

# O Fotômetro MULTIOH: um Equipamento para Sensoriamento Remoto da Aeroluminescência Terrestre

Stella M. L. Melo\*, Fabíola F. T. B. Costa, Delano Gobbi e Hisao Takahashi

*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Aeronomia  
Caixa Postal 515, 12201-970, São José dos Campos, SP, Brasil*

Recebido em 25 de Abril 1997

A pesquisa desenvolvida pelo grupo LUME, no INPE, consiste na obtenção e análise de dados da aeroluminescência noturna terrestre, monitorando diversas emissões da alta mesosfera e baixa termosfera. Com equipamentos operando desde 1972, e trabalhando em cooperação com outros centros de pesquisa, foi estabelecida uma importante base de dados. Com o objetivo de reforçar esta base de dados, possibilitando estudos complementares de interesse recente, foi construído um novo fotômetro multicanal de filtro inclinável (MULTIOH). Trata-se de um equipamento de fácil transporte e operação, com baixo custo e manutenção simplificada, que permite medir simultaneamente emissões de cinco diferentes bandas vibracionais do OH. Neste trabalho descrevemos o MULTIOH, apresentando aspectos de sua óptica e eletrônica. Para ilustrar seu potencial, apresentamos resultados de uma calibração preliminar e de uma observação feita na noite de 11 de outubro de 1996.

The airglow research developed at INPE basically consists on measurements and analysis of several upper mesospheric and lower thermospheric airglow emissions. Starting at 1972 and working in cooperation with other research centers, a large data set has been established. In order to improve this data set, allowing complementary studies of recent interest, a new multichannel tilting filter photometer (MULTIOH) was built. This equipment makes possible simultaneous measurements of five different OH vibrational band emissions and was designed to be of easy transportation and operation, at low cost and simple maintenance. In this paper the MULTIOH optic and electronic are described. In order to show its potential, the results for a partial calibration and one measurement carried out during the night of October 11, 1996 are included.

## 1. Introdução

Tratando a atmosfera terrestre como um meio gasoso onde várias espécies atômicas e moleculares interagem quimicamente entre si, recebendo energia do Sol e sob influência dos aspectos geofísicos tais como rotação e campo magnético terrestres, temos um laboratório natural onde ocorrem diversos processos físico-químicos.

Por ser um meio compressível, sob a ação da força de gravidade e da radiação solar, a atmosfera terrestre apresenta uma série de perturbações ondulatórias que estendem-se de escalas submétricas associadas com turbulência à perturbações de escala global associadas com marés e ondas planetárias. As ondas geradas na baixa atmosfera propagam-se verticalmente para cima e, na

ausência de dissipação, suas amplitudes crescem exponencialmente em resposta a uma densidade atmosférica decrescente. Na alta mesosfera e baixa termosfera, entre 80 e 110 km de altura, estas ondas saturam, transferindo energia e momentum para a atmosfera.

Do ponto de vista da físico-química, a atmosfera entre 80 e 110 km de altura é particularmente interessante pois nesta região ocorrem os extremos em temperatura, pressão e absorção da radiação solar. Por exemplo, a mesopausa é a parte mais fria da atmosfera terrestre, atingindo 100K nos polos, nos meses de verão (Philbrick et al., 1984). Também a pressão varia de aproximadamente 10 mTorr em 80 km a menos de 1 mTorr acima de 100 km. Com isto as reações termomoleculares ocor-

\*Endereço Atual: The University of Western Ontario, Department of Physics and Astronomy, London, Ontario N6A 3K7, Canada, E-mail. Stella@danlon.physics.uwo.ca

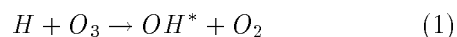
rem essencialmente no regime de baixa pressão e baixa temperatura.

No entanto, estudos da alta mesosfera e baixa termosfera são restringidos pela dificuldade de acesso para medidas “in situ”, sendo importante encontrar técnicas que permitam monitoramento remoto. Uma destas técnicas consiste na medida espectroscópica de emissões de radiação provenientes de espécies excitadas geradas nesta região.

Entre 80 e 110 km de altura ocorre a transição entre uma atmosfera praticamente uniforme em termos de composição química e uma atmosfera estratificada conforme o peso molecular de seus constituintes. Em consequência, nessas alturas ocorre a formação de camadas estreitas ( $\sim 7$  km de largura entre pontos 1/e) de espécies excitadas que emitem radiação. Esta radiação amorfa continuamente emitida pela atmosfera planetária é denominada aeroluminescência.

Medidas dessas emissões vêm sendo tradicionalmente empregadas para sondar remotamente, tanto de solo quanto via equipamentos a bordo de satélites, o comportamento químico e dinâmico da alta mesosfera e baixa termosfera (Takahashi et al., 1997, Makhlof et al., 1995, Johnston e Broadfoot, 1993). Estas medidas podem ser usadas também na determinação da concentração de constituintes minoritários tais como O, O<sub>3</sub>, H e NO (López- González et al. 1992, Thomas, 1990).

O espectro da aeroluminescência terrestre noturna estende-se do ultravioleta ao infravermelho. Na Figura 1 apresentamos um espectro do céu noturno medido por Johnston e Broadfoot (1993) com um espectrógrafo baseado em solo. Este espectro representa o resultado de 06:30 horas de observação feita na noite de 16 de março de 1991. Observe da figura que a região do infravermelho próximo é dominada pelas bandas vibracionais do OH(X<sup>2</sup>Π). A presença destas bandas na aeroluminescência terrestre foi primeiro observada por Meinel (1950). A formação de moléculas de OH(X<sup>2</sup>Π) vibracionalmente excitadas têm sido atribuídas à reação hidrogênio-ozônio proposta por Bates e Nicolet (1950):



Esta reação pode gerar OH em níveis vibracionais (OH\*) até  $\nu = 9$ . De fato, na aeroluminescência terrestre não são observadas bandas oriundas de níveis vi-

bracionais  $\nu > 9$ . Embora essa reação seja bem aceita como a principal fonte química de OH\* na aeroluminescência noturna, ainda existem incertezas quanto a sua eficiência em gerar OH\* em níveis  $\nu = 6$  (Kaye, 1988). Os níveis  $\nu < 9$  são também povoados por cascatas colisionais, sendo que a necessidade de uma fonte adicional depende da eficiência desses processos colisionais envolvidos. Os valores dos coeficientes referentes a tais processos, determinados a partir de observações da aeroluminescência (Lewellyn et al. 1978; McDade et al. 1987, Melo et al., 1997) diferem significativamente dos valores obtidos em laboratório (Streit e Johnston, 1976). Em parte essa diferença se deve aos valores das probabilidades de transição adotados, embora a presença de reações secundárias no experimento de laboratório consista também em fonte de incertezas.

