

# CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO SEGUIDOR SOLAR PARA UM ESPECTRO-RADIÔMETRO

Victor Mancir da Silva Santana – [vmancirss@hotmail.com](mailto:vmancirss@hotmail.com)

Denis Gilbert Francis David – [denisgfd@ufba.br](mailto:denisgfd@ufba.br)

Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física

## 4.1 Construção e Calibração de Sensores

**Resumo.** Na IICBENS, apresentamos um espectro-radiômetro funcionando na faixa do visível até  $1,6 \mu\text{m}$ . Os primeiros testes mostraram que é indispensável ter um dispositivo seguidor do movimento aparente de Sol. O foco desse trabalho é descrever o dispositivo desenvolvido e apresentar os testes do espectro-radiômetro com esse dispositivo. Ele consiste em um tubo termidado com um espelho orientável. O movimento de rotação do tubo em torno de seu eixo permite realizar a varredura diurna, enquanto a inclinação do espelho permite compensar a variação angular sazonal. Os dois eixos de rotação, acionados por motores de passo, são controlados pelo mesmo computador que realiza a aquisição dos espectros. As dificuldades encontradas serão discutidas.

**Palavras-chave:** Espectroscopia, Radiometria, Instrumentação.

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho é a continuação do que foi desenvolvido anteriormente que consiste na utilização em campo de um espectro-radiômetro construído em laboratório. Nesta etapa, realizamos medidas do espectro da radiação solar no terraço do Instituto de Física da UFBA.

O espectro-radiômetro utilizado cobre uma faixa de sensibilidade de  $0,4$  a  $1,5 \mu\text{m}$  conforme foi mostrado nos testes em laboratório. No artigo anterior relativo a este trabalho foi feita a descrição detalhada do espectro-radiômetro em seus aspectos mecânicos, ópticos e eletrônicos.

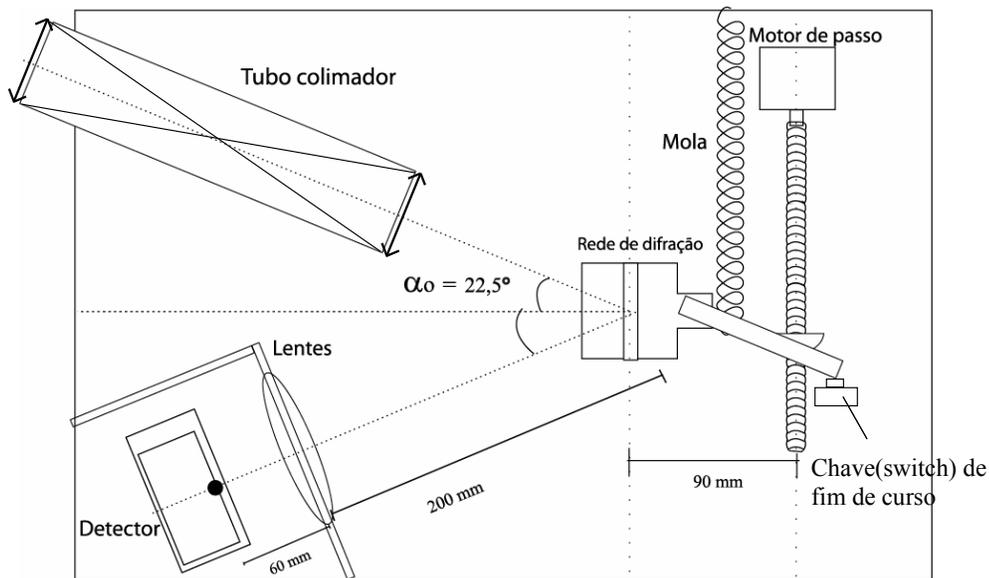


Figura 1- Espectro-radiômetro desenvolvido

No tubo colimador temos duas lentes em suas extremidades e um diafragma para garantir a precisão angular do feixe de luz. A luz que atravessa o tubo incide sobre a rede de difração que a separa em suas componentes espectrais refletindo-as para um par de lentes que colima a luz para o detector. Para selecionar o comprimento de onda, a rede gira sob a ação de um parafuso girado por um motor de passo que age sobre o braço metálico da base da rede.

A luz gera uma tensão no fotodetector que é amplificada antes de chegar a um ADC (conversor analógico-digital) que transforma a tensão em um sinal digital que é exibido na tela de um PC na forma de um gráfico.

Tanto o controle da posição da rede quanto à programação e aquisição de dados pelo ADC é feita via interface de comunicação pela porta paralela do PC. Como foi apontado no trabalho anterior (David e Santana, 2008) foi instalado um ADC de maior resolução em relação ao anterior utilizado (8 bits), o que melhorou a dinâmica de detecção.

Pelo fato da radiação indireta da luz solar não ter intensidade suficiente para ser medida pelo espectro-radiômetro, desenvolvemos um dispositivo mecânico de orientação de um espelho a fim de dirigi-lo para a direção de incidência da luz solar direta.

