

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Wagner Dias Rocha

PRODUTO

**UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM EXPERIMENTAL PARA O
EFEITO FOTOELÉTRICO
CONSTRUINDO CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA COM
LEDS E OUTROS COMPONENTES DE BAIXO CUSTO**

Juiz de Fora
2018

Wagner Dias Rocha

UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM EXPERIMENTAL PARA O EFEITO
FOTOELÉTRICO
Construindo Conceitos de Física Moderna e Contemporânea com LEDs e Outros
Componentes de Baixo Custo.

Produto apresentado ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 - UFJF/IF-Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Bruno Gonçalves

Juiz de Fora
Agosto de 2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Rocha, Wagner Dias.

Uma proposta de abordagem experimental para o Efeito Fotoelétrico : Construindo conceitos de Física Moderna e Contemporânea com LEDs e outros componentes de baixo custo / Wagner Dias Rocha. -- 2018.

84 f. : il.

Orientador: Bruno Gonçalves

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.

1. Ensino de Física. 2. Abordagem Experimental. 3. Efeito Fotoelétrico. 4. LEDs. I. Gonçalves, Bruno, orient. II. Título.

Sumário

Introdução	4
Roteiro de Montagem do Kit Didático	5
Material Utilizado	5
Na Confeção da Base de Montagem e do Painel Lateral	5
Na Confeção do Circuito	5
Circuito Montado	6
Execução	6
1. Confeção da Base de Montagem	6
2. Soldagem dos Componentes (Parte I)	7
3. Confeção do Painel Lateral	9
4. Soldagem dos Componentes (Parte II)	10
5. Confeção dos Sensores de Luz	12
Roteiro de Execução da Atividade Experimental	13
Objetivo	13
Introdução	13
1ª Hipótese	13
2ª Hipótese	14
Validação Experimental	14
Execução	15
Questionamentos	16
Resultados Esperados	17
Dados Experimentais	17
Questionamentos	18
Referências Bibliográficas	19

**UMA PROPOSTA DE ABORDAGEM EXPERIMENTAL PARA O
EFEITO FOTOELÉTRICO**
**Construindo Conceitos de Física Moderna e Contemporânea com
LEDs e Outros Componentes de Baixo Custo**

Introdução

Prezado (a) Professor (a):

O produto educacional apresentado é um kit didático que consegue demonstrar experimentalmente a ocorrência (ou não) do efeito fotoelétrico em função da variação de intensidade e de frequência da luz incidente sobre um material receptor, fornecendo uma alternativa diferenciada para a construção do conhecimento dos alunos sobre o fenômeno.

Elaborado com LEDs e outros componentes de baixo custo presentes no cotidiano, é de fácil reprodução e operação, além de compacto o suficiente para viabilizar a execução de atividades experimentais em qualquer sala de aula, sendo assim muito útil principalmente para alunos e professores do Ensino Médio, os quais muitas vezes, não dispõem de laboratórios e equipamentos, seja pela restrição de acesso ou até mesmo pela inexistência destes.

A fim de torná-lo acessível aos professores de Física interessados na sua utilização, esse apêndice traz dois roteiros, sendo que um descreve passo a passo a montagem do kit e o outro dá suporte à execução da atividade experimental proposta. Como referência para comparação, segue junto uma descrição dos resultados esperados nessa execução.

Por fim, vale ressaltar que o produto é fruto de uma pesquisa desenvolvida no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – polo 24 – UFJF / IF Sudeste MG e, portanto, seus autores devem ser citados em qualquer ato de reprodução ou de aplicação do kit didático.

Por:

Wagner Dias Rocha

Bruno Gonçalves

Roteiro de Montagem do Kit Didático

Material Utilizado

Na Confeção da Base de Montagem e do Pannel Lateral

- 01 placa de madeira, MDF ou similar de 12,0cm x 7,5cm x 2,0cm (C x L x A);
- 01 placa de madeira, MDF ou similar de 7,5cm x 6,0cm x 0,3cm (C x L x A);
- 23 pregos 10 x 7;
- 01 lápis preto;
- 01 régua de 30 cm;
- 01 martelo;
- 01 furadeira;
- 01 broca de 5 mm;
- 01 broca de 6 mm.

