

# Instituto de Física Gleb Wataghin - Unicamp

Tópicos de Ensino de Física I  
F 609, 2º semestre de 2011

Coordenador: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi  
Orientador: Antônio Carlos da Costa<sup>1</sup>



Aluna: Poliana Malandrin<sup>2</sup>

Novembro de 2011

<sup>1</sup>accosta@ifi.unicamp.br

<sup>2</sup>RA 084554, poliana.malandrin@gmail.com

# **Sumário**

01 Introdução

02 A Fotometria

2.1 Leis da Fotometria

2.2 Intensidade e Fluxo Luminosos para uma Fonte não Pontual

2.3 Algumas Definições

03 O Fotômetro de Bunsen: Fotometria comparativa por mancha de óleo em papel

04 O Experimento

4.1 Montagem

4.2 Obtenção de Dados e Análise de Informações

05 Discussão e Conclusão

06 Comentários do Orientador

07 Comentários do Coordenador

Referências

## Resumo

Proponho, neste trabalho, a verificação qualitativa de fenômenos fotométricos através da construção de um fotômetro com base na experiência de Bunsen. Tal experiência usa a comparação de fluxo luminoso de duas fontes pontuais, incidente em um anteparo.

### 1 – Introdução

É possível, diariamente, notar o efeito da óptica no cotidiano das pessoas. Especialmente da fotometria, que é o estudo da maneira com a qual percebemos o “brilho da luz”, ou, mais tecnicamente, o fluxo luminoso. Muitas são as aplicações da fotometria, variando de câmeras fotográficas a estudos astronômicos. Ou seja, indo do usual ao complexo. O trabalho que segue aborda a fotometria de maneira simples, através do fotômetro de Bunsen, criado por Robert Wilhelm Bunsen, cujo princípio consiste na comparação visual de fluxo luminoso. Assim, foi construído um fotômetro capaz de fornecer resultados análogos ao do fotômetro de Bunsen: permite chegar a conclusões acerca da capacidade de iluminação das lâmpadas em dadas circunstâncias (pré-estabelecidas), ou, até mesmo em que momento e com qual configuração a capacidade de iluminação é a mesma, através do fluxo luminoso incidente em um anteparo com mancha de óleo.

### 2 – A fotometria

Fotometria é a parte da física que trata a intensidade das fontes luminosas. A intensidade luminosa é equivalente ao fluxo luminoso emitido por unidade de ângulo sólido. A intensidade será representada aqui pela letra  $I$  e sua unidade de medida é a candela, que é o mesmo que lúmen dividido por esferorradiano. Assim, é possível montar a seguinte equivalência entre unidades de medida envolvidas:

$$\text{cd} = \text{lm} / \text{sr} = \text{lm} = \text{mW} \quad (1)$$

Para um maior entendimento, é necessário destacar as seguintes informações acerca de candela e esferorradiano:

- Candela: é a intensidade luminosa emitida por uma fonte de luz monocromática de frequência  $f = 540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ , que é a frequência de luz verde, cor cuja capacidade de absorção do olho humano é maior.
- Esferorradiano: ângulo sólido "w" que, tendo vértice no centro de uma esfera subtende na superfície uma área "A" igual ao quadrado do raio "r" de uma esfera).

Assim, chega-se facilmente às seguintes relações:

$$w = A / r^2 = 4\pi r^2 / r^2 = 4\pi(\text{sr}) \quad (2)$$

E ao seguinte esquema explicativo abaixo:

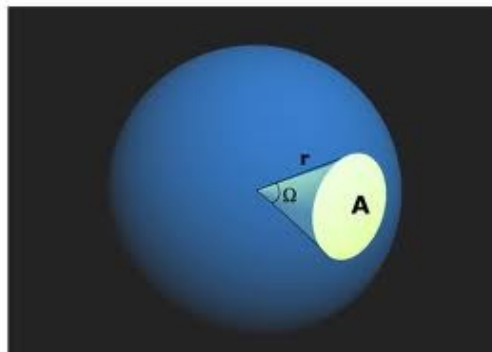


Figura 1 – Esquema explicativo acerca do Esferorradiano

Logo, é possível prever que a intensidade "I" será a potência ou luminosidade " $\phi$ " irradiada por uma **fonte puntiforme** em um cone de ângulo sólido "w", unitário. A equação matemática é a seguinte:

$$I = \phi / w = \phi / 4\pi(\text{sr}) \quad (3)$$

É necessário ainda ter bem fixado o conceito de fonte puntiforme, ou pontual. Assim, ressalto que uma fonte é considerada pontual, ou puntiforme, quando suas dimensões são desprezíveis em relação ao ambiente em estudo ou um uma fonte representada por um único ponto emitindo infinitos raios de luz.

Adote o seguinte esquema abaixo:

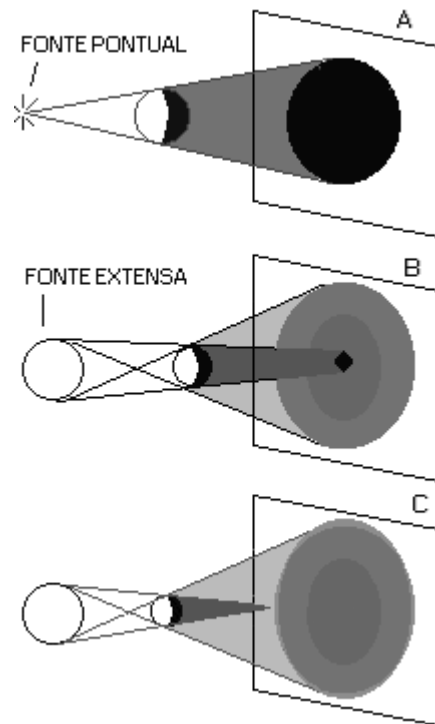


Figura 2 – Esclarecimentos acerca de uma fonte pontual

### 2.1 Leis da Fotometria

- A intensidade luminosa “I” produzida sobre uma superfície é diretamente proporcional à intensidade de foco e inversamente proporcional ao quadrado da distância. A prova matemática de tal afirmação segue abaixo:

$$I = \int \phi \, dA = k \quad (4)$$

$$I = 4\pi d^2 \phi(d) \quad (5)$$

$$\text{Daí: } \phi(d) = I / 4\pi d^2 \quad (6)$$

Logo, pode-se notar que quando duas fontes de luz produzem a mesma luminosidade em um anteparo, as intensidades de cada uma são diretamente proporcionais

ao quadrado da distância entre a fonte luminosa e o anteparo.

- Para que todos os pontos da superfície sejam igualmente iluminados o tamanho desta deve ser pequeno. É ainda: a fonte deve ser pequena o suficiente para ser considerada pontual.
- Quando a luminosidade em uma superfície não é normal, mas forma um ângulo com relação à direção perpendicular, a luminosidade produzida é igual ao produto da luminosidade normal pelo cosseno do ângulo formado pela direção de incidência e a normal à superfície. Ou seja:

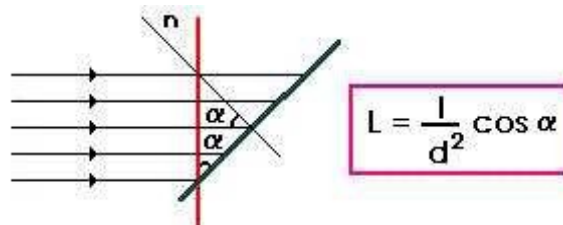


Figura 3 – Iluminação em uma superfície

## 2.2 Intensidade e Fluxo Luminosos para uma Fonte não Pontual

Quando a luz é emitida igualmente em todas as direções, ela se expande esfericamente. É como se a fonte estivesse no centro de uma esfera, composta de  $4\pi$  ângulos sólidos unitários. O raio aumenta conforme a luz se propaga. A energia que atravessa a unidade de área da fonte, por unidade de tempo e por unidade de ângulo sólido, é chamada de intensidade específica. Assim:

$$(7) \quad I_{\perp} = \frac{dE}{dt dA d\omega}$$

Nem sempre a energia se propaga isotropicamente, como num feixe de laser. Nesse caso, a energia que atravessa a unidade de área é a mesma em todas as direções, dependendo do ângulo  $\theta$  entre a direção de propagação e a normal à área, ou seja:

$$(8)$$

$$I_{\nu} = \frac{dE \cos \theta}{dt dA d\omega d\nu}$$

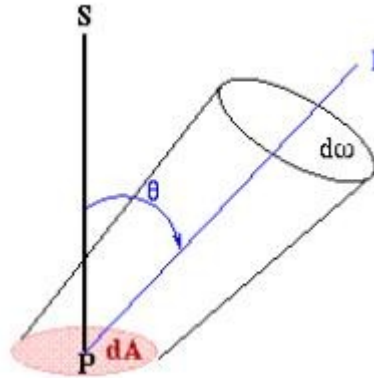


Figura 4 – A intensidade na direção de S é diferente do que na direção de I

Assim, nota-se que a intensidade específica não depende da distância da fonte luminosa.

### 2.3 Algumas Definições

- Intensidade de um foco luminoso: O olho humano é sensível aos contrastes da luz, fato que faz com que a observação visual nos permita distinguir a intensidade luminosa, embora comparações entre intensidades sejam aproximadas (características exploradas no fotômetro de Bunsen);
- Iluminância "E": Fluxo luminoso recebido por uma superfície, cuja unidade é o lux = lx. Nota: lux = lm / m<sup>2</sup>;

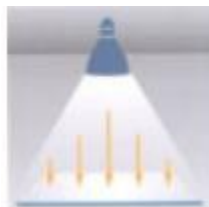


Figura 5 – Esquema Iluminância

- Fluxo Luminoso: É o produto da iluminação normal da superfície por uma área iluminada. Assim, para uma superfície

de  $1\text{m}^2$  iluminada por uma fonte de  $1\text{lx}$  colocada a  $1\text{m}$  de distância de todos os pontos da superfície, o fluxo é de  $1\text{lm}$ . O melhor conceito sobre iluminância talvez seja uma densidade de luz necessária para a realização de uma determinada tarefa visual.



Figura 6 – Esquema Fluxo Luminoso

- Eficiência Luminosa: É o quociente entre o fluxo luminoso emitido em  $\text{lm}$ , pela potência consumida em  $\text{W}$ . Ou seja, retrata a quantidade de luz que uma fonte luminosa pode produzir a partir da potência elétrica de  $1\text{W}$ .

### **3 – O fotômetro de Bunsen: Fotometria comparativa por mancha de óleo em papel**

A experiência original de Bunsen constitui-se basicamente no que segue:

- Uso de um papel em branco com mancha de azeite;
- Posicionamento da vela atrás do papel e observação de um clareamento na mancha, em relação ao resto do papel;

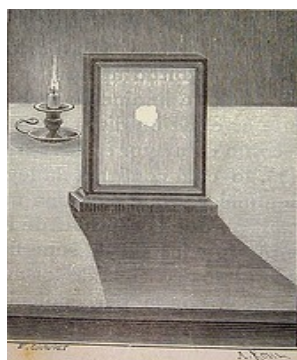


Figura 7 – Ilustração Fotômetro de Bunsen



- Posicionamento da vela à frente do papel (entre o observador e o papel) e observação de um escurecimento da mancha, com relação ao resto do papel;

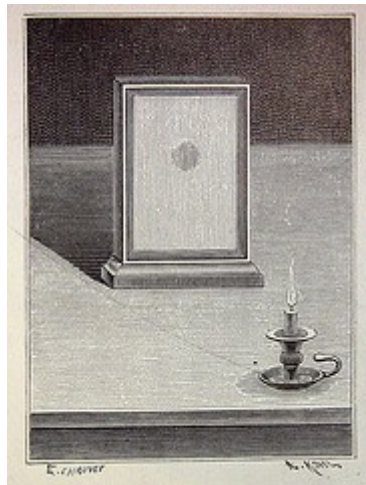


Figura 8 - Ilustração Fotômetro de Bunsen

- Uso de duas velas iguais e à mesma distância do papel (papel entre as velas) e observação da ausência de mancha.