Os trabalhos teóricos e algumas observações sugerem que camadas emissoras referentes a OH( $\nu < 6$ ) teriam picos de máximo localizados 2 a 3 km abaixo dos picos das camadas emissoras referentes a OH( $\nu=6$ ) (Sivjee, 1992). No entanto, devido a não existência de medidas diretas, a dependência em altura da distribuição vibracional de OH\* não está ainda estabelecida, sendo um dos assuntos atuais de pesquisa.

Assumindo que as moléculas de OH\* estão em equilíbrio termodinâmico com o meio ambiente, medidas da estrutura rotacional de uma de suas bandas vibracionais na aeroluminescência podem ser utilizadas para conhecer a temperatura da atmosfera na altura da camada emissora (Takahashi e Batista, 1981). Este é um método atrativo devido ao seu baixo custo e a possibilidade de usar equipamentos que observem remotamente por um período de tempo prolongado. É importante lembrar aqui que medidas *in situ* da temperatura atmosférica em 87 km de altura só podem ser feitas com foguetes de sondagem e que o custo de construção e lançamento destes equipamentos nos obriga a realizá-los apenas em caráter esporádico. A medida da temperatura rotacional de diferentes bandas vibracionais do OH na atmosfera têm também sido usada como indicativo da diferença em altura das camadas emissoras. No entanto, poucos têm sido os experimentos envolvendo medidas simultâneas de diferentes bandas do OH na aeroluminescência noturna terrestre.

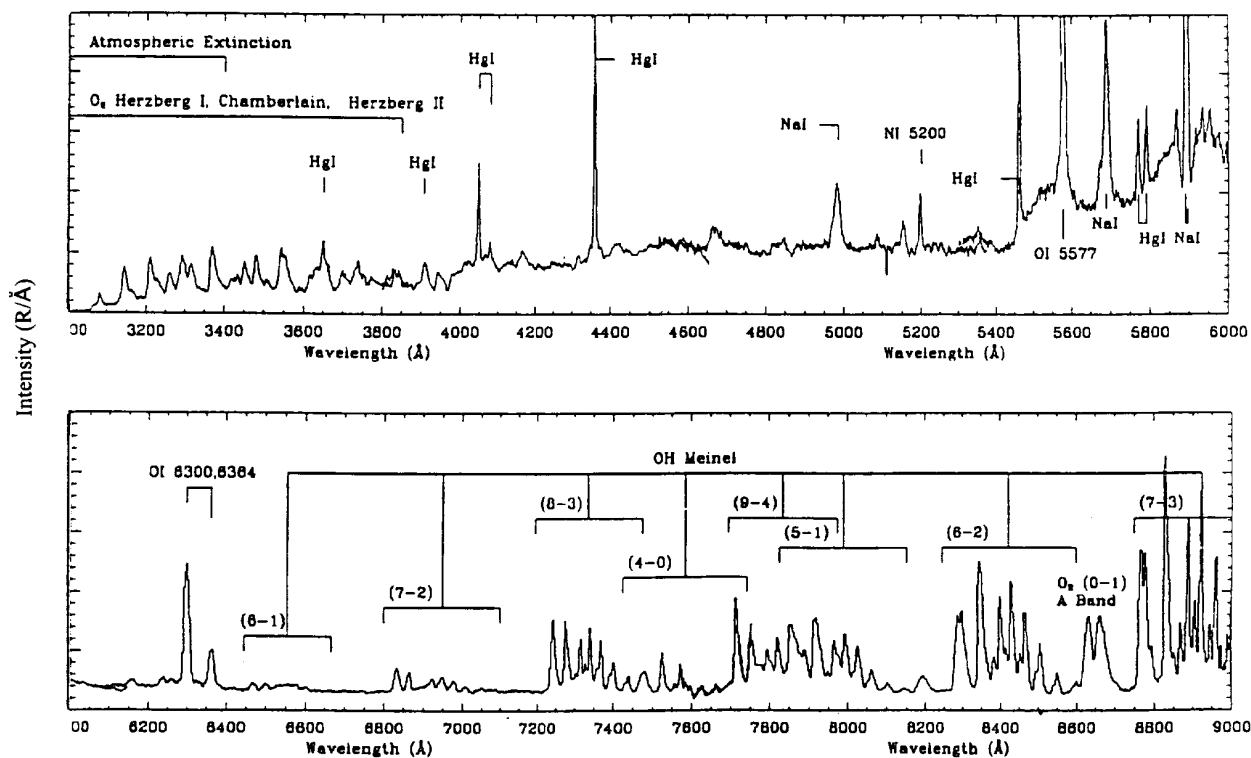


Figura 1. Espectro medido de solo por Johnston e Broadfoot (1993).

Os pontos colocados acima ilustram a importância de termos uma base de dados com medidas simultâneas da intensidade integrada de diferentes bandas do OH presentes na aeroluminescência terrestre. Assim, construímos no INPE um fotômetro com objetivo de medir de solo o comportamento de 5 diferentes bandas vibracionais do OH\*. Trata-se de um fotômetro multicanal de filtro inclinável, denominado MULTIOH, que opera em solo obtendo dados durante o período noturno. Neste trabalho descrevemos este equipamento, enfocando aspectos de sua óptica e de sua eletrônica. Apresentamos resultados de uma calibração preliminar feita em nossos laboratórios em outubro de 1996 bem como o resultado de uma medida feita na noite de 11 de outubro de 1996.

## 2. O fotômetro MULTIOH

O fotômetro é um dos mais tradicionais instrumentos usados para medir a intensidade de radiação de um fluxo de fótons. Esta medida pode ser feita através de comparações visuais ou de comparações quantitativas por meio de dispositivos fotoelétricos. Para medir a intensidade de uma determinada emissão da aeroluminescência, devemos acoplar ao fotômetro uma parte óptica específica para selecionar comprimento de onda

desejado. Uma opção eficiente, e de baixo custo, empregarmos filtros de interferência óptica. Este tipo de filtro é um caso especial do interferômetro *Fabry-Perot*. A inclinação do filtro faz com que o comprimento de onda selecionado varie, permitindo uma varredura espectral. Através da calibração espectral que determina as características do filtro e calibração de sensibilidade absoluta, feitas em laboratório, podemos interpretar o sinal medido em termos do espectro da emissão observada, naquela região de comprimento de onda.