## 2. ESPECIFICAÇÕES DO DISPOSITIVO MECÂNICO DE ORIENTAÇÃO

### 2.1. Determinação dos ângulos solares

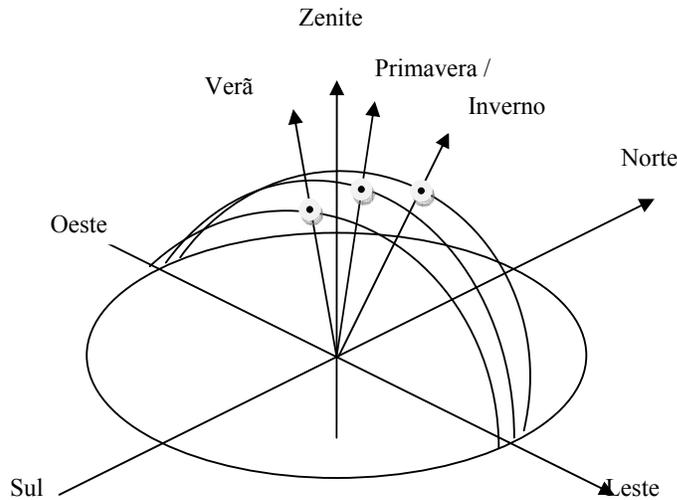


Figura 2- Posições relativas do Sol ao longo do ano

O movimento aparente do Sol (Fig. 2) pode ser descrito por dois ângulos:

(1) o ângulo que faz o plano da órbita da Terra em torno do Sol com o plano tangente ao geóide terrestre na latitude considerada.

(2) o ângulo horário ou hora solar aparente (HSA).

O primeiro ângulo é simplesmente igual a  $L - \delta$ , onde  $L$  é a latitude e  $\delta$  é a declinação dada, em graus, por:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[ 360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right] \quad (1)$$

onde  $n$  é o número do dia no calendário romano. No caso de Salvador, a latitude é  $L = 12^\circ 59' 56.58''$  S.

O segundo ângulo, ou hora solar aparente, é dado, em minutos, pela relação:

$$\text{HSA} = \text{HLP} - \text{HV} + 4 \cdot (\text{LP} - \text{LL}) + \text{ET} \quad (2)$$

onde HLP é a hora padrão (no caso do Brasil, hora de Brasília), HV é a mudança de hora no verão (no caso da Bahia, HV = 0), LP é a longitude padrão (Brasília:  $47^\circ 55' 47''$  O), LL é a longitude local (Instituto de Física em Salvador:  $38^\circ 30' 28,59''$  O) e enfim ET é a correção que deve ser aplicada à hora padrão, devido ao fato de que a velocidade da Terra na sua órbita variar ao longo do ano. As longitudes são multiplicadas por 4, porque elas são expressas em graus (1 grau = 4 minutos).

A correção ET é dada, em minutos, pela equação do tempo (Kalogirou, 2009):

$$\text{ET} = 9,87 \cdot \text{sen}(b) - 7,53 \cdot \text{cos}(b) - 1,5 \cdot \text{sen}(b) \quad (3)$$

onde  $b$ , em graus, é dado pela relação:  $b = 360 \cdot \frac{n-81}{365}$  e  $n$  é o número do dia no calendário romano.

## 2.2. Ajuste dos ângulos do tubo e do espelho

O dispositivo de orientação do espelho é composto de um tubo cilíndrico que pode ser girado em torno de seu eixo de simetria e de um espelho na extremidade do tubo cujo eixo óptico, solidário do tubo, é perpendicular ao eixo de simetria do tubo (Fig. 3). Este tubo está dentro de um plano horizontal, seu eixo de simetria orientado para o Norte.

Orientamos o eixo do tubo na direção norte-sul, de modo que ele é tangente para a superfície terrestre e seu ângulo em relação ao eixo da Terra é a latitude local  $L$ . O movimento do espelho é então controlado através dos dois ângulos  $\alpha$  (rotação do tubo) e  $\beta$  (orientação do espelho).

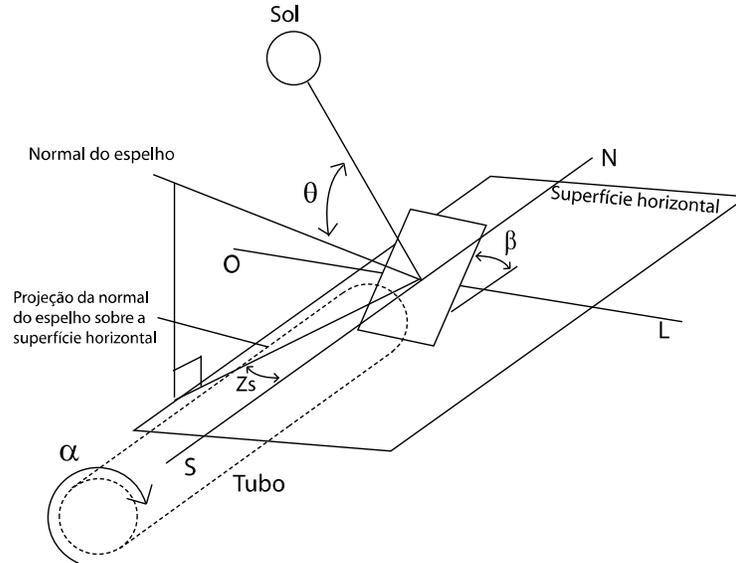


Figura 3- Esquema de posicionamento do dispositivo

### (i) Direção do Sol relativa à normal ao espelho

Escrevemos a posição do Sol em termos do ângulo de incidência  $\theta$  que é o ângulo formado entre os raios solares e a normal do espelho. A expressão para  $\theta$  está dada em função dos ângulos básicos mostrados na figura 3, a declinação da Terra  $\delta$ , a latitude do lugar  $L$  e a hora angular  $h$  (Duffie and Beckman, 1974):

