

Produto educacional: “Kit” de física moderna para aplicação experimental relacionada à constante de Planck para jovens e adultos do ensino médio

.....

Halisson de Souza Pinheiro

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Acarape, CE, Brasil
E-mail: halisson@unilab.edu.br

Djalma Gomes de Sousa

MNPEF/Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil
E-mail: djalma.gomes@fisica.ufc.br

João Dionizio de Melo Neto

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Acarape, CE, Brasil
E-mail: joaodionizio@unilab.edu.br

Thales Guimarães Rocha

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Acarape, CE, Brasil
E-mail: thales@aluno.unilab.edu.br

.....

Esta proposta de trabalho tem como ênfase sugerir a implementação e elaboração de novas metodologias para ensino de Física Moderna no ensino médio e em CEJAs (Centro Educacional para Jovens e Adultos) que visem uma participação mais atuante dos estudantes. Para tal finalidade, produziu-se um material, aplicado ao ensino do tema Constante de Planck, constituído de um experimento de baixo custo em conjunto com a aplicação de um modelo de relatório. Aos resultados, viu-se que a didática implementada contribuiu com uma maior divulgação da Física Contemporânea e com o maior entendimento dos estudantes para fenômenos físicos diários antes tidos como complexos.

Introdução

Desde a década de 1970, foi incluída de forma permanente a disciplina de física no Ensino Médio. Atualmente, ela está incluída no currículo da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, como constatado nos Parâmetros Curriculares. Entretanto, sempre foi um desafio ensinar física no Ensino Médio, isso porque a metodologia voltada para aulas expositivas e, em grande parte, descontextualizada dos problemas atuais e do dia a dia dos alunos. Como explica [1], mesmo com toda a pesquisa e esforços desenvolvidos desde os anos 1980, viu-se pouco impacto positivo nos processos de ensino e aprendizagem, sendo isso observado não só formação dos alunos, mas também na instrução dos professores. De maneira geral, as dificuldades encontradas estão relacionadas à compreensão dos conceitos por trás das fórmulas, pois a reprodução de uma prática que visa à repetição de rotinas de cálculos que não discutem a importância dos fatores ou termos da equação, nem as constantes relacionadas aos princípios de conservação muitas vezes envolvidos, é, sem sombra de dúvida, o cerne da questão do ensino de física.

Tomando-se o ensino diário em sala de aula como referência, algumas das dificuldades encontradas no aprendizado de física para alunos de Ensino Médio relacionam-se à falta de entusiasmo para o estudo de tal disciplina [2]. Sendo esta uma observação datada já de há alguns anos, pesquisadores e estudiosos da área pedagógica formulam possíveis causas e consequências dessas dificuldades, bus-

cando propostas em conjunto com novas fórmulas de ensino que desenvolvam uma educação voltada à capacitação dos indivíduos nos avanços tecnológicos e suas interferências na sociedade.

Concomitantemente a isso, inúmeras discussões relacionadas a experimentos no ensino de física vêm sendo estudadas [3, 4] defende a importância das aulas práticas nas quais o aluno pode, além de seguir um método científico já testado e finalizado, criar novas possibilidades com hipóteses próprias sobre fenômenos corriqueiros. De forma complementar, para [5], além da proposta de aulas práticas provocarem efeito positivo no aprendizado discente, a elaboração de “laboratórios virtuais”, com simulações computacionais, é uma solução válida para a estrutura carente em laboratórios de ciências no ensino público brasileiro, solução essa que, de modo semelhante ao que será

Sempre foi um desafio ensinar física no ensino médio, isto porque a metodologia empregada tem sido voltada para aulas expositivas e, em grande parte, descontextualizada dos problemas atuais e do dia-a-dia dos alunos

abordado no presente artigo, visa sanar as dificuldades estruturais que possam obstruir a boa qualidade do aprendizado.

A EJA no Brasil

A EJA, Educação de Jovens e Adultos, surgiu devido à necessidade histórica de sanar o altíssimo nível de analfabetismo herdado da sociedade brasileira colonial. Tornou-se inicialmente uma política de compensação ou de inclusão de uma imensa classe de alfabetizados ou jovens e adultos pouco escolarizados. Portanto, aqueles que não concluíram seus estudos por meio do ensino regular passaram a ter a oportunidade de fazê-lo de forma mais acelerada para chegar em igualdade de condições ao mercado de trabalho.

Na temática de um kit educacional intitulado constante de Planck, o presente

artigo propõe a construção de um produto educacional que, diferente de outros já existentes no mercado, pudesse ser mais funcional e de fácil execução experimental para os alunos do Ensino Médio.

Montagem do kit educacional “constante de Planck”

No caso específico, foi observada a existência no mercado de kits experimentais que já fazem tal procedimento experimental de determinação da constante de Planck, mas vislumbrou-se a possibilidade de construir um kit mais funcional e de fácil execução experimental para os alunos do Ensino Médio.

