

**Relatório Final
F609**



16/06/2009

Aluno: Caio Ferrari de Oliveira **RA:** 059448
e-mail: caioferrari@yahoo.com.br

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Urban Kleinke
e-mail: kleinke@ifi.unicamp.br

Coordenador: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

1-Resultados atingidos:

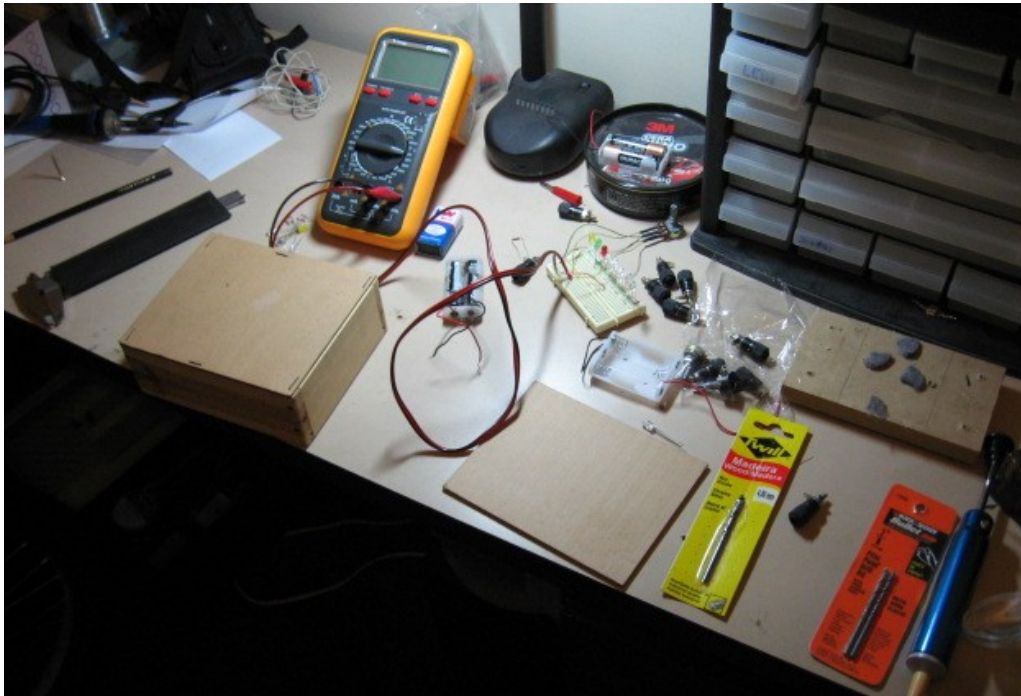
Montagem

A montagem foi redirecionada buscando uma estrutura de compreensão mais simples, e com ausência de complexidade em sua elaboração. Os resultados físicos devem estar presentes nos resultados, não na complexidade da montagem. Os materiais listados foram alterados de modo a tornar a montagem mais didática e barata. A placa de circuito impresso foi substituída por uma caixa de madeira reaproveitada com as ligações feitas utilizando os próprios terminais dos componentes. Deste modo, fica fácil identificar o modo com que os componentes estão ligados. Os amplificadores operacionais foram usados para tentar diminuir a influência do multímetro nas medições, porém foi constatado que os valores obtidos eram exatamente os mesmos de modo que a presença do CI complicaria desnecessariamente a montagem e, por conseguinte o entendimento por parte dos alunos sobre as ligações feitas. Retirar componentes desnecessários da montagem facilita a sua replicação, sua compreensão e a desmistificação de dificuldades excessivas em algumas demonstrações.

