

Construção de uma Unidade de Campo Integral para Espectroscopia Astronômica no LNA

A. C. Oliveira¹, D. Lee², K. Taylor²

¹Laboratório Nacional de Astrofísica
Rua Estados Unidos 154, Bairro das Nações,
CEP 37500-000, Itajubá, MG, Brasil

²Anglo-Australian Observatory
PO Box 296, Epping, NSW 1710, Austrália

Recebido em 06 de junho, 2001. Revisão recebida em 30 de outubro, 2001.

Entre os instrumentos propostos para operarem junto ao telescópio SOAR (*Southern Observatory for Astrophysical Research*) encontra-se o espectrógrafo óptico de bancada alimentado por uma Unidade de Campo Integral, comumente designada pela sigla inglesa IFU. Uma IFU consiste basicamente em um ducto de fibras ópticas com uma terminação em forma de fenda e a outra terminação em um sistema de microlentes coletoras. O cabo de fibras ópticas assim construído é utilizado para coletar luz focalizada pelo telescópio e conduzi-la até o espectrógrafo de bancada. Neste trabalho descrevemos a construção de uma IFU, a qual será utilizada no telescópio de 1,6 m do Observatório do Pico dos Dias, que é gerenciado pelo MCT/Laboratório Nacional de Astrofísica. Dentro desse objetivo consideramos o desenvolvimento e a aquisição de tecnologia para a construção de uma IFU com maior número de fibras, a qual virá a ser utilizada no telescópio SOAR, de 4,2 metros.

Among the instruments considered to operate on the SOAR telescope is an optical bench spectrograph, which is fed by an Integral Field Unit (IFU). An IFU consists basically of a duct with a set of optical fibres which are linearly arranged to simulate a slit at one end, and matching a microlens array system at the other end. An optical cable like this collects light focused by the telescope and brings the light to the spectrograph. In this paper we describe the construction of the IFU system, which will be used at the 1.6 m telescope of the Observatório do Pico dos Dias, managed by the MCT/Laboratório Nacional de Astrofísica. In this work we consider the development and the acquisition of technology to build a larger IFU that will be used at the 4.2 m SOAR telescope.

I Introdução

O projeto SOAR (*Southern Observatory for Astrophysical Research*) é um projeto de construção e operação de um telescópio de 4 metros a ser instalado em *Cerro Pachon*, ao lado do *Gemini Sul*, nos Andes Chilenos. Trata-se de uma colaboração entre instituições brasileiras e americanas, na qual o Brasil participará com um terço dos recursos e utilizará um terço do tempo do telescópio. Um dos instrumentos propostos para operar no telescópio SOAR é o espectrógrafo óptico de bancada, alimentado por uma Unidade de Campo Integral comumente designada pela sigla inglesa IFU.

Nossa IFU consiste basicamente em um ducto de fibras ópticas com uma terminação em forma de fenda e com a outra terminação em um sistema de microlentes coletoras. Um cabo de fibras ópticas assim construído é utilizado para coletar luz focalizada pelo telescópio e conduzi-la até um espectrógrafo de bancada. A flexibilidade das fibras ópticas

dentro dos cabos e condutos de proteção garante uma flexibilidade final no caminho óptico. Dessa forma, o espectrógrafo pode ser montado em uma bancada de ferro ou mármore, podendo ser modificado ou reposicionado conforme a conveniência. Grande número de sistemas de IFU tem sido construídos recentemente e uma detalhada revisão da tecnologia atualmente disponível pode ser encontrada em *Allington-Smith & Content* [1]. Neste trabalho utilizamos o conceito da tecnologia SPIRAL (*Segmented Pupil Image Reformatting Array Lenses*) [2]. Este conceito se desenvolveu a partir da construção de um protótipo e de uma unidade operacional, atualmente em uso no AAO (*Anglo-Australian Observatory*), Austrália [3]. Dentro dessa filosofia implementamos a construção de uma IFU com as mesmas características do modelo operacional SPIRAL, tendo contudo uma óptica de entrada otimizada para operar no telescópio de 1.6 metros do LNA (*Laboratório Nacional de*

Astrofísica). Embora essa seja uma unidade totalmente operacional, ela servirá como protótipo para a construção de uma IFU com um número de fibras duas vezes e meia maior, para ser utilizada no telescópio SOAR. Neste trabalho descrevemos o sistema óptico e mecânico de nossa IFU, bem como algumas das técnicas de construção adotadas.

O conceito SPIRAL utiliza um arranjo bidimensional de microlentes onde cada microlente projeta uma imagem da pupila do telescópio dentro do *core* de cada fibra óptica correspondente. O arranjo bidimensional de fibras na entrada da IFU se converte em um arranjo unidimensional na sua saída pela composição em forma de fenda. Em última análise isso equivale dizer que um espectro será produzido por cada microlente do arranjo. O espectrógrafo utilizado em conjunto com nossa IFU é um espectrógrafo quasi-Littrow projetado para aceitar feixes de luz de até F/4.8 provenientes das fibras que compõem a fenda. Embora as microlentes do arranjo forneçam feixes de entrada de F/5.5, devemos contar com alguma degradação focal na saída das fibras ópticas. O espectrógrafo tem o feixe de luz proveniente das fibras colimado em aproximadamente 150 mm de distância e utiliza redes de difração convencionais.

