

Uma Aula Sobre o

# Efeito Fotoelétrico

no desenvolvimento de competências e habilidades



.....  
**Marisa Almeida Cavalcante e  
Cristiane R.C. Tavolaro**  
Grupo de Pesquisa em Ensino de Física  
da PUC/SP  
<http://mesonpi.cat.cbpf.br/marisa>  
E-mail: [marisac@pucsp.br](mailto:marisac@pucsp.br)

.....  
**Dione Fagundes de Souza**  
IFSC/USP/SP

.....  
**João Muzinatti**  
PUC/SP

## Introdução

**E**m 1887 Heinrich Hertz realizou as experiências que confirmaram a existência de ondas eletromagnéticas e ainda observou que uma descarga elétrica entre dois eletrodos dentro de uma ampola de vidro é facilitada quando radiação luminosa incide em um dos eletrodos, fazendo com que elétrons sejam emitidos de sua superfície. Esse fenômeno foi chamado efeito fotoelétrico.

Em 1905, um físico até então desconhecido, Albert Einstein, que trabalhava como examinador de patentes em Berna, Suíça, publicou três trabalhos revolucionários. O primeiro trabalho procurou explicar o movimento das moléculas em um líquido, conhecido como movimento browniano; o segundo foi o famoso trabalho sobre a relatividade e o terceiro, que considerou o mais revolucionário, propôs a hipótese da quantização da radiação eletromagnética pela qual, em certos processos, a luz comporta-se como pacotes concentrados de energia, chamados fótons. Com esta hipótese, ele forneceu uma explicação para o efeito fotoelétrico.

Do ponto de vista tecnológico, o efeito fotoelétrico é empregado em visores noturnos (sensíveis à radiação infra-vermelha), fotômetros, dispositi-

tivos para aberturas de portas e outros. Não se deve confundir com dispositivos que usam o efeito fotovoltaico (células solares) ou a fotocondutividade (chaves que acendem lâmpadas de poste, por exemplo).

Em se tratando de Filosofia, a discussão sobre o efeito fotoelétrico apresenta muitas possibilidades de reflexão. Um dos temas mais importantes nesse sentido é a discussão sobre os

**Do ponto de vista tecnológico, o efeito fotoelétrico é empregado em visores noturnos, fotômetros e dispositivos para aberturas de portas**

*princípios racionais* que, dentro do pensamento humano, sofreram sérios questionamentos no momento em que novas teorias foram estruturadas

no início do século XX.

No desenvolvimento da Física a partir de Newton, a *razão* sempre foi o caminho por excelência para que as verdades do Universo se fizessem conhecer. E, nesse contexto, a natureza ondulatória da luz estava perfeitamente coerente com a visão determinista de mundo. Mas, nessa trajetória, “as idéias de substâncias, partículas e forças penetraram o campo da óptica [e] finalmente o velho ponto de vista filosófico ruiu” (Einstein e Infeld). A luz, que até então era explicada apenas como onda luminosa, passou a ter também a característica de matéria, pois seria formada por partículas. Isso representou um golpe considerável dentro do pensamento racional, abalando um dos seus princípios nortea-

Este artigo pretende mostrar como podemos, utilizando-se de recursos experimentais e computacionais, criar uma aula dinâmica e ao mesmo tempo interdisciplinar, envolvendo professores de filosofia, matemática e física, através de um tema fascinante como o comportamento dual da luz, suas aplicações tecnológicas e implicações filosóficas.

dores, pois permitia que um mesmo fenômeno pudesse ter duas explicações até então excludentes. Tal questionamento foi tão importante dentro do pensamento filosófico moderno que acabou contribuindo para que a *indeterminação* também passasse a se constituir em fundamento para certas escalas do pensamento racional. É, sem dúvida, um momento de grande importância dentro da filosofia contemporânea e que determinaria novos caminhos nos domínios da *razão*.

## Objetivo

Com o intuito de prestar uma pequena contribuição aos professores de Física no Ensino Médio, vamos inicialmente efetuar uma abordagem conceitual e geral sobre a descoberta do efeito fotoelétrico e ao longo desta explanação faremos indicação dos recursos educacionais que podem ser utilizados em uma prática pedagógica. É importante notar que, exceto no que tange à utilização de simulações

**A indeterminação gerada pela dualidade onda-partícula passou a se constituir como um novo fundamento para certas escalas do pensamento racional**

computacionais, todos os recursos já são velhos conhecidos de todos. O mérito deste artigo está em reunir todas estas possibilidades em um único trabalho, dando a cada uma delas uma roupagem nova, adaptando-as às vantagens tecnológicas atualmente disponíveis.

Os recursos apresentados neste trabalho envolvem experimentos, simulações computacionais disponíveis na Internet e prevê a realização de um debate em sala de aula, onde parte dos alunos deve defender o comportamento ondulatório da luz e outra parte o comportamento corpuscular. O professor deverá ser o mediador e mostrar as implicações que decorrem de cada observação efetuada ao longo do debate, apontando soluções e dificuldades, objetivando desenvolver competências e habilidades de acordo com os referências estabelecidas pelos Novos Parâmetros Curriculares Nacionais.