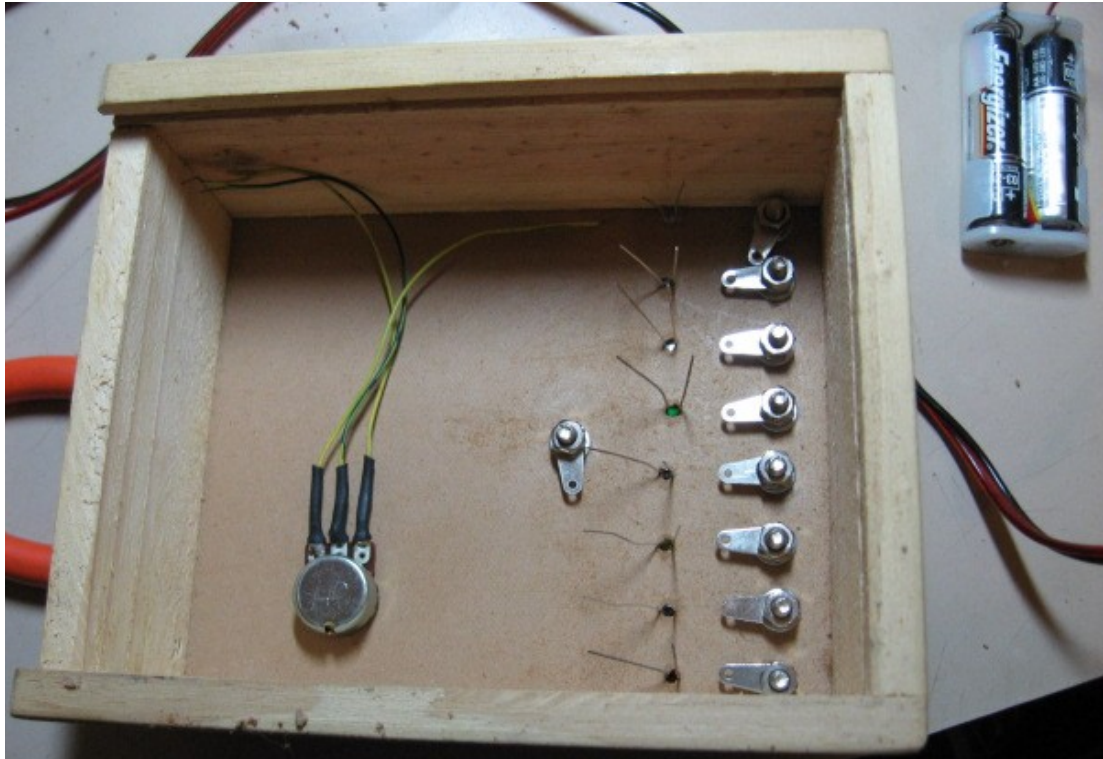
Foi montado um “kit” que pode ser usado, em conjunto com um voltímetro, para se determinar a constante de Planck. Os materiais utilizados foram:

- Caixa de madeira reciclada
- 8 LEDs
- 10 bornes
- Suporte para duas pilhas tamanho AA 1,5V
- Resistor de 220 Ohms
- Potenciômetro 10k Ohms

