

# Relatório 3 - Efeito Fotoelétrico

## • Resumo

Há diversas formas de interação da radiação com a matéria, entre elas o efeito fotoelétrico. Durante a experiência, observamos a ocorrência do fenômeno, observamos a ação do potencial retardador e do comportamento dos demais parâmetros além de calcular experimentalmente a constante de Planck.

## • Introdução

Uma das formas de interação da radiação com a matéria em que há a absorção é o efeito fotoelétrico. Esse efeito é caracterizado pela emissão de elétrons de uma superfície a partir da incidência de luz (radiação) sobre essa superfície.

No experimento utilizado para estudar esse fenômeno, mesmo que a tensão aplicada seja zero, a corrente ~~na~~ não é nula, para o caso onde há incidência de luz. Com a polaridade da tensão aplicada invertida, é possível reduzir a corrente a zero em um potencial  $V_0$ , chamado potencial de corte.

Experimentalmente é possível observar que a energia cinética máxima é dada por:

$$K_{\max} = eV_0 \quad (1)$$

em que "e" é a carga do elétron e o valor independe da intensidade da luz aplicada, ou seja,  $V_0$  não se altera para diferentes intensidades.

Como a física clássica não foi capaz de explicar os fenômenos observados nesse efeito, Einstein propôs a teoria da propagação da radiação em



Fótons, e então a energia cinética dos elétrons deveria ser:

$$K_{\text{max}} = h\nu - W_0 \quad (2)$$

em que  $h$  é a constante de Planck,  $\nu$  é a frequência da radiação,  $h\nu$  é a energia de cada fóton e  $W_0$  é a energia mínima de ligação dos elétrons, conhecida por função trabalho.

Logo, pelas equações (1) e (2), podemos uni-las para obter a equação (3) a seguir:

$$V_0 = \frac{h\nu}{e} - \frac{W_0}{e} \quad (3)$$

Mostrando que há uma relação linear entre o potencial de corte e a frequência, sendo  $\frac{h}{e}$  o coeficiente angular e  $-\frac{W_0}{e}$  o coeficiente linear.


### • Materiais e Métodos

Para essa experiência, os materiais foram: um fototubo com amperímetro acoplado, um voltímetro, LEDs emissores coloridos e pelo menos um branco, além de filtros coloridos. A metodologia empregada segue os passos:

- Primeiro é feita a calibração do fototubo. Sem a luz incidindo e a uma tensão de 3V a corrente deve ser nula.

- Em seguida padronizamos a distância entre o LED e o fototubo de forma que ao expor o fototubo a radiação, a corrente deve ser de ~~30mA~~ 30mA.

- ~~Podemos~~ Com essa distância fixa, posicionamos a fonte de luz branca com o filtro a ser usado e variamos a tensão de 0 até a tensão de corte  $V_c$  em passos de forma a diminuir 5nA a cada medida.

 - ~~Repetimos~~ Repetimos essas etapas para todos os



filtros e para todos todos os LEDs coloridos disponíveis e anotamos as medidas de potencial retardador para analisar.

### Resultados

- 1) Todas as medidas começam com potencial retardador nulo e corrente de 30 nA
- 2) A variação de potencial retardador para encontrar o potencial de corte em cada LED e filtro está registrada na tabela a seguir!

Corrente (nA)	Tensão (V)												
	Vermelho	Laranja	Verde	Violeta	Azul	Branco	Branco/Filtro Amarelo	Branco/Filtro Azul	Branco/Filtro Verde	Branco/Filtro Laranja	Branco/Filtro Magenta	Branco/Filtro Ciano	Branco/Filtro Vermelho
30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,05	0,08	0,08	0,10	0,12	0,10	0,08	0,11	0,09	0,08	0,10	0,10	0,10
20	0,09	0,13	0,15	0,18	0,19	0,16	0,15	0,18	0,15	0,14	0,17	0,18	0,18
15	0,13	0,17	0,21	0,25	0,27	0,23	0,20	0,26	0,20	0,20	0,25	0,26	0,26
10	0,18	0,22	0,29	0,35	0,36	0,34	0,27	0,36	0,27	0,26	0,34	0,35	0,35
5	0,23	0,30	0,39	0,48	0,50	0,47	0,37	0,51	0,37	0,36	0,48	0,49	0,49
0	0,35	0,47	0,76	0,86	0,88	0,91	0,66	0,90	0,72	0,70	0,91	0,94	0,94