II Fibras ópticas

A fibra óptica escolhida foi a *Blue fibre* Polymicro 50/60/75/200, cuja curva característica de transmissão pode ser vista na figura 1 [4,5]. Nosso protótipo foi construído com 512 segmentos de aproximadamente 12 metros de comprimento dessa fibra. Outro fator característico da fibra óptica é sua degradação focal, a qual é expressa pela quantidade de energia que se perde na saída de uma fibra óptica em função da relação entre o F/# de saída utilizado e a quantidade de luz total que sai da fibra, para um dado F/# de entrada [6]. As medidas de degradação focal efetuadas com a fibra escolhida para nossa IFU, para uma razão focal de entrada de F/5, resultaram na curva mostrada na figura 2. A análise do gráfico da figura 2 mostra que, para se conseguir toda a energia que sai da fibra óptica seria necessário trabalhar com aproximadamente F/3 na saída da fibra. Todavia, por otimização do projeto óptico, temos de trabalhar com razões focais em torno de F/5, o que dá um aproveitamento médio de pouco mais de 50%. Essa variação ocorre devido a degradação focal da fibra óptica. A degradação focal decorre de dois fatores: o primeiro fator é intrínseco da fibra e o segundo é definido pelo manuseio e trabalho efetuado com a fibra em questão. Dessa forma, é de extrema importância que sejam tomados determinados cuidados no manuseio das fibras ópticas para não incrementar a degradação focal natural da fibra.

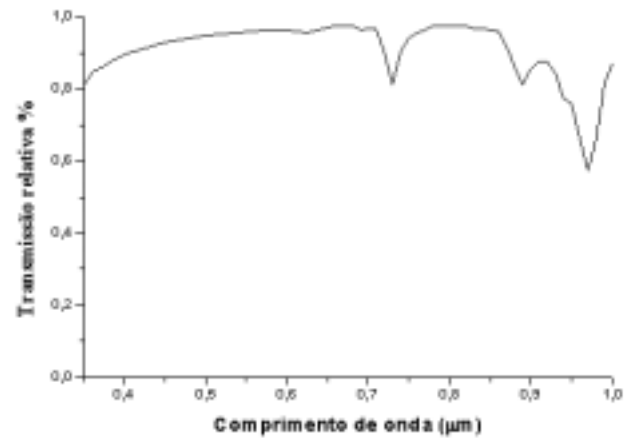


Figura 1. Curva característica de transmissão para 12 metros de *Blue fiber* Polymicro.

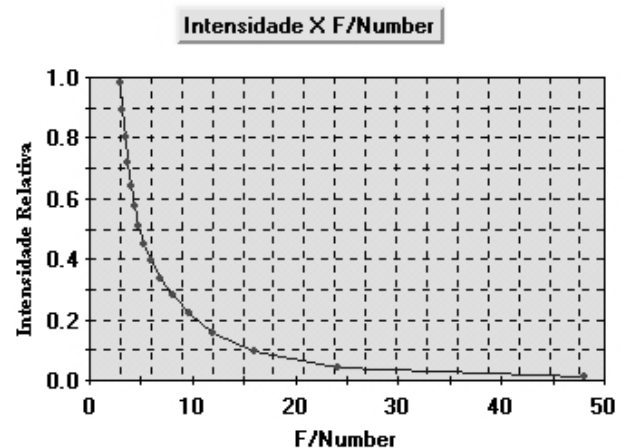


Figura 2. Curva característica que mostra a perda de intensidade de luz pela degradação focal. Neste gráfico, o eixo x representa o F/# de saída e o eixo y a intensidade relativa entre a energia emitida na saída da fibra e a energia dentro de cada círculo de cada F/#. Nesse experimento foi utilizado F/5 na entrada da fibra de 12 m.

III Captação de luz

A extremidade do cabo de fibras ópticas, responsável pela captação de luz previamente concentrada pelo telescópio, tem como principal elemento óptico um arranjo de microlentes de sílica. Este arranjo é montado de tal forma que cada microlente tenha seu eixo óptico principal coincidente ao eixo óptico principal de cada fibra óptica do conjunto. A figura 3 mostra o arranjo de microlentes utilizado em nossa IFU. Ele é produzido pela LIMO, “Lissotschenko MiKro-optik”, empresa alemã especializada na fabricação de componentes ópticos de alta precisão [7]. Esse arranjo de microlentes determina o arranjo de entrada dos segmentos de fibras ópticas que compõem o ducto óptico da IFU. As microlentes formam uma matriz de 32 por 16 unidades. Dessa

forma estabelecemos a utilização de 512 segmentos de fibras com a extremidade de entrada perfazendo um arranjo matricial semelhante ao arranjo das microlentes. O arranjo de microlentes em questão é composto pela superposição de dois sistemas de lentes cilíndricas conforme mostra os diagramas das figuras 4 e 5. A dimensão total é de 36mm por 20mm com 4,01mm de espessura. Um espaço (*gap*) de ar entre uma placa de lentes cilíndricas e outra é mantido para definir as características ópticas do sistema. A placa de microlentes é fabricada com sílica fundida e possui características de transmissão espectral bastante adequada ao uso proposto. Sua transmitância entre 300 e 1100 nm é de praticamente 100%, sem picos de absorção com ambos os lados recobertos com filme anti-reflexo dentro da faixa otimizada.

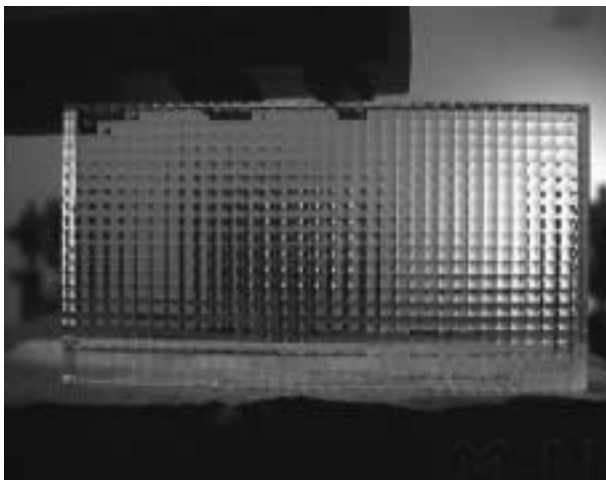


Figura 3. Arranjo de microlentes produzido pela LIMO.