Na Confeção do Circuito

- 01 resistor de $4,7k\Omega$ x 1/4 W x 5% (faixas: amarelo, violeta, vermelho, ouro);
- 04 resistores de 470Ω x 1/4 W x 5% (faixas: amarelo, violeta, marrom, ouro);
- 01 capacitor de poliéster de 68nF x 250V;
- 01 LED branco de alto brilho 5 mm;
- 01 LED vermelho de alto brilho 5 mm;
- 02 LEDs verdes de alto brilho 5 mm;
- 02 LEDs azuis de alto brilho 5 mm;
- 01 transistor NPN BC 548;
- 01 potenciômetro de $10k\Omega$ linear (preferencialmente) ou logarítmico;
- 01 chave HH tipo alavanca de 03 posições;
- 03 plugues chicote de engate rápido com 02 vias;
- 01 knob;
- Cabinho flexível $0,75\text{ mm}^2$;
- 01 fonte de 5V x 500mA (ou um carregador de celular mais antigo);
- 01 bateria CR 2032 (3V);
- 01 alicate de corte pequeno;
- 01 ferro de solda de 40 W;
- Solda para eletrônica.

Circuito Montado

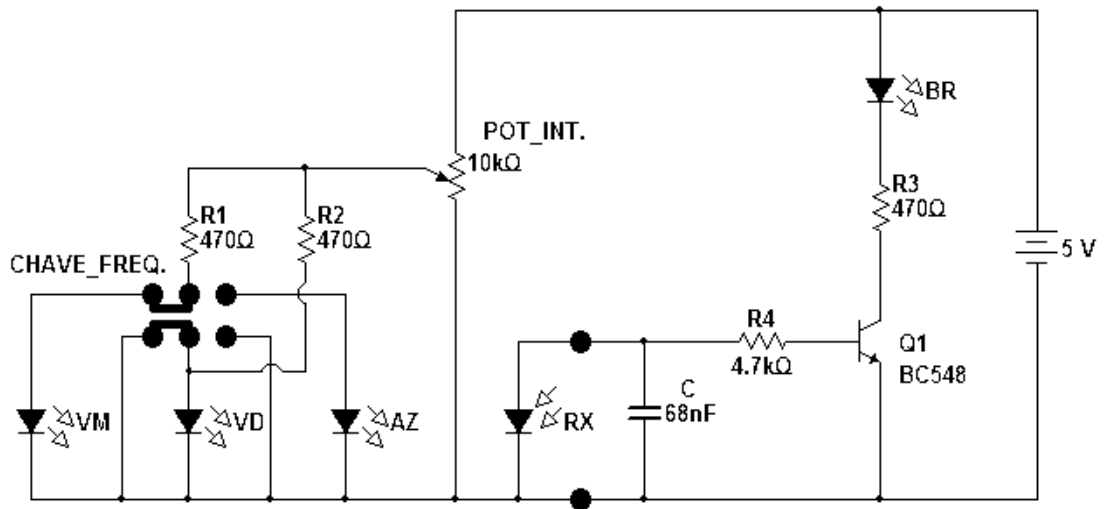


Figura 1: Diagrama Esquemático do Circuito a ser Montado

Execução

1. Confeção da Base de Montagem

Pegue a placa de madeira de 12,0 cm x 7,5 cm x 2,0 cm. Utilizando o lápis e a régua, faça a marcação dos locais de fixação dos pregos e identifique as colunas (de 1 a 5) e as linhas (de A à D), conforme mostrado no esquema da Figura 2. Com o martelo, realize a fixação dos pregos nos locais marcados, não se esquecendo de deixar aproximadamente 1 cm destes para fora da madeira. O resultado constitui a base de montagem para o circuito.

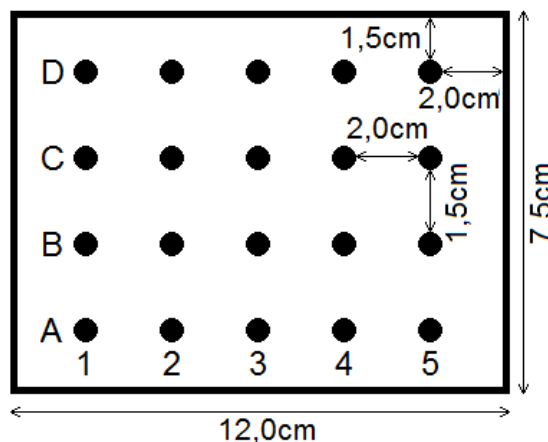


Figura 2: Locais de Fixação dos Pregos na Base de Madeira

2. Soldagem dos Componentes (Parte I)

Ligue o ferro de solda e espere alguns minutos até que ele esquente. Se for o primeiro uso, derreta um pouco de solda na ponta do ferro para estanhá-la. Limpe o excesso. Comece soldando os 03 resistores de 470Ω entre as posições C1 e D1, C2 e D2, C3 e C4, e o resistor de $4,7k\Omega$ entre as posições B5 e C5 (Dica: Ao iniciar a soldagem, tente encostar simultaneamente o ferro e a solda no conjunto a ser soldado. Ao terminar, tente retirá-los do local também simultaneamente. A solda bem feita fica com um aspecto brilhoso). O resultado é apresentado na Figura 3.

