

# Método de calibração simples de um espectrômetro de UV-vis de baixo custo

DOI: 10.30609/JETI.2018-7523

**Matheus C. S. Ribeiro<sup>1</sup>, Ronaldo C. Viscovini<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>UFMS – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil

<sup>2</sup>UEM – Universidade Estadual de Maringá, Goioere, Paraná, Brasil

## Resumo

Espectrômetros ópticos são instrumentos utilizados para se analisar a interação da radiação eletromagnética com a matéria. Os espectrômetros, na maioria das vezes, utilizam sistemas mecânicos para desviar a trajetória da luz, fazendo com que se varie o comprimento de onda incidente na matéria, ou para os espectrômetros mais modernos pode-se empregar CCDs (*charge-coupled devices*) como sensores de luz. Neste relato técnico, descrevemos o procedimento de calibração de um espectrômetro óptico com CCD, utilizando o espectro de lâmpadas fluorescentes comerciais como referência. Os resultados obtidos mostraram que o espectrômetro foi devidamente calibrado, e que o processo de calibração pode ser usado para difundir o conhecimento de espectroscopia óptica, tanto para os acadêmicos quanto para os alunos do ensino médio, proporcionando questionamentos ou sanando dúvidas acerca da natureza das cores e do espectro eletromagnético.

**Palavras-Chave:** Espectroscopia óptica, Espectrômetro, *Charge-coupled devices*, Calibração.

## 1.- Espectrômetro Compacto com CCD acoplado à fibra óptica

Um espectrômetro óptico é um instrumento utilizado para analisar os componentes espectrais de uma radiação eletromagnética (Luz). Para isso geralmente utiliza elementos dispersores (prismas e grades de difração), que desviam a trajetória da radiação conforme seu comprimento de onda até um sistema de detecção. A Figura 1 ilustra o princípio de funcionamento de um espectrômetro óptico com prisma. Para selecionar os comprimentos de ondas a serem analisados, é empregado um sistema mecânico para mover o elemento dispersor, o detector e/ou espelhos acessórios.

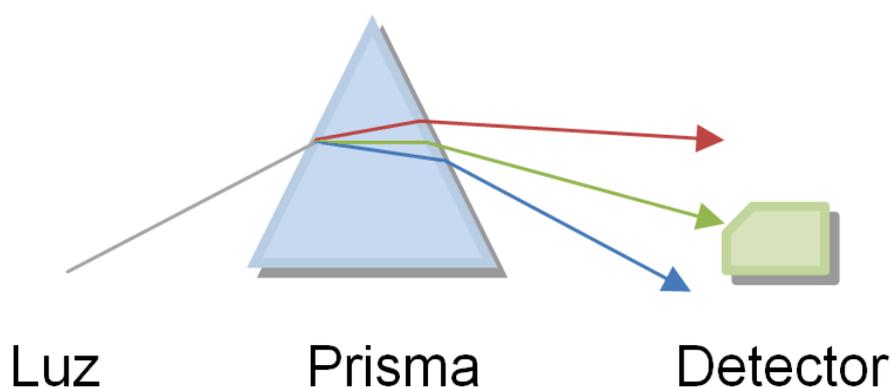


Figura 1 – Esquema ilustrativo dos principais componentes de um espectrômetro com prisma

Com o advento dos *charge-coupled devices* (CCDs) foi possível compactar os espectrômetros, eliminando a necessidade de sistemas mecânicos, devidos aos CCDs serem constituídos por milhares (ou milhões) de minúsculos sensores ópticos em linha (ou numa superfície). Estes componentes são encontrados usualmente nas máquinas fotográficas e filmadoras digitais, que tem demonstrado seu potencial para o ensino de física [1] ao longo dos anos. Na Figura 2 tem-se a parte óptica de um espectrômetro compacto utilizando CCD com entrada de fibra óptica.