Assim, foi feito antes um levantamento dos materiais necessários à construção do kit, e logo em seguida uma busca no mercado de insumos mais baratos, assim como um aproveitamento de muitos materiais já disponíveis para serem

reutilizados.

Todos os materiais necessários para construção do experimento são apresentados na Tabela 1 a seguir, com exceção das ferramentas usadas na execução da montagem e de insumos de uso geral, como por exemplo: diversos tipos de cola, pregos, tinta, entre outros.

Antes da construção em si, faz-se necessário desenhar um esquema elétrico que balizará a montagem do mesmo em uma prancheta previamente adquirida. O esquema desenhado no circuito apresentado na Fig. 1 é formado por um conjunto de LEDs; da esquerda para direita, LED0, LED1, LED2, LED3, LED4 e LED5, respectivamente associados aos LEDs ultravioleta, violeta, azul, verde, amarelo e vermelho, todos interligados individualmente a uma chave seletora de seis posições, chave S1.

Os números 3 e 4 representam os bor-

nes vermelho (+) e preto (-), respectivamente, que são usados para medidas de tensão dos LEDs por meio do multímetro. S2 representa a chave individual à qual está ligado o LED de infravermelho, denominado no circuito da Fig. 1 por LED6.

Antes da construção em si, faz-se necessário desenhar um esquema elétrico que balizará a montagem do mesmo em uma prancheta previamente adquirida. O esquema desenhado no circuito apresentado na Fig. 1 é formado por um conjunto de LEDs; da esquerda para direita, LED0, LED1, LED2, LED3, LED4 e LED5, respectivamente associados aos LEDs ultravioleta, violeta, azul, verde, amarelo e vermelho, todos interligados individualmente a uma chave seletora de seis posições, chave S1.

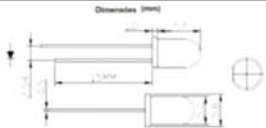




Os números 3 e 4 representam os bornes vermelho (+) e preto (-), respectivamente, que são usados para medidas de tensão dos LEDs por meio do multímetro. S2 representa a chave individual à qual está ligado o LED de infravermelho, denominado no circuito da Fig. 1 por LED6.

O dispositivo R1/100 R representa a resistência de 100 Ω que está associada em série com os LEDs interligados em paralelo ao seu polo positivo. Já o dispositivo R2/1 K representa uma resistência de 1 k Ω que funciona como um falso curto, permitindo assim que a corrente circule pelos LEDs antes de retornar ao polo negativo da alimentação. Há também no circuito um potenciômetro representado pela nomenclatura R3/10 K, ou seja, uma resistência variável de 0 a 10 k Ω .

A nomenclatura +6 VCC representa a fonte de alimentação que fornece uma tensão transformada de 110-220 V/AC para 4-6 V/CC ao kit 2. Por fim, há mais dois bornes, números 1 e 2, que são interligados por meio de um cabo que funciona como *jump* (com dois bornes, vermelho e preto, nas extremidades) que permite a passagem de corrente e a medida da mesma quando se substitui o cabo pelo multímetro incluído no circuito entre os bornes 1 e 2.

Inicialmente, devem-se desenhar na prancheta as posições dos LEDs e de outros dispositivos a serem manuseados durante o experimento. Com estas posições bem definidas fazem-se os furos e fixam-se os dispositivos na prancheta conforme detalhe da Fig. 2. Em seguida, faz-se a montagem do circuito com a adição de outros dispositivos na parte de trás da prancheta, ou seja, adiciona-se ao circuito, soldados a fios de telefone paralelos, as resistências de 100 Ω e de 1 k Ω . Os polos positivos dos LEDs (vermelho, amarelo, verde, azul, violeta e ultravioleta) são soldados aos fios

Tabela 1: Materiais necessários para o kit relacionado à constante de Planck.

| SQ. | DETALHES | IMAGEM | CARACTERÍSTICAS |
|-------|---|---|--|
| I. | Um conjunto de LEDs de alto brilho (infravermelho, vermelho, amarelo, verde, azul, violeta e ultravioleta). |  |  |
| II. | Um potenciômetro de 10 k Ω . |  |  |
| III. | Bornes elétricos pretos e brancos. |  | Observação: um par para medida de tensão e outro para medida de corrente quando necessário. |
| IV. | Um adaptador AC/DC. |  | Adaptador AC/DC Modelo: HLD3513-036250 Entrada: AC 110-220 V 50/60 Hz Saída: DC 3,6V 250 mA |
| V. | Uma chave de 2 pólos e 6 posições. |  | Observação: As seis posições correspondem às fontes vermelha, amarela, verde, azul, violeta e ultravioleta. |
| VI. | Um resistor de 100 Ω e de 1 k Ω . |  | O de 1 k Ω é utilizado para criar um falso curto entre os pólos positivo e negativo da alimentação, já o de 100 Ω controla a corrente que circula pelos LED's. |
| VII. | Chave seletora individual ligadesliga. |  | Essa chave é usada para um acionamento individual do LED de infravermelho (IR). |
| VIII. | Madeira de prancheta e MDF |  | Todos os dispositivos foram fixados na prancheta e o MDF foi usado no acabamento que permite o melhor manuseio. |
| IX. | Cabos de multimetro e fio paralelo de telefone (várias cores). |  | Os cabos foram usados para alimentação e os fios paralelos para interligar os LEDs as chaves e dispositivos do circuito. |