Em 1977, um fotômetro multicanal de filtro inclinável foi construído no INPE para medir emissões referentes às bandas OH(9-4), OH(8-3), OH(7-2), OH(6-2) e OH(5-1). Esse fotômetro operou no observatório de Cachoeira Paulista (23° S, 45° O) entre junho de 1977 e agosto de 1978. Os resultados obtidos são apresentados por Takahashi e Batista (1981) e serviram de base para vários trabalhos, inclusive para os cálculos de McDade e Llewellyn (1987) dos coeficientes de desativação colisional do OH\* acima referidos. Com trabalhos recentes esclarecendo aspectos relacionados às probabilidades de transição das bandas de Meinel (Sivjee, 1992) ressurgiu o interesse por dados referentes às emissões do

OH\*. Dentro desta nova perspectiva, construímos um fotômetro semelhante ao que operou entre 1977 e 1978, incluindo melhorias nos circuitos elétricos, no sistema de aquisição de dados e controle do equipamento e na montagem da estrutura mecânica.

Na Figura 2 é mostrada uma representação es-

quemática do fotômetro MULTIOH. Esquemáticamente o MULTIOH pode ser considerado como composto por uma unidade óptica e uma unidade de controle e aquisição de dados gerenciada por um microcomputador.

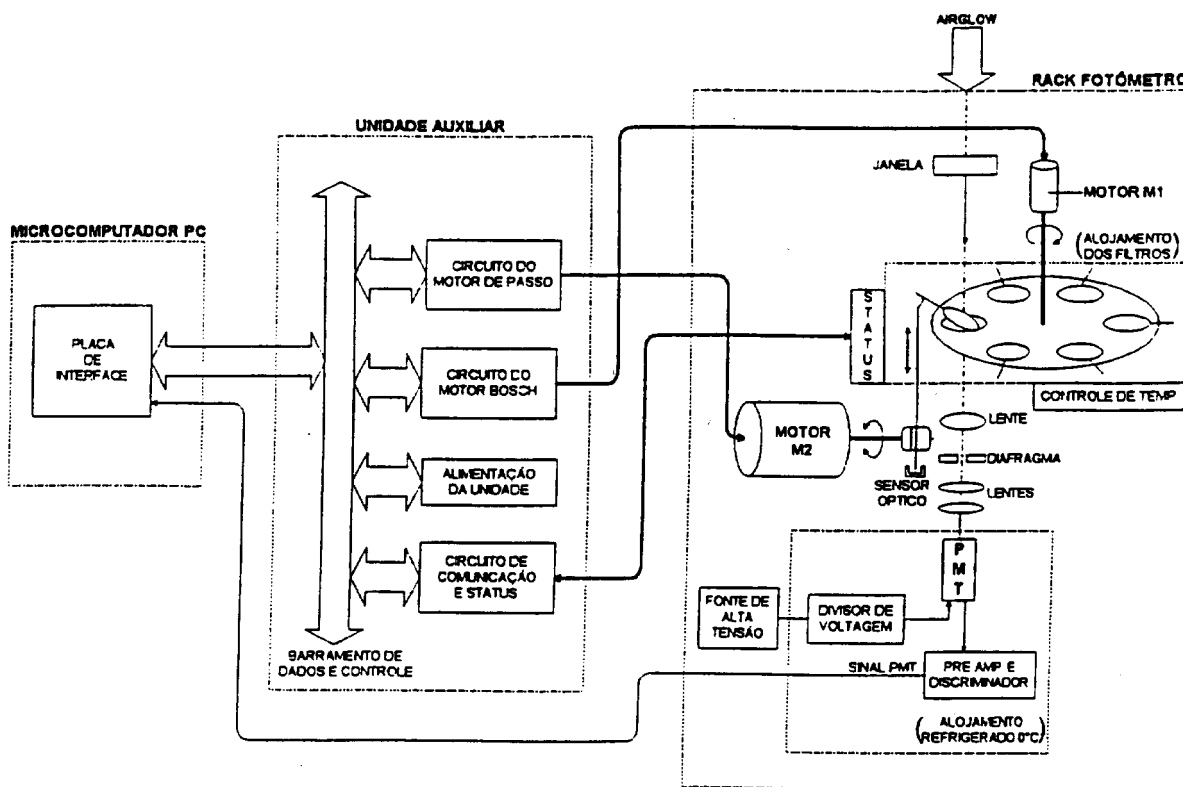


Figura 2. Representação esquemática do fotômetro MULTIOH.

## 2.1 A Unidade Óptica

Esta unidade, esquematizada na Figura 3, envolve um sistema para alojamento dos filtros e um sistema para alojamento do tubo fotomultiplicador. O sistema para alojamento dos filtros é composto de um disco móvel, ao qual chamamos roda dos filtros, contendo cinco filtros de interferência óptica. Os filtros empregados são fabricados pela "Barr Associates", têm 6,35 cm (2,5") de diâmetro, com 3 cavidades ópticas e transmissão entre 200 e 1200 nm, exceto na região do pico, inferior a  $10^{-5}$  da transmissão no pico. Estes filtros determinam, cada um, uma certa faixa de comprimento de onda. A determinação exata das características de cada filtro deve ser feita em laboratório, como parte do processo de calibração do fotômetro. A roda dos

filtros contém ainda um obturador para a medida do ruído térmico do sistema de aquisição. Detalhes da roda dos filtros pode ser visto na Figura 4. Um circuito eletrônico e um sistema mecânico associado à roda dos filtros faz o posicionamento do filtro no caminho óptico do fotômetro. Um outro mecanismo permite que este filtro seja inclinado a partir de uma posição de referência até uma posição máxima, retomando depois para a posição inicial. No caminho óptico do fotômetro, entre o filtro e o tubo fotomultiplicador, são colocadas três lentes (modelo BICL BK-7 com diâmetro de 38 mm, polidas nos laboratórios da Fundação de Apoio à Física e à Química, São Carlos, SP) e um diafragma, os quais determinam o campo de visão. A abertura efetiva do sistema óptico é de 50 mm de diâmetro e o campo de visão envolve um ângulo total de 2 graus.

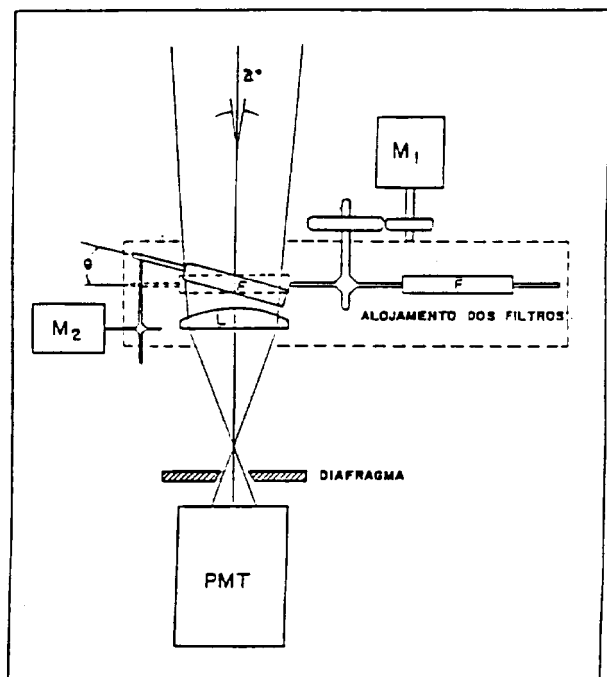


Figura 3. Esquema da unidade óptica do fotômetro.