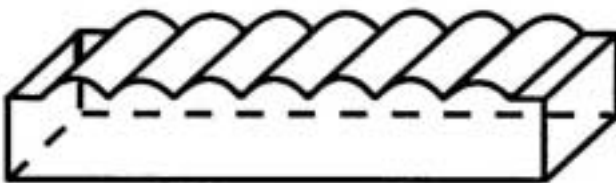


Figura 4. Diagrama do arranjo cilíndrico que compõe o arranjo de microlentes. O arranjo completo se constitui por duas placas iguais a do diagrama acima, dispostas de forma antagônica e cruzada. Dessa forma, as duas faces externas do arranjo final são planas.

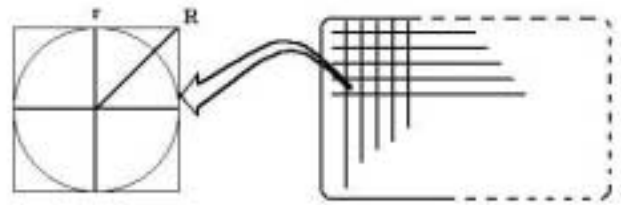


Figura 5. Diagrama de uma microlente. O perfil é quadrado devido à natureza da geometria de sua constituição. Isso define em última análise duas diferentes razões focais. Para R tem-se $F/3.9$, enquanto que para r tem-se $F/5.5$.

midades de entrada das fibras ópticas. Essa fixação é definida por uma adequada acoplagem óptica com o sistema de microlentes. A figura 6, mostra o diagrama do suporte de fixação das fibras ópticas. O procedimento de montagem, no suporte, leva em conta que as extremidades de cada fibra são primeiramente encapsuladas em jaquetas de aço inox. Observando a figura, vemos que o suporte se constitui por duas placas de metal com arranjos de micro-furos onde as jaquetas são inseridas e, posteriormente, coladas. Ambas as placas conferem um arranjo de micro-furos geometricamente similar ao arranjo de microlentes. A placa superior na figura 6 funciona como elemento de guiagem necessário para manter todas as jaquetas perpendiculares com relação a placa inferior e são confeccionados de tal maneira a permitir algum jogo nas jaquetas. Isso é importante para permitir um certo ajuste de perpendicularidade entre as jaquetas e as placas. Por outro lado, conforme se pode ver na figura 7, os furos da placa inferior são feitos em dois diâmetros, um diâmetro maior que permite a passagem da jaqueta e um diâmetro menor que permite apenas a passagem da fibra. Após montadas as 512 fibras, todo o conjunto é imerso em epoxy líquido tipo *EPOTEK 301 adhesive*. Nesse procedimento, o adesivo flui pelo espaço intersticial, entre a parede interna da jaqueta e a superfície da fibra óptica, por efeito de capilaridade. Uma jaqueta de polímero flexível também é inserida entre a jaqueta de aço e a fibra. Isso permite reduzir um possível stress entre a borda da jaqueta de aço e a fibra óptica. Esse tipo de epoxy foi escolhido por três razões fundamentais: sua alta fluidez, baixo efeito de constrição durante o endurecimento e boa qualidade de polimento após a curagem. O baixo efeito de constrição é de fundamental importância para evitar o incremento da degradação focal por stress mecânico na extremidade da fibra, após a secagem do epoxy.

III.1 Suporte de entrada da IFU

O suporte de entrada da IFU consiste basicamente de componentes mecânicos que permitem a fixação das extre-

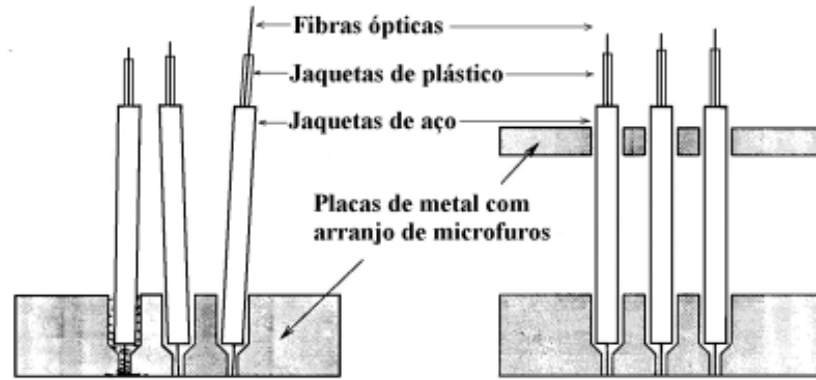


Figura 6. Diagrama do procedimento adotado para construção do suporte de fixação das fibras ópticas na terminação de entrada da IFU. A utilização de duas placas com arranjos de microfuros, superior e inferior, garante a perpendicularidade das jaquetas de aço que protegem as fibras ópticas.

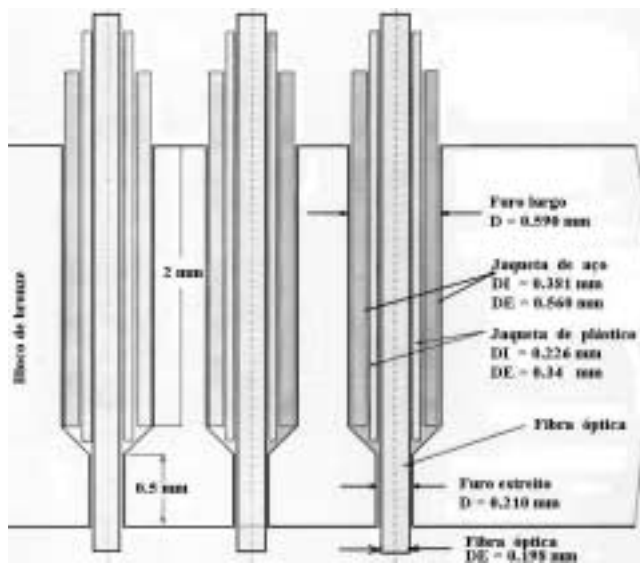


Figura 7. Diagrama do suporte composto por placa de microfuros, jaquetas de aço, jaquetas de plástico e fibras ópticas, após a devida colagem. É importante notar que a cola preenche os espaços intersticiais entre a jaqueta de aço, o microfuro e a fibra. O excesso da fibra é polido até o faceamento com o metal da placa de microfuros.