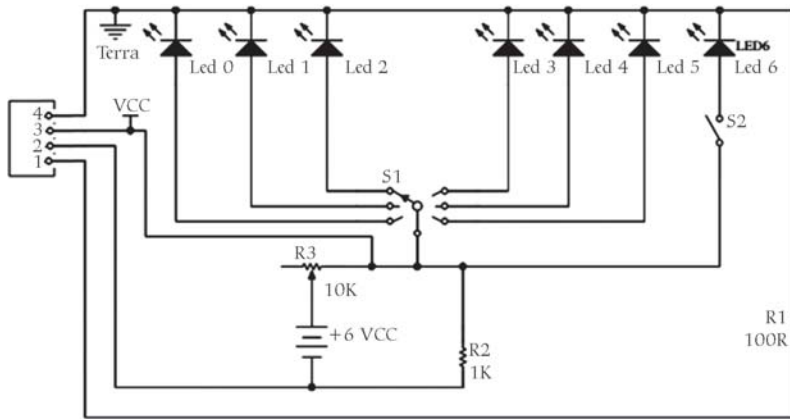


Figura 1: Circuito mostrando o esquema elétrico das ligações dos dispositivos presentes no kit. Fonte: Cortesia LAB Eletrônica e eletromagnetismo/Física/UFC.

de telefone que estavam soldados de forma individualizada a cada uma das seis posições da chave seletora de dois polos, enquanto os polos negativos são soldados ao fio de telefone conectado ao borne preto (negativo); todavia, o borne vermelho

(positivo) é posicionado entre o potenciômetro de 10 kΩ e a chave seletora de dois polos e seis posições.

Vale lembrar que dois outros bornes mais próximos entre si (par preto-vermelho) têm a finalidade de medir corrente

quando exigido no experimento; já os dois mencionados anteriormente são para medidas de tensão com o uso direto do multímetro, enquanto se faz a seleção da fonte de luz pela chave seletora central e as mudanças de tensão para cada deslocamento do cursor do potenciômetro.

Uma visão mais detalhada da ligação entre os LEDs, os bornes e as chaves pode ser observada na Fig. 3, onde se pode observar com cuidado como deve ser feita a ligação individualizada de cada LED com a chave seletora de dois polos e seis posições.

Pode-se ainda observar um LED que não está ligado à chave seletora: trata-se do LED de infravermelho, que deve ser ligado a uma chave individual liga-desliga conectada diretamente à entrada da alimentação de 6 V. Mais detalhes das ligações podem ser vistos na Fig. 4, onde também é fácil visualizar o resistor de 1 kΩ que deve ter seus terminais ligados à saída do potenciômetro e ao negativo da alimentação de 6 V.

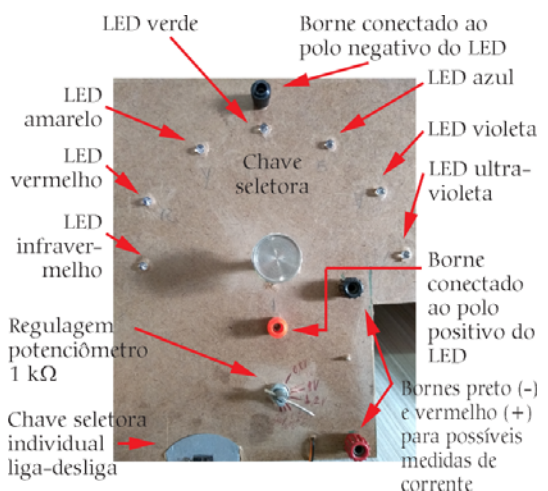


Figura 2: Detalhe (frontal) da prancheta com os dispositivos já posicionados antes de serem interligados.

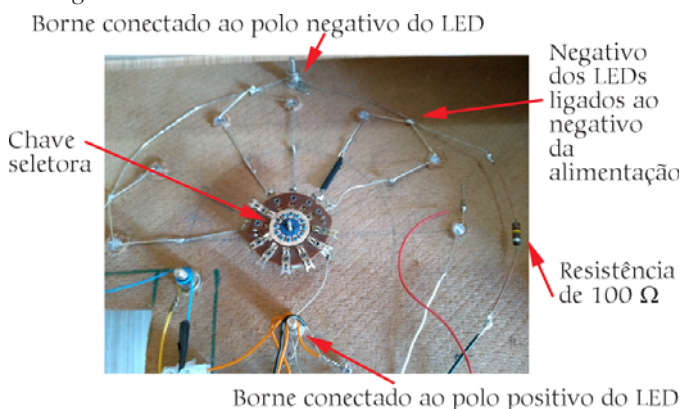


Figura 3: Detalhe (anterior) da prancheta com os LEDs interligados, a chave seletora e os bornes.