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \text{sen}(L) \text{sen}(\delta) \cos(\beta) - \cos(L) \text{sen}(\delta) \cos(Z_s) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h_s) \cos(\beta) \\ & + \text{sen}(L) \cos(\delta) \text{sen}(\beta) \cos(Z_s) + \cos(\delta) \text{sen}(h_s) \text{sen}(\beta) \text{sen}(Z_s) \end{aligned} \quad (4)$$

onde:

- $h_s$  é a hora solar expressa em graus e que vale 0 quando o Sol alcança o ponto mais alto de seu curso:  $h_s = \text{HSA} / 4$ , HSA sendo expresso em minutos.
- $\beta$  é o ângulo de desvio do espelho com relação a horizontal, no caso, o eixo do tubo.
- $Z_s$  é o ângulo entre a projeção da normal do espelho na superfície e a direção Sul.

### (ii) Ângulos de ajuste do dispositivo

(a) Determinação de  $\alpha$ , o ângulo do tubo:

Na configuração adotada, como  $Z_s = 0$ , o ângulo  $\alpha$  do tubo é escolhido igual ao ângulo horário solar aparente:

$$\alpha = h_s \quad (5)$$

A equação (5) é a expressão fundamental que descreve o movimento de rotação do tubo.

(b) Determinação de  $\beta$ , o ângulo do espelho:

Na configuração adotada,  $Z_s$  é igual a zero e a equação (4) torna-se:

$$\cos(\theta) = \sin(L - \beta)\sin(\delta) + \cos(L - \beta)\cos(\delta)\cos(h_s) \quad (6)$$

Para captarmos a luz solar externa para dentro do tubo pelo espelho, o ângulo que a normal do espelho faz com o tubo deve ser igual ao ângulo de incidência do Sol (entre a normal do espelho e os raios solares), isto é:

$$\beta = \theta \quad (7)$$

Seja, depois de algumas contas:

$$\text{tg}(\beta) = \frac{1 - [\sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)]}{\cos(h)\sin(L)\cos(\delta) - \cos(L)\sin(\delta)} \quad (8)$$

A equação (8) é a expressão fundamental que descreve o movimento norte-sul do espelho.

### 3. ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO

O mecanismo desenvolvido para a orientação do espelho é constituído de um tubo que possui um espelho instalado em uma de suas extremidades. O tubo está acoplado a um motor de passo por meio de uma correia de borracha e o espelho a um segundo motor de passo através de uma demultiplicação de engrenagens, conforme mostra a figura 4.

Para obter a direção do Sol, temos dois eixos de rotação: (1) em relação ao próprio eixo do tubo para que possamos acompanhar a trajetória diária leste-oeste; (2) em relação a um eixo que atravessa a metade do espelho (perpendicular ao primeiro eixo) a fim de acompanharmos o deslocamento norte-sul do Sol ao longo do ano e do dia (ver fórmula (6)).

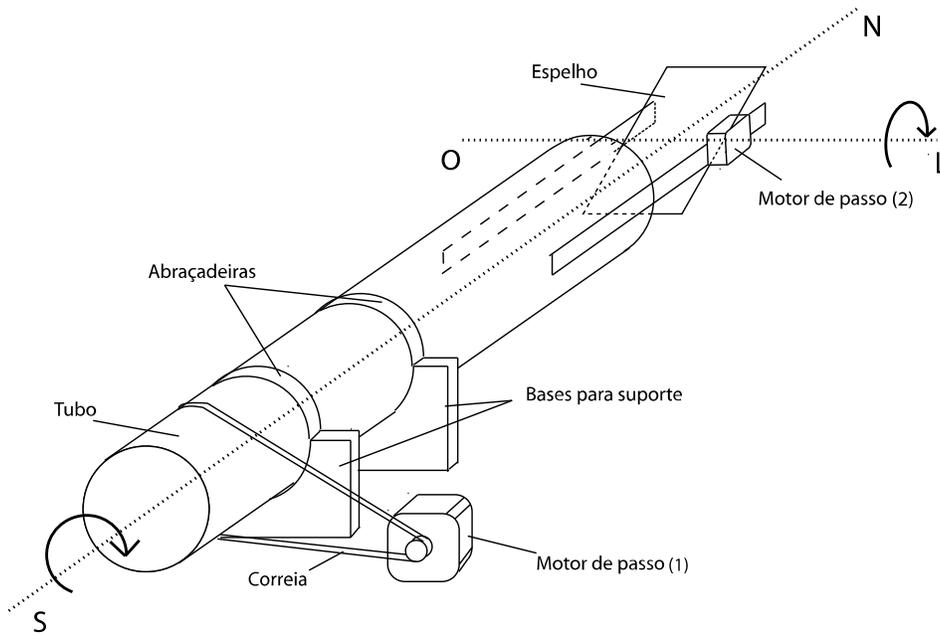


Figura 4- Desenho do tubo dispositivo mecânico de orientação do espelho

#### 3.1. Descrição do esquema elétrico

No desenvolvimento deste mecanismo de orientação do espelho, a eletrônica é responsável por efetuar o controle da orientação do tubo por meio do motor de passo. Os dados do motor de passo são mostrados na tabela 1:

Tabela 1- Dados dos motores de passo

Função	Tipo de motor	Tensão de operação	Corrente de operação	Número de passos por giro
Motor de controle de eixo do tubo	Indutivo bipolar	9V	1A	100
Motor de controle do eixo do espelho	Indutivo quadripolar	12V	500mA	200

Conforme a seguir os padrões de operação destes motores foram elaborados os circuitos elétricos mostrados na figura 5:

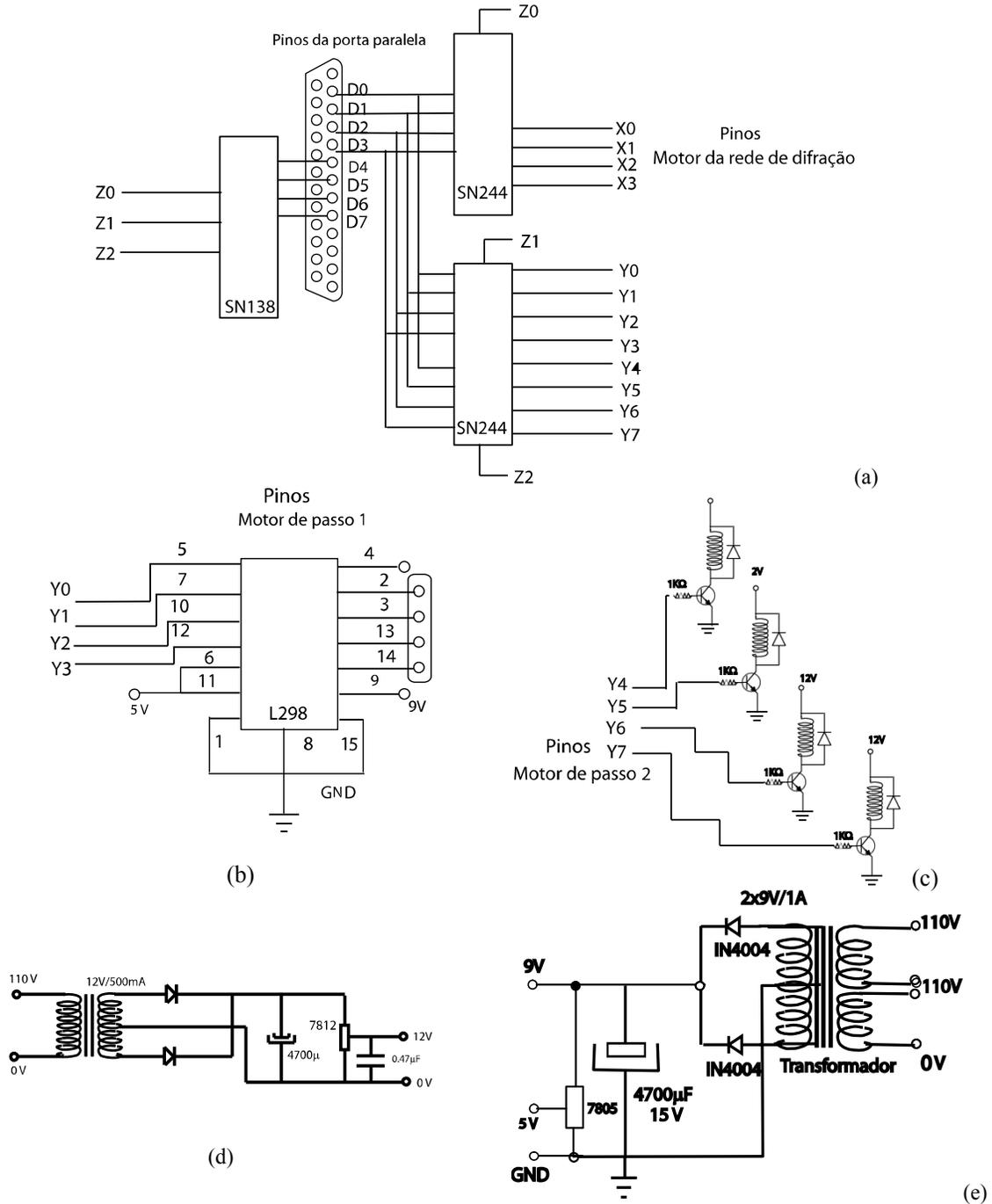


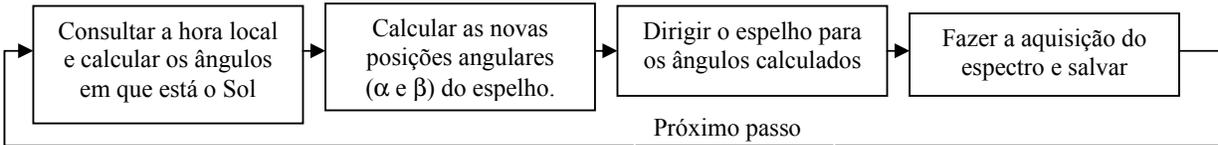
Figura 5 - Esquema elétrico do dispositivo mecânico - (a) circuito com buffers para a seleção dos motores, (b) circuito de controle do motor de passo 1, (c) circuito de controle do motor de passo 2, (d) fonte de tensão 12 V para motor 1, e (e) fonte de tensão para motor 2.