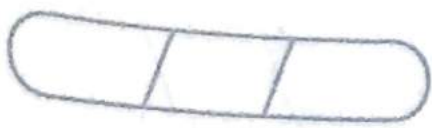
Tabela 1: Valores de tensão em volts para o potencial de retardo em cada corrente registrada em cada configuração (LED ou filtro)

3 e 5) Para esses LEDs e filtros, os valores de comprimento de onda de máxima transmissão estão dispostos na tabela 2 a seguir:

LED / Filtro	Comprimento de onda (nm)
Vermelho	653
Laranja	595
Verde	558
Violeta	396
Azul	475
Branco/Sem filtro	460
Branco/Filtro Amarelo	541
Branco/Filtro Azul	460
Branco/Filtro Verde	537
Branco/Filtro Laranja	556
Branco/Filtro Magenta	460
Branco/Filtro Ciano	460
Branco/Filtro Vermelho	663

Tabela 2: Valores de comprimento de onda para cada LED e filtro usado.





Vemos que o filtro que não foi possível medir tensão na tabela coincide com o maior comprimento de onda usado. Logo, esse é o filtro que transmite a menor energia, e provavelmente não foi suficiente para observar a ocorrência do fenômeno, ou seja, não superou a frequência de corte  $\nu_0 = \frac{W_0}{h}$ , energia mínima para o efeito fotoelétrico (que pode ser validada pela equação 2)

Dividindo os resultados específicos entre "com filtro" e "sem filtro" obtemos os gráficos 1 e 2 a seguir:

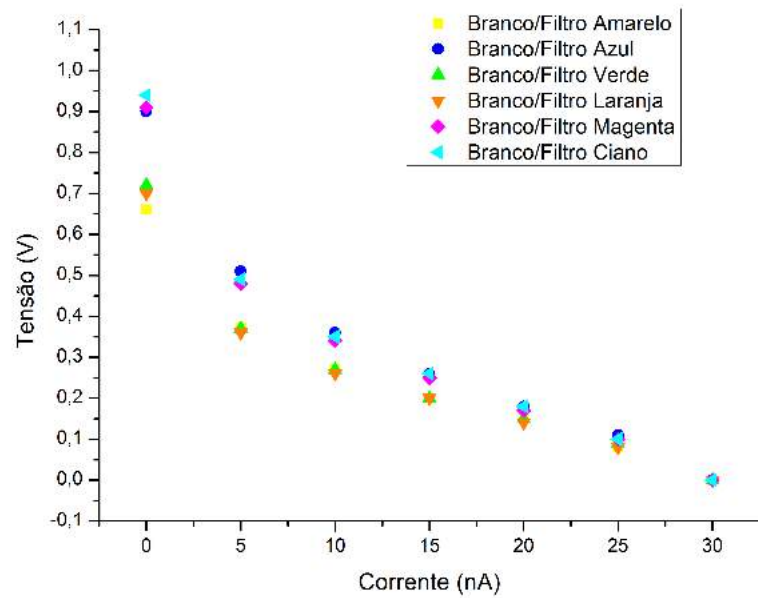


Gráfico 1: Valores de tensão em relação a corrente no fototubo para LEDs com filtros indicados

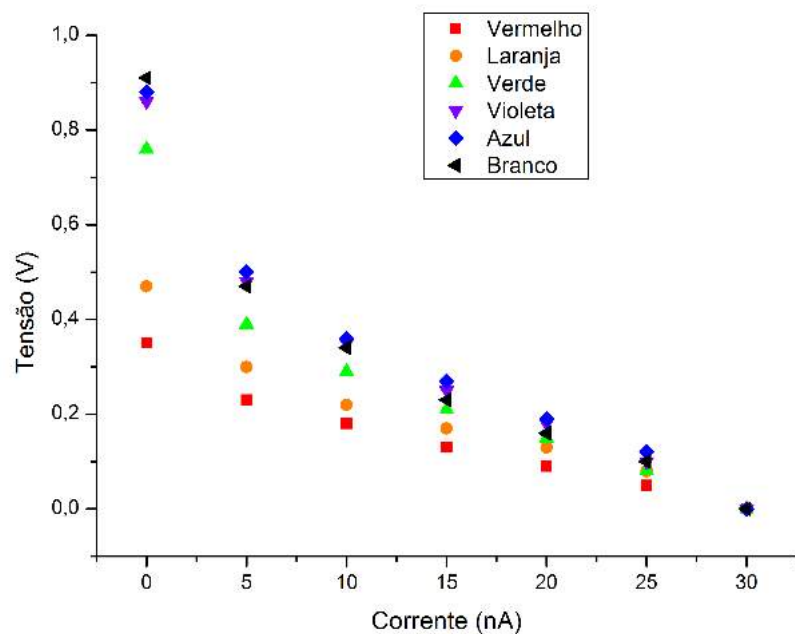


Gráfico 2: Valores de tensão por corrente para LEDs coloridos indicados.