Os principais fatores a serem considerados para a montagem do suporte são, a distância entre a face polida de cada fibra e as microlentes, e o paralelismo entre os eixos ópticos. Em outras palavras, cada microlente deve coincidir seu eixo óptico com o eixo principal de cada fibra óptica. Além disso a distância entre cada microlente e cada terminação de fibra deve ser convenientemente respeitada. Essa distância é calculada em função da razão focal das microlentes. Ela depende do índice de refração da interface entre as microlentes e as fibras ópticas. No nosso caso usamos um substrato de vidro óptico SF6 com 7mm de espessura que devidamente colado ao arranjo de microlentes formou um sistema acromático com excelente qualidade de imagem entre 350 e 1000 nm. O conjunto assim constituído, pode ser visto

no esquema da figura 8. Para colar o arranjo de microlentes no substrato de vidro e este na placa do arranjo de fibras, utilizamos um epoxy cuja secagem se processa por ação de luz ultravioleta e cuja faixa de transmissão espectral se situa dentro de nossas necessidades previamente estabelecidas.

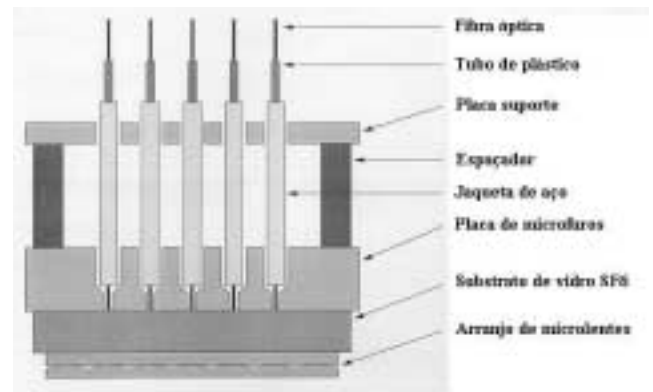


Figura 8. Diagrama completo do sistema de entrada da IFU, onde se pode observar o arranjo de microlentes, o substrato de SF6, a placa de microfuros, a placa suporte, as jaquetas de aço, as jaquetas de plásticos e as fibras ópticas.

III.2 Alinhamento das microlentes

Dadas as características do telescópio mais as características ópticas das microlentes é possível calcular o diâmetro da imagem final que pode ser projetado em cada fibra óptica. O telescópio de 1,6 m do LNA, apresenta uma razão focal final de F/10. Podemos, então, utilizar a seguinte expressão, [8]

$$\Phi = \alpha D F \quad (1)$$

onde Φ representa o diâmetro da imagem projetada por uma microlente, α o valor de *seeing* considerado, D o diâmetro do espelho primário e F a razão focal da microlente. Considerando, pois, $D = 1600$ mm, $F = 5.5$ e $\alpha = 4,5 \times 10^{-6}$

rad, deveremos ter Φ aproximadamente igual $39,6 \mu\text{m}$. Isto significa que, em princípio, poderíamos usar fibras ópticas com até $40 \mu\text{m}$ de diâmetro de *core*. Contudo, fizemos a opção de trabalhar com fibras da ordem de $50 \mu\text{m}$ de *core* para uma projeção de imagem de até $39,6 \mu\text{m}$ de diâmetro. Mesmo iluminando apenas uma área parcial do *core*, a saída da fibra exibe todo o disco de *core* iluminado, conforme o esquema da figura 9. Em outras palavras, devido à impossibilidade de se obter uma centragem perfeita para todas as fibras, trabalhamos com o diâmetro do *core* da fibra um pouco maior que o tamanho da imagem projetada. Isso permite estabelecer uma melhor estatística de acerto, considerando um valor médio de erro tolerável na confecção das placas de microfuros.

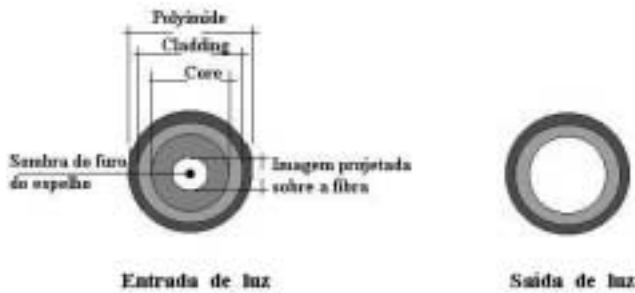


Figura 9. Entrada e saída de uma fibra óptica na qual se injeta luz proveniente de um telescópio. A entrada da fibra é mostrada no lado esquerdo da figura, onde se pode ver que o campo de imagem do telescópio é menor que o diâmetro do disco do *core*. A saída da fibra, entretanto, apresenta sempre todo o disco de *core* iluminado, devido ao efeito de dispersão reflexiva interna.

III.3 Óptica de entrada

O objetivo da óptica de entrada é, basicamente, fornecer a adequada magnitude da imagem proveniente do telescópio para as microlentes da IFU. Todavia, além de definir a magnificação desejada, a óptica de entrada também garante um feixe telecêntrico sobre as microlentes, visando neutralizar os efeitos de aberração devido à curvatura de campo óptico. A mudança de magnitude leva em conta que se deseja projetar uma imagem de certo diâmetro, correspondente a um certo valor de *seeing*, sobre cada área de *core* de cada fibra óptica do conjunto. Assim sendo, se temos fibras com $50 \mu\text{m}$ de diâmetro de *core* e queremos projetar uma imagem de $40 \mu\text{m}$ de diâmetro sobre esse *core*, devemos calcular qual o valor de *seeing* que será considerado. Em outras palavras, não utilizamos o valor de *seeing* máximo que o conjunto (telescópio mais sítio) poderia oferecer e sim um valor abaixo disso, o qual chamamos de *sample*. Para se obter uma imagem com cerca de $40 \mu\text{m}$, o valor de *sample* calculado foi de $0,93''$. O projeto óptico desse sistema deve levar em consideração a dimensão do arranjo de microlentes da IFU, a qual representará seu campo total de visão. O arranjo de microlentes utilizado na IFU é de 32×16 microlentes. Dessa forma levando em conta que cada microlente