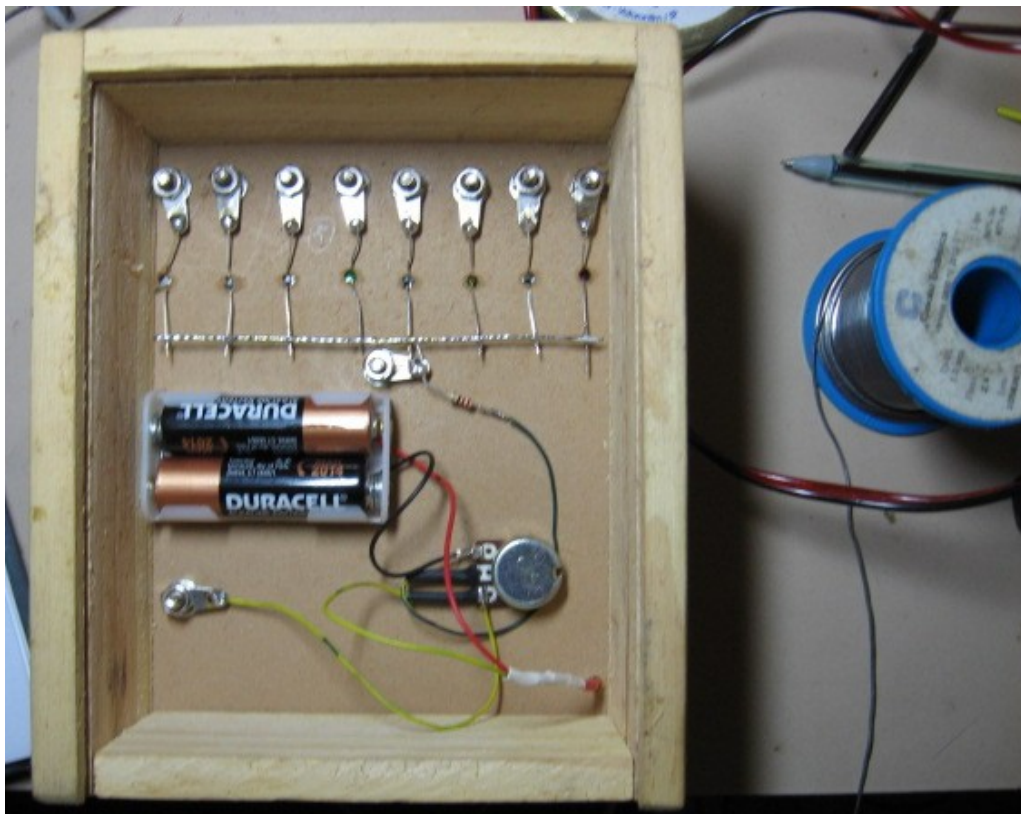
Fotos



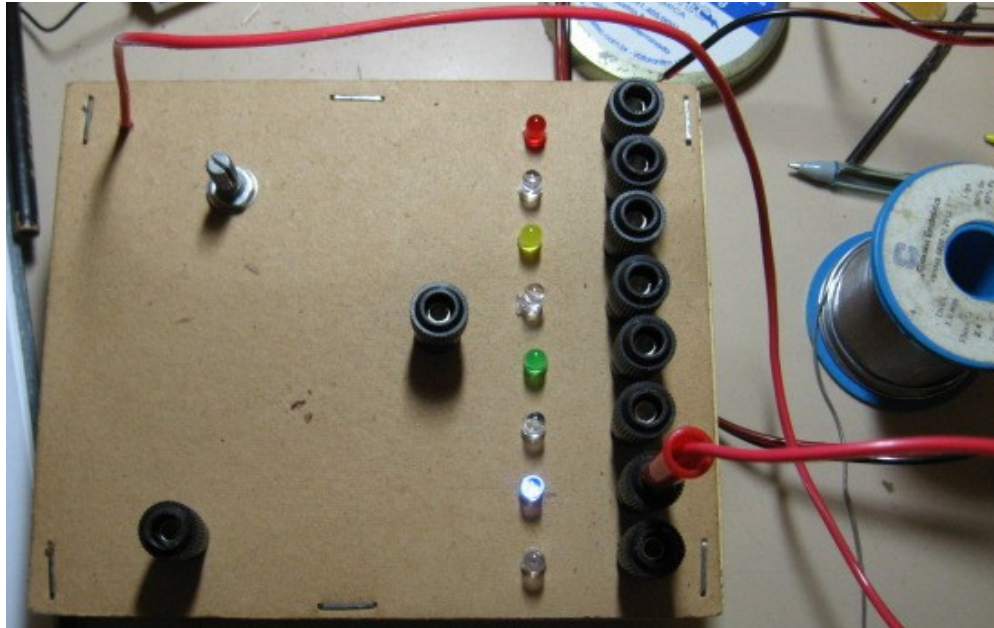
Materiais usados na montagem



Parte interna com os Leds e Bornes ainda sem as soldas



Montagem interna finalizada



Montagem finalizada com LED azul em destaque

Vale a pena observar que em toda a montagem, não se observa nenhum conceito de partes escondidas ou componentes não discretos. Todos os componentes estão aparentes, as conexões entre eles são imediatas e a possibilidade de abrir a caixa para observar “por dentro” a montagem desmistifica o aparato.

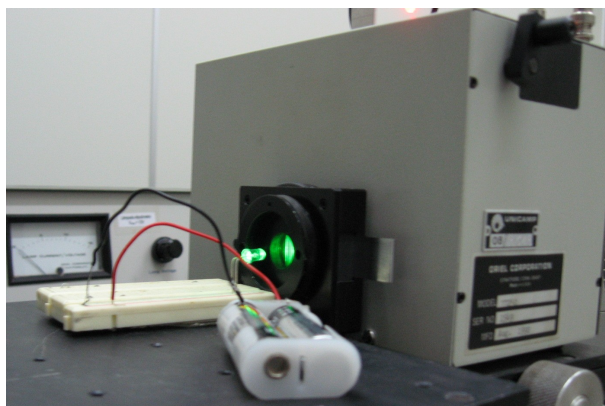
Dados

Para o cálculo da constante de Planck, é necessário se conhecer o comprimento de onda da luz emitida pelo LED. Para simplificar o procedimento, buscamos inicialmente utilizar as frequências fornecidas pelos fabricantes. No entanto, foi constatado por meio de pesquisa bibliográfica em diferentes sites disponíveis na internet que o comprimento de onda dos Leds de mesma cor não são idênticos, apesar de muito próximos, de modo que o comprimento de onda utilizado poderia ser o tabelado.