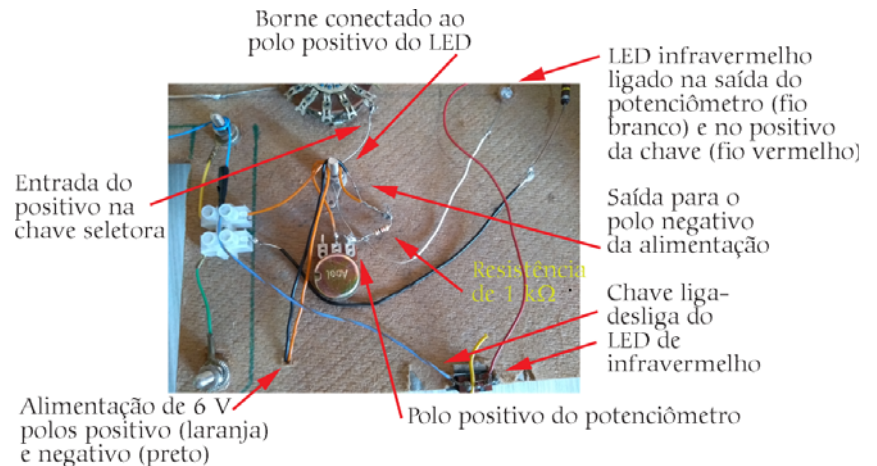


Figura 4: Detalhe da ligação da alimentação para o potenciômetro, deste para a chave de seis posições e ligação do LED de infravermelho na chave liga-desliga individual.

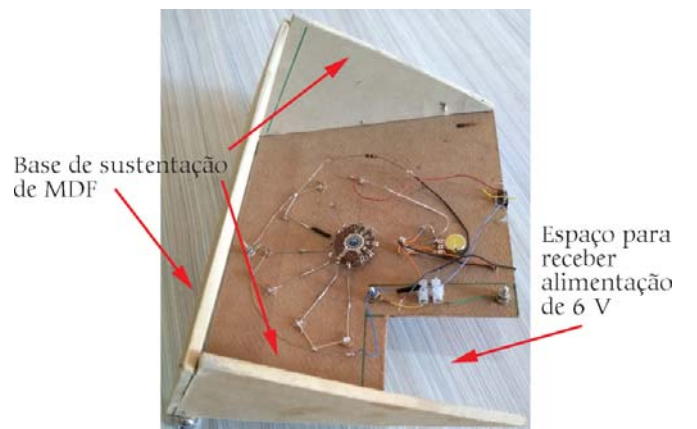


Figura 5: Vista geral do circuito com a inclusão da base de MDF e espaço para a alimentação de 6 V.

Já na Fig. 5, nota-se a base de sustentação de MDF (Medium Density Fiber-board) e o local que deverá receber a alimentação de 6 V.

A base de MDF deve ser fixada com pregos à prancheta que comporta os dispositivos. Em seguida, no espaço indicado na Fig. 5 deve ser fixado um suporte cúbico de MDF que recebe uma tomada de dois pinos para receber a alimentação da fonte de 6 V ou, quando necessário, um conjunto de baterias, em situações em que não se tenha acesso a energia.

Depois de montado o “Kit de medida da constante de Planck” o suporte deve ser lixado e receber uma pintura. Uma vista da parte frontal mostrando o kit pintado pode ser visto na Fig. 6.

Um dos momentos importantes na elaboração do kit é a determinação da frequência central de cada espectro de emissão dos LEDs. Na Fig. 7 a seguir é possível

visualizar os espectros dos LEDs desde o infravermelho ao ultravioleta. A partir desse espectro é possível a determinação da frequência central por meio da intensidade máxima. Os comprimentos de onda determinados, do infravermelho ao ultravioleta, respectivamente, são 934 nm, 627 nm, 592 nm, 537 nm, 456 nm, 402 nm, 396 nm.

Também é necessária, pela necessidade de melhor orientar o aluno na execução e controle das medidas por meio do acionamento do cursor do potenciômetro, uma interpolação entre os valores das marcações do potenciômetro e das tensões medidas no multímetro para evitar uma variação brusca da tensão pelo estudante no momento da execução do experimento. O gráfico da Fig. 8 apresenta uma interpolação já executada e uma tabela com os valores obtidos por meio da função de interpolação.