Como pode ser visto na figura 5, tanto a interface de controle do motor de passo de giração do tubo quanto do motor do espelho é feita via porta paralela utilizando-se os bits de dados. Para a rotação do eixo deste motor de passo bipolar, o circuito integrado L298 (que é mostrado na figura 5b) realiza a inversão do sentido da corrente nas bobinas nos tempos do ciclo de operação. Um botão de final de curso (switch) é inserido no suporte para que possa sinalizar que o ângulo de orientação do espelho encontra-se em  $\alpha_0$  (posição inicial do tubo). Idem para eixo do espelho para determinar  $\beta_0$ .

Devido ao fato de utilizarmos três motores no sistema (monocromador, tubo e espelho) com um mesmo endereço de dados da porta paralela, fazemos uma alternância do controle dos motores utilizando um buffer (SN138) para que possamos acionar o estado de cada um deles por meio de uma seleção: (Z1) motor da rede de difração; (Z2) motor do tubo; e (Z3) do motor de passo do espelho.

### 3.2. Descrição da programação de controle

A programação de controle consiste na seqüência de instruções que são interpretadas e executadas pela máquina (PC) para que possamos realizar o funcionamento do dispositivo. O programa desenvolvido cumpre a seguinte rotina:



#### 3.2.1. Estrutura geral do programa de aquisição

O programa geral de funcionamento do sistema (dispositivo de orientação e espectro-radiômetro) é formado uma janela principal com os seguintes comandos:

- Posicionamento Leste-Oeste (L-O)
- Posicionamento Norte-Sul (N-S)
- Fazer Aquisição
- Ajuste da Posição
- Zerar Posição
- Sair

##### (a) Posicionamento L-O

Este comando faz a regulação da posição angular do tubo para orientar o espelho em relação à trajetória aparente do Sol ao longo da direção leste-oeste. O seu papel é:

- Consultar a hora local e a posição atual do tubo
- Calcular a posição angular a  $\alpha$  (utilizando a eq.(2)) em que está o Sol
- Calcular o número de passos necessários para chegar a  $\alpha$
- Buscar a posição calculada

##### (b) Posicionamento N-S

Este comando executa o ajuste da posição angular do espelho na trajetória aparente do Sol ao longo da direção norte-sul. Sua função:

- Consultar a hora local e a posição do espelho
- Calcular a posição angular  $\beta$  (dada pela eq.(6)) do Sol
- Calcular o número de passos necessários para chegar à posição  $\beta$
- Buscar a posição calculada

##### (c) Fazer Aquisição

Este comando inicia a varredura da rede de difração. O espectro é mostrado na janela em uma tela na forma de um gráfico que mostra o sinal em função do comprimento de onda. Também é exibido o passo de varredura da rede.

Ao ser acionado este comando converte-se em PAUSAR para que um operador possa interromper a aquisição se desejar.

(d) Ajuste da posição

Este comando abre uma janela para o ajuste manual da posição ou do tubo, ou do espelho ou da rede de difração do espectro-radiômetro. Nesta janela existem as três opções para o ajuste. Com uma das opções escolhidas são habilitados os comandos: (i) “+” (avançar) e “-” (recuar) para executar o ajuste e (ii) Zerar Posição. O botão “+” gera um passo de avanço da posição a cada clique e o botão “-” gera um passo de recuo da posição. No caso da rede de difração, o ajuste permite um posicionamento manual do comprimento de onda que está incidindo sobre o detector, e como o sinal medido para este ângulo é exibido na tela é possível fazer uma regulagem do ganho do sinal, compensação do off-set ou uma leitura pontual.

O comando “Zerar Posição” tem utilidade de fazer um dos mecanismos retornar à posição zero, à escolha do operador. Com uma das opções selecionadas pode-se:

- Posicionar a rede de difração na ordem zero
- Posicionar o tubo no ângulo inicial  $\alpha_0$
- Posicionar o espelho na posição inicial  $\beta_0$ .

Quando esta operação está concluída é mostrada uma mensagem na tela que indica que se alcançou a posição zero.

(e) Sair

Para sair do programa.

Ao final do dia, o programa faz o sistema automaticamente o “reset” do sistema (dispositivo de orientação do espelho e o espectro-radiômetro) colocando o tubo, o espelho e a rede de difração nas suas correspondentes posições zero. Após isso ser executado, o programa desativa todos os motores de passo inserindo o valor zero nas bobinas (para que não continue consumindo corrente elétrica e sobreaqueça danificando o esquema elétrico). O sistema permanece neste estado até o dia seguinte quando, ao horário determinado no PC, retorna a configuração normal com a ativação dos motores e realiza a aquisição de medidas.