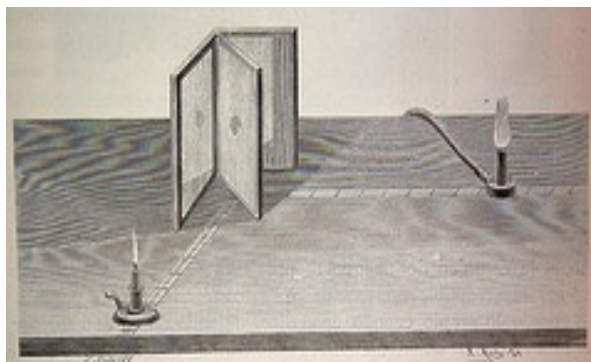


Figura 9 - Ilustração Fotômetro de Bunsen

A partir de tal configuração, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- A luminosidade diminui com o quadrado da distância à fonte de luz;
- A luminosidade é máxima quando os raios de luz incidem perpendicularmente;
- Um objeto é iluminado quando recebe luz ou é uma fonte de luz;
- Nossa visão nos permite realizar uma análise comparativa entre dois objetos iluminados;
- Quanto mais perto de uma fonte luminosa um objeto está, mais luz ele recebe;

- Pode-se afirmar que dois objetos tem mesma intensidade luminosa quando, dispostos na mesma configuração em relação

a um objeto, sob mesmas condições de distância e ângulo de incidência, iluminam igualmente o objeto (fato comprovado quando temos a sensação de que a mancha de óleo desaparece na experiência de Bunsen).

## **4 – O Experimento**

O experimento consiste na construção de um fotômetro com base no funcionamento do fotômetro de Bunsen. Assim, é possível a comparação visual da intensidade luminosa de diferentes lâmpadas. Essa é uma análise qualitativa. Além disso, é proposto um método quantitativo para obtenção de curvas e valores que prevêm a intensidade e a respectiva posição de uma lâmpada, dada uma configuração inicial pré-estabelecida.

### 4.1 Montagem

Para a montagem do experimento utilizei os seguintes materiais:

- Mesa que acondicione o conjunto (a ser utilizada na exposição do projeto);
- Lâmpadas incandescentes (25, 40, 60 e 100W);
- Lâmpadas fluorescentes (9, 25 e 40W);
- 02 soquetes;
- 01 fio paralelo com pino macho;
- 01 extensão elétrica com 5m de comprimento;
- 01 suporte horizontal que permita o deslocamento do conjunto (lâmpada + soquete) - madeira;
- 02 suportes que agreguem o conjunto (lâmpada + soquete) a serem deslizados sobre o suporte horizontal – placas de metal;
- 02 parafusos para fixarem o soquete;
- Lixa para madeira;
- Tinta;
- Pincéis;
- Serrote;
- Lixadeira;
- Furadeira;
- Pedacos de papel em branco;
- Suporte para os pedacos de papel;

- Fita adesiva;
- Azeite ou óleo;
- 01 pipeta;
- Duas réguas para medir a distância entre as velas e o conjunto "suporte + papéis";
- 01 fotômetro J16 Techtronix para obtenção de alguns valores numéricos.

