista "Urânia"[38], criada em 2001 – são abertas ao público em geral, servindo assim como uma excelente forma de divulgação e orientação para aqueles que desejam dar os seus primeiros passos em astronomia. O mesmo se aplica às listas de discussão interna dos diversos clubes, nas quais os associados podem trocar informações e planejar atividades. Surgem também listas de discussão internacionais especializadas em temas específicos (o que é mais comum na área observacional): por exemplo, listas sobre espectroscopia estelar ou astrometria de asteróides. Estas listas são geralmente em língua inglesa, e delas quase sempre participam apenas os observadores que trabalham especificamente naquela área, independentemente do país em que se encontram.

Nos anos a seguir, seriam criadas inúmeras outras ferramentas de comunicação e difusão na Internet: fóruns, *blogs*, redes sociais, vídeos, *webcasts*, *podcasts*, revistas virtuais, e outros. A lista é infindável, e certamente outras mais virão em futuro próximo. No exterior e também no Brasil, surgem *blogs* que resumem diariamente as principais notícias e novidades astronômicas no país e no mundo para informação aos interessados[39] ou que os orientam quanto aos principais fenômenos astronômicos visíveis no mês[40]. Em alguns centros científicos e universidades no exterior, são criadas também modos criativos de fazer

---

[38] Com mais de mil associados em 2012, a lista "Urânia" permanece como uma das mais populares listas abertas de discussão no país. A adesão pode ser feita em http://br.groups.yahoo.com/group/urania_br/ (acesso em 26 de março de 2013).

[39] Um bom exemplo de blog brasileiro de divulgação, contendo notícias astronômicas em geral, pode ser visto em http://gaea-astronomia.blogspot.com.br/ .

[40] Um bom exemplo de blog brasileiro com orientações para a observação dos eventos celestes do mês pode ser visto em http://skyandobservers.blogspot.com.br.

ciência via Internet (denominados genericamente programas "*citizen science*"). Nos *websites* dos programas deste tipo, o internauta (colaborador voluntário) é solicitado a fazer, por exemplo, classificação morfológica de galáxias[41] ou a detectar cometas rasantes ao Sol em imagens tomadas pelo satélite *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO)[42]. Os resultados destes programas têm se mostrado cientificamente válidos, e alguns têm sido publicados em *papers* recentes (Lintott et al.,2008).

Utilizando eficientemente as novas ferramentas de comunicação via Internet, novos clubes brasileiros surgem nessa época. Em 1996 é criado o Clube de Astronomia Louis Cruls, de Campos dos Goytacazes, RJ, que tem mostrado destacada atuação na organização de eventos de divulgação astronômica ao público, em especial em encontros anuais denominados "Encontros Internacionais de Astronomia e Astronáutica", que têm contado com a presença de palestrantes nacionais e do exterior e boa presença de estudantes e do público. Em São Paulo, é criado em 2001 o Clube de Astronomia de São Paulo (CASP), que viria a preencher definitivamente uma lacuna deixada na capital paulista desde a dissolução da AAA-SP em 1965. O CASP cresceu rapidamente, tornando-se provavelmente o clube de astronomia com maior número de associados no país (mil e duzentos membros no ano de 2012). A par das atividades de divulgação junto ao público, o CASP tem como principal atividade a realização, desde 2005, de cursos seqüenciais de seis semestres visando à formação de astrônomos amadores, em parceria com o IAG/USP.

Paralelamente, tornaram-se também mais freqüentes os encontros presenciais dos clubes e astrônomos amadores, tanto em base regional (no nordeste e no sul) como, a partir de 1998, também em base nacional: os ENASTs (Encontros Nacionais de Astronomia). Esses Encontros têm sido realizados

---

[41] O projeto *Galaxy Zoo*, lançado em 2007 por uma equipe de astrônomos e programadores de diversas universidades européias e norte-americanas, partiu de uma amostra de um milhão de imagens de galáxias feitas pelo *Sloan Digital Sky Survey*. Através do *website* do programa, o voluntário recebe inicialmente um treinamento para classificar morfologicamente uma amostra de galáxias segundo alguns critérios propostos. Em seguida, ele poderá repetir o procedimento para as imagens das galáxias do acervo, que são exibidas aleatoriamente. Apenas no primeiro ano de operação, o *Galaxy Zoo* já havia recebido mais de cinqüenta milhões de classificações, remetidas por cerca de cento e cinqüenta mil voluntários em todo o mundo. Ver a respeito http://www.galaxyzoo.org/ (acesso em 5 de março de 2013).

[42] Examinando imagens da coroa solar externa, feitas pelo instrumento LASCO (*Large Angle Spectrometric Coronograph*), instalado no SOHO, além de outros instrumentos a bordo dos satélites STEREO (*Solar Terrestrial Relations Observatory*), os voluntários procuram identificar eventuais cometas rasantes ao Sol. Ver: http://sungrazer.nrl.navy.mil/index.php (acesso em 5 de março de 2013).

anualmente, contando sempre com a participação de centenas de astrônomos amadores de todo o Brasil. Organizados por um clube de um diferente estado brasileiro a cada ano, o ENAST teve quinze edições até 2012, sucessivamente nas cidades de Campos dos Goytacazes, Belo Horizonte / Ouro Preto, Vitória, Salvador, Ouro Preto, Campos dos Goytacazes, Brotas, Curitiba, Brasília, Rio de Janeiro, Maceió, Londrina, Recife, São Paulo e São Luiz. A programação dos ENASTs usualmente inclui, além de dezenas de palestras feitas por convidados especiais e por astrônomos amadores participantes, oficinas, *workshops*, cursos e outras atividades correlatas.

O Ano Internacional da Astronomia

É certo que, sem o auxílio da Internet e das ferramentas de comunicação a ela associadas, teria sido impossível a realização do maior evento de divulgação astronômica de toda a história: o Ano Internacional da Astronomia (AIA) em 2009. A visão reinante desde o início do planejamento mundial do AIA era a de ajudar os cidadãos da Terra a redescobrirem o seu lugar no universo através da contemplação do céu, despertando assim sensações de encantamento, descoberta e tolerância. Organizado pela IAU e pela UNESCO no ano em que se comemoravam quatro séculos da primeira observação telescópica por Galileu Galilei (Damineli e Napoleão, 2009), o AIA foi um evento de proporções realmente globais: em 148 países e durante todo o ano, astrônomos amadores e profissionais uniram-se para realizar um esforço inédito em matéria de divulgação da ciência: estima-se que mais de 815 milhões de pessoas participaram de eventos astronômicos em todo o mundo durante 2009 (Russo e Christensen, 2010:18).

No Brasil os números foram também impressionantes: cerca de seis mil eventos astronômicos (todos eles gratuitos e abertos ao público) foram oferecidos à população durante 2009, com uma participação de quase dois milhões e trezentos mil brasileiros. Esses eventos (entre os quais não estão relacionados aqui os promovidos pela XII Olimpíada Brasileira de Astronomia, por esta ser descrita em outro capítulo desta obra) incluíram noites de observações públicas com telescópios, palestras, cursos, sessões especiais de planetários, mostras, exposições, *workshops*, oficinas, *webcasts*, aulas especiais em colégios públicos, apresentações teatrais, musicais, de dança e até desfiles de escolas de samba tendo a astronomia como tema. Através de verbas governamentais, foram ainda distribuídos a escolas brasileiras 20 mil "galileoscópios" (lunetas replicando a pequena luneta usada por Galileu em suas primeiras observações); editados e distribuídos cerca de 50 mil exemplares do livro "Fascínio

do Universo" e do DVD comemorativo do AIA 2009 ("De olho no céu") para escolas, centros culturais, educacionais e de pesquisa em todo o Brasil; e distribuídos 250 exemplares da exposição "Paisagens Cósmicas", cada um deles com vinte e um painéis fotográficos impressos em microfibra. Esta exposição foi apresentada em 725 cidades brasileiras com mais de 640 mil visitantes, aos quais foram distribuídos 140 mil folhetos explicativos. Finalmente, numa iniciativa inédita no país, o edital 63/2008 do CNPq destinou ainda uma significativa verba diretamente para a realização de 75 diferentes projetos de divulgação astronômica por universidades, centros de pesquisa/educacionais, planetários, museus de ciência e entidades amadoras, que foram realizados pelos mesmos durante o AIA 2009. Além da excelente receptividade do público e do apoio decidido dos meios de comunicação aos eventos, ficou patente o interesse renovado de nossos jovens para as carreiras científicas, bem como a sensibilização dos órgãos governamentais para a importância da divulgação e educação científicas em geral, e em particular da astronomia.

Todos os trabalhos no Brasil foram coordenados por um Comitê Nacional que era composto por onze astrônomos profissionais e amadores sob a direção do professor Augusto Damineli, do IAG/USP. A realização dos eventos envolveu mais de duas mil pessoas em todo o país, entre universidades, centros de pesquisa, planetários, museus de ciência, clubes e associações amadoras. Essas entidades foram estruturadas em 251 "nós locais" da grande "rede" do AIA, que cobria todo o território nacional. Significativo também foi o fato de que mais de 60% desses nós locais eram constituídos pelas entidades amadoras (Damineli e Napoleão, 2010): certamente um motivo de orgulho e satisfação para toda a comunidade amadora brasileira, que foi indispensável nesse marco extraordinário para a divulgação da astronomia.

Perspectivas e tendências

Por fim, pedimos licença ao leitor para abordar algumas tendências possíveis para as atividades dos astrônomos amadores brasileiros no futuro. Dadas a dinâmica e a intensidade das mudanças tecnológicas atuais, é bem provável que várias delas também mudem em futuro próximo. Assim, as opiniões a seguir devem ser vistas apenas como uma contribuição para as discussões sobre o tema pelos colegas amadores.

Na área da pesquisa amadora com CCDs e telescópios robóticos, parecem estar bem sedimentadas duas tendências: a *especialização* (com o volume de dados crescendo exponencialmente, será cada vez mais difícil ao mesmo amador se

dedicar a campos tão distintos quanto, por exemplo, a astrometria de NEOs e a fotometria de estrelas variáveis); e a *internacionalização* (observações norteadas para programas coordenados por entidades internacionais). A grande "concorrência" nesta área já é a dos telescópios robóticos de grande porte; isso deverá se manter no futuro, até a entrada em operação do LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*) no início da década de 2020[43]. Até lá, entretanto, novas formas de colaboração terão certamente surgido para esses amadores. Já para os observadores visuais e astrofotógrafos, não parece haver mudanças drásticas: a tendência já existente de remessa imediata dos registros para os centros internacionais deve ser ainda mais intensificada pelo amplo uso da Internet. Em ambos os casos, a perspectiva parece ser sempre na direção de uma atuação global, e não local.

Na área de divulgação e do ensino não-formal, ainda não está claro se o modelo integrado e centralizado adotado no AIA em 2009 persistirá, ou se as atividades nessa área continuarão sendo predominantemente levadas a cabo a nível regional, como no modelo tradicional. Há países que adotam um ou outro modelo com sucesso, e certamente aquele que prevalecerá no futuro em nosso país deverá levar em conta a extensão geográfica do território brasileiro e a diversidade cultural de nossa população.

Por outro lado, é muito claro um interesse inédito do público pela astronomia nos dias de hoje - estimulado não só pelo AIA, mas também pela cobertura da mídia, pelo uso da Internet, *softwares* e aplicativos populares. A diversidade de formas de atender a essa demanda através do uso das novas ferramentas de comunicação ainda está longe de ser esgotada, e a cada dia parece surgir uma nova; mas também parece claro que o papel dos clubes será cada vez mais essencial, principalmente em âmbito local. Por exemplo, é surpreendente o número de leigos que compram seu primeiro telescópio por puro impulso, sem saber para que ou como usá-lo. A menos que recebam uma orientação sólida sobre isso, eles provavelmente irão se desmotivar em pouco tempo. E como as técnicas de observação astronômica não se aprendem meramente com *softwares*, *websites* na Internet ou aplicativos de *smartphones*, é fundamental que

---

[43] Projetado para operar em Cerro Pachón (Chile), o LSST (*Large Synoptic Survey Telescope*) será um telescópio com características e tecnologia diferenciadas. Dotado de grande abertura (8.4 metros) e de uma câmera muito sensível e de capacidade inusitada, ele será capaz de produzir imagens astronômicas de grande campo em apenas 15 segundos e de varrer todo o céu observável em poucos dias. Como conseqüência, o LSST deverá gerar um volume extraordinário de informações: nada menos de 30 terabytes de dados em cada noite de observação! Apesar dos supercomputadores previstos no projeto do LSST, não é improvável que uma parte dessas informações venha a ser aproveitada para programas do tipo *citizen science*. Ver http://www.lsst.org/lsst/ (acesso em 30 de março de 2013).

esse potencial futuro astrônomo amador receba treinamento teórico e prático adequado. Ninguém melhor do que os clubes de astronomia para exercer esse papel. Muitos de nossos clubes já perceberam essa lacuna e estão trabalhando com afinco para supri-la.

Como poderemos então formar novos astrônomos amadores? Sabe-se que muitas vezes o interesse das pessoas pela astronomia é despertado por um ato tão simples quanto assistir a uma sessão de planetário, ler uma revista de divulgação científica ou mesmo assistir a um programa de televisão bem produzido. Numa segunda etapa, essa pessoa provavelmente irá pesquisar *websites* astronômicos populares e eventualmente entrará em uma ou outra lista de discussão, tornando-se assim um curioso ou entusiasta. Neste estágio ela poderá permanecer o resto da vida – ou não. Se ela estiver disposta a progredir e se tornar um astrônomo amador de fato, terá de reservar tempo e esforço para isso, e estar disposta a ler, estudar, pesquisar, observar regularmente e aprender com os mais experientes. Neste ponto é que os clubes de astronomia entram - em sua função talvez mais nobre, que será a formação desses novos astrônomos amadores para o futuro. E é também dessa forma que, quando a história dos astrônomos amadores brasileiros vier a ser contada novamente em outra obra, daqui a anos, haverá certamente muitos outros resultados e realizações a relatar.

Agradecimentos

Agradeço aos colegas astrônomos amadores Alexandre Amorim, Carlos Colesanti, Cristóvão Jacques e José Carlos Diniz pela leitura crítica deste capítulo e pelas valiosas sugestões deles recebidas; a Lilian Mayer, pelo incentivo e pela criteriosa revisão e edição do texto; a todos os astrônomos – amadores ou profissionais – com quem tive o privilégio de conviver, observar e aprender ao longo de décadas; e a meus alunos, que me permitem hoje partilhar esses conhecimentos.

Referências

Adib, Carlos Arlindo (2008), *Atividades Astronômicas no RGS*, in http://www.carlosadib.com.br/astron_fatos.html , acesso em 3 de março de 2013.

American Association of Variable Stars Observers (AAVSO) website, http://www.aavso.org/ , acesso em 5 de novembro de 2012.

Amorim, Alexandre (2004), *Vicente Ferreira de Assis Neto (1936-2004)*, in http://www.rea-brasil.org/cometas/vicente.htm, acesso em 23 de novembro de 2012.

Amorim, Alexandre (2007), *Programa Brasileiro de Observação do cometa Halley*, disponível em http://www.rea-brasil.org/cometas/pboch.htm, acesso em 7 de março de 2013.

Amorim, Alexandre (2009), in http://www.gea.org.br/avelino/solenidade.htm, acesso em 20 de fevereiro de 2013.

Amorim, Alexandre (2012), *O Astrônomo Brazilício*, edição do autor, Florianópolis.

Amorim, Alexandre (2013), *website* da secção de cometas da REA, in http://rea-brasil.org/cometas/. Acesso em 03 de março de 2013.

Associação de Amadores de Astronomia de São Paulo (1959), "*O Aniversário da A.A.A.*", Boletim da AAA, Vol. I, nº 11.

Astronomical Society of the Pacific (ASP) website, http://astrosociety.org/ , acesso em 5 de novembro de 2012.

British Astronomical Association (BAA) website, http://britastro.org/baa/ , acesso em 5 de novembro de 2012.

Cacella, Paulo (2002), *Descoberta da SN 2002bo em NGC 3190*, Reporte REA 10, pp 3-8. Disponível em http://www.rea-brasil.org/reportespdf/reporte10.pdf, acesso em 4 de março de 2013.

Cameron, Gary Leonard (2010), *Public skies: telescopes and the popularization of astronomy in the 20th century*, *PhD dissertation, Iowa State University*.

Cap, Léon (1929), *L´Astronomie au Brésil*, in *Gazette Astronomique*, 5, 185, p. 30.

Carvalho, Fabio (2011), http://www.cyberplocos.com.br/, acesso em 5 de março de 2013.

Centro de Estudos Astronômicos de Alagoas, (CEAAL, s/d), *website,* http://www.ceaal.al.org.br/, acesso em 20 de janeiro de 2013.

Clube de Astronomia de Brasília (CAsB, s/d), *website,* http://www.casb.org.br/, acesso em 20 de fevereiro de 2013.

Clube de Astronomia do Colégio Estadual do Paraná (CACEP, s/d), *website*, http://www.cacep.com.br/, acesso em 12 de dezembro de 2012.

Clube de Astronomia do Rio de Janeiro (CARJ, s/d), *website*, http://www.astronomia-carj.com.br/, acesso em 20 de janeiro de 2013.

Damineli, A. e Napoleão, T. (2009), *O legado de Galileu*, *Scientific American Brasil* 80, pgs 88-93, Janeiro de 2009.

Damineli, A. e Napoleão, T. (2010), *Sumário de atividades do AIA 2009 no Brasil (números finais revisados)*, XXXV reunião da Sociedade Astronômica Brasileira, setembro de 2010.

de Bellis, Marco (1991), *Hipersensibilização do filme Kodak Technical Pan 2415*, in Reporte REA no. 4, pp 3-7. Disponível em http://www.rea-brasil.org/reportespdf/reporte04.pdf , acesso em 5 de março de 2013.

de Bellis, Marco (2000), http://usuarios.uninet.com.br/~debellis/astroimg.htm, acesso em 5 de março de 2013.

de Mello, Duilia (s/d), SN 1997D, http://mulherdasestrelas.com/SN97D.html, acesso em 4 de março de 2013.

Diniz, José Carlos (2003), http://www.astrosurf.com/diniz/index.html, acesso em 5 de março de 2013.

Falsarella, Nelson (1989), *A oposição de Marte em 1988*, Reporte REA no. 2, pgs 18-27. Disponível em: http://www.rea-brasil.org/reportespdf/reporte02.pdf. Acesso em 03 de março de 2013.

Flammarion, Camille (1886), in *Revista do Observatório*, Imperial Observatório do Rio de Janeiro, Anno 1, Numero 1, p. 2, Janeiro de 1886 (ed) Louis Cruls.

Flammarion, Camille (1887), *L´Observatoire de Juvisy*, in *L'Astronomie*, 6, Setembro de 1887, p. 330.

Flammarion, Camille (1911), *Mémoires biographiques et philosophiques d´un astronome*, Paris, Ernest Flammarion, editor, p. 211.

Frew, David J.(2004), *The historical record of Eta Carinae (I). The visual light curve, 1595-2000*, *The Journal of Astronomical Data*, Vol. 10, p. 24.

Fu, J.N. et al (2008), *Detection of a degenerate companion of the SX Phoenicis star KZ Hydrae by studying its long-term variability, The Astronomical Journal* 135: 1958-1967.

Funari, Frederico e Aguiar, José G (1994), *Registros dos Impactos dos Fragmentos do Cometa Shoemaker-Levy 9 Sobre o Planeta Júpiter*, Reporte REA no.7, 60-65. http://www.rea-brasil.org/reportespdf/reporte07.pdf , acesso em 03 de março de 2013.

Galaxy Zoo (2007), *website,* http://www.galaxyzoo.org/, acesso em 5 de março de 2013.

Giacchini, Breno Loureiro (2013), *Ocultações Astronômicas*, *website* da Secção de Ocultações da REA, http://www.rea-brasil.org/ocultacoes/, acesso em 4 de março de 2013.

Grupo de Estudos de Astronomia (GEA, s/d), *website,* http://www.gea.org.br/, acesso em 20 de janeiro de 2013.

Holvorcem, Paulo Renato (2013), *Published Observations*, in http://sites.mpc.com.br/holvorcem/obs/observations.html, acesso em 3 de março de 2013.

International Astronomical Union (2010), *IYA 2009 Award winners announced*, http://www.astronomy2009.org/news/updates/829/ , acesso em 20 de janeiro de 2013.

Jacques, Cristóvão e Pimentel, Eduardo (2007), *Observatórios robotizados*, revista Astronomy Brasil vol 1 no. 12, pp 73-77.

Kotak, Rubina, et al. (2006), *Spitzer measurements of atomic and molecular abundances in the type IIP SN 2005af*, *The Astrophysical Journal*, 651:L117-L120.

Langhi, Rodolfo, e Nardi, Roberto. (2009), *Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica*, Revista brasileira de Ensino de Física, v31, 4, p. 4402-2.

Lintott et al (2008), *Galaxy Zoo: morphologies derived from visual inspection of galaxies from the Sloan Digital Sky Survey*, MNRAS 389, 3:1179-1189.

Lynn, W.T.(1907), *William John Burchell and eta Argus*, *The Observatory*, Vol. 30, pp. 138-140.

Machado Filho, Saulo (2013), http://gaea-astronomia.blogspot.com.br/, acesso em 5 de março de 2013.

Marcon, Rogério (2010), *website*, http://www.astroimagem.com, acesso em 4 de março de 2013.

Marques dos Santos, Paulo (2005), *Instituto Astronômico e Geofísico da USP – memória sobre sua formação e evolução*, EDUSP.

Marques dos Santos, Paulo (2005), *op. cit,* p. 41.

Marques dos Santos, Paulo (2005), *op. cit,* p. 46.

Matsuura, Oscar T. (2011), *O Observatório no Telhado*, Companhia Editora de Pernambuco.

Moore, Patrick (1988), *The Popularization of Astronomy, in The teaching of Astronomy, Proceedings of IAU Colloq* 105, ed. Cambridge Univ. Press, 1990.

Moraes, Abrahão de (1955), *A Astronomia no Brasil*, reed. 1984, Universidade de São Paulo, p. 44.

Moraes, Abrahão de (1955), *op.cit*, p. 78.

Moura, Marcelo (2004), http://www.observatorio-phoenix.org/, acesso em 26 de março de 2013.

Mourão, Ronaldo R.F. (1977), *Da Terra às Galáxias*, Edições Melhoramentos (edição de 1977), p. 63.

Napoleão, T., Jacques, C. e Oliveira, A. (2011), in *Transit Observations (TRESCA database*), http://var2.astro.cz/EN/tresca/transit-detail.php?id=1320096127, acesso em 4 de março de 2013.

Napoleão, T., Marcon, R. e Colesanti, C.(2003), *Espectroscopia de Eta Carinae no evento de 2003*, Reporte REA no. 11, p. 11-17. Disponivel em http://www.rea-brasil.org/reportespdf/reporte11.pdf, acesso em 4 de março de 2013.

Napoleão, Tasso (2000), *Análise preliminar das características da Nova Velorum 1999 (V382 Vel*), in http://www.rea-brasil.org/reportespdf/reporte09.pdf, acesso em 4 de março de 2013.

Napoleão, Tasso (2006), *Agulhas no palheiro cósmico*, revista Astronomy Brasil vol 1 no.8, pp 64-67.

Napoleão, Tasso e Colesanti, Carlos (2001), *Fotometria CCD da variável de período ultracurto CY Aquarii*, in Reporte REA no. 10, pp. 32-42. Disponível em http://www.rea-brasil.org/reportespdf/reporte10.pdf. Acesso em 3 de março de 2013.

Napoleão, Tasso e Funari, Frederico (2004), "A Astronomia Amadora na Cidade de São Paulo" *in Astronomia na Cidade de São Paulo*, CD-ROM comemorativo dos 450 anos de São Paulo, (Org.) Oscar T. Matsuura, São Paulo: Planetário e Escola Municipal de Astrofísica Prof. Aristóteles Orsini

Observatório de Brusque (s/d), *website,* http://www.geocities.ws/oab/, acesso em 20 de janeiro de 2013.

Ortiz, J.L. et al (2012), *Albedo and atmospheric constraints of dwarf planet Makemake from a stellar occultation*, *Nature*, 491: 566-569, Nov 2012.

Penereiro, J.C., Parra, L., Pellegrini, R.C. e Maluf, W.J. (2007), *O número de manchas solares: índice de atividade do Sol medido nos últimos 50 anos*, in Reporte REA 12, 2007: pp 41-49. Disponível na Internet em http://www.rea-brasil.org/reportespdf/reporte12.pdf , acesso em 29 de novembro de 2012.

Planetário da UFRGS "José Baptista Pereira" (s/d), *website*, *Nosso patrono*, http://www.planetario.ufrgs.br/biografia.html, acesso em 28 de novembro de 2012.

Prazeres, Audemário (2004), "*Observar, Observar, sempre Observar: pe. Jorge Polman*), revista Macrocosmo, ano I, no. 8, p. 19.

Rede de Astronomia Observacional (REA-Brasil), *website,* http://www.rea-brasil.org/docs/reportes.php, acesso em 21 de fevereiro de 2013.

Rosa Campos, Antonio (2013), http://skyandobservers.blogspot.com.br, acesso em 5 de março de 2013.

Rosa Campos, Antonio (s/d), *História do CEAMIG*, disponível no website do clube em: http://www.ceamig.org.br/, acesso em 22 de novembro de 2012.

Royal Astronomical Society of Canada (RASC) website, http://www.rasc.ca/ , acesso em 5 de novembro de 2012.

Russo, P. e Christensen, L.L. (2010), *International Year of Astronomy 2009 Final Report, International Astronomical Union (pub),* p. 18, Jul 2010.

Sicardy, B. et al (2006), *Charon's size and an upper limit on its atmosphere from a stellar occultation*, *Nature* 439: 52-54, Jan 2006.

Sobreira, Paulo H. A., (2005), *Cosmografia Geográfica: a Astronomia no Ensino de Geografia,* tese de doutorado, FFCLH-USP, p. 61.

Steiner, João; Sodré, Laerte; Damineli, Augusto e Oliveira, Cláudia Mendes de (2011), *A pesquisa em astronomia no Brasil*, Revista USP, 89, Mar/Mai, 98-113.

Tambasco, José Carlos (1997), *O Observatório Astronômico da Piedade*, disponível em http://www.observatorio.ufmg.br/frpas45.htm, acesso em 22 de novembro de 2012.

Thomas, R.C. el al. (2007), *Nearby Supernova Factory observations of SN 2006D: on sporadic carbon signatures in early type Ia supernova spectra, The Astrophysical Journal* 654: L53:L56.

Travnik, Nelson (2012), *Rubens de Azevedo*, in "Observatório Lunar Vaz Tolentino", *website*, http://www.vaztolentino.com.br/noticias/83-RUBENS-DE-AZEVEDO-1921-2008-por-NELSON-TRAVNIK , acesso em 17 de novembro de 2012.

Travnik, Nelson (s/d), *Jean Nicolini*, in http://astronomia.blog.br/jean-nicolini/, *website*, acesso em 18 de novembro de 2012.

U.S.Naval Research Laboratory (2012), http://sungrazer.nrl.navy.mil/index.php, acesso em 5 de março de 2013.

Varella, Irineu (2005), *Prof. Aristóteles Orsini*, in "Uranometria Nova", *website*, http://www.uranometrianova.pro.br/historia/hda/0004/prof_orsini.htm, acesso em 19 de novembro de 2012.

Parte 2
Imigrantes japoneses no "menor observatório do mundo"

Oscar Toshiaki Matsuura*
(MAST/MCTI e Programa HCTE/UFRJ)

Imigrantes japoneses assentados num núcleo de colonização no noroeste do Estado de São Paulo, realizaram na década de 30 observações sistemáticas da luz zodiacal, participando das atividades de astrônomos amadores da Sociedade Astronômica Towa, presidida por um professor de astronomia da Universidade Imperial de Kyoto. Essas observações fizeram parte de um conjunto mais amplo de atividades científicas do Instituto Kurihara de Ciências Naturais do Brasil. O Instituto não sobreviveu às condições desfavoráveis que seguiram a II Guerra Mundial, mas esse episódio, conquanto breve, contribui para a reconstituição histórica de um período importante da astronomia no Brasil.

---

* Professor associado aposentado do Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP).

Introdução

Na década de 30, imigrantes japoneses da Fazenda Primeira Aliança, atual bairro Primeira Aliança[1] do município de Mirandópolis, no noroeste do Estado de São Paulo, realizaram fascinante aventura científica nas áreas de arqueologia, zoologia e astronomia. Este fato passaria despercebido, não fosse a descoberta no início de 1994 de um conjunto de documentos sobre botânica, arqueologia, além de registros de observações astronômicas depositados no acervo do Museu Histórico da Imigração Japonesa no Brasil, no bairro da Liberdade, em São Paulo. Na época, o diretor do Museu era o professor Shozo Motoyama, que também era o diretor do Centro Interunidade de História da Ciência, do Departamento de História da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da Universidade de São Paulo (USP).

Os materiais astronômicos me foram passados pelo professor Motoyama e consistiam em registros de **isofotos** da **luz zodiacal** determinadas a olho nu e uma fotografia do observatório. Os registros eram de número 917 a 992, cobrindo o período de 7 de setembro a 25 de dezembro de 1934, assinados pelos observadores Shigueo Katsuura, agricultor então com 26 anos, e Hidefumi Okubo, professor de língua japonesa, com 28 anos.

Análise preliminar

Os primeiros estudos dos documentos encontrados revelaram que essas atividades dos imigrantes japoneses fizeram parte de projeto mais amplo, ancorado numa instituição chamada Instituto Kurihara de Ciências Naturais do Brasil (Motoyama, 1995), já fundado na Fazenda Primeira Aliança. Tendo o Instituto mudado depois sucessivamente para São Paulo e Campos do Jordão, SP, abrigou também estudos nas áreas de botânica (Aoyagi, 1941) e meteorologia (Motoyama, 2004). Os materiais encontrados incluíam vários cadernos com fotografias e recortes de jornais colados, alusivos ao Instituto, ao lado de textos explicativos em japonês. A confecção dessa espécie de álbuns é hábito cultural dos japoneses que muito ajuda na preservação da memória.

---

[1] O distrito Três Alianças do município de Mirandópolis, SP, tem os bairros Primeira Aliança, Segunda Aliança e Terceira Aliança correspondentes, respectivamente, às antigas fazendas homônimas.

Em janeiro de 1994, jornais da colônia japonesa (Jornal Paulista, 14/1/94; São Paulo Shimbun, 27/1/1994: 3) deram notícia dessas atividades, e uma exposição dos documentos encontrados, realizada no Museu Histórico da Imigração de 16/6/94 a 5/2/95, foi anunciada no Diário Nippak de 13/4/1994 e num artigo de Ulisses Capozoli intitulado "Sonho japonês no Brasil deu estímulo à ciência" em O Estado de S. Paulo de 26/6/94 (Especial Domingo, D5). A exposição se intitulava "Ciência à margem da floresta. Instituto Kurihara. Homenagem aos 86 anos da imigração japonesa no Brasil".

Os artigos informavam que a Fazenda Primeira Aliança era um assentamento de 5.525 hectares a 600 km de São Paulo, fundado em 1924 pela Sociedade Ultramarina Shinano, da província de Nagano, localizada na parte central da ilha principal do Japão (*Honshu*). A posterior aquisição de terras adjacentes deu lugar às fazendas Segunda e Terceira Aliança.

O mentor das atividades científicas era Shinichi Kamiya (1893-1960). Ele tinha chegado à Fazenda Primeira Aliança por volta de 1926 como proprietário de uma gleba, onde fundou o Instituto Kurihara em 1931. Segundo seus escritos, sua intenção era poder tê-la fundado antes, sendo que a demora o afligia. Seu interesse pelas ciências, especialmente arqueologia e astronomia, começou no curso ginasial quando morava em *Taiwan* (Formosa) que, na época, era possessão japonesa. Aí fez um estágio no Campo Experimental de Estudos da Cana de Açúcar. Antes de vir para o Brasil esteve ainda na Manchúria, onde trabalhou em pesquisas agrícolas sob a supervisão de Tadashi Kurihara, cônsul japonês na China quem tanto admirava, que homenageou dando seu nome ao Instituto. Kurihara ajudou o Instituto inclusive financeiramente.

O primeiro trabalho científico do Instituto consistiu na coleta de 300 borboletas. Kiju Sakai (1910-1986) coletou cerca de uma centena de artefatos de pedra e de cerâmica dos índios, descobriu ruínas indígenas e, mais tarde, escavou sambaquis no sul paulista perto de Registro, SP (Sakai, 1981). As atividades arqueológicas foram expandidas com outros colegas japoneses da Sociedade Arqueológica Brasileira de Amadores, cujo ato de criação foi publicado no Diário Oficial do Estado de São Paulo de 11/3/36. Arqueólogos profissionais do Japão foram convidados por essa Sociedade nas décadas de 30 e de 50 para participarem de encontros e realizarem pesquisas de campo no Brasil (Sakai, 1981: 98-99).

O observatório astronômico já devia existir desde 1932. Consistia inicialmente numa torre construída sobre um galinheiro de 9 m^2. Um ano depois o galinheiro foi convertido numa casa de tábuas de 24 m^2 com uma torre de 7 m em cima, que foi carinhosamente chamada o "menor observatório do mundo" (Figura 1).

Figura 1. O "menor observatório do mundo" e a bandeira do Japão na frente (Ayoagi, 1941). Acervo do Museu Histórico da Imigração Japonesa no Brasil

Esse observatório teria funcionado até 1936 e, na época, foi o único do hemisfério austral a estudar a **luz zodiacal**, mas terminou destruído por um incêndio. As observações eram anotadas num formulário impresso no Japão (Figura 2), segundo instruções dadas pelo astrônomo Issei Yamamoto (1889-1959) do Observatório *Kwasan*[2] da Universidade Imperial de Kyoto, primeiro presidente da Sociedade Astronômica *Towa* (Oriental).

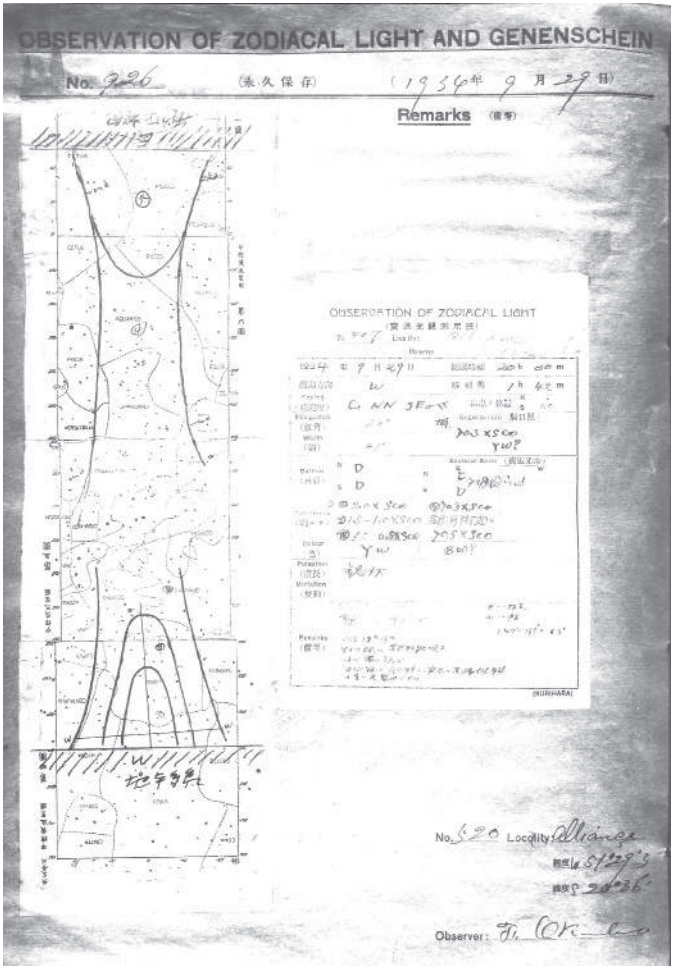


Figura 2. Registro da **luz zodiacal** nº 926 de 29/9/34.
Acervo do Museu Histórico da Imigração Japonesa no Brasil

[2] *Kwasan* é o nome da montanha nos arredores de Kyoto, em cujo topo os astrônomos da Faculdade de Ciências da Universidade Imperial instalaram o observatório em 1929.

Em 1936 encontramos o Instituto Kurihara já mudado para São Paulo, do qual Goro Hashimoto (1913-2008) passou a fazer parte a partir de 1938. Hashimoto viera do Japão e, com 17 anos, entrou na Escola Agronômica de M'Boi, da Companhia de Colonização Japonesa, na zona leste da cidade de São Paulo, uma instituição de ensino técnico custeada pelo governo japonês de 1917 a 1939 (Baba, 1988). Como botânico especializado em taxonomia vegetal, Hashimoto dedicou-se ao estudo da flora brasileira e, pelo menos duas vezes, presenteou com amostras de plantas brasileiras o imperador Hiroito, ele também um botânico (Sakai, 1981: 98). Em 1950 fundou o Centro de Pesquisas de História Natural de São Paulo (*Hakken*), cujo herbário abriga cerca de 150 mil **exsicatas**. Algumas amostras têm valor inestimável, pois, são plantas extintas da flora brasileira nativa, ou de regiões que já não existem, como as cataratas de Sete Quedas e partes da Mata Atlântica. Hashimoto fundou museus em Guaíra e Rolândia, no Estado do Paraná. Escreveu um livro sobre frutas do Brasil e sua vida foi objeto de biografia publicada no Japão. Faleceu em São Paulo em 2008 e o Centro de Pesquisas que fundou se encontra instalado no bairro de Itaquera, em São Paulo.

O Instituto recebeu incentivo, inclusive financeiro, do cônsul-geral de São Paulo, Kozo Itigue, ele próprio um estudioso de arqueologia. Assim as atividades do Instituto prosseguiram intensamente até o início da II Guerra Mundial. Uma nota de Kamiya de 3/4/1936 publicada na revista *Tenkai* (O Firmamento) da Sociedade Astronômica *Towa* diz:

> Será instalado o observatório em Campos do Jordão, a uma altitude de 1.800 m, que será um local mais apropriado para a observação da **luz zodiacal**. Eu [Kamiya] estou preparando a mudança para lá, um local muito saudável e que conta com muitos sanatórios. Essa mudança está sendo possível graças à ajuda de um amigo do colégio, o médico Aragaki que veio do Japão. Juntamente com o Sr. Aragaki visitamos o Observatório de São Paulo que estava em construção[3], cuja Estação Meteorológica está bem equipada (*Tenkai*, 1936: 374).

Em 1941 Kamiya e Sakai viajaram para o Japão para levantar fundos para ampliar as atividades do Instituto. Na época o Instituto já tinha conseguido do prefeito de Campos do Jordão, SP, Gavião Gonzaga, terreno de meio alqueire para a construção do observatório astronômico. Mas, devido à II Guerra, Kamiya só pôde retornar ao Brasil em 1950. O acervo juntado até então,

---

[3] Kamiya alude à construção do Observatório de São Paulo no Parque do Estado, bairro da Água Funda (ver "O Instituto Astronômico e Geofísico da USP" no Capítulo "Chegada da astronomia oficial a São Paulo" no Volume I).

ficou sob a guarda de Hashimoto numa casa alugada no bairro da Liberdade, no número 454 da rua Dr. Thomaz de Lima, hoje rua Mituto Mizumoto.

Kamiya ainda voltou para o Japão mais três vezes em busca de ajuda financeira para o Instituto, mas faleceu no Japão em 1960. Ele foi autor de um livro em japonês cujo título seria "Zoologia do Brasil escrita por um lavrador". Terminada a Guerra, Hashimoto ficou com o material de botânica (100 mil exemplares na época), Sakai com os objetos arqueológicos e Okubo com as observações astronômicas. Sakai retornou ao Brasil após a guerra e morreu em 1986. Seus materiais ficaram com uma família em Ferraz de Vasconcelos, cidade da região metropolitana de São Paulo.

Nova análise

Posteriormente nova análise do material astronômico foi feita, desta vez contando com novos subsídios das publicações do Observatório *Kwasan* e da Sociedade Astronômica *Towa*.

Um exame mais minucioso dos registros das observações e das instruções distribuídas pelo Observatório *Kwasan* mostrou que nas observações da **luz zodiacal** feitas a olho nu, o nível de brilho era quantificado por comparação visual com áreas previamente escolhidas da **Via Láctea**. As peculiaridades sobre a cor da luz e a sua variabilidade temporal eram anotadas num formulário menor que era colado ao primeiro (Figura 2). Os mapas das **isofotos** eram construídos pelos observadores através da colagem de mapas parciais da esfera celeste que vinham impressos do Japão.

O fenômeno do *Gegenschein* também era observado pelos imigrantes japoneses. Esse termo germânico designa o brilho, também tênue e difuso observado no céu na direção oposta à do Sol. Assim como a **luz zodiacal**, o *Gegenschein* é devido à luz do Sol refletida por grãos de poeira acumulados nas proximidades do plano da órbita da Terra ao redor do Sol. Mas o *Gegenschein* se faz notar porque a luz refletida pela poeira, que chega até nós na Terra, vem da direção oposta à do Sol que ilumina a poeira. Isso envolve um alinhamento entre o Sol, o observador e os grãos de poeira, nessa ordem, situação em que a intensidade da luz refletida normalmente é máxima. O formulário para o desenho das **isofotos** do *Gegenschein* era o mesmo da **luz zodiacal**, mudando apenas o formulário menor que era inserido.

Na amostra disponível de registros impressiona constatar como Okubo e Katsuura se alternavam disciplinadamente nas observações, às vezes numa mesma noite, outras vezes em datas diferentes.

Foram encontrados também entre os papéis, registros de observação de **meteoros** (estrelas cadentes) feitos entre 25 de setembro e 20 de dezembro de 1935, todos por Kamiya. Não é possível saber se foram feitos na Fazenda Aliança ou em Campos do Jordão. Numa noite de observações o rastro das estrelas cadentes era desenhado a lápis num mapa impresso do hemisfério celeste. Em seguida era redigida uma súmula. Depois de um certo tempo, todos os dados acumulados eram coligidos a tinta num único mapa celeste (Figura 3). Motoyama (1995: 7) cita que 59 novos **radiantes** teriam sido creditados aos observadores do Instituto Kurihara.

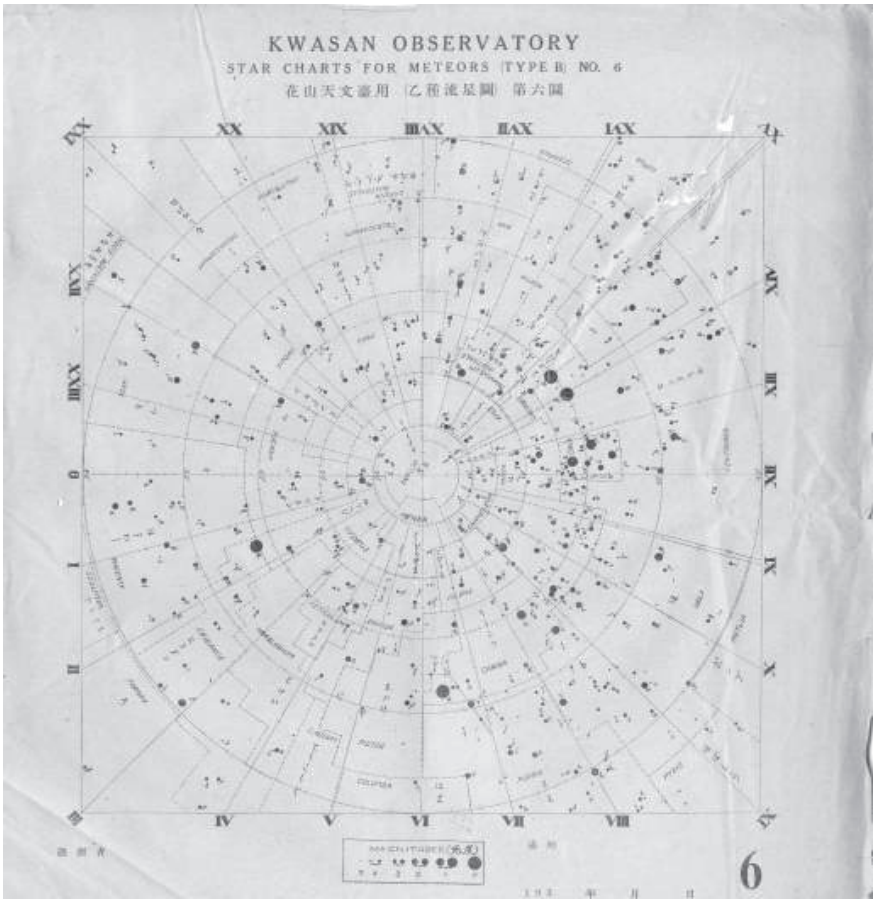


Figura 3. Mapa do hemisfério celeste para o registro de **meteoros**.
Acervo do Museu Histórico da Imigração Japonesa no Brasil

Descobriu-se também que membros do Instituto Kurihara tinham estado no Observatório Nacional (ON) do Rio de Janeiro em 1931[4], quando foram aconselhados a fazer observações de cometas. Esta busca de orientação astronômica, como será visto adiante, foi anterior à que foi feita à instituição congênere do Japão e resultou exitosa. Aparentemente a sugestão dos astrônomos do ON não produziu efeitos concretos, pelo menos enquanto as observações foram feitas na Fazenda Aliança. Mas isso pode ter acontecido porque naquela época não teria aparecido nenhum cometa importante. De fato, não há relato de nenhum cometa brilhante (magnitude ≤ 0), nem de algum cometa não periódico (com período orbital > 200 anos) entre 1931 e 1936 (Bortle, 1998). Com isso não fica totalmente eliminada a possibilidade de algum cometa periódico visível a olho nu. Todavia, o escasso registro de observação de cometas levantado para esse período, alude apenas ao cometa Geddes, nome do astrônomo neozelandês que o descobrira. Nas semanas que antecederam a Revolução Constitucionalista em São Paulo (9/7/32), o astrônomo belga, Leon Cap, que então se encontrava em São Paulo, se empenhou na observação desse cometa que tinha magnitude entre 8,5 e 9,5, tentando até mesmo fotografá-lo no Observatório de São Paulo, ainda na Av. Paulista, 69, mas não teve sucesso (Marques dos Santos, 2005: 88-89). Certamente nem mesmo a observação desse inconspícuo cometa deveria atrair o interesse dos imigrantes japoneses. Porém, em 1941, um cometa foi observado por eles, conforme será relatado mais adiante.

Foi encontrada no MAST (Museu de Astronomia e Ciências Afins do Rio de Janeiro) uma carta de 30/8/32 de Katsuura[5] dirigida ao diretor do ON pedindo informações sobre estrelas vistas ao telescópio nas proximidades da estrela Aldebarã, que não constavam no mapa de que ele dispunha, e indagando se tais estrelas seriam novas. A carta datilografada e com o timbre da "Fazenda Alliança" era acompanhada de um mapa indicando a posição dessas estrelas. Embora a linguagem do texto seja compreensivelmente deficiente, parece que Katsuura, ainda inexperiente, imaginava ter descoberto essas estrelas. Um rascunho para a resposta foi elaborado por Domingos da Costa, que também foi localizado no Acervo do MAST, com informações cabais e sugerindo a anexação de um mapa celeste no qual já constavam as estrelas em questão, de magnitude 3,5 e 4,0. Também foi encontrada cópia da resposta, datada de 28/9/32,

---

[4] É possível que nessa ocasião o contato com o ON tenha sido intermediado pelo médico Bruno Lobo, do Rio de Janeiro, considerado grande amigo da colônia japonesa. De fato, ele se opôs publicamente ao colega Miguel Couto que, como deputado na Constituinte de 1934, defendia o fim da imigração japonesa que considerava "o perigo amarelo".

[5] Na assinatura consta "Sigeo Katsura".

em que o diretor do ON, Sodré da Gama, transcreveu *ipsis litteris* o rascunho de Domingos da Costa, terminando com a saudação "Saúde e Fraternidade". No topo: "Ministerio da Educação e Saude Publica". Foi encontrada também uma carta do embaixador do Japão no Brasil, de 6/10/32, agradecendo a resposta de Sodré da Gama e informando que ela tinha sido encaminhada ao interessado, o que indica a intermediação efetiva da representação diplomática entre os imigrantes e uma instituição oficial do Brasil.

Sem nenhuma orientação, Kamiya, Okubo e Katsuura fizeram inicialmente observações de manchas solares com uma luneta Goto de 2,5 cm emprestada por um visitante da Fazenda Aliança, Osamu Yosano. Porém, após 2 anos, Yosano voltou para o Japão e levou consigo a luneta. Todavia foi ele quem deu a Kamiya e seus colaboradores a sugestão-chave de ingressarem na Sociedade Astronômica *Towa*.

Kamiya escreveu uma carta em 27/6/32 para essa Sociedade, que saiu publicada em seu boletim:

> Nossos estudos começaram pela astronomia, mas não sabemos sequer identificar as estrelas. A **luz zodiacal** é bem visível durante toda a noite a olho nu, mas não conhecemos o procedimento correto para a sua observação. Se fôssemos aceitos na Sociedade poderíamos receber instruções e orientações. Estão sendo observadas diariamente as manchas solares, pois no Brasil ocorrem muitas geadas, uma grande a cada 13 anos. Sendo assim são grandes as perdas na safra de café. No ano passado caiu uma forte geada em São Paulo. ... O céu do Brasil é muito límpido e estamos felizes (Sociedade Astronômica *Towa*, 1932).

O texto deixa bem claro que esses imigrantes não tinham tido nenhuma experiência prévia em astronomia no Japão e, portanto, todo o conhecimento nessa área foi adquirido só depois de terem chegado ao Brasil. O professor Yamamoto, presidente da Sociedade, respondeu prontamente em 8/8/32, mas a carta só chegou a Kamiya em 12/10/32 porque ficou retida no Rio de Janeiro e em Santos por causa da Revolução de 1932. Kamiya respondeu em 30/10/32 (*Tenkai*, 1933) que tinha plano de pedir, entre outras coisas, uma luneta de 20 cm ao Ministério Japonês da Colonização. A carta mencionava que Okubo era o chefe do observatório e que Katsuura o acompanhava nas observações. Estes dois fizeram na carta as seguintes perguntas:

> O que observadores astronômicos amadores como nós podem fazer? O que há de especial para ser observado no céu austral? Como aprimorar os conhecimentos acerca dos assuntos publicados no relatório anual sobre astronomia? (*Tenkai*, 1933).

Assim Yamamoto se tornou consultor científico dos trabalhos astronômicos do Instituto Kurihara. Entre os papéis do Instituto Kurihara há um conjunto de cartas celestes mensais impressas no Japão, sobre as quais os nomes das **constelações** em português foram datilografados (Figura 4).