#### 4. CALIBRAÇÃO DO ESPECTRO-RADIÔMETRO

Com a finalidade de efetuar a calibração do espectro-radiômetro em termos da intensidade luminosa incidente em função do comprimento de onda, foram realizadas as medidas seguintes.

Como fonte de luz, foi utilizada uma lâmpada halógena com tensão de operação de 12 V e potência nominal de 55 W, combinada com uma lente de 7 cm de focal e 5 cm de diâmetro. A intensidade total da luz emitida pela lâmpada,  $I_{emitida}(T)$ , é escrita por:

$$I_{emitida}(T) = k \cdot \int_0^{\infty} \varepsilon(\lambda) \cdot I(T, \lambda) \cdot d\lambda \approx k' \cdot \int_0^{\infty} I(T, \lambda) \cdot d\lambda \quad (9)$$

onde  $I(T, \lambda)$  é a lei de emissão do corpo negro de Planck-Einstein dada pela eq. 10:

$$I(T, \lambda) = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} \quad (10)$$

$\varepsilon(\lambda)$  é a emissividade de filamento da lâmpada suposta constante sobre a faixa espectral de emissão da lâmpada,  $C_1$  e  $C_2$  são as constantes da lei de Planck-Einstein ( $C_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ W.m}^2$  e  $C_2 = 1,44 \cdot 10^4 \text{ }\mu\text{m.K}$ ) e  $k$  e  $k'$  são coeficientes de proporcionalidade levando em conta os fatores geométricos de fonte (distância focal e diâmetro da lente, basicamente). Como pode ser visto na eq. (9), a intensidade global emitida pela lâmpada depende somente de sua temperatura absoluta do filamento  $T = T_{fil}$ . Para medir-se  $T_{fil}$ , foi empregada a lei de variação de resistência  $R$  de um metal com a temperatura absoluta  $T$ , a dizer:

$$R(T) = a \cdot T \quad (11)$$

sendo  $a$  o coeficiente de variação da resistência com a temperatura. Numa primeira condição, à temperatura ambiente,  $T_{off} = (298 \pm 1) \text{ K}$ , a resistência do filamento é igual a  $R_{off} = (0,31 \pm 0,01) \text{ }\Omega$ . Na segunda condição, que é o acionamento da lâmpada em seu regime normal de operação, a resistência do filamento foi medida tendo um valor igual a  $R_{on} = (3,25 \pm 0,01) \text{ }\Omega$ . A partir da eq. (11), e relacionando as duas condições, podemos expressar a  $T_{on}$  como:

$$T_{on} = \frac{R_{on}}{R_{off}} \cdot T_{off} \quad (12)$$

Substituindo os correspondentes valores de  $R_{off}$ ,  $R_{on}$  e  $T_{off}$  na eq. 12, obtém-se um valor de temperatura do filamento  $T_{on} = T_{fil} = (3145 \pm 95)$  K, valor compatível com a temperatura indicada pelo fabricante (OSRAM) de 3200 K. A consequência dessa incerteza sobre a distribuição espectral da lâmpada é obtida a partir da derivação da expressão de  $I(T, \lambda)$  dada pela eq. 13:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{C_2 \cdot \Delta T}{\lambda \cdot T^2} \cdot \frac{1}{1 - e^{-\frac{C_2}{\lambda \cdot T}}} \quad (13)$$

Então a incerteza sobre a distribuição espectral varia, segunda a eq. 14, entre:

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{C_2 \cdot \Delta T}{\lambda \cdot T^2} \text{ para } 1 \gg \frac{C_2}{\lambda \cdot T} \text{ e } \frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta T}{T} \text{ para } 1 \ll \frac{C_2}{\lambda \cdot T} \quad (14)$$

Conseqüentemente, o erro sobre a distribuição espectral é menor que:  $\frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta T}{T} = 3\%$

Com um piranômetro (Modelo CMP 3, classe secundária) do fabricante Kipp & Zonen foi medida a intensidade total da luz emitida pela lâmpada. Entre a lâmpada e o piranômetro foi colocada uma lente biconvexa de modo que o filamento está posicionado no foco da lente, com a finalidade de produzir o paralelismo dos raios luminosos. A expressão do sinal do piranômetro  $S_{pir}$  é dada por:

$$S_{pir} = I_{emitida} \cdot \kappa \text{ (em volts)} \quad (15)$$

onde  $\kappa = 12,43 \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$  é o coeficiente de sensibilidade do piranômetro (indicado pelo fabricante). O valor de tensão  $S_{pir}$  medido no piranômetro situado a 1 m de distância da lâmpada foi igual a  $(1,4 \pm 0,05)$  mV. A razão entre a tensão medida no piranômetro pelo valor de sua sensibilidade resulta da eq.(15) em:

$$I_{emitida}(T) = \frac{(1,4 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}}{12,43 \cdot 10^{-6}} = (112,6 \pm 4,0) \text{ W}/\text{m}^2 \quad (16)$$

que é a intensidade emitida pela lâmpada. Em consequência disso, o coeficiente de proporcionalidade  $k'$  é (eq. 17):

$$k' = \frac{I_{emitida}}{\int_0^{\infty} I(3145, \lambda) \cdot d\lambda} = \frac{(112,6 \pm 4,0)}{4,975 \cdot 10^6} = (2,26 \pm 0,08) \cdot 10^5 \quad (17)$$