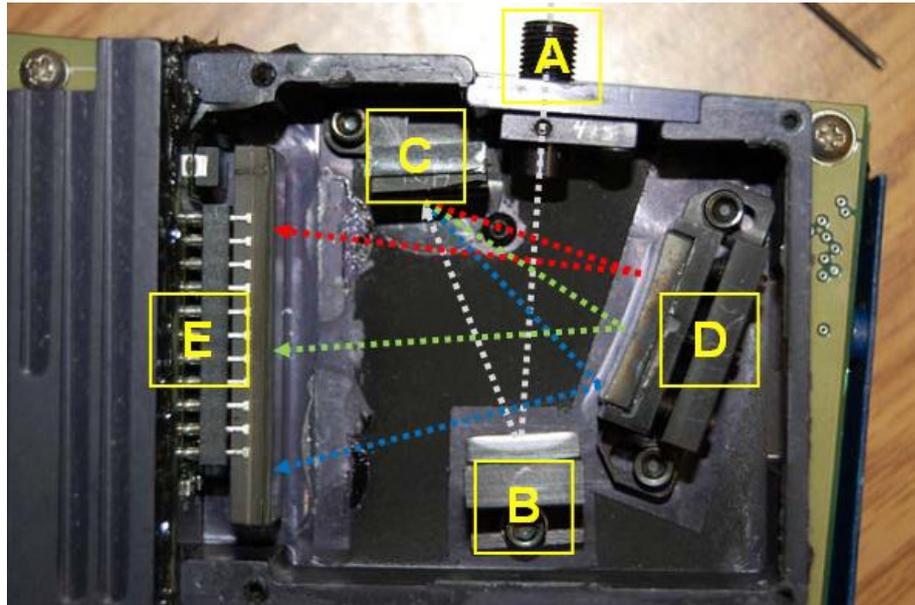


Figura 2 - Espectrômetro Compacto com CCD: (A) conector de entrada para fibra óptica, (B) espelho de colimação, (C) grade de difração, (D) espelho de focalização e (E) Detector CCD.

Existem diversos modelos de espectrômetros compactos com CCD no mercado. Dependendo do fabricante, qualidade da óptica (espelhos e rede de difração) e da resolução e sensibilidade da CDD, um equipamento deste tipo pode chegar a custar muitos milhares de dólares americanos. A Figura 3 ilustra o equipamento utilizado neste trabalho, disponível no mercado Norte Americano por duas centenas de dólares e fabricado pela empresa Science-Surplus.



Figura 3 - Imagem de frente e verso do espectrômetro compacto de CCD da Science-Surplus.

Esse espectrômetro utiliza uma CCD Sony ILX511 com 2048 detectores ópticos numa linha, digitalização de 16 bits, tempo de leitura de 350 ms e, dependendo da grade de difração, permite analisar boa parte da luz visível, com resolução típica de 1nm, disposto em uma caixa compacta de dimensões 15 cm x 10 cm x 5 cm. A comunicação com microcomputador é realizada através de uma interface serial (RS232C), o software *Spectrum Studio*—disponibilizado gratuitamente com o espectrômetro, compatível com o Windows®, permite visualizar, gravar, integrar e calcular médias de espectros.

## 2.- Calibração do Espectrômetro de CCD

O espectrômetro utilizado neste trabalho é fornecido sem calibração prévia pela empresa fabricante. Um espectrômetro não calibrado capta o espectro luminoso, fornecendo a natureza espectral da luz analisada, entretanto o intervalo de comprimento de onda se encontra deslocado e necessita ser ajustado para valores corretos. A aquisição de um espectrômetro já calibrado de fabrica aumenta consideravelmente seu custo. O processo de calibração pelo operador, deste espectrômetro em particular, representa uma excelente oportunidade para compreensão e/ou aprendizagem de conceitos básicos de óptica.