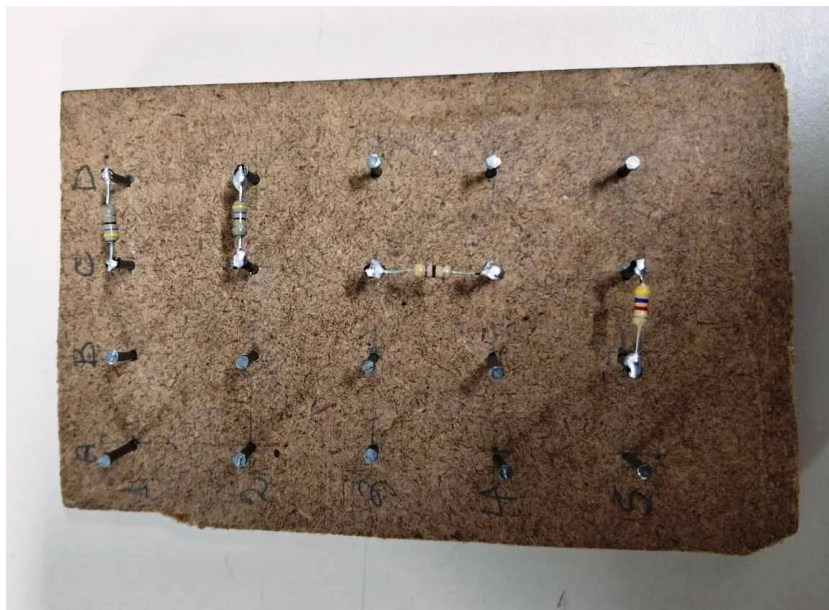


Figura 3: Resultado da Soldagem dos Resistores

A seguir, com o auxílio da Figura 4, identifique os terminais dos LEDs. Para descobrir a cor de cada LED, basta testá-lo encostando simultaneamente o anodo no polo positivo e o catodo no polo negativo da bateria CR2032.

Pegue o LED vermelho. Solde seu anodo na posição B2 e seu catodo na posição A2. Pegue um dos LEDs verdes. Solde seu anodo na posição B3 e seu catodo na posição A3. Pegue um dos LEDs azuis. Solde seu anodo na posição B4 e seu catodo na posição A4. Pegue o LED branco. Solde seu anodo na posição D3 e seu catodo na posição C3.

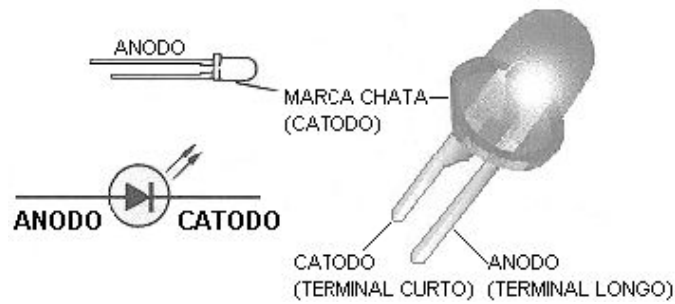


Figura 4: Identificação dos Terminais dos LEDs
Fonte: [Burgos – LED 2018]

Com o auxílio da Figura 5, identifique os terminais do transistor. Solde seu coletor na posição C4, sua base na posição C5 e seu emissor na posição D5. Concluindo essa etapa, solde o capacitor entre as posições A5 e B5. O resultado é apresentado na Figura 6.

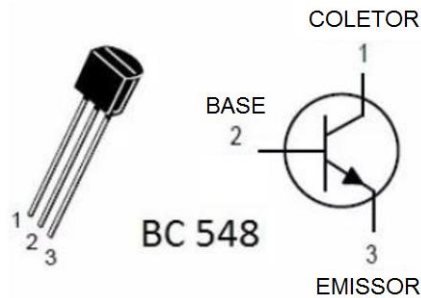


Figura 5: Identificação dos Terminais do Transistor BC 548
Fonte: Editado de [Piauino – BC548 2018]



Figura 6: Resultado da Soldagem de Componentes na Base de Montagem

3. Confeção do Painel Lateral

Pegue a placa de madeira de 7,5 cm x 6,0 cm x 0,3 cm. Utilizando o lápis e a régua, faça a marcação dos locais onde serão feitos os furos para a instalação do potenciômetro e da chave HH e dos locais onde entrarão os pregos de fixação da placa na base de montagem. Essa marcação é mostrada no esquema da Figura 7. Utilizando a furadeira, faça o furo da esquerda com a broca de 6 mm e o furo da direita com a broca de 5 mm. Pregue a placa na base de montagem e encaixe o potenciômetro e a chave HH conforme mostrado na Figura 8. Encaixe o knob no potenciômetro. O resultado é o painel lateral do kit didático.