enquadra $0,93''$ de *sample*, o campo de visão total foi definido por $32 \times 0,93'' = 29,7''$ e $16 \times 0,93'' = 14,8''$. Dada a escala de placa do telescópio, de $12,89'' \text{ mm}^{-1}$ no plano focal vale que, conclui-se que as dimensões da imagem serão $29,696''/12,89'' \text{ mm}^{-1} = 2,3 \text{ mm}$ e $14,848''/12,89'' \text{ mm}^{-1} = 1,15 \text{ mm}$. Portanto, no plano focal do telescópio teremos um campo retangular como na figura 10.

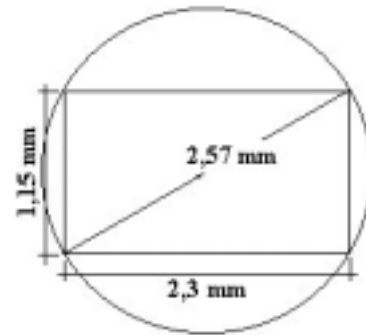


Figura 10. Campo retangular projetado pelo telescópio no plano focal.

A imagem projetada ao longo do eixo óptico do telescópio possui simetria circular, devido obviamente à simetria física do sistema. Portanto, mesmo contando com um campo efetivamente retangular, devido à simetria do arranjo de microlentes, devemos considerar qualquer componente óptico da óptica de entrada a partir do círculo concêntrico da figura 10. Esse círculo terá o diâmetro correspondente ao valor da diagonal do retângulo em questão. A otimização em ZEMAX foi implementada para utilização dos parâmetros de ajustes característicos do software. O diagrama óptico pode ser visto na figura 11.

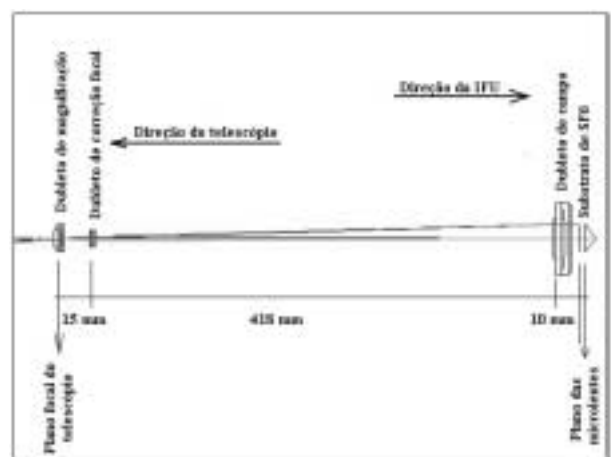


Figura 11. Diagrama completo da óptica de entrada, mostrando, da esquerda para a direita, a lente de correção, a lente de magnificação e a lente de campo. A primeira lente, à esquerda, é colocada no plano focal do telescópio.

IV Saída de luz em fenda

A extremidade de saída de nossa IFU é composta por uma seqüência de pequenos blocos de latão onde as fibras são alinhadas em grupos de 32, num total de 16 blocos. Cada um desses blocos é designado por “slit block”, e a seqüência de 16 slit blocks perfazem a fenda completa ou “slit”, cuja função é fornecer luz para o espectrógrafo. Para garantir uma fenda estreita, adequada a uma boa resolução do espectrógrafo, é conveniente remover o *buffer* externo das fibras na extremidade de saída da IFU. Esse *buffer*, figura 12, é composto de um material acrílico e pode ser removido com sucesso se a fibra for imersa em acetona por cerca de 15 minutos. Após esse tempo de imersão se pode remover o *buffer* com uma leve pressão dos dedos. As fibras ópticas utilizadas no nosso protótipo possuem 50 μm de *core*, 60 μm de *cladding*, 75 μm de *buffer* interno e 200 μm de *buffer* externo. Dessa forma, após a remoção da camada de acrílico, nossa fibra passa a ter efetivamente apenas 75 μm de diâmetro. Com 512 fibras devemos esperar uma fenda de cerca de 38 mm de comprimento. Cada bloco de fibras é submetido a um pré-polimento. Após esse pré-polimento, os blocos são colados lado a lado e, então, toda a fenda é submetida a novo polimento. A opção por 16 blocos de 32 fibras cada, equivale a linearizar a matriz do arranjo de microlentes de 16/32. Isso facilita também a redução de dados durante a análise espectroscópica. Cada bloco foi montado num suporte de fixação que permite alinhar as fibras com a ajuda de um microscópio e preencher com epoxy um espaço acima do bloco de metal garantindo sua fixação. Na figura 13 podemos ver uma microfotografia de um bloco com a seqüência de fibras pré-polidas.

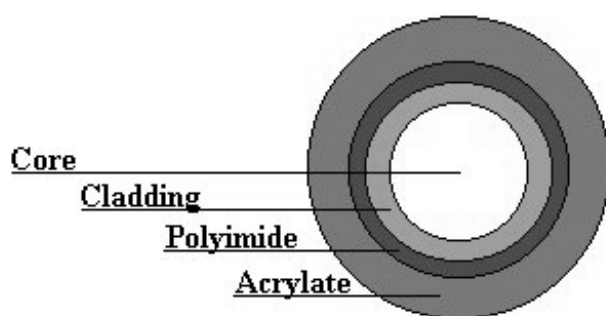


Figura 12. Esquema, em corte transversal, de uma fibra óptica do tipo utilizado em nossa IFU. Esse diagrama não está nas corretas proporções e serve unicamente para se visualizar a estrutura da fibra óptica. A última camada “*Acrylate Buffer*” é uma camada de acrílico que pode ser facilmente removida após imersa por alguns minutos em acetona. O objetivo da remoção dessa camada é possibilitar uma largura de fenda a menor possível.