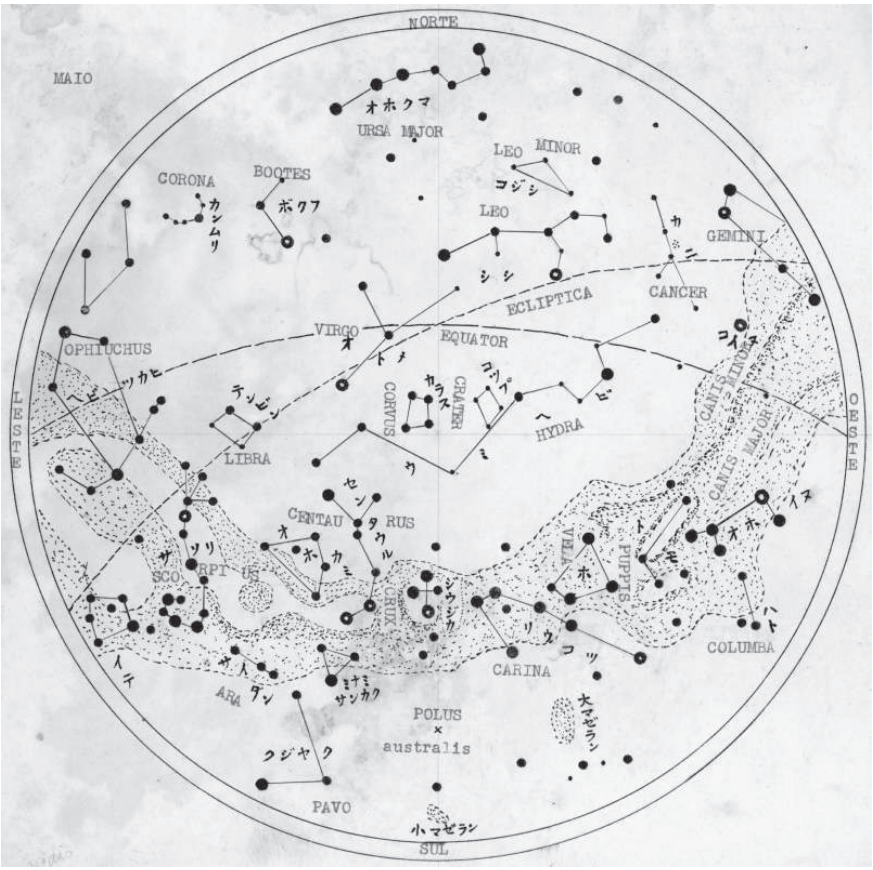


Figura 4. Carta celeste para maio com nomes das **constelações** em português datilografados (Acervo do Museu Histórico da Imigração Japonesa no Brasil)

O boletim *Tenkai* (1933) já trazia relato das observações feitas na Fazenda Primeira Aliança com comentários de um membro veterano da Sociedade Astronômica *Towa*:

> O Sr. Okubo e o Sr. Katsuura observaram a **luz zodiacal** e enviaram gráficos. ... O trabalho enviado parece feito por profissionais. Esses observadores da América do

> Sul estão realizando um belo trabalho sobre a **luz zodiacal**, e assim têm recebido vários elogios e agradecimentos. As observações começaram a ser feitas e anotadas em junho de 1932, duas ou três vezes por noite e, em alguns casos, até quatro vezes. ... No gráfico estão as observações realizadas no período de junho de 1932 até fevereiro de 1933. Conforme o gráfico, em junho e agosto foi feito um número maior de observações. ... É importante notar que nessa época no Brasil vive-se o inverno, ao contrário do Japão. No sul, nos meses de setembro e outubro, logo após o ocaso do Sol a **luz zodiacal** está mais visível. Decorridas quatro horas após o pôr do sol, a **luz zodiacal** fica ainda mais definida (*Tenkai*, 1933).

Além do número *Tenkai* (1959) de março-abril desse ano, publicado especialmente pelo falecimento de Yamamoto, o boletim *Tenkai* (1935) descreve também o perfil acadêmico e profissional desse astrônomo. Ele era professor de física cósmica e começou a observar a **luz zodiacal** em 1910 no campus da Universidade de Kyoto, observando-a depois no Observatório de Mizusawa no norte do Japão. Em 1929 o Observatório de *Kwasan* entrou em operação, mas logo as observações foram seriamente prejudicadas por causa da iluminação elétrica da cidade. Em 1931 a Sociedade Astronômica *Towa* cresceu em número de sócios e as observações da **luz zodiacal** receberam grande ímpeto em diversos locais do Japão, como também fora desse país, com a participação de emigrantes que tinham ido para o Havaí, a Califórnia e o Brasil. Nesse mesmo boletim Okubo e Katsuura aparecem na lista de associados com o seguinte endereço: "Fazenda Primeira Aliança, 4ª Seção, Estação Lussanvira[6], Linha Ferroviária Noroeste, Estado de São Paulo, Brasil".

Segundo o boletim *Tenkai* (1936), em 1935 Yamamoto fazia parte da Comissão Internacional de **Luz Zodiacal** da União Astronômica Internacional (IAU, sigla em inglês) com Cuno Hoffmeister da Alemanha, Nikolay N. Donitch da Romênia e o já citado Leon Cap, pelo Brasil. Mas não há registro de nenhuma interação entre este astrônomo e os imigrantes japoneses.

A Sociedade Astronômica *Towa* contava com excelente sistema de comunicação, através do qual era distribuída a programação mensal das observações da **luz zodiacal** e recolhidos os relatórios quinzenais das observações (Sociedade Astronômica *Towa*, 1932). Os procedimentos eram ensinados para

---

[6] Lussanvira era uma estação que ficava no tronco principal da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil, na margem sul do rio Tietê, mais perto de Pereira Barreto do que de Mirandópolis. A estação foi submersa na década de 60 quando da construção da usina hidrelétrica Três Irmãos. O estranho nome Lussanvira seria formado com sílabas dos nomes dos colaboradores do engenheiro José Matoso Sampaio Correa (1875-1942) na construção daquele trecho da ferrovia.

observações a olho nu ou fotográficas. Além dos níveis de brilho, os observadores também determinavam índices de cor[7] através de filtros que recebiam. Ocorrências incomuns, como alterações bruscas de brilho ou de forma, assim como dúvidas podiam ser relatadas em artigos do boletim da Sociedade.

Segundo Aoyagi (1941), após a mudança para Campos do Jordão o observatório teria alcançado um recorde no número de observações, provavelmente incluindo as observações meteorológicas. Estas foram feitas por Kamiya e Okubo a partir de novembro de 1937 até abril de 1938.

Nas atividades meteorológicas e nos estudos sobre grandes geadas o Instituto Kurihara contou com a supervisão de Sakihei Fujihara (1884-1950), chefe do Observatório Meteorológico Central de Tóquio. Esta informação é incluída aqui com o intuito de mostrar como os imigrantes procuravam no Japão a mais categorizada orientação nos diferentes ramos da ciência. Corroborando essa ideia, foram encontrados entre os materiais do Instituto Kurihara no Museu Histórico da Imigração, registros originais de observações meteorológicas feitas todos os dias nos meses de março e abril de 1938 por Kamiya e Okubo em Campos do Jordão. Às 2, 6, 10, 14, 18 e 22 h eram feitas medições da temperatura ambiente, da temperatura com termômetro úmido, da quantidade de nuvens e da direção de seu movimento nas alturas superior, média e inferior da atmosfera, da pressão atmosférica, da precipitação pluviométrica acompanhada de informações sobre as chuvas (trovoadas, relâmpagos, ventos, nevoeiros, halo solar, arco-íris etc.), da tensão de vapor e da umidade relativa. Não sabemos por que esses registros originais teriam ficado no Brasil.

Em 1940 o Instituto Kurihara iniciou a publicação da revista *Natura*[8] (Figura 5) que acabou não passando do primeiro número. O presidente do Instituto na época, Chibata Miyakoshi, disse na apresentação da revista que o objetivo da entidade que dirigia era colaborar para o progresso do Brasil e contribuir para a cultura brasileira. Prefaciando a revista, Kadori Naruse, cônsul do Japão em São Paulo, disse que o objetivo era "apresentar o conhecimento da natureza brasileira aos círculos científicos internacionais, introduzir aqui novas teorias e descobertas japonesas e vice-versa e, por meio deste intercâmbio científico, promover a amizade e a aproximação entre os dois países".

---

[7] O índice de cor quantifica a coloração de um objeto e consiste na diferença do brilho (magnitude) desse objeto observado através de diferentes filtros.

[8] Os artigos eram publicados em japonês, geralmente acompanhados de um resumo em português. O endereço da revista era a rua Dr. Thomaz de Lima, 454, enquanto o endereço postal, segundo correspondências encontradas no Museu Histórico da Imigração Japonesa, era o de Okubo em Pindamonhangaba, SP, onde a revista era impressa. Okubo teria morado em Pindamonhangaba pelo menos até 1959. Em 1977 e 1979 o encontraremos em São Paulo.

Nesse número apareceram vários artigos alusivos à astronomia, o que indica o grande peso que essa disciplina tinha no Instituto.

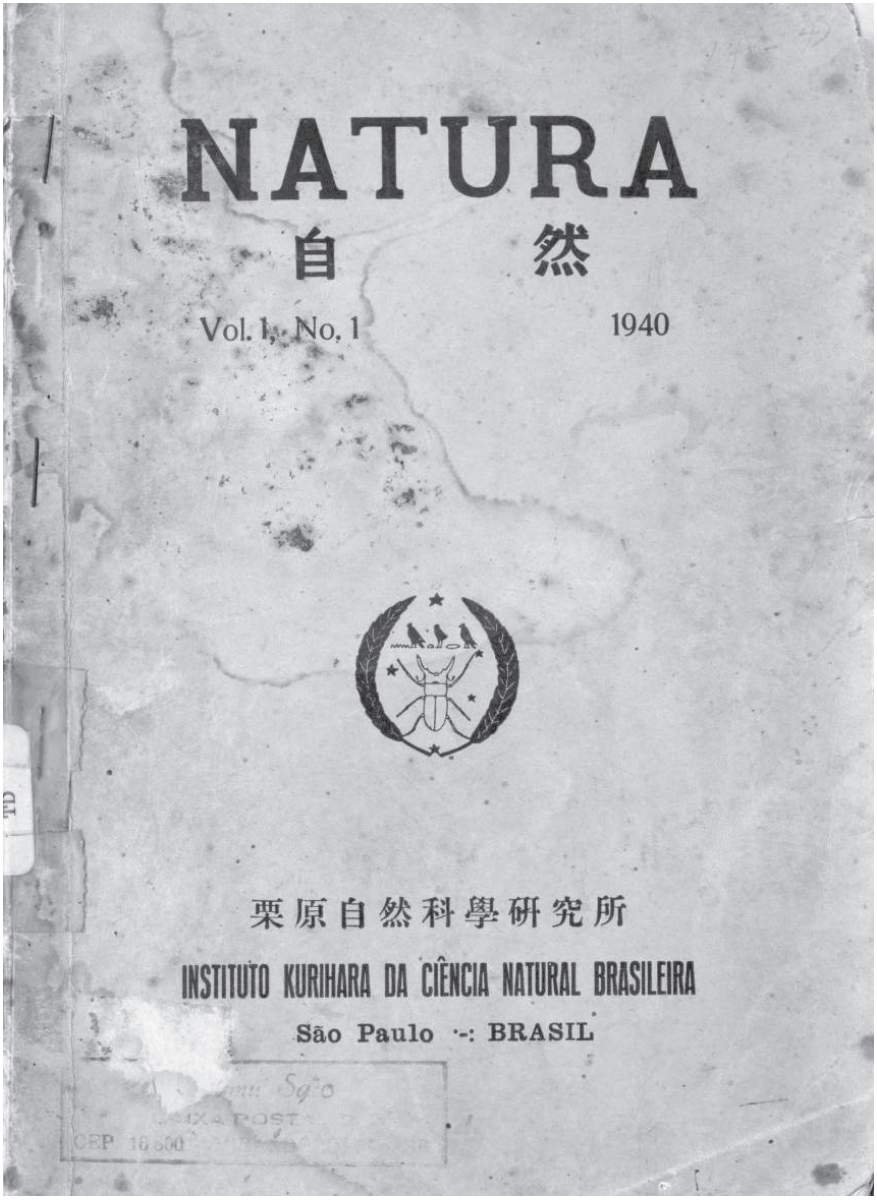


Figura 5. Capa da revista *Natura*
(Acervo do Museu Histórico da Imigração Japonesa no Brasil)

Sadao Hasegawa escreveu um artigo discutindo a possível relação entre o ciclo de atividade solar e a ocorrência de fortes geadas no interior do Estado de São Paulo a cada 16 anos (Hasegawa, 1940). Depois ele explicou a morte dos vegetais pela solidificação da água do protoplasma no interior das células, apontou os locais topograficamente mais sujeitos a geadas e sugeriu medidas preventivas.

O próprio professor Yamamoto contribuiu com um artigo sobre o eclipse total do Sol que seria visível no norte do Brasil em 1/10/40 (Yamamoto, 1940). As publicações da época apontavam o sul da África como a região com condições meteorológicas mais favoráveis para a observação desse eclipse. Mas Yamamoto expressou sua opinião de que o norte do Brasil não deveria ser descartado, pois não necessariamente deveria estar sujeito a chuvas e nuvens atribuídas então ao país de forma generalizada.

Okubo que já observava a **luz zodiacal** na Primeira Fazenda Aliança, também contribuiu com um artigo descritivo sobre a **constelação** do Cruzeiro do Sul (Okubo, 1940).

Kunito Miyasaka (1889-1977) no artigo "Observatorio astronomico de Aliança" relatou que da primeira vez que esteve em Aliança achou estranha a torre alta do observatório e a personalidade de seu idealizador. Porém, quando voltou da segunda vez, contatou Kamiya e seus colaboradores e, desde então, passou a admirá-lo pelo conhecimento e dedicação, pois todos continuavam trabalhando normalmente como agricultores. Miyasaka trabalhava para empresas japonesas de emigração e, tendo chegado ao Brasil em 1931, foi administrador de várias colônias japonesas e fundou instituições prestadoras de serviço à colônia japonesa no Brasil, tais como o Banco América do Sul, a Companhia de Seguros América do Sul, tendo também sido presidente da Sociedade Brasileira de Cultura Japonesa e de Assistência Social (*Bunkyo*)[9] em cuja sede se encontra o Museu da Imigração Japonesa.

Entre os papéis do Instituto Kurihara há também um recorte de um jornal nipo-brasileiro anunciando ao público a possibilidade de observação de um cometa em 1941. Provavelmente tratava-se do cometa 1941 IV ou Kock-Paraskevopoulos, que atingiu a magnitude 2 (Bortle, 1998) e cuja visibilidade foi especialmente favorável aos moradores do hemisfério sul.

Mas, ao fim da II Guerra Mundial o Instituto Kurihara instalado em Campos do Jordão[10] chegou ao fim pelas dificuldades financeiras, além de de-

[9] Estas informações constam no portal do Instituto Kunito Miyasaka http://www.fkm.org.br/quemsomos/kunito-miyasaka/kunito-miyasaka/ visitado em 12/12/13.

[10] Em 1941, na época em que o Instituto Kurihara ainda desenvolvia suas atividades em Campos de Jordão, Oscar Sala (1922-2010), primeiranista do curso de física da Faculdade

sentendimento entre os seus membros mais novos e mais velhos. Deve ter pesado também o desgaste sofrido coletivamente durante a Guerra pelos representantes do chamado "perigo amarelo" no Brasil. Então cada um seguiu o seu próprio caminho.

Boa parte dos materiais do extinto Instituto Kurihara, que inclui os documentos astronômicos aqui analisados, teria sido doada ao Museu da Imigração por Okubo em 10/1/77, provavelmente quando se mudou de Pindamonhangaba para São Paulo, pois há no Museu um recibo atestando essa doação. A razão pela qual os registros originais das observações da **luz zodiacal** de setembro a dezembro de 1934, e de **meteoros**, de novembro de 1937 a fevereiro de 1939, não foram enviados para o Japão suscita curiosidade e ainda não recebeu explicação.

Foi também feita uma busca de artigos em revistas internacionais de astronomia com o objetivo de verificar se os resultados das observações dos imigrantes japoneses teriam sido utilizados no estudo da **luz zodiacal**. Foi encontrado um artigo publicado em *The Astrophysical Journal* (Elvey, 1937). O autor, astrônomo do Observatório MacDonald da Universidade do Texas, utilizou e elogiou os dados obtidos a olho nu entre 1928 e 1936 pelos membros da Sociedade Astronômica *Towa* de diversas partes do mundo:

> *An excellent series of observations were obtained by the Zodiacal Light Section of the Society of Astronomical Friends of Kyoto, Japan, which later became the Oriental Astronomical Society. These observers, numbering as twenty or more, have been making systematic observations of the position and outline of the zodiacal light as well as of its color and brightness and of such other miscellaneous observations as pulsations in brightness and variations in outline* (Elvey, 1937: 84-85).

Elvey (1937) pretendia confirmar uma variabilidade sazonal do brilho da **luz zodiacal**, da qual suspeitara com base em observações fotoelétricas feitas antes, utilizando uma célula fotoelétrica como fotômetro[11] (Elvey and Roach, 1937). Os dados dessas últimas observações eram escassos para a análise da variabilidade sazonal, mas eram fotometricamente mais precisos. Por isso servi-

---

de Filosofia, Ciências e Letras (FFCL) da USP, orientado por Gleb Wataghin fez observações de **chuveiros** penetrantes de **raios cósmicos** numa garagem particular nessa cidade, numa pesquisa inicial sobre os efeitos da altitude nesse fenômeno (Sala, 2010). Como que confirmando sua persistente vocação científica, entre 1964 e 1970 essa cidade abrigou também o Rádio Observatório do Umuarama (ver os Capítulos "Pesquisas em raios cósmicos" e "Radioastronomia" neste Volume).

[11] Ver **Fotometria**.

ram para calibrar as observações visuais dos japoneses que, para serem comparáveis entre si, tiveram que ser previamente reduzidos a um sistema uniforme. A redução levou em conta a variação com a **altura** do brilho da **luz zodiacal** e das áreas de comparação da **Via Láctea**. De forma menos rigorosa também foi levado em conta o fato de os japoneses estarem em observatórios a diferentes altitudes. O resultado dessa análise confirmou os aumentos sazonais do brilho da **luz zodiacal**, que foram explicados como sendo devidos à aglomeração de poeira em nuvens associadas à passagem de cometas periódicos pelas proximidades da órbita da Terra.

Os resultados desse levantamento e análise histórica constituíram basicamente o conteúdo de uma comunicação feita na Reunião Anual da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) de 1994 (Matsuura e Motoyama, 1994).

Considerações finais

O contexto da imigração japonesa

Uma reflexão sobre o tópico da imigração japonesa na época e seu contexto parece oportuna para eventualmente elucidar o perfil do idealizador e dos primeiros integrantes do Instituto Kurihara, o que eles teriam pretendido e até que ponto os acontecimentos desse período particularmente conturbado no Brasil e no Japão, teriam influenciado favorável ou desfavoravelmente no destino desse Instituto.

A abolição da escravatura tinha estimulado a entrada de trabalhadores de outros países no Brasil. A imigração inicial de europeus, principalmente italianos no Estado de São Paulo, não deu certo e chegou inclusive a ser proibida pelo governo italiano. Então a imigração de orientais foi a segunda opção. O Japão, por sua vez, tinha mão de obra em excesso dos trabalhadores do campo que acorriam em massa para as cidades em consequência da Restauração Meiji (Yoshioka, 1995). Podiam permanecer no campo só os filhos primogênitos do sexo masculino, pois só eles herdavam os bens dos pais. Em 1909 chega a primeira leva de imigrantes japoneses para trabalharem na agricultura no interior paulista, a maioria em fazendas de café. O plano que esses primeiros imigrantes tinham em mente era trabalhar duro, enriquecer rapidamente e retornar ao Japão.

Em 1924 a Sociedade Ultramarina Shinano implanta a Colônia Aliança na região de Mirandópolis, SP, que será o palco das atividades científicas aqui abordadas. Cronologicamente esse acontecimento precede a II Guerra Mundial que,

para o estudo da aculturação e integração dos imigrantes japoneses e de seus descendentes à sociedade brasileira, representa importante divisor de águas.

Ao tratar em 2009, nas celebrações do centenário da imigração japonesa no Brasil, da contribuição dos imigrantes japoneses e seus descendentes nas diversas áreas do conhecimento, Harada (2010) fez essa análise sob o prisma da integração da comunidade de origem japonesa à sociedade brasileira, integração essa que ele considerou a mais perfeita e cabal[12], se comparada à imigração ocorrida antes nos Estados Unidos[13], Canadá e Peru. Mas essa bem-sucedida integração é posterior à II Guerra Mundial. Com efeito, diz Harada (2010):

> Antes da Segunda Guerra Mundial, os imigrantes japoneses tinham como meta construir fortunas e retornar à pátria-mãe. Eram dekasseguis. Dessa forma, uma eventual integração com a sociedade local poderia interferir negativamente nesse objetivo. O fim do conflito mundial e a devastação do Japão postergaram o sonho de retorno e despertaram o desejo de integração social. A par disso, a profunda crise econômica que se instaurou no Japão estimulou a chegada de novos imigrantes. Pelo menos no Brasil, foi o que aconteceu.
>
> Dessa forma, pode-se afirmar que o final da Segunda Grande Guerra, seguido de profunda recessão econômica do Japão constituíram em marco comum de ascensão dos nikkeis de todos os países onde fixaram residência definitiva (Harada, 2010).

Conquanto os imigrantes da Fazenda Primeira Aliança tenham vindo ao Brasil antes da II Guerra, suas intenções quanto à fixação no Brasil fugiam do paradigma vigente, de sorte que a vinda desse grupo ao Brasil constituiu uma nova experiência migratória. A Sociedade Ultramarina Shinano foi fundada para estimular a emigração na província de Nagano. Mas ela já era subproduto de uma organização de fundo, a *Nippon Rikko Kai*, idealizada por um pastor protestante japonês, de modo que essa imigração planejada e dirigida tinha inspiração cristã (Yoshioka, 1995). Essa organização criou escolas no Japão para preparar os emigrantes e estendeu essa rede inclusive para o Brasil, que ainda subsiste hoje objetivando a educação dos jovens. A maioria dos alunos que ingressavam nessas escolas no Japão era de origem humilde, tinha que trabalhar para prover o próprio sustento, pagar a escola e juntar algum capital.

---

[12] Cornell and Smith (1970: 273, 275) parecem concordar com essa afirmação quando consideram que a aculturação dos japoneses no Brasil seria um fenômeno estrutural, portanto mais profunda, ao passo que em outros países seria mais comportamental.

[13] Houve imigração japonesa para o Havaí antes da anexação americana em 1898.

O governador da província de Nagano teria declarado em 1923 perante a Sociedade Ultramarina Shinano (*National Diet Library, Japan*, 2009) a decisão de construir uma "colônia completa" no Brasil, onde os imigrantes assentar-se-iam definitivamente e em segurança; onde eles não se sentiriam ameaçados e, tendo uma vez tornado grandes latifundiários, não mais sentiriam desejo de retornar ao Japão, podendo lá usufruir da mesma felicidade que encontrariam na terra natal. O projeto dessa colônia foi concebido tendo como alicerce o plano de construção de um núcleo de cerca de 5 mil hectares. Embora transpareça aí a presença atuante do Estado japonês na vida de seus emigrantes que, mesmo já residindo no Brasil, mantiveram estreitas relações com o país de origem, particularmente através de seus representantes diplomáticos e cientistas do primeiro escalão, a Prefeitura de Nagano se limitou a encorajar a imigração, sendo que a companhia privada de colonização adquiriu as áreas de colonização que depois foram divididas e vendidas aos imigrantes (Yoshioka, 1995).

Portanto os membros da Colônia Aliança vinham ao Brasil com intenção de aí se estabelecerem. Para a *Nippon Rikko Kai* a vida urbana era uma porta para a licenciosidade e ruptura dos bons costumes. Por isso a vida no ambiente rural era incentivada. Mas o fato de virem para o Brasil com a intenção de aí se fixarem, não assegura necessariamente que esses imigrantes objetivassem integrar-se à sociedade brasileira, pois viveriam comunitariamente numa colônia mais ou menos autônoma, segregada da sociedade local, mantendo praticamente intacta a língua, os costumes e as tradições.

Assim a experiência da Fazenda Aliança coloca diante de nós uma nova alternativa, que não é nem aquela do imigrante que planeja se enriquecer rapidamente e retornar ao Japão (algo que, na prática, não se mostrou tão factível aos que assim planejaram), nem a daquele que elege o Brasil como a nova pátria e planeja integrar-se totalmente à sua sociedade. Com efeito, os imigrantes da Fazenda Aliança que vieram para núcleos de colonização constituídos por eles mesmos, embora estivessem determinados a aí se fixarem para o resto da vida, não teriam tido no dia a dia o contato direto com pessoas da sociedade local, condição natural para a aculturação e a integração. Essa integração acabaria ocorrendo até mais naturalmente com os imigrantes das fazendas de café, que eram dispersados e tinham que conviver com pessoas das comunidades locais. Portanto a integração social não se correlaciona apenas com a intenção do imigrante de se fixar na nova terra, mas principalmente com a disposição e a oportunidade de conviver em contato com pessoas da sociedade local, mesmo que a intenção inicial tenha sido a de retornar ao país de origem.

As inscrições para a Fazenda Primeira Aliança eram feitas mediante a compra de lotes e, em vista da rápida venda, áreas adjacentes de terra foram

adquiridas em 1926 e 1927, desta vez com a participação de sociedades ultramarinas de outras províncias japonesas, dando lugar às fazendas Segunda e Terceira Aliança. Alguns compradores nem sequer vieram para o Brasil, mas, como tinham dinheiro disponível, a aquisição dos lotes foi considerada por eles como um investimento.

Segundo o portal eletrônico *National Diet Library, Japan* (2009), esses colonos tinham um nível de educação mais elevado e dispunham de certo capital, destoando da maior parte dos imigrantes mais antigos. Alguns teriam trazido consigo pianos e bibliotecas particulares. Os imigrantes já estabelecidos no Brasil comparavam esses novos que chegavam à gente glamurosa que passeava pelo bairro de Ginza em Tóquio e imigravam fascinados pela vida selvagem no Brasil. Chamavam-nos com certa ironia de "imigrantes de Ginza". Um dos imigrantes pioneiros da Fazenda Aliança foi Isamu Yuba (1906-1976), que se destacou como promotor de atividades esportivas (*baseball*) e culturais (Balé Yuba), mantidas até hoje pela Comunidade Yuba que continua no local original (Yazaki, 2002; Suzuki, 2006) e ainda traz do Japão professores de língua japonesa (Yoshioka, 1995).

Mas o que acontecia no Brasil que recebia esses imigrantes? A Grande Depressão iniciada em 1929 com a quebra da Bolsa de Valores de Nova Iorque afetou profundamente o Brasil, tão dependente este era dos EUA, o maior comprador do café brasileiro. Não só o mercado para a venda do café era praticamente único, mas também a própria produção cafeeira era monocultural. A crise brasileira foi a de superprodução do café para a qual os imigrantes tinham contribuído, cujos estoques já vinham se avolumando imprudentemente desde anos anteriores, na expectativa otimista de que seria sempre possível controlar a oferta do produto. Mas as vendas brasileiras caíram drasticamente, o que acarretou falência de empresas, descapitalização, suicídios e cenas traumáticas de queima do café adquirido pelo governo (Convênio de Taubaté) que já não tinha onde armazená-lo.

Uma consequência política foi a Revolução de 1930, depois que o presidente Washington Luís quebrou a alternância do poder entre paulistas e mineiros (política do café com leite) preterindo o candidato mineiro em favor do candidato paulista Júlio Prestes. Este venceu amplamente as eleições e derrotou o gaúcho Getúlio Vargas, candidato lançado pela Aliança Liberal apoiada por Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraíba. Mas, antes que Júlio Prestes tomasse posse, foi perpretado um golpe militar que depôs Washington Luís e entregou o poder a Getúlio Vargas que instalou a ditadura, revogou a Constituição de 1891 e nomeou interventores federais para comandar os estados. Outra sequela no Estado de São Paulo foi a Revolução Constitucionalista de 1932,

considerado o maior movimento cívico do Estado. O objetivo era derrubar o Governo Provisório de Vargas, o que não foi conseguido, mas nova Constituição foi promulgada em 1934 e o Estado de São Paulo deixou de ser governado por interventor federal.

Certamente, por maior que fosse o isolamento cultural da Colônia Aliança, ela não poderia passar imune a essa grave conjuntura, pois afetava diretamente o escoamento da sua produção e sua sustentabilidade econômica. Isso deve ter gerado desencanto e provocado reflexões na busca do futuro de cada um. Para Motoyama (2004: 263) o Instituto Kurihara surgiu em conexão direta com a crise cafeeira. Talvez sem a crise do café, o Instituto não tivesse existido. Mais. É bem possível que o Instituto fosse para os seus membros a válvula de escape para a difícil situação que enfrentavam.

Uma vez constituído, o Instituto passou a articular um leque multidisciplinar de pesquisas em ciências naturais, em que o céu austral certamente foi visto como mais um item da natureza selvagem do Brasil. As observações astronômicas da **luz zodiacal** constituíam uma colaboração à pesquisa de astrônomos profissionais do Japão. Como mostram os temas abordados na revista *Natura*, o tema dos efeitos devastadores das geadas nas plantações de café tinha que ser atacado cientificamente e as pesquisas deveriam ser úteis aos interesses das atividades produtivas dos colonos japoneses no Brasil. Pela experiência e formação prévia de Kamiya, o idealizador do Instituto, fica claro que ele já tinha bem presente em sua mente a noção hoje considerada moderna, de que ciência e tecnologia se articulavam com inovação e desenvolvimento econômico.

A crise do café trouxe algumas consequências forçando o país a adotar uma diversificação na produção agrícola que migrou para a produção do algodão, o início da industrialização no sul e sudeste do país e a urbanização. Muitos imigrantes que já eram livres, ou que tinham cumprido o contrato de trabalho de alguns anos nas fazendas de café, se mudaram para cidades onde se tornaram pequenos comerciantes ou para a periferia de grandes cidades para se dedicarem a atividades hortifrutigranjeiras. O Instituto Kurihara acompanhou esse movimento e também se transferiu para São Paulo.

A astronomia nos dois países

Outro tópico que interessa particularmente neste trabalho é a situação, na época, da astronomia no Brasil e no Japão. No Brasil, as atividades astronômicas estavam praticamente concentradas no Rio de Janeiro, especificamente no ON. Mas esse foi um período particularmente difícil para aquela instituição. De 1930 até 1951 o diretor do ON foi Sodré da Gama. Sua gestão foi

marcada por cortes orçamentários e projetos importantes, como a instalação de um observatório afastado de grandes cidades, foram prejudicados pela II Guerra Mundial. Não obstante Sodré da Gama manteve os principais serviços institucionais como o Serviço da Hora, das marés, levantamentos magnéticos e pesquisa sobre a variação da rotação da Terra analisando observações de ocultação de estrelas pela Lua (ver o Capítulo "Primeiras pesquisas em astronomia" no Volume I).

A gestão de Sodré da Gama, que precedeu o advento do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) na década de 50, marco importante da modernização da atividade científica no país, ainda fez parte do longo período em que as pesquisas astronômicas feitas no ON não tinham amparo governamental, mas se concretizavam graças à vontade inquebrantável de seus dirigentes, e na base de colaborações internacionais coordenadas pela IAU e cuja importância era endossada por ela (Ferraz-Mello, 1981). Entre essas pesquisas destaca-se, pela importância, o Programa de Variação da Latitude do Rio de Janeiro entre 1924 e 1931, com observações realizadas por Lelio Gama (1892-1981) utilizando uma excelente luneta zenital Heyde. Graças a esse trabalho, a partir de 1925 Lelio Gama fez parte da Comissão 19, de Variação da Latitude da IAU, e participou do Serviço Internacional de Latitude. Esse trabalho mereceu reconhecimento internacional, não só porque o ON foi o único Observatório a fazer esse tipo de observação no hemisfério sul, pelo menos até 1928, mas também pela qualidade das observações e longa série temporal que somente foi interrompida pelo acúmulo de dados que não podiam ser reduzidos e analisados por falta de calculadores no ON. A redução e análise dos dados somente foi realizada pelo próprio Lelio Gama na década de 60, tendo a publicação dos resultados sido feita em 1977. Mas um ponto deste programa de pesquisa que merece ser destacado na presente discussão é que o presidente da Comissão 19 era Hisashi Kimura (1870-1943), com quem Lelio Gama manteve estreito contato (Oliveira, 2009). Havia, portanto, nessa época, uma colaboração em pesquisa astronômica entre o Brasil e o Japão articulada pela IAU, sendo que cada país aderia a organizações internacionais na busca de sua própria visibilidade e protagonismo regional.

Nas primeiras décadas do século 20 o Estado de São Paulo se avultava econômica e politicamente sustentada pela produção do café. Contava com abundante mão de obra de imigrantes e eficiente malha ferroviária. Mas a atividade astronômica apenas tinha ganho *status* oficial na década de 30 e esforços eram envidados na construção do Observatório de São Paulo, no bairro da Água Funda, cuja pedra inaugural foi lançada em 1932 e cuja inauguração se deu em 1941. Dessa forma seria natural que essa instituição ainda não tivesse muita

visibilidade, nem possibilidade de oferecer préstimos aos imigrantes (ver o Capítulo "Chegada da astronomia oficial a São Paulo" no Volume I).

Do lado japonês, o consultor técnico na astronomia foi Yamamoto. Sua especialidade principal era o estudo da **luz zodiacal** e, portanto, como presidente da Sociedade Astronômica *Towa* era natural que ele exortasse seus associados a também observarem a **luz zodiacal**. O tema para astrônomos amadores não poderia ser melhor, dada a sua atualidade e o interesse que despertava na época, como também pela possibilidade que a **luz zodiacal** oferecia de poder ser observada mesmo a olho nu, sem necessidade de equipamentos sofisticados ou caros. Os conhecimentos sobre a **luz zodiacal** eram muito incipientes, tanto que artigos científicos da década de 20 ainda especulavam sobre a possibilidade de se tratar até mesmo de um fenômeno meteorológico, talvez associado a auroras, ou ainda a nuvens de poeira orbitando ao redor da Terra. A questão das flutuações do brilho da **luz zodiacal** nas mais diversas escalas de tempo já era discutida e permanece uma questão em aberto mesmo atualmente. Hoje os conhecimentos aumentaram com observações feitas na luz visível e no infravermelho, no solo e no espaço, com novos dados obtidos em experimentos laboratoriais da reflexão e polarização[14] da luz por grãos de poeira das mais variadas composições, formas e tamanhos. Através de simulações de computador sabemos que, para a manutenção da poeira que produz a **luz zodiacal**, **asteroides** não bastam como fonte geradora. Cometas são necessários e esses cometas são da família de Júpiter[15], isto é, cometas com períodos orbitais menores que cerca de 20 anos. Esse recente resultado corrobora as conclusões a que Elvey (1937) chegou utilizando as observações da **luz zodiacal** da Sociedade Astronômica *Towa*.

Yamamoto tinha também outros interesses correlatos, pois participava de expedições para observar eclipses solares. Fez a predição de uma **chuva de meteoros** para 9 de junho de 1930, associada ao cometa 1930d[16] ou 73P/Schwassmann-Wachmann 3 na nomenclatura atual (Yamamoto, 1930). Essa predição foi confirmada e a **chuva de meteoros** é denominada τ (tau) Herculídeos.

Mas Yamamoto não era apenas um acadêmico. Foi o verdadeiro Flammarion dos japoneses (ver "Dos tempos do Império aos observatórios robóticos" neste Capítulo). Destacou-se como o mais conhecido popularizador da

---

[14] Ver **Polarimetria**.

[15] Numa amostra de cometas de curto período (período orbital < 200 anos) nota-se uma tendência para que os afélios (ponto da órbita mais distante do Sol) desses cometas se acumulem nas proximidades das órbitas de Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, o que dá origem a famílias de cometas associadas a esses planetas.

[16] Na nomenclatura antiga 1930d significava o 4º cometa novo (isto é, ainda não catalogado) descoberto aquele ano. A letra d é a 4ª letra do alfabeto.

astronomia tendo escrito vários livros, e foi fonte de estímulo para muitos astrônomos amadores. Isso é o que diz Schmadel (2012) no verbete "(2249) Yamamoto" do seu Dicionário de Nomes de **Asteroides**, pois Yamamoto foi homenageado tendo o seu nome atribuído ao **asteroide** 2249, assim como a uma cratera lunar.

Além disso Yamamoto era atuante na comunidade astronômica internacional. Em 1939 a Comissão da IAU de Estrelas cadentes, **luz zodiacal** e problemas correlatos criou a subcomissão da **luz zodiacal**, da qual ele foi o primeiro presidente. Além disso, também participou do 2º IPY (*International Polar Year*) em 1932/1933 estudando a **luz zodiacal** (Stevenson III, 2010). Por tudo isso podemos concluir que o Instituto Kurihara teve eminente consultor na área de astronomia.

A abertura do Japão para o ocidente ocorreu em 1868 na famosa Restauração Meiji. A revista *Tenkai* (1935) diz:

> Um dos marcos para avivar o interesse dos estudos sobre a **luz zodiacal** vem de 1852 quando a armada norte-americana com o comodoro [Matthew] Perry veio para o Japão. Nessa expedição veio o padre George Jones que estava fazendo essas observações na região do mar da Índia e publicou suas observações.

De fato, foi em 1853 que o comodoro Matthew Perry entrou na baía de Tóquio para, em nome do governo americano, forçar o Japão a se abrir ao comércio com as potências ocidentais. O rev. Jones era o capelão da Marinha que acompanhava Perry. Esse episódio emblemático que provocou a Restauração Meiji, curiosamente já veio associado à **luz zodiacal** (Jones, 1856).

Após esta análise, a surpreendente atividade astronômica dos imigrantes japoneses soa como a realização de algo improvável. Resultou de uma combinação fortuita de vários fatores favoráveis. Um dos objetivos deste trabalho é deixar registrado o fato. O projeto do Instituto Kurihara fracassou porque fundamentalmente novas circunstâncias forçaram a sua interrupção. Parece que se pode dizer que faltou o tempo necessário para a sua consolidação. Tanto que Hashimoto e Sakai prosseguiram suas atividades mesmo sem o Instituto, até o fim de suas vidas deixando importante legado. Já em agosto de 1952 Hashimoto fazia, em nome do Clube dos Amadores de História Natural, com sede na rua Vergueiro, 2625, uma "Primeira exposição de História Natural" no salão da União dos Alfaiates do Estado de São Paulo, à rua Galvão Bueno, 43. Exemplares do catálogo dessa exposição estão também entre os papéis do Museu da Imigração. Sakai prosseguiu suas pesquisas com o apoio da Sociedade Arqueológica Brasileira de Amadores.

Todavia parece que um Instituto formado por amadores japoneses, ligado umbilicalmente a centros profissionais de ciência do Japão, não sobreviveria à geração de seus próprios fundadores, dado que no início da segunda metade do século 20, a ciência no Brasil começava a se institucionalizar. Para os filhos desses imigrantes já não fazia mais sentido atuar na ciência, amadorística ou profissionalmente, senão em instituições brasileiras. Na lista atualizada de 618 membros da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB), cerca de 1,5% é de origem japonesa, sendo que a população nipo-brasileira constitui 0,7% da sociedade brasileira (http://pt.wikipedia.org/wiki/Nipo-brasileiro).

No campo da astronomia, desde a colaboração entre Lélio Gama e Kimura, os contatos entre o Brasil e o Japão foram exclusivamente profissionais, como a aquisição do radiopolarímetro de 7 GHz pelo CRAAM (Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie) em 1966 da fabricante *Shimada Physical and Chemical Industries Corporation Ltd.*, de Tóquio (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume), a ida de Eugenio Scalise Jr. em 1966 e 1978 para obtenção de mestrado e doutorado em **radioastronomia** solar no Departamento de Astronomia da Universidade de Tóquio, a visita de Masaki Morimoto (1932-2010) ao CRAAM em 1975, a estada de Tadayoshi Ono, da Universidade de Nagoya junto ao Grupo de Astrofísica do Sistema Solar do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) entre 1978 e 1983, a breve estada de Shigetugu Takagi, do Observatório da Latitude de Mizusawa por volta de 1983 em Natal, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), a visita de Kin-aki Kawabata do Observatório de Tóquio ao CRAAM em 1984 e o estágio por um ano de Nobuharu Ukita do Rádio Observatório de Nobeiama no CRAAM em 1985.

Merece ser citada também a profícua colaboração entre o Brasil e o Japão por 30 anos, entre 1962 e 1993, na área de **raios cósmicos** (ver o Capítulo "Pesquisas em raios cósmicos" neste Volume). Essa colaboração começou com Cesar Lattes (1924-2005) e Hideki Yukawa (1907-1981), prêmio Nobel de Física de 1949. No pós-guerra Yukawa foi um grande orgulho nacional e a colônia japonesa coletou fundos para trazê-lo para São Paulo, o que acabou não acontecendo porque ele teve problema de saúde. Mas o dinheiro recolhido, em quantia significativa, foi enviado para o Japão onde foi aplicado nas pesquisas de colaboração com o Brasil (Dobrigkeit, 2011). Essa colaboração contribuiu para o desenvolvimento de câmaras de emulsões nucleares, a sua exposição no *Laboratorio de Física Cósmica* de Chacaltaya, nos Andes bolivianos a uma altitude de 5.400 m, tendo produzido resultados significativos sobre as interações nucleares induzidas por **raios cósmicos** de **alta energia**. Quando Lattes se aposentou na Unicamp em 1986, o nissei Edison H. Shibuya passou a liderar

a equipe brasileira. Essa colaboração rendeu também a vinda de físicos japoneses na segunda metade da década de 50 ao Instituto de Física Teórica (IFT), hoje integrado à Universidade Estadual Paulista (UNESP) no campus de São Paulo e, depois, ao Instituto de Física (IF) da USP (Motoyama, 1995).

Mas, se o Instituto Kurihara foi apenas um breve parêntese de atividades intensas e surpreendentes, o resgate de sua atuação na astronomia se presta hoje como um flagrante carregado de informações e significados que ajuda a contar a história da astronomia no Brasil num momento que prenunciava a sua modernização e institucionalização.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Shozo Motoyama por ter me dado conhecimento em 1994 deste interessante episódio. Na época tive a ajuda de Yassumi Nakayama, Michiko Nishida e Marilda Nagamini, todos do Museu Histórico da Imigração Japonesa para ter acesso aos materiais do acervo e obter algumas traduções. Também agradeço ao professor Eijiro Hiei da Universidade Meisei e professor emérito do Observatório Astronômico Nacional em Tóquio que, a meu pedido, providenciou uma busca na biblioteca do Observatório *Kwasan* em Kyoto e me enviou importantes materiais bibliográficos utilizados neste estudo. Agradeço a Henrique Lins de Barros, que era diretor do MAST quando solicitei em 1994 uma busca de documentos relacionados aos imigrantes japoneses no Fundo ON, sendo que a chefe do Departamento de Informação e Documentação, Thereza Maria da Silva Araújo, localizou o conjunto de documentos aqui mencionados. Agradeço a lista atualizada dos sócios da SAB fornecida por Lucíola Russi, as informações sobre o intercâmbio Brasil-Japão na área de **radioastronomia** fornecidas por Eugenio Scalise Jr., uma importante referência aqui utilizada que me foi passada por Cássio Leite Vieira (Ciência Hoje) e o cordial atendimento que recebi de Mieco Yano Freitas, Paulo Teruachi Takeda, Kenichi Ogawa, Eduardo Kobayashi e Luciana Etsuko Shibuya quando revisitei a biblioteca do Museu da Imigração em dezembro de 2013. Agradeço por fim à Comissão Editorial que, a meu pedido, julgou da pertinência da publicação deste texto nesta obra.

Referências

Aoyagi, Ikutaro, Org. (1941), *Burajiru ni okeru Nihon-jin Hatten Shi* (História do Desenvolvimento dos Japoneses no Brasil), Volumes I e II, Shigueshi Nagata (Ed.), Tóquio: Editora Kankoiin-kai.

Baba, Yoshiko (1988), *Um Sonho no Brasil*, Nobuko Nakamura (Trad.), São Paulo: Editora Aliança Cultural (Original: *Burajiru no Yumê*, 1988, Tóquio: Kodansha).

Bortle, John E. (1998), The Bright-Comet Chronicles, *International Comet Quarterly*, The ICQ Comet Information Website, http://www.icq.eps.harvard.edu/bortle.html, acesso em 28/11/13.

Cornell, John B. and Smith, Robert J. (1970), Japanese Immigrants Abroad, *The Rice University Studies*, 56, 4, 267-282. Disponível em http://scholarship.rice.edu/bitstream/handle/1911/63034/article_RIP564_part23.pdf?sequence=1, acesso em 27/11/13.

Dobrigkeit, Carola (2011), Cosmic Ray Physics in Brazil, *Proceedings of Science, 4th School on Cosmic Rays and Astrophysics*, Santo André, SP, Brazil, August 25- September 04, 2011, PoS (CRA School) 032, 21 pp, http://pos.sissa.it/archive/conferences/118/032/CRA%20School_032.pdf, acesso em 5/12/13.

Elvey, C. T. (1937), The annual variation in the intensity of the zodiacal light, *The Astrophysical Journal*, 86, 84-93.

Elvey, C. T. and Roach, F. E. (1937), A Photoelectric Study of the Light from the Night Sky, *The Astrophysical Journal*, 85, 213-241.

Ferraz-Mello, Sylvio (1981), "Astronomia brasileira: um depoimento de Lelio Gama", *Ciência e Cultura*, 33, 5, 748-751.

Harada, Kiyoshi (2010), "A Presença do Nikkei no Cenário Nacional" *in* (Vários autores) *Contribuições dos Imigrantes Japoneses e seus Descendentes nas Diversas Áreas de Conhecimento*, Capítulo IV, 223-236, São Paulo: Editora Paulo's.

Hasegawa, Sadao (1940), "A Origem da Geada e Precaução", *Natura*, 1, 1, 77-82.

Jones, Rev. George (1856), Observations of the Zodiacal Light from April 2, 1853 to April 22, 1855 *in* M. C. Perry's report *United States Japan Expedition 1853*, 3rd volume, Washington: Congress of the United States.

Marques dos Santos, Paulo (2005), *Instituto Astronômico e Geofísico da USP. Memória sobre sua Formação e Evolução*, São Paulo: Edusp.

Matsuura, Oscar T. e Motoyama, Shozo (1994), "Atividades astronômicas de imigrantes japoneses no interior do estado de São Paulo na década de 30", *Boletim da SAB*, 14, 1, 136.

Motoyama, Shozo (1995), "Brasil e Japão: Ocidente e oriente na cultura universal", *Ibero-americana*, 17, 2, 1-15.

Motoyama, Shozo (2004), Cap. 4, "1930-1964: Período Desenvolvimentista" *in* Shozo Motoyama (Org.), *Prelúdio para uma história. Ciência e Tecnologia no Brasil*, 263-264, São Paulo: Edusp, disponível em http://books.google.com.br/books?id=z_BNPYRNmyYC&pg=PA263&lpg=PA263&dq=Instituto+kurihara&source=bl&ots=WQ-wrRJYyi&sig=_VivF1qXN-AlNrPIzSgxNzw561E&hl=en&sa=X&ei=Mm-6PUuiBOdKLkAf7hoHoDw&ved=0CGgQ6AEwBw#v=onepage&q=Instituto%20kurihara&f=false, acesso em 30/11/13.

National Diet Library, *Japan* (2009), "A formação de núcleos de colonização japoneses. Colônia Aliança", Cap. 3, *100 anos de imigração japonesa no Brasil*, disponível em http://www.ndl.go.jp/brasil/pt/s3/s3_2.html#se4ariansa, acesso em 30/11/13.

Okubo, Fumihide (1940), "O Cruzeiro do Sul", *Natura*, 1, 1, 83-89.

Oliveira, Raquel dos Santos (2009), "A participação do Observatório Nacional na União Astronômica Internacional: instrumentos da diplomacia (1918-1938)", *XXV Simpósio Nacional de História*, ANPUH, 12-17 de julho de 2009, Fortaleza, CE, disponível em https://www.google.com.br/?gws_rd=cr&ei=tTqaUqPfOcfIkAf3uoCoBA#q=XXV+-Simp%C3%B3sio+Nacional+de+Hist%C3%B3ria%2C+ANPUH%2C+Fortaleza+raquel+oliveira, acesso em 30/11/13.

Sakai, Kiju (1981), *Notas Arqueológicas do Estado de São Paulo, Brasil*, traduzido do original japonês de 1910, Tóquio: Rokko Shipan-sha, São Paulo: Instituto Paulista de Arqueologia e Editora Nippon'Art.

Sala, Oscar (2010), *Depoimento 1977*, Rio de Janeiro: CPDOC/Fundação Getulio Vargas, 102 p., disponível em http://www.fgv.br/cpdoc/historal/arq/Entrevista522.pdf, acesso em 6/12/13.

Schmadel, Lutz D. (2012), *Dictionary of Minor Planet Names*, 6th Edition, Heidelberg: IAU/Springer. Disponível em http://books.google.com.br/books?id=aeAg1X7afOoC&pg=PA175&lpg=PA175&dq=issei+yamamoto+zodical+iau+commission&source=bl&ots=0s6zUkkhG2&sig=ofRribY-OtX9J9J7N_zQjUT94mI&hl=en&sa=X&ei=-JuPUqPmDJCekAfI1YD4Cw&ved=0CDUQ6AEwAg#v=onepage&q=issei%20yamamoto%20zodical%20iau%20commission&f=false, acesso em 30/11/13.

Sociedade Astronômica *Towa* (1932), publicação impressa de título desconhecido, Setembro, 323, Acervo do Museu Histórico da Imigração Japonesa no Brasil.

Stevenson III, William R. (2010), Chapter 7, The Polar Years and Japan *in* Roger D. Launius, James Rodger Fleming and David H. DeVorkin (Eds.), *Globalizing Polar Science, Reconsidering the International Polar and Geophysical Years*, Palgrave Studies in the History of Science and Technology, Palgrave Macmillan.

Suzuki, Natália Sayuri (2006), "Comunidade Yuba, um pequeno mundo de tempos e histórias", *Trabalho de conclusão de curso*, graduação em Comunicação Social, Departamento de Jornalismo, ECA/USP, Alice Mitika Koshiyama (Orientadora).

Tenkai (The Heavens), *Boletim da Sociedade Astronômica Towa* (1933), Nº 144.