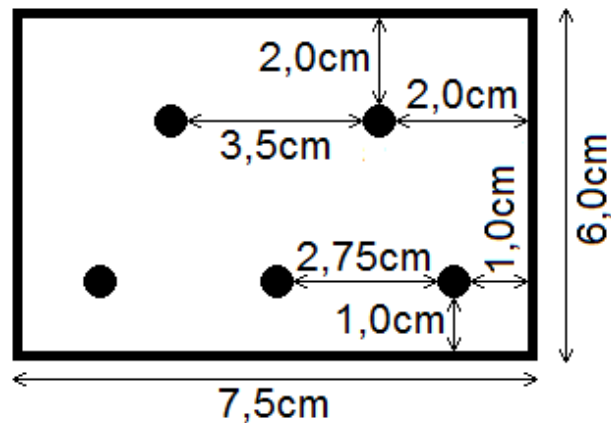


Figura 7: Locais de Furação e Fixação do Painel Lateral

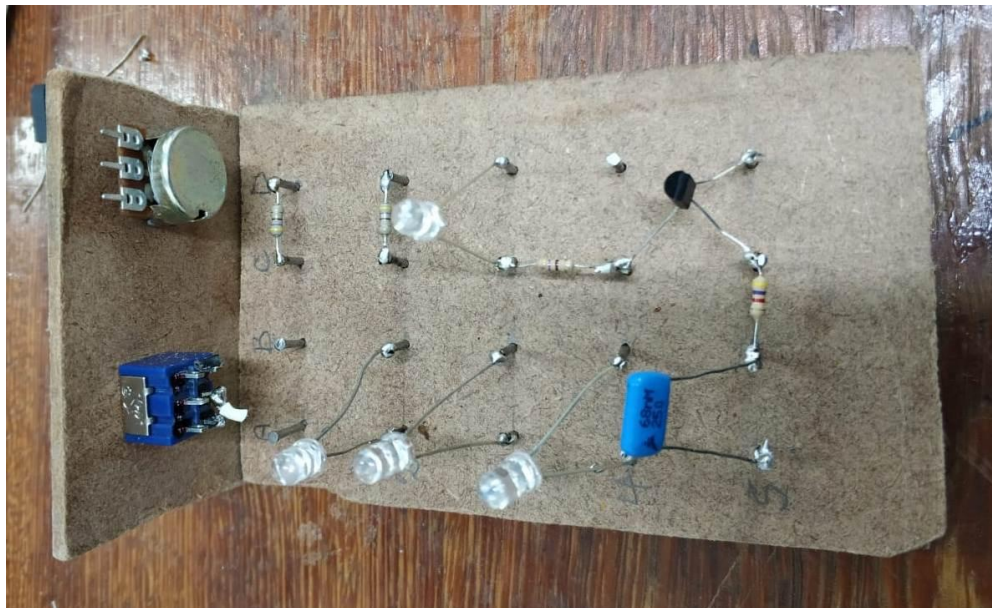


Figura 8: Resultado da Montagem do Painel Lateral

4. Soldagem dos Componentes (Parte II)

Solde os condutores necessários, começando pelas conexões do potenciômetro, conforme apresentado na Figura 9. Prossiga conforme apresentado nas Figuras 10 e 11. Utilize o alicate para cortar e desencapar o cabo flexível de acordo com a necessidade.



Figura 9: Soldagem dos Condutores Necessários (Parte I)