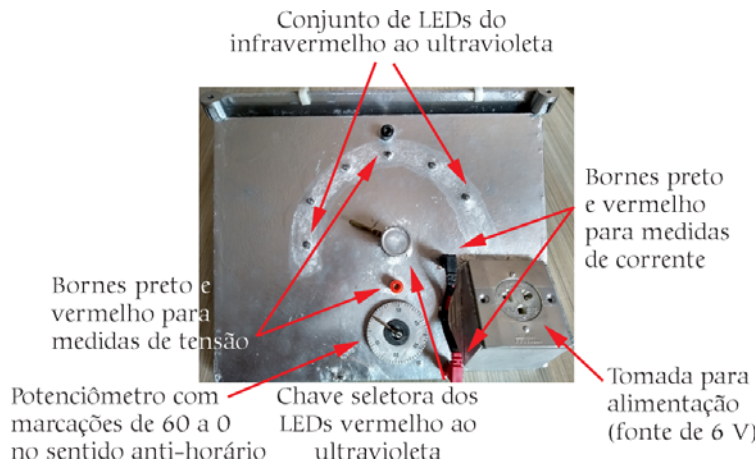


Figura 6: Visão frontal do conjunto já pintado e pronto para uso.

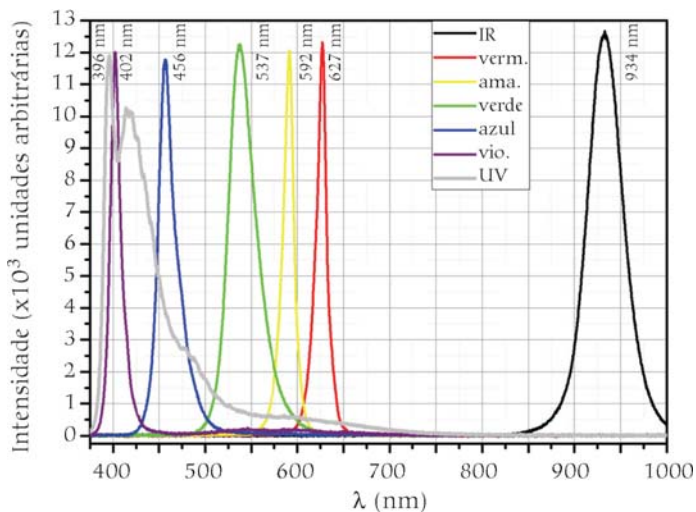


Figura 7: Gráfico mostrando o pico da frequência central (comprimento de onda) de cada LED, do infravermelho ao ultravioleta, medidos num espectrômetro. Fonte: Cortesia LOCEM/UFC.

De posse dessas informações, é possível realizar um procedimento experimental previamente, como teste. Com esse procedimento é possível obter um resultado muito aproximado para a constante de Planck, um resultado com um erro de 0,33% do valor da literatura, que é $4,135667 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$ [7].

A Fig. 9 mostra esse resultado, onde os pontos no gráfico são os valores medidos e a reta foi obtida pelo método de regressão linear a partir dos pontos experimentais. A inclinação da reta, igual a $4,12166 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$, corresponde à constante de Planck (h) obtida experimentalmente.

Metodologia experimental do “kit experimental para determinação da constante de Planck”

Optamos por procedimentos experimentais que estimulem a construção autônoma do conhecimento científico; no entanto, por limitações experimentais, o aluno é orientado a seguir mais amíúde e bem mais atento os procedimentos apresentados, pois passam a lidar com medidas e equipamentos de precisão e com maiores possibilidades de danos materiais.

Todavia, ainda assim, os alunos participam ativamente da construção do próprio conhecimento, buscando respeitarem-se nas etapas diferenciadas em que se encontram nos CEJAs e as escolas regulares.

Os procedimentos iniciais dessa prática estimulam mais a coordenação motora e a observação atenta e detalhista; enfim, o domínio da técnica de medição e leitura instrumental, talvez associada à prática já vivenciada por alguns alunos em seus ambientes de trabalho. O controle minucioso do potenciômetro e a observação detalhada para perceber o estímulo luminoso engatilhado pela tensão, controlada manualmente pelo estudante, é o momento de maior exigência técnica. Aqui também é estimulada a percepção intuitiva e possíveis deduções construídas por analogias inerentes ao exercício da observação ativa no experimento. Em paralelo a isso, a atividade leva o aluno a trabalhar com anotações, organização de dados em tabela (matriz) e a análise desses na construção de gráficos em sistema cartesiano, atribuições que estimulam a lógica matemática, desde conjuntos, funções até relações de proporcionalidade entre as grandezas medidas e/ou calculadas.

Por último, um questionário complementa a ação investigativa proposta por meio de questões que fazem analogias e estimulam também a compreensão lógico-dedutiva das relações entre as grande-

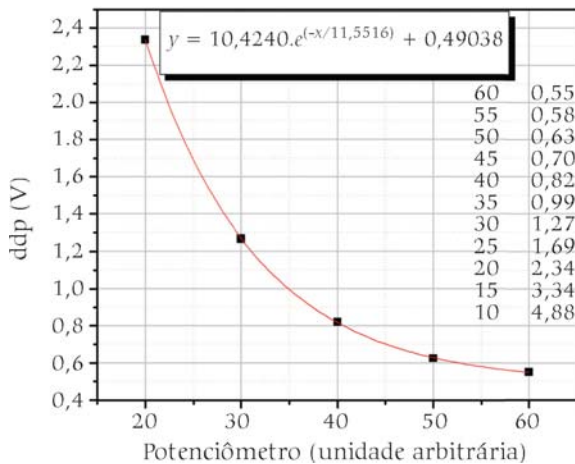


Figura 8: Relação entre as marcações do potenciômetro e a tensões medidas produzidas no Microsoft Excel.