Tenkai (The Heavens), *Boletim da Sociedade Astronômica Towa* (1935), Nº 175.

Tenkai (The Heavens), *Boletim da Sociedade Astronômica Towa* (1936), Nº 183.

Tenkai (The Heavens), *Boletim da Sociedade Astronômica Towa* (1959), Nº 407.

Yamamoto, Issei (1930), Comet may cause Meteoric Display (breve nota) *in Science News-Letter*, June 7 issue, disponível em https://www.sciencenews.org/article/june-7-1930-issue, acesso em 30/11/13.

Yamamoto, Issei (1940), "Eclipse Total do Sol de 1 de Outubro de 1940", *Natura*, 1, 1, 90-99.

Yazaki, Masakatsu (2002), *Comunidade Yuba*, disponível em http://yuba.com.br, acesso em 5/12/13.

Yoshioka, Reimei (1995), *Por que migramos do e para o Japão. Os exemplos dos bairros das Alianças e dos atuais dekasseguis*, São Paulo: Massao Ohno Editor.

Capítulo 16

QUESTÃO DO GÊNERO

A astronomia brasileira no feminino

Sueli M. M. Viegas (IAG/USP)*

A questão da baixa representação feminina nas chamadas ciências exatas é bastante conhecida e objeto de análises das causas e consequências. Neste Capítulo, após resumo histórico da luta pela igualdade de condições e direitos entre homens e mulheres, é apresentada a situação das mulheres em ciências, seguida daquela na astronomia brasileira retomando resultados apresentados em 1994 e 2004, alguns deles comparados com dados da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) de 2011. Considerando a situação nos países anglo-saxões, a porcentagem das mulheres brasileiras é alta, embora menor que a porcentagem natural de 50%. Entre as possíveis causas do baixo número de mulheres sobressai a influência, em todos os níveis, do estereótipo da mulher associado ao patriarcado. No aspecto de liderança, o panorama está bastante indefinido, pois o número de líderes é pequeno e o resultado depende do parâmetro usado para definir liderança. No fim são apresentados pontos relevantes para discussões futuras sobre o assunto e para aumentar a participação das mulheres na astronomia.

---

* Professora titular aposentada.

Introdução

Depois de "criada" a partir de uma costela masculina e ter uma alma concedida pelos doutos da Idade Média, a mulher ocidental percorreu uma longa trajetória para assegurar seu devido lugar na sociedade. Esse movimento pela equidade de direitos entre homens e mulheres ficou conhecido como feminismo. Por outro lado, a palavra machismo passou a designar atitude, procedimento ou opinião discriminatória que nega às mulheres as mesmas condições e direitos dos homens.

Nessa luta, as conquistas nas diferentes facetas que compõem a vida humana foram obtidas passo a passo, principalmente a partir do século 20. Uma pergunta que se impõe é se a dominância do homem como ser superior (patriarcado) sempre existiu, ou houve uma época em que a organização social foi predominantemente matriarcal.

Registros escritos a partir de 3 mil AEC correspondem a civilizações patriarcais, restando para o matriarcado o período neolítico, de 7 mil a 3 mil AEC, quando os humanos eram caçadores e coletores. Estudos arqueológicos e antropológicos desse período, com dados de sociedades contemporâneas com o mesmo tipo de organização (coletor-caçador) encontradas na África e no continente americano (indígenas), mostram que homens e mulheres executavam tarefas diferentes, mas viviam em igualdade social, com mesmos direitos e deveres (Hughes and Hughes, 2001).

Essa possibilidade, associada ao fato de deusas serem a base das religiões mais antigas, como Nut dos egípcios, Ishtar dos babilônios, Cybele dos romanos, e ao fato biológico de o nascimento estar associado à mulher, levou à ideia de uma origem feminina do mundo: a Grande Mãe, ligada aos símbolos da fertilidade e da reprodução (Campbell, 1988). Essa teoria, embora controversa, tem sido utilizada por estudiosos, em particular pelas feministas da segunda metade do século 20, como base para a existência do matriarcado no período anterior a 3 mil AEC (Sjöö e Mor, 1987: I, 1–33). Note-se que a palavra matriarcado nesse contexto não significa superioridade da mulher, mas sua importância como origem do mundo e responsável pela reprodução.

A causa da mudança para o patriarcado, como dominância masculina, seria a importância cada vez maior do papel das mulheres na preservação da família. Quando as tribos nômades estabeleceram acampamentos, as mulheres desenvolveram a agricultura e a domesticação de animais pequenos. A manutenção dessas fontes de alimentos permitiu a substituição da alimentação baseada na carne das caçadas, de responsabilidade masculina. Sem a importância inicial de prover a família, mas começando a entender a importância do seu papel na

reprodução e o direito aos filhos, os homens chegaram à noção de propriedade, inicialmente restrito à casa, aos animais domesticados e à colheita. Com espírito guerreiro mais desenvolvido, iniciaram as guerras. Estas geraram a submissão das mulheres, inicialmente a dos inimigos como espólio de batalhas, em seguida a das mulheres da própria tribo.

Um deus masculino substituiu a Grande Mãe (Sjöö and Mor, 1987: X, 229–263). Pelo ano 2500 AEC, tribos indo-europeias já dominavam as sociedades matriarcais e impunham um deus masculino dominante, como Zeus no politeísmo grego, ou Jeová no monoteísmo judaico-cristão. A primeira mulher seria Lilith, inicialmente uma personificação da Grande Mãe, transformada em um demônio nas sociedades patriarcais (Graves, 1966).

Um exemplo da existência dessa dualidade matriarcado–patriarcado pode ser encontrado no primeiro capítulo da Bíblia (1980): Gênesis, 1, 26-27 e 2, 21-22. A criação da mulher é descrita de duas maneiras bem diferentes. Na primeira, ocorre no mesmo instante que a do homem: "...$_{27}$ E criou Deus o homem à sua imagem: fê-lo à imagem de Deus, e criou-os macho e fêmea". Lilith criada como igual. Entretanto, na segunda versão, a mulher surge da costela de Adão: "...$_{22}$ E da costela que tinha tirado de Adão, formou o Senhor Deus uma mulher, que ele lhe apresentou". Eva, a esposa-costela e a segunda versão de mulher, submissa e ideal, tornou-se o estereótipo de mulher.

Embora existam na história ocidental mulheres que se distinguiram na sociedade patriarcal, foi a partir da revolução industrial que a luta pela igualdade se organizou e se desenvolveu. A luta das mulheres pelo direito de voto universal, iniciada no século 19, foi um marco para o reconhecimento delas como pessoa. No princípio, contando com algumas poucas mulheres, o movimento se estendeu principalmente pelos países da Europa e Estados Unidos, evoluiu e atingiu seu objetivo no século seguinte englobando outros países do continente americano.

Entretanto, a história de cada país difere tanto nos passos seguidos, quanto nas datas para chegar ao sufrágio universal para as mulheres. Em vários países foi concedido em etapas, começando pelo voto municipal, mais tarde estendido às demais instâncias. Na Europa ocidental, a metade dos países aprovou o direito ao sufrágio às mulheres de 1889 a 1920. Os dois últimos foram Portugal em 1968 e Espanha em 1976. Já na maioria dos países que constituíram a União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), o direito ao voto foi concedido entre 1917 e 1920, enquanto no continente americano, a conquista foi mais tardia, com exceção dos Estados Unidos, em 1919. As brasileiras tiveram esse direito aprovado em 1932.

Outros dois importantes movimentos sociais, entre meados do século 19 e início do século 20, foram pelo direito das mulheres à educação e pela melhoria nas condições de trabalho.

Durante a II Guerra Mundial, a necessidade de substituir os homens por mulheres nas fábricas acabou intensificando o movimento feminino por direitos iguais. Em 1949, Simone de Beauvoir publicou o ensaio *Le Deuxième Sexe* (de Bouvoir, 1949), analisando a condição das mulheres sob o ponto de vista do existencialismo, ou seja, aquele que considera que qualquer ser humano não tem um destino traçado, mas é dono de seu destino e dos valores que decide adotar. Sua posição está resumida na entrevista que deu à *Revue L'Arc* intitulada *Des Femmes en Lutte* (Cordier, 1974):

> *Il faut commencer par dire que nous sommes ici réunies pour discuter certains problèmes du féminisme qui nous intéressent particulièrement. C'est, d'une part, le fait qu'il y a une oppression des femmes qui est due au système patriarcal caractérisant notre civilisation; d'autre part, que notre situation qu'on peut appeler inférieure, en tout cas moins avantageuse, n'est pas due à une fatalité d'ordre biologique, psychanalytique, ou d'aucune autre espèce. Nous récusons l'idée d'une nature féminine donnée que nous condamnerait au rôle d'opprimées, et c'est bien parce qu'il n'y a pas de fatalité d'ordre biologique que nous pensons pouvoir mener une lutte contre la situation qui nous est faite, contre ceux que nous l'imposent.*

Esse é um ponto de partida importante, embora nem sempre aceito, para igualdade de direitos das mulheres em todos os níveis, em particular na escolha de carreiras profissionais em qualquer área, atuando no mesmo grau de importância que os colegas do sexo oposto. A "fatalidade biológica" continua a ser invocada, embora seja provável que o comportamento de qualquer ser humano seja determinado pela mistura de natureza biológica e cultural (Niño El-Hani, 1996).

Um fato importante na vida das mulheres, e mais um marco nessa luta das mulheres, foi o surgimento da pílula anticoncepcional em 1961. Pela primeira vez, a mulher pôde controlar sua fertilidade e decidir o melhor momento para conjugar carreira e filhos, um ponto determinante na intensificação da luta das mulheres por direitos iguais que se seguiu.

Ciência e gênero

De modo geral, as mulheres são minoria na área científica. Um levantamento da UNESCO (2012), considerando as pessoas com emprego nessa área, mos-

tra os seguintes valores médios para a porcentagem de mulheres: 45,2% para América Latina e Caribe, 34% para a Europa, 34,5% para África, 18% para a Ásia e 39,2% para a Oceania. Embora nem todos os países de uma dada região tenham sido incluídos na análise, e que surpreendentemente não haja dados para a América do Norte, o resultado exemplifica o problema da sub-representação das mulheres em ciência, mas também chama a atenção para a alta porcentagem na América Latina.

O relatório *Why So Few Women* (Hill, Corbett and St. Rose, 2010) apresenta evidências de que diferentes fatores contribuem para o baixo número de mulheres norte-americanas em ciências, tecnologia, engenharia e matemática. O resumo apresentado é o seguinte:

> *Multiple factors contribute to the underrepresentation of women and girls in STEM (STEM: Science, Technology, Engineering and Math) and, therefore, multiple solutions are needed to correct the imbalance. The remainder of this report profiles eight research findings, each of which offers practical ideas for helping girls and women reach their potential in science, technology, engineering, and mathematics. Selected for their relevance to public debate and their scientific credibility, these case studies provide important insights into the question of why so few women study and work in many STEM fields.*

Os resultados obtidos foram colocados em três categorias: fatores sociais e ambientais, em particular a situação na universidade, e, finalmente, a influência, mesmo inconsciente, de estereótipos. Fatores sociais, ambientais, psicológicos estão intimamente relacionados à manutenção do estereótipo de que as mulheres não têm talento para o trabalho científico. Cumpre notar que muitos dos resultados apresentados no artigo acima citado se referem à área de matemática. Baseando-se nesses resultados, as autoras apresentam recomendações para mudar a situação. Mesmo levando em conta as diferenças culturais, as sugestões podem ser estendidas aos demais países.

A disparidade entre o número de homens e o de mulheres cientistas depende muito da área escolhida. Por exemplo, em biologia é bem menor que em física. Há um estudo por pesquisadoras da *Rice University*, EUA (Ecklund, Lincoln and Tansey, 2012), importante para tentar encontrar a causa da diferença. Foram incluídos na pesquisa 2.500 biólogos e físicos das principais universidades americanas, dos quais 150 foram individualmente entrevistados sobre as razões da diferença nessas áreas. Como resumido por Ecklund (Hodges, 2012): *Whereas women often explained sex differences between the disciplines using reasons of emotional affinity, men stressed neurological differences as being responsible for personal choices.*

O caso da escassez de mulheres em ciências no Brasil não é diferente, em particular nas áreas de exatas e engenharia. Uma análise do problema na Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) incluindo estudantes e docentes aponta para "a inexistência de diferenças reais por sexo na capacidade de aprendizado e na dedicação dos alunos nas carreiras consideradas "masculinas", que incluem as ciências exatas e tecnológicas ou engenharias" (Vasconcellos e Brisolla, 2009). A conclusão, semelhante à encontrada por Hill *et al.* (2010), é:

> as alunas têm apresentado melhores coeficientes de rendimento que seus colegas nos mesmos cursos. Por esse motivo, o pouco interesse das vestibulandas por cursos dessa natureza só é explicável por hábitos culturais e preconceitos que se enraizaram na forma diferenciada com que se criam as meninas e os meninos (Vasconcellos e Brisolla, 2009).

No Brasil, foi feita uma comparação sobre o desempenho masculino e feminino nos campos de astronomia, imunologia e oceanografia, usando dados do *Science Citation Index*, entre 1997 e 2001 (Leta and Lewison, 2003). A análise, em cada área, foi baseada nos pesquisadores com doutorado antes de 2001, selecionados a partir de dados do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Considerou-se como medida de produtividade o número total e a qualidade dos trabalhos publicados, usando dados do *Institute for Science Information*. A porcentagem de mulheres incluídas no estudo foi de 32%, 42% e 62%, respectivamente em astronomia, oceanografia e imunologia, onde também aparece a diferença entre fração de mulheres em ciências exatas e biológicas. Em oceanografia a porcentagem é intermediária concordando com o fato de ter subáreas mais voltadas às exatas e outras às biológicas.

Praticamente não foi encontrada diferença significante no desempenho de homens e mulheres, atribuída em grande parte à frequência de colaborações internacionais. No entanto, uma comparação entre a distribuição das idades dos cientistas dos dois gêneros considerados na análise, mostra picos em idades diferentes e que revelam tendências diferentes nas áreas consideradas no artigo (Tabela 1). Na astronomia o pico de desempenho das mulheres está entre 35 e 39 anos, enquanto para os homens fica entre 50 e 54 anos. Tal resultado poderia indicar tanto uma maioria de jovens pesquisadoras, como que as mulheres se aposentam mais cedo. Seria interessante refazer esse estudo daqui alguns anos, abrangendo um período maior, para analisar se houve ou não mudanças, não apenas na astronomia como nas outras áreas, e as causas das possíveis diferenças.

gênero	Astronomia		Oceanografia		Imunologia	
	largura	pico	largura	pico	largura	pico
feminino	35 – 49	35 – 39	35 – 49	40 – 44	35 – 44	40 – 44
masculino	40 – 54	50 – 54	35 – 49	40 – 44	30 – 44	30 – 34

Tabela 1. Distribuição da idade de pesquisadoras em astronomia, oceanografia e imunologia (Leta and Lewison, 2003)

Com relação às diferenças entre as áreas, dados estatísticos do CNPq sobre bolsas no país e no exterior mostram os resultados nas áreas de biologia e saúde de um lado, e do outro, física/astronomia e engenharia/computação (Tabela 2). O predomínio das mulheres nas biológicas é claro, superando 50%, enquanto nas exatas há uma escassez, reproduzindo a mesma tendência observada nos Estados Unidos.

Área	2001	2006	2010
Biologia	58%	69%	61%
Saúde	63%	66%	68%
Física e Astronomia	34%	36%	36%
Engenharia e Computação	28%	30%	34%

Tabela 2. Porcentagem por área das bolsas do CNPq concedidas às mulheres

Deve-se lembrar que os dados dessa Tabela representam o total de bolsas concedidas pelo CNPq, sem distinção de categoria. Entretanto, para se discutir a existência ou não de discriminação, em particular nos níveis mais altos, como das **bolsas de produtividade**, seria necessário ter em mãos não apenas as bolsas concedidas, como também a demanda por gênero, não disponível atualmente no *site* do CNPq.

Na astronomia, dados comparativos entre países (Cesarsky and Walker, 2010) são reproduzidos abaixo, incluindo países europeus e americanos nos quais o total de membros na União Astronômica Internacional (IAU) é maior que 40 (Figura 1). A Argentina apresenta a maior porcentagem, 37% de mulheres astrônomas, e o Brasil, com 23%, aparece entre os 5 países com valor maior que 20%. Chamam a atenção os baixos valores encontrados nos países anglo-saxões, cujo número total de astrônomos é bastante alto.

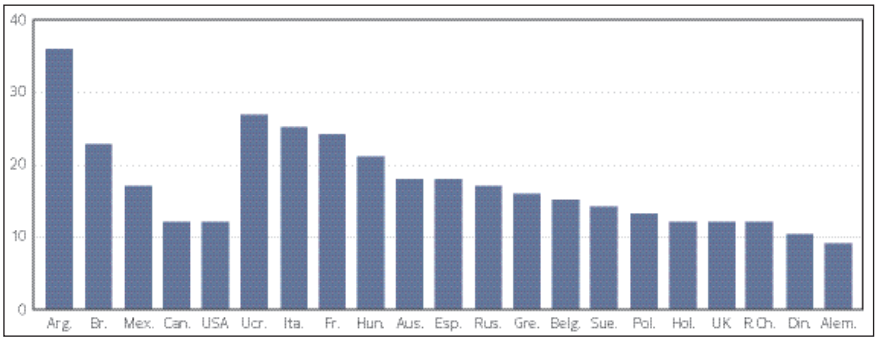


Figura 1. Porcentagem de mulheres nos países ocidentais com mais de 40 membros na IAU

Finalmente, devem ser lembradas as mulheres que exercem a profissão em indústrias e companhias. Nesse ambiente corporativo, a proporção de mulheres é ainda menor que nas universidades e institutos de pesquisa. Na área de química, por exemplo, onde o número de profissionais na indústria é alto, a Central Única do Trabalhador (CUT), publicou o resultado de uma pesquisa da Confederação Nacional do Ramo Químico (CNQ) intitulada "Perfil e Condições de Trabalho das Mulheres no Ramo Químico" (Novais e Fumagali, 2010). Foram entrevistadas 747 mulheres de 91 empresas do ramo. Segundo os dados, houve aumento no número de trabalhadoras. No entanto, elas não conquistaram o reconhecimento e sofrem tratamento desigual. Em particular, empresários preferem contratar homens, uma vez que a maternidade acarreta mais licenças e faltas, ou compensar pagando salário menor para as mulheres.

Desse ponto de vista, as mulheres brasileiras empregadas nas universidades parecem estar com vantagem, pois nas universidades públicas o salário é fixado pelo nível na carreira, o que não acontece em outros países.

Astronomia no Brasil até 1974

O resultado apresentado para astronomia brasileira (Figura 1) parece encorajador, embora ainda esteja longe da porcentagem natural de 50%. É verdade que comparando com países da Europa e a Argentina, a astronomia brasileira pode ser considerada jovem.

Sem esquecer os esforços iniciais desde a criação do Observatório Nacional (ON) em 1827, foi no início da década de 1970 que a astronomia brasileira começou a expandir com a formação de núcleos de pesquisa nas uni-

versidades, a criação dos primeiros cursos de pós-graduação (ver o Capítulo "Pós-graduação em astronomia" neste Volume), além do esforço para desenvolver a parte observacional com a instalação do radiotelescópio do Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica da Universidade Mackenzie (CRAAM) em Itapetinga (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume), do telescópio **óptico** Perkins–Elmer (P&E) de 1,60 m do Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA) em Brazópolis (ver o Capítulo "O observatório de montanha" neste Volume), do **círculo meridiano**, do **astrolábio** e do telescópio Boller & Chivens (B&C) de 60 cm no Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos, posteriormente transferido para o LNA. Um marco na astronomia, dividindo-a em dois períodos, foi a fundação da Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) em 1974 (ver o Capítulo "Organização da comunidade astronômica" neste Volume).

No primeiro período, quando foram construídas as bases para o desenvolvimento da astronomia no Brasil, a pioneira foi Yedda Veiga Ferraz Pereira (Figura 2) que pode ser considerada a primeira astrônoma brasileira e uma das primeiras mulheres em engenharia. Nascida no Rio de Janeiro, formou-se em engenharia civil e elétrica em 1948 pela então Escola Nacional de Engenharia (ENE), hoje Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Em 1944, entrou como calculadora no ON a convite do astrônomo-chefe Domingos Costa. Após sua formatura em 1948, passou a ocupar interinamente o cargo de astrônoma, tendo sido efetivada por concurso em 1955. Durante seus anos de trabalho, dedicou-se à confecção do "Anuário Astronômico" e à observação da **passagem meridiana** de estrelas para a determinação da hora (ver o Capítulo "Difusão da Hora Legal" no Volume I), colaborando com o *Bureau Internationale de l'Heure* nos estudos da rotação da Terra (Mourão, 2008). Levada a uma situação que passou a ser comum para muitas mulheres, pediu demissão do cargo em 1962 para se dedicar aos cuidados dos sete filhos, da casa e, mais tarde, do pai. Segundo um dos seus filhos, até hoje ela acompanha e vibra com os avanços da astronomia.

Figura 2. A astrônoma Yedda Veiga Ferraz Pereira observando no ON

Em meados de 1962, iniciou-se no Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) uma preparação para instalação de um **astrolábio**, comandada pelo astrônomo A. Postoiev[1]. Para atrair estudantes, foram concedidas bolsas de estudos a estudantes de física e engenharia. A

[1] Sobre Alexander Postoiev ver o Capítulo "Chegada da astronomia oficial a São Paulo", no Volume I.

única bolsista mulher foi a autora deste artigo, estudante de física que trabalhou com Postoiev até o fim de 1964. Também foi a única dos bolsistas que continuou em astronomia (Marques dos Santos, 2005). Após sua graduação em física, completou o mestrado em Teoria de Campos em 1968, sob a orientação de J. A. Swieca, com uma bolsa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Esse foi o primeiro mestrado em Física Teórica do recém-criado programa de pós-graduação em física da USP. Em seguida viajou à França e iniciou doutorado em **astrofísica** na Universidade de Paris, também financiado pela FAPESP, sob a orientação de E. Schatzman. Ao concluí-lo em 1973, voltou ao Brasil e foi contratada pelo IAG no recém–criado Departamento de Astronomia onde organizou a área de pesquisa em astronomia **extragaláctica**, orientando estudantes e lecionando a disciplina de mesmo nome. Em 1973, havia 12 professores nesse Departamento, sendo ela a única mulher dos quatro doutores. Em 1990, foi a primeira colocada no concurso para professor titular do Departamento de Astronomia; em 2005, foi agraciada com o título de pesquisador emérito do CNPq.

Em 16 abril de 1974, foi fundada a SAB com a presença de 43 homens e 5 mulheres. Dessas, a única docente era Sueli M. Viegas-Aldrovandi, do IAG, sendo as outras quatro alunas de pós-graduação: Massae Sato, do IAG, Liliana Piazza, Maria Alcina Braz e Maria Helena Paes de Barros do CRAAM. Maria Helena não seguiu a carreira, Maria Alcina teve morte precoce quando era docente do IAG/USP, Liliana prosseguiu sua carreira e aposentou-se como pesquisadora do CRAAM, assim como Massae Sato no IAG/USP. Além dessas astrônomas, até o fim daquele ano mais duas ficaram sócias da SAB: Regina Maria Borges, estudante de pós-graduação no CRAAM, e a astrônoma argentina, Zulema Abraham, doutorada pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), contratada em 1971 pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para compor o Departamento de Astronomia em formação, posteriormente pesquisadora no CRAAM e, mais tarde, do IAG/USP.

Após a fundação da SAB

A astronomia brasileira se desenvolveu rapidamente nos 20 anos seguintes e pode-se dizer que chegou à "vida adulta". Note-se que os dados recentes da IAU referentes à participação feminina colocaram o Brasil entre os países com mais de 20% de mulheres na astronomia (Figura 1). No entanto, como será visto a seguir, uma volta ao passado mostra que praticamente não houve crescimento significativo da fração feminina entre 1991 e 2010. Os dados

também mostraram a necessidade de aprofundar a análise da situação das mulheres levando em conta artigos publicados em revistas com arbitragem, a questão de liderança, a causa das diferenças entre os países latinos e anglo-saxões, ou seja, a necessidade de analisar as causas culturais e antropológicas da sub-representação das mulheres na astronomia, assim como encontrar soluções para diminuir a desigualdade. Tais preocupações podem ser entendidas usando avaliações anteriores a 2010. Note-se que estudos anteriores usaram outros indicadores para a participação das mulheres na astronomia brasileira, uma vez que a condição usada no artigo de Cesarsky e Walker (2010), considerando apenas os países com mais de 40 membros na IAU, restringe bastante o período de análise no caso do Brasil. Espera-se que, no futuro, o crescimento do número de astrônomos permitirá uma análise comparativa mais homogênea, com dados de diferentes períodos, levando a um conhecimento mais preciso da evolução da situação feminina.

No ano de comemoração dos 20 anos da SAB, um levantamento da participação das mulheres na astronomia brasileira foi apresentado, usando dados que refletiam a situação na área da pesquisa e de formação de pessoal (Viegas, 1994). Um primeiro resultado, baseado na apresentação de trabalhos nas reuniões anuais da SAB em três períodos consecutivos: 1997-1980, 1981-1985, 1986-1990 mostra uma tendência crescente do número de mulheres participando desses trabalhos. De fato, as porcentagens de trabalhos com mulheres como primeiro autor nesses três períodos são: 8%, 18%, 28%, respectivamente; e como um dos autores: 18%, 40% e 48%.

Uma avaliação da participação das mulheres naquela época, quanto à titulação e nível empregatício, foi apresentada com os dados de 1991 (Viegas, 1994) a partir do número total de pesquisadores e o de mulheres de cada um dos três maiores departamentos de astronomia (IAG, ON e UFRGS). Aqui esses dados foram somados e usados para fornecer as porcentagens que constam na Tabela 3. Vê-se que a porcentagem de docentes atinge 23,6%, muito próximo do valor de 23,4% considerando os sócios efetivos da SAB em 1991. Por outro lado, os dados da IAU fornecidos por Cesarsky e Walker (2009) mostram que em 2009 a porcentagem de mulheres brasileiras na IAU era 22,7%, muito próximo do valor considerando as docentes em 1991. Portanto, embora no panorama mundial o Brasil tenha uma porcentagem relativamente alta, não houve aumento significativo da participação feminina entre 1991 e 2009.

Dados até 1991	%
Docentes	23,6
Doc. Doutores	19,0
Doutoramentos	21,6
Mestrados	31,2
SAB aspirantes	26,2
SAB efetivos	23,4

Tabela 3. Mulheres nos departamentos de astronomia do IAG, ON e UFRGS (Viegas,1994)

Um excelente trabalho, preparado para a *2nd. IUPAP International Conference of Women in Physics* em 2005, foi posteriormente publicado (Silva, 2007). Sua autora, utilizando dados da SAB até 2004, analisou a participação das mulheres nos quesitos: titulação, emprego, carreira, evasão e suas possíveis causas, além de apresentar alguns resultados na área de física. Na astronomia, de 1994 a 2004, a porcentagem de mulheres docentes ficou na ordem de 20% e a de estudantes de pós-graduação, de 37%, enquanto houve um aumento na categoria de pós-doutoras, passando de cerca de 10% a 30%. Vale a pena notar que a porcentagem relativa de mulheres pós-doutoras, que tinha triplicado nos dez primeiros anos da análise (Silva, 2007), continuou aumentado em relação aos homens, provavelmente alimentada pela alta fração de mulheres na pós-graduação.

Um outro ponto importante diz respeito à situação empregatícia das astrônomas. Silva (2007) mostra que em 1994 a porcentagem de mulheres com emprego fixo era de 92% e caiu para 53% em 2004, uma queda bem maior que a dos homens que passou de 90% a 65%. Por um lado, a aposentadoria de mulheres mais cedo que a dos homens poderia contribuir para a diferença. Entretanto, uma causa mais provável foi o aparecimento da categoria de pós-doutor, que adia a obtenção de uma posição permanente, fenômeno observado em muitos países. Entretanto, a diminuição menor para os homens pode estar relacionada à evasão das pós-doutoras devido à dificuldade de integrar trabalho, família e filhos, ou mesmo uma desvantagem velada no julgamento do currículo, conhecido como viés de gênero comentado abaixo.

Já com dados da SAB de 2011[2], a situação não parece muito promissora. A fração de pós-doutoras sofreu novo aumento atingindo cerca de 36%, mas a de docentes/pesquisadoras continua em torno de 24%, mesmo com pressão para um aumento de empregos fixos. Por outro lado, um surpreendente decréscimo ocorreu na porcentagem de estudantes de pós-graduação que diminuiu para 27%, uma tendência preocupante se continuar a ocorrer, pois poderia ocasionar futura estagnação ou manutenção da porcentagem de pós-doutoras com provável reflexo no nível de docentes/pesquisadoras.

Portanto, da comparação dos dados sobre as mulheres com emprego fixo, que teve apenas um pequeno aumento desde 1991, e do decréscimo recente de estudantes de pós-graduação na área, a situação não parece muito animadora. Na verdade, esses resultados mostram indícios de que o problema de evasão de mulheres da carreira de astrônoma tende a se agravar.

Um estudo detalhado por instituição brasileira onde se desenvolve astronomia não seria razoável, uma vez que trataria de estatística de pequenos números, mas vale a pena ter uma ideia da porcentagem do número de mulheres entre os institutos com dez ou mais astrônomos (Figura 3). Em 2011, as instituições com maior número de astrônomos eram o IAG/USP, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e ON, respectivamente com 39, 29 e 24 docentes/pesquisadores, e as com menor número eram a UFRGS, LNA, UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) com 13, 11 e 10.

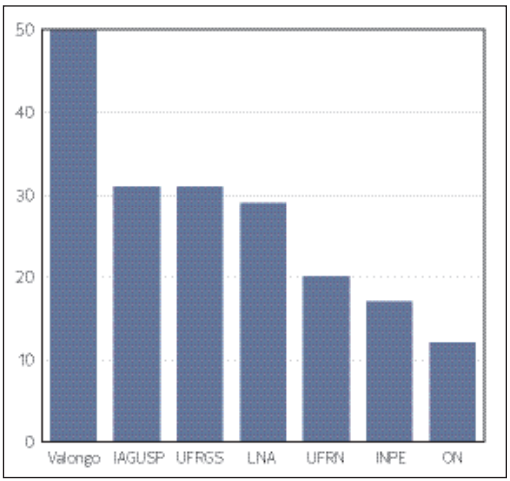


Figura 3. Porcentagem de mulheres nas instituições brasileiras com dez ou mais docentes/pesquisadores (dados da SAB de 2011)

[2] Astrônomos brasileiros empregados no exterior não foram incluídos nos cálculos.

Vê-se que quatro dessas instituições apresentam um valor acima da média nacional de 24%, e o Observatório do Valongo (OV) da UFRJ, com um total de 16 docentes/pesquisadores, atinge a fração natural de 50%. Por outro lado, o ON apresenta a mais baixa fração, 12%, mas mostra um aumento se comparado com os 5% de 1991 (Viegas, 1994). É surpreendente que a instituição que contratou a primeira astrônoma brasileira não tenha conseguido atrair mais mulheres.

Com a astronomia brasileira já estabelecida na fase adulta, duas perguntas, comuns aos diferentes ramos das ciências, se impõem: quais as possíveis causas da evasão e da estagnação da participação feminina e como está a situação no tópico liderança.

Ser mulher e astrônoma

O editorial da revista *Nature Immunology* (2009) sobre Ciência e Gênero resume de forma clara o problema encontrado pelas mulheres em carreiras científicas e a possível solução:

> *The problems faced by women in science, including self-imposed doubts, are complex and deeply rooted in the structure of our society. A report by the European Commission (Gender and Education, July 2009) points out that gender is a socially and educationally constructed identity. Parents, peers and teachers contribute to creating gender stereotypes in which women are seen as caregivers and men are seen as authority figures. Achieving gender equality requires that these norms be challenged.*

Como apresentado na introdução, esse estereótipo, comum a todos os povos, tem alguns milhares de anos e contrapõe o mito "do eterno feminino" ao do "super-homem" (Seabra e Muzkat, 1985). De um lado está a dócil e virginal mãe, filha, esposa e, do outro, o homem provedor, protetor e autoritário. Simone de Beauvoir (1949) discute esse "modelo de mulher" que a prende numa armadilha da qual é impossível se desvencilhar. À mulher é negada a individualidade, porque engloba todas as mulheres de diferentes tipos, o que torna impossível pensar em ser diferente. Tal estereótipo tão arraigado na população teve consequências que podem ser consideradas devastadoras para as mulheres, em particular para todas as que tentaram se afastar do "modelo" e seguir o próprio caminho.

Convidada a fazer um discurso sobre sua profissão em 1931, a escritora Virginia Woolf (1882–1941), após nomear a mulher do ideário masculino vitoriano como "o Anjo da Casa", que ela destruiu através de seus escritos, ela se

pergunta o que é uma mulher? Sua resposta é que ninguém sabe, até que ela se expresse em todas as artes e profissões humanas (Woolf, 1931).

A reação aos preconceitos que definem a mulher se propagou rapidamente no século 20, com as mulheres percebendo e discutindo as suas bases e origens. Apesar do avanço na definição de sua identidade, elas ainda sentem o peso do preconceito e da falsa alternativa "ser esposa e mãe ou ter uma carreira". Parece residir aí o nó da questão do baixo número de mulheres em áreas dominadas pelos homens, como a de ciências exatas, assim como no problema da evasão. Esse nó estrangula a escolha da carreira, de um lado, e a opção de constituir ou não uma família, de outro.

Questões culturais e sociais influem na atitude da família, em particular, na dos pais e amigos e, portanto, na escolha da carreira na adolescência. Mesmo atualmente, o espectro do estereótipo feminino e o de carreira masculina está presente no dia a dia, consciente ou inconscientemente. Interessante notar a influência da formação dos pais na escolha da carreira dos filhos (Vasconcellos e Brisolla, 2009). Para uma escolha de carreira em ciências exatas, ter ambos os pais com nível superior é mais importante para as moças que para os rapazes, sendo a influência da mãe universitária maior para as filhas. A explicação de tal efeito talvez seja o de ser mais fácil seguir um caminho já trilhado, isto é, ter à disposição um modelo próximo de alguém que cursou uma universidade. Esse ponto é muito discutido pelos norte-americanos que apontam como uma causa importante da baixa representação feminina em ciências a falta de *role models*.

No Brasil, analisado sob o nome de "isolamento", esse problema engloba as possibilidades de ser a única na sala de aula, no grupo de pesquisa ou em conferências. A partir de dados da Plataforma Lattes de 1994 de orientandos de 17 orientadoras, Silva (2007) encontra que os resultados dependem do nível de orientação. A fração de mulheres entre os alunos de iniciação científica foi de 41%, e de 29% dos que defenderam o mestrado até 2004. Já no que se refere aos doutorados orientados pelas professoras, 42% foram de alunas, embora a porcentagem de mulheres no total de doutorados seja 27%. Isso mostra uma tendência de alunas procurarem uma orientadora. Um outro dado interessante é que a porcentagem de estudantes mulheres que escolheram orientadoras passou de 14% no mestrado para 25% no doutorado. A razão se deve à mudança na escolha de um orientador no mestrado para uma orientadora no doutorado.

Os dois resultados podem ser um indicativo de que a existência de orientadoras atrai mais alunas, talvez pela mesma razão do caminho já trilhado, neste caso, alguém que já trabalha na área escolhida. Além disso, a presença de orientadoras é um elemento positivo para contrabalançar a influência, mesmo subconsciente, do estereótipo feminino que ainda acompanha muitas mulhe-

res. Assim, um maior número de docentes/pesquisadoras deveria incentivar um aumento de estudantes e, posteriormente, de contratadas.

Essa seria a solução ideal para se atingir a fração natural de 50% de mulheres na astronomia brasileira, mas há o outro lado do nó que vai agir não apenas nas estudantes, mas durante toda a carreira de uma mulher: o binômio família–carreira que também contribui para a evasão. Aqui o termo família realmente inclui a família de origem, como também companheiro e filhos. A família de origem frequentemente reforça o estereótipo de mulher, enquanto companheiro e filhos ajudam a criar a situação de dupla jornada de trabalho (França e Schimanski, 2009). Conciliar família e carreira é talvez o maior desafio enfrentado pelas mulheres em geral. De um lado, a mulher é responsável pela casa e pelo bem-estar da família, pois na maioria dos lares não há divisão equitativa das tarefas entre o casal. De outro lado, é pressionada pelo desempenho no trabalho, seja como docente/pesquisadora ou como estudante de pós–graduação. Essa jornada dupla de trabalho é bem conhecida das mulheres e dificilmente elas conseguem ser eficientes em tudo ao mesmo tempo.

Uma saída possível seria permanecer solteira que, segundo Silva (2007), foi a escolha de 21% das astrônomas brasileiras. Nota-se que daquelas que fizeram a opção oposta, uma maioria (75%) escolheu como companheiro um cientista, seja pela convivência ou porque se espera que entenda melhor o problema enfrentado pela mulher. Entretanto, essa saída leva a um outro problema: o de encontrar emprego para os dois num mesmo local. Essa dificuldade pode explicar a evasão, caso as mulheres estejam mais dispostas a abandonar a profissão.

A vinda de filhos é um fator a mais numa equação difícil de resolver e apresentada muito bem por Silva (2007), mostrando que entre as sócias da SAB com vínculo empregatício e mais de 40 anos, 32% não tiveram filhos, porcentagem que sobe a 40% se consideradas as 10 com **bolsas de produtividade** do CNPq. Esses dois dados são muito diferentes do encontrado na população brasileira no qual a porcentagem de mulheres sem filhos está entre 10% e 11%.

Do ponto de vista biológico, a melhor idade para ter filhos é entre 20 e 30 anos. Esse período coincide com a pós-graduação e o início da carreira profissional. É quando o futuro na carreira está sendo decidido, o que faz com que grande número de mulheres decida postergar ou recusar a gravidez. Essa é uma decisão difícil, mesmo com a política atual das agências de fomento de concessão de licença-maternidade às bolsistas, porque outros problemas virão com relação a viagens para observação ou participação em congressos, estadas

prolongadas no exterior para pós-doutoramento ou para trabalhos em colaborações. Deve também ser lembrado que, postergada ou não, uma gravidez tende a influenciar no desempenho do trabalho, prejudicando a comparação com homens de mesma idade.

Algumas dessas dificuldades podem ser atenuadas com um companheiro compreensivo, uma avó disponível, creche no trabalho. Entretanto, é difícil evitar o sentimento de culpa e a dúvida se fez ou não a boa escolha. Tensão e ansiedade podem levar a desistir da carreira. Uma frase afixada na década de 1980 no banheiro feminino do Departamento de Física da *Ohio State University*, pode ser animadora: *For a woman to be considered as good as a man she has to work ten times harder; fortunately, it is easy*.

Uma outra possível causa da evasão de mulheres nas carreiras científicas é o viés de gênero favorecendo os homens. Para estudar esse problema, Moss-Racusin *et al.* (2012) procuraram comparar a reação média a duas pessoas idênticas em inteligência, competência, estilo de vida, projetos, mas com a diferença uma é uma mulher e outra, um homem. Criaram então um currículo fictício para um estudante se inscrevendo para um emprego num laboratório. Enviaram, com um nome masculino ou feminino ao acaso, a professores das universidades americanas com pesquisa nas várias áreas de ciências físicas e biológicas. Os professores deveriam avaliar a competência do indivíduo, a possibilidade de ser contratado no laboratório e a de ser aceito como aluno na pós-graduação, além de um valor do salário anual. Os percentuais médios comparando resultados para rapazes e moças, conforme julgado por uma professora ou um professor mostra um resultado preocupante (Figura 4).

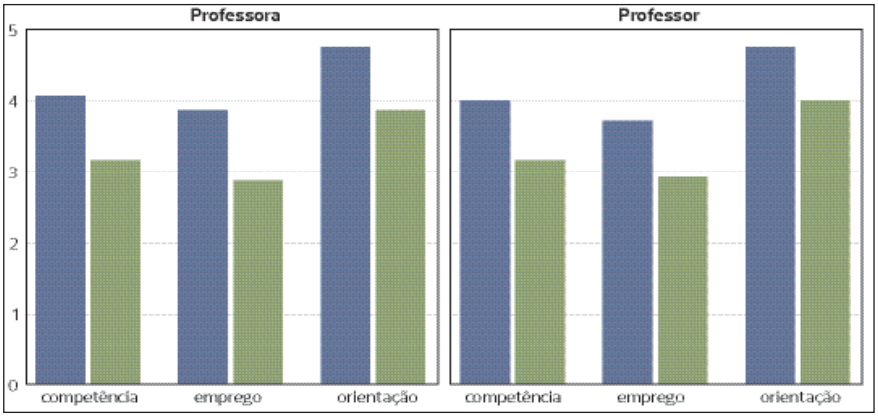


Figura 4. Resultados do estudo comparando as respostas médias dadas por professores dos dois gêneros (mulheres à esquerda, homens à direita) para um pedido de uma moça (verde) e de um rapaz (azul). (Moss-Racusin *et al.*, 2012)

Vê-se que os candidatos homens foram melhor avaliados nos três itens indicando que mesmo as professoras consideram que uma mulher com o mesmo currículo é menos competente, com menor possibilidade de ser contratada e de ser orientada numa pós-graduação. A oferta salarial vai na mesma direção: com valores médios anuais de cerca de US$ 26,500.00 para as candidatas e de US$ 30,000.00 para os candidatos. Portanto, cientistas americanos homens e mulheres mostram um viés e deveriam rever seus preconceitos, provavelmente inconscientes, derivados de estereótipos culturais.

No Brasil, resta saber se esse tipo de viés existe ou não, ou se é apenas mais sutil. Muitas vezes ele pode vir acompanhado de uma explicação palpável e passar despercebido. Se existe, é importante que seja conhecido para que seja evitado.

Em 2005, uma análise detalhada das **bolsas de produtividade** concedidas pelo CNPq na área de física (Barbosa e Arenzon, 2005) utilizou dados do Currículo Lattes de 607 bolsistas dos quais 60 eram mulheres. Os níveis da bolsa vão do mais baixo 2 ao mais alto 1, este subdividido em 4 subníveis de 1D ao mais alto 1A. Na questão gênero, foram utilizados como parâmetros o número de artigos publicados por ano e o total de artigos publicados, pois dependendo da área de trabalho pode haver acúmulo de trabalhos publicados em um dado ano. Caso comum, por exemplo, para físicos trabalhando em grandes laboratórios. Os resultados apontam para um acúmulo de mulheres em dois níveis: no inicial 2, que pode indicar uma barreira na entrada do sistema ou na passagem para 1D, e no nível 1B. Em astronomia, o número de bolsistas mulheres é muito baixo para permitir uma análise realista (Silva, 2007).

Para que se considere esses primeiros resultados como um viés prejudicando as cientistas brasileiras, é necessário aprofundar a pesquisa seguindo a evolução dos números no tempo, incluir os dados referentes ao número de pedidos de bolsa e não apenas as concedidas, e o possível efeito da idade em cada nível que pode ser diferente para mulheres e homens, devido principalmente à dupla jornada de trabalho.

Um viés desse tipo pode desencorajar as mulheres principalmente em início de carreira, contribuir para a evasão e para a baixa representação de mulheres em astronomia e outras ciências, além de aumentar o desperdício de pesquisadoras competentes.

Uma análise mais detalhada merece ser feita à medida que o número total de astrônomos cresce. Um número de indivíduos maior permitirá precisar melhor a causa da evasão da carreira que, segundo dados apresentados na seção anterior, parece atingir pós-graduandas e pós-doutoras.

O feminino de líder

Desde que a luta das mulheres pela igualdade se intensificou no século passado, nota-se a falta de mulheres em posição de liderança, seja nas carreiras de pesquisa, seja na indústria e nas corporações.

A diferença em cada nível da carreira entre a porcentagem de homens e mulheres pode ser atribuída às razões apresentadas acima, ou seja, à evasão, ao viés de gênero ou à idade média. Esse é um problema comum entre as astrônomas e físicas mesmo na Argentina, que apresenta as porcentagens de mulheres mais altas entre os países ocidentais e com uma astronomia que se desenvolveu bem antes que a brasileira. Entrevistada pelo jornal *La Nación* em 2003, a astrônoma Virpi Niemela, de origem finlandesa e doutorada em 1974, define seu país de origem como matriarcal. Ela atribui a isso o fato de sua família não ter estranhado ao escolher cursar astronomia e, quando perguntada se sofreu discriminação na sua carreira, responde que a discriminação não vem dos cientistas, mas do sistema patriarcal que está acostumado com chefes homens[3].

No Brasil, uma visão mais otimista do ponto de vista das mulheres é oferecida pela estatística do CNPq sobre os líderes de grupos de pesquisa desde 1995 até 2010, onde foram somadas todas as áreas de pesquisa (Figura 5). Vê-se que a porcentagem de líderes femininas começa com 34%, atinge 45% em 2008 e mantém o mesmo valor em 2010. Infelizmente o CNPq não disponibilizou dados por áreas, o que certamente mostraria mais uma vez a diferença entre ciências exatas, biológicas e humanas.

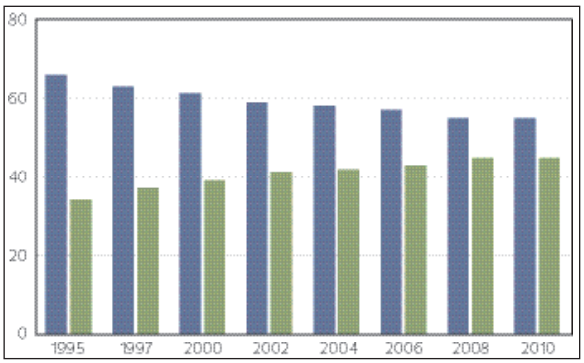


Figura 5. Porcentagem de líderes de grupos de pesquisa do CNPq; mulheres (verde) e homens (azul)

[3] http://www.lanacion.com.ar/502470-astronomas-argentinas-en-el-primer-puesto, acesso em 29/5/12.

Voltando à astronomia, a situação não está bem definida e depende dos dados escolhidos para medir liderança.

A diretoria da SAB é composta de 5 membros. Desde a fundação dessa sociedade em 1974 até 2012, 21 diretorias foram eleitas. Dessas, apenas três tiveram uma mulher como presidente: Zulema Abraham (1986-1988), Beatriz Barbuy (1992-1994) e Adriana B. M. Válio (2012-2014). Até o momento, o máximo de mulheres participando de uma diretoria é três, enquanto oito diretorias foram completamente masculinas, entre elas as sete primeiras. Nessa mesma linha, poucas mulheres exerceram chefias de departamentos e diretorias de institutos nos últimos 40 anos. Uma das causas pode ser a necessidade de titulação, um obstáculo para as mulheres tanto por estacionarem no nível de doutor, como por levarem mais tempo que os homens para galgar os níveis.

A partir da década de 1980, outras mulheres se destacam do ponto de vista de liderança em pesquisa no panorama da astronomia brasileira e internacional: Miriani G. Pastoriza, astrônoma argentina radicada no Brasil desde 1978, impulsionou o grupo de astronomia da UFRGS, é reconhecida internacionalmente por seus trabalhos sobre formação estelar recente na região nuclear de **galáxias espirais**; Beatriz Barbuy, com mestrado no IAG seguido de doutorado na França, e carreira no IAG onde é professora titular, foi vice-presidente da IAU, tendo reconhecimento e prêmios internacionais; Daniela Lazzaro, pesquisadora do ON, conhecida por seus trabalhos em ciências planetárias, atualmente membro do *IAU Working Group on Women in Astronomy*; Thaysa Storchi-Bergmann, professora associada do Departamento de Astronomia da UFRGS, cujos trabalhos sobre **buracos negros** supermassivos a colocam entre os especialistas no assunto. Das 14 **bolsas de produtividade** do CNPq em Astronomia no nível máximo, 1A, a porcentagem de mulheres é de 27%.

No entanto, é notável a mudança de panorama no que diz respeito a grandes projetos de pesquisa. A partir da década de 1980, astronomia e física começaram a passar por um período de grande transformação. O avanço nessas áreas exigiu dos pesquisadores um tratamento multidisciplinar e instrumentação mais cara, do tipo multiusuário. Essa tendência levou os países mais desenvolvidos a rearranjarem os grupos de pesquisa em conjuntos maiores, reunindo pesquisadores teóricos e experimentais de diferentes especialidades em projetos multidisciplinares.

Essa mudança de paradigma foi acompanhada pelo CNPq/FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) ao lançar em 1996 o primeiro edital para os Núcleos de Excelência (Pronex), posteriormente seguido pelos editais do Instituto do Milênio, em 2000. Dentro dessa mesma concepção, a FAPESP criou em 2000 os Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPIDs), com a diferença de permi-

tir que pesquisadores que fazem parte do sistema administrativo dessa agência financiadora também participem do projeto de Centro. Em 2008, o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) e o CNPq anunciaram o resultado do edital dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) criados com a colaboração da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico) e das fundações estaduais FAPESP, FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro).

Os astrônomos brasileiros reconheceram a necessidade e a oportunidade que tais estruturas poderiam fornecer para o desenvolvimento da área. Foram submetidos e aprovados os projetos Pronex: "**Galáxias**: formação, evolução e atividade" em 1996, sob a coordenação da autora deste texto e, em 1997, o intitulado "Sistemas estelares e sua conexão com a evolução e a atividade de **galáxias**", sob a coordenação de Miriani Pastoriza. Em 2001 foi criado o "Instituto do Milênio para evolução de estrelas e **galáxias** na era dos grandes telescópios", coordenado por Beatriz Barbuy e, em 2008, o "Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Astrofísica" (INCT-A), coordenado por João Steiner. Dados desses grandes projetos estão resumidos na Tabela 4. São eles: período de funcionamento, verba total, com parte em dólares transformada em reais da época, número de instituições envolvidas, número de docentes/pesquisadores, instrumentação comprada ou desenvolvida, números de publicações (**Qualis** A). Note-se que os dados do INCT-A são parciais (disponíveis no momento da redação).

	Pronex 1	**Pronex 2**	**Milênio**	**INCT—A**
Período	1997–2000	1998–2001	2001–2006	2009–2013
Verba/R$ 1000	1.500	500	3.000	5.000
Grupos	8	3	21	36
Pesquisadores	33	12	66	155
Instrumentação	sim	sim	sim	sim
Publicações A	194	98	350	440

Tabela 4. Projetos multidisciplinares

A liderança feminina em três dos quatro projetos que mudaram o panorama da astronomia brasileira e abriram o caminho para grandes projetos de cooperação internacional é notável, entretanto apenas o futuro mostrará se tal resultado se manterá.