Vemos nesses gráficos o ponto em comum (30mA, 0V) estabelecido na padronização dos dados e as diferentes curvas atingindo valores  $V_0$  distintos em cada frequência.

A intensidade dos LEDs é indiferente para esta experiência e por isso não foi considerada.

Vemos como diferença entre os dois gráficos que para o caso dos filtros as tensões de corte assumem valores maiores mas em uma faixa menor (0,66V - 0,94V) quando comparado aos LEDs sem filtro colocados, que apesar de assumirem valores menores, estão dispostos em curvas espaçadas e maior intervalo de  $V_0$  (0,35V - 0,9V).

Isso pode ser explicado pela largura de banda transmitida em cada caso, os filtros em geral transmitem uma maior faixa espectral enquanto os LEDs aproximam-se mais da luz totalmente monocromática quando são de foto coloridos. Um maior número de comprimentos de onda leva a maior ocorrência do efeito por terem frequências diferentes, aumentando a tensão de corte e aproximando as curvas por ser menos exato.

4 e 6) A partir da Tabela 2, obtemos as frequências transmitidas para LED e filtros seguindo a equação fundamental da ondulatória:

$$c = \lambda \cdot \nu \rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda} \quad (9)$$

Logo, a tabela 2 mais completa poderia ser representada como a tabela 3 a seguir:



LED / Filtro	Comprimento de onda (nm)	Frequência (x10 <sup>14</sup> Hz)
Vermelho	653	4,594180704
Laranja	595	5,042016807
Verde	558	5,376344086
Violeta	396	7,575757576
Azul	475	6,315789474
Branco/Sem filtro	460	6,52173913
Branco/Filtro Amarelo	541	5,545286506
Branco/Filtro Azul	460	6,52173913
Branco/Filtro Verde	537	5,586592179
Branco/Filtro Laranja	556	5,395683453
Branco/Filtro Magenta	460	6,52173913
Branco/Filtro Ciano	460	6,52173913
Branco/Filtro Vermelho	663	4,524886878

Tabela 3: Tabela 2 acrescida dos valores de frequência de massa máxima transmissão calculada pela equação 4.

Com esses valores de frequência, podemos construir o gráfico de tensão de corte ( $V_0$ ) por frequência ( $\nu$ ) que deve seguir a equação (3), novamente dividindo dados coletados com filtro e LEDs coloridos.