V Condutos de fibras ópticas

Nossa IFU foi construída com 512 segmentos de fibras ópticas previamente inseridas em tubos de proteção e condutos flexíveis. Dois tipos de tubos são utilizados

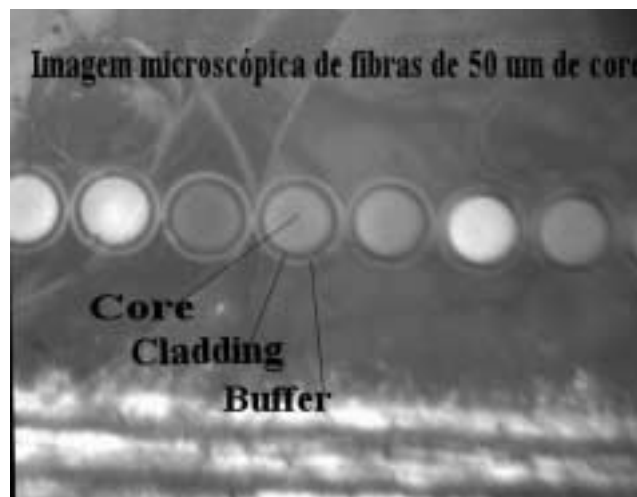


Figura 13. Microfotografia mostrando em detalhes as fibras alinhadas lado a lado, formando assim o segmento de fenda. Pode-se ver com algum detalhe o *core*, o *cladding* e o *buffer* interno de poliimide.

para proteger o feixe de fibras. O primeiro é um tubo plástico flexível, fino e de dupla camada, uma interna de polímero PTF e outra externa de plástico com separação intercapilar de micro-fios de seda. Esse tipo de tubo encerra 32 segmentos de fibras ópticas, de aproximadamente 12 metros de comprimento. O segundo tubo é um condute de plástico flexível com colunas anulares de aço e serve para conter e proteger os tubos plásticos. Nesse esquema, foram montados 16 tubos do primeiro tipo com 32 fibras cada, e todos eles foram inseridos no condute de proteção conforme pode-se ver na figura 14. Uma vez que o telescópio se movimenta, o condute se estende ou se curva, conforme o tipo de movimento. Portanto, é de se esperar que as fibras tenham algum tipo de folga para se ajustarem dentro dos tubos plásticos. Para isso, construímos uma caixa de passagem próxima da extremidade de saída da IFU. Dentro da caixa de passagem é feito um círculo com os conjuntos de fibras ópticas de modo que o alongamento ou encurvamento do condute permite que as fibras se ajustem pela diminuição ou aumento do raio do círculo. Cada grupo de fibras forma seu próprio círculo e é separado dos demais por placas de acrílico, conforme mostra a figura 14.

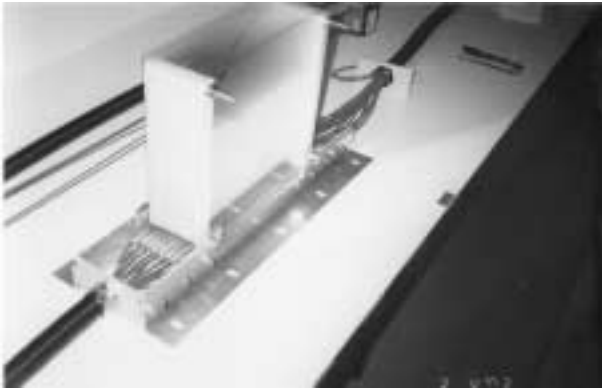


Figura 14. Fotografia mostrando as fibras ópticas inseridas em tubos plásticos e, estes, inseridos num conduíte de alumínio. Em primeiro plano pode-se ver a caixa de passagem, com as divisões acrílicas para separação dos grupos de fibras ópticas. Embora apareçam esticadas nessa foto, as fibras devem formar um círculo "loop" para proporcionar a devida folga de eliminar a tensão do alongamento e do encurvamento do conduíte.

VI Resultados

Para avaliar o erro de posicionamento das fibras ópticas, após a completa montagem do arranjo foi feita uma avaliação fotográfica por computador. A imagem do arranjo

foi capturada por um CCD através de um sistema óptico de magnificação adequado e, em seguida, digitalizada para análise em computador. Selecionamos então 4 conjuntos de 3x3 fibras do arranjo e avaliamos o posicionamento das fibras desses conjuntos. A avaliação foi feita sobrepondo a imagem dos conjuntos de fibras retroiluminados em uma grade de calibração no computador, graduada em pixels por milímetros. Utilizando uma combinação de softwares de análise de imagens astronômicas, construímos um gráfico mostrando a distribuição de erro para os três conjuntos em questão. De acordo com o gráfico da figura 15, a distribuição radial residual de erro mostra que a maior quantidade de erro encontra-se na faixa de $7,5 \mu\text{m}$. Para esse valor de desvio, ao se projetar uma imagem de $40 \mu\text{m}$ num *core* de diâmetro de $50 \mu\text{m}$ não haverá perda de luz na entrada da fibra. De acordo com o gráfico de barras da direita, vemos que com essa margem de segurança, mais de 60 % das fibras estarão com seu *core* totalmente iluminado. Os outros 40 % entretanto, poderão perder alguma luz conforme a exata discrepância da pupila projetada sobre o *core*. A pior situação mostrada no gráfico da figura 15 é um desvio de $20 \mu\text{m}$ para apenas 3% das fibras. Para esse desvio, os cálculos feitos com auxílio do software de desenho óptico "ZEMAX" mostram que somente 40% da luz entra nessas fibras.

