

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 holandesa¹ 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).

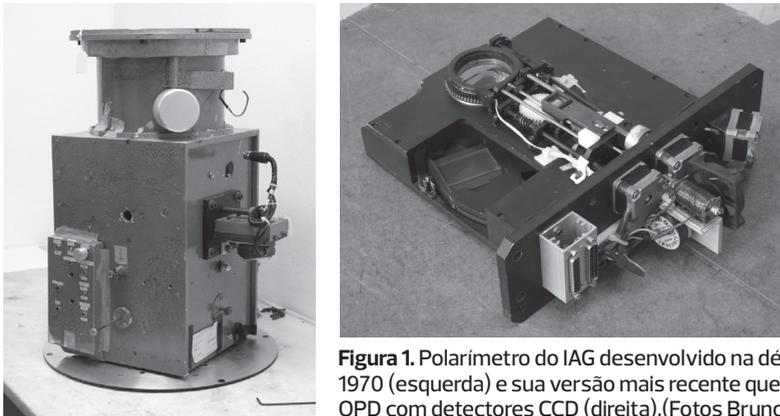


Figura 1. Polarímetro do IAG desenvolvido na década de 1970 (esquerda) e sua versão mais recente que opera no OPD com detectores CCD (direita). (Fotos Bruno Castilho)

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.

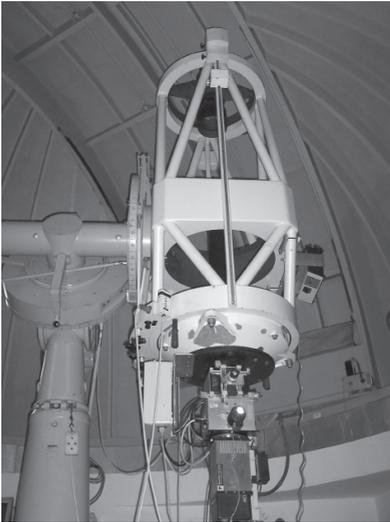


Figura 2. FOTEX em operação no telescópio Zeiss do OPD (Foto Rodrigo Prates Campos)

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 ITA⁴ 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.

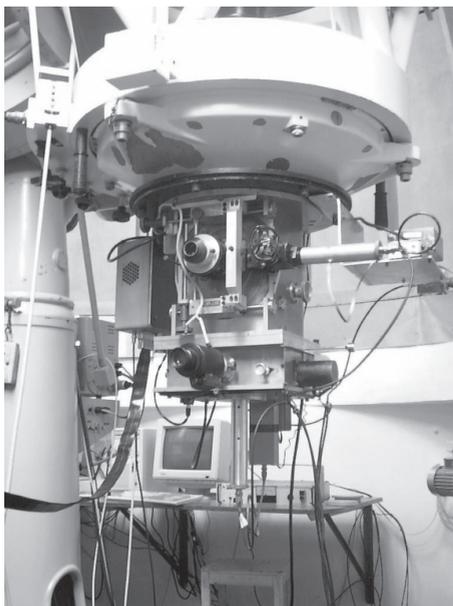


Figura 3. FOTRAP instalado no telescópio Zeiss do OPD
(Foto Rodrigues Prates Campos)

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 visitante⁵.

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).