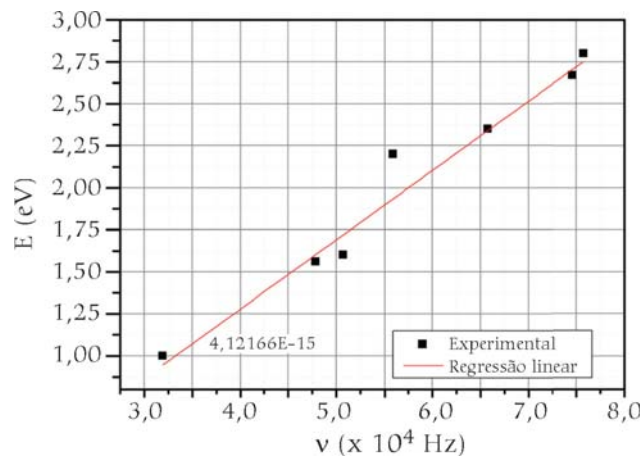


Figura 9: Gráfico mostrando os pontos experimentais e a reta de regressão linear para determinação da constante de Planck, valor que corresponde a 0,33% de erro do valor da literatura ($4,135667 \times 10^{-15}$ eV.s).

zas envolvidas, assim como questões que aprofundam o tema por meio do estímulo à pesquisa e do uso do computador para avaliar o grau de precisão dos resultados obtidos por meio do gráfico construído manualmente.

Resultados e discussões

Observações referentes à aplicação do experimento

No experimento para a determinação da constante de Planck, fica claro que o fato do efeito fotoelétrico está relacionado apenas à frequência e não à intensidade, ou seja, abaixo de uma dada frequência, não adianta aumentar a potência da radiação incidente - essa energia não será distribuída entre os elétrons a serem arrancados, pois na verdade a frequência é que determina a energia que cada fóton individual deve ter para interagir individualmente com um elétron e arrancá-lo da placa [7].

A Fig. 10 apresenta as tabelas com resultados medidos de tensão, que corresponde à energia em eletrovolts (eV), como também as frequências calculadas a partir dos comprimentos de onda de cada LED específico.

Após a apresentação aos alunos da Fig. 9, os discentes foram orientados sobre a forma correta de localizar as coordenadas desses pontos no plano cartesiano. Determinadas as coordenadas, sete pontos correspondentes aos pares de medidas tensão-frequência dos sete LEDs, foi feita uma orientação no sentido de determinar uma reta de regressão manual, ou seja, uma reta que se aproximasse do máximo de pontos possível.

É importante observar que, mesmo manualmente, o valor da constante de Planck determinado pela reta de regressão foi de $3,43 \times 10^{-15}$ eV.s a $3,62 \times 10^{-15}$ eV.s. Usando esses dados e determinando a inclinação por um método de regressão linear por computador, encontra-se de $3,59 \times 10^{-15}$ eV.s a $3,75 \times 10^{-15}$ eV.s, ou seja, o erro, que oscilava entre 17% a 12% na regressão manual, cai para um intervalo de 13% a 9%, o que é relevante dado que muitos dos alunos que executaram os procedimentos não tinham habilidades ou vivência experimental na área. Vale

lembrar que o teste realizado pelo professor, Fig. 9, tem um erro equivalente a 0,33% do valor da literatura.

Após aplicarem os procedimentos experimentais, os alunos responderam algumas questões. As respostas ao questionário podem ser visualizadas na Fig. 11.

Depois que os alunos responderam ao questionário, junto com eles chegou-se à conclusão de que o efeito fotoelétrico relaciona a energia do fóton que interage com o elétron de uma placa de zinco, por exemplo, e que é suficiente para arrancá-lo da