A calibração consiste em associar a cada um dos 2048 sensores o comprimento de onda real do espectro detectado. Para evitar o árduo trabalho de montar uma tabela com 2048 valores de conversão, é possível fazer uma boa aproximação através de uma função de conversão  $\lambda(n)$ , na qual essa função fornece o comprimento de onda (em nm), para cada sensor óptico numerado ( $n$ ) de 0 a 2047. A função  $\lambda(n)$ , obtida através da Equação 1, será um polinômio de terceiro grau, truncada de uma série de Taylor centrada em  $n=0$  (série de Maclaurin):

$$\lambda(n) = C_0 + C_1n + C_2n^2 + C_3n^3 \quad (1)$$

O software *Spectrum Studio* é apto a realizar as conversões apropriadas, de modo que a calibração consista apenas em informar os valores dos coeficientes  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ .

Para determinar os valores dos coeficientes é necessário conhecer os comprimentos de ondas de um espectro padrão como referência. Existem fontes luminosas específicas para esta função, que podem ser muito dispendiosas. Neste trabalho utilizou-se como referência uma simples lâmpada fluorescente compacta, disponível

comercialmente, que emite um espectro característico, conforme ilustrado na Figura 4. Podem-se visualizar quatro picos principais sendo dois característicos do vapor de mercúrio [2] ( $\lambda_A = 436\text{nm}$  e  $\lambda_C = 546\text{nm}$ ) e dois devido à fluorescência do material que reveste a lâmpada ( $\lambda_B = 488\text{nm}$  e  $\lambda_D = 612\text{nm}$ ).

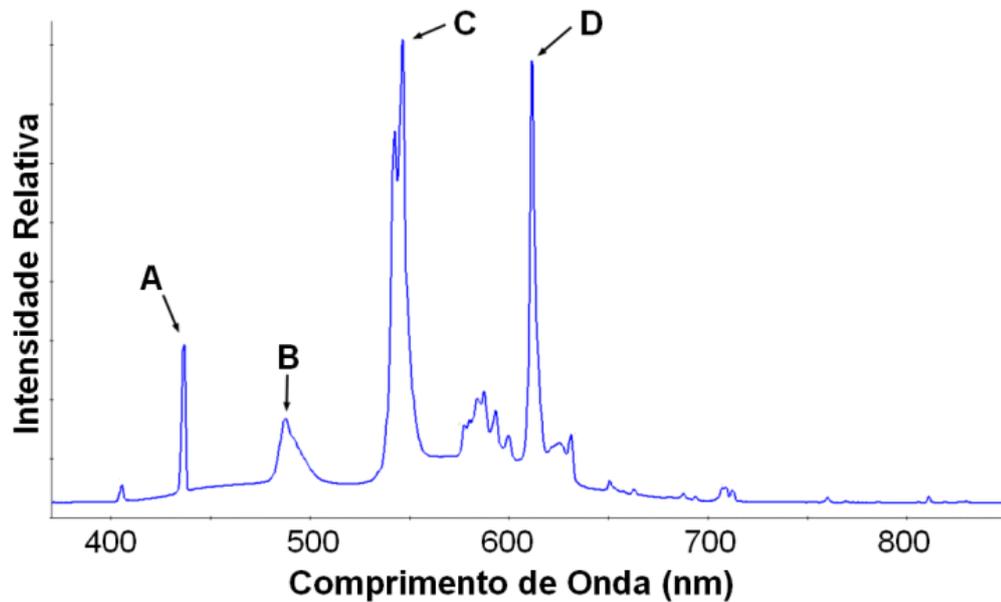


Figura 4 - Espectro característico de uma lâmpada fluorescente com seus picos de emissão: A)  $\lambda_A = 436\text{nm}$ , B)  $\lambda_B = 488\text{nm}$ , C)  $\lambda_C = 546\text{nm}$  e D)  $\lambda_D = 612\text{nm}$ .

Na primeira etapa da calibração os coeficientes no *Spectrum Studio* são ajustados para os valores iniciais:  $C_0 = 0$ ,  $C_1 = 1$ ,  $C_2 = 0$  e  $C_3 = 0$ . Isto faz com que a escala corresponda diretamente o número do sensor, ou seja:  $\lambda(n) = n$ .

### 3.- Resultados Finais

A Figura 5 ilustra um espectro não calibrado de uma lâmpada fluorescente compacta Osram® modelo 827, 15W, 2700K, colhido nas condições anteriores.