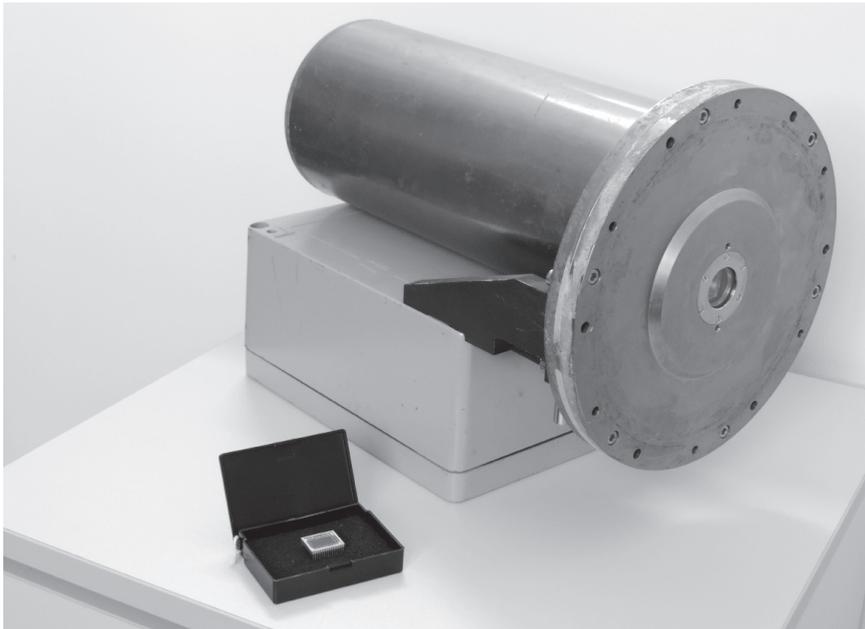


Figura 4. Primeira câmara CCD, da *Wright Instruments*. Atualmente em exibição no prédio sede do LNA em Itajubá, MG (Foto: Bruno Castilho)

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 $\mu\text{m}/\text{pixel}$, 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 (Cordina-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.

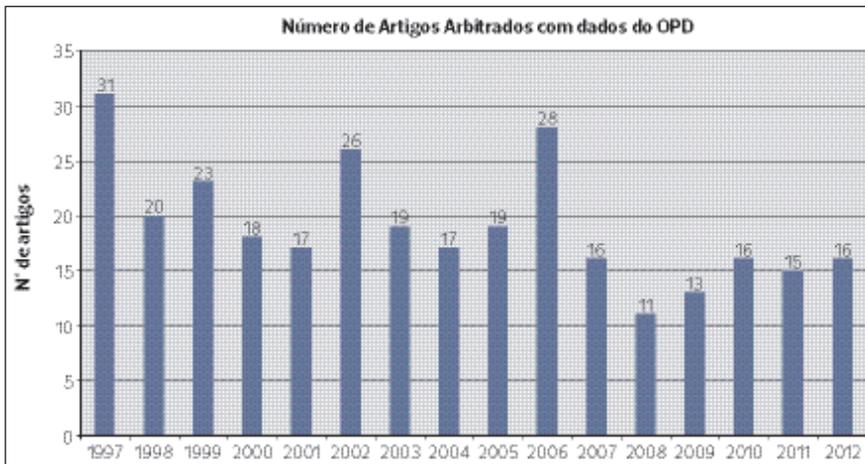


Figura 6. Publicações em revistas arbitradas incorporando observações realizadas com os telescópios do OPD entre 1997 e 2013. <http://www.lna.br/lna/public/opd/public.html>

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 financiamento⁶ do MCTI, por meio de um projeto apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) liderado por Jorge Melen-dez (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).