Para uma melhor precisão de nossas análises, optamos por medir os comprimentos de onda de cada um dos LEDs que utilizamos. Essa medida foi realizada com o espectrômetro do Laboratório de Ensino da Unicamp, tendo sido obtidos os comprimentos de onda apresentados na Tabela 1 abaixo:

Cor do LED	λ
Vermelho	629nm
Laranja	590nm
Verde	532nm
Azul	469nm
Violeta	409nm

Tabela 1



Medição do comprimento de onda do Led verde.

Para os Leds com encapsulamento colorido, os comprimentos de onda não eram bem definidos de modo que apenas uma faixa de comprimentos de onda foi medida. Isto se deve ao fato destes dispositivos definirem sua cor a partir do plástico utilizado como filtro, e não propriamente da junção P-N. Portanto, esses LEDs não são bons para se obter medidas confiáveis da constante de Planck, porém são úteis para discutir junto a alunos ou ao público em geral que a cor não vem, necessariamente, do encapsulamento e sim da junção. A mecânica quântica está presente na junção, e não na cobertura. Talvez essa demonstração qualitativa, de que a cor da luz independe da cor da cobertura plástica do LED, surpreenda mais do que a medida da constante para quem não tem o conhecimento sobre a Física moderna.

Um dos limites para esse experimento é a sensibilidade da retina à luz emitida pelo LED. Apesar da focalização da luz pelo espelho e do espalhamento pelo efeito de lente da proteção plástica, esse é o ponto primordial da medida. Uma primeira série de medidas da tensão de corte foi realizada em um ambiente parcialmente escuro, variando-se a tensão sobre cada Led até que não seja mais possível ver luz na cor correspondente. Com isso, é possível determinar o quão preciso pode ser o experimento caso não se tenha sala adequada nem equipamentos precisos para se realizar a medida.

Cor do LED	Tensão (V)
Vermelho	1,36
Laranja	1,48
Verde	1,89
Azul	2,2
Violeta	2,5

Tabela 2

Utilizando um programa que faça regressão linear (pode-se usar uma calculadora científica) ou ajuste de curvas pelo método dos mínimos quadrados (Excel, OpenOffice, Origin, etc) é possível obter com melhor precisão estatística o valor da constante de Planck.

Para obter a constante em eV.s devemos utilizar a seguinte fórmula:

$$e \cdot V = h \cdot \nu$$

Onde:

V é o potencial de corte medido em Volts

h = constante de Planck

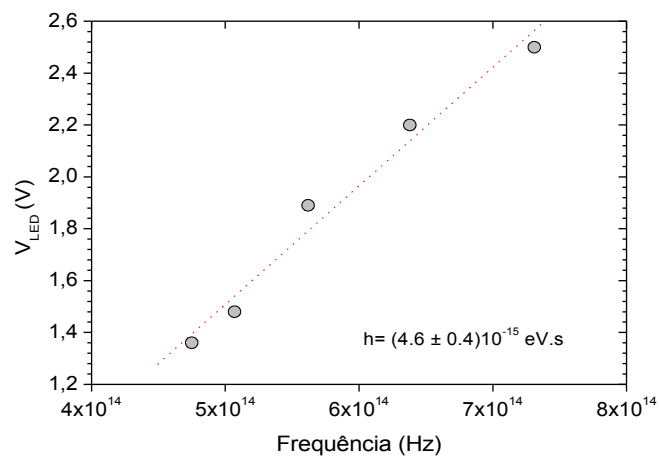
ν = frequência da onda

Utilizando os valores da tabela 1 e 2 temos:

Cor	Frequência (Hz)	Tensão (V)
Vermelho	4,75358E+14	1,36
Laranja	5,0678E+14	1,48
Verde	5,6203E+14	1,89
Azul	6,37527E+14	2,2
Violeta	7,31051E+14	2,5

Tabela 3

Utilizando os dados da Tabela 3 num gráfico e fazendo o ajuste através do método dos mínimos quadrados temos:



O valor para a constante de Planck o que está de acordo com o valor encontrado na literatura, considerando o erro associado ao ajuste. Lembrando que era esperado a obtenção de um valor mais alto, dado que a medida foi feita num ambiente com meia luz onde ficamos menos sensíveis para identificar luz de baixa intensidade.