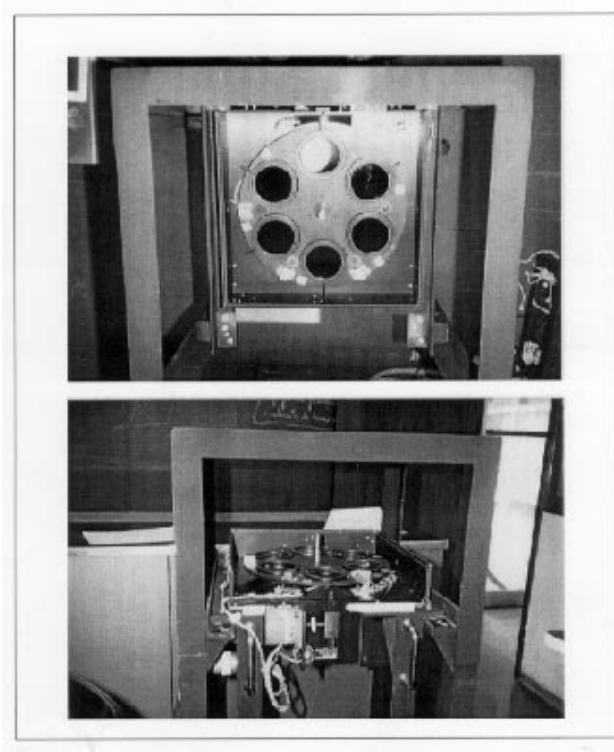


Figura 4. Detalhes da roda dos filtros.

Os cinco filtros de interferência óptica escolhidos permitem observações da aeroluminescência em regiões

do espectro onde estão as bandas OH(9-4), OH(8-3), OH(7-3), OH(6-2) e OH(5-1). Estes filtros, quando na posição de inclinação nula, são centrados nos comprimentos de onda: 776 nm, 728,5 nm, 883,5 nm, 835,3 nm e 792,1 nm, respectivamente. Quando um dos filtros é posicionado no eixo óptico do fotômetro, um motor de passo (M2 na Figura 3) faz com que o filtro incline, alterando o comprimento de onda selecionado. Como o sistema permite vários ângulos de inclinação em sequência temporal, podemos fazer uma varredura em comprimento de onda. Ao final desta varredura o sistema faz com que o disco gire, posicionando outro filtro.

Na Figura 5 é apresentada um diagrama simplificado do mecanismo de elevação de cada filtro. Quando na posição  $\theta = 0$ , o filtro permanece encostado em seu apoio. A medida em que um motor de passo gira, ele movimenta a haste que inclina o filtro. É possível parar este movimento em qualquer passo do motor permitindo que o filtro permaneça com uma determinada inclinação por um intervalo de tempo desejado. Ao final de cada varredura o motor gira em sentido contrário, descendo a haste e levando o filtro novamente para a posição  $\theta = 0$ . O motor de passo tem resolução de  $0,9^\circ$  o que possibilita 100 posições de inclinação para cada filtro, e projeta uma variação de  $\theta = 0$  à  $\theta = 20^\circ$ . Denominando estas posições por canais, cada filtro tem 100 canais disponíveis para leitura, cada um correspondendo a um comprimento de onda diferente. Uma determinação experimental da relação canal por comprimento de onda é feita durante o processo de calibração do fotômetro (discutido a frente).

Como variações na temperatura ambiente podem provocar deslocamento, em comprimento de onda, da curva de transmissão do filtro de interferência, os filtros do MULTIOH são mantidos em um alojamento com temperatura constante de  $28 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . A temperatura é controlada utilizando dois transistores de potência e um sensor (termistor). Os fótons selecionados pelo sistema óptico do fotômetro atingem o catodo do tubo fotomultiplicador gerando elétrons que, multiplicados pelos dinodos, dão origem a um pulso elétrico. Este pulso passa por um pré-amplificador/discriminador e é transformado em um pulso TTL, o qual é encaminhado a um sistema eletrônico de contagem.

O sistema para alojamento do tubo fotomultiplicador contém uma unidade de refrigeração, modelo FACT-50 da THORN EMI Electron Tubes, que permite que este tubo seja mantido a uma temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$ . Usamos um tubo fotomultiplicador com cátodo de GaAs, modelo R943-02, fornecido pela HAMAMATSU, com eficiência quântica média em torno de 10% entre 500 e 850 nm. Conectados a esta unidade estão os circuitos eletrônicos que controlam o equipamento, amplificando e registrando o sinal (pré-

amplificador/discriminador - modelo A-101 PAD fornecido pela TEKNIS - e divisor de voltagem) e uma fonte de alta tensão, modelo C30-700 HVPS, fornecida pela ELDEC Corporation, para alimentação do tubo fotomultiplicador. Uma vantagem deste sistema de detecção é permitir a substituição de qualquer um dos filtros para que uma outra região do espectro, do visível ao infravermelho próximo, possa ser observada (veja na Figura 1 as possibilidades).