Percebe-se pelos dados acima que os projetos evoluíram para incluírem um número cada vez maior de instituições e pesquisadores. O INCT-A conta atualmente com 155 docentes/pesquisadores, provavelmente da ordem de 70% dos pesquisadores ativos no país. Isso significa que conta com membros de praticamente todos os grupos sediados nas instituições brasileiras. É inegável a importância desses projetos para a astronomia brasileira. Entretanto, uma concentração tão alta num só projeto abrangendo a maioria dos temas de astronomia deve ser analisada com cuidado. Vale a pena pensar se, qualquer que seja a área científica, não seria mais saudável ter projetos multidisciplinares paralelos, que estimulariam a diversidade de ideias e opiniões, sem prejudicar a interação entre eles, base para uma ciência ativa e vigorosa.

Epílogo

Pode-se perguntar por que aumentar a representação feminina em astronomia, ou nas ciências exatas. A resposta ocorre de modo natural a todas as pessoas que acreditam que deve haver para homens e mulheres uma igualdade de condições e de direitos.

Uma outra razão, que pode convencer os mais renitentes, diz respeito à força de trabalho. O círculo virtuoso, que une pesquisa científica básica à pesquisa tecnológica, e esta à inovação, é a força motora para o desenvolvimento de um país e só pode ser mantido se a pesquisa básica for mantida ativa e de alta qualidade através de recursos humanos e financeiros. Aceitar mulheres nas mesmas condições e nos mesmos níveis que homens pode praticamente dobrar a capacidade de produção de ciência, acelerando o círculo virtuoso e o próprio crescimento do país.

O espectro da maternidade como ponto negativo para a contratação de mulheres pode ser contrabalançado de duas maneiras. Primeiramente porque a dupla jornada de trabalho comum às mulheres é um treinamento para um funcionamento multitarefa, o que pode ser cada vez mais importante no mundo atual em que o tempo é sempre curto. Além disso, criar os filhos é um treinamento para liderança. Ter que conviver com problemas no trabalho, chegar em casa cansada e não descontar nos filhos, é difícil mas possível. Aprende-se a respeitar a criança que depende em todos os sentidos dos pais e, portanto, saber respeitar colegas e subalternos. Como a convivência dos filhos com as mães costuma ser maior, as mulheres acabam mais preparadas que os homens nesse aspecto.

A baixa representatividade das mulheres nos países anglo-saxões não é fácil de se entender, mas gerou, principalmente nas norte–americanas, um efeito que felizmente não se vê nos países latinos. Para serem respeitadas como cientistas, elas mimetizam um comportamento masculino tanto nas atitudes quanto no vestir. Se o hábito não faz o monge, também não faz a cientista. A atitude dos anglo-saxões com as mulheres, velada e eficiente, difere da dos latinos, mais aberta. Como numa batalha, é melhor enfrentar um inimigo que se identifica, que se mostra por inteiro, do que aquele mais mortífero, que se esconde atrás de sorrisos, de gentilezas e de atitudes politicamente corretas. A porcentagem bem maior de mulheres nos países latinos, que continuam sendo cientistas e femininas, confirma esse fato e mostra que respeito profissional vem do poder dos argumentos usados nas discussões e nos trabalhos, não do gênero da pessoa.

Uma extensão desse aspecto é um assunto que mereceria mais análise e discussão: a existência de prêmios exclusivos para mulheres ou qualquer decisão ou tratamento que se diferencie do dado aos homens. A vida da astrônoma observacional inglesa Margaret Burbidge, naturalizada americana, é exemplo para um início de discussão. Em 1955 ela e o marido, Geoffrey Burbidge, astrônomo teórico, foram à Califórnia. Lá ela submeteu um pedido para fazer observações no *Mount Wilson Observatory*. Foi negado com base no fato de que lá não havia instalações sanitárias adequadas para mulheres. Em 1972, ela foi nomeada para a direção do *Royal Greenwich Observatory,* nomeação que usualmente vinha acompanhada do título de *Astronomer Royal*. Mas não no caso de Margaret, apenas para todos os homens que a precederam. Essa distinção foi então dada um astrônomo, seu colega. Nesse mesmo ano, ela recusou um prêmio da *American Astronomical Society* porque era concedido apenas para mulheres, o que ela considerou como outra face da discriminação contra as mulheres[4].

O ponto importante que parece emergir dos dados discutidos sobre a baixa representação das mulheres em ciências, é o efeito do estereótipo de mulher que passa de geração em geração pelas próprias famílias. Para contrabalançá-lo, deve-se agir o mais cedo possível. Pais e também os professores em todos os níveis têm um trabalho importante a fazer mostrando, a cada oportunidade, que habilidade intelectual é independente do gênero e se adquire com treinamento. Para atingir crianças e despertar sua curiosidade, é importante falar não apenas sobre mulheres cientistas, mas também sobre os aspectos interessantes

[4] *Encyclopædia Britannica* on line, http://www.britannica.com/EBchecked/topic/84933/Margaret-Burbidge Acesso em 21/11/12.

de cada ciência. A astronomia se presta muito bem para isso. Um exemplo de programa que incentiva e entusiasma os alunos é a realização da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica, OBA (ver o Capítulo "Olimpíadas de Astronomia" neste Volume), nas quais o número de participantes dos dois sexos é praticamente igual e mereceria estudo aparte.

De modo mais geral o *Working Group on Women in Astronomy,* criado em 2003 pela IAU, tem a proposta de estudar e dar visibilidade ao problema da sub-representação feminina. Ele estabelece ações e estratégias para que se atinja a igualdade e pode inspirar ações semelhantes nos países.

Independentemente de gênero, todos devem sempre se lembrar das crianças, meninas e meninos que sonharam com um futuro diferente do conhecido, diferente do habitual e, quando adultos, conseguiram realizá-lo apesar de preconceitos. Essa é a maneira de mudar estereótipos, acabar com qualquer tipo de discriminação e construir um ambiente melhor para todos.

Agradecimentos

Agradeço ao Oscar Matsuura pelo convite para participar do projeto deste livro dando-me a oportunidade de repensar sobre a situação das mulheres; à Adriana M. B. Válio pela conversa agradável sobre as mulheres cientistas e pelo excelente trabalho com os dados da SAB de 1994 a 2004; ao Mario V. Ferraz Pereira pela gentileza de me enviar documentos sobre sua mãe Yedda V. Ferraz Pereira; à Glória Dubner, pelas informações sobre a astronomia argentina; à Miriani Pastoriza e Beatriz Barbuy pelos esclarecimentos sobre os projetos Pronex, Milênio e INCT-Astrofísica; à Marina de Freitas pela ajuda com os dados da SAB; aos meus pais, Aurora e Darwin, que incentivaram suas filhas a seguirem a carreira preferida; aos meus filhos, Cibele e Leonardo, que contribuíram para o meu amadurecimento; às colegas e amigas, companheiras na aventura que é ser mulher, Ruth Gruenwald, Sandra dos Anjos, Marcella Contini, Maria Conceição Sano, Márcia P. Albe, Maria Sonia da Silva, Maria Inês M. Santoro, Maria Isabel Fleming, Valquíria H. Barnabé, Rita Sarteschi e Maria Cristina Cacciamali pelas conversas, alegres ou tristes, que enriquecem a vida; aos meus dois companheiros, Ruben Aldrovandi e Gary Steigman, pela compreensão e incentivo na minha vida profissional; aos amigos de carreira, Paulo Benevides Soares, Daniel Péquignot, Ronaldo E. de Souza, Ramachrisna Teixeira e o inesquecível Luis B. Clauzet, pela convivência e respeito mútuo.

Referências

Barbosa, Márcia C. B. e Arezon, J. J. (2005), "Produtividade em Pesquisa — CNPq — 2005: uma análise estatística", http://www.if.ufrgs.br/public/spin/2005/spin425/prod_cnpq_barbosa&arenzon.htm, acesso em 10/10/12.

Bíblia (1980), Edição Ecumênica Mirador, Tradução do padre Antonio Pereira de Figueiredo, Rio de Janeiro: Encyclopaedia Britannica.

Caldas, Marília J.; Carvalho, Regina P.; Cavalcanti, Solange B.; Cotta, Mônica A.; Martins, Jorge S. S. and Prado, Sandra D. (2005), How Many Women in Physics?, *American Institute of Physics Conf. Proc.*, 795, 99–100, http://dx.doi.org/10.1063/1.2128282, acesso em 10/10/12.

Campbell, Joseph (1988), Love and the Goddess *in The Power of Myth — interviews with Bill Moyers DVD*, Public Broadcasting System, USA.

Cesarsky, Catherine and Walker, Helen (2010), Head Count: Statistics about women in astronomy, *Astronomy & Geophysics,* 51, 2, 2.33–2.36, Wiley online Library: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-4004.2010.51233.x/abstract, acesso em 25/11/12.

Cordier, Stéphane (1974), Entrévue avec Simone de Beauvoir: La Lutte de Femmes, *Revue L'Arc*, Paris: L'Arc Étranger, 61.

de Beauvoir, Simone (1949), *Le Deuxième Sexe*, T*omes I et II,* Paris: Gallimard.

Ecklund, Elaine H.; Lincoln, Anne E. and Tansey, Cassandra (2012), Gender Segregation in Elite Academic Science, *Gender & Society,* 26, 693-717.

França, Ana Letícia e Schimanski, Édina (2009), "Mulher, trabalho e família: uma análise sobre a dupla jornada feminina e seus reflexos no âmbito familiar", *Emancipação*, 1, 65-78, Ponta Grossa http://www.revistas2.uepg.br/index.php/emancipacao/article/viewArticle/687, acesso em 12/11/12.

Graves, Robert (1966), *The White Goddess,* New York: Farrar, Straus & Giroux.

Hill, C., Corbett, C. and St. Rose, A. (2010), *Why So Few Women*, USA: American Association of University Women, Library of Congress Control Number: 2010901076.

Hodges, Amy (2012), Gender discrimination a reason why females choose careers outside the hard sciences, posted in: *Current News,* Rice University News & Media, http://news.rice.edu/2012/10/19/gender-discrimination-a-reason-why-females-choose-careers-outside-the-hard-sciences-according-to-new-rice-study-of-scientists/, acesso em 20/11/12.

Hughes, Sarah S. and Hughes, Brady (2001), *Women in Ancient Civilizations in Agricultural and pastoral societies in ancient and classical history,* Michael Adas (Org.)*,* Philadelphia: Temple University Press.

Leta, Jacqueline and Lewison, Grant (2003), The contribution of women in Brazilian science: A case study in astronomy, immunology and oceanography, *Scientometrics,* 57, 3, 339-353, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Marques dos Santos, Paulo (2005), *Instituto Astronômico e Geofísico: Memória sobre sua Formação e Evolução*, São Paulo: Edusp.

Moss-Racusin, Corinne A.; Dovidio, John F.; Brescoll, Victoria L., Graham, Mark J. and Handelsman, Jo (2012), Science faculty's subtle gender biases favor male students, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 41, 16474-16479, http://www.pnas.org/content/109/41/16474.full.pdf+html, acesso em 16/11/12.

Mourão, R. R. F. (2008), *Dicionário Enciclopédico de Astronomia e Astronáutica*, 2ª edição revista e ampliada, Rio de Janeiro: Editora Lexikon.

Nature Immunology (2009), Gender stereotypes prevent women from attaining full recognition of their research careers, Editorial, *Nature Immunology*, 11, 99.

Niño El-Hani, Charbel (1996), "Diferenças entre homens e mulheres: biologia ou cultura?", *Revista da USP*, 29, Março-Maio, 149–160.

Novais, Sérgio e Fumagali, Maria da Penha (2010), "Perfil e Condições de Trabalho das Mulheres no Ramo Químico", *CUT-CNQ*, 7-10, http://library.fes.de/pdf-files/bueros/brasilien/07823.pdf, acesso em 4/11/12.

Seabra, Zelita e Muskat, Malvina (1985), *Identidade Feminina*, Petrópolis: Editora Vozes Ltda.

Silva, Adriana V. R. (2007), "Situação da Mulher na Astronomia Brasileira", *Boletim da SAB*, 26, 3, 15–29.

Sjöö, Monica and Mor, Barbara (1987), *The Great Cosmic Mother — Rediscovering the Religion on Earth,* New York: Harper & Low Publishers Inc.

UNESCO (2012), *UIS Fact Sheet*, December, No. 23, Institute for Statistics, FTP em http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/priority-areas/gender-and-science/, acesso em 10/12/12.

Vasconcellos, E. C. C. e Brisolla, S. N. (2009), "Presença Feminina no Estudo e no Trabalho da Ciência na Unicamp", *Cadernos Pagu*, 32, Jan/Jun, 215-265, http://dx.doi.org/10.1590/S0104-83332009000100008.

Viegas, Sueli M. M. (1994), "20 Anos de Astronomia no Brasil: O lado feminino", *Boletim da SAB*, 13, 3, 27–32.

Woolf, Virginia (1931), *Professions for women*, http://s.spachman.tripod.com/Woolf/professions.htm, acesso em 15/2/13.

Capítulo 17

ASTRONOMIA ESPACIAL

Astronomia de altas energias

João Braga (DAS/INPE/MCTI)

Desde as primeiras observações a bordo de balões estratosféricos na década de 1970, o Brasil, através do INPE, passou a construir seus próprios experimentos espaciais e atualmente desenvolve instrumentação para satélites científicos. Mais recentemente, a comunidade astronômica brasileira passou a se envolver mais diretamente em missões internacionais em satélite, provendo estações de recepção e recursos humanos especializados, além de participar em seus comitês científicos. A inserção do Brasil na área de astronomia espacial é extremamente estratégica para o país, dadas a importância crucial do caráter multiespectral da astrofísica moderna e as limitações observacionais impostas pela atmosfera terrestre. Neste Capítulo é feita revisão histórica do desenvolvimento da astronomia espacial no Brasil, mais especificamente na área de raios X e raios γ (gama).

Introdução

As primeiras atividades de pesquisa no Brasil que podem ser caracterizadas como de "astronomia espacial" ocorreram na década de 1970, com uma cooperação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em São José dos Campos, SP, com a França em experimentos destinados a captar raios X e **raios** γ (gama) de objetos cósmicos a bordo de balões estratosféricos. Esta colaboração propiciou aos pesquisadores e tecnólogos do INPE a obtenção de capacitação em instrumentação para astronomia de raios X e **raios** γ, uma área extremamente importante em **astrofísica** moderna iniciada na década de 1960 com experimentos embarcados em foguetes de sondagem dos EUA.

Desde então, o INPE passou a construir seus próprios experimentos em balões e atualmente desenvolve instrumentação para satélites científicos. Mais recentemente, a comunidade astronômica brasileira passou a se envolver mais diretamente em missões internacionais em satélite, provendo estações de recepção e recursos humanos especializados, além de participar em seus comitês científicos. Um exemplo paradigmático foi a participação brasileira na missão francesa CoRoT (*COnvection ROtation et Transits planétaires*), para a qual o país contribuiu com uma estação terrena de recepção de dados na cidade de Alcântara, MA, adquirida e operada pelo INPE, e com o trabalho de engenheiros especialistas que desenvolveram *software* para diversos subsistemas da missão.

Outra iniciativa importante foi a participação do INPE no satélite americano HETE-2 (*High Energy Transient Explorer 2*), a primeira missão inteiramente dedicada ao estudo dos enigmáticos *bursts*[1] de **raios** γ. Foi montada uma estação de recepção de dados do satélite na unidade do INPE em Natal, RN, que fez parte de uma rede de estações ao longo do equador da Terra, estabelecida para permitir a rápida disseminação das posições de ocorrências dos surtos no céu.

Numa época em que a astronomia mundial é cada vez mais dependente de observações em todos os comprimentos de onda possíveis, é fundamental que a astronomia brasileira passe a conceber e desenvolver projetos espaciais, sob pena de ficar fortemente defasada a médio e longo prazos. A astronomia feita a partir do solo (**astronomia terrestre**), nas faixas do **óptico** e de rádio (ver **radioastronomia**), ainda é extremamente relevante e vários projetos instrumentais de ponta estão sendo concebidos e construídos por diversos países, principalmente através de grandes colaborações internacionais (ver o Capítulo

[1] Surtos.

"Desenvolvimento de instrumentação" neste Volume). No entanto, em outras faixas importantes do **espectro** eletromagnético, é preciso observar o universo a partir do espaço ou de altitudes extremamente elevadas, já que a atmosfera do nosso planeta absorve essas radiações.

Nesse contexto, é crucial para o Brasil desenvolver capacitação e instrumentação próprias em outras áreas da astronomia, tais como raios X e **raios** γ, infravermelho distante e ultravioleta. Ademais, na própria faixa do visível é importante conduzir observações em plataformas colocadas no espaço para superar as limitações impostas pela turbulência e espalhamento atmosféricos. A Figura 1 mostra o quanto a radiação eletromagnética vinda do espaço é capaz de penetrar na atmosfera nas diversas faixas do **espectro** eletromagnético. Vê-se claramente na Figura que, em altitudes típicas de balões estratosféricos (25 a 50 km), ainda se pode observar o universo numa faixa do infravermelho de comprimentos de onda em torno de 1 mm e em raios X a partir de energias da ordem de 30 keV (keV: mil elétron-Volt). Na maior parte das faixas do ultravioleta e dos raios X, no entanto, somente instrumentos em satélite ou sondas espaciais podem detectar radiação eletromagnética de origem extraterrestre.

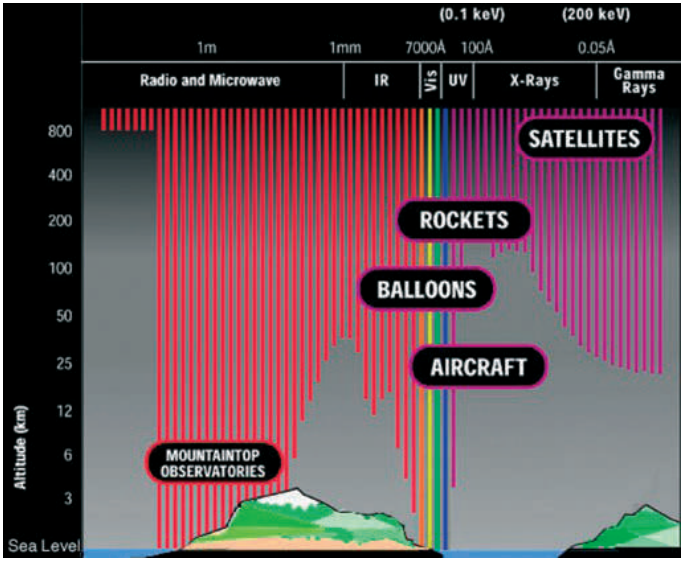


Figura 1. Diagrama da penetração da radiação eletromagnética na atmosfera da Terra. Acima da identificação (em inglês) das faixas do **espectro** eletromagnético mostra-se os comprimentos de onda típicos associados a elas (1 Å = 10^{-10} m). Na primeira linha mostra-se as energias dos fótons, nas faixas de raios X e **raios** γ, em keV (Fonte: http://migall.fastmail.fm/astronomy/telescopes_detectors/emr/)

O principal projeto atual do Brasil na área de astronomia espacial é o projeto MIRAX (Monitor e Imageador de Raios X), em desenvolvimento no INPE. Trata-se de um conjunto de câmaras de raios X que farão um levantamento sem precedentes das fontes transientes[2] de raios X na nossa **Galáxia**. Os instrumentos serão montados numa plataforma de satélite com um sistema de controle de atitude[3] de alta precisão e colocados em baixa órbita equatorial para uma missão de 4 anos. O estudo do universo na faixa de energia que o MIRAX irá operar tem sido relativamente pouco explorado, o que faz com que a missão tenha grande oportunidade de contribuir para o conhecimento a respeito de fenômenos físicos altamente energéticos e muitas vezes explosivos que ocorrem em diversos tipos de sistemas em **astrofísica**.

Objetos astrofísicos que emitem raios X e **raios** γ são de grande interesse, uma vez que a emissão de radiação eletromagnética nessas energias se dá através de processos físicos que só ocorrem em regiões singulares onde reinam condições físicas extremas. Nesses objetos, parâmetros físicos relevantes, tais como temperatura, campo gravitacional, densidade de matéria e campo magnético atingem valores elevadíssimos. Em particular, a maioria dessas regiões está associada à presença de **objetos colapsados,** tais como **estrelas de nêutrons** e **buracos negros**, e representam laboratórios impossíveis de se reproduzir na Terra.

A missão MIRAX será a primeira missão espacial do Brasil na área de astronomia; com ela, o país dará enorme passo na direção de desenvolver a área de astronomia espacial e entrar no seleto rol de nações que têm a capacidade de desenvolver instrumentos astrofísicos e colocá-los no espaço.

Neste Capítulo é feito levantamento histórico e análise da situação atual da astronomia de raios X e **raios** γ no Brasil.

Primeiros experimentos

Na década 1960, quando o INPE iniciou suas pesquisas e atividades, vários experimentos na área de pesquisas atmosféricas e geofísica espacial foram concebidos e lançados a bordo de foguetes de sondagem a partir da base de lançamentos da Barreira do Inferno, em Natal, RN, operada pelo Centro Técnico Aeroespacial (CTA, hoje DCTA: Departamento de Ciência e Tecnologia

---

[2] Transiente refere-se a fenômeno momentâneo, de curta duração.

[3] Controle de atitude é um sistema eletromecânico que permite obter informações e atuar sobre a orientação espacial de uma estrutura colocada no espaço.

Aeroespacial, ligado ao Comando da Aeronáutica do Ministério da Defesa). Essas foram as primeiras atividades científicas do INPE que, com o intuito de organizar e institucionalizar as atividades científicas nessa área, criou um Departamento de Ciência Espacial.

A partir de 1967, o INPE recebeu alguns pesquisadores e técnicos franceses num programa relacionado ao serviço militar francês, que permitia que jovens cidadãos franceses trocassem o serviço militar na França por um período de intercâmbio técnico-científico no exterior. Foi nesse contexto que o pesquisador François Albernhe, da Universidade Paul Sabatier, de Toulouse, chegou ao INPE e trouxe informações a respeito de um programa de balões científicos que existia na França. Pesquisadores do INPE, incluindo Inácio M. Martin, sugeriram colocar um detector em um balão para medir a emissão de raios X produzida por elétrons aprisionados na Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS). Este fenômeno de diminuição da intensidade do campo magnético terrestre na região do Atlântico Sul (e sobre o território brasileiro) faz com que partículas carregadas aprisionadas pelo campo precipitem-se para regiões mais próximas da superfície, e uma medida da radiação X produzida pelo processo *bremsstrahlung*[4] por elétrons é importante para caracterizar a região.

Teve início então um programa no INPE de treinamento técnico e científico visando à implementação de uma linha de pesquisa em balões científicos para aplicações em geofísica espacial e **astrofísica** de **altas energias** (raios X duros[5] e **raios** γ). Pesquisadores deram início ao desenvolvimento de instrumentação para experimentos científicos lançados a bordo de balões estratosféricos. Esses balões são fabricados com filmes extremamente finos (alguns μm de espessura) e são capazes de levar cargas úteis a altitudes que podem superar 40 km, já na camada atmosférica conhecida como estratosfera. A pressão atmosférica nessas altitudes é da ordem de 2% a 3% da pressão ao nível do mar. Para um experimento de astronomia de **altas energias** a bordo desses balões, a absorção atmosférica residual da radiação proveniente do espaço é significativamente diminuída, sendo praticamente desprezível nas faixas de raios X duros e **raios** γ de baixa energia. Na Figura 2 mostra-se uma operação de lançamento noturno de um balão estratosférico na cidade de Timon (MA).

---

[4] *Bremsstrahlung*, termo alemão, significa radiação de freamento e designa a produção de radiação eletromagnética pela deflexão da trajetória de uma carga elétrica pelo campo elétrico de outra, enquanto estas se agitam num gás aquecido.

[5] Raios X duros (energias > ~10 keV) são os mais energéticos, ao contrário dos raios X moles.

Figura 2. Operação de lançamento de um balão estratosférico utilizando a técnica de balão auxiliar (Fonte: Eduardo Piacsek). Esta técnica é utilizada para suavizar o início da ascensão da carga útil, que fica inicialmente sustentada pelo balão auxiliar, de pequeno porte. Ambos os balões são conectados à carga útil por cabos. Quando a inflagem[6] do balão principal é completada, ele é solto e se movimenta na direção do balão auxiliar, empurrado pelo vento de superfície. Ao se aproximar do balão auxiliar, este por sua vez é solto, levando a carga útil. Desta forma o balão principal passa a carregar a carga útil de forma suave, sem súbitas acelerações. O último passo da operação é o rompimento do cabo do balão auxiliar por um comando via rádio.

No fim de década de 1960 e início da década seguinte, pesquisadores e tecnólogos do INPE realizaram pós-graduação e treinamento técnico na Universidade Paul Sabatier e no CNES (*Centre National d'Études Spatiales*), a agência espacial da França, em Toulouse. Técnicos do INPE obtiveram treinamento específico em técnicas de manuseio, inflagem e lançamento de balões estratosféricos e engenheiros foram treinados em sistemas de eletrônica embarcada e telemetria. A direção do INPE na época (1970) negociou com o CNES a compra de 10 balões estratosféricos de volume da ordem de 35 mil m^3, e foram trazidos da França detectores de **raios** γ de NaI (iodeto de sódio), fotomultiplicadoras e cintiladores plásticos.

O primeiro lançamento de um balão científico em solo brasileiro ocorreu em 1972, no campo de futebol do INPE em São José dos Campos, com uma

[6] Jargão do balonismo, significa o ato de encher o balão de gás.

carga útil montada no INPE com um experimento para medir raios X atmosféricos. As medidas mostraram aumento de ~20% no fluxo de raios X em relação a outras regiões, em virtude da precipitação de elétrons na AMAS, e houve a oportunidade também de medir uma perturbação solar durante o voo. O balão sobrevoou o atlântico sul e foi recuperado com sucesso próximo à cidade de Pretória, na África do Sul.

Na década de 1970, diversos experimentos franceses foram lançados do Brasil em cooperação com o INPE. Por volta de 1980, pesquisadores do INPE iniciaram cooperação técnica com a *National Atmospheric Balloon Facility* (NSBF), com sede na cidade de Palestine, TX. Através dessa cooperação, diversos experimentos de **astrofísica** de **raios** γ dos EUA, Inglaterra, França e Austrália foram lançados de diversas localidades no Brasil para observar alvos astrofísicos no hemisfério sul.

Esses desenvolvimentos resultaram na criação do Departamento de Astrofísica (DAS), no INPE, chefiado por Inácio Martin, em 1980. O DAS era constituído por 3 divisões: a Divisão de **Astrofísica** de **Alta Energia**, chefiada por Udaya Jayanthi, a Divisão de Balões e Cargas Úteis, comandada pelo engenheiro Renato Senador, e a Divisão de **Radioastronomia** e Física Solar, que funcionava na cidade de São Paulo sob a chefia de Pierre Kaufmann (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume). Os pesquisadores e estudantes de pós-graduação da Divisão de **Astrofísica** de **Alta Energia** desenvolveram instrumentos para observar raios X duros e **raios** γ de baixa energia (até alguns MeV) de objetos astrofísicos na região do centro galáctico, utilizando para isso detectores criogênicos (77 K) de Ge(Li) (germânio dopado com lítio), de alta **resolução** espectral, mas baixa sensibilidade devido ao pequeno volume (Braga, 1984; BuiVan *et al*., 1987), e cintiladores de NaI de grande área (BuiVan *et al*., 1984). Um resultado importante dessa época foi a detecção, pela primeira vez em raios X duros, do período de pulsação de uma **estrela de nêutrons** num sistema binário de raios X, no caso o **pulsar** (ver também **pulsar binário**) de raios X denominado GX 1+4 (Jayanthi *et al*. 1987).

Durante a década de 1980, alguns experimentos altamente competitivos foram trazidos ao Brasil e lançados em balões em cooperação científica e técnica com o INPE. Entre esses, vale destacar um experimento de **raios** γ do instituto alemão Max Planck que utilizava a técnica de imageamento por efeito Compton[7]. O experimento era na verdade um protótipo do experimento COMPTEL (*COMPton TELescope*), um dos 4 experimentos do satélite CGRO (Observató-

[7] No efeito Compton um fóton colide com uma carga livre, geralmente um elétron, ocorrendo transferência de quantidade de movimento e energia para este último.

rio de Raios Gama Compton — na sigla em inglês —, da NASA[8], lançado em 1991; vide Braga, 1993 para uma descrição do CGRO).

Outro experimento importante foi um radiômetro da Universidade de Berkeley, EUA, que fez medidas da **Radiação Cósmica de Fundo** em micro-ondas (Lubin *et al.*, 1985). Este projeto foi o protótipo de um dos experimentos do satélite COBE (*Cosmic Background Explorer*), da NASA, que acabou por medir as minúsculas flutuações de temperatura no céu, que deram enorme respaldo à teoria do *Big Bang*. Grupos da Universidade de Princeton, nos EUA, do *Imperial College*, de Londres, e da Universidade da Tasmânia também lançaram experimentos astrofísicos a partir do Centro de Lançamento de Balões do INPE em Cachoeira Paulista, SP.

No fim de década de 1980, houve reestruturação na organização institucional do INPE, sendo criada a Coordenadoria-Geral de Ciências Atmosféricas (CEA). O Departamento de Astrofísica (DAS), mantendo a mesma sigla, passou a se chamar Divisão de Astrofísica que, nessa época, já contava com grupos atuando em outras áreas da **astrofísica,** tais como astronomia **óptica**, **radioastronomia**, **cosmologia** experimental e observacional, e física de **ondas gravitacionais** (ver o Capítulo "Ondas gravitacionais" neste Volume).

Colaboração com o Japão

Um programa importante do INPE na área de astronomia espacial foi uma cooperação científica e técnica com o Japão, envolvendo o ISAS (*Institute of Space and Astronautical Science*) e diversas universidades (Universidade de Tóquio, Universidade de Nagoya e outras). Durante aproximadamente uma década, iniciando-se em 1990, diversos grupos de cientistas japoneses lançaram diversas cargas úteis com experimentos de astronomia de raios X duros e **raios** γ. Estes experimentos, além do objetivo científico de observar objetos do hemisfério sul, testaram novas tecnologias de detectores e continham em alguns casos protótipos de instrumentos para a série de satélites ASTRO do Japão em astronomia de raios X. Pesquisadores do INPE participaram de vários desses experimentos e publicaram resultados importantes em cooperação com os grupos japoneses. Exemplos que merecem destaque foram a medida do **espectro** de raios X duros da radiogaláxia Centaurus A (Miyazaki *et al.*, 1996), a observação de raios X duros e **raios** γ pulsados do **pulsar** PSR1509-58 (Gunji *et al.*, 1994) e a obtenção de um limite superior para o fluxo da linha do Co^{57} da **supernova** 1987A (Gunji *et al.*, 1992).

---

[8] NASA: *National Aeronautics and Space Administration.*

Além da colaboração científica altamente frutífera, houve também nessa cooperação com o Japão, intercâmbio técnico de grande valor para o Setor de Lançamento de Balões do INPE. Equipes japonesas de lançamento de balões estiveram no INPE durante vários anos promovendo intercâmbio com a equipe do INPE, que teve a oportunidade de se atualizar e desenvolver novas técnicas de lançamento e rastreio dos balões, além de procedimentos de recuperação das cargas úteis lançadas. Houve inclusive a construção, coordenada e financiada pelos japoneses, de um novo hangar nas instalações do INPE em Cachoeira Paulista para abrigar experimentos e realizar testes em gôndolas de balões estratosféricos.

MASCO

No final da década de 1980, o grupo de **astrofísica** de **altas energias** do INPE decidiu iniciar projeto de um telescópio competitivo de raios X duros e **raios** γ de baixa energia (30 keV a 5 MeV) para ser lançado em balão estratosférico. O experimento, denominado MÁScara COdificada (MASCO) e coordenado por Thyrso Villela, utilizou a técnica de "máscara codificada" para produzir imagens do céu nessa faixa de energia. Essa técnica permite a produção de imagens através da codificação espacial do fluxo de radiação incidente, o que é feito através do uso da máscara, uma placa de material opaco à radiação perfurado com orifícios seguindo um padrão adequado (Braga, 1989; Braga, 1990 e referências aí citadas).

O diagrama da Figura 3 mostra o princípio básico desse tipo de imageamento, que foi e ainda é utilizado em muitos experimentos de balões e satélites em **astrofísica** acima de aproximadamente 15 keV. O método permite que se produzam imagens acima do limite prático do uso de lentes e espelhos, já que fótons com energias muito elevadas são muito penetrantes na matéria e não podem ser refletidos ou refratados facilmente.

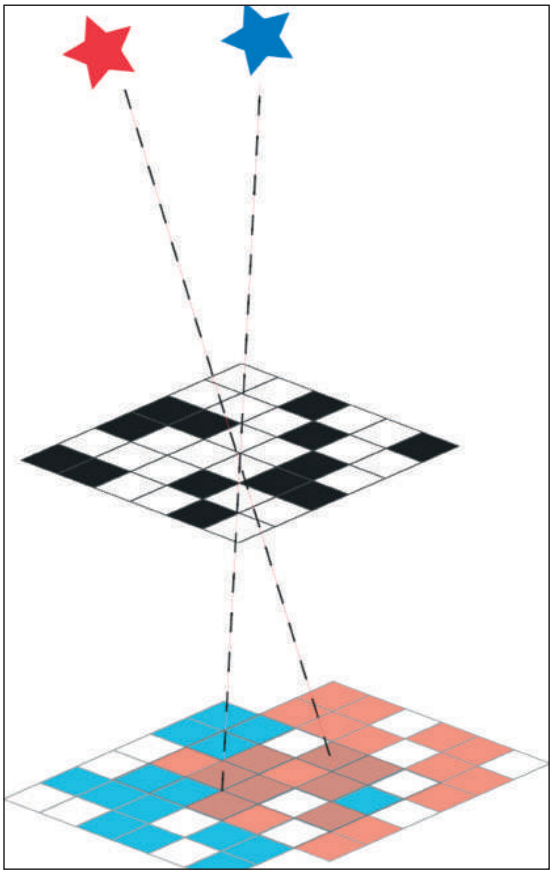


Figura 3. O princípio da "máscara codificada". Fluxos que incidem em diferentes ângulos em uma máscara composta de elementos opacos e transparentes à radiação X ou γ, projetam diferentes diagramas de sombra em um detector sensível à posição. Métodos de deconvolução[9] permitem obter a posição e intensidade de cada fonte, formando uma imagem do campo de visada observado. (Fonte: ru.wikipedia.org)

Um experimento precursor do MASCO foi o TIMAX (Telescópio IMAgeador de Raios X), que utilizou um plano detector formado por 35 cintiladores de NaI (cilindros de 3,8 cm de diâmetro e 2 mm de altura), dispostos num arranjo 7 x 5, e uma máscara codificada com elementos de chumbo formando um padrão URA (*Uniformly Redundant Array*) de dimensões 7 x 5 repetido ciclicamente (Braga *et al.*, 1991; Braga *et al.*, 1994 e 1995). Este tipo de padrão permite que a imagem reconstruída tenha relação sinal-ruído máxima e seja livre de artefatos[10] (lobos secundários) (Fenimore and Cannon,

[9] Convolução é a aplicação de um operador matemático sobre duas funções, que gera uma terceira. A deconvolução é um processo algorítmico muito usado no tratamento de sinais e de imagens, que inverte a convolução restituindo as funções iniciais.

[10] Artefato aqui é tradução literal de *artifact* e significa resultado indesejado de uma interferência humana.

1978). O TIMAX utilizou técnica inovadora de uso de uma "antimáscara" para eliminar os efeitos de variações sistemáticas do nível de ruído de fundo no plano detector (Jayanthi and Braga, 1991), propiciando ganho significativo na relação sinal-ruído.

O experimento MASCO utilizou dois detectores de NaI de grande volume (41 cm de diâmetro e 5 cm de espessura), cada um acoplado a 19 fotomultiplicadoras, num arranjo conhecido como câmara de Anger. O grupo do INPE desenvolveu técnica de calcular a posição de incidência dos fótons de **raios** γ no detector a partir da análise do sinal de cada fotomultiplicadora (Braga *et al*., 2002). Com uma máscara codificada com elementos de chumbo de 1,25 cm de lado e 2 cm de espessura, colocada a 3 m de distância do detector principal, o instrumento era capaz de obter imagens com resolução de 14' de arco num campo de visada de 23º de diâmetro. Um desenvolvimento inovador foi a descoberta de propriedades de simetria importantes e úteis do arranjo uniformemente redundante modificado (o MURA, *Modified Uniformly Redundant Array*), que permitiram a disponibilização de uma antimáscara através de uma simples rotação da máscara de 90º (Braga *et al*., 2002). Isso evitou ter que incluir no experimento uma estrutura separada para a antimáscara, com os elementos fechados e abertos invertidos em relação à máscara, o que aumentaria significativamente o peso e a complexidade mecânica do instrumento, uma vez que teria que ser implementado um sistema eletromecânico que colocasse alternadamente a máscara e a antimáscara em frente aos detectores. A máscara codificada do MASCO foi montada em uma estrutura giratória, que girava a 1 rpm, e foi desenvolvido um algoritmo de reconstrução de imagens levando-se em consideração o giro da máscara (Mejía, 2002). A rotação constante da máscara tinha como objetivo, além da eliminação de variações espaciais sistemáticas de ruído de fundo no plano detector através das observações alternadas com máscara e antimáscara, a eliminação de ambiguidades na posição das fontes no campo de visada ocasionadas pela repetição cíclica (necessária para um imageamento sem artefatos) do padrão de aberturas na máscara codificada (Braga *et al*., 2002). Uma imagem de laboratório de uma fonte radioativa de ^{241}Am (fótons de 60 keV) colocada a 30 m de distância da máscara, no centro do campo de visada, pode ser vista na Figura 4.

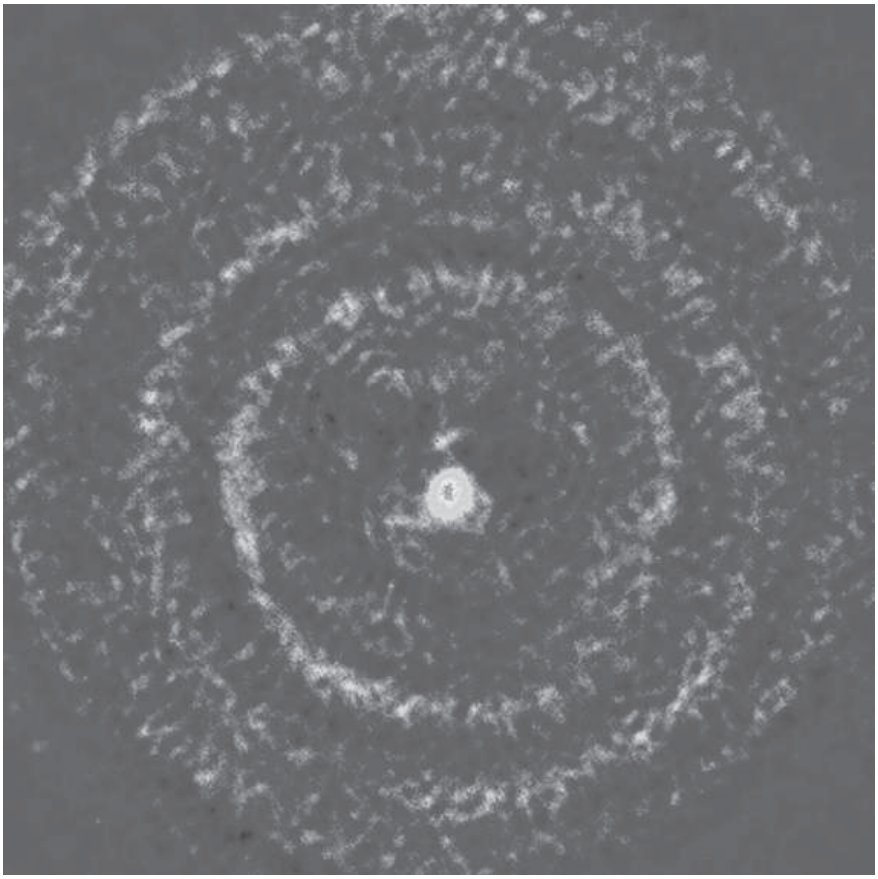


Figura 4. Imagem de uma fonte radioativa de ^{241}Am (fótons de 60 keV) colocada a 30 m de distância da máscara, no centro do campo de visada. Esta imagem simula uma observação de um objeto astrofísico pelo telescópio MASCO.

Um dos desenvolvimentos mais importantes do projeto MASCO foi a construção, pela primeira vez no país, de cintiladores plásticos de grande volume. Isso foi realizado pelo IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares) em cooperação com o INPE. Esses detectores funcionaram como blindagem ativa para os detectores principais de NaI do telescópio (D'Amico *et al.*, 1999). Na Figura 5 mostra-se o telescópio em testes no hangar do aeroporto de Nova Ponte, MG, antes do lançamento.

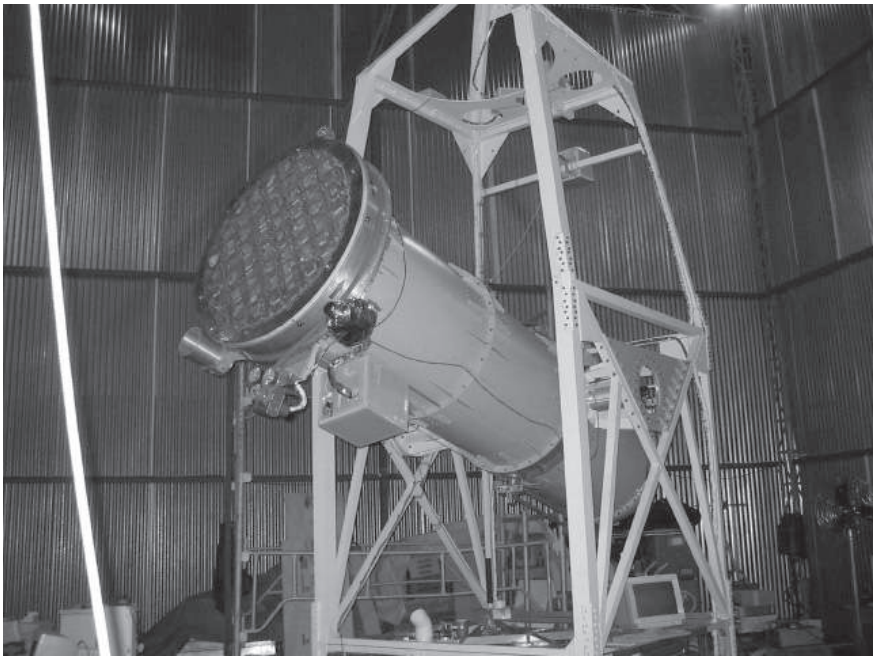


Figura 5. O telescópio MASCO montado em um eixo horizontal na gôndola de balão estratosférico; o movimento em torno desse eixo permite o apontamento do telescópio em diferentes **elevações.** Para o movimento em **azimute**, a gôndola inteira gira em torno de seu eixo vertical através de um sistema que, ao mesmo tempo em que a prende aos cabos que levam ao balão, permite que ela gire de forma independente com um mínimo de atrito. Este sistema é denominado desacoplador. A estrutura no alto à esquerda é a máscara codificada giratória, constituída de elementos de chumbo colados em uma placa de fibra de carbono. Tubos de alumínio conectam a máscara com os detectores na outra extremidade. A gôndola tinha 6 m de altura e uma seção de 2 m x 2 m na base. O peso total do experimento era de 2 t.

A gôndola (plataforma) de balão que abrigou o telescópio MASCO era estabilizada e possuía um sistema eletrônico de controle de atitude inédito no país (Villela *et al.*, 2000). Na verdade, o sistema desenvolvido teve várias características que o aproximam de um sistema de controle de atitude de satélites de 3 eixos, ainda não inteiramente desenvolvido no Brasil. O telescópio foi colocado numa configuração **altazimutal** controlada que permitia apontamentos contínuos para os objetos astrofísicos de interesse com uma precisão média de 6' de arco. Uma vez apontado para o alvo, o sistema entrava em modo inercial para acompanhamento com o auxílio de giroscópios eletrônicos. O instrumento empregava dois sensores estelares com detectores CCD (*Charge Coupled Device*) para reconhecimentos do campo estelar e guiagem, desenvolvidos

especialmente para este projeto (Mejía *et al.*, 2000), além de magnetômetros. Durante o período diurno, eram utilizados um sensor solar e um rastreador solar. Na Figura 6 vê-se o experimento pendurado num guindaste para testes do sistema de controle.

Figura 6. O telescópio MASCO em um guindaste para a realização de testes do sistema de controle e apontamento, no aeroporto da cidade de Nova Ponte, MG.

O MASCO foi lançado em 1º de abril de 2004 em Nova Ponte, às 2h4 (horário de Brasília), e voou por aproximadamente 11 horas a uma altitude média de 39,5 km. O lançamento, voo, separação da carga útil e descida de paraquedas ocorreram sem problemas e a carga útil foi recuperada praticamente intacta. Durante o voo, o sistema de controle de atitude funcionou bem e as operações de apontamento foram nominais. No entanto, o sistema de telemetria adquirido da empresa francesa ELTA apresentou problemas, posteriormente atribuídos a um cabo, que impediu um bom funcionamento a distâncias maiores do que ~150 km da estação, prejudicando significativamente a operação do sistema de controle devido às constantes perdas de comunicação. Ademais, um problema numa trilha condutora num circuito integrado do sistema de suprimento de energia para a eletrônica associada

ao sistema detector impediu a gravação dos dados provenientes do detector principal após 2 horas de voo, antes da chegada do telescópio à altitude de observações científicas. Considerando que este foi o primeiro voo do experimento, pode-se considerar o voo bem-sucedido, tendo retornado dados valiosos de engenharia a respeito do desempenho do detector e especialmente do sistema de controle de atitude. Infelizmente, os altos custos envolvidos e a perda de pessoal técnico especializado não permitiu que o experimento fosse lançado novamente em balão. É importante ressaltar que este projeto teve suporte financeiro significativo da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do INPE.

HETE-2

O pequeno satélite HETE-2, concebido e operado pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), e financiado e lançado pela NASA em 9 de outubro de 2000 por um foguete *Pegasus* (*Orbital Sciences Corporation*) foi o primeiro satélite inteiramente dedicado ao estudo dos enigmáticos surtos de raios γ (GRB: *Gamma Ray Bursts*), as maiores explosões que ocorrem no universo.

O principal objetivo da missão foi o de detectar e localizar no céu um grande número de GRBs, disseminando rapidamente as posições pela *internet* para que outros observatórios, em diversos comprimentos de onda, pudessem observar as regiões dos GRBs e estudar com o máximo de detalhes os chamados *afterglows* (ou brilhos posteriores), permitindo assim a identificação dos GRBs com objetos astrofísicos e um avanço do conhecimento sobre esses eventos. Na Figura 7 vemos o satélite sendo preparado para lançamento.

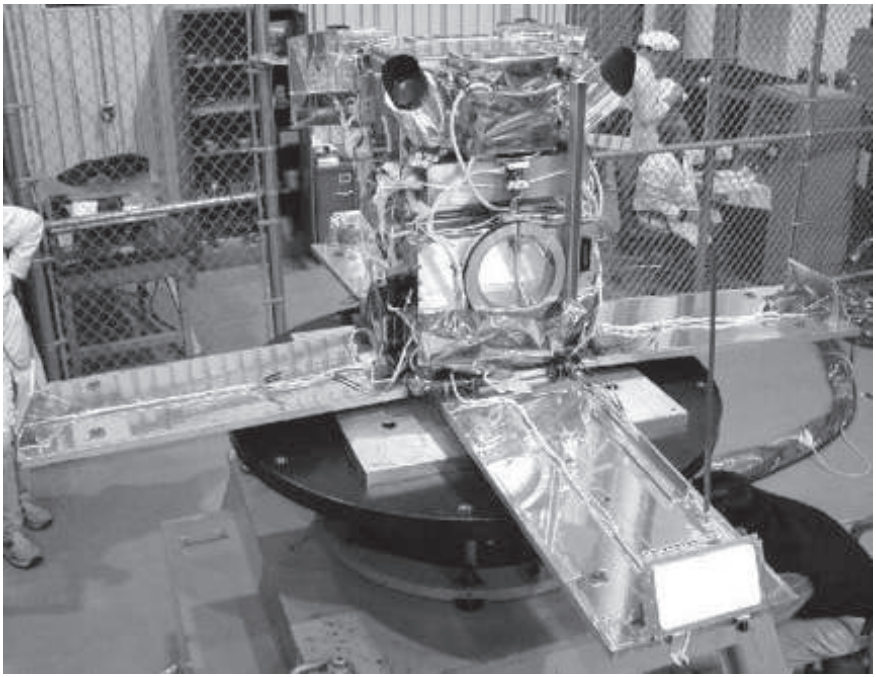


Figura 7. O satélite HETE–2 em preparação para lançamento por um foguete *Pegasus.* Este satélite contou com a colaboração científica do INPE e com uma estação de recepção em Natal, RN. As dimensões do satélite, excluindo os painéis solares, são de aproximadamente 2 m x 1 m x 1 m (Fonte: NASA)

O satélite abrigava 3 experimentos, sendo 2 de máscara codificada (SXC, *Soft X-ray Camera* e WXM, *Wide-field X-ray Monitor*, cobrindo a faixa de 0,5 a 25 keV) e um experimento de **raios** γ (FREGATE, *French Gamma-Ray Telescope*) que fazia a detecção inicial do GRB. Após a detecção inicial pelo FREGATE, a posição do GRB era calculada a bordo pelos outros dois instrumentos (se possível), e a informação era imediatamente enviada para a estação de solo mais próxima do satélite. Para isso, foi montada uma rede estações de VHF (*Very High Frequency*) ao longo de todo o equador terrestre (Figura 8) de forma que o satélite estivesse sempre ao alcance de pelo menos uma estação terrena. Uma dessas estações foi montada na unidade do INPE em Natal, RN, e foi estabelecida uma cooperação científica e técnica com o INPE, especialmente com o autor deste texto.