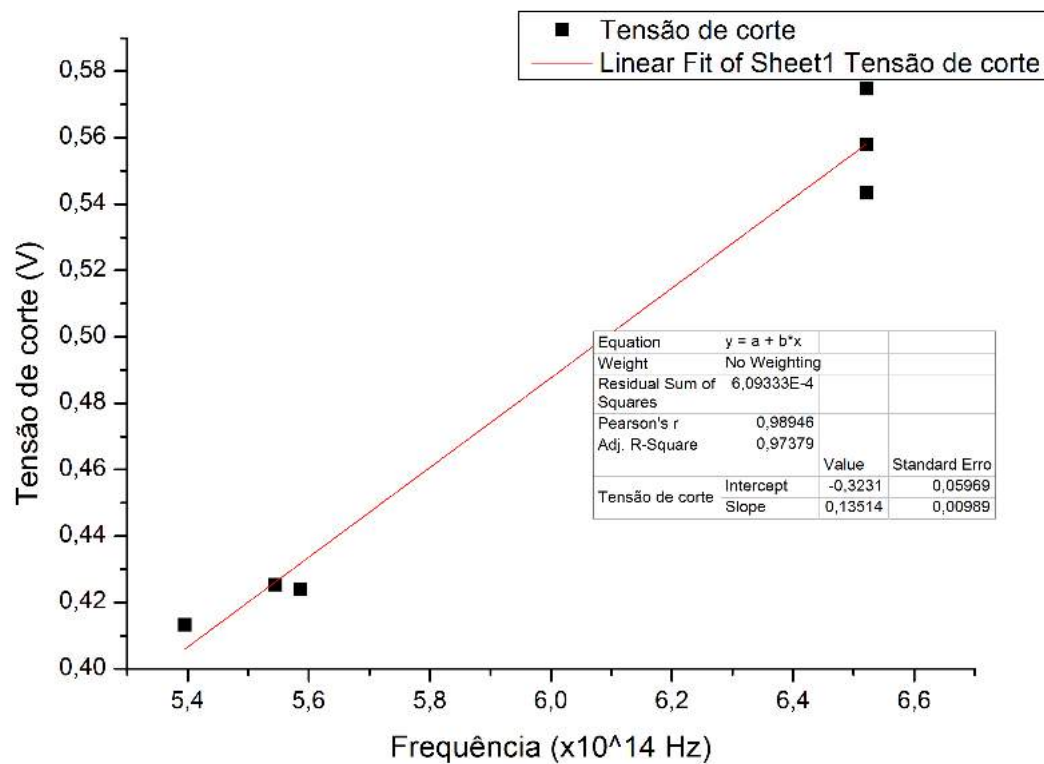
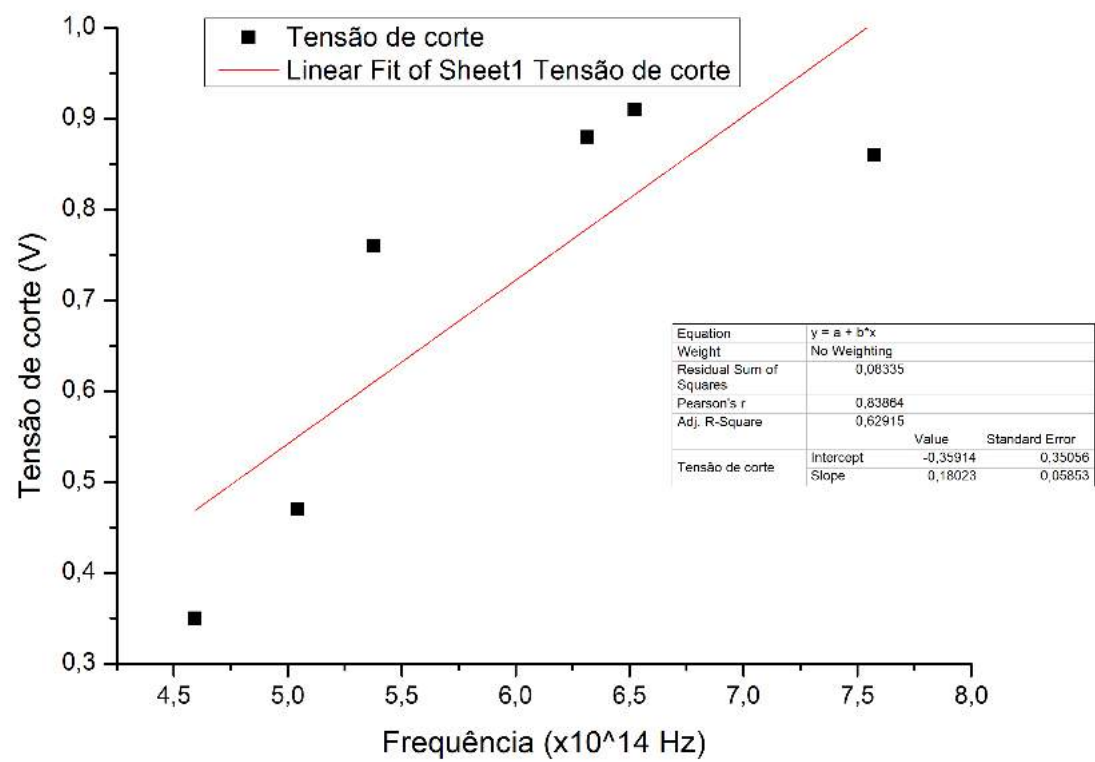


Gráfico 3: Valores de  $V_0$  em relação a  $\nu$  para LEDs com filtros e seu ajuste linear.





O gráfico 3: valores de tensão de corte  $V_0$  em função da frequência  $\nu$  dos LEDs coloridos.

O gráfico 3 apresenta comportamento próximo do linear, apesar de 3 dos seus filtros acusarem a mesma frequência de transmissão máxima, mesmo sendo cores diferentes. Seus valores para os coeficientes de acordo com o ajuste foram:

$$\text{angular: } 1,3514 \cdot 10^{-15} \pm 0,0989 \cdot 10^{-15}$$

$$\text{linear: } -0,3231 \pm 0,0597$$

Como esperado, o coeficiente angular é positivo e o linear negativo, de acordo com a equação 3.