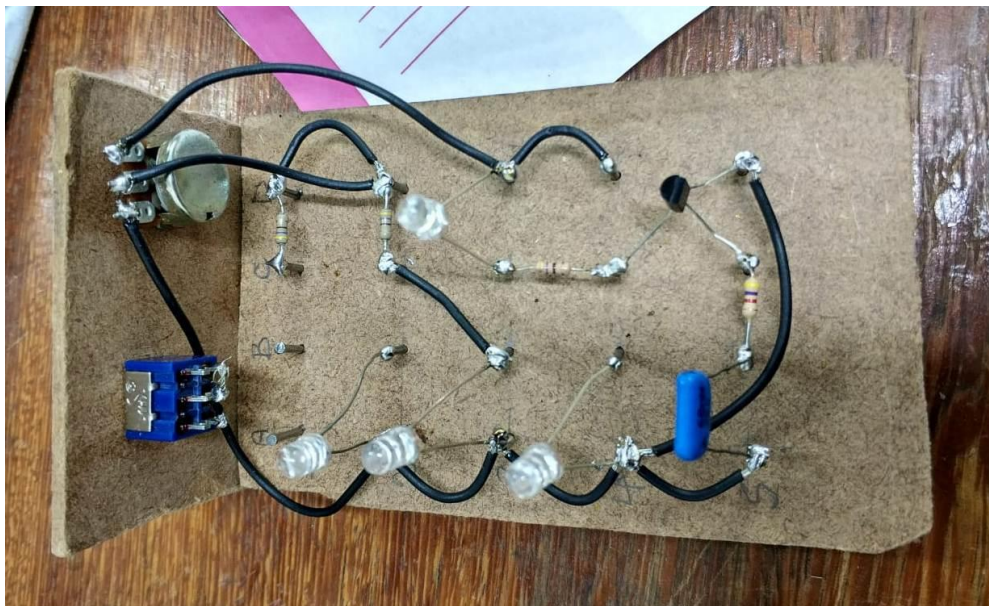


Figura 10: Soldagem dos Condutores Necessários (Parte II)



Figura 11: Soldagem dos Condutores Necessários (Parte III)

Pegue um plugue chicote. Solde o condutor correspondente à conexão macho na posição B5 e o correspondente à conexão fêmea na posição A5. Dessa forma o plugue ficará conectado paralelamente ao capacitor. Pegue a fonte. Solde seu terminal positivo na posição D4 e seu terminal negativo na posição A5. O resultado final da montagem do kit didático é apresentado na Figura 12.

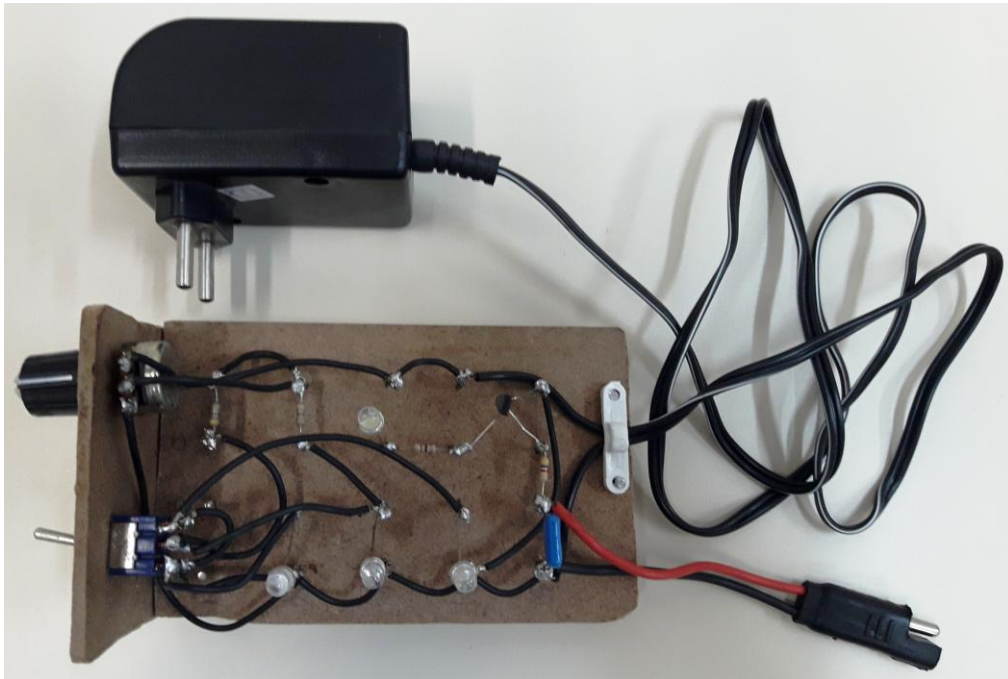


Figura 12: Resultado Final da Confeção do Kit Didático

5. Confeção dos Sensores de Luz

Pegue os plugues chicote e os LEDs restantes. Para cada plugue chicote, solde o condutor correspondente à conexão fêmea no anodo e o condutor correspondente à conexão macho no catodo de um dos LEDs. A seguir, faça o acabamento em fita isolante dos dois sensores montados, conforme mostrado na Figura 13.



Figura 13: Sensores de Luz Confeccionados

Roteiro de Execução da Atividade Experimental

Objetivo

Verificar a influência da intensidade e da frequência da luz na ocorrência do Efeito Fotoelétrico.