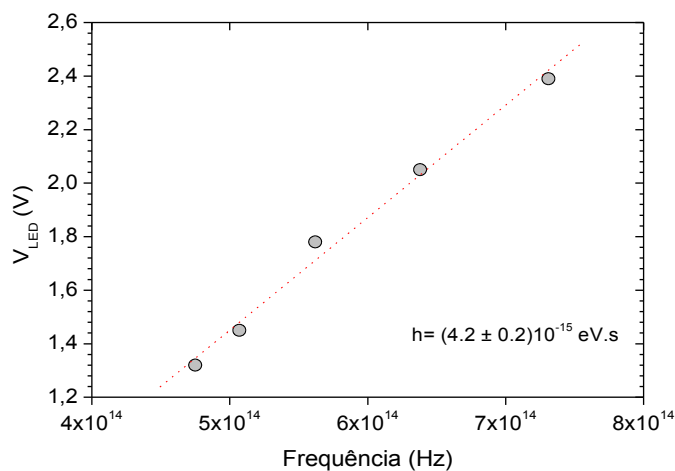
Uma segunda série de medidas foi realizada em uma sala escura. O interessante foi notar que o diodo ainda emite luz abaixo da tensão determinada anteriormente,

porém, o olho não detecta exatamente a cor, mas sim uma luminosidade bastante baixa. Essa diferença está associada à fisiologia do olho, onde os receptores de intensidade e cor são distintos. Com o amperímetro, observa-se uma corrente mínima (na ordem de micro ampères), nesta situação. Os valores de tensão encontrados foram:

Cor	Frequência (Hz)	Tensão (V)
Vermelho	4,75358E+14	1,331
Laranja	5,0678E+14	1,460
Verde	5,6203E+14	1,761
Azul	6,37527E+14	2,02
Violeta	7,31051E+14	2,37

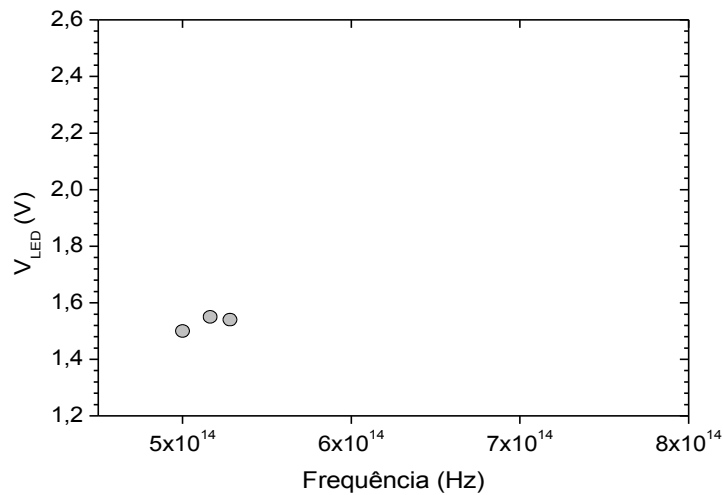
Tabela 4

Usando os dados da tabela 4, percebemos que os pontos ficam mais próximos à reta, o erro é reduzido e o valor para constante fica mais próximo ao encontrado na literatura.



Vale ressaltar que na análise não foram levadas em conta as imprecisões na medida do multímetro e no comprimento de onda.

Para título de comparação foi traçado um gráfico com as tensões de corte em função das frequências dos leds mais antigos, ainda encontrados no varejo com preço bastante reduzido em relação aos novos, de encapsulamento transparente e de alta luminosidade. Estes leds mais antigos tinham o mesmo material na junção com aproximadamente a mesma tensão de corte e a cor é dada pelo encapsulamento feito em epóxi.



3-Dificuldades Encontradas

Ao se montar o circuito tentando variar a tensão sobre o LED por meio de um potenciômetro e medir a corrente no circuito utilizando um multímetro, houve uma grande imprecisão no aparelho que indicava corrente mesmo com o circuito desligado. Com o circuito ligado mas com o potenciômetro ajustado para tensão nula, o aparelho indicava corrente no sentido contrário ao esperado, ainda que pequena. Este problema já foi contornado adicionando-se uma resistência em série com o LED. Para os Leds com encapsulamento, notou-se que as tensões de corte eram extremamente próximas e o comprimento de onda era difícil de se medir dado que a faixa de emissão era extensa e aparentava ser ceifada.