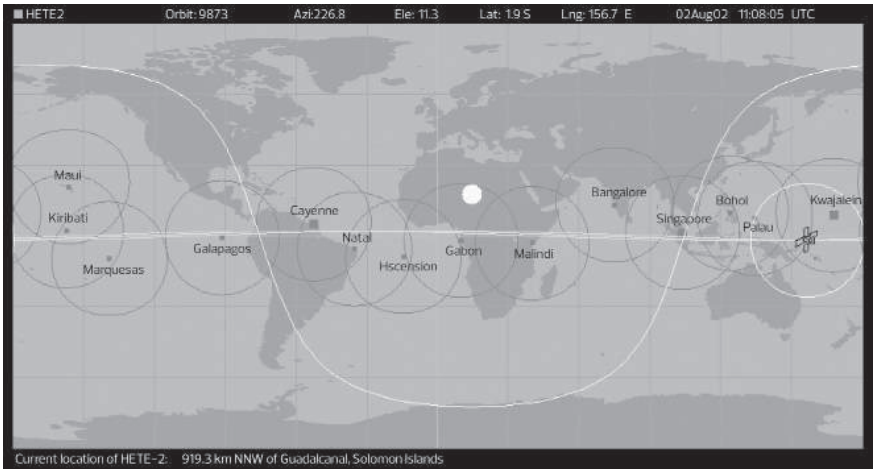


Figura 8. Rede de estações VHF do satélite HETE–2. Umas das estações foi montada no INPE, como parte de uma colaboração científica e técnica. A rede de estações permitia o envio em tempo quase real das posições de ocorrência no céu dos GRBs detectados pelo satélite.

A missão HETE-2 foi extremamente profícua em resultados. Exemplos dos mais significativos foram a confirmação de forma inequívoca da conexão entre GRB e **supernovas**, com a descoberta do evento GRB 030329 (Vanderspeck *et al.*, 2004), e a solução da origem e da natureza dos GRBs de curta duração (< 2 s) com a descoberta de GRB 050709, o primeiro GRB de curta duração para o qual um *afterglow* no **óptico** foi detectado (Villasenor *et al.*, 2005). Este resultado foi inclusive matéria de capa da revista *Nature* de 6 de outubro de 2005 (Figura 9).

Figura 9. Capa da revista *Nature* de 6 de outubro de 2005, dando destaque à descoberta, pelo satélite HETE–2, do GRB 050709, o primeiro GRB de curta duração para o qual um *afterglow* no **óptico** foi detectado.

MIRAX

O MIRAX (Monitor e Imageador de Raios X) é um projeto que surgiu em resposta a um anúncio de oportunidades interno no INPE em 1999. A ideia era proporcionar às divisões científicas do INPE a oportunidade de lançar experimentos no espaço (em satélites) uma vez que toda a infraestrutura disponível no INPE já permitia o desenvolvimento de plataformas de pequeno porte com um sistema de controle de atitude capaz de satisfazer aos requisitos típicos de missões científicas. Na DAS, o projeto selecionado foi o de uma missão de astronomia de raios X concebido e liderado pelo autor deste texto, com o objetivo de realizar um acompanhamento temporal e espectral (**espectro**) sem precedentes de fontes transientes de raios X na **Galáxia**.

Iniciado em 2000, o MIRAX possui importantes colaborações internacionais com a Universidade da Califórnia em San Diego (UCSD), o *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* (CfA), e o MIT, entre outras instituições. O principal objetivo científico da missão é estudar um grande número de fontes transientes e fenômenos variáveis em **estrelas de nêutrons** e **buracos negros** em sistemas binários de **acresção** com uma alta cadência temporal, além de investigar GRBs na faixa de raios X duros. O MIRAX será composto por um conjunto de câmaras imageadoras de raios X duros formado por telescópios de máscara codificada de alta **resolução** angular e amplo campo de visada operando na faixa de 5 a 200 keV. Esses instrumentos proverão **espectros** e séries temporais dos fluxos de um grande número de fontes transientes de raios X, o que será obtido através de estratégia de varredura de alta fração do céu a cada órbita. O satélite, na sua configuração atual (em revisão), deverá ter uma massa de cerca de 200 kg, proverá uma potência de 90 W para os instrumentos científicos e deverá ser lançado em uma órbita circular de baixa inclinação[11] (5º) e baixa altitude (~650 km) por volta de 2018. A Figura 10 mostra uma representação artística dos instrumentos do MIRAX a bordo de uma plataforma de satélite do INPE, a plataforma multimissão.

[11] A inclinação da órbita é em relação ao equador terrestre.

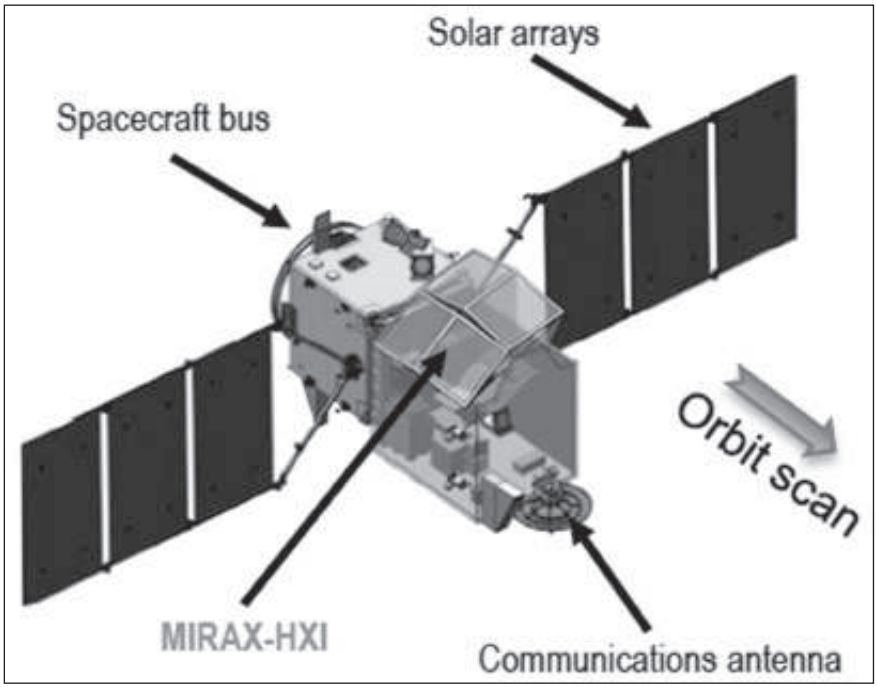


Figura 10. As 4 câmaras de raios X do MIRAX a bordo de uma plataforma multimissão do INPE. O eixo principal do instrumento é inclinado 25º em relação ao zênite na direção sul para maximizar a cobertura da região central do plano galáctico, onde a maior parte das fontes transientes de raios X se concentra.

O MIRAX irá realizar um levantamento sistemático em raios X duros (5-200 keV) do bojo e do plano galáctico para entender as distribuições e a natureza de **objetos colapsados** e descobrir novos transientes, além de fazer levantamento de **buracos negros** isolados obscurecidos e remanescentes de **supernovas** jovens nas nuvens moleculares gigantes no plano galáctico (Braga *et al.*, 2004; Braga, 2006).

A grande maioria dos fenômenos que ocorrem na faixa de energias abaixo de 10 keV são de natureza térmica, como a emissão do gás quente ($T \sim 10^7$-10^8 K) e difuso que permeia aglomerados de **galáxias**, ou de coroas estelares ($T \sim 10^5$-10^6 K), ou de um disco de **acresção** em torno de um **objeto colapsado** ($T \sim 10^6$-10^7 K). No entanto, espera-se que os objetos que emitem raios X com energias acima de 10 keV revelem uma série de fenômenos não térmicos. Em muitos casos existe emissão significativa até centenas de keV. Por esta razão é importante construir telescópios com uma faixa dinâmica ampla para que se possa distinguir entre processos de emissão não térmicos

que competem entre si. O MIRAX será capaz de contribuir para o estudo de uma variedade de fenômenos e objetos em **astrofísica** de **altas energias**, especialmente nesse domínio não térmico, ainda relativamente inexplorado, das observações em raios X duros. Sua configuração possibilitará investigar no domínio temporal diversos tipos de fontes astrofísicas de **altas energias**, incluindo jatos de **buracos negros** com **acresção**, surtos oriundos de **estrelas de nêutrons**, emissão altamente variável de magnetares[12] e **núcleos ativos de galáxias**. Além disso, a missão MIRAX poderá realizar investigação conjunta pioneira de GRBs de curta duração em raios X duros e **ondas gravitacionais** que deverão ser observadas pelo detector *Advanced LIGO*[13], já que este instrumento deve entrar em operação em 2015 (ver o Capítulo "Ondas gravitacionais" neste Volume). Uma detecção conjunta de um evento explosivo em raios X e um evento tipo surto em **ondas gravitacionais** dará enorme suporte à teoria de que os GRBs de curta duração são produzidos por coalescência de **objetos colapsados** (duas **estrelas de nêutrons** ou uma **estrela de nêutrons** e um **buraco negro**).

A geometria de varredura do céu do MIRAX, com direção de apontamento deslocada de 25° ao sul do zênite, foi escolhida principalmente para observar o bojo e o plano galáctico sul, mas também cobre uma grande porção do céu **extragaláctico**. A Figura 11 mostra a cobertura do céu que a missão irá propiciar e a respectiva sensibilidade em cada região.

---

[12] Magnetar é um tipo de **estrela de nêutrons** que se distingue por possuir um campo magnético extraordinariamente intenso.

[13] LIGO: *Laser Interferometry Gravitational Wave Observatory.*

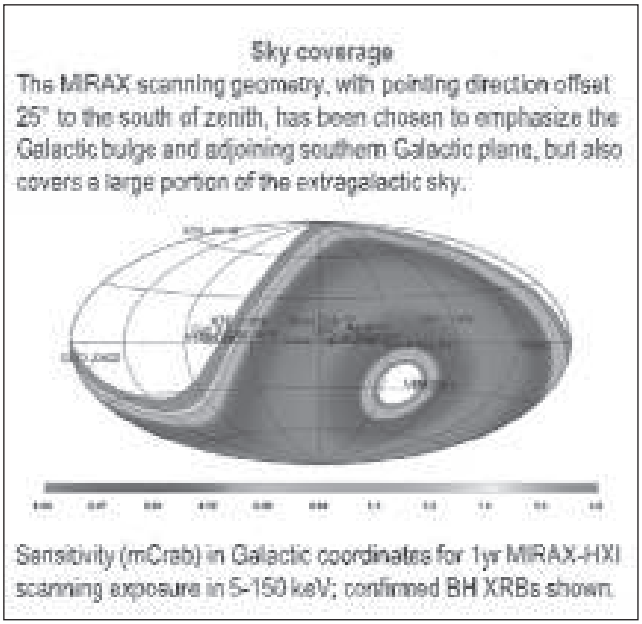


Figura 11. Cobertura do céu pelo MIRAX em coordenadas galácticas para um ano de observação entre 5 e 150 keV. A posição de **buracos negros** galácticos conhecidos é mostrada no mapa. A escala de cores fornece a sensibilidade do instrumento em unidades de *mCrab* (milésimo do fluxo da nebulosa do Caranguejo[14], uma vela padrão em **astrofísica** de raios X duros).

Os detectores de raios X do MIRAX estão sendo desenvolvidos em uma parceria com o CfA e vão operar na faixa de energia de 5 a 200 keV (Rodrigues *et al.*, 2013). O conjunto instrumental será composto por quatro telescópios idênticos que empregam um plano detector (DM — *Detector Module*) composto por detectores de CdZnTe (conhecidos como CZT) de 256 cm² de área efetiva por telescópio, uma máscara de tungstênio de 48 x 48 cm², um sistema de blindagem passiva de Pb/Sn/Cu/Al e uma fonte radioativa para calibração em voo. Detectores de estado sólido CZT, constituídos de uma liga de CdTe (90%) e ZnTe (10%), possuem propriedades que favorecem altamente sua utilização em **astrofísica** de **altas energias**, como alta densidade (5,8 g/cm³) e alto número atômico médio (~50), que proporcionam alta eficiência fotoelétrica de detecção de fótons de raios X até centenas de keV, baixo custo, e boa **resolução** em energia à temperatura ambiente. Cada DM é formado por um arranjo 8 x

[14] A nebulosa do Caranguejo é resto da **supernova** observada na constelação do Touro em 1054.

8 de cristais de CZT justapostos (de dimensões 19,5 mm x 19,5 mm x 5 mm) montados em uma placa com dispositivos eletrônicos que permite a leitura dos pulsos gerados pelas interações dos fótons nos detectores. Os detectores do MIRAX serão "pixelados", ou seja, a informação de posição (*x, y*) da interação de cada fóton no material será conhecida com uma precisão de 600 μm através da leitura dos sinais de microeletrodos montados na placa.

O arranjo de múltiplos módulos detectores possibilita um campo de visada amplo e mínimo ruído de fundo cósmico em raios X, que é mais intenso em energias mais baixas (5-50 keV). A área da máscara codificada de cada telescópio corresponde a 9 vezes a área do plano detector, e foi determinada para cobrir um campo de visada de 25° x 25° totalmente codificado pela máscara, de modo que o campo de visada do instrumento combinado (4 telescópios) é de 50° x 50°. O campo de visada de cada telescópio permite o posicionamento da máscara a 70 cm de distância focal do plano detector, propiciando uma **resolução** angular de 5,5'. A fonte radioativa fornece fótons de 60 keV do ^{241}Am para monitorar o ganho de todos os detectores CZT continuamente ao longo da missão, e também durante os testes em solo dos 4 telescópios. A Figura 12 mostra um diagrama conceitual do conjunto de câmaras imageadoras do MIRAX.

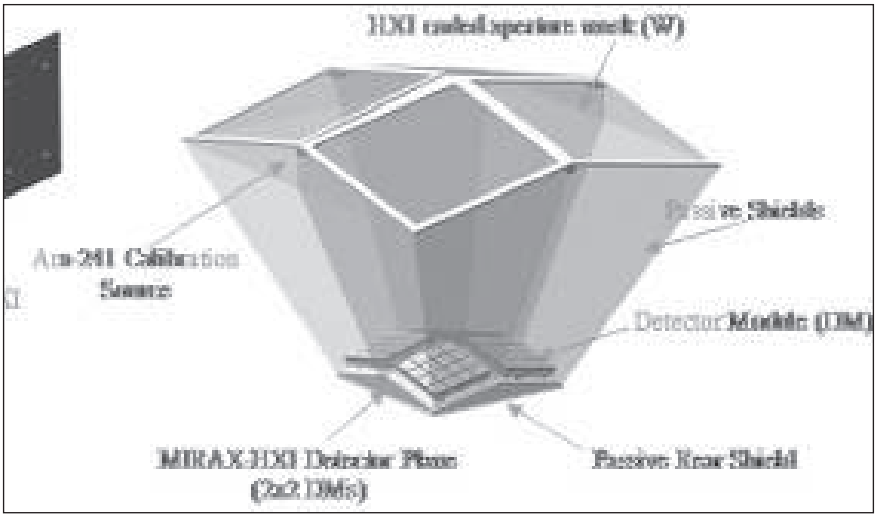


Figura 12. Visão conceitual do conjunto de câmaras de máscara codificada do MIRAX. O plano detector é formado pelos quatro DMs.

protoMIRAX

O protoMIRAX é um experimento científico que tem como objetivo principal testar e qualificar em voos de balão estratosférico vários subsistemas do MIRAX. O projeto irá testar, em ambiente quase-espacial, subsistemas tais como o computador de bordo e o sistema de aquisição e formatação de dados (incluindo *hardware* e *software*), o sistema de detecção de eventos (eletrônica associada aos detectores), e alguns aspectos dos sistemas de suprimento de energia e de telecomunicações. Um outro objetivo técnico é a obtenção de imagens de alvos astrofísicos para calibração e testes do sistema de imageamento por máscara codificada. Para esses testes, serão provavelmente observadas duas fontes intensas de raios X: a nebulosa do Caranguejo e seu **pulsar** e a fonte binária de raios X *Scorpius X-1*. Simulações detalhadas já realizadas mostram que o experimento terá boa sensibilidade na faixa de 30 a 200 keV e será capaz de obter imagens de fontes de raios X relativamente brilhantes.

O experimento é composto basicamente de uma câmara imageadora de raios X montada a bordo de uma gôndola de balão estratosférico. A câmara utilizará um arranjo de 196 detectores de CZT, cada um com uma área de 10 mm x 10 mm e espessura de 2 mm, numa configuração quadrada 13 x 13. Esses detectores são do mesmo material dos detectores do MIRAX e representam o estado-da-arte em detectores de raios X duros pela alta eficiência fotoelétrica até centenas de keV e boa **resolução** espectral à temperatura ambiente, como já foi mencionado acima. Em razão de restrições físicas de montagem da eletrônica associada a cada detector, haverá uma separação de 10 mm entre detectores adjacentes, de forma que o plano detector terá 625 cm^2 de área total e 196 cm^2 de área sensível. A faixa de energia de operações será de 30 a 200 keV. O limite inferior é imposto pela absorção atmosférica residual em altitudes de balão (~42 km) e o limite superior é determinado pela eficiência fotoelétrica de detectores CZT com essa espessura.

À frente do plano de detectores, será montado um colimador formado por paredes de 7 cm de altura e células de 20 mm de distância entre centros, de forma que cada detector ficará no fundo de uma célula do colimador. As paredes terão núcleo de chumbo (0,5 mm), ladeados por placas de cobre (0,3 mm), proporcionando uma absorção gradual de raios X (a fluorescência do chumbo é absorvida pelo cobre e a fluorescência do cobre cai abaixo da faixa de energia dos detectores).

O conjunto de detectores e a eletrônica associada serão colocados dentro de um recipiente pressurizado, que por sua vez será circundado (nas laterais e na parte inferior) por uma blindagem passiva para absorver raios X que

sejam provenientes de direções externas ao campo de visada determinado pelos colimadores. A 65 cm de distância do plano detector será montada uma máscara codificada construída a partir de um padrão MURA 13 x 13, repetido 4 vezes, com elementos de chumbo de 1 mm de espessura e dimensões de 2 mm x 2 mm.

Com essa configuração, a câmara de raios X terá um campo de visada total de 20º x 20º, definido pelo colimador e totalmente codificado pela máscara, e uma **resolução** angular de 1º 43´. A parte do campo de visada que terá sensibilidade máxima será de 4º x 4º.

A gôndola de balão estratosférico do protoMIRAX incluirá, além da câmara de raios X, vários outros subsistemas. A câmara será montada num sistema **altazimutal**, permitindo o apontamento e acompanhamento de alvos astrofísicos. O ângulo de **elevação** será conhecido através de um codificador de posição e o **azimute** será dado pela orientação da gôndola no espaço, determinada a partir de magnetômetros. Uma roda de reação e um sistema desacoplador entre a gôndola e a estrutura de cabos que a prende ao balão permite a movimentação em **azimute**, de forma semelhante ao sistema do telescópio MASCO. Um sensor estelar desenvolvido no INPE identificará padrões de estrelas no céu de modo a fornecer a orientação do telescópio de forma independente e mais precisa. A gôndola terá ainda três *racks* eletrônicos independentes, um para o sistema de aquisição de dados, outro para o sistema de controle de voo e o último para o sistema de telemetria e telecomando. A gôndola está sendo desenvolvida em parceria com a empresa COMPSIS, de São José dos Campos, SP, que está desenvolvendo o sistema de controle de atitude com forte herança do sistema utilizado no projeto MASCO. Na Figura 13 é mostrado o projeto mecânico do experimento.

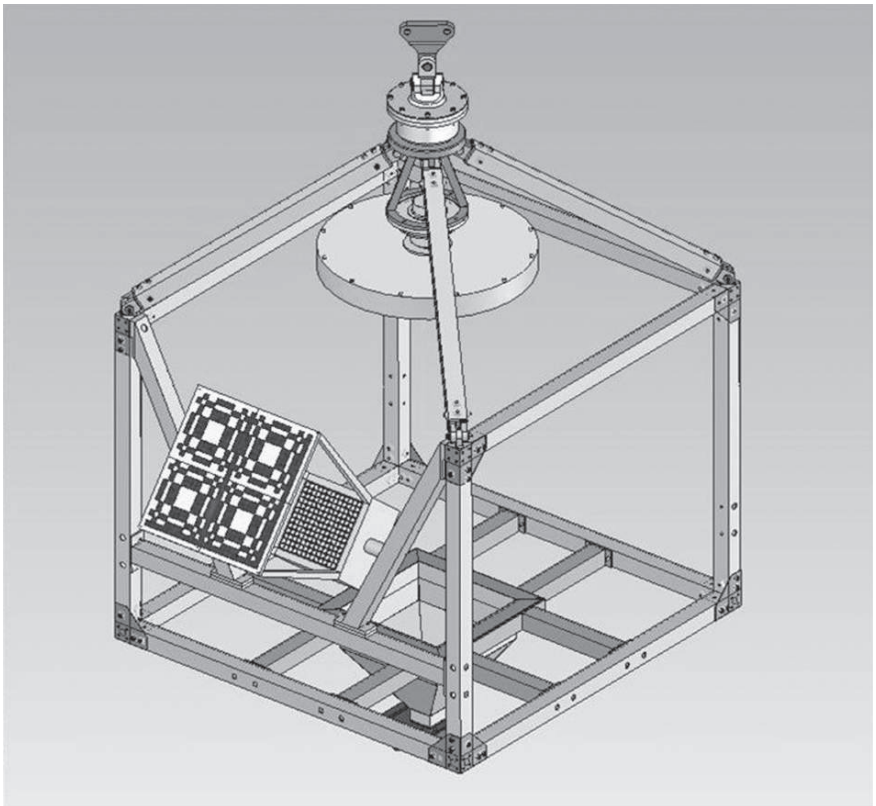


Figura 13. Projeto mecânico simplificado (para melhor visualização) da gôndola de balão estratosférico do projeto protoMIRAX, mostrando apenas o subsistema da câmara de raios X e a roda de reação.

O protoMIRAX deverá ser lançado em voos de balões estratosféricos em 2015 e 2016.

Considerações finais

A ciência brasileira, do ponto de vista de produtividade e relevância internacional, cresceu de forma significativa ao longo das últimas décadas. No caso da astronomia, houve acentuado aumento do número de trabalhos publicados e maior inserção de pesquisadores brasileiros em projetos internacionais. No entanto, é importante que o país faça investimentos em instrumentação científica e desenvolva projetos espaciais, uma vez que a astronomia feita a partir do solo será sempre limitada pela absorção e turbulência atmosféricas.

Para que o Brasil seja cada vez mais um *player* importante no cenário internacional, é necessário que a astronomia nacional ganhe profundidade com o desenvolvimento de instrumentos para observação em todos os comprimentos de onda e com a concepção e execução de missões espaciais. A astronomia é cada vez mais uma ciência que depende de combinação de mensageiros cósmicos de diversos tipos para caracterizar sistemas e objetos astrofísicos, e não mais de observações em um único canal ou faixa espectral. A **astrofísica** de partículas (astropartículas), de **neutrinos** e de **ondas gravitacionais** já são uma realidade. No domínio eletromagnético, a caracterização de objetos através de observações em diversas faixas espectrais tem importância crescente, e muitas dessas observações só podem ser realizadas em plataformas espaciais.

Referências

Braga, João (1984), "Medidas de Linhas Nucleares com um Telescópio Ge(Li) Duplo a Bordo de Balão Estratosférico", *Tese de Mestrado em Astrogeofísica*, INPE.

Braga, João (1989), "Formação de Imagens em Astrofísica de Altas Energias", *Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira*, 11, 2, 45-58.

Braga, João (1990), "Técnicas de Imageamento em Raios X Duros com Máscaras Codificadas", *Tese de Doutorado em Astronomia*, IAG/USP.

Braga, João (1993), "O Observatório Compton", *Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira*, 13, 1, 49-61.

Braga, João (2002), "Bursts de Raios Gama", *Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira*, 22, 2, 9-15.

Braga, João (2006), MIRAX Mission Overview and Status, *AIP Conference Proceedings*, 840, 3-7.

Braga, João; D'Amico, F. and Villela, T. (1994), Development of the hard X-ray imaging experiment TIMAX: Laboratory images and first balloon flight, *Experimental Astronomy*, 5, 269-278.

Braga, João; D'Amico, F. and Villela, T. (1995), Development of the balloon-borne hard X-ray imaging experiment TIMAX, *Advances in Space Research*, 15, 5, 157-160.

Braga, João; D'Amico, F.; Villela, T.; Mejía Cabeza, J.; Fonseca, R. A. and Rinke, E. (2002), Development of the Imaging System of the Balloon-Borne Gamma-Ray Telescope MASCO, *Review of Scientific Instruments*, 73, 10, 3619-3628.

Braga, João; Rothschild, R.; Heise, J.; Staubert, R.; Remillard, R.; D'Amico, F.; Jablonski, F.; Heindl, W.; Matteson, J.; Kuulkers, E.; Wilms, J. and Kendziorra, E. (2004), MIRAX: A Brazilian X-ray Astronomy Satellite Mission, *Advances in Space Research*, 34, 2657-2661.

Braga, João; Villela, T.; Jayanthi, U. B.; D'Amico, F. and Neri, J. A. (1991), A new mask-antimask coded-aperture telescope for hard X-ray astronomy, *Experimental Astronomy*, 2, 2, 101-113.

BuiVan, N.; Braga, J. and Jardim, J. O. D. (1987), Gamma-ray background induced in a double Ge(Li) spectrometer at balloon altitudes in the Southern Hemisphere, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A*, 258, 132-140.

BuiVan, A.; Martin, I. M.; Blanco, F. G. and Braga, J. (1984), Pulsar: A Balloon Borne Experiment to Detect Variable Low Energy Gamma-Ray Emissions, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 9, 85-89.

D'Amico, F; Hamada, M.; Mesquita, C.; Maurovieira, J.; Costajr, N; Villela, T. and Braga, J. (1999), Development of large volume organic scintillators for use in the MASCO telescope, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A*, 422, 139-143.

Fenimore, E. E. and Cannon, T. M. (1978), Coded aperture imaging with uniformly redundant arrays, *Applied Optics*, 17, 337-347.

Gunji, S.; Hirayama, M.; Kamae, T.; Miyazaki, S.; Sekimoto, Y.; Takahashi, T.; Tamura, T.; Tanaka, M.; Yamasaki, N.; Yamagami, T.; Nomachi, M.; Murakami, H.; Braga, J. and Neri, J. A. (1994), Observation of pulsed hard X-rays/gamma-rays from PSR 1509-58, *The Astrophysical Journal*, 428, 284-292.

Gunji, S.; Kamae, T.; Miyazaki, S.; Sekimoto, Y.; Takahashi, T.; Tamura, T.; Tanaka, M.; Yamaoka, N.; Yamagami, T.; Nomachi, M.; Murakami, H.; Braga, J. and Neri, J. A. (1992), A limit on the Co-57 gamma-ray flux from SN 1987A, *The Astrophysical Journal (Letters)*, 397, L83-L86.

Jayanthi, U. B. and Braga, J. (1991), Physical implementation of an antimask in URA -based coded mask systems, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A*, 310, 685-689.

Jayanthi, U. B.; Jablonski, F. J. and Braga, J. (1987), Low-Energy Gamma Rays from Pulsar GX 1+4: Balloon Results, *Astrophysics and Space Science*, 138, 183-189.

Lubin, P.; Villela, T.; Epstein, G. and Smoot, G. (1985), A map of the cosmic background radiation at 3 millimeters, *The Astrophysical Journal (Letters)*, 298, L1-L4.

Mejía, J. (2002), "Astrofísica de Altas Energias: Desenvolvimento do Telescópio MASCO e Observações de GRO J1744-28 com o Telescópio SIGMA", *Tese de Doutorado em Astrofísica*, INPE.

Mejía, J.; Villela, T. and Braga, J. (2000), The CCD stellar sensor of the MASCO telescope pointing system, *Advances in Space Research*, 26, 9, 1407-1410.

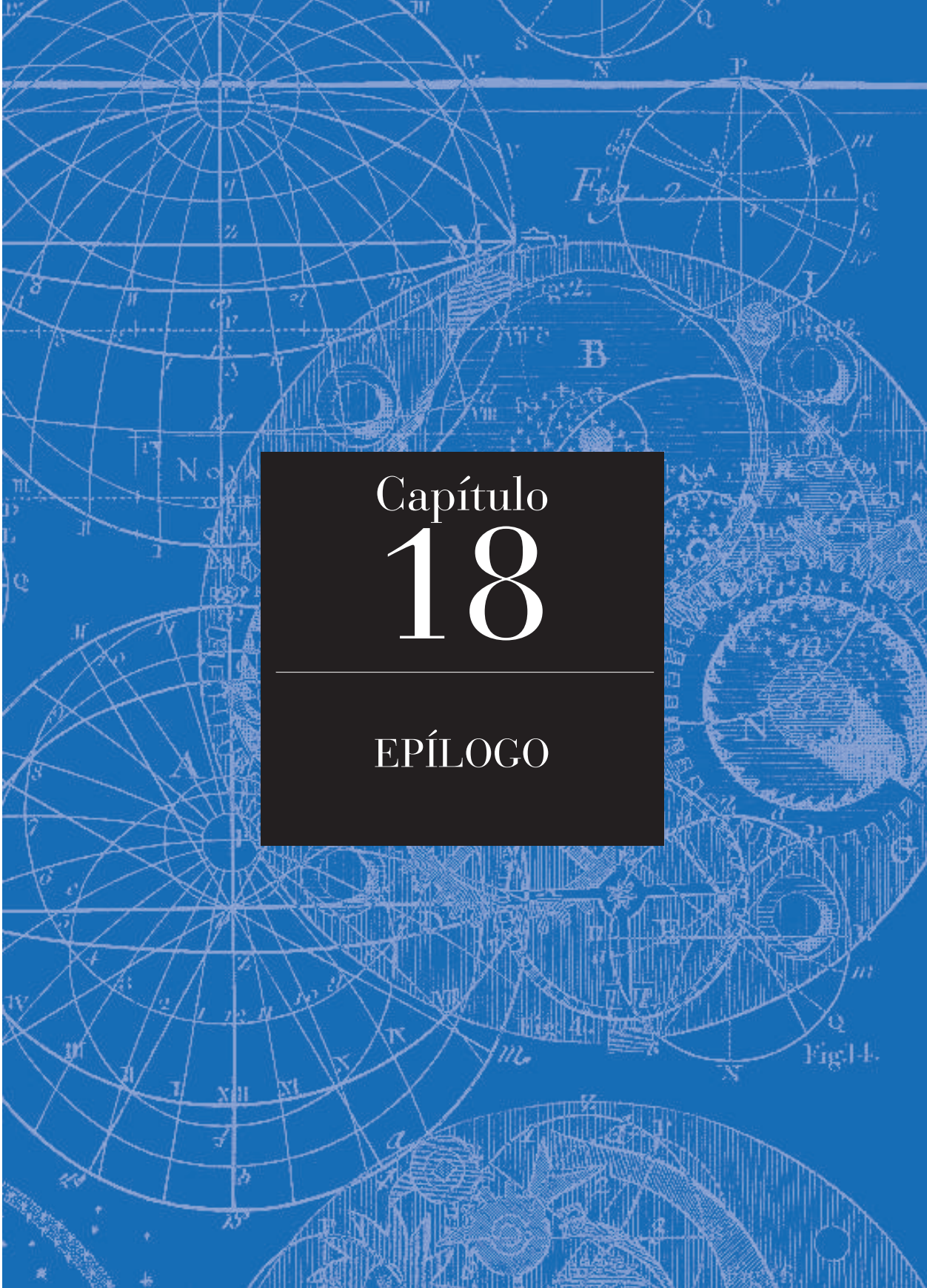
Miyazaki, S.; Takahashi, T.; Gunji, S.; Hirayama, M.; Sekimoto, T. K. Y.; Tamura, T.; Tanaka, M.; Yamasaki, N. Y.; Kano, H. I. T.; Yamagami, T.; Nomachi, M.; Murakami, H.; Braga, J. and Neri, J. A. C. (1996), X-Ray/Soft Gamma-Ray Observations of Centaurus A and its Implication on the Emission Mechanism, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 48, 801-811.

Rodrigues, B. H. G.; Grindlay, J. E.; Allen, B.; Hong, J.; Barthelmy, S.; Braga, J.; D'Amico, F. and Rothschild, R. E. (2013), The high resolution X-ray imaging detector planes for the MIRAX mission, *Journal of Instrumentation*, 8, P09010-P09010.

Vanderspek, R.; Sakamoto, T.; Barraud, C.; Tamagawa, T.; Graziani, C.; Suzuki, M.; Shirasaki, Y.; Prigozhin, G.; Villasenor, J.; Jernigan, J. G.; Crew, G. B.; Atteia, J.-L.; Hurley, K.; Kawai, N.; Lamb, D. Q.; Ricker, G. R.; Woosley, S. E.; Butler, N.; Doty, J. P.; Dullighan, A.; Donaghy, T. Q.; Fenimore, E. E.; Galassi, M.; Matsuoka, M.; Takagishi, K.; Torii, K.; Yoshida, A.; Boer, M.; Dezalay, J.-P.; Olive, J.-F.; Braga, J.**;** Manchanda, R. and Pizzichini, G. (2004), Observations of the Gamma-Ray Burst GRB 030329: Evidence for an Underlying Soft X-Ray Component, *The Astrophysical Journal*, 617, 1251-1257.

Villasenor, J. N.; Lamb, D. Q.; Ricker, G. R.; Atteia, J.-L.; Kawai, N.; Butler, N.; Nakagawa, Y.; Jernigan, J. G.; Boer, M.; Crew, G. B.; Donaghy, T. Q.; Doty, J.; Fenimore, E. E.; Galassi, M.; Graziani, C.; Hurley, K.; Levine, A.; Martel, F.; Matsuoka, M.; Olive, J.-F.; Prigozhin, G.; Sakamoto, T.; Shirazaki, Y.; Suzuki, M.; Tamagawa, T.; Vanderspek, R.; Woosley, S. E.; Yoshida, A.; Braga, J.; Manchanda, R.; Pizzichini, G.; Takagishi, K. and Yamauchi, M. (2005), Discovery of the short gamma-ray burst GRB 050709, *Nature*, 437, 855-858.

Villela, T.; Fonseca, R.; Souza, P.; Alves, A. M. R.; Mejía, J.; Correa, R. V. and Braga, J. (2000), Development of an attitude control system for a balloon-borne gamma ray telescope, *Advances in Space Research*, 26, 9, 1415-1418.



Capítulo 18

EPÍLOGO

Reflexões sobre o passado e o futuro da astronomia no Brasil

J. A. de Freitas Pacheco
*(Université de Nice-Sophia Antipolis
Observatoire de la Côte d'Azur)*

Este Capítulo, que encerra a presente obra, começa apresentando depoimento memorialístico em que são destacados os eventos considerados mais determinantes para a construção da nova astronomia no Brasil. Em seguida descreve a evolução paralela das diversas subáreas que compõem a pesquisa astronômica no Brasil, culminando na situação atual com engajamento em projetos e consórcios internacionais, com capacitação já estabelecida no trato de volumosos bancos de dados astronômicos. Por fim, apresenta uma análise dos pontos fortes e fracos da astronomia brasileira, culminando com sugestões para melhorar nossa capacitação em novas técnicas instrumentais ligadas a alta resolução angular, estimular o desenvolvimento instrumental e a participação de universidades na concepção e realização de projetos astronômicos espaciais, além de uma reestruturação da SAB, assim como uma revisão de seu papel em instâncias governamentais.

Antes do início

Redigir o Capítulo final de uma obra sobre a história da astronomia brasileira, na qual diversos autores, com visões e sensibilidades distintas contribuem, é uma imensa tarefa e uma grande responsabilidade. Os riscos são importantes e a possibilidade de que os objetivos não sejam plenamente alcançados não é desprezível. Espero que, com tal salvaguarda, os leitores deste Capítulo sejam condescendentes, caso a síntese das ideias exprimidas não seja bem-sucedida.

Não existe ainda um consenso na comunidade para se acordar um marco fixando a implantação da astronomia no Brasil, isto é, fixando o momento a partir do qual grupos de pesquisa passaram a ter uma existência perene, com projetos bem definidos e desenvolvendo um programa adequado de formação de estudantes. Vários textos retrospectivos, por exemplo, Rocha Vieira e Steiner (1982), mencionam a década de 70, mas, no meu entender, os anos 60 representam melhor o período onde uma transição ocorreu na astronomia brasileira, como procurarei justificar mais adiante.

Isto não significa a inexistência de atividades em astronomia no período anterior a década de 60 no qual, muito pelo contrário, podemos destacar as ações de individualidades que muito contribuíram para o desenvolvimento da disciplina.

Certamente um dos nomes frequentemente lembrados é o de Mário Schenberg, um dos mais importantes físicos brasileiros (ver "Mário Schenberg, pioneiro da astrofísica teórica brasileira" no Capítulo "Astrofísica", no Volume I). Schenberg, na realidade, não tinha preocupação especial com a **astrofísica**. Para ele, dentro de sua visão global, a disciplina se inseriria na física, da mesma forma que, por exemplo, o eletromagnetismo ou a mecânica estatística. Schenberg esteve muito mais preocupado com problemas fundamentais ligados à mecânica quântica, como as álgebras de Clifford ou de Grassmann[1], ou ainda com a procura de uma descrição eletromagnética do espaço-tempo, tal como descrita em um dos seus últimos trabalhos publicado na Revista Brasileira de Física[2] (Schönberg, 1972). Na **astrofísica**, a clarividência de Schenberg manifestou-se durante sua viagem aos Estados Unidos em 1940. Dez anos antes, Wolfgang Pauli havia postulado a existência de uma nova partícula, o **neutrino**. Schenberg, em colaboração com George Gamow, físico russo-americano, estudou a influência da captura β (beta) por um núcleo atômico, com a consequente emissão de um par de **neu-**

---

[1] Um tipo de álgebra com estrutura peculiar e com importantes aplicações na geometria e na física quântica.

[2] Aliás, fica em aberto a questão do por que Schenberg não submeteu esse artigo a uma revista internacional em que certamente seu trabalho teria tido maior impacto.

trinos[3]. Dois importantes trabalhos publicados (Gamow and Schoenberg, 1940; Gamow and Schoenberg, 1941) resultaram desta colaboração, que representam um marco no estudo das fases avançadas da evolução estelar e no entendimento do colapso gravitacional (**objetos colapsados**). Em seguida esteve no Observatório de Yerkes, onde teve a ocasião de trabalhar com Chandrasekhar[4]. Desta colaboração resultou importante artigo (Schönberg and Chandrasekhar, 1942) no qual os autores mostram a consequência dos gradientes químicos na solução das equações de estrutura interna das estrelas e a existência de um limite, conhecido como "limite de Schenberg-Chandrasekhar"[5] que, uma vez ultrapassado, leva a estrela a evoluir fora da chamada **Sequência Principal**. Embora estes sejam os trabalhos de Schenberg em **astrofísica** com maior frequência lembrados ou citados, em 1949, numa colaboração com M. Cosyns, C. Dilworth e G. P. S. Occhialini, ele publicou artigo na revista *Nature*, sobre a possibilidade de alguns sistemas estelares binários serem fontes de **raios cósmicos**.

Após seu retorno ao Brasil, Schenberg foi diretor do Departamento de Física da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (FFCL/USP) de 1953 a 1961, período em que criou o Laboratório de Pesquisas do Estado Sólido e Baixas Temperaturas, uma de suas mais importantes iniciativas em favor do desenvolvimento da física no Brasil, assim como participou ativamente para a aquisição, pela USP, de seu primeiro computador de porte. Infelizmente, Schenberg no Brasil não promoveu nenhuma ação em favor da (então quase inexistente) **astrofísica**, em particular formando ou simplesmente atraindo estudantes que pudessem ser encaminhados futuramente para tal disciplina. Pelo seu carisma, teria certamente antecipado a implantação da **astrofísica** no Brasil, caso tivesse sido essa uma de suas preocupações.

Do ponto de vista do desenvolvimento institucional, devemos mencionar o nome de Lélio Itapuambyra Gama, matemático e astrônomo que participou da criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), foi um dos fundadores do Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA) e seu primeiro diretor (1952 a 1965), acumulando esta função com a direção do Observatório Nacional (ON)[6]. Apesar de ter realizado cerca de 33 mil observações da latitude

---

[3] A reação em questão é conhecida como processo URCA.

[4] Subrahmanyan Chandrasekhar, astrofísico e matemático indo-americano e Prêmio Nobel de Física em 1983.

[5] O limite de Schenberg-Chandrasekhar estabelece um valor da ordem de 12-14% do hidrogênio nuclear que pode ser transformado em hélio, antes que a estrela deixe a **Sequência Principal**.

[6] Lélio Gama foi diretor do ON entre 1951 e 1967, embora tenha ingressado na instituição como "calculador" em 1917.

do Rio de Janeiro durante os anos de 1925 a 1933, seus resultados foram publicados muito mais tarde, em 1977[7]. Tivessem sido publicados antes, teriam certamente contribuído a um melhor conhecimento da rotação da Terra. Seu maior legado, durante os anos que permaneceu ativo no ON, foi o estudo das variações seculares do campo magnético terrestre.

Outro nome de destaque é o de Abrahão de Moraes, diretor do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da USP no período de 1955 a 1970. O Ano Geofísico Internacional, IGY, (1957) permitiu a Abrahão de Moraes uma série de iniciativas em favor da modernização da instituição, em particular a instalação de uma câmara lunar de Markowitz na luneta Zeiss (colaboração com o Observatório Naval de Washington) e de um radiointerferômetro, destinado ao estudo da **ionosfera**, pelos professores Luiz de Queiroz Orsini e Hélio Guerra Vieira da Escola Politécnica (ver o Capítulo "O Instituto Astronômico e Geofísico da USP" no Volume I). Este último instrumento permitiu a Abrahão de Moraes obter registros da **passagem meridiana** dos primeiros satélites artificiais da Terra (Sputnik I e II, Explorer I) e realizar, a partir deles, importante trabalho sobre o achatamento da Terra (Moraes, 1958)[8], que teve grande repercussão na comunidade. Além de sua atividade como cientista, Abrahão de Moraes teve a necessária clarividência ao reconhecer que, para solidificar o desenvolvimento da astronomia no país, seria preciso investir na formação de jovens, criar um observatório de porte e instalá-lo num local adequado. De fato, concluindo o texto do capítulo "A Astronomia no Brasil", parte do livro de Fernando Azevedo, "As Ciências no Brasil", Abrahão de Moraes escreveu:

> Para que possa nosso país cooperar eficazmente para o progresso da astronomia, mister se faz a ereção de um observatório, ou a transferência de um dos existentes para uma região de clima mais propício, afastada dos grandes centros urbanos. Torna-se ainda necessário atrair para nosso meio alguns astrônomos de grande capacidade e enviar aos grandes estabelecimentos europeus e americanos, nossos jovens que se interessem pelos estudos astronômicos.

Abrahão de Moraes, até sua morte em 1970, procurou agir conforme tal linha diretriz: convidou professores estrangeiros para ministrarem cursos em

---

[7] Fato mencionado também em "Imigrantes japoneses no 'menor observatório do mundo'" no Capítulo "Astrônomos amadores", neste Volume.

[8] Novamente deve-se lamentar que este importante trabalho tenha sido publicado nos Anais da Academia Brasileira de Ciências (ABC), revista que, apesar de sua qualidade, não possui ampla circulação internacional.

São Paulo[9], atraiu jovens como Giorgio E. O. Giacaglia, o qual foi preparar seu doutoramento nos EUA, enquanto que Sylvio Ferraz-Mello, Paulo Benevides Soares, Licio da Silva e eu mesmo fomos para a França. Até seu fim prematuro, esteve à frente do estudo de sítios possíveis para a instalação do futuro Observatório Astrofísico Brasileiro (OAB).

A transição dos anos 60

O IGY teve o mérito de conscientizar os pesquisadores da época, trabalhando em astronomia (e/ou geofísica) da necessidade de uma organização da disciplina e a procura de uma estabilidade institucional que garantisse a perenidade das pesquisas.

No início dos anos 60 foi estabelecido um convênio entre a (hoje extinta) Associação de Amadores de Astronomia de São Paulo (AAA-SP) que, em 1959, construiu o primeiro radiotelescópio brasileiro e a Universidade Mackenzie. Nessa ocasião foi criado o GRAM (Grupo de Rádio Astronomia Mackenzie) que futuramente daria origem ao CRAAM (Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie). O GRAM foi um dos primeiros grupos a ter programas científicos bem definidos (física solar e relações solares-terrestres, entre outros), operar um radiobservatório (inicialmente no Parque Ibirapuera em São Paulo e posteriormente em Campos de Jordão e Atibaia), bem como desenvolver um trabalho de formação de estudantes. A história deste grupo confunde-se praticamente com a história da **radioastronomia** no Brasil (ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume).

Em 1966, no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em São José dos Campos, graças a forte apoio do seu reitor, Luiz Cantanhede de Carvalho Almeida Filho, e o incentivo de Abrahão de Moraes, aliado à existência de um telescópio de 52 cm[10], equipado de um fotômetro fotoelétrico (**fotometria**), constituiu-se um pequeno grupo de pesquisas, do qual fiz parte, que se dedicava ao estudo teórico e observacional de estrelas variáveis, bem como da dinâmica de satélites artificiais. No ano seguinte, com o retorno da França de

---

[9] Carlos Varsavsky em 1961, que ministrou curso sobre evolução estelar, Jean Delhaye em 1963, que ministrou curso de astronomia estelar e Roger Cayrel em 1966, que ministrou curso sobre atmosferas estelares.

[10] O observatório do ITA foi inaugurado nos fins dos anos 60. O telescópio foi projetado pelo engenheiro Bradley Young, que contou com importante colaboração do técnico A. Szulc. Tal telescópio, até hoje é o maior instrumento astronômico concebido e construído inteiramente no Brasil.

Sylvio Ferraz-Mello, o qual optou por se incorporar ao ITA, o grupo adquiriu a liderança científica que faltava. Além dos cursos ministrados, Ferraz-Mello coordenou o mestrado em astronomia do ITA, desenvolvendo com estudantes (em particular Carlos Alberto P. de Oliveira Torres e Germano Quast) um profícuo projeto de estudo de estrelas eruptivas (***flare*** *stars*).

Também nos fins dos anos 60, no Instituto de Física (IF) da USP foi formado um grupo de **astrofísica** teórica liderado pelo professor Jun'ichi Osada e do qual faziam parte alguns físicos ligados a Mário Schenberg[11], como Mauro Cattani, Normando Fernandes e L. Rocha-Barros. Este grupo, além de realizar e publicar trabalhos importantes sobre processos físicos que contribuem para a opacidade radiativa no interior das estrelas, atraiu vários estudantes de talento, facilitando bastante a implantação da **astrofísica** no IAG/USP. Os primeiros estudantes que o incipiente grupo de **astrofísica** do IAG acolheu a partir de 1971 vieram de tal grupo e os primeiros cursos de pós-graduação ministrados por professores do IAG[12], foram no IF, graças a uma iniciativa de Osada.

As instabilidades institucionais

A astronomia brasileira teve uma história deveras conturbada. Mudanças frequentes das tutelas de nossas instituições impediram, durante muito tempo, a concretização de qualquer política científica a longo prazo, dificultando o desenvolvimento e a perenidade dos grupos de pesquisa. Some-se a essas dificuldades os inúmeros conflitos de ordem pessoal registrados na história destes estabelecimentos, que constituíram verdadeiros entraves à implantação e ao desenvolvimento da disciplina no país. A estabilidade recente deve-se ao processo de redemocratização do país, ocorrido a partir de 1985.

Estas mudanças tutelares e suas consequências podem ser exemplificadas na história das nossas duas maiores instituições astronômicas, isto é, o ON e o IAG/USP.

O então Imperial Observatório do Rio de Janeiro (IORJ) foi criado em 1827 durante o reinado de d. Pedro I e vinculado ao chamado Ministério do Império. Desde sua fundação, inúmeros entraves burocráticos ocorreram, dificultando mesmo a escolha do diretor, que foi designado somente no segundo

---

[11] Então aposentado compulsoriamente pelo regime militar e impedido de frequentar o campus universitário.

[12] Estes cursos, Física dos **Raios Cósmicos** e **Astrofísica** de **Altas Energias** foram os primeiros ao nível de pós-graduação ministrados na USP, no campo da **astrofísica**.

império, em 1845 por d. Pedro II. Em 1865, o Imperial Observatório passou a ser subordinado à Escola Central, ela mesma sendo um desmembramento da Escola Militar. Esta subordinação permaneceu até 1871, quando foi criada a Comissão Administrativa do IORJ. Até essa data as atividades do Imperial Observatório resumiam-se ao ensino de astronomia aos alunos das escolas militares (ver o Capítulo "Ensino superior de astronomia" no Volume I).

A partir de 1871 a instituição foi reorganizada, passando a desenvolver pesquisas nas áreas de meteorologia, astronomia, geofísica e a prestar serviços como a determinação e a manutenção da hora legal (ver os Capítulos "Difusão da hora legal" e "Primeiras Pesquisas em Astronomia" no Volume I). Foi nomeado para diretor do IORJ o cientista francês Emmanuel Liais, que ficou no cargo por seis meses reassumindo, para um segundo mandato, em 1874. Liais, que tivera desavenças com o diretor do Observatório de Paris, o famoso Urbain Le Verrier que previu a existência de Netuno, teve durante o seu segundo mandato, uma séria disputa com seu colega Manuel Pereira Reis (ver o Capítulo "Ensino superior de astronomia" no Volume I). Como consequência, Liais demitiu-se em 1881e retornou à França.

Luiz Cruls foi o sucessor de Liais e, durante sua administração, nova mudança estrutural ocorreria em 1890, logo após a proclamação da República, quando a instituição passou para a tutela do Ministério da Guerra, sob a denominação de Observatório do Rio de Janeiro (ORJ). Em 1909 foi criada a Diretoria de Meteorologia e Astronomia (DMA) no Ministério da Agricultura e, mais uma mudança: foi extinto o ORJ e criado o Observatório Nacional (ON), subordinado à DMA. Em 1921 a DMA foi subdividida em duas diretorias: uma de meteorologia e outra de astronomia, geofísica e metrologia à qual ficou subordinado o ON. A instituição teria nova tutela em 1930, o recém-criado Ministério de Educação e Cultura (MEC) onde ficaria até 1976, ocasião em que passou a ser subordinado ao CNPq. Permaneceu sob a égide do CNPq até 2000 quando foi incorporado ao Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT) onde permanece até hoje. Estas consecutivas reorganizações administrativas afetaram sensivelmente o desenvolvimento de programas a longo prazo na instituição, que mostra ainda hoje sequelas de intempestivos atos administrativos passados.

O IAG teve, igualmente, um percurso administrativo turbulento, embora não ao mesmo nível daquele vivenciado pelo ON. Sua origem data da criação do Observatório de São Paulo (OSP) em 1912, na avenida Paulista. O OSP desenvolveu, na sua fase inicial, essencialmente atividades no domínio da meteorologia, uma vez que estava subordinado ao Serviço Meteorológico do Estado de São Paulo. Ainda na avenida Paulista, o OSP foi transformado em 1927 em

Observatório Astronômico e Meteorológico do Estado de São Paulo, quando Alypio Leme de Oliveira assumiu a direção da instituição. O movimento revolucionário paulista de 1930 colocou o estado de São Paulo sob intervenção federal e Alypio, procurando resguardar os interesses do Observatório, conseguiu colocar o mesmo sob a tutela da Escola Politécnica (EP) de São Paulo com a denominação de Instituto Astronômico e Geofísico (IAG). Esta situação permaneceu até fins de 1931, quando o Observatório recuperou sua autonomia, conservando no entanto o seu novo nome. Posteriormente, em 1942, o IAG foi anexado à USP, já em suas novas instalações no Parque do Estado, graças a uma iniciativa de Alypio Leme. Somente em 1972, logo após o falecimento do sucessor de Alypio, o professor Abrahão de Moraes, foi o IAG transformado em unidade universitária.