Introdução

Efeito Fotoelétrico é o nome atribuído à ejeção de elétrons que ocorre em um material, geralmente condutor, quando este é iluminado. Pode ser explicado a partir da transferência de energia que ocorre entre a luz incidente e os elétrons arrancados do material. Considerando-se que uma fonte luminosa pode ter seu brilho ajustado pela variação de intensidade e sua cor pela variação de frequência, duas hipóteses podem ser formuladas para descrever o processo:

1ª Hipótese

A quantidade de energia transferida para cada elétron arrancado é proporcional à intensidade da luz incidente. Esse é o resultado esperado quando se considera que a luz é uma onda eletromagnética. Pelo princípio da conservação de energia,

$$\mathcal{E}_{\text{luz}} = W + \frac{m v^2}{2}, \quad (1)$$

$$\alpha I = \alpha I_0 + \frac{m v^2}{2}, \quad (2)$$

$$\frac{m v^2}{2} = \alpha (I - I_0), \quad (3)$$

onde \mathcal{E}_{luz} é a quantidade de energia transferida, W é quantidade de energia necessária para romper a ligação de cada elétron à estrutura do material iluminado (função trabalho), $\frac{m v^2}{2}$ é a energia cinética de cada elétron arrancado, I é

a intensidade da luz incidente, I_0 é a intensidade mínima exigida (valor de corte) e α é uma constante de proporcionalidade. Vale ressaltar que (1) é válida para cada elétron e (2) e (3) representam sua generalização para o material.

2ª Hipótese

A quantidade de energia transferida para cada elétron arrancado é proporcional à frequência. Esse resultado é diferente do esperado quando se considera que a luz é uma onda eletromagnética. Novamente, pelo princípio da conservação de energia,

$$\mathcal{E}_{\text{luz}} = W + \frac{m v^2}{2}, \quad (4)$$

$$\alpha f = \alpha f_0 + \frac{m v^2}{2}, \quad (5)$$

$$\frac{m v^2}{2} = \alpha (f - f_0), \quad (6)$$

onde \mathcal{E}_{luz} é a quantidade de energia transferida, W é quantidade de energia necessária para romper a ligação de cada elétron à estrutura do material iluminado (função trabalho), $\frac{m v^2}{2}$ é a energia cinética de cada elétron arrancado, f é a frequência da luz incidente, f_0 é a frequência mínima exigida (valor de corte) e α é uma constante de proporcionalidade. Vale ressaltar que (4) é válida para cada elétron e (5) e (6) representam sua generalização para o material.

Validação Experimental

Com hipóteses estabelecidas, o próximo passo é definir uma forma de testar sua validade. Nesse sentido, sabendo-se que materiais semicondutores emissores de luz como os LEDs podem também ser utilizados como receptores, apresentando um comportamento análogo ao dos materiais submetidos ao efeito fotoelétrico, essa questão pode ser solucionada experimentalmente, utilizando um kit didático de baixo custo que disponibiliza como fonte luminosa um conjunto formado

por três LEDs – um vermelho, um verde e um azul. Cada LED pode ser aceso individualmente e ter seu brilho ajustado, permitindo assim ao usuário variar a frequência e a intensidade da luz emitida. Como materiais receptores, são disponibilizados dois LEDs – um verde e um azul – inseridos em estruturas que permitem posicioná-los adequadamente em relação à fonte luminosa e realizar sua rápida conexão ou desconexão do kit. Dessa forma, dois valores distintos de função trabalho (ou barreira de potencial) podem ser testados. Um LED branco, ao acender, sinaliza a ocorrência do efeito fotoelétrico e, pelo brilho que apresenta, demonstra a maior ou menor ocorrência do fenômeno.

Execução

Pegue o kit didático apresentado e fornecido pelo professor, ligue na tomada e verifique se um dos LEDs emissores acende. Caso isso não aconteça, peça ajuda ao professor. Atue na chave seletora de frequência até acender o LED emissor vermelho. Atue no potenciômetro de intensidade até que a luz emitida apresente pouco brilho. Conecte o LED receptor verde ao kit e alinhe-o com o LED emissor vermelho, conforme é apresentado na Figura 1. Observe o comportamento do LED branco. Mantendo essa configuração, aumente o brilho da luz emitida ao máximo e observe o comportamento do LED branco durante esta ação. Repita o mesmo procedimento para os LEDs emissores verde e azul. Preencha a Tabela 1 com os comportamentos apresentados pelo LED branco em cada situação. (*Obs.: Cada campo da Tabela 1 deve ser preenchido com um dos comportamentos apresentados na Tabela 2).*



Figura 1: Alinhamento do LED Receptor com o LED Emissor.

Tabela 1: Comportamentos do LED Branco para o LED Receptor Verde

Intensidade (Brilho)	Frequência (Cor) do LED Emissor		
	Vermelho	Verde	Azul
Baixa			
Alta			

Tabela 2: Comportamentos Esperados para o LED Branco

Apagado	Aceso com Pouco Brilho	Aceso com Brilho Razoável	Aceso com Muito Brilho
---------	------------------------	---------------------------	------------------------

A seguir, desconecte o LED receptor verde e conecte o LED receptor azul ao kit. Repita todos os procedimentos realizados anteriormente e preencha a Tabela 3 com os comportamentos apresentados pelo LED branco. (*Obs.: Cada campo da Tabela 3 deve ser preenchido com um dos comportamentos apresentados na Tabela 2).*

Tabela 3: Comportamentos do LED Branco para o LED Receptor Azul

Intensidade (Brilho)	Frequência (Cor) do LED Emissor		
	Vermelho	Verde	Azul
Baixa			
Alta			

Com base nos resultados encontrados, responda aos questionamentos propostos.