4- Pesquisa

A pesquisa foi realizada essencialmente utilizando referências em inglês e português na internet utilizando as palavras-chave:

LED; Planck; Constante; Medir;

LED, Planck; Constant; Measure;

LED, Planck; Constant; Medición;

Referências:

http://www.if.ufrgs.br/~marcia/laboratorio_LED.pdf

<http://web.phys.ksu.edu/vqm/tutorials/planck/>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/LED>

http://www.physics.uncc.edu/PhysStaff/LabMgr/Advanced_Lab/adv_lab_S06/Exp-11.pdf

Este trabalho, publicado pelo departamento de Física da UNC Charlotte faz uma análise

detalhada do comportamento do LED e como se comportam as lacunas e os elétrons livres da junção P-N que foi bastante útil para escrever a teoria apresentada neste relatório. Há também esquemas de circuitos utilizados para fazer as medições da tensão de corte, porém não serão utilizadas devido à pequena precisão da medida de corrente utilizando multímetros como notei em meus testes.

http://www.lhup.edu/krange/courses/chem321/labs/LED_h.pdf

Este guia experimental do professor Kevin Range da Universidade da Pennsylvania propõe a utilização de amplificadores operacionais para reduzir os erros das medidas a partir de um conversor de corrente para voltagem, idéia já cogitada para o experimento no início do projeto e de um amplificador de ganho unitário para diminuir a interferência dos equipamentos de medição na corrente do circuito.

<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/exper-fis-mod.pdf>

O Artigo, publicado na revista “A Física na Escola” Volume 6, n.1, aborda o experimento de maneira objetiva fazendo a análise do diagrama de energia dos elétrons e lacunas dos materiais N e P. Além disso, explicou a aproximação que deve ser feita para se considerar que toda energia recebida pelo elétron através da fonte é perdida em forma de luz.

6- Descrição Teórica

Os leds são dispositivos semicondutores formados pela junção de dois materiais onde impurezas são adicionadas de modo a se obter excesso ou falta de elétrons, processo denominado de dopagem. Quando a dopagem é feita de modo a se obter excesso de elétrons, obtemos um material do tipo N, no caso de falta de elétrons (lacunas) o obtemos um material do tipo P. Ao serem colocados em contato, alguns elétrons livres do material N se combinam com lacunas do material P e forma-se uma região livre de portadores de carga. Para que os elétrons restantes se combinem com as lacunas, eles precisam atravessar essa região, chamada de zona de depleção, recebendo energia adicional fornecida pela fonte. Quando a junção passa a conduzir, os elétrons do material N “caem” se combinando com as lacunas do material P emitindo energia predominantemente em forma de luz, no caso dos LEDs. Essa energia é quantizada e diretamente proporcional à frequência da luz emitida. Ao se analisar o diagrama de bandas, nota-se que a energia perdida é igual a energia do gap, que é a diferença entre a banda de condução e a banda de valência. A energia do gap dividida pela carga do elétron é a tensão necessária que deve ser aplicada ao led para que ele comece a conduzir.

A lei de conservação de energia nos permite escrever:

$$eV_{\text{corte}} = E_{\text{gap}} + \Delta E_F$$

Onde ΔE_F contém os efeitos no nível de Fermi e a redistribuição dos elétrons e lacunas após a interação. Porém, este valor é pequeno em relação a energia que separa a banda de condução da banda de valência, E_{gap} , e pode ser desprezado. Deste modo temos que:

$$eV_{\text{corte}} = E_{\text{gap}}$$

A radiação emitida pelo LED é proporcional a energia perdida pelo elétron ao transitar da banda de condução à banda de valência onde se encontram as lacunas. Portanto, temos que:

$$eV_{\text{corte}} = hf$$

onde f é a frequência da luz emitida e h a constante de Planck.

7- Declaração do orientador:

“Meu orientador concorda com o expressado neste relatório parcial e deu a seguinte opinião: O trabalho desenvolvido pelo Sr. Caio foi concluído com resultados excelentes, sejam do ponto de vista experimental, com resultado para o valor da constante de Planck próximo do esperado, seja no aspecto didático da montagem. A montagem desenvolvida pode ser explorada em diferentes aspectos:

- O papel desempenhado pela resistência variável na distribuição de potencial;
- A independência da cor da luz do plástico da cobertura;
- Um mesmo potencial aplicado a distintos diodos emissores de luz implica em intensidades luminosas distintas, reforçando o conceito (de forma empírica e experimental) de junção e de emissão de luz;
- A medida em si da constante de Planck, e outros.

Senti falta de uma análise estatística mais aprimorada da distribuição das medidas de tensão, porém esperamos trabalhar um pouco mais nesse aspecto.”