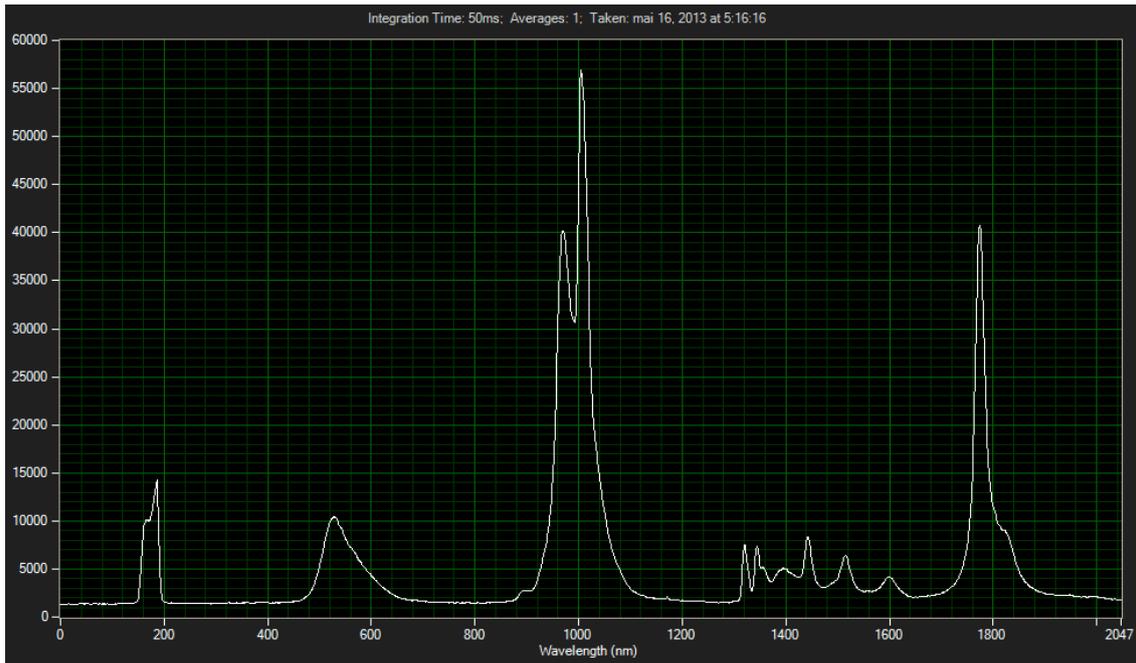


Figura 5 - Espectro de uma lâmpada fluorescente comercial sem calibração.

Observando o gráfico e analisando o arquivo de valores criados pelo *software*, encontra-se o número dos sensores ( $n$ ) correspondentes aos quatro picos de emissão ( $\lambda$ ), que no exemplo foram: para  $\lambda_A = 436\text{nm}$ ,  $n_A = 186$ ;  $\lambda_B = 488\text{nm}$ ,  $n_B = 528$ ;  $\lambda_C = 546\text{nm}$ ,  $n_C = 1005$ ;  $\lambda_D = 612\text{nm}$ ,  $n_D = 1774$ . Estes quatro conjuntos de valores de  $\lambda$  e  $n$  aplicados na  $\lambda(n)$  geram um sistema que quatro equações com quatro incógnitas ( $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ ). Resolvendo o sistema encontram-se os valores dos coeficientes, que no exemplo foram:  $C_0 = 403,5$ ;  $C_1 = 0,183$ ,  $C_2 = -4,64 \times 10^{-5}$  e  $C_3 = 5,34 \times 10^{-9}$ . Atualizando o software com os valores dos coeficientes encontrados, tem-se o espectro calibrado de uma lâmpada fluorescente, conforme ilustrado na Figura 6. Nota-se que esse espectrômetro tem uma faixa de detecção entre 403,5nm e 629,48nm, ou seja, boa parte da região visível, com exceção do extremo do espectro correspondente ao vermelho (630-700nm).