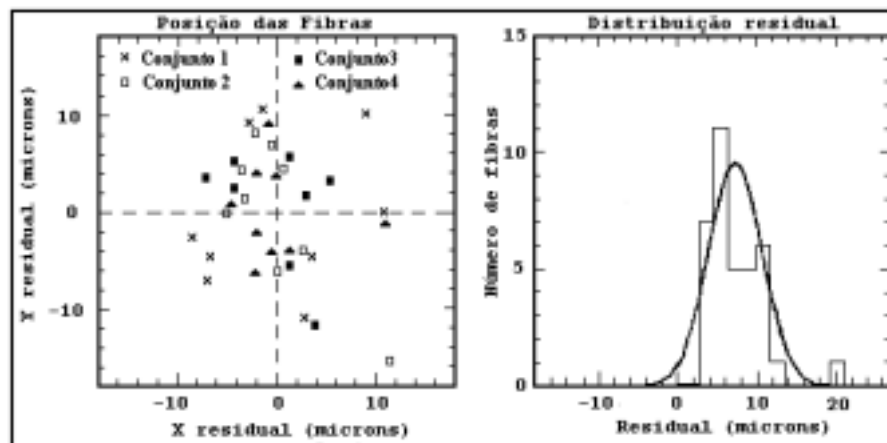


Figura 15. A esquerda: desvio entre o centro de cada fibra e a posição exata do retículo, com a qual o centro da fibra deveria se sobrepor. À direita: distribuição estatística dos erros de posicionamento para todos os grupos amostrais de fibras escolhidas.

Medidas de degradação focal foram efetuadas em 36 fibras da IFU, antes do processo de colagem das microlentes e do substrato de vidro óptico sobre o arranjo de micro lentes. O procedimento para essas medidas considerou a incidência de luz na extremidade de entrada das fibras com uma razão focal de F/5,5. Um detector CCD foi usado para coletar a imagem de saída da fibra testada. Após a digitalização da imagem, utilizamos o software IRAF de análise de imagens astronômicas para levantamento das curvas de degradação focal. A figura 16 mostra um gráfico que contém as duas

curvas extremas de degradação focal dentre as 36 curvas obtidas no experimento.

Para operar em conjunto com nossa IFU, foi construído uma réplica do espectrógrafo SPIRAL. O projeto, gentilmente cedido pela equipe do AAO, foi ligeiramente modificado para adequar-se aos parâmetros de nossa IFU. Basicamente, trata-se de um espectrógrafo de bancada do tipo quasi-Littrow, capaz de aceitar feixes de luz provenientes das fibras com até F/4,8. O feixe é colimado em aproximadamente 150 mm para reflexão numa rede de difração de

600 linhas. Um CCD

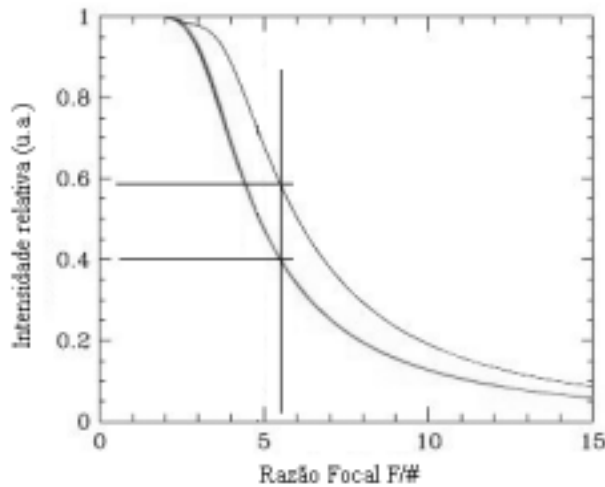


Figura 16. Curvas extremas de degradação focal obtidas numa amostragem de 36 fibras escolhidas ao acaso. As outras 34 fibras exibiram curvas que se situaram entre as duas curvas mostradas nessa figura.

de 1024 x 1024 pixels, com cada pixel de 24 x 24 μm , resfriado com nitrogênio líquido, foi utilizado para captar as linhas espectrais. Os experimentos iniciais revelaram resultados bastante interessantes. As figuras 17 e 18 mostram o espectro de linhas contínuas de lâmpadas incandescentes do tipo halógenas. Nesse tipo de espectro é possível observar a iluminação de todas as fibras se dispusermos de um campo uniforme na entrada da IFU. Para efetuar esse tipo de teste foram utilizadas os holofotes da cúpula do telescópio de 1,6 m, responsáveis pela produção de um campo luminoso razoavelmente homogêneo. Esse tipo de teste é comumente chamado de *flat field* e é utilizado para calibração de outros tipos de espectrógrafos acoplados ao telescópio. Resultados como os das figuras 17 e 18 são obtidos a partir de uma linha do espectro contínuo da luz branca. Em outras palavras, a luz branca proveniente das lâmpadas halógenas dos holofotes da cúpula é decomposta pela rede de difração. Escolhemos uma linha do espectro contínuo em torno de 600 nm para avaliação. Esse tipo de avaliação permite analisar o grau de contaminação entre a luminosidade de cada fibra e na fibra vizinha. À exceção de algumas fibras ao longo da fenda, a maior parte mostra um bom contraste. A análise numérica desse contraste será utilizada mais tarde para construir um software capaz de identificar cada fibra iluminada pelo objeto observado e reconstruir assim uma imagem computadorizada. Nas figuras 17 e 18 o eixo y de cada um dos gráficos está calibrado em unidades arbitrárias, enquanto o eixo x mostra a divisão em pixels para avaliação da resolução espacial da fenda.