Conhecido o valor do coeficiente  $k'$ , pode-se medir a sensibilidade do espectro-radiômetro utilizando a lâmpada halógena. O sinal que é gerado no aparelho é expresso na eq. 18 por:

$$S(\lambda) = s(\lambda) \cdot k' \cdot I(3145, \lambda) \quad (18)$$

onde  $s(\lambda)$  é a função de sensibilidade do espectro-radiômetro, com as incertezas determinadas acima (3% sobre a intensidade total e 3% sobre a distribuição espectral). Obtendo-se o espectro da lâmpada halógena com o espectro-radiômetro, achamos a sua curva de sensibilidade, reproduzida na figura 6.

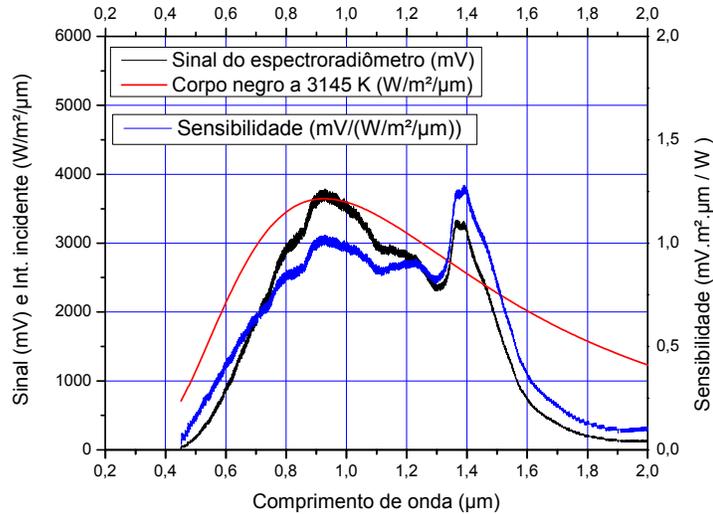


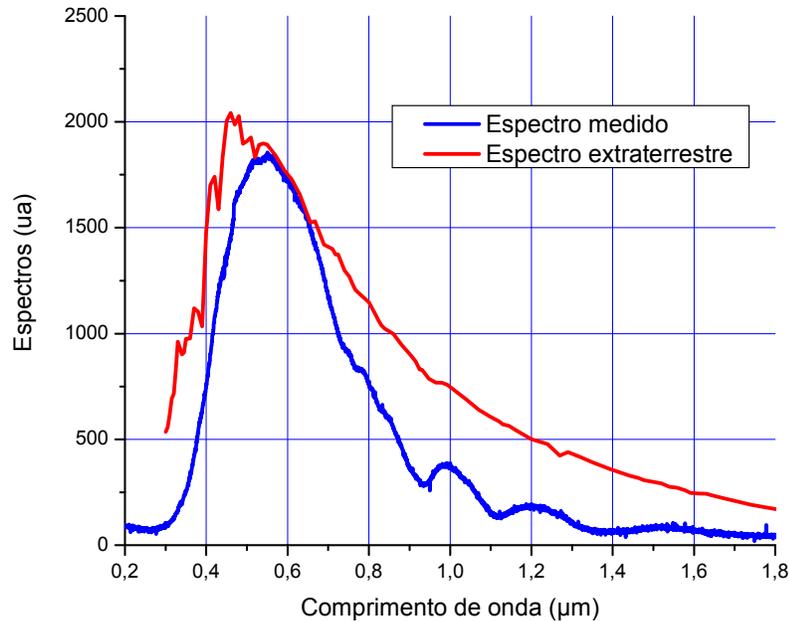
Figura 6 – Curva de sensibilidade do espectro-radiômetro.

## 5. RESULTADOS E CONCLUSÃO

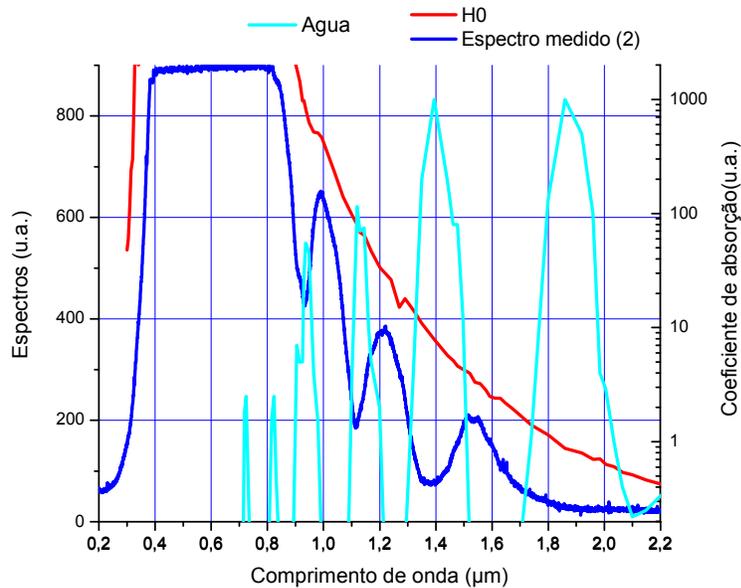
Com o sistema instalado do terraço do Instituto de Física da UFBA, foram feitas medidas do espectro solar. O espectro mostrado na fig.(6) foi obtido cerca de 40 minutos após chuva.