Questionamentos

1. Qual é a grandeza que influencia na quantidade de energia fornecida pela luz, ou seja, determina a ocorrência do efeito fotoelétrico: intensidade ou frequência? Como você chegou a essa conclusão?
2. Qual é a influência da grandeza descartada na resposta anterior sobre o efeito fotoelétrico? Como você chegou a essa conclusão?

Resultados Esperados

Dados Experimentais

Espera-se que as Tabelas 1 e 3 do **Roteiro de Execução da Atividade Experimental** sejam preenchidas de forma aproximada à apresentada, respectivamente, pelas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Valores Esperados na Tabela 1 do Roteiro de Execução da Atividade Experimental

Intensidade (Brilho)	Frequência (Cor) do LED Emissor		
	Vermelho	Verde	Azul
Baixa	Apagado	Aceso com Pouco Brilho	Aceso com Brilho Razoável
Alta	Apagado	Aceso com Brilho Razoável	Aceso com Muito Brilho

Tabela 5: Valores Esperados na Tabela 3 do Roteiro de Execução da Atividade Experimental

Intensidade (Brilho)	Frequência (Cor) do LED Emissor		
	Vermelho	Verde	Azul
Baixa	Apagado	Apagado	Aceso com Pouco Brilho
Alta	Apagado	Apagado	Aceso com Brilho Razoável

Questionamentos

Espera-se que os questionamentos feitos no final do **Roteiro de Execução da Atividade Experimental** sejam respondidos de forma aproximada à apresentada a seguir:

1. Qual é a grandeza que influencia na quantidade de energia fornecida pela luz, ou seja, determina a ocorrência do efeito fotoelétrico: intensidade ou frequência? Como você chegou a essa conclusão?

Resposta: A frequência da luz incidente. Utilizando o LED receptor verde, o LED branco acende somente quando incide uma luz verde ou azul sobre o receptor. Já utilizando o LED receptor azul, esse fato ocorre somente quando incide uma luz azul sobre o receptor. Em ambos os casos, a incidência de luz vermelha com qualquer intensidade mantém o LED branco apagado. Logo, existe uma frequência mínima (frequência de corte) exigida para haver a ocorrência do fenômeno, a qual deve ter valor maior ou igual ao da frequência correspondente à cor do LED receptor utilizado.

2. Qual é a influência da grandeza descartada na resposta anterior sobre o efeito fotoelétrico? Como você chegou a essa conclusão?

Resposta: A intensidade da luz incidente determina a maior ou a menor ocorrência do fenômeno, desde que a respectiva frequência seja maior ou igual à frequência de corte. Para ambos os LEDs receptores, o LED branco acende com maior ou menor brilho, dependendo da intensidade da luz incidente, desde que ela seja verde ou azul.

Referências Bibliográficas

- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; SOUZA, D. F.; MUZINATTI, J. Uma Aula sobre o Efeito Fotoelétrico. *Física na Escola*, v. 6, n. 1, p. 24-29, 2002.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; HAAG, R. Experiências em Física Moderna. *Física na Escola*, v. 6, n. 1, p. 75-82, 2005.
- CAVALCANTE, M. A.; HAAG, R. Corpo Negro e Determinação Experimental da Constante de Planck. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 3, p. 343-348, 2005.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Física Moderna Experimental, 3ª Edição. Barueri, SP: Manole, 2011.
- GUALTER J. B.; NEWTON V. B.; R. HELOU D. Física 3, 2ª Edição. São Paulo: Saraiva, 2013.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. Física 3, 4ª Edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996.
- HEIDERMAN L. A.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Atividades Experimentais com Enfoque no Processo de Modelagem Científica: Uma Alternativa para a Ressignificação das Aulas de Laboratório em Cursos de Graduação em Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 38, n. 1, p. 1504.1-1504.15, 2016.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. Curso de Física Volume 3. São Paulo: Scipione, 2010.
- McROBERTS, M. Arduino Básico. Tradução: Rafael Zanolli. São Paulo: Novatec, 2011.
- MOURA, S. L.; DA SILVA, F. I.; DA SILVA, F. C. M.; DOS SANTOS, J. A. V. Constante de Planck: Uma Nova Visão para o Ensino Médio. *Revista Química Nova na Escola*, v. 33, n. 4, p. 246-251, 2011.
- ORTH, A. C. A importância das Aulas Experimentais na Construção e Interpretação de Conceitos Físicos. *Ágora Revista Eletrônica*, a. XII, n. 23, p. 24-30, 2016.
- RAMALHO JR, F.; NICOLAU G. F.; TOLEDO S., P. A. Os Fundamentos da Física Vol. 3. Rio de Janeiro: Moderna, n/d.
- SALVETTI, A. R. A História da Luz, 2ª Edição Revisada. São Paulo: Livraria da Física, 2008.
- SILVA, L F. Física Moderna no Ensino Médio: Um Experimento para Abordar o Efeito Fotoelétrico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 2, p. 313-324, 2012.
- TIPLER, P. A. Física Volume 4, Ótica e Física Moderna, 3ª Edição. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1995.
- VALADARES, E. C.; MOREIRA A. M. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 15, n. 2, p. 359-372, 1998.
- [Bóson – PWM 2018] *Bóson Treinamentos: O que é PWM?* Disponível em <<http://www.bosontreinamentos.com.br/eletronica/curso-de-eletronica/curso-de-eletronica-o-que-e-pwm-pulse-width-modulation/>>. Acesso em março de 2018.