VII Conclusão

Este artigo descreveu a construção e os testes iniciais de uma IFU com 512 fibras ópticas, mostrando detalhes de montagem e características ópticas. A principal dificuldade na construção de sistemas de fibras ópticas, tais como o aqui descrito, reside no alinhamento óptico entre a entrada das fibras e os sistemas ópticos de acoplamento. Essa dificuldade torna-se ainda maior quando estamos trabalhando com um número elevado de fibras ópticas. Todavia, os resultados obtidos na construção da matriz de fibras mostraram-se bastante satisfatórios. Os quatro conjuntos matriciais (3x3) de fibras no arranjo de entrada foram escolhidos em posições bastante diversificadas, tanto na periferia quanto na região central. Isso nos leva a crer que 60% das fibras do arranjo

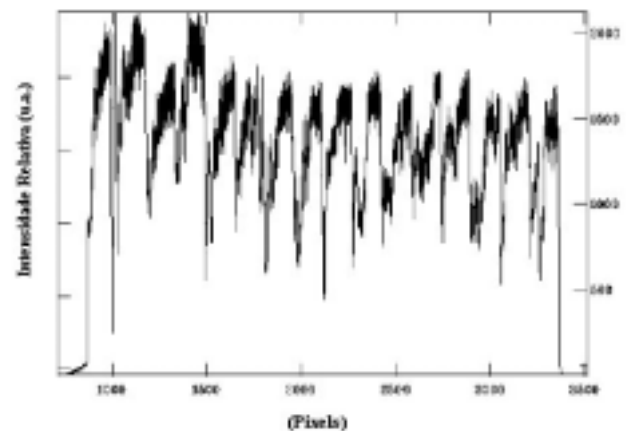


Figura 17. Perfil de intensidade luminosa das fibras ópticas ao longo da fenda no espectrógrafo. A entrada da IFU foi iluminada com os holofotes da cúpula do observatório, através da reflexão em um painel branco. É fácil perceber os grupos de 32 fibras, devido ao pequeno espaçamento entre eles.

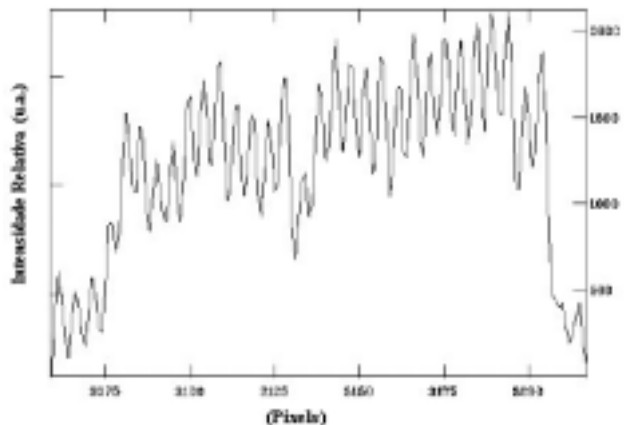


Figura 18. Grupo de 32 fibras, que compõem cada segmento da fenda, *slit block*, ampliado da figura anterior e escolhido ao acaso. Nesse gráfico pode-se ver claramente o contraste entre cada fibra óptica acesa.

são totalmente iluminadas, enquanto 40% são parcialmente iluminadas. Entretanto, mesmo neste conjunto de 40% das

fibras, apenas 3% tem menos de 50% de seu *core* iluminado. Os resultados das medidas de degradação focal mostraram que, entre as 36 fibras analisadas, houve pequenas alterações nas curvas de degradação focal com relação àquela prevista em testes iniciais, tais como o apresentado na figura 2. A flutuação apresentada no gráfico da figura 16 mostra uma variação máxima entre 40% e 60% da energia na saída da fibra, para uma razão focal de F/5,5. Na média, essa alteração pode ser esperada para uma grande amostragem de fibras já que cada uma delas se encontra diferentemente tensionada dentro dos tubos. Testes correlacionados para medir a transmissão do sistema foram feitos com o uso de finos feixes de laser incidente em cada microlente. Um medidor de potência foi utilizado para captar a luz emitida pela fenda e a eficiência média de transmissão foi da ordem de 56% para uma amostragem de 100 fibras escolhidas aleatoriamente. Os resultados de contraste se mostraram bastante promissores do ponto de vista de um processamento de sinal. A avaliação do contraste foi feita considerando a diferença entre o valor de máximo e mínimo de cada pico da figura 18. Conforme se pode observar na figura 18, a média de variação é de cerca de 500 unidades arbitrárias (u.a.), com exceção de poucas fibras. Acreditamos que esse nível de contraste é perfeitamente suficiente para desenvolvermos os trabalhos de processamento de sinais. Contudo, essa IFU deverá trabalhar necessariamente em conjunto com o espectrógrafo, de forma que uma completa avaliação dessa combinação deve ser conduzida. Todo o sistema deverá ser comissionado em breve para uma avaliação e teste de calibração com o subsequente fornecimento de cartas espectrais tanto de lâmpadas de calibração quanto de objetos celestes. Em

um artigo subsequente, pretendemos abordar os seguintes aspectos com mais detalhes: processamento de sinais, programa para redução de dados, levantamentos da eficiência total do sistema com medidas de calibração e análise espectral padrão.

Agradecimentos

Especial agradecimento a Ligia Souza de Oliveira, pelo excelente trabalho de polimento e participação em todas as fases de construção da IFU.

Referências

- [1] Allington-Smith, J. & Content, R., 1998, PASP, 110, p. 1216.
- [2] Kenworthy, M. A., Parry, I. R. & Taylor, K., 1998c, Proc.SPIE, 3355, p. 926.
- [3] Lee, D., Spiral Phase B, AAO News Letter, Number 89, May 1999, pp 9-10.
- [4] Nelson, G. W., Introduction to fibers optics, ASP Conference Series, Fiber Optics in Astronomy – Vol. 1: 1-22, 1998.
- [5] Barden S. C., Review of fiber-optic properties for astronomical spectroscopy, ASP Conference Series, Fiber Optics in Astronomy – Vol. 3: 15-19, 1998.
- [6] Ransey L. W., Focal degradation in optical fibers of astronomical interest, ASP Conference Series, Fiber Optics in Astronomy – Vol. 1: 26-39, 1998.
- [7] Kenworthy, M. A., 1998, PhD thesis, pag. 182, Uni. Cambridge.
- [8] Kenworthy, M. A., 1998, PhD thesis, pag. 42, Uni. Cambridge.