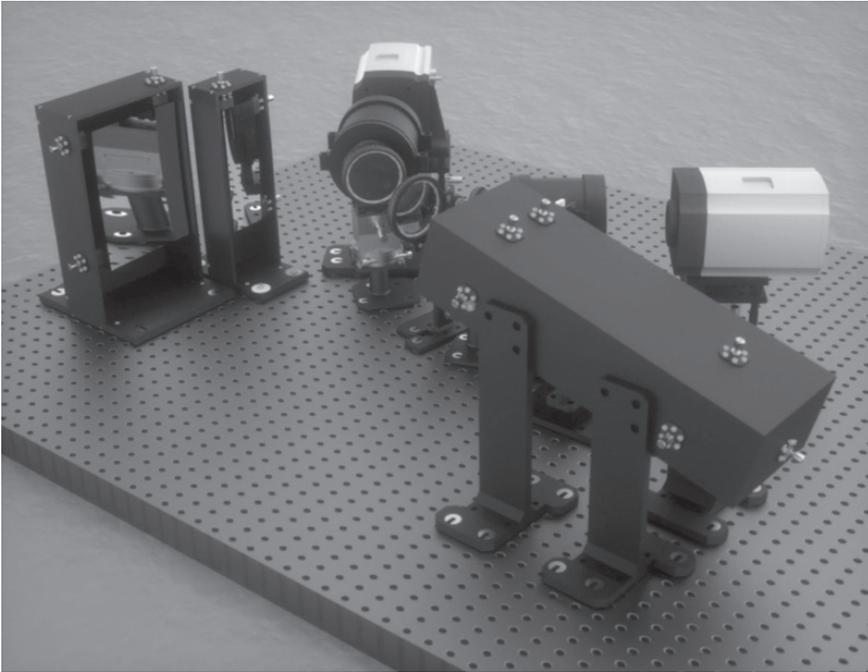


Figura 7. Representação artística do ECHARPE na bancada de montagem (Arte: Bruno Castilho)

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 vinheta⁷. O projeto prevê que a câmara seja usada exclusivamente no telescópio P&E de 1,6 m (Dominici, 2011).

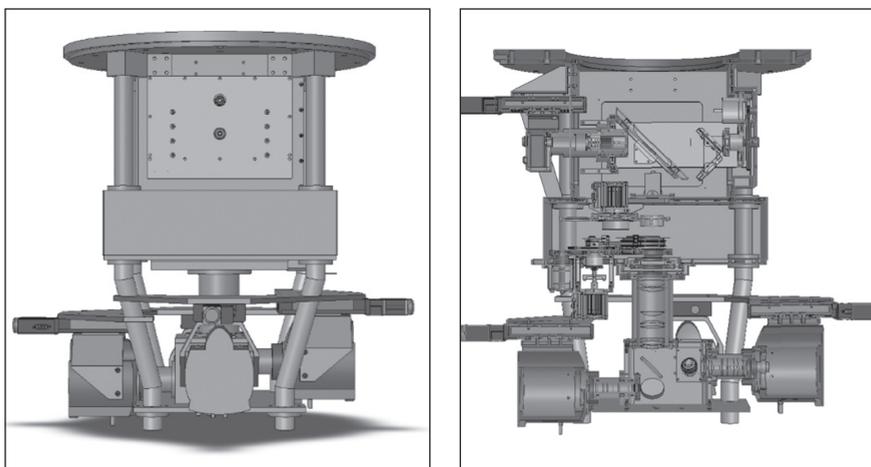


Figura 8. Modelo 3D do SPARC4 mostrando o instrumento completo à esquerda e um corte longitudinal que mostra a parte óptica à direita (Rodrigues *et al.*, 2012)

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 Oliveira⁸

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 SIFS⁹ (*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* clássico¹⁰, baseado no **espectrógrafo** SPIRAL do AAO, utilizando como dispersores¹¹ as mesmas redes utilizadas pelo **espectrógrafo *coudé*** do telescópio P&E. A óptica do **espectrógrafo** foi fabricada pelo *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Eletrónica* 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.

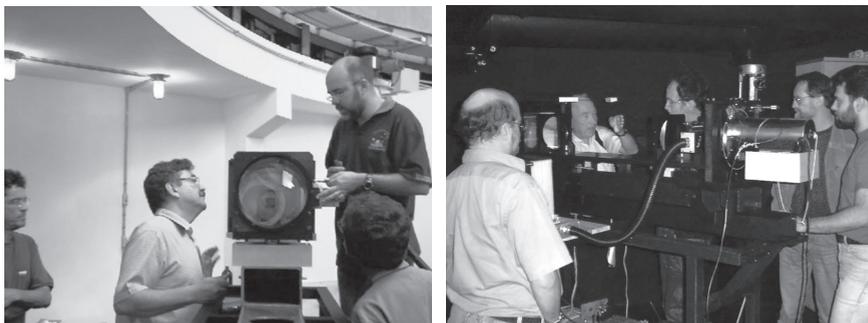


Figura 9. O *Eucalyptus* sendo montado no OPD. À esquerda, da esquerda para a direita: Rodrigo Prates Campos, Francisco Rodrigues, Antonio Cesar de Oliveira (todos do LNA) e Jacques Lépine (IAG/USP), de costas. À direita: o *Eucalyptus* em operação na sala do **espectrógrafo** *coudé* sendo vistoriado 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 (

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.