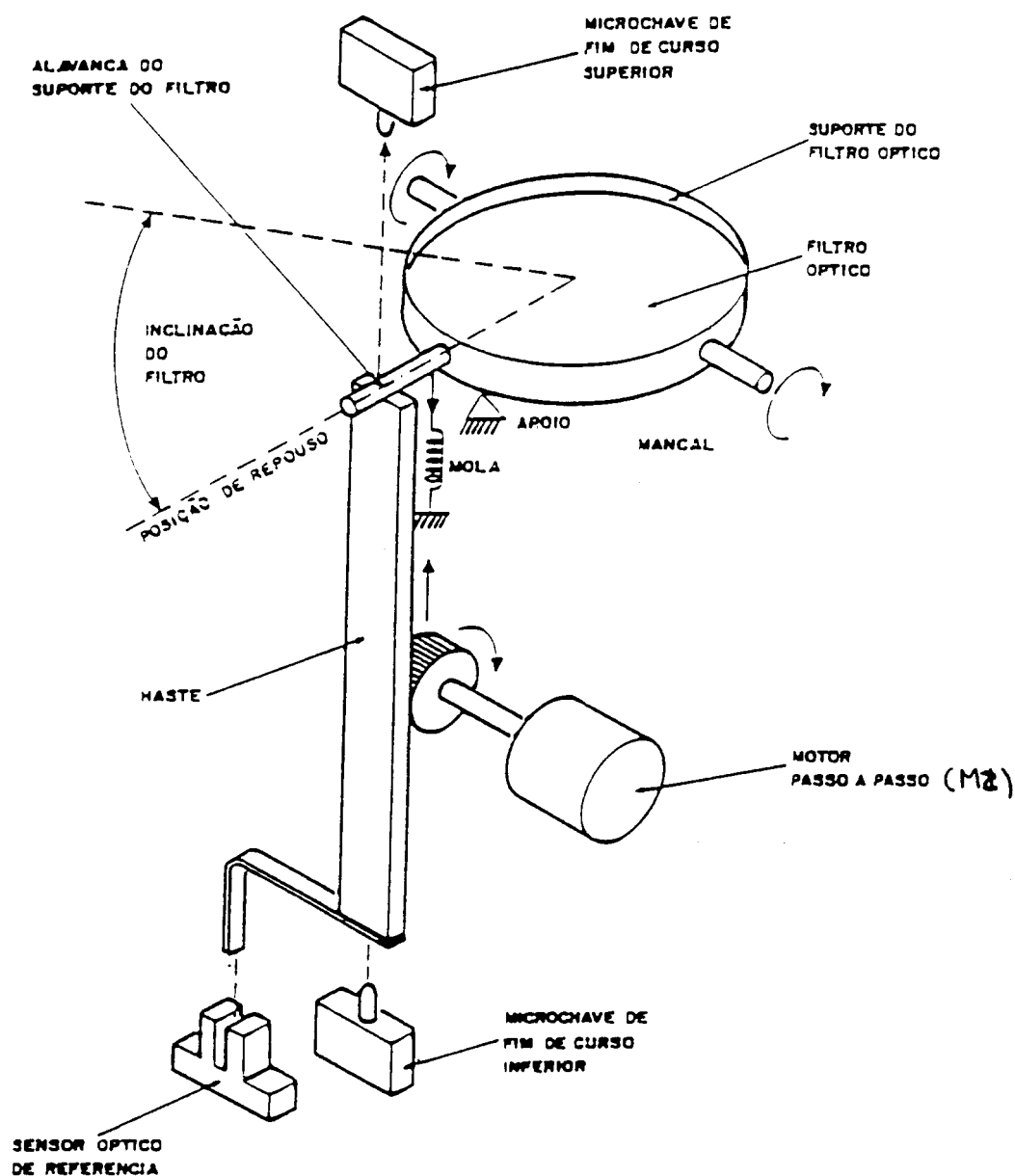


Figura 5. Diagrama do mecanismo de elevação de cada filtro.

## 2.2 - A Unidade de Controle e Aquisição dos Dados

Todo o funcionamento do MULTIOH é controlado por um micro-computador tipo IBM-PC (486 DX2). Em uma unidade auxiliar ficam os circuitos elétricos que controlam a operação do fotômetro, acionando o motor de passo (elevação dos filtros) e o motor Bosch (roda de filtros). A ligação entre estes circuitos e o micro-computador é feita através de comunicação serial, utilizando um microcontrolador 80C31.

## 3. Calibração

Em se tratando de moléculas, uma transição vibracional radiativa envolve um sistema de linhas rotacionais. Para obtermos a intensidade da emissão de uma banda vibracional,  $I$ , a partir do sinal registrado pelo fotômetro, devemos considerar qual fração da banda o filtro de interferência seleciona. A intensidade de cada linha rotacional,  $I_k$ , pode ser expressa pela fração espectroscópica  $i_k$  ( $\sum_k i_k = 1$ ) assumindo  $I_k = I i_k$ . Usando que

Para se ter uma idéia do porte do equipamento, mostramos na Figura 6 o MULTIOH conectado ao micro-computador, pronto para operação.

$$I_k = J/(S_\lambda t_\lambda) \quad (\text{Rayleighs}), \quad (2)$$

e, então

$$J = \sum_k S_{\lambda_0} t_k I_k. \quad (3)$$

e então

$$I = J/S_{\lambda_0}(\sum_k t_k i_k) \quad (\text{Rayleighs}), \quad (4)$$

onde  $J$  é o sinal medido pelo fotômetro,  $S_\lambda$ , é a sensibilidade absoluta do fotômetro no comprimento de onda  $\lambda$  e  $t_\lambda$ , representa a transmissão relativa do filtro. Os valores de  $i_k$  devem ser calculados teoricamente assumindo um valor para a temperatura rotacional.

Assim, para transformarmos o sinal medido em intensidades é necessário conhecermos as características espectrais dos filtros, em cada canal. Isto é feito através do processo de calibração do fotômetro. O processo de calibração do MULTIOH pode ser dividido em duas partes: a determinação das características espectrais de cada filtro, com a determinação do comprimento de onda medido e da transmitância em cada canal, e a determinação da sensibilidade absoluta, também em cada canal. Neste trabalho apresentamos apenas uma descrição da primeira parte do processo, com os resultados da calibração preliminar feita em São José dos Campos em outubro de 1996.

### 3.1 Determinação das Características Espectrais dos Filtros

A resposta do fotômetro à radiação quase monocromática de potência espectral  $\Phi_\lambda$  pode ser expressa como:

$$J_\lambda = C \eta_\lambda T_\lambda \Phi_\lambda \Delta_\lambda \quad (5)$$

onde  $C$  é um fator instrumental,  $\eta_\lambda$  é a eficiência do tubo fotomultiplicador,  $T_\lambda$  é a transmissão do filtro e  $\Delta_\lambda$  é a largura de banda da fonte de radiação.

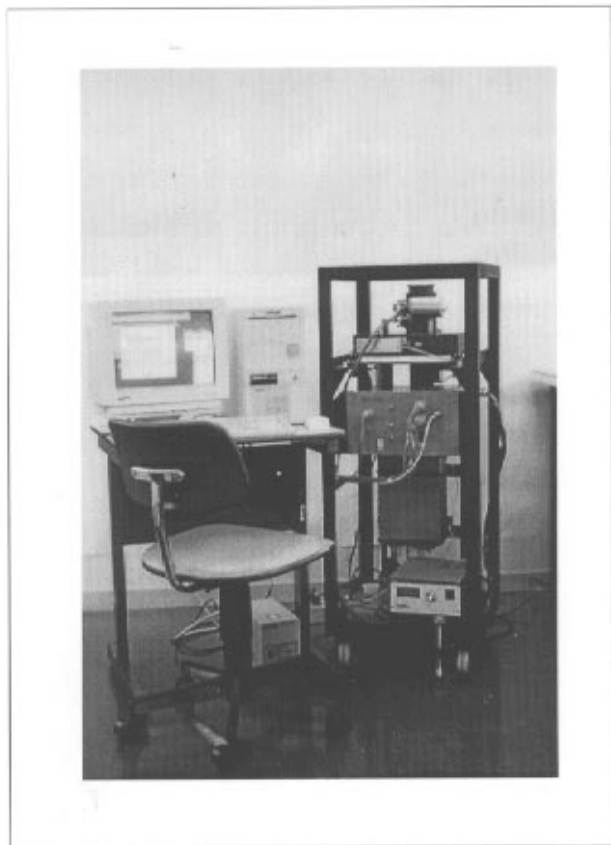


Figura 6. O fotômetro MULTIOH conectado ao micro-computador, pronto para operação.