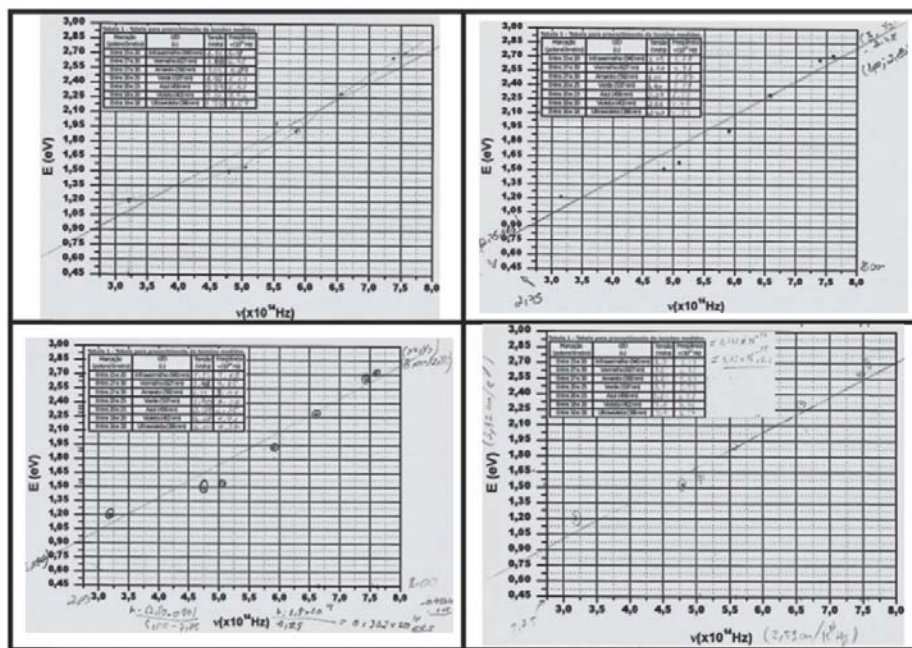


Figura 10: Gráficos (energia × frequência) obtidos a partir dos pontos experimentais. Reta de regressão manual para determinação da constante de Planck pela inclinação da reta.

1. O LED é um dispositivo semicondutor que quando energizado emite luz visível. Foi possível perceber que existe uma energia específica para cada cor específica de LED, ou seja, o LED só acenderá se atingir a quantidade de energia adequada para tal?
Sim foi possível perceber que existe uma energia
 Sim foi possível perceber que existe uma energia.

Sim o LED só acenderá se atingir a quantidade de energia para tal
 Sim o LED só acenderá se atingir a quantidade de energia para tal.

2. Quando acionamos um LED e o seguinte, observamos que o comprimento de onda (λ) diminui, enquanto a energia necessária (tensão) aumenta. Qual a relação de proporcionalidade entre a tensão e o comprimento de onda? No entanto quando aumenta a frequência (ν) aumenta também a tensão, agora qual a relação de proporcionalidade entre estas grandezas?
~~essa~~ *inversamente proporcional*
 Inversamente proporcional.

3. As tensões medidas no experimento nos dão de forma direta as energias em eletrovolts (eV). Olhando os dados da tabela, do gráfico e pelas discussões anteriores, qual frequência, e qual cor de LED, precisa de maior energia para ser dado o gatilho fazendo acender o LED? E qual LED corresponde a menor energia?
Infra vermelha precisa de maior energia e a menor ultra violeta
 Infravermelho precisa de maior energia e a menor ultravioleta.

Maior ultravioleta, e menor infravermelho
 Maior ultravioleta, e o menor infravermelho.

Ultravioleta é o infravermelho
 Ultravioleta e infravermelho.

4. Observando os procedimentos realizados de 6 a 14, o que faz você acreditar que a energia da radiação luminosa, como observada por Einstein, é quantizada?
Os raios UV
 Os raios UV.

Figura 11: Respostas dos alunos ao questionário do roteiro de determinação da constante de Planck.

placa, desde que se utilize a frequência adequada para tal, ou seja, o efeito não depende da intensidade da radiação incidente, mas é função apenas da frequência dessa radiação, que está associada à sua cor ou tipo de fonte envolvida.

Enquete sobre a aplicação do produto e da Oficina de Física Moderna

Para concluir a análise sob o ponto de vista pedagógico, foi feito um questionário, do tipo enquete, na intenção de veri-

ficar a satisfação dos alunos quanto aos objetivos alcançados. Vale destacar a intervenção escrita que fizeram espontaneamente dois dos 19 alunos entrevistados e que pode ser visualizada na Fig. 12.

Os resultados da enquete sobre as questões pedagógicas e logístico-operacionais, como também sobre a satisfação dos participantes da oficina, podem ser observados a seguir. Primeiro perguntou-se sobre o nível escolar dos participantes. Observa-se, na Fig. 13, que o público foi bem diversificado.

6. Faça uma avaliação geral dos experimentos e da oficina e coloque sugestões de melhoria da metodologia e exposição dos temas abordados. *A oficina foi muito satisfatória poderia acontecer com mais frequência.*

6. Faça uma avaliação geral dos experimentos e da oficina e coloque sugestões de melhoria da metodologia e exposição dos temas abordados. *Calento.*

Figura 12: Destaque de respostas a uma pergunta do questionário realizado ao final da oficina de física.

Depois, perguntou-se sobre o nível de dificuldade dos experimentos e roteiros, como observado na Fig. 14.

Apesar da participação de quatro grupos bem diversificados, desde o fundamental incompleto ao médio completo, passando por níveis intermediários, quase 60% não acharam o experimento de difícil execução e compreensão, como pode ser observado na Fig. 15.

O Fig. 16 apresenta o grau de satisfação com o resultado da oficina de física e dos experimentos proporcionados pelo kit educacional. Foi visível a satisfação dos participantes, eles apontaram como de boa qualidade (58%) e de alta qualidade (16%) os experimentos, o que corresponde a uma satisfação total de 74%.

