

DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE DE PLANK UTILIZANDO LEDs

Samantha de Jesus Ramos¹

Thais Santos da Silva²

Wagner Costa Botelho³

Luis Fernando Quintino⁴

RESUMO: Este artigo tem como objetivo determinar a constante de Planck através de tensões em função de frequências distintas, que conseqüentemente fornecem coeficientes angulares, permitindo a obtenção de números aproximados da mesma. Os dados foram retirados, à temperatura ambiente, de um circuito desenvolvido numa protoboard com Lidas (amarelo, azul e vermelho), potenciômetro, multímetro, resistores e uma fonte, fornecendo respectivas correntes e os momentos em que os fótons são liberados e a energia quantificada.

Palavras-chave: Constante de Planck; Coeficientes angulares; LEDs; Energia

ABSTRACT: The objective of this article is to determine the Planck constant through stresses as a function of different frequencies, which consequently provide angular coefficients, allowing approximate numbers to be obtained. The data were collected at room temperature from a circuit developed in a prototype with Lids (yellow, blue and red), potentiometer, multimeter, resistors and a source, providing respective currents and moments at which the photons are released and the energy quantified.

Keywords: Planck constant; Angular coefficients; LEDs; Energy

1. INTRODUÇÃO

Com dificuldades encontradas para esclarecer a distribuição de energia da quantidade de energia (luz) irradiada por um elemento ideal, foram necessários estudos e experimentos detalhados que mudaram pontos de vista presentes na física clássica. Pelas teorias quântica e da relatividade houve um impulso no surgimento da Física moderna atual.

Max Planck, precursor das teorias quânticas constatou que a luz é constituída de partículas, e estas partículas transportam energias em fragmentos a qual ele chamou de "pacotes de energia", porém esses "pacotes de energia" dependem da frequência da luz para serem menores ou maiores. Relacionando a energia com a frequência obteve-se a Constante de Planck.

¹ Graduanda em Eng. Produção Uni-Drummond*. samy_ramos@live.com

² Graduanda em Eng. Produção Uni-Drummond*. thais.eng23@hotmail.com

⁴ Prof. do curso de Eng. Produção Uni-Drummond*. wagner_botelho@terra.com.br

⁴ Prof. Do curso de Eng. Produção Uni-Drummond*. luis.quintino@drummond.com.br

*Centro Universitário Carlos Drummond de Andrade

Este artigo tem como objetivo determinar a Constante de Planck através da utilização de um circuito básico usando um diodo emissor de luz ou LED (*Light Emitting Diode*).

Para se entender o funcionamento de um LED, primeiramente é necessário compreender o conceito de diodo (ACORONI, 2013).

Para o fabricante, a empresa *Uniled Componentes Optoeletrônicos Ltda.*, a definição do termo LED, vem do termo em inglês *Light Emitter Diode*, traduzido como Diodo Emissor de Luz. É um componente eletrônico semicondutor, de mesma tecnologia utilizada nos chips dos computadores, que possuem a capacidade de transformar energia elétrica em luz. Essa transformação é diferente da encontrada nas lâmpadas convencionais que utilizam filamentos metálicos, radiação ultravioleta e descarga de gases, dentre outras. O LED é um componente do tipo bipolar, com dois terminais chamados de anodo e catodo, positivo e negativo, respectivamente. Dependendo de como for polarizado, permite ou não a passagem de corrente elétrica e, conseqüentemente, a geração ou não de luz (CARVALHO, 2013).

Segundo Lima (2017), o diodo emissor de luz ou LED é um dispositivo semicondutor que emite luz através do princípio da eletroluminescência. Esse semicondutor denominado LED vem ganhando terreno no mercado de energia luminosa (SALVATERRA, 2016).

Para Deivison (2014), a utilização de materiais semicondutores como o LED para gerar luz se apresenta pela recombinação de elétrons e lacunas em excesso que são produzidos por injeção decorrente com pequenas perdas de energia.

A determinação da constante de Planck a partir da luminosidade de um LED é um método bem conhecido, onde se determina a partir de informações relativas à curva característica do LED. Um diodo emissor de luz consiste em uma junção entre semicondutores fortemente dopados. Ao polarizar diretamente essa junção o diodo começara a conduzir, isto é, a corrente elétrica obtida aumenta com a tensão aplicada. Dessa forma, os elétrons de condução ganham energia suficiente para vencer a barreira de potencial e caminham da junção *n* para a região *p*. Quando o elétron passar para a região *p* pode-se ter uma recombinação entre elétrons e buracos *e*, como consequência, para cada transição teremos o envio de um fóton com energia $h\nu$ (CAVALCANTE^b, 2005).

A partir do circuito desenvolvido foi possível levantar os parâmetros necessários para se obter a constante de Planck de forma “caseira”.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este tópico tem como objetivo dar ao leitor um breve embasamento teórico para posterior entendimento dos princípios abordados na realização do experimento.

2.1 Constante de Planck

O Max Planck (1858-1947), em 1918 é premiado como Nobel em Física, face as suas pesquisas sobre as teorias quânticas, ao propor a seguinte teoria: “A radiação é absorvida ou emitida por um corpo aquecido não sob a forma de ondas, mas por meio de pequenos ‘pacotes’ de energia”. Ele começou a estudar a radiação do corpo negro em 1897 (HEWITT, 2011, p.553).

Na busca do entendimento sobre a natureza da luz, James Clerk Maxwell (1831-1879), pesquisador escocês, propõe sua teoria para a luz composta de ondas

eletromagnéticas. Essa teoria elucida diversas dúvidas sobre a luz, porém não elucida questões como o porquê alguns objetos emitiam cores quando esquentados (corpo negro) (FOGAÇA, 2014).

Os cientistas procuravam elucidar as leis da radiação do corpo negro, no entanto as informações geradas das experiências eram contrárias a teoria da ondulatória de Maxwell, onde essa questão passou a ser conhecida pelo nome de catástrofe do ultravioleta. A Física proferia que para todo corpo negro a alguma temperatura diferente de zero, emitiria radiação ultravioleta intensa, isso significa que aquecer um objeto levaria a uma destruição do seu entorno pela emissão de radiações de altas frequências (FOGAÇA, 2014).

Segundo SERWAY e JEWETT (2014), “*Em 1900, Max Planck desenvolveu um modelo estrutural para a radiação do corpo negro que leva a uma equação teórica para a distribuição de comprimento de onda que está completamente de acordo com os resultados experimentais em todos os comprimentos de onda*”. O modelo de Planck pode ser descrito da seguinte maneira:

- Componentes físicos do sistema: Planck identificou a radiação de corpo negro como resultante de osciladores, relacionada com as partículas carregadas dentro das moléculas do corpo negro.
- Local onde os componentes estão localizados em relação um ao outro e como interagem: Os osciladores que emitem radiação de corpo negro observável estão localizados na superfície do corpo negro. A energia do oscilador é quantizada, ou seja, ela só pode ter determinadas quantidades discretas de energia (E_n), dada por:

$$E_n = n \cdot h \cdot f \quad (1)$$

Onde:

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s (Constante de Planck);

f = frequência do oscilador;

n = um número inteiro positivo chamado de número quântico.

Como energia de cada oscilador pode ter apenas valores discretos dada pela equação 1 pode-se dizer que a energia é quantizada. Cada valor discreto corresponde a um estado quântico. Onde o oscilador só irradia ou absorve energia quando muda de estado quântico.

- Uma descrição da evolução do sistema no tempo: Toda a diferença de energia entre os estados inicial e final na transição é emitida por um único quantum de radiação (E). A equação 2 mostra que a quantidade de energia irradiada pelo oscilador é:

$$E = h \cdot f \quad (2)$$

Segundo SERWAY e JEWETT (2014), o ponto chave na teoria de Planck é a radical suposição de estados de energia quantizadas.

Um quantum é a menor unidade elementar de uma grandeza. A energia radiante, por exemplo, é composta por muitos quanta, cada qual chamado de fóton posteriormente por Einstein. Portanto, quanto mais fótons houver no feixe, mais energia ele conterà (HEWITT, 2011, p. 556).