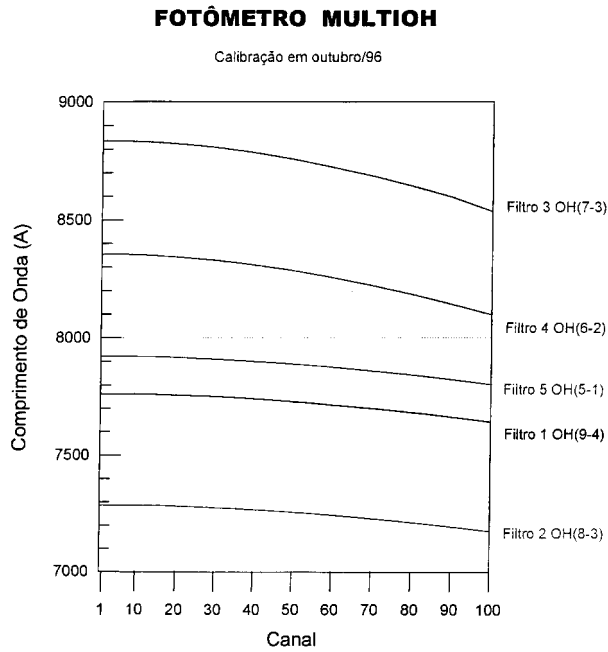


Figura 7. Curvas obtidas para a relação canal x comprimento de onda, para cada filtro.

Conforme descrito anteriormente, a inclinação do filtro de interferência faz com que o comprimento de onda selecionado varie, permitindo uma varredura espectral. O MULTIOH permite obter dados em 100 canais, para cada filtro. Para determinar as curvas de transmissão de cada filtro, em função do comprimento de onda, para cada canal, utilizamos um monocromador modelo HR64-0, fabricado pela Jobin-Yvon, com rede holográfica de 1200 linhas/mm, cuja resolução é de aproximadamente 0,03 nm. Assim, fazendo uma varredura em torno do comprimento de onda central do filtro, em cada canal, determinamos uma função  $T_\lambda d\lambda$ . Tomando  $T_{\lambda_0}$  como o valor de  $T_\lambda$  no pico de transmissão, podemos expressar  $T_\lambda$  em toda região analisada como:

$$T_\lambda = T_{\lambda_0} t_\lambda, \quad (6)$$

onde  $t_\lambda$  representa a transmissão relativa do filtro, sendo que em  $\lambda = \lambda_0$ ,  $t_\lambda = t_{\lambda_0} = 1$ . Desta forma determinamos também o comprimento de onda central de cada canal. Na Figura 7 apresentamos as curvas obtidas para a relação canal por comprimento de onda, para cada filtro. Nas Figuras de 8 a 12 apresentamos o espectro teórico e as curvas de transmissão obtidas para cada filtro. Para facilitar a visualização, apresentamos apenas as curvas obtidas nos canais 0, 10, 20,...

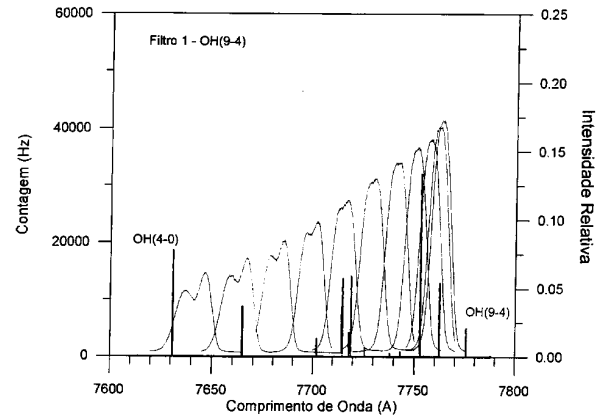


Figura 8. Curvas de transmissão do filtro para OH(9-4), obtidas a cada 10 canais. Sobrepostos estão os espectros calculados usando os valores de probabilidades de transição de Turnbull e Lowe (1986), para as bandas OH(4-0) e OH(9-4), para temperatura rotacional de 190K.

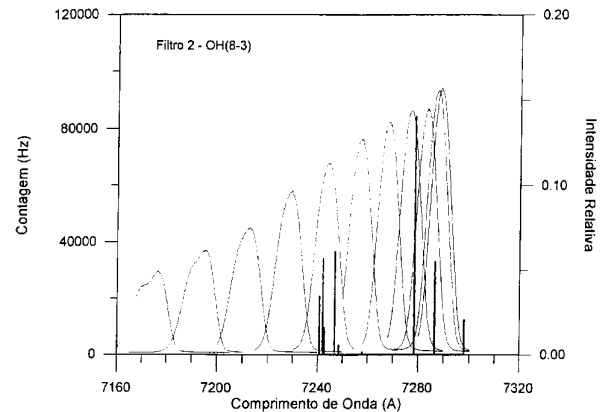


Figura 9. Curvas de transmissão do filtro para OH(8-3), obtidas a cada 10 canais. Sobreposto está o espectro calculado usando os valores de probabilidades de transição de Turnbull e Lowe (1986), para a banda OH(8-3), para temperatura rotacional de 190K.

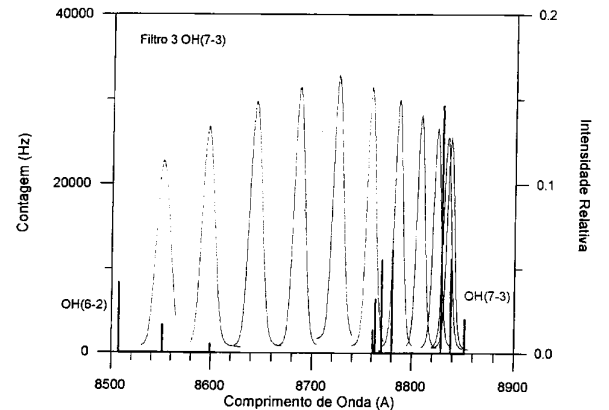


Figura 10. Curvas de transmissão do filtro para OH(7-3), obtidas a cada 10 canais. Sobrepostos estão os espectros calculados usando os valores de probabilidades de transição de Turnbull e Lowe (1986), para as bandas OH(6-2) e OH(7-3), para temperatura rotacional de 190K.