Conclusão

Os resultados pedagógicos apontam uma postura, mesmo que acanhada, de observação curiosa, intuição e dedução por parte dos participantes das oficinas em que foi feita a aplicação do produto educacional. Essa característica é nata de uma investigação científica inerente àquele que utiliza um método prescrito que leva à transição da cognição da observação para a aplicação prática da ciência. Ainda assim, observa-se que se deve aumentar a frequência dessa participação nas oficinas com aplicação do produto

1. Qual seu nível de escolarização?

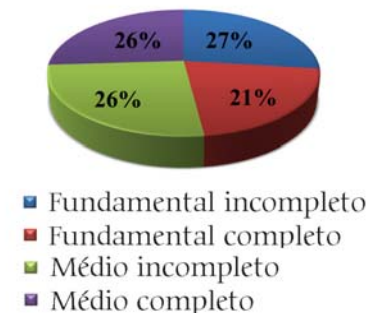


Figura 13: Nível escolar dos participantes da oficina.

2. Você achou o experimento complicado?

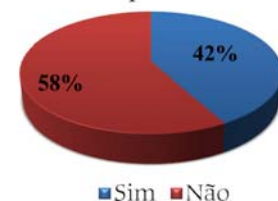


Figura 14: Nível de dificuldade experimental.

educacional, pois os alunos ainda têm aversão ao trabalho manual escrito e a trabalhar com material diferente do seu material didático e apresentam ainda dificuldade de trabalhar em equipe. Todavia, a grande maioria aponta que a metodologia adotada por meio da oficina com aplicação do produto educacional é de mais fácil contextualização com o dia a dia.

A grande maioria dos participantes da oficina de física não achou o experimento complicado e opina que ele é de mais fácil execução e contextualização, comparado a outras metodologias, apesar de se ter trabalhado com grupos de alunos bem diversificados, com quase 25% de representatividade de cada um dos quatro grupos.

Foi visível a satisfação dos participantes; eles apontaram como de boa qualidade (58%) e de alta qualidade (16%) os experimentos, o que corresponde a uma satisfação total de 74%, resultado que corrobora com 100% de satisfação com a Oficina de Física Moderna Experimental. No entanto, um total de 26% declarou a necessidade de se implementar algumas melhorias; não esclareceram quais devam ser, mas acredita-se que sejam relativos à logística, pois houve pouco tempo para realizar a prática, anotar procedimentos e responder a questionários.

De maneira geral, o produto e sua aplicação atenderam aos objetivos esperados. Vale ressaltar a declaração espontânea dos alunos de que a oficina foi excelente e que deveria ser disponibilizada com maior frequência.

De maneira geral, o produto e sua aplicação atenderam aos objetivos esperados. Vale ressaltar a declaração espontânea dos alunos de que a oficina foi excelente e que deveria ser disponibilizada com maior frequência.

3. Em comparação com outras metodologias de ensino, você acredita que a metodologia experimental:

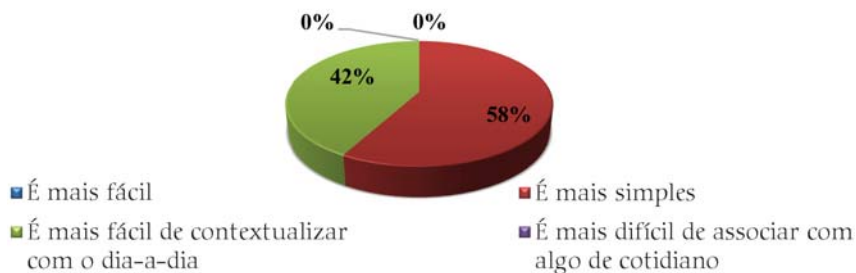


Figura 16: Comparação da metodologia experimental em grau de dificuldade com metodologias tradicionais.

4. De maneira geral, os experimentos apresentados na Oficina de Física Moderna foram:



Figura 16: Satisfação estudantil com a Oficina de Física Moderna.

Referências

- [1] M.F. Barroso, G. Rubini, T. Silva, Revista Brasileira de Ensino de Física **40**, 4402 (2018).
- [2] J.S. Sarmento, *Construção e Análise de um Forno Solar como Atividade Prática Não Formal no Ensino Médio de Física*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, 2015.
- [3] P. Freitas-Lemes, D.C. Vilela, M.G. Guarnieri, R.O. Prado, T.F. Medeiros e J.S.E. Germano, Revista Brasileira de Ensino de Física **41**, 20180090 (2018).
- [4] T.A. Borges, Cad. Bras. Ens. Fís. **19**, 291 (2002).
- [5] J.C. Santos e A.G. Dickman. Revista Brasileira de Ensino de Física **41**, 20180161 (2018).
- [6] P.A. Tipler e R.A. Llewellyn, *Física Moderna* (LTC, Rio de Janeiro, 2009), v. 3, p. 304.
- [7] M.A. Cavalcante e R. Haag, Revista Brasileira de Ensino de Física **27**, 443 (2005).