Dessa forma podemos calcular a constante de Planck e a função trabalho para este caso:

$$h = 2,162 \cdot 10^{-34} \pm 0,158 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$W_0 = 5,169 \cdot 10^{-20} \pm 0,955 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

O valor obtido para  $h$  é cerca de 33% do valor esperado pela literatura. Já a função trabalho não temos um percentual exato por não sabermos de antemão o material usado, mas sabemos que no geral o valor de  $W_0$  é maior que o obtido.



Para o gráfico 4, o comportamento ainda aproxima-se do linear e, usando a equação 3, obtemos:

$$h = 2,8832 \cdot 10^{-34} \pm 0,936 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$w_0 = 5,7956 \cdot 10^{-20} \pm 0,936 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

O valor da constante de Planck obtido foi de 43,5% do valor esperado da literatura, que é  $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ , ou seja, é mais próximo do valor obtido no gráfico 3. A função trabalho continua próxima ao valor obtido pelo gráfico 3, menor que o esperado ao comparar com outros materiais de função trabalho já conhecidos.

A diferença dos valores encontrados em relação ao almejado pode estar na baixa precisão dos emissores de luz, tanto os LEDs quanto os filtros não ~~possa~~ emitem luz perfeitamente monocromática, e a banda de emissão ~~na~~ interfere nos resultados.

7) Com os resultados dos gráficos 1 e 2, vemos que os LEDs coloridos apresentaram um comportamento mais organizado, que se confirma no cálculo da constante de Planck, que apesar de distante do esperado, está na mesma ordem de grandeza e um pouco mais próximo do valor lido como correto.

8) Fototubos são sensores sensíveis a luz, transformando o estímulo luminoso em corrente elétrica. São tubos sob vácuo ou preenchidos com gás inerte, contendo materiais semicondutores dispostos paralelamente, atuando como cátodo e ânodo durante o efeito fotoelétrico.



Já as fotocélulas são componentes eletrônicos sensíveis a luz que de fato realizam a conversão da captação de luminosidade em corrente elétrica, como por exemplo os LDRs (Light Dependent Resistor).

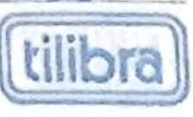
9) Os valores obtidos para função trabalho identificam o material sobre o qual a luz incide, porém essa característica foi percebida nos resultados com valores muito aquém do esperado, impossibilitando a conclusão sobre o material específico.

10) De acordo com a ordem dos potenciais de corte obtidos, sendo em cima os maiores e em baixo os menores, as cores, comprimentos de onda e potenciais  $V_c$ , estão na tabela 4 a seguir:

LED colorido			LED com filtro		
Cor	Tensão de corte	Comprimento de onda (nm)	Cor	Tensão de corte	Comprimento de onda (nm)
Branco	0,91	460	Branco/Filtro Ciano	0,94	460
Azul	0,88	460	Branco/Filtro Magenta	0,91	460
Violeta	0,86	396	Branco/Filtro Azul	0,90	460
Verde	0,76	558	Branco/Filtro Verde	0,72	537
Laranja	0,47	595	Branco/Filtro Laranja	0,70	556
Vermelho	0,35	653	Branco/Filtro Amarelo	0,66	541

Tabela 4: Comprimento de onda de cada cor ordenada de acordo com potencial de corte decrescente.

Vemos que de fato, em maior parte, a regra é respeitada, os menores comprimentos de onda são responsáveis pelos maiores potenciais





de corte. Há apenas uma excessão em cada conjunto, o led violeta e o filtro amarelo

11) Devemos sempre considerar o pico de maior intensidade, pois este será o pico responsável pela maior quantidade de fótons emitidos com certa frequência, capricando os valores e comportamento para a luz das monocromáticas de mesma frequência do pico.

### • Conclusão:

Durante a experiência, percebemos a ocorrência do efeito fotoelétrico e o comportamento do ~~aparelho~~ aparato experimental utilizado por Millik. O cálculo da constante de Planck e função trabalho, no entanto, não se mostrou muito satisfatório, mesmo com a ordem de grandeza adequada. Sendo assim, concluímos que o objetivo de aprendizagem foi concluído mesmo perante a dificuldades e limitações experimentais.

### • Referência

Eisberg, Resnick, "Física Quântica"  
Apostila de experimentos em física moderna (2016)