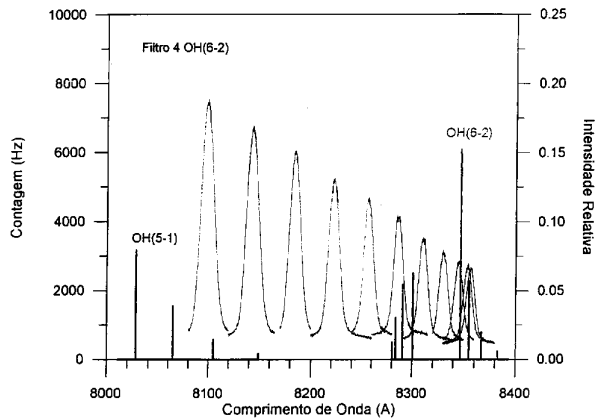


Figura 11. Curvas de transmissão do filtro para OH(6-2), obtidas a cada 10 canais. Sobrepostos estão os espectros calculados usando os valores de probabilidades de transição de Turnbull e Lowe (1986), para as bandas OH(5-1) e OH(6-2), para temperatura rotacional de 190K.

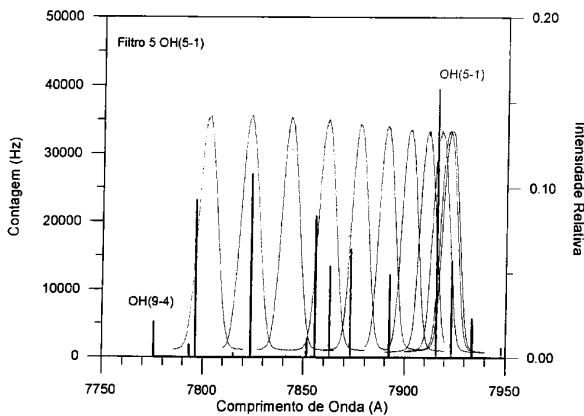


Figura 12. Curvas de transmissão do filtro para OH(5-1), obtidas a cada 10 canais. Sobrepostos estão os espectros calculados usando os valores de probabilidades de transição de Turnbull e Lowe (1986), para as bandas OH(9-4) e OH(5-1), para temperatura rotacional de 190K.

### 3.2 Determinação da Sensibilidade Absoluta

Em termos da sensibilidade do fotômetro,  $S_\lambda$  a resposta a uma fonte luminosa de radiância BA pode ser escrita como:

$$J_\lambda = S_\lambda B_\lambda \Delta_\lambda . \quad (7)$$

Aqui estamos assumindo que a potência espectral,  $\Phi_\lambda$ , pode ser expressa como:

$$\Phi_\lambda = C_1 \Omega B_\lambda \quad (8)$$

e que a sensibilidade absoluta, em cada comprimento de onda, pode ser expressa por:

$$S_\lambda = C' \Omega \eta_\lambda T_\lambda , \quad (9)$$

onde  $\Omega$  é o ângulo sólido referente ao campo de visão do fotômetro.  $C_1$  e  $C'$  são constantes instrumentais. Considerando  $B_\lambda$  constante na região de transmissão do filtro, usando a expressão (4) e assumindo  $S_{\lambda_0} = C' \Omega \eta_{\lambda_0} T_{\lambda_0}$ , também constante nessa região, a expressão (5) pode ser escrita como:

$$J = B_{\lambda_0} S_{\lambda_0} \int_{\lambda_0} t_\lambda d\lambda . \quad (8)$$

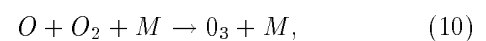
Definindo  $\int_{\lambda_0}$  como a largura efetiva do filtro,  $\Delta\lambda_{ef}$ , sinal registrado pelo fotômetro fica dado por:

$$J = B_{\lambda_0} S_{\lambda_0} \Delta\lambda - [ef] . \quad (9)$$

Desta forma, empregando uma lâmpada padrão com radiância conhecida, podemos determinar o valor de SA0 para cada filtro, em cada posição de inclinação. O experimento rotineiramente utilizado em nosso laboratório para determinação da sensibilidade absoluta é baseado na proposição de Yano e Kiyama (1975), e emprega uma lâmpada padrão ES-8315 e dois difusores de MgO cuja reflectância é tomada pelo valor constante de 0,98 (Kulkarni e Sanders, 1964). Os difusores são necessários para atenuar o sinal da lâmpada e simular uma fonte difusa, como ocorre na atmosfera. Esta calibração absoluta do MULTIOH deve ser feita a cada 6 meses para garantir a qualidade dos dados a serem obtidos com o equipamento.

### 4. Discussão e Conclusões

Conforme dito anteriormente e ilustrado na Figura 1, o espectro da aeroluminescência terrestre noturna, na região do infravermelho próximo é dominado pelas bandas vibracionais do OH(X2II). Estas emissões vem de camadas estreitas, com largura típica de aproximadamente 7 km, com pico de máximo normalmente em 87 km de altura (Melo et al, 1997; Lowe et al, 1996). As intensidades, variáveis dependendo de parâmetros geofísicos e da atividade dinâmica da atmosfera, são tipicamente da ordem de 1000 Rayleighs para a banda OH(6-2), a mais intensa nessa região, e 190 Rayleighs para a banda OH(7-2), uma das mais fracas nessa região (Takahashi e Batista, 1981). Como a excitação destas bandas é atribuída à reação de redução do ozônio (1), e a formação de ozônio entre 85 e 90 km de altura se deve basicamente à recombinação de oxigênio atômico:



medidas da intensidade integrada das bandas de Meinel do OH, feitas com instrumentos baseados em solo, têm sido proposta como uma técnica conveniente para o monitoramento da concentração de oxigênio atômico na alta mesosfera (McDade e Llewellyn, 1988). Dispondo de medida simultânea de mais de uma linha rotacional de cada banda vibracional, podemos também, conforme descrito anteriormente, inferir temperatura atmosférica na alta mesosfera e explorar aspectos relacionado a altura das camadas emissoras.

Desenvolvemos no INPE o fotômetro MULTIOH para medir 05 diferentes bandas do OH presentes na aeroluminescência terrestre noturna. Na Figura 13 apresentamos um espectro, em contagem por canal, obtido com o MULTIOH durante a noite de 11 de outubro de 1996, em São José dos Campos (23° S, 46° O). Este espectro deve ser corrigido pelos dados de uma calibração absoluta, ainda não disponíveis. No entanto, a presença de estruturas referentes a linhas rotacionais selecionadas por cada filtro pode ser vista, ilustrando assim o potencial do equipamento construído. O MULTIOH, após a finalização do processo de calibração, deve entrar em operação rotineira no observatório de Cachoeira Paulista, onde, entre outros equipamentos ópticos, opera um fotômetro multicanal de filtro inclinável para medir intensidade integrada das linhas OI557.7, OI630, NaD (589 nm) e das bandas O<sub>2</sub>A(0-1) e OH(6-2). Assim, em uma etapa de validação do equipamento, poderemos comparar os dados de intensidade da banda OH(6-2) obtidos com os dois fotômetros. Daí então teremos um conjunto de medidas que permitirá explorar diferentes aspectos aeronômicos.