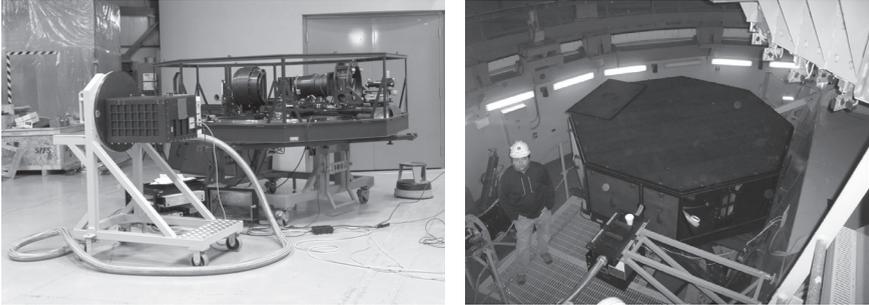


Figura 10. O SIFS após a primeira montagem no setor térreo do SOAR (esquerda) e já montado no telescópio (direita) (Fotos Bruno Castilho)

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 Nasmyth (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 Daminieli (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 Adaptive 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 interestelar** 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 Keith 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.

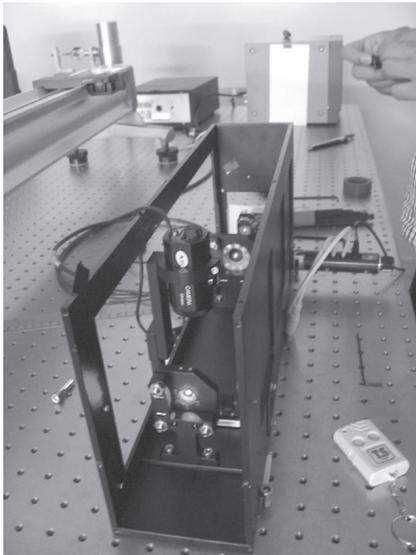


Figura 14. Unidade de acoplamento ao telescópio, do cabo de fibras do FRODOspec sendo testado no LNA (Foto Bruno Castilho)

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.

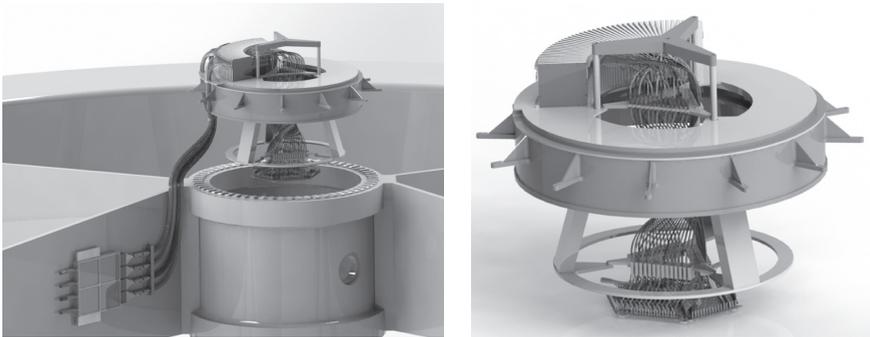


Figura 15. Modelo computacional da unidade de fibras ópticas do PFS no foco primário do telescópio Subaru (esquerda) e detalhe (direita). Modelagem e renderização: Marcio Arruda (LNA)

Conclusão

Com todo o esforço necessário e os problemas que traz, para que desenvolver instrumentação astronômica? Houve muito ceticismo sobre nossa “vocalização” 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*, n° 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 Astrofísica, 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, Deonísio; 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.