Constantes alterações das tutelas com consequentes mudanças estruturais, não foram apanágio do ON ou do IAG, tendo sido verificadas em maior ou menor escala na história de outras instituições, como na do atual Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Se a proclamação da República e o movimento constitucionalista paulista afetaram respectivamente as estruturas do ON e do IAG, é lícito levantarmos a questão das consequências do golpe militar de 1964 no curso da história da astronomia brasileira.

O Ato Institucional n° 5, ou simplesmente AI-5, suspendia todas as garantias constitucionais e, em particular, o *habeas corpus*. Associado a forte censura dos meios de comunicação, a sociedade brasileira vivia sob um regime de terror que, entre 1968 e 1974, ficou conhecido como os "anos de chumbo". Face a tal situação, na época, o único foro utilizado pela comunidade científica para debater e expressar suas opiniões, era a reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). Outras sociedades, como a Sociedade Brasileira de Física (SBF), organizavam suas assembleias anuais com a da SBPC, o que permitia uma mais ampla participação da comunidade acadêmica e uma certa segurança em reunir-se. Era natural que, nesse momento de transição, surgisse a ideia de se criar uma sociedade que reunisse os astrônomos nos moldes da SBF. Tal agremiação, além de congregar a comunidade astronômica, deveria zelar pelas liberdades acadêmicas, estimular o desenvolvimento da astronomia no país, sendo um foro de debates sobre os grandes projetos de interesse comunitário, contribuindo assim à política científica do governo. Este último e fundamental papel da sociedade só acabou ocorrendo no fim do governo Lula, quando a Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) teve ação preponderante na preparação do Plano Plurianual para a Astronomia, solicitado pelo MCT.

No entanto, embora a maioria dos astrônomos de diferentes instituições fosse favorável a tal iniciativa, alguns eram reticentes e mesmo contrários, devido ao clima político reinante. Argumentava-se que já existia a Comissão Brasileira de Astronomia (CBA) e que teríamos uma superposição inútil de entidades. Tal argumento era totalmente inconvincente, pois o papel da CBA era o de representar o Brasil (via CNPq) na União Astronômica Internacional (IAU), pouco ou nada tendo a ver com os objetivos pretendidos para a futura SAB (Freitas Pacheco, 1994). Nas vésperas da reunião fundadora da SAB, ocorrida em 16 de abril de 1974, o diretor do ON, Luiz Muniz Barreto, em uma reunião privada disse-me que estava cometendo um sério "erro político", criando um "sindicato" de astrônomos e que, face aos meus antecedentes (políticos), tal ação seria malvista pelo governo, o que poderia colocar em risco a implantação do OAB, cujos recursos haviam sido recentemente aprovados. Após longa e áspera conversa, sem que os limites da cordialidade tivessem sido ultrapassados, Muniz Barreto decidiu participar da reunião que deu origem à SAB (ver o Capítulo "Organização da Comunidade Astronômica" neste Volume). Este episódio menor ilustra como, na época, as ações de dirigentes estavam de certa forma condicionadas à atmosfera reinante, imposta pelo regime de exceção em que vivíamos.

A eleição, embora indireta de Tancredo Neves em 1985, encerrou o período de governos militares no Brasil e, pouco a pouco, o processo de redemocratização foi retomado. No entanto, durante minha administração do ON, entre 1979 e 1981, nos últimos anos do regime militar, ocorreram fatos que merecem ser aqui mencionados, pelas consequências que tiveram para a astronomia brasileira.

Em 1979, Mário Henrique Simonsen assumiu o Ministério do Planejamento e convidou Maurício Matos Peixoto para a presidência do CNPq. Peixoto, matemático de reputação internacional e, igualmente, um dos fundadores do IMPA, reuniu ao seu redor pesquisadores de renome para constituir o novo corpo diretivo do CNPq, designando, em particular, o professor Oscar Sala como responsável pelos institutos subordinados à entidade. Foi nesse contexto que, convidado por Peixoto e Sala, aceitei o convite para dirigir o ON, tendo como objetivo maior dinamizar as atividades de pesquisa da instituição.

Nesse momento, o CRAAM estava vinculado ao ON/CNPq através de convênio estabelecido em 1976. Esse acordo foi uma consequência de instabilidades institucionais existentes na Universidade Mackenzie que, apesar da importância e da relevância científica do CRAAM, não se dispunha mais a assegurar as despesas salariais e a manutenção dos equipamentos[13] (Kaufmann, 1994). Em fins de 1979 preparava-se a inauguração do então OAB,

[13] Ver o Capítulo "Radioastronomia" neste Volume.

que ocorreria oficialmente em fevereiro de 1981, embora a fase de testes dos instrumentos e de operação das instalações tivesse sido iniciada em 1980. Preocupado com a questão da fragilidade deste novo laboratório, sobretudo pela inexistência de uma massa crítica de pesquisadores e técnicos, Oscar Sala levantou a possibilidade de ser criado um "Centro Nacional de Astrofísica" incorporando a **radioastronomia** (CRAAM) e o setor **óptico** (OAB). Tal centro, se criado, seria de grande relevância para a disciplina, não só porque congregaria um número adequado de pesquisadores e técnicos, mas também porque produziria grande impacto no desenvolvimento das pesquisas astronômicas no país. Estes aspectos favoreceriam a estabilidade institucional do Centro e justificariam o pleito aos órgãos de governo, de um orçamento próprio e adequado. Tal ideia foi proposta ao Conselho Técnico e Científico (CTC) do ON, produzindo uma onda de choque causada muito mais pelo fato de que alguns tinham reticências em perder o poder e a influência pessoal em favor dos interesses maiores da coletividade. Em face de tais reações, a proposta foi retirada para que fosse melhor discutida na comunidade.

Entrementes, um nível de turbulência bastante elevado estava presente no Ministério do Planejamento e Simonsen, após cinco meses, solicitou sua exoneração. Até hoje não se conhecem exatamente as causas que levaram à sua saída do Planejamento, mas supõe-se que tenham sido divergências com Antônio Delfim Netto na utilização dos recursos do IV Plano Nacional de Desenvolvimento (PND). Simonsen foi interinamente substituído pelo general Golbery do Couto e Silva que, após cinco dias, passou o cargo a Delfim Netto. O novo ministro do Planejamento decidiu colocar "pessoas de sua confiança" em órgãos subordinados e, em particular, no CNPq. Desta forma Maurício Matos Peixoto foi substituído em 1980 por Lynaldo Cavalcanti de Albuquerque, talvez o dirigente que tenha realizado a pior administração da história do CNPq.

Assim, no momento em que era debatida a criação ou não do Centro Nacional de Astrofísica, fomos surpreendidos por uma decisão do novo presidente do CNPq de transferir o CRAAM para o INPE. Tal transferência, desejada pelo chefe do CRAAM, Pierre Kaufmann, foi baseada num parecer elaborado pelo professor José Goldenberg. Deve ser enfatizado o fato de que o suposto mediador, o professor Goldenberg, jamais ouviu a direção do ON, jamais consultou as atas do CTC que relatavam os debates ocorridos e jamais procurou conhecer a opinião dos pesquisadores, os maiores interessados. Tal decisão da presidência, baseada num relatório que pode ser considerado, no mínimo, como parcial, revela um autoritarismo típico do regime vivido até 1985. Mesmo no seio do próprio CRAAM tal decisão não foi bem recebida e alguns pesquisadores, como Jacques Lépine, Maria Alcina Brás e Reuven Opher decidi-

ram não ir para São José dos Campos, o que enfraqueceu consideravelmente o grupo. Após alguns meses, os pesquisadores e técnicos do CRAAM que não se transferiram para o INPE, foram contratados pelo IAG, num esforço feito pelo diretor da época, Sylvio Ferraz-Mello. Divergências começaram a surgir entre a direção do CRAAM e a direção científica do INPE a partir de 1986, causadoras de uma nova atomização do grupo. Kaufmann e alguns pesquisadores foram para a EP/USP, enquanto os demais permaneceram no INPE. A **radioastronomia** brasileira não resistiu a esses sucessivos tsunamis pessoais e institucionais, sofreu um processo de desaceleração e não se recuperou totalmente até hoje.

Ao assumir a direção do ON em 1979, a instituição ocupava ainda o edifício histórico em São Cristóvão, que se encontrava em processo de tombamento. Por uma feliz coincidência, na mesma época, o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), também sediado no campus de São Cristóvão, era dirigido por Paulo de Moraes, filho de Abrahão de Moraes, com o qual mantinha relações de amizade. Soube então, por Paulo de Moraes, que o IBICT deveria mudar-se para Brasília e que diversos órgãos públicos ainda sediados no Rio de Janeiro estavam interessados em ocupar o edifício que seria liberado. Era uma oportunidade de ouro para o ON que não deveria ser perdida. A recuperação da sede do IBICT foi uma ideia imediatamente encampada pelo professor Oscar Sala e Maurício Mattos Peixoto, os quais tudo fizeram, antes de serem substituídos por Lynaldo Cavalcanti, para que o ON tivesse novo edifício-sede, que estivesse de acordo com suas ambições de desenvolvimento. É preciso ficar bem explícito, que o projeto de ocupação do edifício do IBICT pelo ON previa, igualmente, que as instalações antigas dariam origem a um museu de astronomia vinculado ao ON.

A instituição passava por momento de intensa reorganização, como mencionado anteriormente e mudanças sempre acarretam conflitos de interesses. Por razões de política científica e com o aval do CTC, um novo chefe para o Departamento de Astronomia foi indicado. Um novo choque se produziu, mas fora do âmbito do ON e, mais uma vez, uma forte interferência externa se fez sentir, com uma dimensão quase que inimaginável. Roberto Marinho, presidente das organizações "O Globo", interveio diretamente junto à direção do CNPq para "exigir" a reintegração de Ronaldo Rogério de Freitas Mourão no cargo de diretor do Departamento de Astronomia. Como consequência, recebi um telefonema do presidente do CNPq, Lynaldo Cavalcanti, solicitando a recondução de Ronaldo à chefia do Departamento. Expliquei as razões por que não podia atender a tal pedido e coloquei à sua disposição meu próprio cargo de diretor do ON. A resposta veio dias depois, através de decisão da presidência do CNPq, onde ficava criado o "Projeto de Memória da Astro-

nomia no Brasil e Ciências Afins" completamente desvinculado do ON e sob a responsabilidade de Ronaldo de Freitas Mourão. Fui chamado em seguida para uma reunião em Brasília, supondo que seria com o presidente do CNPq, pois a convocação viera de seu gabinete e na qual seria discutida a minha permanência ou não na direção do ON. Para minha surpresa tive, na realidade, uma entrevista com um coronel do exército que se apresentou como "assessor militar" da presidência. Durante a conversa fria, mas sempre cordial, o "assessor" perguntou-me diretamente sobre minhas convicções políticas e se a exoneração do Ronaldo Mourão tinha alguma relação com elas. Não incentivei este tipo de abordagem e mostrei imediatamente as atas das discussões tidas no CTC a respeito da situação do Departamento de Astronomia, bem como a decisão, por unanimidade dos membros, de que um novo chefe fosse indicado. O "assessor" pediu-me cópia de todos os documentos, dizendo que seria contactado nos próximos dias. Ao retornar ao Rio de Janeiro, solicitei minha demissão em caráter irrevogável, sendo substituído por Licio da Silva alguns dias depois. Após deixar a direção, permaneci ainda no ON até 1985, dedicando-me integralmente a reconstruir a pós-graduação em astronomia e geofísica em bases sólidas, tal como havia feito anteriormente no IAG em 1974.

O sonho de ter um museu ligado ao patrimônio histórico do ON foi concretizado em 1985, com a criação do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST). Embora inicialmente se imaginasse tal estrutura vinculada ao ON, a criação do MAST permitiu congregar historiadores e especialistas em museologia, constituindo um universo quase único no país, capaz de preservar a história e procurar entender o desenvolvimento da astronomia no Brasil, bem como o de suas ciências afins (ver o Capítulo "Museu e unidade de pesquisa" neste Volume). Hoje aperfeiçoa-se o conceito de museu "vivo" onde convivem num mesmo espaço museólogos e cientistas: os primeiros desfrutam do convívio com aqueles que produzem o conhecimento, enquanto que os segundos aprendem com os primeiros como melhor transmiti-los à sociedade dentro do contexto político-social em que vivem. Um bom exemplo desta situação é o Observatório de Nice, onde o núcleo histórico concebido pelo grande arquiteto francês Charles Garnier, com contribuição de Gustaf Eiffel, convive no mesmo espaço onde se situam os edifícios atuais que abrigam pesquisadores e laboratórios. Quem sabe o ON e o MAST encontrarão no futuro um *modus vivendi* que permitirá a ambas instituições maior sinergia da qual todos terão a ganhar.

As arbitrariedades cometidas no ON durante a administração de Lynaldo Cavalcanti foram duramente denunciadas pela SBPC através do seu secretário, Ennio Candotti, em carta endereçada à presidência do CNPq. Da mesma forma, protestos em relação aos acontecimentos ocorridos no ON foram en-

caminhados ao CNPq por parte de físicos e acadêmicos do Rio de Janeiro. No entanto, é inexplicável o silêncio mantido pela SAB durante o decorrer destes episódios. Talvez, no futuro, emerjam as razões que nos permitirão entender tal comportamento por parte daqueles que representavam a SAB naquele momento da nossa história.

O Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA)

Na análise das instituições brasileiras, o LNA merece destaque pelo impacto que teve no desenvolvimento da **astrofísica** observacional brasileira a partir da década de 1980 (ver o Capítulo "O Observatório de Montanha" neste Volume). Inúmeras teses de doutorado foram realizadas com base em dados coletados no pico dos Dias e projetos de observação a longo prazo puderam ser concretizados, como o programa de obtenção de abundâncias químicas de **nebulosas planetárias** galácticas e das Nuvens de Magalhães ou o levantamento de velocidades **radiais** de **galáxias** austrais, complementando o estudo feito no hemisfério norte pelo CfA (*Center for Astrophysics*) em Harvard. O primeiro projeto justificou junto à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) a obtenção de recursos que permitiram a aquisição do **espectrógrafo *Cassegrain*** Boller & Chivens (B&C) e de um detector SIT-Vidicon (Codina Landaberry e Freitas Pacheco, 1979), enquanto o segundo permitiu a duplicação da chamada *z-machine* do CfA, ou máquina para medir velocidades **radiais**.

Em 1979 o então OAB encontrava-se administrativamente vinculado ao Departamento de Astrofísica do ON, embora seu orçamento representasse uma rubrica especial. Havia naquele momento um déficit orçamentário que impedia a finalização do pagamento do **espectrógrafo *coudé*** e das obras dos alojamentos no pico dos Dias. Esta questão foi resolvida de imediato com uma dotação orçamentária especial, obtida graças ao apoio de Oscar Sala junto à presidência do CNPq, permitindo a solução destes problemas.

Abandonada a ideia do Centro Nacional de Astrofísica, havia a necessidade de se regulamentar o acesso da comunidade aos instrumentos situados no pico dos Dias. A direção do ON apresentou então ao CTC projeto para a constituição de uma comissão de programas, cujos membros seriam indicados pela comunidade[14]. Além disso, o projeto incluía proposta para a

[14] Por razões práticas, um ou dois membros do OAB teriam assento permanente em tal comissão.

distribuição do tempo útil do telescópio, baseada no procedimento adotado em observatórios como o ESO (*European Southern Observatory*) ou o Observatório Nacional de Haute Provence. Em outras palavras, cerca de 10% do tempo de utilização seria atribuído ao chamado tempo de engenharia, ou seja, tempo necessário para manutenção e reparos e outros 10% para o chamado tempo de *commissioning*, no qual as equipes que desenvolvem os instrumentos possam testá-los, ajustá-los e realizar as primeiras observações, como retribuição ao investimento feito no desenvolvimento do equipamento. O projeto definia ainda a questão das observações dos "alvos de oportunidade" (**supernovas** e outros eventos inesperados) e suas prioridades em relação aos programas de observação usuais.

Deve-se salientar que, embora o porcentual dos tempos de engenharia ou *commissioning* pudesse variar, tal procedimento é comum em todos os grandes observatórios. No entanto, parte da comunidade interpretou tal proposta como sendo por demais favorável ao ON, que acabaria tirando proveito da distribuição do tempo de uso do telescópio, em detrimento das demais instituições (ver "Desvendando o universo com grandes mapeamentos" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume). A esta controvérsia veio somar-se a questão do uso da *z-machine* pela comunidade. Como mencionado anteriormente, o detector Reticon mais o sistema de aquisição de dados constituíam uma duplicação feita pelo CfA do equipamento operando no hemisfério norte. O acordo estabelecido entre o CfA e o ON previa que a parte brasileira deveria, em contrapartida, observar uma região predeterminada do céu. Normalmente tais observações deveriam ter sido feitas durante o *commissioning,* mas, diante da não aprovação da proposta de distribuição de tempo, elas eram efetuadas através de solicitações sucessivas, tal como para os demais usuários. Ao mesmo tempo, sem que o projeto de medida de velocidades **radiais** do hemisfério sul tivesse sido completado, a comunidade exigia abertura pública do instrumento, criando um contencioso que contribuiu para que parte dos astrônomos exigisse do CNPq a autonomia do OAB. Foi um dos últimos atos administrativos de Lynaldo Cavalcanti a criação do LNA em março de 1985.

É preciso que fique bem clara a posição aqui defendida. Como mencionado anteriormente, a criação do LNA foi, indiscutivelmente, um marco para o desenvolvimento da astronomia brasileira. No entanto, talvez devêssemos ter melhor debatido a sua transformação em instituto independente. Poderíamos ter negociado, em razão das missões do OAB/LNA, um quadro mínimo de pesquisadores e técnicos, um orçamento adequado de investimentos a médio e a longo prazos que garantisse o desenvolvimento e a manutenção adequada das instalações. Mas nada disso foi feito. Pesquisadores do ON lotados em Itajubá

foram transferidos para o novo instituto e os recursos do Departamento de Astrofísica, rubrica LNA, constituíram a base de seu orçamento. Essa precariedade de meios materiais e humanos limitou por demais as ações iniciais do LNA. Sua transformação em instituto autônomo do CNPq em 1989 corrigiu boa parte dessas distorções.

Evolução da astronomia brasileira

A evolução das áreas de pesquisa em astronomia no Brasil seguiu a evolução da instrumentação disponível e dos temas que surgem como consequência de novas descobertas (ver o Capítulo "Pós-Graduação em Astronomia" neste Volume). Ainda no século 19, durante a fase histórica do ON, cometas e trânsitos dos planetas internos pelo disco solar eram os temas privilegiados. Já no século 20, antes da transição dos anos 60, os estudos estavam voltados para a determinação de órbitas de estrelas binárias visuais e de **asteroides**. A **astronomia fundamental** sofreu renovação na fase de transição com a instalação de um moderno **círculo meridiano** Zeiss e de um **astrolábio Danjon** no Observatório Abrahão de Moraes em Valinhos, SP, e, posteriormente, de um segundo **astrolábio Danjon** no ON. O **astrolábio**, com modificações adequadas, teve nova vida com as observações do diâmetro solar, trabalho feito em colaboração com o *Centre d'Études et de Recherches en Géodynamique et Astrométrie*[15] (CERGA) do Observatório da Côte d'Azur (OCA). A descoberta de variações do diâmetro solar com um período da ordem de mil dias (sinal significativo presente tanto nos dados do hemisfério norte quanto nos do sul), sem uma explicação adequada até a presente data, causou grande impacto na comunidade (embora exista igualmente um certo ceticismo quanto à realidade do efeito) motivando o lançamento do satélite *Picard*, que efetua atualmente tais medidas a partir do espaço, onde não existem efeitos e/ou correções atmosféricas. Com as observações de posições e de movimentos próprios feitas a partir do espaço[16], houve declínio natural da **astronomia fundamental** feita a partir do solo.

A **astronomia dinâmica** teve grande impulso a partir da segunda metade dos anos 70 com a criação do Seminário de Astronomia Dinâmica e Matemática organizado por Sylvio Ferraz-Mello, congregando vários grupos ativos

[15] Na nova estrutura do OCA o CERGA não existe mais.

[16] Missão Hiparco, já encerrada e missão GAIA, com lançamento previsto para o segundo semestre de 2013.

no país. Temas variados de pesquisa como sistemas não integráveis, ressonâncias múltiplas, movimento de satélites planetários entre outros, foram abordados. Houve, igualmente, com o decorrer do tempo um declínio da atividade nestes temas, mas atualmente observa-se forte migração para o estudo dos exoplanetas, graças principalmente ao acesso dos dados de trânsitos planetários obtidos pelo satélite *CoRoT*, missão espacial europeia da qual o Brasil participa de forma minoritária. Mais ainda, acentuou-se o estudo de pequenos corpos do sistema solar, em particular daqueles com órbitas suscetíveis de cruzar a órbita da Terra (portanto com probabilidade não desprezível de impactar nosso planeta), graças ao projeto de um pequeno telescópio robótico em operação no Nordeste brasileiro pelo ON.

A **astrofísica** estelar, até fins da década de 80, constituiu a subárea mais ativa da astronomia brasileira. No início dos anos 70, o telescópio de 52 cm do ITA, o único em operação no país na época, propiciou o estudo, conforme já mencionado anteriormente, de estrelas variáveis e de estrelas eruptivas do tipo dMe[17]. Os resultados obtidos, explicando a variabilidade quiescente[18] das estrelas dMe através de um modelo de manchas atmosféricas, tiveram grande impacto na comunidade, representando certamente um marco importante na história da disciplina. O estudo da variabilidade, embora não intrínseca, prosseguiu na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) onde se desenvolveu, a partir do fim dos anos 70, um programa de estudos de **estrelas binárias eclipsantes**. Nessa mesma época, as pesquisas em São Paulo (IAG) e no Rio de Janeiro (ON) se focalizaram no estudo das abundâncias estelares e no estudo de envoltórios de estrelas evoluídas tais como as Wolf-Rayet[19], as **nebulosas planetárias**, as **estrelas simbióticas**, as supergigantes de tipo B[e][20] e as estrelas Be[21]. Embora o telescópio nacional do pico dos Dias não estivesse ainda operacional, vários pesquisadores (brasileiros ou não) vindos do exterior, mantiveram colaborações com seus grupos formadores na França e nos EUA. Estas parcerias permitiram o acesso, quer seja a dados espectroscópicos de alta

---

[17] dMe: estrela **anã** ("d" de *dwarf*) **vermelha** (**tipo espectral** M), cujo **espectro** apresenta linhas de emissão (e) do hidrogênio e cálcio.

[18] Variabilidade da radiação de um astro em período de não atividade eruptiva.

[19] Estrelas Wolf-Rayet ou WR, assim chamadas em homenagem aos seus descobridores, Charles Wolf e Georges Rayet, são estrelas massivas, quentes e altamente evoluídas que sofrem intensa perda de massa e se caracterizam por largas linhas de emissão em seus **espectros**.

[20] Estrela B[e] é uma estrela supergigante quente (**tipo espectral** B) e peculiar por apresentar excesso de radiação infravermelha e linhas proibidas de emissão denotadas por [e].

[21] Estrela Be é uma **estrela quente** do **tipo espectral** B, não supergigante, cujo **espectro** apresenta linhas de emissão denotadas por "e".

qualidade ou a telescópios bem equipados e situados em sítios adequados, que permitiram a obtenção de resultados significativos nestes campos de pesquisa.

Também na segunda década de 70, vários pesquisadores argentinos[22] chegaram na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em particular Federico Strauss[23], responsável pelo início das observações fotoelétricas com o telescópio de 50 cm situado no Morro de Santana, em Porto Alegre, que permitiu a formação de pesquisadores de talento e abriu o caminho para o estudo de aglomerados estelares.

O início das operações do telescópio do pico dos Dias acelerou o processo de formação de doutores no país, com temas de tese baseados principalmente em observações **fotométricas** e **espectroscópicas**. As observações estelares não se limitaram à região **óptica** e resultados de interesse foram obtidos com o uso da antena milimétrica de 13,7 m operando no Rádio Observatório do Itapetinga (ROI) em Atibaia, SP, com a qual várias fontes de ***maser*** (***maser* galáctico**) de água e com emissão de monóxido de silício foram descobertas. Vários levantamentos do céu foram efetuados no país utilizando a instrumentação disponível. O levantamento de fontes infravermelhas (λ = 2,2 μm) feito em Valinhos (1982) em colaboração com o Observatório de Meudon, do qual resultou um novo catálogo de fontes na **banda** espectral em questão. O levantamento de abundâncias químicas de **nebulosas planetárias** austrais, efetuado durante as últimas três décadas, incluindo objetos do disco e do bojo galáctico (aproximadamente 250 objetos), sendo um dos mais completos realizados até o presente no nosso hemisfério. Mais recentemente (anos 90), podemos mencionar o levantamento de objetos jovens do céu austral, incluindo aproximadamente 500 fontes para as quais **espectros** na região de Hα e da linha do LiI (670,7 nm) foram obtidos. Deste levantamento resultou a descoberta de cerca de 50 **estrelas T Tauri** e cerca de 110 **estrelas do tipo Herbig Ae/Be**.

No caso específico do Sol as pesquisas têm sido realizadas principalmente pelo CRAAM e pelo INPE. No que concerne ao CRAAM, estudos do Sol e em particular de sua atividade, datam dos anos 60, época da criação do GRAM. Hoje o CRAAM possui moderno radiotelescópio de 1,5 m de diâmetro dedicado a observações solares que opera em ondas submilimétricas (212 GHz e 405 GHz), instalado nos Andes argentinos (El Leoncito) em 1999. Tal instrumento tem fornecido observações valiosas para o estudo da formação e da evolução das erupções solares associadas a zonas ativas do Sol.

---

[22] Principalmente tentando escapar do terror imposto pelo regime militar argentino e procurando melhores condições de trabalho num país que se redemocratizava. A ciência brasileira muito ganhou com essa imigração da inteligência argentina.

[23] Infelizmente desaparecido prematuramente em 1981, aos 39 anos de idade.

Na última década do século 20 houve crescimento considerável da astronomia galáctica e **extragaláctica** que, pouco a pouco, tornou-se uma das mais importantes subáreas da astronomia brasileira. Astrônomos argentinos[24] acolhidos pela UFRGS no fim dos anos 70 iniciaram um programa de pesquisas **extragalácticas**, com ênfase no estudo de **núcleos ativos** enquanto que, na mesma época, o retorno de Luiz Nicolaci da Costa dos EUA para o ON foi responsável pelo início de um vasto programa de estudos da estrutura em grande escala do universo (ver "Desvendando o universo com grandes mapeamentos" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume). Como subproduto desse programa resultaram trabalhos sobre a estrutura de grupos e de aglomerados de **galáxias**, bem como os estudos das propriedades dinâmicas e **espectroscópicas** de **galáxias elípticas**, efetuados por diferentes pesquisadores do ON. Em São Paulo (IAG) as atividades nessa subárea começaram no decorrer da década de 80 e estiveram focalizados na dinâmica de **galáxias**, grupos e aglomerados, bem como na investigação de suas **evoluções químicas**. Em particular, a existência (ou não) de gradientes de metalicidade na **Galáxia**, usando como corpos de prova **regiões HII**, **nebulosas planetárias** e mais recentemente as **variáveis cefeidas**, tem sido um programa de destaque nesta subárea. A importância das pesquisas neste domínio deve-se acentuar no futuro próximo com o acesso dos pesquisadores brasileiros aos telescópios de grande porte, voltados principalmente para a pesquisa **extragaláctica**.

A **cosmologia** constitui uma subárea particular, pois na realidade é um campo de pesquisa multidisciplinar no qual físicos experimentais[25] e teóricos (teoria de campos e partículas) têm tido cada vez mais papel preponderante (ver o Capítulo "Cosmologia Teórica" neste Volume). No Brasil essas atividades datam dos anos 60, graças aos trabalhos de Fernando de Mello Gomide e Mituo Uehara (ambos professores do Departamento de Física do ITA), em particular sobre as consequências da introdução *ad hoc* do **princípio de Mach** nas equações de Einstein, aplicadas para diferentes modelos cosmológicos. No início dos anos 70 a **cosmologia** começou também a se desenvolver no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) com os trabalhos de Mário Novello e colaboradores. Com a criação da Escola de Cosmologia e Gravitação em 1978 por Novello, contando em cada edição com a participação dos melhores especialistas do mundo, vários jovens foram atraídos para esta área, motivando a criação de grupos em diferentes instituições brasileiras.

---

[24] Miriani Pastoriza, Horácio Dottori e Zulema Abraham.

[25] Físicos dedicados à detecção direta da matéria escura.

Do ponto de vista observacional, o primeiro grande projeto resultou da colaboração entre o CfA-Harvard e o ON no início dos anos 80, como já mencionado, visando a mapear a estrutura em grande escala do universo. Nessa mesma década, voos em balões[26] efetuaram mapas da **radiação cósmica de fundo**, no comprimento de onda de 3,3 mm (ver o Capítulo "Astronomia espacial" neste Volume). Atualmente grupos de **cosmologia** existem em São Paulo (IAG, IF/USP, IFT/UNESP — Instituto de Física Teórica da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" — e INPE), Rio de Janeiro (ON, CBPF e UFRJ — Universidade Federal do Rio de Janeiro), Vitória (UFES — Universidade Federal do Espírito Santo) e Salvador (UFBA — Universidade Federal da Bahia). A compreensão da estrutura em grande escala do universo, bem como a determinação de parâmetros cosmológicos, como a escala acústica dos **bárions**, requer formidável esforço observacional, que necessita de intensa colaboração não só entre grupos brasileiros, mas também que inclua grupos e instituições de diversos países. O *Dark Energy Survey* (DES) é um exemplo destas grandes colaborações envolvendo cerca de 25 instituições em todo o mundo. O Brasil está representado pelo ON, CBPF, LNCC (Laboratório Nacional de Computação Científica) e o IF/UFRGS. Este levantamento deverá obter imagens em cinco cores de uma região do céu de 5 mil graus quadrados[27], esperando-se que sejam observadas e catalogadas cerca de 300 milhões de **galáxias**.

Um outro exemplo é o levantamento J-PAS[28], talvez um projeto ainda mais ambicioso que o DES, já que se espera cobertura de um quinto do céu (cerca de 8 mil graus quadrados), usando-se câmara constituída por um mosaico de 14 CCDs, contendo aproximadamente 1,2 bilhão de elementos de imagem (***pixels***). As observações serão feitas em 56 cores (54 filtros de **banda** estreita e 2 de **banda** larga), cobrindo a região espectral entre 0,35μm e 1,0 μm, o que permitirá a medida de deslocamentos para o vermelho (***redshifts***) com precisão de $\Delta z \sim (0{,}003)(1+z)$. O projeto é essencialmente uma colaboração entre o Brasil e a Espanha, embora participem, de forma minoritária, instituições americanas.

Além da astronomia fotônica, pesquisadores brasileiros encontram-se também implicados em projetos envolvendo partículas de **altas energias** e **ondas gravitacionais** como "mensageiros cósmicos". A física em São Paulo

---

[26] Colaboração entre o INPE e a Universidade da Califórnia, Berkeley.

[27] Sobre grau ao quadrado ver a nota de rodapé 24 de "Desvendando o universo com grandes mapeamentos" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume.

[28] J-PAS: **J**avalambre **P**hysics of the Accelerating Universe **A**strophysical **S**urvey.

começou com a vinda de Gleb Wataghin, físico de origem russa que se encontrava na Universidade de Turim, que iniciou um programa de estudos dos **raios cósmicos** (ver o Capítulo "Pesquisas em Raios Cósmicos" neste Volume). Com seus colaboradores brasileiros Marcelo Damy de Souza Santos, formado na primeira turma (1936) de alunos da recém-criada FFCL/USP e Paulus Aulus Pompeia, que se juntaria mais tarde (1939) ao grupo, Wataghin realizou importante trabalho sobre os "chuveiros penetrantes", iniciando o estudo dos **raios cósmicos** no Brasil. Da mesma forma, a origem e a propagação dos **raios cósmicos** foi um dos temas de pesquisa do Departamento de Astronomia do IAG na época de sua criação, em 1972. Hoje, a participação de físicos brasileiros na colaboração AUGER envolvendo vários países, representa evolução natural de uma área de pesquisa presente nas origens do IF/USP e do IAG/USP.

Por outro lado, graças ao esforço de Odylio D. Aguiar, do INPE e uma colaboração com o IF/USP, iniciou-se em 2001 a construção de um detector esférico ressonante (**esferas ressonantes**) de **ondas gravitacionais** (detector Mário Schenberg), instalado atualmente no campus da USP em São Paulo (ver o Capítulo "Ondas Gravitacionais" neste Volume). A antena Schenberg permitirá aos físicos e técnicos implicados adquirir a experiência necessária para participar em projetos mais ambiciosos e em colaboração com cientistas de outros países, que propiciarão no futuro uma detecção direta de um sinal gravitacional. Nesse sentido o grupo do INPE, em colaboração com pesquisadores do *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) da Caltech (*California Institute of Technology*), propuseram um **interferômetro** espacial constituído por três plataformas situadas numa órbita equatorial geoestacionária e separadas por uma distância de 73 mil km. Tal antena poderá detectar sinais gravitacionais com frequências sub-Hertz emitidos, por exemplo, por **buracos negros** supermassivos.

Uma nova temática interdisciplinar começou a se desenvolver no país no início do novo século, a **astrobiologia**. Esta subárea objetiva o estudo do aparecimento e da evolução da vida no universo e congrega, além de astrônomos, biólogos, físicos e químicos. Em 2009 o IAG decidiu instalar em seu campus de Valinhos um Laboratório de Astrobiologia (AstroLab) destinado ao estudo de micro-organismos **extremófilos**, a simulação de ambientes extraterrestres e a procura de bioassinaturas que possibilitem a detecção remota de vida.

Considerações finais

A astronomia brasileira mostra em 2013 sinais de pujança com cerca de 500 pesquisadores com título de mestre ou doutor atuando no país, sendo que a maior parte deles foi formada por instituições nacionais. A qualidade e a reputação de alguns de nossos cursos têm atraído estudantes de vários países da América do Sul. Por outro lado, as condições favoráveis para a pesquisa e de concessão de bolsas, em particular graças à política promovida pelas agências de fomento como o CNPq, CAPES e Fundações Estaduais de Amparo a Pesquisa (ver o Capítulo "Financiamento de Astronomia" neste Volume), têm atraído inúmeros pós-doutorandos de todas as partes do mundo, representando contribuição formidável para a astronomia brasileira.

O Brasil seguiu, felizmente, o processo de internacionalização da pesquisa astronômica quando, em 1993, aderiu ao consórcio Gemini que opera dois telescópios da classe de 8,0 m nos hemisférios norte (Havaí) e sul (Chile) (ver "Participação do Brasil em consórcios internacionais" no Capítulo "Empreendimentos internacionais" neste Volume). Em face da contribuição financeira do país, a comunidade tem direito a 2,5% do tempo de observação[29]. O acesso a telescópios de tal porte representou um passo decisivo para o desenvolvimento das observações **extragalácticas** por astrônomos brasileiros. Um segundo passo foi dado em abril de 2004 com a inauguração do *Southern Astrophysical Research Telescope* (SOAR), situado em Cerro Pachón (Chile), não muito distante da localização do telescópio Gemini Sul. O observatório SOAR é o resultado de uma colaboração entre o Brasil e os EUA, representados pelo MCTI, *National Optical Astronomical Observatory* (NOAO), Universidade da Carolina do Norte (UNC) e a Universidade do Estado do Michigan (MSU). O SOAR está equipado com um telescópio de 4,1 m de diâmetro com **óptica ativa** constituída por 120 atuadores eletromecânicos. O instrumento deverá ser dotado brevemente de um módulo de **óptica adaptativa**, permitindo o imageamento de objetos celestes com uma **resolução** próxima do limite de difração, num campo de 3' de arco e abrindo novas perspectivas para observações de alta **resolução** angular.

Mais recentemente, o país efetuou novo esforço alugando noites[30] para aumentar nosso potencial observacional no CFHT, telescópio Canadá-França -Havaí (3,6 m de diâmetro) situado no monte Mauna Kea (Havaí) a 4.200 m de altitude. O instrumento está equipado com a chamada MegaCam, um mosaico de CCDs similar ao que será utilizado no levantamento J-PAS, fundamental

[29] Entre 2013 e 2015 o percentual será de 6,3%.
[30] No período 2009 a 2011 e renovado para o período 2012-2015.

para o imageamento profundo de aglomerados de **galáxias** e levantamento de dados para o estudo da teia cósmica.

Deve-se mencionar ainda a possibilidade que o Brasil, via pesquisadores do ON, integre o projeto do Grande Telescópio Sinótico (GTS) a ser instalado igualmente em Cerro Pachón, cuja operação está prevista para 2022[31]. Trata-se de instrumento de grande abertura visando efetuar, em 6 filtros, levantamento de uma área do céu da ordem de 20 mil graus quadrados. Visa-se detectar objetos transientes como **supernovas**, variações luminosas em **galáxias** causadas pela destruição de estrelas por forças de maré devidas a **buracos negros** e objetos com grande movimento próprio, tais como os **asteroides**. Espera-se que com o GTS sejam catalogadas 3 bilhões de **galáxias** com ***redshift*** fotométrico[32].

Além disso, ao que tudo indica, a adesão do Brasil ao ESO deverá se efetivar no decorrer de 2013[33]. Isto representará, certamente, novo marco para a astronomia brasileira, não só pela participação do país nessa prestigiosa organização internacional, mas também porque a comunidade terá que desenvolver uma nova filosofia de trabalho, diferente daquela com que até agora conviveu. Primeiramente porque em boa parte do tempo de observação dos grandes telescópios do ESO, o modo interferométrico é utilizado. Isto significa que, em combinações com dois telescópios (dois da classe de 8,0 m ou um de 8,0 m e outro auxiliar de 1,6 m), a quantidade física medida é a **visibilidade das franjas de interferência**, seja em filtros de **banda** larga, seja em filtros de **banda** estreita. Em breve será possível a recombinação do feixe de 3 telescópios, o que permitirá a recuperação da fase e a consequente obtenção de imagens de síntese, abrindo novas perspectivas para a pesquisa estelar e **extragaláctica**. Torna-se urgente que os pesquisadores brasileiros se familiarizem com essas técnicas, tanto do ponto de vista da aquisição quanto do tratamento de dados, para melhor aproveitamento do potencial desses telescópios.

Por outro lado, o desenvolvimento de novos instrumentos é feito através de concorrências abertas pelo ESO entre os países-membros. As equipes das instituições participantes dessas concorrências têm tempo de observa-

---

[31] Previsão talvez irrealista uma vez que o instituto associado ao projeto não dispõe ainda do orçamento necessário.

[32] O deslocamento para o vermelho de uma **galáxia** ou **quasar** não é medido espectroscopicamente (ver **espectroscopia**), mas fotometricamente (ver **fotometria**) com filtros de **banda** larga.

[33] Em 22/4/14 o processo de ingresso do Brasil no ESO encontra-se na Câmara dos Deputados à espera apenas da aprovação final da Comissão de Finanças e Tributação para em seguida ser enviado ao Senado e, finalmente, à Presidência da República.

ção garantido (*commissioning time*), assim como alvos prioritários[34], o que as coloca nas condições mais favoráveis para realizar descobertas de impacto. É necessário que nossas instituições se preparem para responder tais concorrências, uma vez que o desenvolvimento instrumental é o calcanhar de Aquiles da astronomia brasileira (ver o Capítulo "Desenvolvimento de Instrumentação" neste Volume). Desta forma, os grupos brasileiros poderão participar do desenvolvimento dos projetos de vanguarda e das observações com tempo garantido.

Esta pletora de projetos será (e já está sendo) uma fonte formidável de dados que necessitarão ser armazenados e gerenciados. Além disso, dados obtidos por diferentes observatórios no solo e no espaço estão sendo colocados à disposição da comunidade internacional via *International Virtual Observatory Alliance* (IVOA), o qual desenvolve igualmente as ferramentas informáticas adequadas para facilitar a manipulação dos dados disponíveis. No Brasil, várias iniciativas vão nesse sentido e, entre elas, podemos mencionar o BraVO (*Brazilian Virtual Observatory*) e o LIneA (Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia) que colaboram com o IVOA. O primeiro congrega grupos do INPE, LNA, IAG e UFSC (Universidade Federal de São Carlos), enquanto o segundo reúne grupos do ON, CBPF e LNCC objetivando gerenciar e distribuir para a comunidade os dados resultantes destas várias colaborações internacionais, em particular aqueles resultantes do DES.

Como já mencionamos, o desenvolvimento instrumental é um dos pontos fracos da astronomia brasileira já que, exceção feita ao LNA e ao INPE, a grande maioria das instituições não dispõe de engenheiros instrumentalistas e de laboratórios adequados. A título de comparação, o OCA[35] na França possui uma relação entre o número de engenheiros e o número de pesquisadores ligeiramente superior à unidade o que, por razões diversas, é praticamente impossível de se obter em nossas instituições universitárias.

Um outro ponto fraco é a pesquisa astronômica feita através de plataformas espaciais. No início dos anos 80, graças a colaborações com a França (principalmente) e os EUA, vários experimentos embarcados em balões estratosféricos lançados pelo INPE em Cachoeira Paulista, SP, foram realizados. Entre eles podemos mencionar o projeto *Source*, constituído por um telescópio para detectar **raios** γ (gama) com energias da ordem de 1 MeV e com uma **resolução** angular de 30°; o

[34] Nesse sentido, a cada semestre o investigador principal do instrumento envia à Comissão de Programas do ESO a lista dos alvos protegidos, exclusivos do *commissioning*.

[35] Esta situação não é particular do OCA, mas ocorre nos grandes observatórios franceses como o de Paris-Meudon, Marselha, Grenoble, entre outros.

projeto FUVE, constituído por pequeno telescópio com um detector ultravioleta (UV) intensificado, com o qual imagens UV de M31 foram obtidas e o projeto GeLi[36], detector de alta **resolução** espectral para observar fontes de **raios** X e γ.

Com a utilização cada vez mais frequente de satélites como plataformas espaciais, o interesse científico pelos balões estratosféricos diminuiu consideravelmente a partir da década de 90. No entanto, embora o país tenha lançado alguns satélites voltados à observação da Terra, em particular em colaboração com a China, nenhum satélite voltado para exploração do espaço exterior foi lançado até o presente. Há vários anos pesquisadores e técnicos do INPE trabalham no projeto MIRAX, satélite destinado a explorar fontes de raios X no disco galáctico, usando um sistema de máscara codificada, técnica que permite uma boa **resolução** angular das fontes extensas (ver o Capítulo "Astronomia espacial" neste Volume). No entanto, os pesquisadores devem fazer face a uma série de entraves, como falta de recursos humanos, orçamento insuficiente, que tem produzido sucessivos atrasos no desenvolvimento do projeto. A pesquisa espacial no país sofre de problemas crônicos. Uma organização complexa e ineficaz, incluindo vários órgãos e agências governamentais que se superpõem, bem como uma fraca sinergia entre os setores militares, em princípio encarregados do desenvolvimento de veículos lançadores de cargas úteis e os setores civis, encarregados das cargas em questão. Apesar do interesse estratégico, tecnológico e econômico das pesquisas espaciais, os recursos alocados pelos sucessivos governos têm sido claramente insuficientes, seja para desenvolver o Veículo Lançador de Satélites (VLS) brasileiro, seja para desenvolver um programa de satélites científicos. Além disso, é absolutamente necessário integrar as universidades no programa espacial brasileiro, bem como procurar atrair técnicos especializados de outros países que se encontrem disponíveis, seja como consequência da crise econômica, seja por razões de natureza política.

Do ponto de vista de uma política científica para a astronomia, o modelo adotado até agora está longe do ideal. É fundamental que o MCTI crie uma "Comissão Nacional de Astronomia" (CNA), tal como proposto no Plano Nacional de Astronomia — 2012, não só com um objetivo de assessoramento, mas também com a responsabilidade de organizar a avaliação periódica da disciplina e do seu planejamento a médio e a longo prazos. Tal comissão pode e deve se apoiar na SAB. Para tal, uma reestruturação da SAB se faz necessária. Comissões representando as subáreas em atividade no país devem ser criadas, permitindo uma análise dos temas pelos nossos melhores cientistas, segundo suas especialidades. Tais comissões devem periodicamente efetuar uma

[36] Detector constituído por um cristal de germânio-lítio.

avaliação das subáreas, propor soluções às dificuldades encontradas e traçar uma perspectiva para o futuro[37]. Caberia à SAB realizar a síntese, discuti-la em assembleia geral e propor as conclusões finais à CNA. Tal esquema, além de democrático e transparente, permite maior comprometimento da comunidade com seu futuro, o que é indispensável para o sucesso desta nova fase da astronomia brasileira, prestes a se iniciar.

Referências

Codina Landaberry, S. J. and Freitas Pacheco, J. A. de (1979), Astronomical observations with the optical multichannel analyser of the São Paulo University, *Revista Brasileira de Física*, 9, 1, 45-77.

Freitas Pacheco, José Antonio de (1994), "Reminiscências pessoais da época da criação da SAB", *A Astronomia no Brasil: Depoimentos*, 17-29, B. Barbuy, J. Braga e N. Leister (Eds.), São Paulo: SAB.

Gamow, G. and Schoenberg, M. (1940), The Possible Role of Neutrinos in Stellar Evolution, *Physical Review*, 58, 12, 1117.

Gamow, G. and Schoenberg, M. (1941), Neutrino Theory of Stellar Collapse, *Physical Review*, 59, 539-547.

Kaufmann, Pierre (1994), "Realizações experimentais em rádio-astronomia", *A Astronomia no Brasil: Depoimentos*, 49-76, B. Barbuy, J. Braga e N. Leister (Eds.), São Paulo: SAB.

Moraes, Abrahão (1958), Effects of the Earth's oblateness on the orbit of an artificial satellite, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 30, 465-510.

Rocha Vieira, Edemundo e Steiner, João E. (1982), *Avaliação e Perspectivas — Ciências Exatas e da Terra — 1. Astronomia*, Brasília: SEPLAN/CNPq.

Schönberg, M. (1972), Ellectromagnetism (*sic*) and Gravitation, *Revista Brasileira de Física*, 1, 91-122.

Schönberg, M. and Chandrasekhar, S. (1942), On the evolution of the main-sequence stars, *Astrophysical Journal*, 96, 2, 161-172.

[37] Tal procedimento existe na França, onde o planejamento da disciplina é feito por um órgão de governo, o Instituto Nacional de Ciências do Universo (INSU, que seria equivalente à CNA proposta) que, para tal, se apoia fortemente na Sociedade Francesa de Astronomia e Astrofísica (SF2A).