Esta função inclui o parâmetro h , que Planck ajustou de modo que sua curva corresponda aos dados experimentais em todos os comprimentos de onda. O valor é encontrado como sendo independente do material (k) de que o corpo negro é feito e

da temperatura (T), se tornando uma constante fundamental da natureza (SERWAY e JEWETT JR, 2014).

2.2 Lei de Ohm

George Simon Ohm foi estudante da Universidade de Erlangen, tornando-se professor em 1813 (HALLIDAY, 1998).

Ohm dedicou seus estudos para os casos da área do eletro cinética, o que proporcionou a ele o destaque de suas pesquisas, Ohm fez estudos sobre o movimento das correntes elétricas. Em 1827 publicou um estudo sobre a corrente galvânica, esclarecendo as contradições existentes quanto a eletricidade térmica e a galvânica, assim como sobre as suas intensidades e quantidades que se resumem na Leis de Ohm.

Ohm quando destaca sua lei da intensidade da corrente elétrica que passa por um condutor elétrico, como sendo esta diretamente proporcional à força f.e.m. (força eletro- motriz) e inversamente proporcional a sua resistência elétrica, refere-se às correntes chamadas de estacionárias.

A lei de Ohm agrega num circuito elétrico: a f.e.m. total - E, a intensidade de corrente elétrica (I) e a total resistência do circuito - R, abrangendo a resistência do gerador elétrico, sendo essa interna.

A Lei de Ohm mostra a relação geral e suas deduções deste modo para que seja possível calcular-se a força Eletromotriz, intensidade de corrente e Resistência total do circuito. A equação que determina a lei de Ohm é:

$$I = E / R \quad (3)$$

Ohm, com sua lei aponta para a perda de resistência ôhmica, consumo de energia com o calor (d.d.p. - diferença de potencial) produzida pelo movimento dos elétrons pela resistência elétrica. Essa perda é representada por:

$$V = R.I \quad (4)$$

Sendo:

V: Tensão;

R: Resistência;

I: intensidade da corrente.

Cavalcanti (2012) afirma que: “Se mantivermos constante a resistência elétrica, a intensidade da corrente aumentará se a tensão aumentar, e diminuirá se a tensão diminuir. Se a tensão for mantida constante, a intensidade da corrente decrescerá se a resistência aumentar [...]”. Ou seja, segundo esse autor resistência elétrica e a tensão, ou diferença de potencial, são os fatores que alteram a intensidade de corrente elétrica por assim izer.

Por fim à cerca deste assunto é válido salientar que não se deve presumir, ao observar às fórmulas da Lei de Ohm, que a resistência elétrica de um circuito é proporcional a d.d.p. e inversamente proporcional à corrente elétrica, logo que a resistência depende exclusivamente das características físicas apresentadas pela mesma.

3. METODOLOGIA

Este tópico apresenta a parte experimental deste artigo. Como ponto de partida serão pontuados os materiais utilizados e introduzidos os componentes eletrônicos utilizados para amostra real e comprobatória da constante de Planck.

3.1 Materiais

- 1 – Bateria 9 V;
- 1 – Conector de Bateria;
- 3 – LEDs (azul, amarelo e vermelho);
- 1 – Potenciômetro 10k Ω ;
- 1 – Protoboard;
- 3 – Resistores de 1k Ω ;
- 1 – Espectroscópio Caseiro;
- 1 – Ferro de Solda;
- 1 – Multímetro;

3.1.1 Componentes Eletrônicos e Equipamentos

Serão apresentados os conceitos do componente eletrônicos e equipamentos principais necessários para a realização do experimento:

3.1.1.1 LED

O LED apresenta as seguintes vantagens:

- Pequena tensão de alimentação e baixo consumo;
- Tamanho reduzido;
- Nenhum aquecimento;
- Alta resistência a vibrações;
- Grande durabilidade;

Quando o LED é polarizado diretamente, ele entra em condução e permite a circulação de corrente que se processa pela liberação dos portadores livres nas estruturas dos cristais. Com o deslocamento desses portadores da banda de condução provoca-se a emissão de fótons em forma de luz. Esse efeito ocorre quando o tamanho da banda proibida (região da ligação covalente entre uma camada de valência e outra, na qual não há elétrons livres) é igual ao comprimento de onda (λ) da luz emitida (SENAI-SP, 2003, p.105).

Conforme SENAI-SP (2003), os LEDs apresentam as seguintes características:

- Corrente direta máxima (I_{Fm}): é o parâmetro que define a corrente máxima de condução do LED sem prejuízo a sua estrutura.
- Corrente direta nominal (I_F): é o valor da corrente de condução indicado pelo fabricante no qual o LED apresenta um rendimento luminoso ótimo e que normalmente corresponde a 20 mA.

A utilização do LED em corrente contínua exige a fixação da corrente nominal, que pode ser limitada com a utilização de um resistor.

Em geral, os LEDs operam com nível de tensão de 1,6 a 3,3V. A potência necessária está na faixa típica de 10 a 150 mW, com um tempo de vida útil de

100.000 ou mais horas. Para valores de corrente direta diferentes do valor nominal (IF) a tensão direta de condução sofre pequenas modificações de valor.

Os LEDs são diodos, sendo que as lâmpadas incandescentes são cargas resistivas não lineares. Os LEDs coloridos possuem um momento que iniciam a condução, oscilando assim a sua cor (BRAGA², 2013).

A luz emitida pelo LED é monocromática e o comprimento de onda está relacionado ao tipo de material utilizado na composição do semicondutor. A dopagem do cristal pode ser feita com gálio, alumínio, arsênio, fósforo, índio e nitrogênio. Esta variedade de elementos químicos e a combinação deles permitem a emissão de luz em uma ampla faixa do espectro (CERVI, 2005).

O único espectro que não pode ser produzido diretamente pelo chip é o espectro de luz branca, uma vez que a luz branca representa uma mistura de todas as cores de luz, ela pode ser obtida pelo o princípio da fotoluminescência.

3.1.1.2 Potenciômetro

De forma geral potenciômetros são tipos de resistores ajustáveis e variáveis que podem ser encontrados na maioria dos aparelhos eletrônicos e estes ainda possuem variados tipos de características.

“Os potenciômetros podem ser utilizados diante da necessidade de se alterar frequentemente a resistência de um componente [...]”. (BRAGA², 2013).

O Potenciômetro neste trabalho entra com a finalidade de ser utilizada perante a necessidade de se alternar a tensão do circuito que irá testar a constante de Planck. Deste modo este aparato se torna de fundamental importância para o trabalho experimental tendo em vista que a necessidade destas variâncias é frequente e que se necessita um mecanismo que as suporte.

3.1.1.3 Espectroscópio

Espectroscópio, segundo Netto (1999), é uma ferramenta que separa os diferentes componentes de um espectro óptico. Basicamente possui uma fresta situada em um plano focal, num prisma ou rede de difração para que dispersa a luz emitida, e uma tela onde se projeta a imagem real.

O primeiro a estudar esse fenômeno de dispersão da luz foi Isaac Newton. Aproximadamente no ano de 1665 ele conseguiu mostrar a separação das cores que compõem a luz branca.

Para a decomposição da luz, Newton fez uso de um furo em uma cortina para deixar passar a luz solar vinda de fora sobre um prisma. Após o feixe passar por esse prisma, ele projetava-se na parede oposta com as cores distribuídas do violeta ao vermelho. Newton então chegou à ideia de que a luz branca do sol é composta de luzes de todas as cores visíveis e também percebeu que essas componentes sofriam desvios. (SEARA, 2015).

Para Netto (1999), rede de difração é um suporte com linhas finas que fazem com que, inicialmente, cada cor do feixe de luz incidente se disperse em todas as direções. Com isso, segundo direções determinadas desse feixe difratado, cores iguais sofrem interferência construtiva e somam geometricamente suas amplitudes e em outras direções passam por interferência destrutiva, resultando na equivalência ao obtido pelo prisma, a degeneração de um feixe de luz policromática em seus

elementos monocromáticos, porém com melhor e mais uniforme separação dos mesmos.