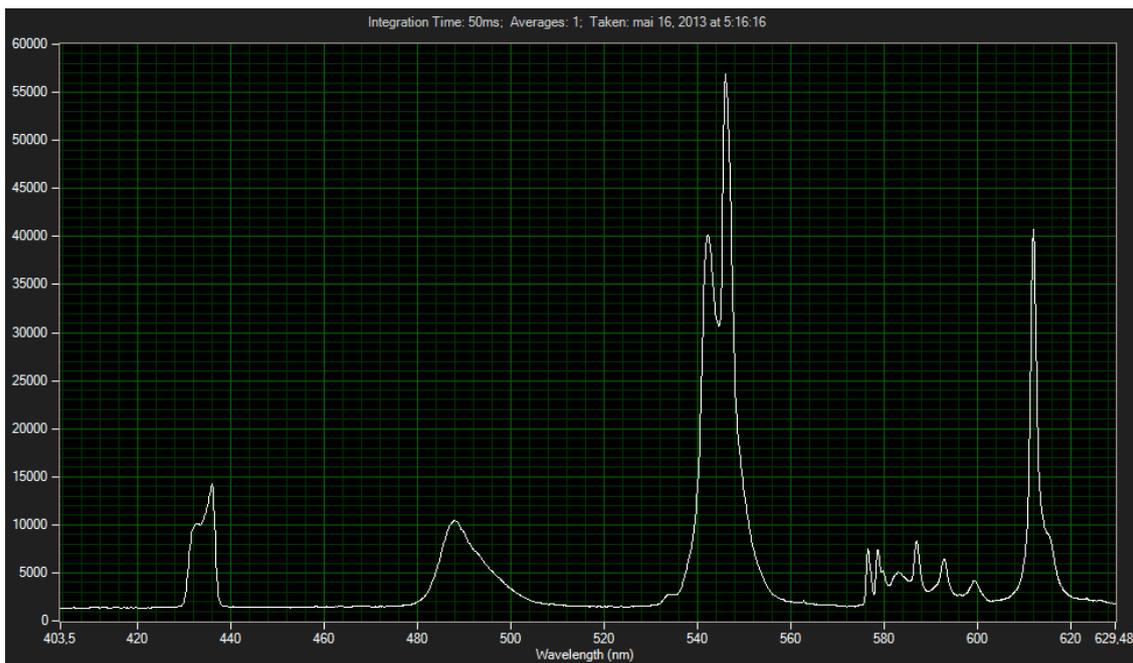


Figura 6 - Espectro calibrado de uma lâmpada fluorescente comercial

Assim, dispomos de um espectro calibrado e de baixo custo que pode ser empregado para diversos usos, seja em ensino ou pesquisa [1-4].

#### 4.- Comentários Finais

Este espectrômetro de baixo custo pode ser empregado para o estudo didático de espectros emitido por lâmpadas comerciais, ou ainda empregado em diversos experimentos de interesse. A relação custo benefício em se obter um espectro e poder calibrar o mesmo de acordo com a necessidade torna o aparato ainda mais interessante.

#### 5.- Bibliografia

[1] O.C.N. PEREIRA, W.M. SILVA, A.C. SABINO, M.E. GOZZI, A.R. SAMPAIO, R.C. VISCOVINI, Software de efeito estroboscópico por superposição de frames de vídeos aplicados no ensino de Cinemática. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.29, n.2, 2012.

[2] R.R.G. PARANHOS, V.L. RICHARD, P.S. PIZANI. Lâmpada de Hg para experimentos e demonstrações de física moderna: introdução ao efeito fotoelétrico e outros tópicos. Revista Brasileira de Física, v.30, n.4, 2008.

[3] T.C. ZANETTI, J.S. CABRAL. Calculation of an optical setup for a LIBS system. Journal of Experimental Techniques and Instrumentation, v.1, n.1, 2018.

[4] T.A. CANASSA, A.L. LAMONATO, A.V. RIBEIRO. Utilização da lei de Lambert-Beer para determinação da concentração de soluções. Journal of Experimental Techniques and Instrumentation, v.1, n.2, 2018.