O equipamento construído é o que segue:

### **COLOCAR FOTOS DO EXPERIMENTO!!!**

#### 4.2 Obtenção de Dados e Análise de Informações

A fim de uma análise relativamente quantitativa estabeleu-se condições para a obtenção de uma curva de calibração. O método proposto é o que segue:

- Selecionar duas lâmpadas distintas;
- Fazer a medição com um fotômetro digital da intensidade luminosa de uma delas, ou até mesmo utilizar a informação fornecida pelo fabricante;
- Posicionar a lâmpada com intensidade luminosa conhecida a uma distância fixa do anteparo;
- Variar a posição da lâmpada com intensidade luminosa desconhecida, a distâncias previamente selecionadas e consideradas em cálculos que permitem descobrir tal fluxo luminoso;
- Analisar a curva e prever em que momento (em que posição) a intensidade luminosa se iguala;
- Posicionar a lâmpada na posição obtida pela curva;
- Observar o desaparecimento da mancha (que, segundo princípio do fotômetro de Bunsen, é o momento em que o fluxo luminoso dos dois lados do papel é o mesmo).

É necessário, para a obtenção da intensidade luminosa desconhecida, utilizar a seguinte relação (obtida com o uso da equação (6) ):

$$I_1 / d_1^2 = I_2 / d_2^2 \quad (9),$$

onde  $I_1$  é a intensidade luminosa conhecida - lâmpada 1,  $d_1$  é a distância fixa do anteparo à lâmpada 1,  $I_2$  é a intensidade luminosa desconhecida - lâmpada 2 e  $d_2$  é a distância variável do anteparo à lâmpada 2.

Assim, a partir de tal método, é possível a construção de muitas curvas de calibração, dada a variedade de lâmpadas que se tem, combinando-as de duas a duas. É importante notar que, se as lâmpadas forem idênticas, é necessário posicioná-las a uma mesma distância do anteparo, como previsto por Bunsen.

É possível ainda analisar a precisão de tal método, analisando-se a porcentagem de erro. Discutirei tal aspecto mais adiante.

Quando, através da curva de calibração ou não, observamos o desaparecimento da mancha, podemos analisar sobre a eficiência das lâmpadas em uso, comparando a distância das mesmas ao anteparo. Em outras palavras: quando a mancha desaparece, devemos observar a distância de cada uma delas ao anteparo, aquela que tiver a menor distância, é a mais eficiente.

Apresento a partir de agora um exemplo do método proposto.

- Selecionei as lâmpadas incandescentes (127V) de 25 e 100W, com intensidade luminosa de 230 e 1620lm, respectivamente. Observação: as intensidades luminosas são fornecidas pelo catálogo de produtos do fabricante;
- Considerei a lâmpada de 25W (230lm) fixa a uma distância de 3cm do anteparo – lâmpada 1;
- Supus desconhecida a intensidade luminosa da lâmpada de 100W – lâmpada 2;
- Variei a posição da lâmpada 2 de 0 a 30cm, de 2 em 2 unidades;
- Utilizando a equação (9), construí a seguinte tabela:

Intensidade Luminosa (lm)	Distância (cm)
102.22	2
408.89	4
920.00	6
1635.56	8
2555.56	10
3680.00	12
5008.89	14
6542.22	16
8280.00	18
10222.22	20
12368.89	22
14720.00	24
17275.56	26
20035.56	28
23000.00	30

## Tabela 1 – Dados sobre a lâmpada 2 (100W)

O gráfico de resposta obtido a partir da Tabela 1 é o seguinte:

Lâmpada Padrão de 25W (230lm) a uma distância fixa de 3cm do anteparo

Lâmpada Variável de 100W

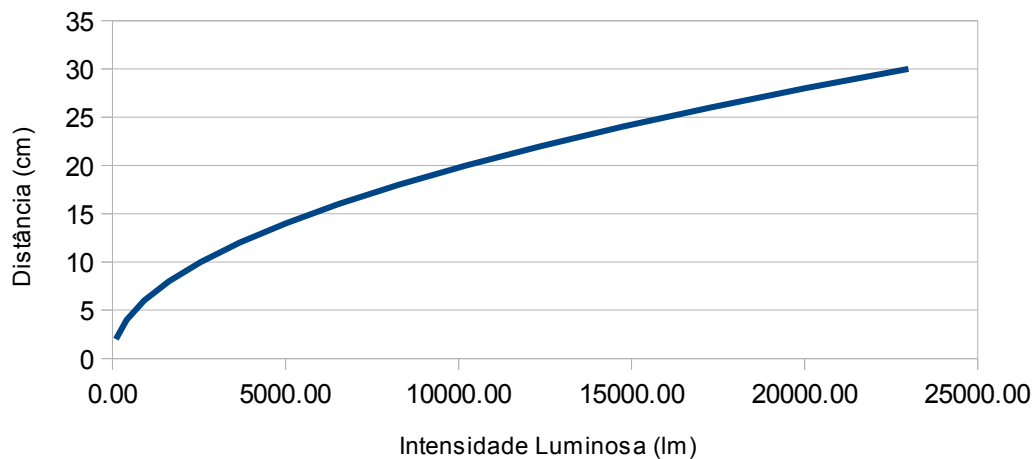


Gráfico 1 – Curva de Resposta

Utilizando a lei da fotometria que diz que a intensidade luminosa varia com o quadrado da distância (apresentada no início do trabalho), é fácil prever que obtêm-se a intensidade de 1620lm em aproximadamente 7.9cm. De fato, olhando a tabela, é o que observa. Logo, o método proposto está de acordo com tal lei da fotometria.

Porém, estamos supondo não saber a intensidade  $I_2$ . Assim, pela mesma lei, teríamos que:

1 - 25W é  $\frac{1}{4}$  de 100W;

2 - O que permite a relação:

$$1 - 9$$

$$4 - X$$

3 - Logo,  $X = 36$ , que é a distância ao quadrado, portanto,  $d = 6$ , que corresponde a uma intensidade de 920lm.

Através da tabela e do gráfico, nota-se que a intensidade obtida para 6cm é de 920lm, que corresponde a um erro percentual de 43.20 do esperado (1620lm).

## **5 – Discussão e Conclusão**

Nota-se que o experimento é uma excelente maneira de análise qualitativa de intensidades luminosas entre duas lâmpadas, segundo método proposto por Bunsen, onde nota-se visualmente os efeitos fotométricos. Porém, da tentativa de análise quantitativa segue que o método parece não ser tão preciso, uma vez que o erro foi relativamente alto. Isso se deve, entre outras coisas, ao fato de sermos nós os observadores, não tendo nenhum equipamento que faça a leitura dos valores.

## **6 – Comentários do Orientador**

## **7 – Comentários do Coordenador**

## **Referências**

Sobre fotometria:

- <http://en.wikipedia.org/wiki/Photometry>
- <http://www.dee.ufcg.edu.br/~jluisn/trabalhos/fotometria.pdf>
- [http://www.lcs.poli.usp.br/~gstolfi/mack/Ap1\\_Fotometria\\_M8.pdf](http://www.lcs.poli.usp.br/~gstolfi/mack/Ap1_Fotometria_M8.pdf)
- [http://www.catalogosiluminacao.philips.com.br/imagem/produto/incandescentes/manual/incandescente\\_standard\\_out2009.pdf](http://www.catalogosiluminacao.philips.com.br/imagem/produto/incandescentes/manual/incandescente_standard_out2009.pdf)

Sobre Bunsen e seu fotômetro:

- <http://www.slideshare.net/guest357bfa/fotometro-de-bunsen>
- <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/robert-wilhelmbunsen/robert-wilhelm-bunsen.php>
- <http://www.youtube.com/watch?v=QMZz9WFL-cE&feature=related>
- [http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09\\_27.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_27.asp)
- <http://www.donboscobaires.com.ar/acad/sec/fisica/05/optica.doc>

- [http://www.infopedia.pt/\\$densitometro](http://www.infopedia.pt/$densitometro)
- <http://translate.google.com.br/translate?hl=ptBR&langpair=en%7Cpt&u=http://kr.cs.ait.ac.th/~radok/physics/l2.htm>