Por haver um enorme número de fendas, com um dado espaçamento d , o CD possui uma estrutura, de certa forma, semelhante à estrutura das redes de difração e também apresenta, cerca de 625 sulcos/mm, como nas redes comerciais de difração adotadas no ensino da física. Para obter a projeção do espectro usando o CD, é necessário retirar sua camada refletora de alumínio de modo a torná-lo transparente (CAVALCANTE^a, 1999). Os espectroscópios são equipamentos usados na análise dos espectros eletromagnéticos. Com esse processo é possível analisar a propriedade de substâncias e elementos químicos, pois cada um possui um espectro característico próprio quando são aquecidos ou excitados por uma grande diferença de potencial emitindo radiação, assim sendo é possível associar um elemento ou substância a um espectro analisado (WIKIPEDIA, 2010).

3.2 Medindo Tensões e Corrente no circuito

Partindo para a parte prática do experimento, segundo Peruzzo (2013), “A teoria de Planck baseava-se em duas hipóteses onde a primeira diz: As partículas oscilantes que emitem radiação podem ter apenas determinadas quantidades de energia (E_n), e valores discretos dados por: ($E_n = n.h.f$)[...]”. Acerca desta afirmação pode-se explicar a metodologia utilizada para realizar o experimento e, logo, demonstrar os resultados extraídos.

No primeiro momento realizou-se o experimento em um ambiente com uma luminosidade natural reduzida, tendo em vista que a baixa luminosidade ajuda a perceber com facilidade a mudança de intensidade de luz.

Logo após foi empregada a montagem do circuito elétrico que, por sequência lógica, permite fazer a medição dos valores de tensão e corrente no LED. Este circuito ficou disposto da forma descrita visualmente na figura 1:

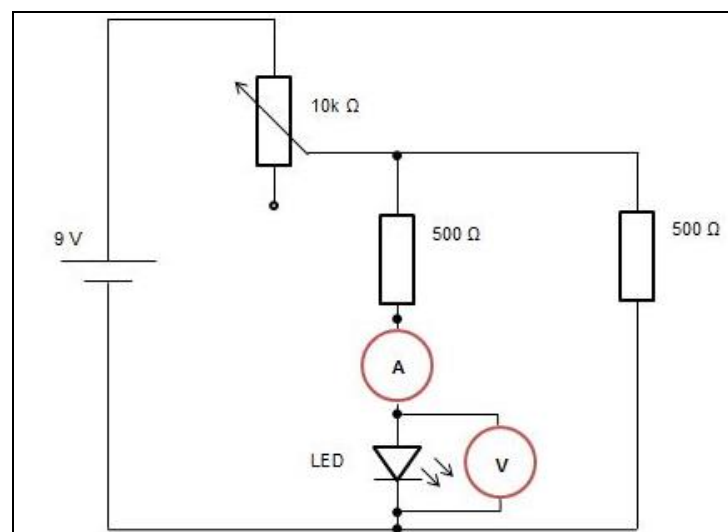


Figura 1 – Circuito Equivalente
Fonte: Elaborado pelos autores

Onde nesta disposição, o LED pode sofrer variação de tensão e apresentar os valores de corrente que permitiram extrair os dados finais para realizar os cálculos para determinar a constante universal em questão.

Foi realizada a medição de corrente dos LED vermelho, azul e amarelo. Como no exemplo da figura 2 a seguir:

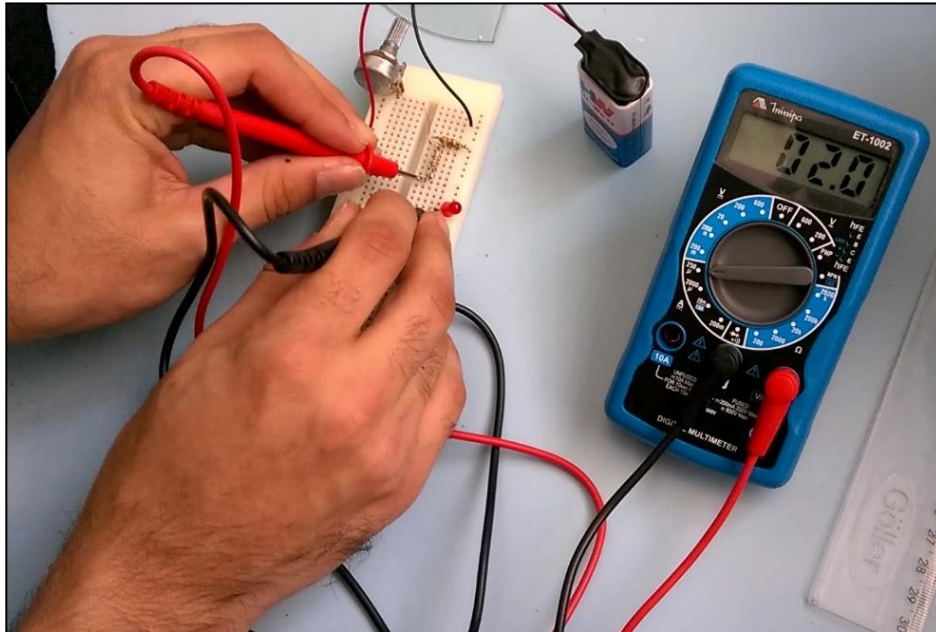


Figura 2 – Medindo corrente no LED vermelho
Fonte: Elaborado pelos autores

3.3 Medindo o comprimento de onda

Para determinar o comprimento de onda do LED, foi elaborado um espectroscópio caseiro, onde através dele foi possível medir e com os resultados obtidos calcular através das equações x e y citadas anteriormente no embasamento teórico.

3.4 Construção do Espectroscópio:

Foram utilizados para a construção do espectroscópio caseiro os seguintes materiais:

- 1 - Caixa de papelão 28 x 15 x 9,5 cm;
- 1 - Régua 30 cm;
- 1 - Tesoura sem ponta;
- 1 - Estilete;
- 1 - Fita dupla face 19 mm x 30 m;
- 1 - Fita adesiva 48 mm x 40 m;
- 1 - Folha de papel milimetrado;
- 3 - Folhas de papel camurça preto;
- 1 - CD-R.

3.4.1 Montando o Espectroscópio e observando o espectro

Primeiramente foi retirado uma das extremidades da caixa. Em seguida, um dos lados da lateral retirada foi encapado com papel milimetrado para ser usada

como tela de projeção do espectrôscópio. Observe a figura 3:

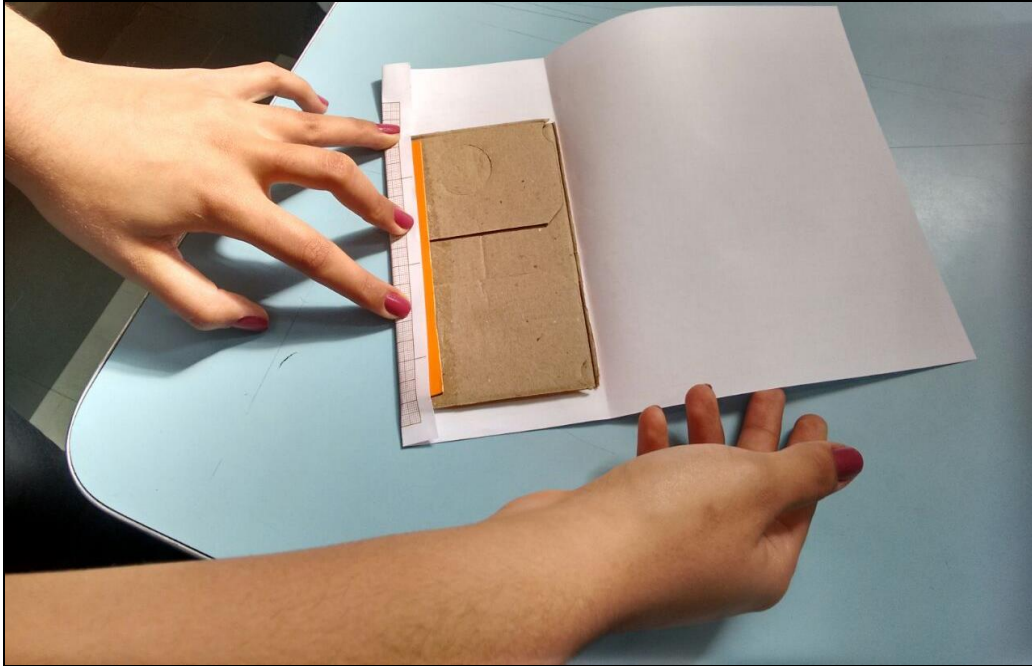


Figura 3 - Montagem da tela de projeção
Fonte: Elaborado pelos autores

Em seguida, na outra extremidade foi retirado a borda da tampa (inteira) e realizado dois cortes sendo um quadrado de 3x3 cm para a rede de difração e um retângulo de 7x1,5 cm para iluminação. Após isso foi elaborado a rede difração do espectrôscópio, que no caso foi utilizado um CD-R, onde foi cortado em um pedaço maior que o quadrado da caixa e colado internamente cobrindo-o. Depois desse procedimento a caixa foi totalmente encapada com o papel camurça preto, o resultado ficou como na figura 4:

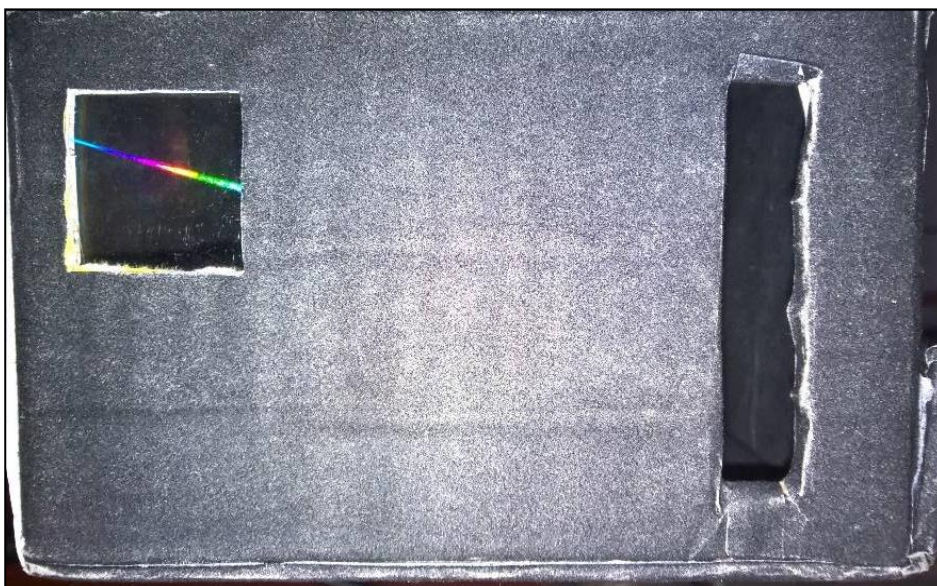


Figura 4 - Quadrado para rede de difração e retângulo para iluminação
Fonte: Elaborado pelos autores

Na extremidade que foi retirada a lateral, foi cortado um pedaço da borda da tampa de cerca de 4,5cm, a parte cortada foi colada do outro lado com 1 cm de distância da lateral. Com a borda retirada da outra extremidade foi criado uma alça de apoio para a tela de projeção, colocada em paralelo a abertura de iluminação, como visto nas figuras 5 e 6:



Figura 5 - Escala de medição e alça de apoio
Fonte: Elaborado pelos autores



Figura 6 - Montagem da tela de projeção
Fonte: Elaborado pelos autores

Em seguida foi encapado o outro lado da tela de projeção com papel camurça e realizado as marcações em cm para a escala de medida da tela de projeção. A escala deve iniciar “paralelamente” a rede de difração.

Após a montagem e com o auxílio do multímetro, colocando-o na escala de PNP, foi observado o espectro de cada um dos LEDs no espectroscópio. Observe as figuras 7, 8 e 9:

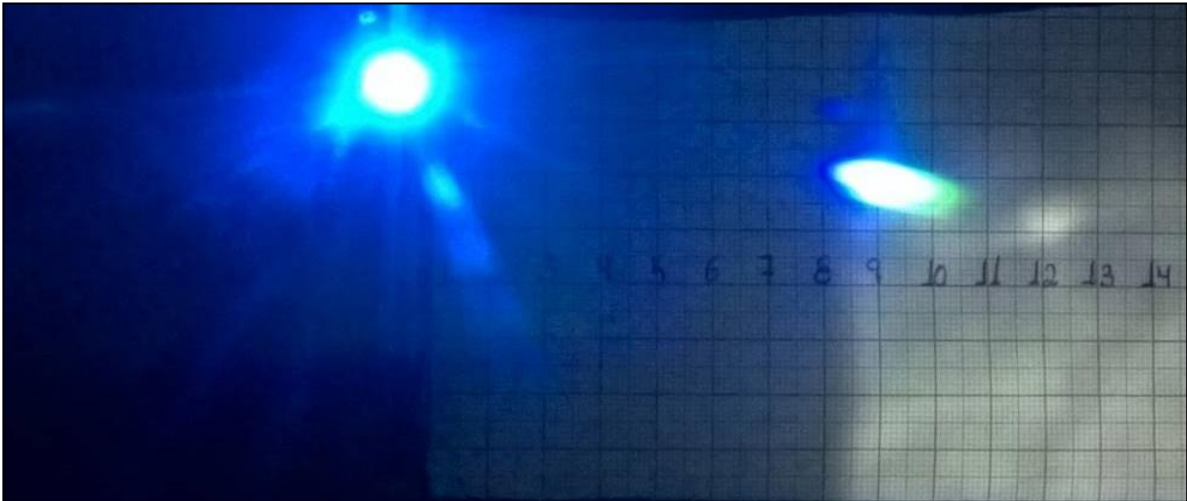


Figura 7 – Espectro Led Azul
Fonte: Elaborado pelos autores

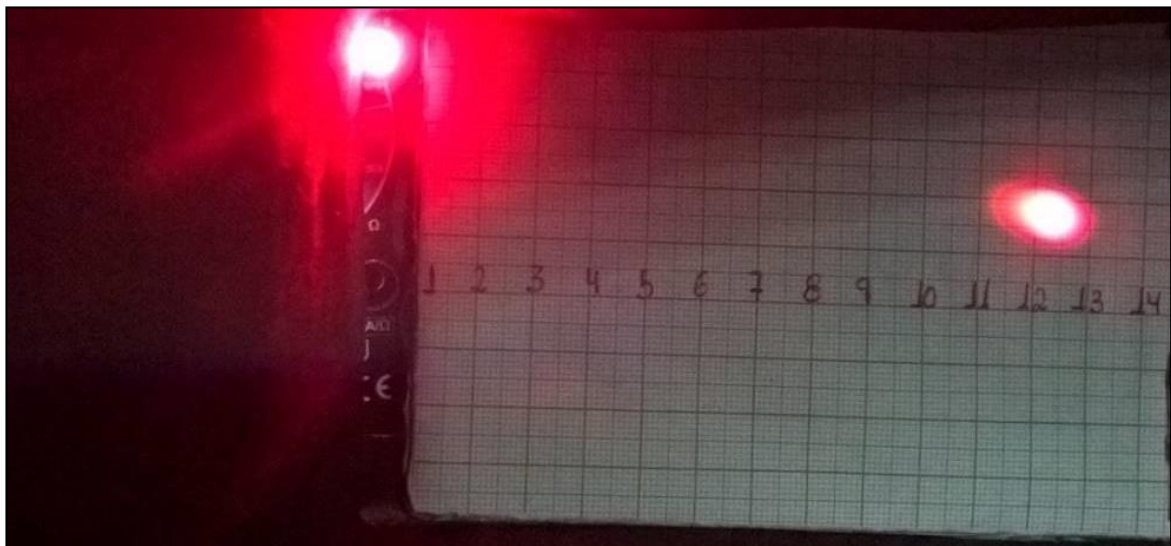


Figura 8 – Espectro Led Vermelho
Fonte: Elaborado pelos autores

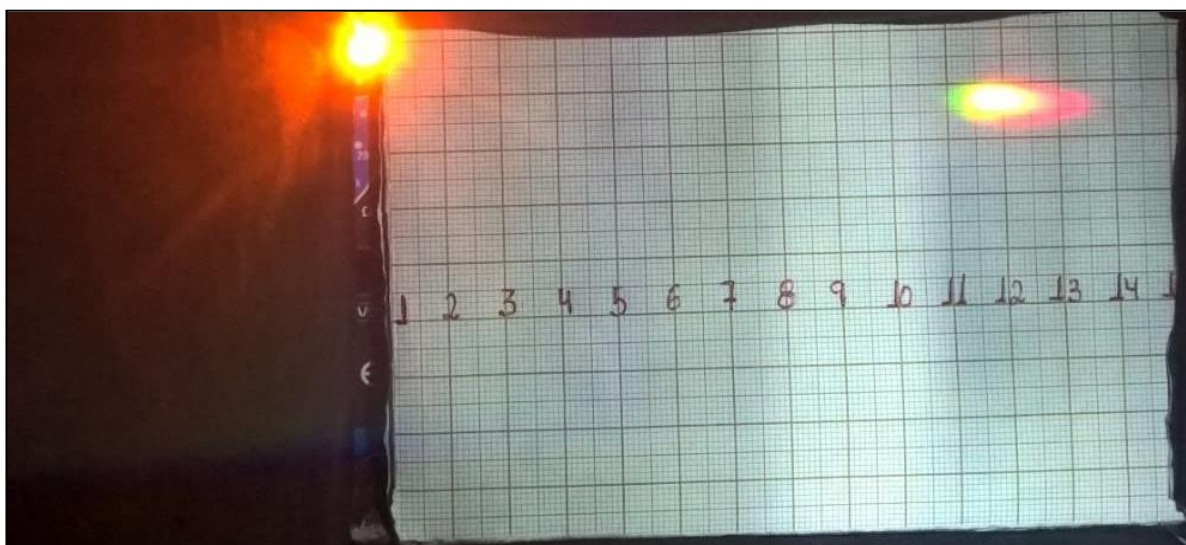


Figura 9 – Espectro Led Amarelo
Fonte: Elaborado pelos autores

Através dos espectros observados, foi possível encontrar os valores dos desvios (X) da luz na tela de projeção. E já sabendo a distância (D) da tela a rede de difração e o valor das fendas do CD (d) foi possível realizar os cálculos para determinar o comprimento de onda de cada LED.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados estão extremamente ligados a diferentes fatores, porém os primeiros resultados que se extraiu após a montagem e medição dos valores apresentados por cada LED é a construção de tabelas que agregam valores de tensão, corrente, comprimento de onda e frequência que são os valores que tornaram possíveis determinar a constante de Planck para o experimento em questão.

Vide tabela 1, onde encontra-se identificado o valor de tensão que faz com que circule corrente no circuito e que faz com que o LED vença a barreira de depleção e comece a emitir fótons. A partir dessa tabela citada, é possível obter a curva característica do LED.

LED Azul		LED Vermelho		LED Amarelo	
Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão (V)	Corrente (A)
0	0	0	0	0	0
1	0	0,5	0	0,5	0
2	0	1	0	1	0
2,1	0,0000001	1,3	0,0000009	1,3	0
2,2	0,0000005	1,4	0,0000086	1,4	0,0000007
2,3	0,0000031	1,49	0,000064	1,5	0,0000083
2,4	0,000008	1,52	0,00012	1,6	0,0000721
2,5	0,000026	1,55	0,00024	1,7	0,000443
2,6	0,00005	1,58	0,00064	1,75	0,0009
2,7	0,000121	1,61	0,0012	1,8	0,00152
2,8	0,000234	1,64	0,0022	1,85	0,00284
2,9	0,000412	1,67	0,0045	1,9	0,00376
3	0,000922	1,7	0,0087	1,95	0,00515
3,1	0,0016	1,73	0,0119	2	0,00772
3,15	0,00224	1,76	0,0129	2,05	0,00912

Tabela 1 – Tabela de Medições V x I - LED azul, vermelho e amarelo
Fonte: Elaborado pelos autores

A partir desta tabela extrai-se gráficos que nos apresentam uma curva mostrando o valor de tensão (V) versus a corrente (i), e que é denominado como curva característica do LED. Nos gráficos 1, 2 e 3 é possível ver a curva característica dos LED em suas respectivas cores:

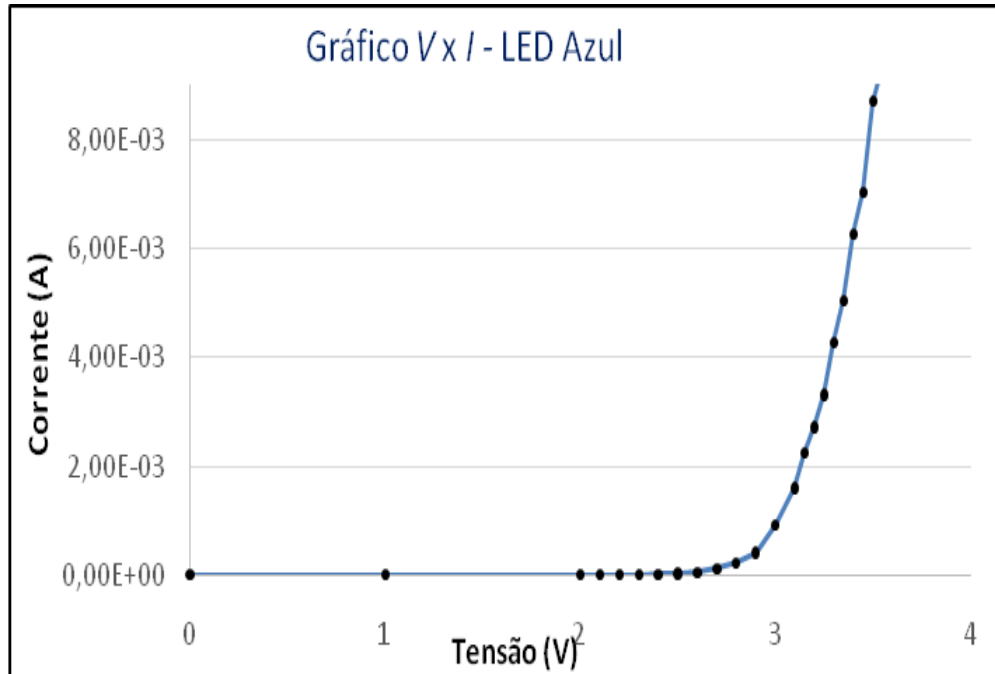


Gráfico 1– Curva V x I do LED Azul
Fonte: Elaborado pelos autores

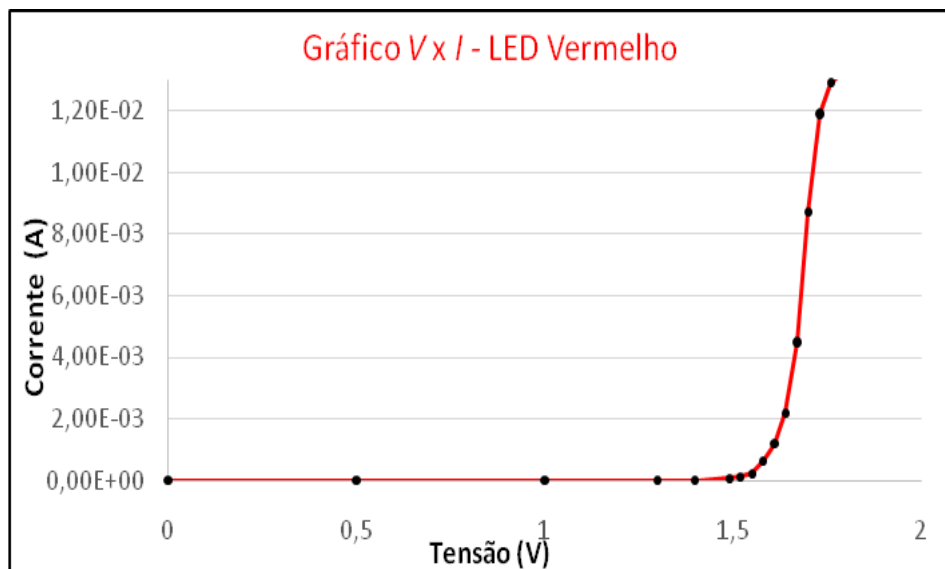


Gráfico 2 – Curva V x I do LED Vermelho
Fonte: Elaborado pelos autores

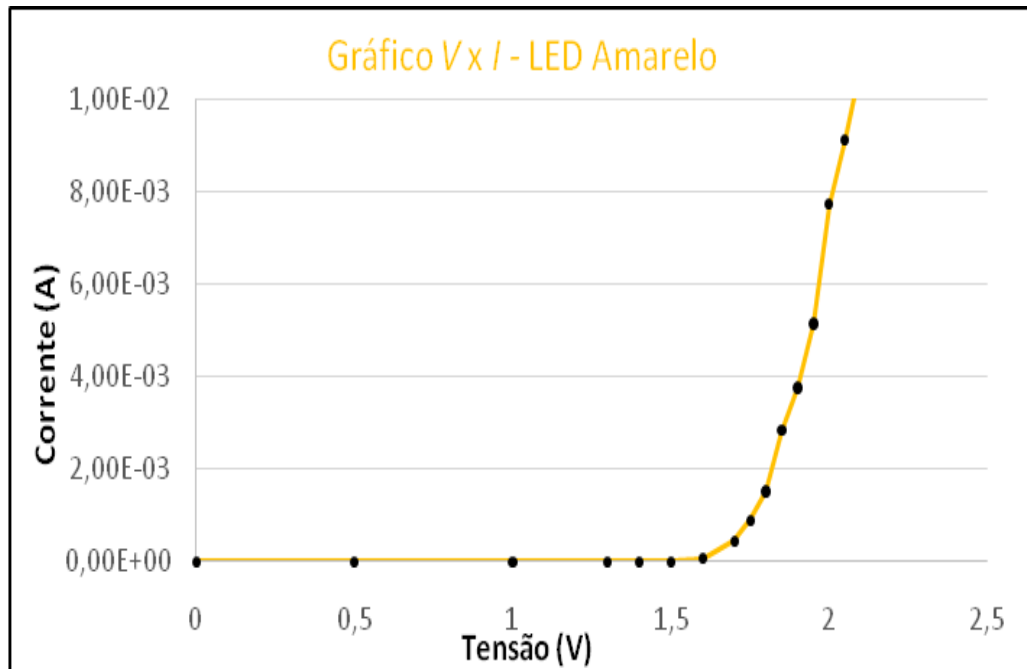


Gráfico 3 – Curva V x I do LED amarelo
 Fonte: Elaborado pelos autores

A luz emitida por um LED não é monocromática, contudo, a banda de emissão é estreita, pelo que os fótons emitidos terão todos aproximadamente a mesma frequência, essa energia é diretamente proporcional a sua frequência, conforme a equação 2. Essa emissão de luz ocorre quando os portadores de carga transitam entre diferentes estados de energia ao passarem na junção entre os dois materiais semicondutores diferentes que constituem o LED. A energia envolvida é convertida em fóton (TORRES, CARVALHAL, MEIRELES, 2009, p.2).

Na prática, ocorrem outros efeitos na propagação da corrente através do LED: efeitos térmicos e de difusão de portadores de carga. Se estes efeitos não fossem considerados, a condução da corrente apenas seria iniciada quando a tensão fosse superior a barreira de potencial V_0 . E a curva características seria representada na figura 10. Na prática, há uma corrente reduzida no LED, e a curva característica é uma curva exponencial que se aproxima assintoticamente da reta. O método utilizado corresponde a traçar a tangente linear a parte linear da curva característica do LED obtendo-se por extrapolação o valor de V_0 [...] Segundo TORRES, CARVALHAL, MEIRELES (2009, p. 18).

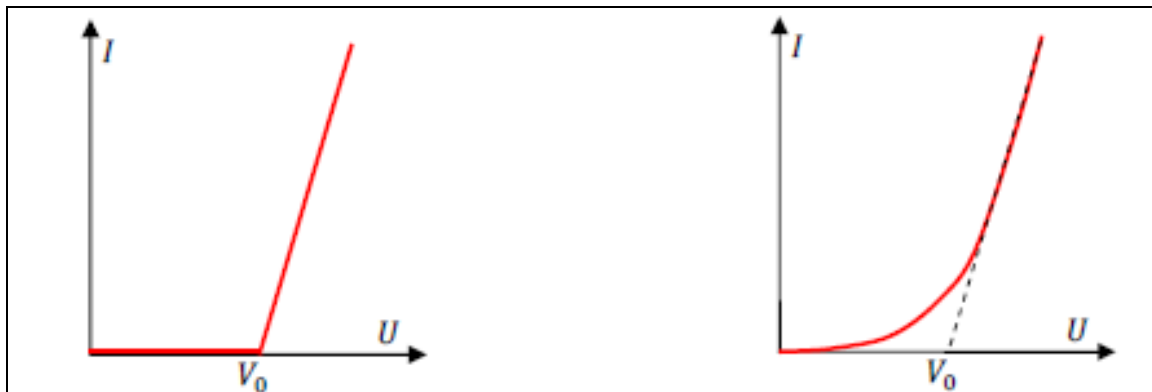


Figura 10 – Curvas característica desprezando efeitos de propagação e a curva real do LED respectivamente

Fonte: TORRES, CARVALHAL, MEIRELES (2009, p. 18)

Após a extração dos valores, foi obtido resultados que estão sob zona de dispersão e, como é de conhecimento, deve-se obter uma reta normal tangencial a todos os pontos do gráfico. Para que fosse possível obter essa reta normal a todos os pontos utilizou-se o método de regressão linear conforme Peruzzo (2013, p. 280) “*Através do método chamado de regressão linear obtemos a melhor reta que passa por todos os pontos do gráfico [...]*”. Utilizou-se o Excel, onde inseriu-se os valores medidos em uma tabela e a partir dela foi criado um gráfico neste programa e este retornou automaticamente os valores da equação que permitirá encontrar o valor da energia fornecida pelo circuito (V_0).

Após realizar esta análise linear obtém-se uma função do primeiro grau que é do tipo:

$$y=ax+b \quad (5)$$

Onde (ax) é o valor que acompanha a tensão, (y) será igual a zero (0) e (b) um valor fixo já apresentado pelo software. Após uma substituição matemática simples teremos esse valor para (x) que será o valor utilizado para (V) da equação geral de Planck.

Conforme os gráficos 4, 5 e 6 (Gráficos com a curva de regressão) apresentam os valores destacados e explicados anteriormente:

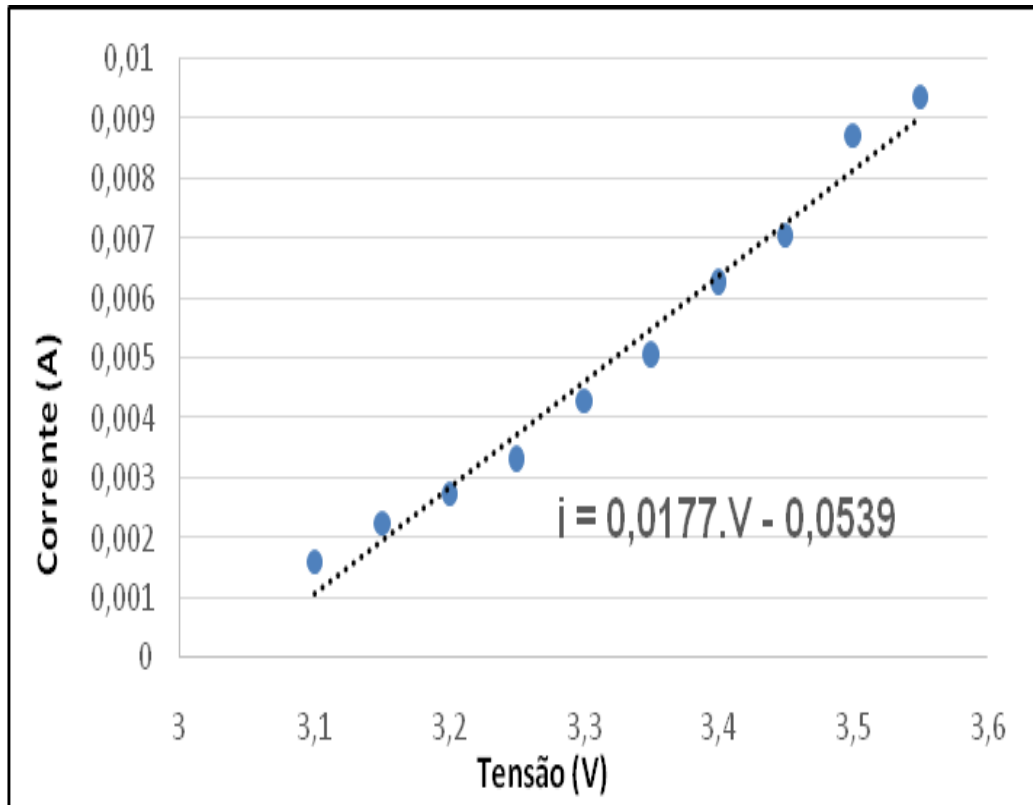


Gráfico 4 – Curva de regressão linear V x I do LED Azul
Fonte: Elaborado pelos autores