Siglas e abreviações

AAA-SP: Associação de Amadores de Astronomia de São Paulo
A&A: *Astronomy & Astrophysics* (revista internacional)
AAO: *Anglo-Australian Observatory* (atual *Australian Astronomical Observatory*)
AAVSO: *American Association of Variable Stars Observers*
ABC: Academia Brasileira de Ciências (Sociedade Brasileira de Ciências até 1921)
ABCMC: Associação Brasileira de Centros e Museus de Ciência
ABE: Associação Brasileira de Educação (Rio de Janeiro)
ABP: Associação Brasileira de Planetários
ABRAPEC: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
ACI: Assessoria de Comunicação Institucional (UFOP)
ACURA: *Association of Canadian Universities for Research in Astronomy*
AEB: Agência Espacial Brasileira (MCTI)
AEC: Antes da Era Comum
AFCRL: *Air Force Cambridge Research Laboratories* (USA, desativado em 2011)
AFOEV: *Association Française des Observateurs d'Étoiles Variables*
AGN: *Active Galactic Nucleus* (Núcleo Ativo de Galáxia)
AGU: Advocacia-Geral da União
AIA: Ano Internacional da Astronomia (*International Year of Astronomy*)
AI-5: Ato Institucional nº 5
AIP: *Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam* (Alemanha)
a.l.: ano-luz
aLIGO: *Advanced LIGO*
ALMA: *Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array*
ALPO: *The Association of Lunar & Planetary Observers*
AMAS: Anomalia Magnética do Atlântico Sul
ANRA: Associação Norte-Rio-Grandense de Astronomia
APA: Associação Paraibana de Astronomia
APEX: *Atacama Pathfinder Experiment*
ARGM: Academia Real dos Guardas-Marinhas
ARM: Academia Real Militar
ASP: *Astronomical Society of the Pacific*
ATM: *Amateur Telescope Making*
AURA: *Association of Universities for Research in Astronomy* (consórcio de instituições internacionais, na maioria americanas, que opera observatórios de classe mundial)
BAA: *British Astronomical Association*

B&C: *Boller & Chivens* (fabricante americana de instrumentos astronômicos, adquirida em 1965 pela *Perkin & Elmer,* P&E)
bar: pressão atmosférica padrão
BDA: *Brazilian Decimetric Array* (INPE, Cachoeira Paulista, SP)
BIH: *Bureau International de l'Heure* (*Observatoire de Paris*)
BIPM: *Bureau International des Poids et Mesures* (Sèvres, França)
BNDE: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDES a partir de 1982)
BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDE até 1982)
BOR: Biblioteca de Obras Raras (UFRJ)
BPG: *Brazilian Participation Group* (SDSS-III)
BRASS: *Brazilian Supernovae Search* (CEAMIG/REA)
BraVO: *Brazilian Virtual Observatory* (INCT-A)
BTFI: *Brazilian Tunable Filter Imager* (instrumento para o SOAR)
c.: *circa,* por volta de (uma data)
CAB: Clube de Astronomia de Brusque, SC
CACEP: Clube de Astronomia do Colégio Estadual do Paraná, Curitiba
Caltech: *California Institute of Technology* (Pasadena, CA)
Cam 1: 1ª câmara imageadora do OPD usando CCD
CamIV: Câmara Infravermelha (instrumento do OPD)
CAPES: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (nome anterior desde a fundação em 1951 até 1964: Campanha Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior)
CAPjournal: *Communicating Astronomy with the Public Journal* (IAU)
CARJ: Clube de Astronomia do Rio de Janeiro
CAsB: Clube de Astronomia de Brasília
CASLEO: *Complejo Astronomico El Leoncito* (próximo a San Juan, Argentina)
CASP: Clube de Astronomia de São Paulo
CASTOR: *Centauro And Strange Object Research* (calorímetro do experimento CMS)
CBA: Comissão Brasileira de Astronomia (comissão da SAB, antes do CNPq, cujos membros são escolhidos pelo presidente do CNPq)
CBAT: *Central Bureau of Astronomical Telegrams* (IAU)
CBPA: Centro Brasileiro de Pesquisas Astrofísicas (entidade astronômica privada que existiu na década de 50 no Rio de Janeiro)
CBPF: Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (MCTI)
cc: centímetro cúbico
CCD: *Charge Coupled Device.* Comitê de Colaboradores Discentes (OBA)

CCMN: Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza (UFRJ)
CCTECA: Casa de Ciência e Tecnologia da Cidade de Aracaju, SE
CDA: Coordenação de Documentação e Arquivo (MAST)
CDCC: Centro de Divulgação Científica e Cultural (USP, São Carlos, SP)
CDM: *Cold Dark Matter*
CEA: Comissão Especial de Astronomia (MCTI). Clube Estudantil de Astronomia (Recife). Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (INPE)
CEAAL: Centro de Estudos Astronômicos de Alagoas, Maceió
CEAMIG: Centro de Estudos Astronômicos de Minas Gerais (entidade de astrônomos amadores sediada em Belo Horizonte, resultado da fusão do Centro de Estudos Astronômicos César Lattes com a SEA)
Cecierj: Centro de Ciências e Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro (Fundação ligada à Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro)
CECINE: Coordenadoria do Ensino de Ciência do Nordeste (Pró-Reitoria de Extensão da UFPE)
CED: Coordenação de Educação em Ciências (MAST)
Cepe: Companhia Editora de Pernambuco (Recife)
CEPID: Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (FAPESP)
CERGA: *Centre d'Études et de Recherches en Géodynamique et Astrométrie* (do OCA)
CERN: *European Organization for Nuclear Research* (às vezes designada também *European Laboratory for Particle Physics,* Genebra, Suíça; sigla associada ao nome original *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*)
CESAB: Comissão de Ensino (SAB)
C&T: Ciência e Tecnologia
CET/SDC: Coordenação de Ciências Exatas e da Terra/Superintendência de Desenvolvimento Científico (CNPq)
CETUC: Centro de Telecomunicações da PUC-Rio
CfA: *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* (Cambridge, MA)
CFE: Conselho Federal de Educação (órgão do MEC criado em 1961 pela lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e extinto por medida provisória em 1994)
CFHT: *Canada-France-Hawaii Telescope* (3,6 m, Mauna Kea, Havaí)
CGRO: *Compton Gamma-Ray Observatory* (Observatório de Raios Gama Compton, NASA)
CHC: Coordenação de História da Ciência (MAST)
CICC: Centro Integrado de Ciência e Cultura (São José do Rio Preto, SP)
CINT: Ciência Interativa Ltda. (Escolas Técnicas e Profissionalizantes, Rio de Janeiro, RJ)
CLBI: Centro de Lançamentos da Barreira do Inferno (Natal, RN)

CMBR: *Cosmic Microwave Background Radiation* (Radiação Cósmica de Fundo em Micro-ondas)
CMM05: sigla do programa de *Collins, Melosh and Marcus* (2005) para o cálculo dos efeitos do impacto de um meteoroide com a Terra publicado em *Meteoritics & Planetary Science,* 40, 817-840
CMS: *Compact Muon Solenoid* (detector de partículas do LHC)
CNA: Comissão Nacional de Astronomia (órgão sugerido para fazer parte do organograma do MCTI)
CNAE: Comissão Nacional de Atividades Espaciais (desde 1971 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE)
CNAP: *Conseil National des Astronomes et Physicians* (França)
CNE: Conselho Nacional de Educação (MEC)
CNES: *Centre National d'Études Spatiales* (Toulouse, França)
CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Conselho Nacional de Pesquisas desde a criação em 1951 até 1974)
CNQ: Confederação Nacional do Ramo Químico
CNRS: *Centre National de la Recherche Scientifique*
COBE: *Cosmic Background Explorer* (satélite da NASA)
COC: Casa de Oswaldo Cruz (Fiocruz, Rio de Janeiro)
COETEL: Conselho Estadual de Telecomunicações de Minas Gerais
COFECUB: *Comité Français d'Évaluation de la Coopération Universitaire et Scientifique avec le Brésil*
COMED: Comissão de Ensino e Divulgação (SAB)
COMPTEL: *COMPton TELescope* (Max Planck Institute)
COPPE: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (UFRJ)
COROT: *COnvection ROtation et Transits planétaires* (telescópio de missão astronômica espacial liderada pelo CNES, França)
CP: Comissão de Programas (LNA)
CPADA: Computador de Alto Desempenho em Astronomia (Departamento de Astronomia da UFRGS)
CPC: Comunicação Pública da Ciência
CPDOC: Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil (Escola de Ciências Sociais da FGV, Rio de Janeiro)
CPTEC: Centro de Previsão do Tempo e Clima (INPE)
CRAAE: Centro de Rádio Astronomia e Aplicações Espaciais (consórcio envolvendo a Universidade Presbiteriana Mackenzie, o INPE, o NUCATE/Unicamp e a EP/USP. Local: Laboratório de Aplicações Espaciais do Departamento de Engenharia de Transporte da EP/USP)

CRAAM: Centro de Rádio Astronomia e Astrofísica Mackenzie (GRAM até 1969)
CSS: *Catalina Sky Survey* (University of Arizona, levantamento de NEOs e cometas)
CTA: Centro Técnico de Aeronáutica (São José dos Campos, SP) desde a sua fundação em 1953 até 1971, quando passou a se chamar Centro Técnico Aeroespacial; em 2006 mudou o nome para Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial mantendo a sigla. Em 2009 passou a usar a sigla DCTA. A sigla denota também *Cherenkov Telescope Array* (projeto multinacional de um observatório em solo de raios γ em cada hemisfério da Terra)
CTC: Conselho Técnico e Científico (LNA, ON)
CT-INFRA (Chamada Pública do MCTI/FINEP para a modernização e ampliação da infraestrutura de institutos de pesquisa)
CTIO: *Cerro Tololo Inter-American Observatory* (La Serena, Chile)
CTS: Ciência, Tecnologia e Sociedade (*Science, Technology and Society*)
CTSE: sigla CTS acrescida do E de *Environment*
CUBES: *Cassegrain U-band Brazilian-ESO Spectrograph* (VLT, ESO)
CUT: Central Única do Trabalhador
DA: Departamento de Astronomia
DAS: Divisão de Astrofísica, INPE/CEA (antes, Departamento de Astrofísica)
DASP: Departamento Administrativo do Serviço Público
DCTA: Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (setor da Força Aérea do Brasil, São José dos Campos, SP. CTA até 2009)
DECam: câmara imageadora de alta eficiência (DES)
DECAT: Departamento de Engenharia de Controle, Automação e de Técnicas Fundamentais (EM/UFOP)
DEFT: *Dark Energy Task Force* (painel de especialistas)
DES: *Dark Energy Survey* (projeto multinacional a ser conduzido no CTIO, Chile)
DESDM: sistema de gerenciamento de dados (DES)
DESI: *Dark Energy Spectroscopic Instrument* (futuro levantamento)
DM: *Detector Module* (MIRAX)
DMA: Diretoria de Meteorologia e Astronomia (MAPA)
DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (MT, substituído em 2011 pelo DENIT)
DOE: *Department of Energy* (USA)
DOPS: Departamento de Ordem Política e Social
DOU: Diário Oficial da União
DRA: Departamento de Rádio Astronomia (ON)

DRCC: Departamento de Raios Cósmicos e Cronologia (IFGW/Unicamp)
DROLA: *Defense Research Office for Latin America* (escritório norte-americano no Rio de Janeiro)
DSHO: Divisão Serviço da Hora (ON)
DSMA: Diretoria do Serviço Meteorológico e Astronômico do Estado de São Paulo (criada em 1927)
EACH: Escola de Artes, Ciências e Humanidades (campus USP Leste)
EC: Era Comum. *Executive Committee* (Comitê Executivo da IAU)
ECA: Escola de Comunicações e Artes (USP)
ECHARPE: *ÉCHelle* de Alta Resolução para o P&E (instrumento do OPD)
EE: Escola de Engenharia de Porto Alegre
E-ELT: *European Extremely Large Telescope* (ESO)
EeV = 10^{18} eV
EFEI: Escola Federal de Engenharia de Itajubá (MG)
e. g.: *exempli gratia,* por exemplo
EIS: *ESO Imaging Survey*
EJA: Educação de Jovens e Adultos (modalidade oficial de ensino para estudantes que não completaram a educação básica em idade apropriada)
ELO: *Erfgoed Leiden en Omstreken* (antes, *Regionaal Archief Leiden*)
eLORAN: *enhanced LORAN*
EM: Escola de Minas (UFOP)
EMC: Escola Militar da Corte, Rio de Janeiro (designação que perdurou entre 1839 e 1858)
ENAST: Encontro Nacional de Astronomia
ENDIPE: Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino
ENE: Escola Nacional de Engenharia (da UB de 1937 até 1965, quando se tornou Escola de Engenharia da UFRJ)
ENEAR: *Early-type NEARby galaxies* (objetos de levantamento em cosmologia observacional)
ENPEC: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
EP: Escola Politécnica (São Paulo, Rio de Janeiro, USP etc.)
EPEF: Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física
EPU: Editora Pedagógica e Universitária Ltda. (São Paulo, SP)
EREA: Encontro Regional de Ensino de Astronomia (OBA)
ESG: Escola Superior de Guerra (MD)
ESO: *European Southern Observatory* (denominação formal: *European Organization for Astronomical Research in the Southern Hemisphere*)
ESPC: *Earth Science Curriculum Project*
ESSCO: *Electronic Space System Corporation* (Concord, MA)

ET: *Einstein Telescope* (detector europeu de ondas gravitacionais)
et al.: *et alii* (e outros)
EUA: Estados Unidos da América (USA)
eV: (elétron-Volt) unidade de energia
FAB: Força Aérea Brasileira
FAINOR: Faculdade Independente do Nordeste (Vitória da Conquista, BA)
FAPEAM: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas
FAPEMIG: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FAPERGS: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul
FAPERJ: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
FAPERN: Fundação de Apoio à Pesquisa do RN
FAPESP: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FEOP: Fundação Educativa Ouro Preto, MG
Fermilab: *Fermi National Accelerator Laboratory* (US DOE, Batavia, IL)
FFCL: Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras (USP, atual FFLCH a partir de 1969)
FFLCH: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (USP, FFCL até 1969)
FGV: Fundação Getúlio Vargas (Rio de Janeiro)
FHLB: Fundo da Hora Legal Brasileira (ON)
FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos (MCTI, Agência Brasileira de Inovação a partir de 2014)
Fiocruz: Fundação Oswaldo Cruz (MS, Rio de Janeiro)
FLRW: *Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker* (esta sigla denota o modelo padrão da cosmologia relativística)
FLTs: Fenômenos Lunares Transitórios
FNFi: Faculdade Nacional de Filosofia (da UB)
FOTEX: FOtômetro TEXas (instrumento do OPD)
FOTRAP: FOTômetro RÁPido (instrumento do OPD)
FREGATE: *French Gamma-Ray Telescope* (complementa o HETE-2 com medidas espectroscópicas em eventos de baixa energia)
FRODOspec: *Fibre-fed RObotic Dual-beam Optical spectrograph* (Liverpool Telescope, La Palma)
fs (femto-segundo): 10^{-15} s
FUNAI: Fundação Nacional do Índio (MJ)
FUNARJ: Fundação Anita Mantuano de Artes do Estado do Rio de Janeiro
FUNTEC: Fundo Técnico Científico (do BNDES)
FURG: Universidade Federal do Rio Grande, RS
FUVEST: Fundação Universitária para o Vestibular (USP)

G (giga): bilhão
Ga: bilhão de anos
GA: *General Assembly* (Assembleia Geral da IAU)
GA2009: *General Assembly 2009* (Assembleia Geral da IAU de 2009)
GEA: Grupo de Estudos de Astronomia (Florianópolis, SC)
GEDEC: Grupo de Estudos sobre o Desenvolvimento da Ciência (FINEP)
GEM: *Galactic Emission Mapping* (projeto de pesquisa do INPE)
GEO 600: detector de ondas gravitacionais instalado na Alemanha
GMT: *Giant Magellan Telescope* (consórcio internacional envolvendo EUA, Austrália e Coréia do Sul)
GOCNAE: Grupo de Organização da Comissão Nacional de Atividades Espaciais (Grupo de Organização da CNAE)
GPS: *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)
GRAM: Grupo de Rádio Astronomia Mackenzie (criado em 1960, precedeu o CRAAM)
GRB: *Gamma-Ray Burst* (surto de raios γ)
GTS: Grande Telescópio Sinótico (cogitado para ser instalado em Cerro Pachón, Chile)
GWINPE: Grupo *Gravitational Waves* do INPE para a LSC
HAB2013: História da Astronomia no Brasil (2013)
HCTE: História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia (Programa de Pós-Graduação da UFRJ)
HETE-2: *High-Energy Transient Explorer 2* (satélite norte-americano)
HPBW: *Half Power Beam Width*
HPP: *Harvard Project Physics*
Hz: símbolo de Hertz, unidade de frequência = 1 s^{-1}
IA/EE: Instituto de Astronomia da Escola de EE da URGS (OA/EE de 1947 a 1950)
IAB: Instituto de Arqueologia Brasileira (Belford Roxo, RJ)
IAE: Instituto de Aeronáutica e Espaço (DCTA; antes de 1991, Instituto de Atividades Espaciais, CTA)
IAG: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (USP, Instituto Astronômico e Geofísico até 2001)
IAM: Instituto Astronômico e Meteorológico da EE de Porto Alegre (designação desde a fundação em 1906 até 1930)
IAO: Olimpíada Internacional de Astronomia (sigla de *International Astronomy Olympiad*)
IAU: União Astronômica Internacional (sigla de *International Astronomical Union*)

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (MMA)
IBICT: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (MCTI)
ICA: Instituto Coussirat de Araújo (nova designação do IAM de 1930 a 1934)
ICEB: Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (UFOP)
ICEx: Instituto de Ciências Exatas (UFMG)
ICOMOS: *International Council on Monuments and Sites* (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios)
ICTP: *International Center for Theoretical Physics* (Trieste, Itália)
IDH: Índice de Desenvolvimento Humano
IEPA: Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá
IERS: *International Earth Rotation and Reference Systems Service*
IF: Instituto de Física (USP, UFRGS, UFF etc.)
IFAM: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
IFCH: Instituto de Filosofia e Ciências Humanas (Unicamp)
IFCS: Instituto de Filosofia e Ciências Sociais (UFRJ)
IFGW: Instituto de Física "Gleb Wataghin" (Unicamp)
IFSC: Instituto de Física de São Carlos (USP)
IFT: Instituto de Física Teórica (UNESP, Campus de São Paulo a partir de 1987).
IFU: sigla em inglês de Unidade de Campo Integral (*Integral Field Unit*)
IG: Instituto de Geociências (Unicamp)
IGEO: Instituto de Geociências (UFRJ, abriga as áreas de geografia, geologia e meteorologia com sede no CCMN)
IGY: Ano Geofísico Internacional (sigla de *International Geophysical Year*)
IHGB: Instituto Histórico Geográfico Brasileiro (Rio de Janeiro)
IHW: *International Halley Watch* (articulação internacional para observações do cometa Halley em sua aparição em 1986)
IITB: Instituto de Identificação Tavares Buril (Recife, Secretaria de Defesa Social de PE)
IKS: *Indigenous Knowledge Systems* (área emergente de estudos)
IM: Instituto de Matemática (UFRJ)
IME: Instituto de Matemática e Estatística (USP)
IMPA: Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada (Organização Social)
INAA: *Instrumental Neutron Activation Analysis* (Análise Instrumental por Ativação de Nêutrons)
INAF: *Istituto Nazionale di Astrofísica* (Itália)
INAOE: *Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Eletronica* (México)
INCE: Instituto Nacional do Cinema Educativo

INCT-A ou INCT-Astrofísica: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Astrofísica com sede no IAG/USP (um dos institutos do Programa Institutos Nacionais coordenado pelo MCTI/CNPq)
INCT-Espaço: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para o Espaço (MCTI/CNPq)
INCTs: Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (MCTI/CNPq)
INEP: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (MEC)
INMET: Instituto Nacional de Meteorologia (MAPA)
INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial (MDIC)
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (MCTI)
INSU: Instituto Nacional de Ciências do Universo (sigla de *Institut National des Sciences de l'Univers,* CNRS, França)
INT: Instituto Nacional de Tecnologia (MCT desde 1986)
IOAA: Olimpíada Internacional de Astronomia e Astrofísica (sigla de *International Olympiad on Astronomy and Astrophysics*)
IORJ: Imperial Observatório do Rio de Janeiro (denominação inicial do atual ON até o advento da república)
IPEN: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Secretaria de Desenvolvimento do Estado de São Paulo)
IPHAN: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (MinC)
IPS: *International Planetarium Society*
IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado de São Paulo)
IPY: *International Polar Year*
IRC: *International Research Council* (Conselho Internacional de Pesquisa)
IRSV: *Infrared Survey of Valinhos* (levantamento de objetos no infravermelho próximo realizado no Observatório Abrahão de Moraes, em Valinhos, SP)
ISAAC: *International Society for Archeoastronomy and Astronomy in Culture*
ISAS: *Institute of Space and Astronautical Science* (Japão)
ISB: *Instrument Selector Box* (permite selecionar um entre vários instrumentos instalados no telescópio SOAR para utilização)
ITA: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (DCTA, São José dos Campos, SP)
ITP: *The Institute for Theoretical Physics* (UCSB; denominação atual: *The Kavli Institute for Theoretical Physics,* KITP)
IVOA: *International Virtual Observatory Alliance*
J-PAS: *Javalambre Physics of the Accelerating Universe Astrophysical Survey* (Espanha em colaboração com o Brasil, EUA e outros países)
JPL: *Jet Propulsion Laboratory* (NASA)

k (quilo): mil
kbar: quilo bar
km: quilômetro
KAGRA: *Kamioka Gravitational Wave Detector* (detector japonês)
KITP: *Kavli Institute for Theoretical Physics* (designação anterior, ITP)
K-Pg: limite (geológico) Cretáceo-Paleogeno
KPNO: *Kitt Peak National Observatory* (perto de Tucson, AZ)
K-T: limite (geológico) Cretáceo-Terciário
L: Leste
LabJor: Laboratório de Estudos Avançados em Jornalismo (Unicamp)
LAMET: Laboratório de Conservação de Objetos Metálicos (MAST)
LAOR: Laboratório de Observação Remota (OA/UFRGS)
LAPEL: Laboratório de Conservação e Restauração de Documentos em Papel (MAST)
LASCO: *Large Angle Spectrometric Coronograph* (um dos instrumentos a bordo do observatório espacial SOHO)
LBL: *Lawrence Berkeley National Laboratory* (UC/US DOE)
LDB: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
LESBT: Laboratório de Estado Sólido e Baixas Temperaturas (IF/USP)
LHB: *Late Heavy Bombardment* (Bombardeio Pesado Tardio)
LHC: *Large Hadron Collider* (CERN)
LHS: Laboratório de História Social (UnB)
LIADA: *Liga Ibero-americana de Astronomia*
LIGO: *Laser Interferometry Gravitational-Wave Observatory*
LIneA: Laboratório Interinstitucional de e-Astronomia (LNCC, ON, RNP, LNA)
LINEAR: *Lincoln Near Earth Asteroid Research* (projeto americano de observação de NEOs, que em 2005 passou a ser feito pelo CSS)
LINKS: *Local and Indigenous Knowledge Systems* (projeto da UNESCO)
LION: *Lunar International Observers Network*
LIRE: Laboratório de Inovação de Recursos Educacionais (MAST)
LIT: Laboratório de Integração e Testes (INPE)
LLAMA: *Large Latin American Millimeter Array* (projeto radioastronômico de colaboração entre o Brasil e a Argentina)
LNA: Laboratório Nacional de Astrofísica (MCTI, Itajubá, MG, criado em 1985 pelo CNPq por transformação do OAB, do ON)
LNCC: Laboratório Nacional de Computação Científica (MCTI, Petrópolis, RJ)
LOG: Laboratório de Ondas Gravitacionais (INPE)
LONEOS: *Lowell Observatory Near-Earth Object Search* (projeto de observação de NEOs no Observatório Lowell em Flagstaff, AZ, interrompido em 2008)

LORAN: *LOng RAnge Navigation* (sistema de navegação de longo alcance que usa o tempo de chegada de pulsos sincronizados transmitidos por várias estações de rádio para determinar a posição de um avião ou navio)
LPTF: Laboratório Primário de Tempo e Frequência (ON)
L. S.: Limbo Superior (do disco solar)
LSC: *LIGO Scientific Collaboration*
LSRT: *Large Southern Radio Telescope* (projeto não concretizado de um radiotelescópio de grande porte para ser instalado no sul do Brasil)
LSST: *Large Synoptic Survey Telescope* (telescópio em fase de construção, de grande abertura e campo visual para rápido levantamento de todo o céu)
LSU: Universidade Estadual da Louisiana (sigla de *Louisiana State University,* Baton Rouge)
M (mega): milhão
Ma: milhão de anos
MAB: Memorial Aeroespacial Brasileiro (DCTA, São José dos Campos, SP)
MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MASCO: MÁScara Codificada (projeto do INPE para pesquisa em raios X)
MAST: Museu de Astronomia e Ciências Afins, Rio de Janeiro (MCTI)
mCrab: milésimo do fluxo de raios X duros da nebulosa do Caranguejo
MCT: Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI, a partir de 2011). Museu de Ciência e Técnica (EM/UFOP)
MCTI: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCT até 2011)
MD: Ministério da Defesa
MDIC: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDM: *Michigan-Dartmouth-MIT* (consórcio do observatório óptico vizinho ao KPNO, AZ)
MEC: Ministério da Educação (desde a criação em 1930 até 1953 foi Ministério da Educação e Saúde; depois Ministério da Educação e Cultura com a sigla MEC até 1992, quando se tornou Ministério da Educação e do Desporto; a partir de 1995 passou a ser Ministério da Educação, mas manteve a sigla MEC)
MEGALIT: Instituto do Milênio para evolução de estrelas e galáxias na era dos grandes telescópios: implementação de instrumentação para o SOAR e GEMINI (MCTI e CNPq)
MinC: Ministério da Cultura
MIRAX: Monitor e Imageador de Raios X (INPE)
MIT: *Massachusetts Institute of Technology* (Cambridge, MA)
MJ: Ministério da Justiça
ML: Manuscritos de Leiden (de Jorge Marcgrave)
MMA: Ministério do Meio Ambiente

MN: Museu Nacional (UFRJ)
MOBFOG: Mostra Brasileira de Foguetes (OBFOG até 2011)
MOND: *Modified Newtonian Dynamics*
MoU: *Memorandum of Understanding* (Acordo bilateral)
MP: Manuscritos de Paris (de Jorge Marcgrave)
MPC: Minor Planet Center (IAU)
MRE: Ministério das Relações Exteriores
MS: Ministério da Saúde
ms (mili-segundo): milésimo do segundo
MSU: Universidade do Estado de Michigan (sigla da *Michigan State University*)
MT: Ministério dos Transportes
Mt: milhão de toneladas
MURA: *Modified Uniformly Redundant Array* (Arranjo Uniformemente Redundante Modificado)
N: Norte
NAP/Astrobio: Núcleo de Apoio à Pesquisa em Astrobiologia (USP)
NARA: Núcleo de Pesquisa em Radioastronomia (USP)
NASA: *National Aeronautics and Space Administration*
NCE: Núcleo de Computação Eletrônica (instituto especializado da UFRJ, Instituto Tércio Pacitti a partir de 2011 mantendo a sigla)
NCSA: *National Center for Supercomputing Applications* (*University of Illinois at Urbana-Champaign*)
NEAT: *Near Earth Asteroid Tracking*
NEO: *Near Earth Object*
NEPEC: Núcleo de Estudos e Pesquisas Científicas (da UB)
NEROC: *Northeast Radio Observatory Corporation,* Boston, MA
NexGal: Núcleo de Excelência Galáxias: Formação, Evolução e Atividade (MCTI, PRONEX)
NGC: *New General Catalogue*
NHC: Núcleo de Pesquisa em História da Ciência (criado pelo CNPq em 1984)
nm: nanometro (bilionésimo do metro)
NOAO: *National Optical Astronomical Observatory* (centro de pesquisa e desenvolvimento dos EUA para astronomia terrestre noturna)
NOC: *National Organizing Committee* (da GA da IAU)
NPL: *National Physical Laboratory* (laboratório de padrões de medida do RU)
NRAO: *National Radio Astronomy Observatory* (complexo radioastronômico da NSF)
NSBF: *National Atmospheric Balloon Facility* (Palestine, TX)
NSF: *National Science Foundation* (EUA)

NUCATE: Núcleo de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (Unicamp)
O: Oeste
OA/EE: Observatório Astronômico da EE de Porto Alegre (nova designação do ICA de 1934 a 1947)
OA/UFRGS: Observatório Astronômico da UFRGS (nova designação do IA/EE a partir de 1969/1970 até hoje)
OAB: Observatório Astrofísico Brasileiro (órgão do ON transformado em 1985 pelo CNPq no LNA). Observatório Astronômico de Brusque, SC
OACEP: Observatório Astronômico do Colégio Estadual do Paraná, Curitiba
OAGLL: Observatório Astronômico Genival Leite Lima (Maceió, AL)
OBA: Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (Olimpíada Brasileira de Astronomia até 2005)
OBFOG: Olimpíada Brasileira de Foguetes (MOBFOG a partir de 2012)
OC: Observatório Central (denominação a partir da década de 1970 do prédio histórico do OA/UFRGS). Observatório do Capricórnio
OCA: *Observatoire de la Côte d´Azur* (Nice, França)
OCDE: Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (organização internacional de cooperação internacional com sede em Paris)
OCV: Observatório do Campus do Vale (OA/UFRGS)
OEI: Observatório Educativo Itinerante (OA/UFRGS)
OLAA: Olimpíada Latino-Americana de Astronomia e Astronáutica
OMA: *Optical Multichannel Analyzer* (analisador de espectro de alta velocidade)
OMCJN: Observatório Municipal de Campinas Jean Nicolini
OMS: Observatório do Morro Santana (OA/UFRGS)
ON: Observatório Nacional (MCTI, Rio de Janeiro. Antes ORJ e IORJ)
ONG: linha de pesquisa em Astrofísica de Ondas Gravitacionais (DAS/INPE)
OPD: Observatório do Pico dos Dias (do LNA, em Brazópolis, MG)
OPL: *Optique et Précision de Levallois*
ORJ: Observatório do Rio de Janeiro (antes IORJ, depois ON)
OSC: *Observatório Sismológico de San Calixto* (La Paz, Bolívia)
OSCIP: Organização da Sociedade Civil de Interesse Público
OSP: Observatório de São Paulo
OV: Observatório do Valongo (unidade acadêmica da UFRJ vinculada ao CCMN)
P (peta): quatrilhão
PAE: Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (USP)
P&E: Perkin-Elmer (marca de instrumentos astronômicos)
PAU: *Physics of the Accelerated Universe* (parte do projeto J-PAS)
PB: *petabyte*
PBOCH: Programa Brasileiro para a Observação do Cometa Halley

PCI: Programa de Capacitação Institucional (programa do CNPq de concessão de bolsas para formação e capacitação de recursos humanos)
PCN: Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+: Orientações Educacionais Complementares aos PCN (para o ensino médio)
PDE: Plano de Desenvolvimento da Educação (MEC, plano executivo). Plano de Desenvolvimento Estratégico (documento do OA/UFRGS)
PDFs: feições planares de deformação (sigla de *Planar Deformation Features*)
PDS: *Photometric Data Systems* (P&E *Corporation*)
PEMAT: Programa de Pós-Graduação em Ensino de Matemática (UFRJ)
PFS: *Prime Focus Spectrograph* (telescópio Subaru)
PHO: *Potentially Hazardous Objects*
PIB: Produto Interno Bruto
PM: *Post Meridiem* (depois do meio-dia)
PMAC: Projeto Memória da Astronomia no Brasil e Ciências Afins
PNA: Plano Nacional de Astronomia
PND: Plano Nacional de Desenvolvimento
Pós-docs: Pós-doutores
PPGH: Programa de Pós-Graduação em História (UNIRIO)
PPGHIS: Programa de Pós-Graduação em História Social (UFRJ)
PPG-PMUS: Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio (UNIRIO/MAST)
PROCIÊNCIA: Programa Integrado para o Ensino da Ciência
PROEX: Programa de Excelência Acadêmica (CAPES). Pró-Reitoria de Extensão
PRONEX: Projetos de Apoio a Núcleos de Excelência (CNPq)
PSSC: *Physical Science Study Committee*
P-T: limite (geológico) Permo-Triássico
PUC-Rio: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
PUC/SP: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo
PUCAMP: Pontifícia Universidade Católica de Campinas
PUS: *Public Understanding of Science* (Entendimento Público da Ciência)
QR: *Quick Reduce* (*pipeline* da DECam)
R: poder de resolução de um espectrógrafo
RASC: *Royal Astronomical Society of Canada*
RDA: República Democrática Alemã (antiga Alemanha Oriental)
REA: Rede de Astronomia Observacional
RELEA: Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia
RF: Rádio Frequência
RNP: Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (espinha dorsal da *internet* acadêmica no Brasil)

ROI: Rádio Observatório do Itapetinga (Atibaia, SP)
rpm: rotações por minuto
RU: Reino Unido (UK)
S: Sul
SAB: Sociedade Astronômica Brasileira
SACY: *Search for Associations Containing Young-star* (projeto do LNA de identificação de associações com estrelas jovens)
SAF: *Societé Astronomique de France*
SAIFR: *South American Institute for Fundamental Research* (sede no IFT)
SAM: *SOAR Adaptative Module*
SAO RAS: *Special Astrophysical Observatory — Russian Academy of Sciences*
SAR: Sociedade Astronômica do Recife
SARA: Satélite de Reentrada Atmosférica (IAE)
SARG: Sociedade Astronômica Rio-Grandense (Porto Alegre, RS)
SBAA: Sociedade Brasileira dos Amigos da Astronomia (Fortaleza, CE)
SBF: Sociedade Brasileira de Física
SBHC: Sociedade Brasileira de História da Ciência
SBPC: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
SCDL: Segunda Comissão Brasileira Demarcadora de Limites (MRE)
SDSS: *Sloan Digital Sky Survey*
SDSS III: *Sloan Digital Sky Survey III* (continuação do SDSS)
SEA: Sociedade de Estudos Astronômicos (Belo Horizonte, hoje CEAMIG)
SEAC: *Société Européenne pour la Astronomy dans la Culture*
SEAOP: Sociedade de Estudos Astronômicos de Ouro Preto
SEF: Secretaria de Educação Fundamental (MEC)
SEMT: Secretaria de Educação Média e Tecnológica (MEC, sigla antiga)
SEMTEC: Secretaria de Educação Média e Tecnológica (MEC, sigla atual)
SF2A: Sociedade Francesa de Astronomia e Astrofísica (sigla da *Société Française d'Astronomie et d'Astrophysique*)
SH: Serviço da Hora (ON)
SI: Sistema Internacional de Unidades
SIAC: *Sociedad Interamericana de Astronomía Cultural*
SIFS: *SOAR Integral Field Spectrograph* (ver IFU)
SKA: *Square Kilometer Array* (Austrália e África do Sul)
SME: Secretaria Municipal de Educação (Rio de Janeiro)
SNEA: Simpósio Nacional de Educação em Astronomia
SNEF: Simpósio Nacional de Ensino de Física
SOAR: *SOuthern Astrophysical Research* (telescópio de 4,1m em Cerro Pachón, Chile)

SOHO: *Solar and Heliospheric Observatory*
SPARC4: *Simultaneous Polarimeter and Rapid Camera in 4 bands* (instrumento astronômico em construção para o OPD)
SPIRou (*SpectroPolarimètre InfraRouge*) do CFHT
SRTM: *Shutlle Radar Topographic Mission* (levantamento topográfico global)
SSRS: *Southern Sky Redshift Survey* (levantamento de cosmologia observacional)
SST: *Solar Sub-millimetric Telescope* (El Leoncito, Argentina)
STELES: *SOAR Telescope Échelle Spectrograph* (instrumento para o SOAR em vias de finalização)
STEM: *Science, Technology, Engineering and Math*
STEREO: *Solar Terrestrial Relations Observatory* (projeto da NASA de dois telescópios espaciais para observações tridimensionais do Sol)
SXC: *Soft X-ray Camera* (um dos experimentos do HETE-2 usando máscara codificada)
T (tera): trilhão
t: tonelada
TAI: Tempo Atômico Internacional
TE: Tempo das Efemérides
TeVeS: *Tensor-Vector-Scalar Gravity*
TIMAX: Telescópio IMAgeador de Raios X (experimento do INPE precursor do MASCO)
TMT: *Thirty Meter Telescope* (colaboração da Caltech, UC e ACURA)
TRESCA: *Transiting Exoplanets and Candidates* (banco de dados mantido pela *Czech Astronomical Society*)
TSB: Telescópio de Síntese Brasileiro (INPE). Houve antes um projeto não concretizado com essa sigla no DRA/ON.
TU: Tempo Universal (anterior ao advento do Tempo Universal Coordenado, UTC)
UA: Unidade Astronômica (distância média entre a Terra e o Sol, de cerca de 150 milhões km)
UB: Universidade do Brasil (de 1937 a 1965 no Rio de Janeiro; antes, desde a criação em 1920, Universidade do Rio de Janeiro)
UBA: União Brasileira de Astronomia
UC: *University of California*
UCS: Universidade de Caxias do Sul (RS)
UCSB: *University of California*, Santa Barbara
UCSD: *University of California*, San Diego
UDF: Universidade do Distrito Federal (1935-1939, Rio de Janeiro)
UEFS: Universidade Estadual de Feira de Santana (BA)
UEL: Universidade Estadual de Londrina (PR)

UEM: Universidade Estadual de Maringá (PR)
UEMS: Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (Dourados, MS)
UEPA: Universidade do Estado do Pará
UEPG: Universidade Estadual de Ponta Grossa (PR)
UERGS: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
UERJ: Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Universidade do Estado da Guanabara até 1975)
UESB: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Vitória da Conquista)
UESC: Universidade Estadual de Santa Cruz (Ilhéus, BA)
UFABC: Universidade Federal do ABC (ABC Paulista)
UFAL: Universidade Federal de Alagoas
UFAM: Universidade Federal do Amazonas
UFBA: Universidade Federal da Bahia
UFC: Universidade Federal do Ceará
UFES: Universidade Federal do Espírito Santo
UFF: Universidade Federal Fluminense
UFG: Universidade Federal de Goiás
UFJF: Universidade Federal de Juiz de Fora (MG)
UFLA: Universidade Federal de Lavras (MG)
UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais
UFMT: Universidade Federal de Mato Grosso
UFOP: Universidade Federal de Ouro Preto (MG)
UFPA: Universidade Federal do Pará
UFPE: Universidade Federal de Pernambuco
UFPel: Universidade Federal de Pelotas (RS)
UFPR: Universidade Federal do Paraná
UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (URGS antes de 1950)
UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UB até 1965)
UFRN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRPE: Universidade Federal Rural de Pernanbuco
UFRR: Universidade Federal de Roraima
UFS: Universidade Federal de Sergipe
UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar: Universidade Federal de São Carlos (SP)
UFSJ: Universidade Federal de São João del Rei (MG)
UFSM: Universidade Federal de Santa Maria (RS)
UFU: Universidade Federal de Uberlândia (MG)
UnB: Universidade de Brasília
UNC: Universidade da Carolina do Norte (sigla da *University of North Carolina*)

UNEB: Universidade do Estado da Bahia, Salvador
UNESCO: *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura)
UNESP: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
UniABC: Universidade do Grande ABC (Santo André, SP, instituição privada)
Unicamp: Universidade Estadual de Campinas (SP)
UNICAP: Universidade Católica de Pernambuco
UNICSUL: Universidade Cruzeiro do Sul (São Paulo, SP, instituição privada)
UNIFEI: Universidade Federal de Itajubá (MG)
UNIFESP: Universidade Federal de São Paulo
UNIMEP: Universidade Metodista de Piracicaba (SP, instituição privada)
UNIP: Universidade Paulista (instituição privada)
UNIRIO: Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
UNIVALI: Universidade do Vale do Itajaí (SC)
UNIVAP: Universidade do Vale do Paraíba (São José dos Campos, SP, instituição privada)
UNIVASF: Universidade Federal do Vale do São Francisco (PE, BA e PI)
UnP: Universidade Potiguar (Natal, RN, instituição privada)
UP: unidade de pesquisa (CNPq)
URA: *Uniformly Redundant Array* (padrão de máscara codificada)
URGS: Universidade do Rio Grande do Sul (designação a partir de 1947 da Universidade de Porto Alegre, criada em 1934, até sua federalização em 1950 quando passou a ser a UFRGS)
URSS: União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (1922-1991)
USAF: Força Aérea dos Estados Unidos (*US Air Force*)
USNO: *United States Naval Observatory* (Washington)
USP: Universidade de São Paulo
UTC: *Coordinated Universal Time* (Tempo Universal Coordenado)
UV: ultravioleta
UVES: *Ultraviolet and Visual Échelle Spectrograph* (instrumento do VLT do ESO)
VHF: *Very High Frequency* (30-300 MHz)
VIRGO: detector europeu de ondas gravitacionais
VISTA: *Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy* (telescópio da classe de 4 m no Observatório Paranal, ESO)
VLBI: *Very Long Baseline Interferometry*
VLF: *Very Low Frequency* (3-30 kHz)
VLS: Veículo Lançador de Satélites (projeto desenvolvido pelo IAE/DCTA)
VLT: *Very Large Telescope* (ESO, Observatório Paranal, 4 telescópios de 8 m de diâmetro que podem operar independente ou conjuntamente)

VST: *VLT Survey Telescope* (telescópio de 2,6 m no Cerro Paranal para rápido levantamento de grandes áreas do céu desde o ultravioleta até o infravermelho próximo)
WET: *Whole Earth Telescope* (colaboração internacional de mais de 25 telescópios espalhados pelo mundo que, em certos períodos, fazem observação em uníssono como se fossem um único telescópio)
WIMP: *Weakly Interacting Massive Particles*
WMAP: *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (sonda especial que mediu diminutas variações de temperatura na **Radiação Cósmica de Fundo**)
WXM: *Wide-field X-ray Monitor* (um dos experimentos do HETE-2 usando máscara codificada)

Å (Ångström) = 10^{-10} m
α: alfa pode designar estrela numa **constelação**, partícula alfa ou a linha espectral H-alfa do hidrogênio
β: beta pode designar estrela numa **constelação**, radiação beta
δ: delta designa estrela numa **constelação**
Δ: Delta denota diferença ou variação de uma quantidade
ε: épsilon pode designar estrela numa **constelação**, erro quantitativo
φ: fi denota latitude geográfica
γ: gama pode designar estrela numa **constelação**, raio gama
η: eta designa estrela numa **constelação**
κ: capa designa estrela numa **constelação**
λ: lambda denota longitude geográfica, estrela numa constelação ou comprimento de onda
Λ: Lambda denota a constante cosmológica
μm (micrometro): milionésimo do metro, mícron
π: pi pode designar estrela numa **constelação**, o número pi
ρ: rô designa estrela numa **constelação**
τ: tau designa estrela numa **constelação**

2dF: *2-degree-Field Galaxy Redshift Survey* (levantamento da estrutura em grande escala do universo local realizado pelo AAO)

Glossário

Ablação: desgaste ou destruição por queima da superfície à frente de um objeto, como um **meteorito** ou uma nave espacial, enquanto ele se move muito rapidamente através da atmosfera.

Acondrito: um tipo raro de **meteorito** rochoso, composto principalmente de minerais silicatosos com textura de rocha ígnea, e que não contém **côndrulos**.

Acresção: num sistema binário de estrelas em que uma é compacta (ver **objetos colapsados**) e seu campo gravitacional é muito intenso, matéria da outra estrela pode fluir para sua esfera de influência e passar a orbitar à sua volta. Forma-se então um disco de matéria que, devido a colisões, se aquece mas irradia, perdendo energia e espiralando em direção à estrela. Esse é o disco de **acresção**.

AGN (*Active Galactic Nucleus*): ver **Núcleo ativo de galáxia.**

Altas energias: a **astrofísica** ou astronomia de **altas energias** estuda os objetos astronômicos que emitem radiação de **alta energia** (ultravioleta extremo, raios X e **raios** γ), **neutrinos** e **raios cósmicos**. São considerados de **altas energias** os **raios cósmicos** com energia superior a cerca de 10^{18} eV ou EeV.

Altazimutal: montagem em que o instrumento astronômico pode ser girado em torno de dois eixos ortogonais: horizontal e vertical. A rotação em torno do primeiro permite variar a **altura** (ou **elevação**) e, em torno do segundo, o **azimute**.

Altura (ou **Elevação):** distância angular entre o horizonte e um astro, contada ao longo do círculo vertical, centrado no observador, que passa por esse astro. Varia de 0° a 90º acima do horizonte e de 0º a -90º abaixo do horizonte.

Anã branca: estágio terminal da evolução de estrelas cuja massa inicial é menor que cerca de 8 vezes a massa do Sol. Quando as reações de fusão nuclear não podem mais prosseguir, o núcleo da estrela perde sustentação e colapsa, só estabelecendo um novo equilíbrio quando a densidade atinge cerca de 1 t/cc. Em geral a massa da **anã branca** é cerca de 0,5 a 0,7 massa solar e seu raio, da ordem de milhares de km.

Anã marrom: objeto astronômico de tamanho intermediário entre um planeta e a menor das estrelas. Com massa dezenas de vezes maior que a de Júpiter, mas inferior a cerca de 7,5% da massa do Sol, é incapaz de sustentar reações de fusão do hidrogênio no seu interior.

Anã vermelha: estrela da **sequência principal** com massa menor que a do Sol e cuja temperatura de superfície é < 4 mil K, daí a cor avermelhada.

Anomalias isotópicas: a nebulosa solar primitiva não era tão homogênea na sua composição química e isotópica como se supunha anteriormente, mas abrigava heterogeneidades que refletiam variações espaciais e temporais. Os desvios de composição isotópica em relação à média são denominados **anomalias isotópicas**.

Asterismo: padrão identificável no céu por algum agrupamento indígena, conforme acepção adotada nas pesquisas em Astronomia Cultural; é um termo mais abrangente que **constelação**. Assim, por exemplo, as **constelações** convencionadas pela **IAU** são asterismos, mas estes podem caracterizar também o fundo escuro, estrelas, fenômenos que não estrelas, corpos mistos, manchas claras ou escuras observadas no céu noturno.

Asteroides (ou **planetoides**)**:** corpos de material refratário entre dezenas de metros até centenas de quilômetros, que orbitam ao redor do Sol, a maioria entre as órbitas de Marte e Júpiter.

Astrobiologia: estudo interdisciplinar da origem, evolução, distribuição e futuro da vida no universo.

Astrofísica: ramo da astronomia que estuda as propriedades físicas dos astros.

Astrógrafo: telescópio para fotografia astronômica.

Astrolábio: instrumento astrométrico (ver **astrometria**) que, ao fazer coincidir duas imagens do mesmo astro (uma delas refletida), possibilita determinar com alta precisão o instante da passagem desse astro por uma **altura** fixa acima do horizonte. Esta definição não se aplica ao astrolábio medieval.

Astrolábio de Danjon: instrumento destinado à observação dos astros numa **altura** fixa de 60°. É utilizado para a determinação da posição dos astros (coordenadas celestes), da latitude e da hora.

Astrometria: ramo da astronomia que mede e estuda a posição, a **paralaxe** e o movimento próprio dos astros no céu. De forma simplificada, o movimento aparente de um astro na esfera celeste tem duas componentes: a **paralaxe** devida ao movimento da Terra ao redor do Sol e o movimento próprio devido ao movimento do astro em relação ao Sol. A primeira componente é cíclica, ao passo que a segunda cresce linearmente.

Astronomia dinâmica: ramo da astronomia que compreende a **mecânica celeste** de corpos astronômicos (estrelas, planetas, satélites, **asteroides**, cometas etc.). É uma subárea da **mecânica celeste**.

Astronomia física: expressão do século 19 para designar a parte da astronomia que se preocupava com as propriedades físicas das estrelas, nebulosas, planetas, satélites e cometas. Hoje em dia se diz **astrofísica**.

Astronomia fundamental: ramo mais antigo da astronomia, lida com a astronomia esférica para o estudo da posição e movimento aparente dos astros no céu, a medição do tempo e as mudanças das posições aparentes dos astros pela **refração atmosférica**, **paralaxe**, aberração, precessão e nutação.

Astronomia terrestre: astronomia que coleta dados por meio de observações feitas em solo, não no espaço. Essas observações são feitas nas janelas atmosféricas que permitem a chegada da radiação eletromagnética dos astros até o solo. Essas janelas são a da luz visível (**óptica**), a das ondas de rádio e da radiação infravermelha próxima ao visível.

Astroquímica: estudo da abundância e das reações dos elementos químicos e das moléculas no universo e da sua interação com a radiação.

Azimute: distância angular medida no sentido horário no círculo horizontal, a partir de uma direção de referência (p. ex., o ponto cardeal N ou S) até encontrar o círculo que passa verticalmente pelo astro.

Banda (fotométrica)**:** faixa ou intervalo de comprimentos de onda em que a radiação do astro passa através do filtro.

Bárion: partícula subatômica composta por 3 **quarks**. Exemplo: próton, nêutron. Os **bárions** formam uma classe de **hádrons** ao lado dos **mésons**, estes de menor massa.

Barras. Barras ressonantes: antenas de **ondas gravitacionais** com o formato de barra que ressoam na frequência da **onda gravitacional** quando ela passa por elas. Entretanto, para que isto ocorra, a frequência em questão deve coincidir com um dos modos naturais de ressonância mecânica da **barra**. Neste processo, energia da onda é absorvida pela antena.

Bólido: bola de fogo brilhante (mais intensa que um **meteoro** ou estrela cadente) associada à queda de um **meteoroide** de grande porte. O **meteoroide** pode explodir na atmosfera antes de atingir o solo ou cair no solo e produzir cratera.

Bolsa de produtividade (em pesquisa)**:** modalidade de bolsa concedida pelo CNPq para pesquisadores que se destacam na produção científica.

Brecha de impacto: massa desordenada e pobremente selecionada de fragmentos de rochas escavados de forma violenta do terreno durante o processo inicial de formação de crateras de impacto; fragmentos de tamanhos variados são lançados para o alto e parte deles cai novamente dentro da cratera recém--formada, sedimentando-se em uma matriz fina constituída por poeira para formar as **brechas**.

Buraco negro: previsto pela teoria da relatividade geral, nele a gravidade é tão intensa que sobrepuja todas as outras forças da natureza. Uma vez no seu interior, nada jamais pode escapar, nem a luz.

Câmara de emulsões (para estudo de **raios cósmicos**)**:** consiste em várias camadas de emulsões nucleares justapostas, vertical ou horizontalmente, tendo ou não camadas de outros materiais intercaladas, e possibilitando o acompanhamento do traço de partículas ao atravessar as várias camadas.

Câmara de nuvens: também conhecida como Câmara de Wilson, consiste numa câmara selada contendo vapor supersaturado de água ou álcool. A câmara detecta partículas eletricamente carregadas, já que estas ionizam as moléculas do vapor que, uma vez ionizadas, atuam como núcleos de condensação do vapor. As partículas eletricamente carregadas produzem um traço de vapor condensado devido aos **íons** formados ao longo de sua trajetória.

***Cassegrain*:** configuração de telescópio refletor ou radiotelescópio em que a radiação de um astro, incidente num grande refletor primário côncavo, é refletida para um refletor secundário convexo e menor, cujos raios refletidos convergem no foco.

Celóstato: instrumento com dois espelhos planos, o primeiro que dá uma volta a cada dois dias em torno do **eixo polar**, e o segundo que reflete os raios de luz do primeiro para um instrumento fixo. Assim o instrumento fixo pode manter o mesmo astro em seu campo de visão, apesar do movimento diurno do astro devido à rotação da Terra.

Chuva de meteoros: fenômeno celeste em que vários **meteoros** são observados da Terra como se originassem de um mesmo ponto do céu (**radiante**).

Chuveiro (de **raios cósmicos**)**:** é uma cascata formada de partículas ionizadas e **raios** γ, produzida na atmosfera quando um **raio cósmico** entra na atmosfera. Este interage com os constituintes da atmosfera, resultando na produção de muitas outras partículas, que também poderão interagir novamente na atmosfera, ou então decair, no seu caminho até o solo. Ao atingir o solo, o **chuveiro** atmosférico é composto de um número tanto maior de partículas, quanto maior for a energia do **raio cósmico** que o causou. Igualmente, ao chegarem ao solo, as partículas do **chuveiro** cobrirão uma área tanto maior, quanto maior for a energia do **raio cósmico** que deu origem ao chuveiro.

Círculo meridiano: instrumento astronômico com um círculo graduado vertical, orientado segundo o meridiano local, para determinar as coordenadas celestes de astros na sua **passagem meridiana**.

CMBR: *Cosmic Microwave Background Radiation* (ver **Radiação Cósmica de Fundo**).

Condritos: **meteoritos** que possuem **côndrulos** e com composição típica da nebulosa solar primitiva, isto é, que não sofreu diferenciação no interior planetário.

Côndrulos: grãos milimétricos esféricos formados na nebulosa solar primitiva antes dos planetas, pela condensação de gotas de mineral silicatoso fundido.

Cones de estilhaçamento (*shatter cones*)**:** feições estriadas de formato cônico que ocorrem geralmente na forma de agregados, com dimensões dos cones individuais variando entre poucos centímetros até vários metros, formadas pela deformação resultante da passagem das ondas de choque provocadas pelo impacto de um corpo celeste; as estrias dos **cones de estilhaçamento** irradiam-se a partir do ápice abrindo-se em direção à base, à maneira de um rabo-de-cavalo, lembrando a estrutura sedimentar cone-em-cone; essa estrutura forma-se

de maneira mais conspícua em rochas homogêneas e de granulação fina, como carbonatos e arenitos, submetidas a processo de impacto.

Constelação: tecnicamente consiste numa das constelações definidas em 1922 pela IAU, que dividiram a esfera celeste em 89 áreas com a subdivisão da constelação da Serpente nas áreas Cabeça e Cauda. Essas áreas foram delimitadas e designadas em razão de **asterismos** que elas abrigavam, muitos da tradição greco-romana. Na linguagem comum **constelação** significa esses **asterismos**. Coerentemente com a definição da IAU, constelações indígenas ou das tradições chinesa, hindu etc., não são propriamente **constelações**, mas **asterismos**.