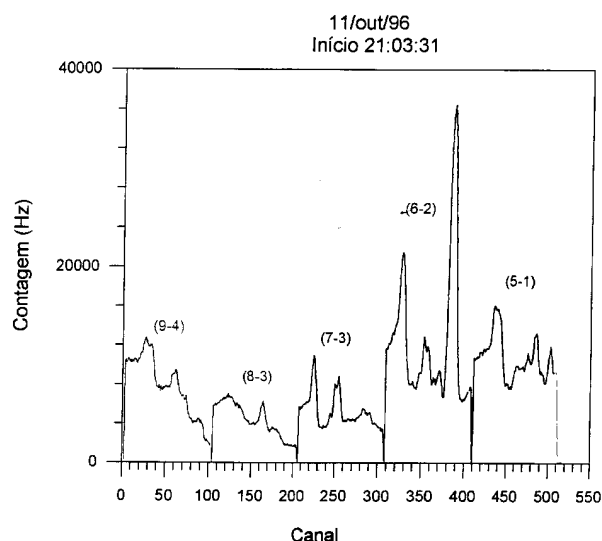


Figura 13. Espectro, em contagens por canal, obtido na noite de 11 de outubro de 1996, em São José dos Campos.

O programa de redução dos dados do MULTIOH está agora em fase de desenvolvimento. Como o fotômetro opera obtendo espectro do céu noturno, a redução dos dados envolve o cálculo do espectro sintético o ajuste deste espectro teórico ao espectro medido, o parâmetro de ajuste sendo a temperatura rotacional. A principal fonte de erro neste processo vem da calibração do fotômetro: a precisão dos resultados depende da precisão com que conhecemos as características dos filtros. Para garantir a confiabilidade dos dados de calibração, a sensibilidade absoluta do fotômetro em cada canal é verificada no início de cada noite de observação, usando uma fonte padrão construída em nosso laboratório.

Com a construção do MULTIOH, nosso objetivo foi desenvolver um equipamento de fácil transporte, operação e manutenção, que pudesse também ser usado como apoio em nossas campanhas de lançamento de foguetes com carga útil científica. Para atingir este objetivo implementamos modificações que melhoram os aspectos mecânicos e eletrônicos e também a parte de controle do equipamento. Em particular:

- O fato de isolar as partes óptica e de circuitos elétricos possibilita o manuseio de uma das partes sem afetar a outra. Isto facilita o processo de calibração do fotômetro pois permite colocar apenas a parte óptica na bancada. Reparos e manutenção na parte elétrica podem ser feitos sem necessidade de desmontar a parte óptica.
- O fato de adotarmos comunicação serial entre o micro-computador e o fotômetro introduziu dificuldades a nível de programação. Por outro lado, a comunicação serial facilita o desenvolvimento de sistemas de aquisição de dados sem a necessidade de colocação de placas internas nos micro-computadores. Assim, a substituição do micro-computador, seja por defeitos ou seja por atualização do sistema, fica facilitada. Este aspecto é particularmente importante no desenvolvimento de instrumentos que serão transportados com frequência para operarem em diferentes observatórios.

## Agradecimentos

Durante este trabalho foi necessário o empenho de várias pessoas. Agradecemos a colaboração do técnico

Juarez de Siqueira pelo importante papel desempenhado durante o desenvolvimento da parte mecânica do rack, dos engenheiros Nelson R. Teixeira pelo apoio na parte de programação, e Agnaldo Eras pelas discussões durante o processo de desenvolvimento dos circuitos. Agradecemos à FAPESP pelo apoio financeiro através do processo 95/0977-4. Uma das autoras (S.M.L.M.) agradece ao CNPq pela bolsa de Recém-Doutor processo 300609/94-9.

## References

- [1] Bates, D. R. e Nicolet, M., *J. Geophys. Res.*, **55**, 301 (1950).
- [2] Johnston, J. E. e Broadfoot, A. L., *J. Geophys. Res.*, **98**, 21,593-21,603 (1993).
- [3] Kaye, J. A., *J. Geophys. Res.*, **93**, 285 (1988).
- [4] Kulkarni, P. V.; Sanders, C. L. *Planet. Space Sci.*, **12**, 189 (1964).
- [5] Llewellyn, E. J.; Long, B. H. e Solheim, B. H., *Planet. Space Sci.*, **26**, 525 (1978).
- [6] López-González, M. J.; López-Moreno, J. e Rodrigo, R.. *Planet. Space Sci.*, **40**, 929 (1992).
- [7] Lowe, R. P.; LeBlanc, L. M.; Gilbert, K. L., *J. Atmos. Terr. Phys.*, **58**, 1863 (1996).
- [8] Makhlof, U. B.; Picard, R. H. e Winick, J. R., *J. Geophys. Res.*, **100**, 11,289-11,311 (1995).
- [9] McDade, I. C. e Llewellyn, E. J., *Planet. Space Sci.*, **37**, 897 (1988).
- [10] McDade, I. C. e Llewellyn, E. J., *J. Geophys. Res.*, **92**, 7643 (1987).
- [11] Meinel, A. B., *Astrophys. J.*, **111**, 555 (1950).
- [12] Melo, S. M. L.; Takahashi, H.; Clemesha, B. R. e Simonich, D. M., *J. Atmos. Terr. Phys.* **59**, 479 (1997).
- [13] Philbrick, C. R.; Barnett, J.; Gerndt, R.; Offermarm, D.; Pendleton, W. R.; Schlyter, P.; Schmidlin, J. F.; Witt, G. *Adv. Space Res.*, **4**, 153 (1984).
- [14] Sivjee, G. G., *Planet. Space Sci.*, **40**, 235 (1992).
- [15] Streit, G. E. e Johnston, H. S., *J. Chem. Phys.*, **64**, 95 (1976).
- [16] Takahashi, H.; Gobbi, D.; Batista, P. P.; Melo, S. M. L.; Teixeira, N. R. e Buriti, R. A., *J. Atmos. Terr. Phys.*, In press., 1997.
- [17] Takahashi, H. e Batista, P. P., *J. Geophys. Res.*, **86**, 5632 (1981).
- [18] Thomas, R. J., *J. Geophys. Res.*, **95**, 16,457-16,476 (1990).
- [19] Turnbull, D. N. e Lowe, R. P., *Planet. Space Sci* **37**, 723 (1986).
- [20] Yano, K. e Kiyama, Y. *Nightglow photometer calibration - I - A low brightness standard.*, NAGO, 1975.