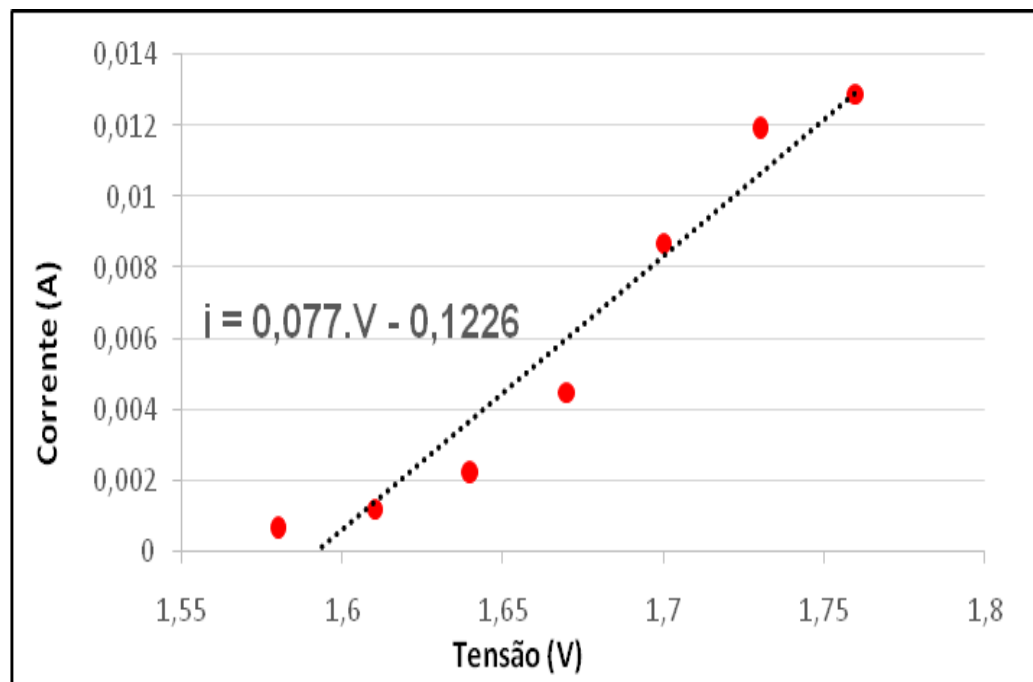


Gráfico 5 – Curva de regressão linear V x I do LED Vermelho
Fonte: Elaborado pelos autores

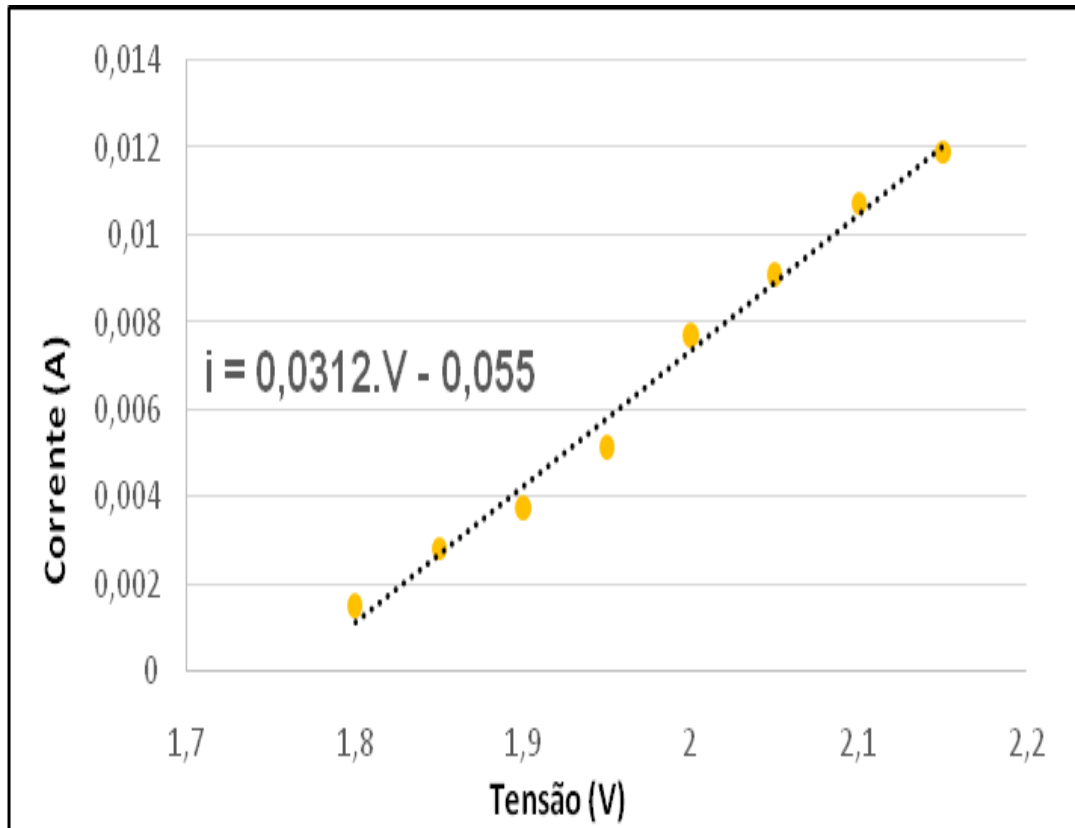


Gráfico 6– Curva de regressão linear V x I do LED amarelo
Fonte: Elaborado pelos autores

Para o levantamento da curva de regressão foram usados os valores de tensão e corrente das tabelas 2, 3 e 4:

LED Azul			
Tensão (V)	Corrente (A)	Comprimento de Onda (nm)	Frequência (Hz)
3,1	0,0016	480	$6,25 \cdot 10^{14}$
3,15	0,00224	480	$6,25 \cdot 10^{14}$
3,2	0,00272	480	$6,25 \cdot 10^{14}$
3,25	0,00332	480	$6,25 \cdot 10^{14}$
3,3	0,00428	480	$6,25 \cdot 10^{14}$
3,35	0,00506	480	$6,25 \cdot 10^{14}$
3,4	0,00627	480	$6,25 \cdot 10^{14}$
3,45	0,00704	480	$6,25 \cdot 10^{14}$
3,5	0,00871	480	$6,25 \cdot 10^{14}$
3,55	0,00935	480	$6,25 \cdot 10^{14}$

Tabela 2 – Tabela de Medições e cálculo - LED Azul
Fonte: Elaborado pelos autores

LED Vermelho			
Tensão (V)	Corrente (A)	Comprimento de Onda (nm)	Frequência (Hz)
1,49	0,000064	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$
1,52	0,00012	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$
1,55	0,00024	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$
1,58	0,00064	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$
1,61	0,0012	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$
1,64	0,0022	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$
1,67	0,0045	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$
1,7	0,0087	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$
1,73	0,0119	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$
1,76	0,0129	630	$4,7619 \cdot 10^{14}$

Tabela 3 – Tabela de Medições e cálculo - LED vermelho
Fonte: Elaborado pelos autores

LED Amarelo			
Tensão (V)	Corrente (A)	Comprimento de Onda (nm)	Frequência (Hz)
1,75	0,0009	571	$5,25394 \cdot 10^{14}$
1,8	0,00152	571	$5,25394 \cdot 10^{14}$
1,85	0,00284	571	$5,25394 \cdot 10^{14}$
1,9	0,00376	571	$5,25394 \cdot 10^{14}$
1,95	0,00515	571	$5,25394 \cdot 10^{14}$
2	0,00772	571	$5,25394 \cdot 10^{14}$
2,05	0,00912	571	$5,25394 \cdot 10^{14}$
2,1	0,01075	571	$5,25394 \cdot 10^{14}$
2,15	0,01192	571	$5,25394 \cdot 10^{14}$

Tabela 4 – Tabela de Medições e cálculo - LED Amarelo
Fonte: Elaborado pelos autores

A partir deste momento com a reunião destes dados descritos anteriormente, modela-se os valores para constante de Planck, onde se tem os valores de comprimento de onda, de energia fornecida pelo circuito, valor de carga elementar e o valor da velocidade da luz constante (c).