No espectro medido que é exibido no gráfico (b) da figura 7, o ganho do sinal luminoso foi amplificado e com isso podemos identificar as absorções da radiação solar pelo vapor de água da atmosfera que estão mais pronunciadas que no gráfico (a).

O vapor de água tem uma série de bandas de absorção na região do visível e do infravermelho próximo (Platz, 2008). Os coeficientes de absorção da radiação solar para o vapor de água mostradas no gráfico (b) da figura 6 foram obtidos pelo modelo espectral para irradiância solar direta e difusa de Bird e Riordan (1986). As absorções são correspondentes aos modos de vibração de molécula de água que estão em níveis excitados.



(a)



(b)

Figura 7 - (a) Comparação do espectro solar medido no solo com o espectro solar fora atmosfera  
(b) Comparação do espectro solar medido no solo (X2) com o espectro solar fora atmosfera e as bandas de absorção da água.

A molécula de água tem três modos de vibração que originam então três absorções distintas em seu espectro vibracional. Em escala crescente de energia esses modos equivalem a: (A)  $3.756 \text{ cm}^{-1}$  (estiramento simétrico), (B)  $3.652 \text{ cm}^{-1}$  (estiramento assimétrico) e (C)  $1.545 \text{ cm}^{-1}$  (deformação angular). (Herzberg. 1950). Por isso, as absorções da radiação luminosa para cada modo de vibração isolado encontram-se no infravermelho distante, a dizer, em comprimento de onda:  $6,5 \mu\text{m}$ ,  $2,75 \mu\text{m}$  e  $2,7 \mu\text{m}$  (respectivamente).

Considerando agora nesse tratamento a excitação combinada dos modos de vibração, podemos analisar os seguintes primeiros estados: primeiro nível dos modos (A) e (B) e com modo (C) não excitado que resulta em uma energia igual a  $7.408 \text{ cm}^{-1}$ ; os três modos excitados no primeiro nível que resultam numa energia  $8.953 \text{ cm}^{-1}$ ; e para a excitação para o segundo nível do modo (C) e os modos (A) e (B) no primeiro de energia igual a  $10.498 \text{ cm}^{-1}$ . Em termos de comprimento de onda essas energias correspondem a aproximadamente  $1,35 \mu\text{m}$ ,  $1,1 \mu\text{m}$  e  $0,95 \mu\text{m}$  (respectivamente), que podem ser vistas no gráfico (b) da figura 6. Para estados com maiores níveis de energia, as absorções se confundem pelo fato de serem próximas.

Este resultado é um reflexo da elevada umidade da cidade do Salvador decorrente de que, além de ser litorânea, sua forma peninsular a torna suscetível de receber as massas de vapor de água marítima de ambos os lados da cidade.

Com o dispositivo mecânico de orientação instalado, podemos realizar as medidas do espectro solar de modo autônomo, permitindo a realização de medições regulares do perfil espectral da radiação solar que chega à superfície da cidade do Salvador. Os primeiros testes mostraram sua eficiência. No entanto, será necessário melhorar o ajuste do ganho ao longo do dia para compensar as variações da intensidade solar que são inevitáveis. Esse ganho poderá ser ajustado seja no pré-amplificador do sensor ou ainda através de um diafragma colocado defronte ao sensor.

## AGRADECIMENTOS

Esse trabalho teve o auxílio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS

- Bird, R. E., and Riordan, C., 1986. Simple solar spectral model for direct and diffuse irradiance on horizontal and tilted planes at the earth's surface for cloudless atmospheres. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, vol.25, pp. 87-97.
- David D. G. F., Santana V. M. S. (2008). Construção de um espectro-radiômetro para a análise da radiação solar, II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES - Florianópolis.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1974. *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley & Sons.
- Herzberg G. 1950. *Molecular spectra and molecular structure*. 2nd ed. New York: Van Nostrand.
- Kalogirou, S., 2009. *Solar energy engineering: processes and systems*. British Library.
- Platz, U., Stutz, J. 2008. *Differential Optical Absorption Spectroscopy: principles and applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

**Abstract.** At the IICBENS, we presented a spectrum-radiometer working in the visible up to 1.6  $\mu\text{m}$ . The first tests showed that it is essential to have a device follower of apparent movement of the Sun. The focus of this paper is to describe the device developed and present tests of spectrum-radiometer with this device. It consists of a tube with a peripheral mirror rotatable. The rotation of the tube around its axis allows scanning the daytime, while the mirror tilt angle can compensate for seasonal variation. The two axes of rotation, driven by stepper motors are controlled by the same computer that performs the acquisition of spectra. The difficulties encountered are discussed.

**Key words:** Spectroscopy, Radiometry, Instrumentation