Corrida (*run*): nome que se dá ao processo no qual se executa continuamente um experimento científico envolvendo alguma máquina ou equipamento especial.

Cosmologia: ramo da astronomia que estuda a origem, estrutura e evolução do universo como um todo. Em antropologia esse termo significa o conjunto de mitos, saberes, crenças, tradições, formas próprias de cognitividade e outros aspectos da cultura indígena, característico de um determinado grupo indígena – às vezes também denominado cosmovisão.

***Coudé*:** do francês "cotovelo", designa a configuração de montagem de um tipo de **espectrógrafo** que utiliza um sistema de espelhos para desviar de 90º a luz proveniente da direção do **eixo polar** do telescópio, direcionando-a para uma sala separada onde se encontra o **espectrógrafo**, geralmente ali instalado fixamente por questões de tamanho, peso e estabilidade.

***Cromlech*:** círculo de pedras (do celta: *crom* = curva e *lech* = pedra).

Cronógrafo: instrumento eletromecânico com movimento contínuo que registra graficamente a passagem do tempo e o instante de ocorrências através de uma pena acionada por eletroímãs.

Cronômetro: relógio para medir a duração de um fenômeno ou de um processo com alta precisão.

Curva de rotação (de **galáxia espiral**)**:** gráfico que mostra a velocidade de rotação de estrelas e nuvens interestelares em função da distância ao centro da **galáxia**.

Declinação: distância angular de um astro, medida a partir do equador celeste ao longo de um grande círculo que passa pelos **polos celestes**. Por convenção é positiva no hemisfério celeste norte e negativa no hemisfério celeste sul. A **declinação** pode ser visualizada como a projeção da latitude geográfica na esfera celeste.

Declinação magnética: desvio angular medido no plano horizontal entre o norte magnético (indicado pela bússola) e o norte geográfico.

Declinômetro: instrumento para medir a **declinação magnética**.

Dólmen: mesa de pedra (do bretão *dol* = mesa e *men* = pedra).

Échelle: do francês "escada", designa um tipo de rede de difração com ranhuras mais espaçadas e em maior ângulo fazendo parecer degraus de uma escada. Designa também **espectrógrafos** construídos com esse tipo de rede de difração para obter simultaneamente alta **resolução** e ampla cobertura espectral.

Eixo polar: eixo paralelo ao eixo de rotação da Terra, em torno do qual se observa o movimento diurno dos astros.

Elevação: sinônimo de **Altura**.

Envelope circunstelar: camada de gás geralmente em expansão ao redor de uma estrela.

Equação do tempo: uma das correções a ser aplicada no tempo medido com o Sol verdadeiro (p. ex., com um relógio de sol) para se obter o tempo medido com os nossos relógios de pulso, para os quais todos os dias do ano têm a mesma duração de 24 horas.

Equação pessoal: variabilidade atribuível a diferenças pessoais, p. ex., na determinação sensorial do instante da ocorrência de um evento.

Equatorial: tipo de montagem que tem o **eixo polar** como eixo principal, em que o telescópio pode acompanhar o movimento diurno (movimento aparente devido à rotação da Terra) de leste para oeste, dos astros no céu.

Esferas. Esferas ressonantes: antenas de **ondas gravitacionais** com o formato de **esfera** que ressoam na frequência da **onda gravitacional** quando ela passa

por elas. Entretanto, para que isto ocorra, a frequência em questão deve coincidir com um dos modos naturais de ressonância mecânica da **esfera**. Neste processo, energia da onda é absorvida pela antena e é esta energia que é utilizada na detecção da onda.

Espaço-tempo de Minkowski: após as interpretações de Einstein sobre o resultado negativo das experiências de Michelson e Morley em 1908, Hermann Minkowski introduziu o espaço-tempo quadridimensional, no qual a distância entre dois pontos é invariante sob as transformações de Lorentz. Nesse espaço-tempo, o "tempo absoluto" de Newton é substituído pelo "tempo próprio" de Einstein, tempo esse medido com um relógio em repouso no sistema de referência do observador.

Espectro: na astronomia é a distribuição, como num arco-íris, das componentes da luz (ou da radiação eletromagnética em geral) segundo seus diferentes comprimentos de onda. Na física de **raios cósmicos** é a distribuição do fluxo ou da ocorrência de **raios cósmicos** para os diferentes valores de sua energia.

Espectrógrafo: instrumento capaz de separar a luz de um astro, coletada pelo telescópio, em seus vários comprimentos de onda produzindo o **espectro** e registrando-o, por exemplo, com uma câmara CCD.

Espectroscopia: na astronomia é um método baseado na observação do **espectro** de radiação, para o estudo da composição química, do estado físico e do movimento **radial** dos astros usando a teoria da emissão, absorção e espalhamento da radiação eletromagnética pela matéria.

Espectroscópio: instrumento capaz de produzir **espectros**.

Estado ou **estado absoluto (de um cronômetro):** diferença entre a hora convencionada como certa e a hora do relógio. Com essa definição um relógio atrasado tem **estado** positivo.

Estrela binária eclipsante: sistema de duas estrelas cujas órbitas estão orientadas de forma que uma passa na frente da outra, quando o sistema é observado da Terra.

Estrela de nêutrons: estrela com massa próxima a 1,4 vezes a massa do Sol e raio da ordem de apenas uma dezena de km. Sendo constituída de nêutrons,

sua densidade é da ordem de 100 milhões t/cc. Trata-se, em geral, de resto de explosão de **supernova** cuja massa inicial estava entre 8 a 30 massas solares.

Estrela quente: estrela com temperatura de superfície > 10 mil K, isto é, do **tipo espectral** O, B ou A. Pode pertencer à **sequência principal**, ser gigante, supergigante ou estrela central de uma **nebulosa planetária**.

Estrela simbiótica: sistema estelar binário em que uma estrela gigante fria ejeta as camadas externas e a outra é uma pequena **estrela quente** (**anã branca**) que aquece o gás ejetado. Seu **espectro** apresenta simultaneamente características associadas a altas e baixas temperaturas, daí o nome.

Estrela tardia: estrela cuja temperatura na superfície é menor que a do Sol (**tipo espectral** K, M).

Estrela tipo Herbig Ae/Be: estrelas do **tipo espectral** A e B que ainda estão se contraindo antes de ingressar na **sequência principal**, apresentam intensas linhas de emissão denotadas por "e" e estão associadas a nebulosas brilhantes.

Estrela T Tauri: protoestrela no estágio que precede a ignição do hidrogênio e apresenta variabilidade irregular. A designação é porque o objeto protótipo foi encontrada na **constelação** do Touro.

Evolução química de galáxias: evolução da abundância de espécies químicas em **galáxias** devida a processos nucleares no interior das estrelas e ao fluxo de matéria entre estrelas e o **meio interestelar**.

Expansão acelerada (do universo)**:** desde meados da década de 1920, com base nas observações do astrônomo americano Edwin Hubble (1889-1953), já se sabia que o universo estava em expansão. Esperava-se que, com o passar do tempo, essa expansão diminuísse sob o efeito da gravidade. No entanto em 1998, observando-se **supernovas** de um tipo específico (Ia) descobriu-se que a expansão não só não estava diminuindo, mas está se acelerando.

Exsicata: amostra seca de ramo com folhas, flores e/ou frutos fixada num pedaço de cartolina, que se expõe em herbários.

Extragaláctico, a: refere-se ao que é externo à nossa própria **Galáxia** ou **Via Láctea**.

Extremófilos: microrganismos capazes de se desenvolverem em ambientes com condições extremas de temperatura, pressão, salinidade, pH (acidez ou alcalinidade) etc., que seriam inóspitos para os organismos complexos.

***Fabry-Pérot*:** um tipo de interferômetro desenvolvido pelos franceses Charles Fabry e Jean-Baptiste Pérot, baseado no princípio da interferência da luz refletindo entre duas placas paralelas de vidro para produzir a imagem monocromática de um objeto astronômico. Alguns modelos podem ser sintonizados para diferentes comprimentos de onda, produzindo assim várias imagens do mesmo objeto astronômico em diferentes comprimentos de onda.

Feições planares de deformação (ou **PDFs**, sigla de *Planar Deformation Features*)**:** feições microscópicas de deformação desenvolvidas em grãos minerais pela passagem das ondas de choque decorrentes de forte impacto; constituem conjuntos de feições planares paralelas a eixos cristalográficos específicos, formados sob condições de pressão que variam entre 40 e 500 *kbar* (1 *bar* ≈ pressão atmosférica padrão); o mineral em que a formação de **PDF**s é mais comum é o quartzo.

Flare (ver **Fulguração solar**)

Forças fundamentais: a matéria conhecida é formada por átomos e sustentada por quatro **forças** independentes chamadas fundamentais: a gravitacional, a eletromagnética, a nuclear fraca e a nuclear forte. Pensa-se que o objetivo maior da física é simplificar esse esquema pela unificação dessas quatro **forças** em uma só.

Foto-heliógrafo: telescópio especialmente desenhado para observações solares e dotado de uma câmara para fotografar o Sol.

Fotoionização: processo físico no qual a absorção de radiação por um átomo, **íon** ou molécula induz a remoção de um ou mais elétrons.

Fotometria: na astronomia consiste na medição da intensidade da radiação numa faixa ou **banda** de comprimentos de onda, para a obtenção de informações sobre a estrutura, morfologia, variação de brilho, rotação, temperatura, distância e outras propriedades dos astros.

Fulguração solar (*flare*): variação súbita, rápida e intensa de brilho em linhas espectrais, como a linha H-α do hidrogênio, numa região associada a manchas

solares, quando ocorre grande liberação de energia na forma de radiação em diversos comprimentos de onda (raios ultravioletas, raios X, ondas de rádio etc.) e, às vezes, também de ejeção de partículas a altas velocidades.

Galáxia: com inicial maiúscula designa a nossa **galáxia** (ver **Galáxias**), isto é, a **Via Láctea**.

Galáxias: grandes ajuntamentos de estrelas, gás e poeira unidos pela mútua gravidade. Elas traçam a estrutura e os movimentos do universo visível.

Galáxias elípticas: galáxias que possuem uma forma elipsoidal e são formadas essencialmente por estrelas mais velhas e não possuem rotação significativa. Situam-se em ambientes onde há maior densidade de **galáxias**.

Galáxias espirais: galáxias que possuem uma estrutura com essa forma nas regiões mais externas contendo estrelas mais jovens. Em seus núcleos estão estrelas mais velhas. São sistemas com forma de disco, possuem rotação e estão localizadas nas regiões com menor densidade de **galáxias**.

Geoglifo: imagem geometrizada ou representação simbólica gravada pelo homem no solo.

Hádron: partícula subatômica composta de **quarks** unidos pela força nuclear forte. Podem ser **bárions** formados por 3 **quarks**, como os prótons e os nêutrons, ou **mésons** formados por um **quark** e um antiquark, como os **píons**.

Helíaco: ou heliacal, adjetivo que significa próximo ao Sol. O nascer **helíaco** de um astro designa o nascer desse astro no horizonte leste, permanecendo visível depois por pouco tempo até que o Sol nasça. O ocaso **helíaco** de um astro designa o ocaso em que esse astro permanece visível por pouco tempo acima do horizonte oeste, após o Sol se pôr.

Heliossismologia: um método de diagnóstico do interior do Sol baseado na observação da propagação de ondas ressonantes, semelhante ao que os geofísicos utilizam para estudar o interior da Terra com ondas sísmicas.

Hora solar média: hora baseada no movimento diurno de um Sol fictício que percorre o equador celeste com velocidade uniforme, gerando dias de igual duração de 24 horas ao longo do ano.

Hora solar verdadeira: hora baseada no movimento diurno não uniforme do Sol verdadeiro na eclíptica, gerando dias de duração diferente ao longo do ano. Essa hora pode ser medida com um relógio de sol.

IFU (*Integral Field Unit*): unidade de campo integral instalada no plano focal de um telescópio para observação espectral de objetos extensos, gerando **espectro** de todas as partes do objeto dentro do seu campo simultaneamente.

Inclinômetro: instrumento utilizado na topografia, aviação etc. para medir o ângulo de inclinação de um terreno, objeto etc. Há também o **inclinômetro** magnético que é utilizado para medir o ângulo que a agulha magnética faz com o plano horizontal num determinado local.

Interferômetros laser: dispositivos que utilizam feixes de laser e a interferometria desses feixes para monitorar com precisão as distâncias entre dois pares de espelhos posicionados adequadamente para detectar **ondas gravitacionais**. Ajusta-se as distâncias entre os espelhos para que, na ausência da chegada de uma **onda gravitacional**, a interferência entre os feixes seja máxima, resultando que nenhum fóton chegue no foto-sensor. Neste processo, muito pouca energia da onda é absorvida pelo dispositivo e a detecção se baseia não nesta energia absorvida, mas nos fótons recebidos nos momentos em que a interferência máxima é destruída.

Íon: um átomo ou molécula com excesso de carga elétrica positiva (ou negativa) por ter perdido (ou ganho) um ou mais elétrons.

Ionosfera: camada da atmosfera da Terra entre 85 km e 600 km, em que a radiação ultravioleta e X do Sol ioniza as moléculas e átomos lá presentes.

Isofoto: curva traçada numa imagem ligando pontos em que o brilho é constante, de forma análoga a curvas de nível em plantas topográficas unindo pontos em que a altitude é constante.

Isotrópico: o que tem a mesma intensidade em todas as direções.

Largura de feixe (de uma antena) **a meia-potência (HPBW:** *Half Power Beam Width*): cada antena irradia ou capta ondas de rádio segundo um padrão espacial próprio. Geralmente esse padrão consiste num lóbulo principal na direção do eixo da antena, acompanhado de vários lóbulos laterais secundários. A **largura**

de feixe a meia-potência é a largura angular do lóbulo principal definida pelo ponto onde a potência irradiada ou recebida cai para a metade do valor máximo.

Linha de base: num interferômetro astronômico, dois ou mais telescópios que combinam seus sinais têm um **poder de resolução** equivalente ao de um telescópio que tivesse o diâmetro igual à máxima distância de separação dos telescópios. Essa distância se chama **linha de base** do interferômetro.

Luminosidade: potência ou energia total emitida por unidade de tempo por um astro.

Luneta meridiana: luneta que possui liberdade de movimento apenas no plano meridiano local.

Luz zodiacal: brilho tênue e difuso, de forma aproximadamente piramidal, que pode ser visto em locais de céu limpo no horizonte oeste, após o ocaso do Sol na primavera, ou no horizonte leste antes do nascer do Sol no outono. O brilho consiste em luz solar refletida por grãos de poeira originários de **asteroides** e cometas, acumulados perto do plano da eclíptica (plano da órbita da Terra ao redor do Sol). A observação é favorecida quando a eclíptica se posiciona mais verticalmente em relação ao horizonte.

***Maser* galáctico:** fonte natural no interior de **galáxias**, de emissão em micro-ondas de linha espectral estimulada, como no laser.

Mecânica celeste: ramo das ciências exatas (astronomia, engenharia espacial e matemática) que estuda o movimento de corpos celestes que podem ser naturais (estrelas, planetas, satélites, **asteroides**, cometas etc.) ou artificiais (satélites, sondas, estações espaciais etc.). Em geral, a principal força que afeta a dinâmica desses corpos é gravitacional mas, em muitos casos, forças não-gravitacionais (pressão da radiação, arrasto gasoso etc.) também desempenham papel importante.

Megálito: pedra grande (do grego: *mega* — grande e *lithos* — pedra).

Meio interestelar: matéria (gás, poeira e **raios cósmicos**), radiação eletromagnética e campo magnético presente no espaço entre as estrelas de uma **galáxia**.

Menir: pedra longa (do baixo bretão: *men* = pedra e *hir* = longa).

Méson: hádron formado por um **quark** e um antiquark (p. ex., o **píon**). De acordo com esta definição, a partícula elementar subatômica múon, antigamente denominada méson μ, na verdade não é um **méson**. O múon, assim como o elétron e os três diferentes tipos de **neutrino** fazem parte do conjunto de partículas elementares chamadas léptons. **Mésons**, assim como os fótons, são bósons (ver **neutrino**).

Meteorito: denominação dada à rocha oriunda de um **meteoroide** que caiu na superfície da Terra. Pode ter composição metálica (siderito), rochosa (aerólito) ou metálico-rochosa (siderólito).

Meteoro: ou estrela cadente, é o fenômeno luminoso observado no céu durante a passagem a alta velocidade pela atmosfera da Terra de um **meteoroide** que, na maior parte das vezes, é um fragmento pequeno como um grão de poeira. Nesses casos o fragmento se vaporiza (**ablação**) antes de atingir o solo. Mas, quando o fragmento é maior, ele pode atingir o solo e passa a ser chamado **meteorito**. O fenômeno luminoso associado à queda de um objeto de grande porte é chamado **bólido**.

Meteoroide: fragmento rochoso derivado de cometas e **asteroides** que orbita ao redor do Sol. Em termos de tamanho, um **meteoroide** pode ter dimensão que vai desde a de um grão até a de um fragmento consideravelmente menor que um **asteroide**.

Microtectito: fragmentos de vidro com menos de 1 mm formados a partir da fusão de rochas pelo calor liberado na queda de um **meteorito**.

Nebulosa planetária: nuvem de gás em expansão ao redor do núcleo quente remanescente de uma estrela que ejetou suas camadas externas no estágio final de sua evolução.

Neutrino: partícula subatômica eletricamente neutra, com massa extremamente pequena, muito abundante no universo, que viaja à velocidade próxima à da luz e que praticamente não interage com a matéria ordinária. No esquema das partículas elementares o **neutrino**, assim como o elétron, é um lépton. Ao lado dos **quarks**, os léptons, de menor massa e desprovidos de estrutura interna, são partículas elementares da classe dos férmions, enquanto que partículas elementares intermediadoras das interações fundamentais e partículas compostas como os **mésons** pertencem à classe dos bósons.

Núcleo ativo de galáxia: ou **AGN** (*Active Galactic Nucleus*) em inglês, é uma região compacta no centro de uma **galáxia** que irradia muito além de uma **galáxia** normal, em uma parte ou mesmo em todo o **espectro** eletromagnético. **Galáxias** com **núcleo ativo** são chamadas **galáxias** ativas. A excepcional **luminosidade** é devida à **acresção** de massa num **buraco negro** supermassivo.

Objetos colapsados: estrelas compactas como **anãs brancas** ou **estrelas de nêutrons** e **buracos negros**. As estrelas compactas resultam do colapso gravitacional até que a gravidade, orientada para o centro da estrela, encontre oposição de uma força interna à estrela de modo a restaurar uma estrutura de equilíbrio. No caso de **buracos negros** a estrutura de equilíbrio não é restaurada.

Ondas gravitacionais: a existência de uma radiação gravitacional foi prevista por Einstein. Consiste em perturbações no tecido do espaço-tempo, que se propagam a partir de fontes tais como, colapso gravitacional de uma estrela (ver **objetos colapsados**), colisão de **buracos negros**, sistemas binários de estrelas etc.

Óptica adaptativa: tecnologia utilizada para melhorar o desempenho de telescópios em solo mediante a redução, em tempo real, da distorção da frente de onda da radiação do astro observado, causada pela turbulência da atmosfera da Terra.

Óptica ativa: tecnologia usada para corrigir em tempo real deformações e desalinhamentos indesejáveis nos espelhos de telescópios refletores causados pelo próprio peso, ventos, variação da temperatura, esforços mecânicos etc.

Óptico, a: referente ao visível, intervalo de comprimentos de onda do **espectro** eletromagnético cuja radiação pode ser percebida pelo olho humano.

Paralaxe: mudança da direção aparente de um objeto devida à mudança da posição do observador.

Passagem meridiana: passagem de um astro, em seu movimento diurno no céu, de leste para oeste, pelo meridiano do observador que é o círculo máximo da esfera celeste que passa pelo zênite e pelo N e S do horizonte do observador. Na **passagem meridiana** o astro atinge a sua **altura** máxima ou culminação. A **passagem meridiana** pode ser também de algum artefato espacial.

PDF (sigla de *Planar Deformation Features*): ver **Feições planares de deformação.**

Peculiar: na **cosmologia** observacional, esse termo denota a componente do movimento das **galáxias** não associada à expansão do universo, mas aos campos gravitacionais locais.

Pêndula: relógio constituído de um pêndulo (oscilador) e de um mecanismo a ele associado (contador de oscilações), que apresenta num mostrador as horas e suas subdivisões podendo ser de tempo solar médio ou sideral.

Pêndula mestra: sistema constituído de um pêndulo (mestre) instalado em câmara de baixa pressão e temperatura controlada, com a função de fornecer impulsos elétricos igualmente espaçados no tempo com alta precisão e estabilidade a outros pêndulos (escravos) com os quais mantém sincronismo. A fim de reduzir o atrito, algumas **pêndulas mestras** não possuem mostrador (caso das Shortt), constituindo-se basicamente só do pêndulo.

Petróglifo: imagem geometrizada ou representação simbólica gravada pelo homem em pedras.

Píon (ou, antigamente, **méson** π): um tipo de **méson** que pode ter carga positiva, negativa ou neutra.

***Pixel*:** (pl.: *pixels*) contração de *picture* + *element*, designa a unidade básica de uma imagem digital.

Placa de quarto de onda: placa com espessura cuidadosamente ajustada para que a radiação incidente com polarização linear, ao incidir a 45º em relação ao eixo óptico, seja subdividida em duas componentes com polarização circular oposta: R e L referentes ao sentido de rotação do campo elétrico da onda.

Planetesimal: corpo de dimensão quilométrica remanescente da formação do sistema solar. Pode ser asteroidal, isto é, de natureza rochosa, ou cometário, formado de gelo sujo com poeira primordial.

Planetoides: ver **Asteroides**

Plasma: gás parcial ou totalmente ionizado que se caracteriza por responder coletivamente a campos eletromagnéticos.

Poder de resolução: ver **Resolução**.

Polarimetria: ondas eletromagnéticas são transversais, isto é, oscilam em planos perpendiculares à direção de propagação. Mas, quando a luz é polarizada, esses planos têm uma orientação preferencial. A luz de estrelas refletida por grãos do **meio interestelar** em geral é parcialmente polarizada e a medição do grau de polarização é feita pela **polarimetria**.

Polo celeste: ponto imaginário onde o eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste. Em outras palavras, é a projeção do polo geográfico na esfera celeste. O **polo** sul celeste é conhecido também como **polo** antártico, em oposição ao **polo** norte celeste ou **polo** ártico.

Positivismo: doutrina criada por Auguste Comte (1798-1857), que considera que a fase científica (ou positiva) da história corresponde ao ápice do processo evolutivo da humanidade.

Primeira luz: expressão utilizada pelos astrônomos para designar o primeiro uso efetivo de um novo telescópio ou instrumento, momento esse carregado de expectativa porque comprova seu bom desempenho técnico.

Princípio de Mach: a massa de um corpo é determinada pela distribuição de todos os outros corpos do universo. O princípio faz sentido em face da natureza inercial da força centrífuga ilustrada no famoso "experimento do balde" de Newton. Historicamente Ernst Mach (1838-1916) não enunciou esse princípio.

Processos radiativos: processos clássicos e quânticos de radiação e sua aplicação a situações astrofísicas (radiação sincrotrônica, espalhamento da radiação por elétrons, *bremsstrahlung*, **recombinação** radiativa, efeito fotoelétrico, linhas de emissão e absorção etc.).

Proeminência: ver **Protuberância**.

Protuberância (ou **Proeminência):** estrutura avermelhada que se projeta acima da superfície do Sol e pode ser vista no limbo do Sol quando este é eclipsado pela Lua, ou em qualquer dia claro com a ajuda de um filtro óptico apropriado.

Pulsar: estrela de nêutrons cuja radiação (ondas de rádio, luz visível, raios X e **raios** γ) emitida dentro de um estreito feixe pode ser detectada na Terra, desde

que o feixe de radiação atinja a Terra. A radiação é recebida na forma de pulsos (daí o nome **pulsar**), como se fosse de um farol, porque a estrela gira rapidamente (1 a mil vezes por segundo).

Pulsar binário: sistema estelar gravitacionalmente ligado em que um **pulsar** tem uma companheira que pode ser outro **pulsar** ou uma **anã branca**. No **pulsar binário** PSR 1913+16 a companheira também é um **pulsar** e seu estudo permitiu, pela primeira vez, confirmar a conversão da energia orbital na radiação de **ondas gravitacionais**.

Quadrante: instrumento astronômico antigo para medir a **altura** e o **azimute** dos astros.

Qualis: sistema da CAPES de classificação de periódicos para avaliar a qualidade da produção científica dos programas de pós-graduação.

Quarks: partículas elementares que, ao lado dos léptons, formam a classe das partículas elementares denominadas férmions (ver **neutrino**). O **quark** não é observado diretamente, nem é encontrado isoladamente, senão no interior de **hádrons**.

Quasar: objeto **extragaláctico** compacto que emite energia numa quantidade que supera de longe a produção de energia de uma **galáxia** normal. Presume--se que essa energia seja gerada pela **acresção** de matéria num **buraco negro** supermassivo.

Radiação cósmica: ver **raios cósmicos**.

Radiação Cósmica de Fundo (ou **CMBR**)**:** o maior suporte observacional do modelo padrão da **cosmologia** relativística e da proposta do *Big Bang* é a existência de uma radiação uniforme e **isotrópica** equivalente à de um corpo negro à temperatura de 2,7255 K, descoberta em 1964-1965 pelos americanos Arno Penzias e Robert W. Wilson.

Radial: ao longo da linha de visada do observador.

Radiante: muitos **meteoros** fazem parte de uma **chuva de meteoros**, como se originassem de um ponto no céu. **Radiante** é esse ponto no céu, que recebe um nome associado à **constelação** em que ocorre ou a uma estrela próxima. Trata-se de um efeito de perspectiva resultante do movimento quase paralelo dos fragmentos causadores dos **meteoros**.

Radioastronomia: área da astronomia que estuda os astros por meio de ondas de rádio. As ondas de rádio são captadas por antenas e, depois, detectadas e amplificadas por radiorreceptores de alta sensibilidade.

Raios cósmicos (**radiação cósmica**): partículas eletricamente carregadas, principalmente prótons, partículas α, elétrons de **alta energia** e núcleos atômicos, que viajam a velocidades próximas à da luz e bombardeiam a atmosfera da Terra, vindo de todas as direções.

Raios γ (gama)**:** radiação eletromagnética cujos fótons possuem as mais **altas energias**.

Recombinação: processo de neutralização elétrica de um **íon** por transferência de elétrons.

Rede holográfica: rede de difração produzida por holografia para imprimir diferenças de índice de refração em uma gelatina fotossensível, substituindo assim as ranhuras das redes tradicionais. Este método possibilita a fabricação de redes de difração de grande área e alta densidade de linhas por preço muito mais baixo que o das tradicionais.

***Redshift*:** deslocamento do **espectro** eletromagnético para comprimentos de onda mais longos (ou de cor avermelhada na luz visível).

Refração atmosférica: encurvamento da trajetória de propagação da luz na atmosfera da Terra devido à variação da densidade do ar com a altitude. Por causa da **refração atmosférica** os astros aparentam estar no céu a uma **altura** maior do que realmente estão.

Região H II: nuvem extensa que brilha graças à emissão do hidrogênio ionizado pela radiação ultravioleta de uma **estrela quente** recém-formada nas proximidades. H II denota o átomo de hidrogênio ionizado.

Regime de Planck: em 1899 Max Planck (1858-1947) propôs o uso de um sistema de unidades físicas para o tempo, comprimento, massa, carga e temperatura, em que as cinco constantes físicas universais (a velocidade da luz no vácuo, a constante gravitacional de Newton, a constante reduzida de Planck, a constante eletrostática dada pela permissividade do vácuo e a constante de Boltzmann) assumissem valor unitário. O **regime de Planck**

teria vigorado no início do universo, quando este era microscópico, por um breve lapso de tempo quando a gravitação era capaz de competir com as outras **forças fundamentais**.

Resolução: significa genericamente a possibilidade de discriminação de elementos adjacentes numa medição. Trata-se de **resolução** espacial (ou angular) numa imagem astronômica, de **resolução** temporal num registro de variação de brilho e de **resolução** espectral num **espectro**. Neste último caso, o poder ou capacidade de **resolução** (R) é a razão entre o comprimento de onda de observação e a menor diferença de comprimento de onda que pode ser discriminada.

Seeing*:** termo em inglês que denota percepção visual, na astronomia designa o fenômeno indesejado da cintilação e tremulação dos astros causada pela turbulência atmosférica. Como característica de um local, quanto menor o ***seeing, melhor o sítio para observações astronômicas.

Sequência principal: fase da vida das estrelas em que elas geram energia transmutando hidrogênio em hélio (fusão nuclear) no seu interior. Cerca de 90% das estrelas do universo encontram-se nessa fase, dada a sua estabilidade e longa duração.

Sextante: o naval (mais moderno) é usado para medir a **altura** de um astro. Tem um arco graduado de 60º, daí o nome. Usando dois espelhos, cria duas imagens do astro, mas quando o observador as faz coincidir na ocular, a **altura** do astro pode ser medida com precisão.

Super-heteródino: modo utilizado pelos receptores comuns para a detecção de sinais transportados por ondas de rádio. Consiste em misturar as oscilações das ondas de rádio captadas pela antena, com oscilações senoidais de um oscilador local (do próprio receptor), de modo a deslocar a frequência original das ondas de rádio para uma frequência fixa, na qual é feita a detecção e a amplificação, estando aí a vantagem técnica desse modo de detecção. A sintonia para captar a onda na frequência desejada é feita variando a frequência do oscilador local.

Supernova: estrela cujo brilho aumenta subitamente, podendo irradiar mais que toda a **galáxia** em que se encontra, para depois perder o brilho em questão de semanas ou meses. Esse fenômeno pode resultar da reignição de reações

de fusão nuclear na superfície de uma **anã branca** pertencente a um sistema binário, ao ganhar massa da estrela companheira além de um limite crítico, ou do colapso gravitacional do núcleo de uma estrela solitária com massa inicial maior que 8 vezes a massa do Sol. No primeiro caso a **supernova** é do Tipo la e no segundo, do Tipo II. O fato de que a radiação emitida por **supernovas** da subclasse Ia é praticamente constante no auge do brilho, possibilitou a medição precisa de suas distâncias e, daí, constatar a **expansão acelerada** do universo.

Tectônica de placas: teoria científica que explica os movimentos de grande escala que ocorrem na crosta da Terra, a partir do conjunto de placas que a compõem. Nos limites entre essas placas tectônicas ocorre a maioria dos fenômenos vulcânicos e os terremotos.

Teodolito: instrumento que, como o **quadrante**, mede **alturas** e **azimutes**, todavia é compacto e portátil e utilizado na topografia, geodésia, agrimensura etc.

Teoria da deriva continental: teoria que explica os movimentos relativos dos continentes da Terra. Ela forma a base da teoria de **tectônica de placas**.

Teoria das perturbações: métodos matemáticos para a obtenção de uma solução aproximada para um problema que não pode ser resolvido exatamente. É usado, por exemplo, na **mecânica celeste** quando se introduz um terceiro corpo que altera a elipse kepleriana que é exata na aproximação de dois corpos.

Termógrafo: registrador gráfico da temperatura ao longo do tempo.

Testes clássicos (da Relatividade Geral)**:** a teoria gravitacional de Einstein previu três fenômenos que não são explicados pela teoria newtoniana: o desvio gravitacional para o infravermelho que é a redução da frequência da radiação eletromagnética sob o efeito da gravitação; o desvio da luz pela gravitação que é o desvio da trajetória da luz por um campo gravitacional (efeito Einstein, lente gravitacional) e o avanço do periélio de Mercúrio, um fenômeno observado na órbita de Mercúrio (mas que ocorre em todos os planetas) em que a posição da sua menor distância ao Sol (o periélio) avança continuamente, alterando a orientação do eixo da elipse orbital.

Tipo espectral: através da análise das linhas escuras de absorção do **espectro** da sua luz, as estrelas podem ser classificadas em vários **tipos espectrais**

relacionados com diferentes temperaturas na sua superfície. Assim os **tipos espectrais** designados O, B, A, F, G, K e M correspondem a temperaturas de superfície da ordem de 40 mil K para o **tipo** O, e que decrescem até cerca de 3 mil K para o **tipo** M.

Transdutores. Transdutores eletromecânicos paramétricos: um **transdutor** transforma um sinal de entrada, por exemplo, mecânico, num sinal correlacionado, p. ex., elétrico. **Transdutores eletromecânicos paramétricos** utilizam um parâmetro variável, normalmente uma capacitância, para modular um sinal senoidal puro continuamente injetado.

Transporte radiativo: processo físico de transporte de energia na forma de radiação. Num meio que não seja o vácuo esse transporte é afetado pelos processos atômicos e moleculares de absorção, emissão e espalhamento da radiação (**processos radiativos**).

Variável cefeida: estrela que pertence a uma classe de variáveis pulsantes muito luminosas. A variação periódica do brilho é utilizada como um importante indicador de distâncias. O nome se deve à estrela protótipo descoberta na **constelação** do Cefeu.

Vento estelar: escoamento contínuo de gás ejetado da atmosfera de uma estrela que sofre perda de massa.

Via Láctea: ver **Galáxia**.

Visibilidade das franjas de interferência: parâmetro que quantifica o contraste do padrão de interferência. A variação da visibilidade em razão da distância entre os telescópios (**linha de base**) depende da distribuição luminosa da fonte.

Autores

Ana Maria Ribeiro de Andrade — Graduou-se em História. É mestre em História e doutora em História Social pela UFF e pesquisadora do MAST. Dedica-se, em especial, ao estudo de instituições científicas, história da física e da energia nuclear.

Beatriz Barbuy — Obteve bacharelado em Física pelo IF/USP em 1972. Atualmente é professora titular do IAG/USP, atuando principalmente nos seguintes temas: espectroscopia, diagrama cor-magnitude, aglomerados globulares, síntese de populações estelares e evolução estelar. É membro da Academia Brasileira de Ciências, da *Académie des Sciences* e da *Third World Academy of Sciences*.

Bruno Vaz Castilho — Tem graduação em Astronomia pela UFRJ (1992), mestrado (1995) e doutorado (1999) em Astronomia pelo IAG/USP, onde também fez pós-doutorado (2000). Desde 2000 é pesquisador do LNA onde, desde 2011, é diretor da Instituição. Tem experiência em astrofísica estelar, atuando principalmente em populações estelares, abundâncias químicas e parâmetros atmosféricos estelares. Em instrumentação astronômica tem experiência em desenvolvimento e gerenciamento de projetos de instrumentação óptica, principalmente de espectrógrafos.

Carlos Alberto de Oliveira Torres — É graduado em Física pela UFMG (1969), mestre e doutor em Astronomia, respectivamente, pelo ITA (1972) e ON (1998). É pesquisador titular do LNA onde lidera o projeto SACY de associações jovens de estrelas. Desde 1973 foi um dos pioneiros na implantação do OAB, tendo sido nomeado chefe dessa divisão do ON em 1984. Tendo trabalhado pela autonomia do OAB, tornou-se diretor associado do LNA em 1986 e, em 1989, o primeiro diretor desse instituto de pesquisa após a sua efetivação.

Carola Dobrigkeit Chinellato — É bacharel em Física (1973) pela Unicamp onde também concluiu o doutorado (1982) sob a orientação de César Lattes. Fez pós-doutorado na Alemanha, em Heidelberg (1989-1990) e Karlsruhe (1996). Desde 1974 é professora do IFGW/Unicamp, onde foi diretora associada (1998-2002) e chefe do DRCC (2003-2004). Pesquisa na área de Física de Partículas Elementares e Campos, atuando principalmente em raios cósmicos, astropartículas e física nuclear de altas energias. Atualmente participa das pesquisas da Colaboração Pierre Auger.

Christina Helena Barboza — É graduada em Engenharia Mecânica pela UFRJ (1984) e em História pela PUC-Rio (1984). Obteve mestrado pela UFF (1994) e doutorado em História pela USP (2002). É pesquisadora titular do MAST, onde foi Coordenadora de História da Ciência de 2007 a 2009, e docente do programa PPGH da UNIRIO. Faz pesquisas em história das ciências, com ênfase nas instituições científicas brasileiras dedicadas à astronomia.

Daniela Lazzaro — Bacharel em Astronomia pela UFRJ, mestre e doutora em Astronomia Dinâmica pelo IAG/USP com pós-doutorado no *Observatoire de Paris-Meudon*. É pesquisadora titular do ON, membro da *Academia de Ciencias de América Latina*, do Conselho Editorial da revista *Astronomy & Astrophysics* e vice-presidente da Comissão 20 da IAU. Atua em ciências planetárias com ênfase no estudo astrofísico dos pequenos corpos do sistema solar.

Douglas Falcão — Graduado em Física pela UERJ (1987), mestre em Educação pela UFRJ (1999) e doutor em Educação pela *University of Reading*, GB (2006). Desenvolveu suas atividades profissionais no MAST desde 1988 onde foi Coordenador de Educação em Ciências de 2006 a 2013. Atualmente chefia o Departamento de Popularização e Difusão da Ciência e Tecnologia da Secretaria de Ciência e Tecnologia para a Inclusão Social do MCTI. Tem experiência na produção e avaliação de recursos educacionais em museus de C&T e realiza pesquisas sobre aprendizagem em museus de C&T e inclusão social.

Eugenio Reis Neto — Graduado em Física pela UERJ (1999), mestre em Astronomia pelo ON (2002), doutor em Geofísica pelo ON (2009) com especialização em Divulgação da Ciência, da Tecnologia e da Saúde pela Fiocruz (2012). Atualmente é o Coordenador de Educação em Ciências do MAST. Como bolsista do CNPq no MAST (2010-2013), atuou na divulgação da astronomia e aperfeiçoamento de professores, com ênfase em instrumentação e física solar. Participou desde 2006 do desenvolvimento e construção do heliômetro do ON e hoje é pesquisador colaborador na observação, registro e monitoramento da figura do Sol usando esse instrumento.

Fernando Vieira — (Foto Filipe José Mourão Pereira) Graduou-se em Astronomia pelo OV/UFRJ em 1982. É funcionário da Fundação Planetário da Cidade do Rio de Janeiro desde 1982, onde atualmente é diretor de Astronomia e Cultura. Foi diretor-presidente da ABP no biênio 2005-2006.

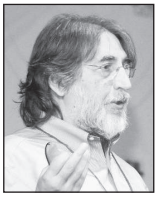
Jacques R. D. Lépine — Obteve graduação (1967) e mestrado (1970) pelo IF/USP e doutorado pela Universidade de Paris VII (1977). É professor titular do IAG/USP e membro da ABC. Foi presidente da SAB, diretor do IAG e membro do Comitê Assessor de Física e Astronomia do CNPq. Tem se dedicado às áreas de estrutura da Galáxia, formação estelar e meio interestelar, além de desenvolvimento de instrumentação.

João Batista Garcia Canalle — Bacharel e licenciado em Física. Mestre e doutor em Astronomia pelo IAG/USP. Fez pós-doutorado no *Mullard Space Science Laboratory* da *University College London*. No IF da UERJ é professor adjunto e foi chefe do Departamento de Eletrônica Quântica. É o Coordenador da OBA e da MOBFOG e ex-presidente da OLAA.

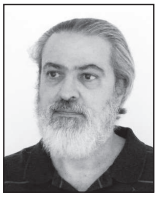
João Braga — Tem graduação em Física (PUC-Rio, 1980), mestrado em Astrogeofísica (INPE, 1984) e doutorado em Astronomia (USP, 1990). É pesquisador titular do INPE, onde já foi vice-diretor-geral, coordenador de centros regionais, coordenador-geral de ciências espaciais e atmosféricas e chefe da DAS. Atua principalmente nas áreas de astrofísica de altas energias e astronomia espacial, com ênfase no desenvolvimento de instrumentação e de técnicas experimentais para detectores e telescópios de raios X e γ.

José Antonio de Freitas Pacheco — É bacharel em Física pela USP (1965), doutor pela Universidade de Nice (1971), professor titular da USP (1985) e astrônomo titular do CNAP, França (1995). Foi diretor do ON (1979/1981), do IAG/USP (1989/1983) e do OCA (1994/1999); primeiro presidente da SAB eleito por aclamação em 1974 e para um segundo mandato em 1978/1982; membro do CRECTALC (2005/2007), órgão da ONU voltado para aplicações espaciais pacíficas. É pesquisador emérito do OCA-*Laboratoire Lagrange* em Nice, França, nas áreas de formação e evolução das galáxias, cosmologia e física de objetos compactos.

Kepler de Souza Oliveira Filho — É bacharel em Física (1977) pela UFRGS, mestre (1981) e doutor (1984) em Astronomia pela Universidade do Texas em Austin. Atualmente é professor associado do IF/UFRGS. Trabalha em astrofísica estelar, especialmente com estrelas anãs brancas. Foi presidente do Conselho Diretor da colaboração internacional WET. Atua também em ensino de astronomia.



Luiz Nicolaci da Costa — Obteve graduação e mestrado em Física na Universidade Brandeis em Waltham, MA (1971-1974), tendo cursado o ciclo básico na PUC-Rio (1970-1971). Fez doutorado no Departamento de Física da Universidade de Harvard (1979). É pesquisador titular do ON desde 1979, trabalhando em astronomia extragaláctica e cosmologia observacional. Foi pesquisador visitante do *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* (1990-1993), do *Institute d´Astrophysique*, *Observatoire de Meudon*, França e da *Hebrew University*, Israel (1993-1995) e do ESO (1995-2005) onde foi responsável pelo programa de levantamentos públicos. Atualmente é coordenador do laboratório LIneA de e-Astronomia e representante brasileiro nos projetos SDSS-III e DES.



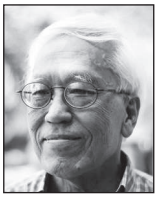
Marcio A. G. Maia — Tem graduação em Física pela UFSM (1976), mestrado e doutorado em Astronomia pelo ON (1981 e 1989). Fez estágio pós-doutoral na *Cornell University*, Ithaca, NY (1989-1991). É pesquisador titular do ON onde atua nas áreas de astronomia extragaláctica e cosmologia observacional. É membro do laboratório LIneA de e-Astronomia e participante dos levantamentos DES e SDSS III.

Marcos Duarte Maia — Bacharel em Física pela UnB (1965), doutorou-se no Departamento de Matemática do *King's College* da *University of London* (1971). Realizou programas de pós-doutorado em Cambridge, Inglaterra (1975); Seattle, WA (1984); ITP/UCSB, Santa Barbara, CA e FERMILAB, IL (2003). Principais linhas de pesquisa: Teoria Unificada de Eddington a Kaluza-Klein, física de altas energias (Teoria de Grupos), teoremas de separação de massa, geometria e topologia dos espaços-tempo, cosmologia, energia escura em cosmologia de branas, geometria da matéria escura.

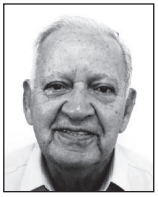
Maria Esther Alvarez Valente — Graduada em História pela PUC-Rio, mestre em Educação pela PUC-Rio (1995) e doutora pelo programa de pós-graduação do curso "Ensino e História de Ciências da Terra" do IG/Unicamp. É pesquisadora do MAST nos seguintes temas: educação em museus, acesso público, educação não formal, divulgação científica e história da museologia. Atua no programa PPG-PMUS da parceria UNIRIO/MAST em nível de mestrado, nos cursos de "Preservação de Acervos de Ciência e Tecnologia" do MAST e de "Divulgação da Ciência, da Tecnologia e da Saúde" do Museu da Vida-COC-FIOCRUZ em parceria com o MAST/UFRJ/Cecierj, em nível de especialização.

Maria Helena Steffani — (Foto Flávio Dutra) É licenciada e bacharel em Física pela UFRGS, mestre em Física e doutora em Física Nuclear pela UFRGS, com pós-doutorado na Universidade Erlangen-Nürnberg, Alemanha. É professora do IF/UFRGS desde 1979 e diretora do Planetário da UFRGS desde 2002. Foi diretora presidente da ABP nos biênios 2009-2010 e 2011-2012.

Odylio Denys de Aguiar — Obteve graduação em Eletrônica pelo ITA (1978), mestrado em Astrofísica pelo INPE (1983) e doutorado em Física pela LSU, Baton Rouge, LA (1990). É pesquisador titular do INPE desde 1994 onde chefia a linha de pesquisa em Astrofísica de Ondas Gravitacionais desde que foi criada em 2002. É líder do projeto do Detector Schenberg de ondas gravitacionais (proposta, construção, operação e aperfeiçoamento) e tem se dedicado ao desenvolvimento de detectores esferoidais de ondas gravitacionais, sistemas de isolamento vibracional para futuras gerações de observatórios gravitacionais com interferômetros a laser, transdutores de alto fator de qualidade e osciladores de ruído ultra-baixo de fase para uso espacial.



Oscar Toshiaki Matsuura — (Foto: Felipe Shikama) Bacharel em Filosofia (1962) e em Física (1967), mestre em física solar (1972) e doutor em astrofísica de cometas (1976). Liderou o Grupo de Astrofísica do Sistema Solar desde a sua implantação no IAG/USP até se aposentar (1997). Foi pesquisador do MAST (1997-2000), diretor do Planetário e Escola Municipal de Astrofísica em São Paulo (2003-2005) e editor associado da revista *Astronomy Brasil* (2006-2008). Atualmente é colaborador do MAST e do Programa HCTE/UFRJ, e vice-presidente do Grupo de Trabalho "Arquivos" da Comissão de História da Astronomia da IAU.



Paulo Marques dos Santos — É bacharel e licenciado em Física, mestre e doutor em Astrofísica respectivamente pelo CRAAM e pelo ON/CNPq. Na Universidade Mackenzie foi Professor Pesquisador Sênior no CRAAM. No IAG/USP foi chefe do Departamento de Ciências Atmosféricas e responsável pelas disciplinas Rádio Meteorologia, Meteorologia com Radar e Meteorologia Física. É membro efetivo da IAU e docente aposentado da USP na categoria de professor doutor desde 1997.

Paulo Pellegrini — Possui graduação e mestrado em Física pela PUC-Rio (1973 e 1976), doutorado em Astronomia pelo ON (1988). Atualmente é pesquisador titular do ON onde atua em astronomia extragaláctica e cosmologia observacional, com especial interesse na estrutura em grande escala do universo e formação e evolução de galáxias. Participou do SSRS e do projeto de mapeamento de galáxias elípticas no universo local (ENEAR) e atualmente faz parte do grupo brasileiro nos projetos DES e SDSS III.

Roberto D. Dias da Costa — É bacharel em Física pela UFRGS (1982), mestre em Física pela UFRGS (1986), doutor em Astronomia pela USP (1993) e livre-docente em Astronomia pela USP (2002). É professor associado do IAG/USP. Trabalha na área de evolução estelar, atuando principalmente nos seguintes temas: nebulosas planetárias, abundâncias químicas nebulares e evolução química da Galáxia e de outros sistemas estelares.

Sibele Cazelli — Graduou-se em Biologia. É mestre e doutora em Educação pela PUC-Rio e pesquisadora do MAST. Desenvolve pesquisas em educação, notadamente, sobre público de museu e avaliação em educação não formal.

Sueli M. M. Viegas — Graduou-se em Física (1965) e obteve mestrado em Física (1968) pela USP. Doutorou-se em Astrofísica pela Universidade de Paris VII (1973). No IAG/USP implantou a área de Astronomia Extragaláctica, coordenou o núcleo de excelência NexGal, o projeto temático da FAPESP "Evolução e Atividade de Galáxias" e o Núcleo de Apoio à Pesquisa em Astrofísica da USP. Desenvolveu a maior parte de suas pesquisas analisando o espectro de galáxias ativas e quasares. Interessada na abundância química de galáxias, estudou a emissão de regiões de formação estelar e de nebulosas planetárias. Após sua aposentadoria, tem se dedicado à popularização da astronomia.

Tasso Augusto Napoleão — É astrônomo amador desde a década de 1960. Engenheiro químico (USP) e mestre em Administração (FGV), estudou astronomia e astrofísica no IAG/USP. É diretor-geral da REA e membro honorário do CASP e CEAMIG, codescobridor de 15 supernovas pelo projeto BRASS e foi o representante oficial dos astrônomos amadores brasileiros no Comitê Organizador do AIA 2009 para o Brasil.

Walter Junqueira Maciel — Graduou-se em Física pela UFMG, obteve o mestrado no ITA, e o doutorado na USP. É professor titular no Departamento de Astronomia do IAG/USP, onde trabalha desde 1974. Trabalha nas áreas de física do meio interestelar, astrofísica estelar e evolução química da Galáxia. Seus principais temas de estudo incluem estrelas quentes, estrelas frias, estrelas centrais de nebulosas planetárias, ventos estelares, regiões HII, nucleossíntese, formação estelar e evolução química.

Projeto gráfico e capa Luiz Arrais
Produção gráfica Joselma Firmino de Souza
Tratamento de imagem Pedro Zenival, Edlamar A. Soares, China Filho e Célia Lins
Editoração eletrônica Ednaldo Muniz de Oliveira, Edlamar A. Soares e China Filho
Revisão Ayrton Poeta e autores

Este livro foi composto em Minion Pro corpo 10,5/13,
o papel utilizado para o miolo é o Pólen Soft 80g/m²
e para a capa é o Supremo 250g/m².
Companhia Editora de Pernambuco — dezembro de 2014.

Cepe
COMPANHIA EDITORA DE
PERNAMBUCO

A última história abrangente da astronomia brasileira foi narrada por Abrahão de Moraes em 1955. Faltava, portanto, uma história da nossa astronomia que incorporasse tanto os novos estudos sobre episódios do passado (Volume I), quanto os episódios mais recentes, a partir da década de 60, ocorridos no bojo da modernização da ciência no Brasil (Volume II). A astronomia aqui é entendida no sentido amplo, incluindo não só aquela dos astrônomos propriamente ditos, mas também os estudos em raios cósmicos, ondas gravitacionais, astrobiologia, meteorítica etc., as disciplinas fronteiriças da astronomia (arqueoastronomia, etnoastronomia, história da astronomia, ensino da astronomia, popularização da astronomia etc.) e as atividades dos astrônomos amadores. A obra foi elaborada incluindo também em seu público-alvo os profissionais da divulgação e ensino da astronomia (em todos os níveis), da gestão da ciência, tecnologia, inovação, desenvolvimento e educação, e profissionais liberais e cidadãos em geral, interessados em ciência e tecnologia.

MUSEU DE ASTRONOMIA E CIÊNCIAS AFINS

Cepe COMPANHIA EDITORA DE PERNAMBUCO

Secretaria de Ciência e Tecnologia

PERNAMBUCO GOVERNO DO ESTADO

ISBN 978-85-7858-248-7

9 788578 582487