É importante ressaltar que para os valores de comprimento de onda que estão sendo utilizados em cada LED, foi utilizado como aparato de medição um

espectroscópio caseiro que foi construído pelo grupo e é um aparelho que tem como funcionalidade exatamente medir o comprimento de onda. A montagem deste fora intencionalmente realizada, já que os valores do comprimento de onda podem ter variações pequenas e, necessariamente obter valores reais próprios para comprovar o quão próximo o experimento se aproxima do valor real da constante de Planck.

E logo também é de suma relevância destacar que para a racionalização da equação de Planck temos que os valores, destacados nas tabelas individuais, de energia fornecida pelo circuito são os valores que se denominam limiares a zero, pois na condição zero é desinteressante ser demonstrado já que não temos corrente no circuito e o LED não sofre alteração.

Como último passo é importante destacar a Equação geral (5) para se encontrar a constante de Planck que é:

$$h = (e \cdot V \cdot \lambda) / c \quad (6)$$

Onde:

h = Constante de Planck;

e = Carga elementar do elétron = $1,6 \cdot 10^{-19}$;

V = Energia fornecida pelo circuito;

λ = Comprimento de onda;

c = Constante do valor da velocidade da luz;

Aonde tem-se os valores já determinados para algumas das incógnitas descritas que irão variar para cada cor de LED, tendo em vista que o comprimento de onda é diferente para cada um. Então pode-se determinar o valor da constante para cada LED utilizado dentro do experimento e vamos demonstrar o quanto conseguimos aproximar do valor encontrado por Planck ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$) em porcentagem (tabela 5).

Para finalizar o experimento, extraímos os dados apresentados para a tensão de corte ou limiar, a constante e seu erro relativo, conforme tabela 5:

LED	Tensão Limiar (V_0) V	Constante de Planck (h) J.s	Erro %
Azul	3,0452	$7,8009 \cdot 10^{-34}$	15,06
Vermelho	1,5922	$5,3719 \cdot 10^{-34}$	23,77
Amarelo	1,7628	$5,3719 \cdot 10^{-34}$	23,34

Tabela 5 - Resultados finais do experimento
Fonte: Elaborado pelos autores

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se com este artigo que para as análises e cálculos da constante de Planck serem realizados, os valores iniciais de tensão e corrente para cada LED têm suma importância, pois definem a partir de quais pontos os fótons são liberados em suas respectivas cores. Os gráficos 4,5 e 6 mostraram apenas alguns dados de tensão e corrente, uma vez que as retas características são formadas no momento em que cada LED acende, descartando assim, os valores dos mesmos que tendem a não variar.

Cada cor tem seu comprimento de onda, o que foi demonstrado no espectroscópio feito manualmente ao inserir um LED de cada vez na fenda. O circuito foi montado com todos os equipamentos necessários para que as medidas fossem realizadas, e todos estes fatores acima, acarretaram em erros que variaram de 15,06% a 23,77%, e nos deixou claro o quão complexo é determinar a constante por diferentes cores.

Porém, os resultados obtidos são satisfatórios, já que de certa forma, podemos dizer que esse experimento é um método caseiro, sem o uso de equipamentos de alta precisão e com a devida calibragem necessária para se obter resultados mais precisos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACORONI, J. ***Eficiência energética: melhores práticas em economia de energia em um setor industrial***. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXIII, Nº. 000044, 26/11/2013. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/eficiencia-energetica-melhores-praticas-em-economia-de-energia-em-um-setor-industrial>; Acessado em: 05/06/2018.

BRAGA¹, N C. ***Funcionamento do LED***. Rio Grande do Sul, RG: Instituto de Ciência Newton C. Braga, 2009 Disponível em <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/733-como-funcionam-os-leds-art096>> Acesso em 02 de maio de 2015.

BRAGA², N C. ***Funcionamento do Potenciômetro***. Rio Grande do Sul, RG: Instituto de Ciência Newton C. Braga, 2013 Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3379-art472> <http://www.newtoncbraga.com.br/>>. Acesso em: 29 abr 2015.

CARVALHO, S. S. ***Energias alternativas e sistemas de iluminação de alto rendimento***. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXII, Nº. 000009, 10/07/2013. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/energias-alternativas-e-sistemas-de-iluminacao-de-alto-rendimento>; Acessado em: 05/06/2018.

CAVALCANTE^a, M. A.; ***Inserção de física Moderna no Ensino Médio: Difração de um feixe de Laser***. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Vol. 16, n.2 (pg. 154 -169), 1999.

CAVALCANTE^b, M. A. ***Experiências em física moderna: espectros e modelos atômicos***. Física na escola, Vol. 6, n. 1(pg. 75 – 82), 2005.

CAVALCANTI, P. J. Mendes. **Fundamentos de eletrônica**. 22. Ed. Rio de Janeiro. F. Bastos, 2012.

CERVI, M. **Rede de iluminação semicondutora para aplicação automotiva**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

DEIVISON, L. **Redução no consumo de energia utilizando tecnologia LED**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXIV, Nº. 000055, 07/05/2014. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/reducao-no-consumo-de-energia-utilizando-tecnologia-led>; Acessado em: 05/06/2018.

FOGAÇA, J R V. **Teoria de Max Planck**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/quimica/teoria-max-planck.htm> > acessado em 03 de maio de 2015.

HALLIDAY, D. Et. al. **Fundamentos de Física 3 - Eletromagnetismo**. 4ª ed. vol. 3. Rio de Janeiro. Editora LTC, 1998. 118 p.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 11ª ed. Porto Alegre. Bookman, 2011. 554 ,555 e 556 p.

LIMA, R.T.Z **Proposta de viabilidade econômica no retrofit de lâmpadas fluorescentes por led no condomínio praça uberaba shopping**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVI, Nº. 000098, 03/01/2017. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/proposta-de-viabilidade-economica-no-retrofit-de-lampadas-fluorescentes-por-led-no-condominio>; Acessado em: 05/06/2018.

NETTO. L F. **Espectroscópio: Fundamentos e construção**. 1999. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_21.asp> Acesso em 20 de Mai. de 2015.

PERUZZO, J. **Experimentos de física básica: Eletromagnetismo, Física moderna & Ciências espaciais**. São Paulo. L F Editorial, 2013. p. 278 a 280.

SALVATERRA, G. S. **Eficiência energética residencial**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVI, Nº. 000079, 27/01/2016. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/monografia/eficiencia-energetica-residencial>; Acessado em: 05/06/2018.

SENAI-SP. **Eletrônica analógica**. São Paulo. SENAI-SP,2003.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J Jr. **Princípios de Física 4 Óptica e Física Moderna**. 3ª ed. São Paulo: Thompson editora, 2014.

TORRES, C M; CARVALHAL, M J; MEIRELES, M S. **Determinação da constante de Planck usando LED**. Faculdade de Ciências da Universidade de Porto.2009.

SEARA. **As cores da luz**. Disponível em: <<http://www.seara.ufc.br/especiais/fisica/coresluz/coresluz1.htm>> Acesso em 01 de Mai. de 2015.

WIKIPEDIA; **Espectroscópio**. 2010. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Espectrosc%C3%B3pio>> Acesso em 20 de Mai. 2015.