- [Burgos – LED 2018] *Burgos Eletrônica: LED*. Disponível em <<https://www.burgoseletronica.net/led/>>. Acesso em julho de 2018.
- [Citissystems – PWM 2017] *Citissystems: O que é PWM e para que serve?* Disponível em <<https://www.citissystems.com.br/pwm/>>. Acesso em novembro de 2017.
- [Components101 – LDR 2018] *Components101: LDR datasheet*. Disponível em <<https://components101.com/ldr-datasheet>>. Acesso em março de 2018.
- [EAD – Aula-4 2018] *Ensino à Distância: Aula 04*. Disponível em <<http://www.ensinoadistancia.pro.br/EaD/QG/aula-4/aula-4.html>>. Acesso em julho de 2018.
- [InfoEscola – Espectro 2018] *Info Escola: Espectro Eletromagnético*. Disponível em <<https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>>. Acesso em maio de 2018.
- [Iotguider – ArduinoIDE 2018] *Iotguider: Serial Monitor of Temperature Sensor*. Disponível em <<https://iotguider.in/arduino/temperature-sensor-arduino/attachment/serial-monitor-of-temperature-sensor/>>. Acesso em julho de 2018.
- [FisTec&Ensino – Fotoelétrico 2018] *Física, Tecnologias, Mídia e Educação: Simulação do Efeito Fotoelétrico*. Disponível em <<https://fisicatecnologiaeensino.wordpress.com/2012/04/26/simulcao-do-efeito-fotoeletrico/>>. Acesso em julho de 2018.
- [Natalmakers – UNO 2018] *Natalmakers: Conhecendo as Partes do Arduino UNO*. Disponível em <<http://www.natalmakers.com/dispositivo-conhecendo-as-partes-do-arduino-uno/>>. Acesso em julho de 2018.
- [Ondas – Eletromag 2018] *Ondas Eletromagnéticas*. Disponível em <<asondaseletromag.blogspot.com/2012/11/>>. Acesso em maio de 2018.
- [Pandora – RGB 2018] *Pandora Lab.: Diversão com um LED RGB*. Disponível em <<https://pandalab.com.br/aprenda/tutorial-diversao-com-um-led-rgb/>>. Acesso em março de 2018.
- [PBX – Pré Quântica 2018] *PBX: Física Quântica*. Disponível em <<http://www.pbx-brasil.com/FisQuan/Notas/Area01/semana020/antecedentes2.html>>. Acesso em julho de 2018.
- [PHET – Photoelectric 2018] *PHET: Efeito Fotoelétrico*. Disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric>. Acesso em julho de 2018.
- [Piauino – BC548 2018] *Piauino: Transistor NPN BC548*. Disponível em <<http://www.piauino.com.br/pd-44ad22-transistor-npn-bc548.html>>. Acesso em julho de 2018.
- [Yourduino – Photoresistor 2018] *Yourduino: Photoresistor 5516 datasheet*. Disponível em <<http://yourduino.com/docs/Photoresistor-5516-datasheet.pdf>>. Acesso em março de 2018.
- [Youtube – Efeito Fotoelétrico 2018] *Youtube: Efeito Fotoelétrico*. Disponível em <<https://youtu.be/G6YfSsrOewI>>. Acesso em julho de 2018.

[Youtube – Experiência Hertz 2018] *Youtube: Experiência de Hertz*. Disponível em <<https://youtu.be/UYJSv5aJkQ>>. Acesso em julho de 2018.