Esta proposta envolve dois recursos educacionais distintos: uma simulação computacional e um experimen-

to prático. Cada um deles nos levará a resultados aproximados da constante de Planck.

## Simulação Computacional do Efeito Fotoelétrico

Para uma compreensão sobre o efeito fotoelétrico, sugerimos ao professor a utilização de alguns *applets* disponíveis na Internet. No endereço <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm> (em espanhol) encontramos vários *applets* de autoria do prof. Angel Franco Garcia, compondo um curso interativo de Física pela Internet. Dentre estes, temos uma simulação do experimento sobre efeito fotoelétrico que permite verificar a dependência da energia cinética dos elétrons emitidos em relação à intensidade da luz incidente e a dependência com o material do emissor.

A Figura 1 mostra um esquema do experimento proposto na simulação.

Após incidir a luz no emissor, uma diferença de potencial é aplicada de

modo a frear totalmente o elétron emitido. A energia do elétron foto-gerado é diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada entre os eletrodos, conhecida como potencial de corte. Percebe-se após a realização desta simulação que a energia cinética do elétron emitido independe da intensidade da luz incidente, mas existe uma dependência desta energia com relação à frequência da radiação incidente.

Estes resultados (Figura 2) para os foto-emissores de alumínio e antimônio mostram: i) uma relação line-

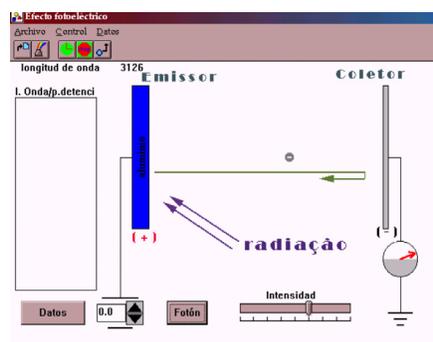


Figura 1. Tela inicial do *applet* de simulação do efeito fotoelétrico.

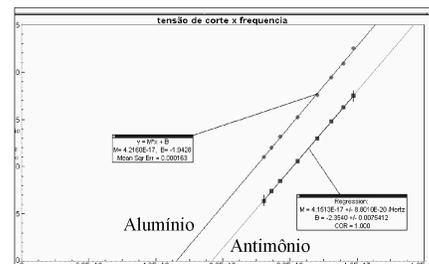


Figura 2. Potencial de corte vs. a frequência para os foto-emissores de alumínio e antimônio.

ar entre a tensão de corte e a frequência da radiação incidente em cada foto-emissor; ii) que as retas obtidas apresentam coeficientes angulares muito próximos; iii) que existe um valor mínimo de frequência abaixo da qual o efeito não ocorre, e este valor varia com o material que constitui o emissor.

## Analisando os resultados obtidos na simulação

A explicação clássica para o efeito fotoelétrico diz que a interação do campo elétrico da luz incidente com a carga do elétron é responsável pela absorção de energia por parte deste último, o que se reflete em um movimento vibracional do elétron com a mesma frequência do campo elétrico. A energia de um corpo em vibração é proporcional à intensidade do movimento. Portanto, a energia do elétron liberado deveria ser proporcional à intensidade da luz, fato que não era verificado experimentalmente. Além disso, o fenômeno não é instantâneo, pois o elétron deve armazenar uma quantidade de energia necessária à sua liberação do meio material.

A explicação para o efeito fotoelétrico foi proposta em 1905 por Albert Einstein, depois da formulação de Planck da radiação do corpo negro em 1900. Einstein propôs que a energia da luz incidente estaria concentrada em um pacote (fóton) de valor  $h\nu$ , onde  $\nu$  é a frequência da luz e que a intensidade da luz seria proporcional ao número de pacotes. No processo fotoelétrico, a energia de um pacote seria completamente absorvida por um elétron do emissor. Desta forma, uma energia  $\nu$  seria transferida para o elétron que poderia escapar do catodo se esta fosse suficiente para superar

a energia de ligação do elétron com o material do catodo. Temos, então, a seguinte expressão para a energia do elétron foto-gerado:

$$E = h\nu - W$$

em que  $W$  é o trabalho de extração fotoelétrica. Se considerarmos  $E$  como a energia cinética dos elétrons mais rápidos emitidos (da superfície do material), temos através da medida da tensão de corte que  $eV = h\nu - W$ , onde  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  é carga do elétron e  $W = h\nu_0$ ,  $\nu_0$  representando o limiar de frequência, ou seja, a menor frequência para a qual o efeito ocorre. Assim,

$$eV = h(\nu - \nu_0)$$

Esta relação nos permite obter o valor da constante de Planck através da inclinação das retas na Figura 2, pois  $h = e \times$  (inclinação da reta). Para o alumínio, temos uma inclinação de  $4,22 \times 10^{-15}$  resultando  $h = 6,76 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ; para o antimônio  $h = 6,65 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ , desde que a inclinação é  $4,15 \times 10^{-15}$ . Assim, o valor médio obtido na simulação é  $h = 6,71 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ .

A determinação experimental da constante de Planck via efeito fotoelétrico é uma tarefa árdua e dispendiosa, pois requer uma célula fotoelétrica com alto vácuo, uma fonte de luz monocromática e um eletrômetro de alta precisão, pois as correntes elétricas envolvidas são da ordem de  $pA$  ( $10^{-12} \text{ A}$ ). A seguir, propomos uma maneira operacionalmente simples de medir a constante de Planck que, em contrapartida, requer um pouco de conhecimento sobre os materiais semicondutores.

### Um Experimento Muito Simples para a Determinação da Constante de Planck

Na experiência seguinte, propomos a determinação da constante de Planck, utilizando LED's (Light Emitting Diode) que são dispositivos muito utilizados em painéis de circuitos eletrônicos. Um LED é composto de uma junção de dois materiais semicondutores. Numa primeira aproximação, podemos dizer que os semicondutores são materiais que não conduzem corrente elétrica a baixas temperaturas, mas que sua condutividade aumenta com a temperatura.

Para entender o princípio básico de funcionamento destes dispositivos, temos que recorrer aos fundamentos da Mecânica Quântica, que descreve a estrutura eletrônica dos sólidos em termos de bandas de energia devido ao acoplamento dos níveis de energia atômicos. A banda mais energética ocupada por elétrons no estado fundamental é chamada banda de valência e a banda de condução comporta os elétrons que podem movimentar-se livremente pelo material. (GREF). A Figura 3 ilustra a formação de bandas de energia permitidas, separadas por lacunas (gaps) em um sistema periódico (sólido) a partir dos níveis de energia de átomos isolados.

A Figura 4 fornece um esboço desta distribuição energética nas bandas de valência e condução. A energia de Fermi é um nível de referência determinado pela concentração de elétrons na banda de energia. Temos ainda a representação, para uma dada temperatura, das funções  $F(E)$ , função de

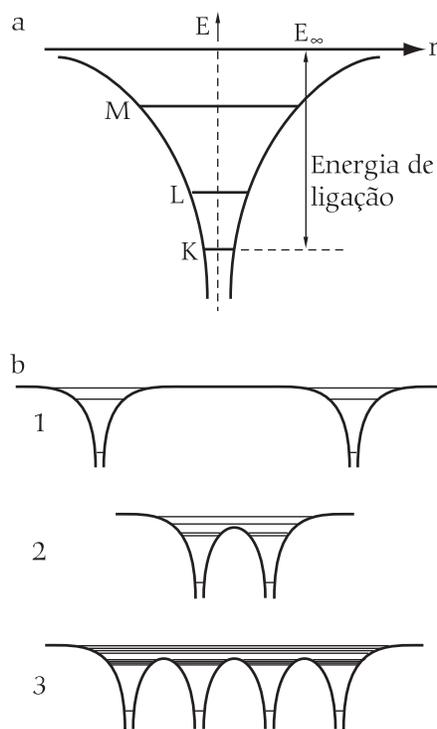


Figura 3. a) Diagrama de energia para os elétrons em um átomo isolado, b) Diagramas de energia para elétrons nas associações de duas moléculas com distâncias distintas (Figura 3b, 1 e 2) e associação para quatro moléculas (Figura 3b 3), o que mostra o desdobramento crescente para os níveis de energia com o aumento do número de associações e diminuição das distâncias interatômicas.

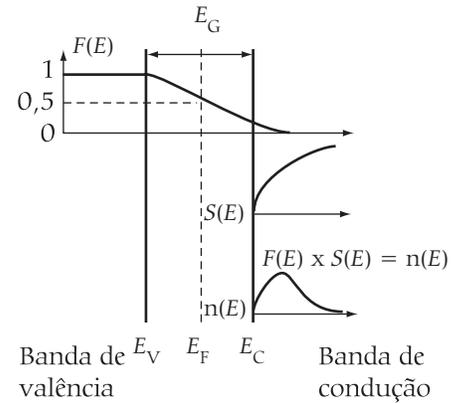


Figura 4. Diagrama para um semicondutor puro, mostrando o intervalo para a banda proibida  $E_G$  (energia do gap) e o nível de Fermi  $E_F$ , com um valor igual a  $E_G/2$ .

distribuição de Fermi, que nos fornece a probabilidade dos elétrons ocuparem os estados disponíveis de energia;  $S(E)$ , função que representa o número de estados possíveis de energia e  $n(E)$ , função que representa a concentração de elétrons distribuídos.

Para um semicondutor puro, a diferença energética entre estas bandas é pequena (da ordem de  $1,12 \text{ eV}$  para o silício e  $0,7 \text{ eV}$  para o germânio). Em temperatura ambiente, alguns elétrons da banda de valência absorvem energia que pode ser maior que esta diferença, saltando para a banda de condução e deixando uma lacuna que age como uma carga positiva. Temos, portanto, dois tipos de portadores de carga: elétrons e buracos, que para um semicondutor puro (germânio ou silício) estão em igual quantidade.

No entanto, para aumentar a condutividade deste material, podemos misturar pequenas quantidades de outros elementos (impurezas) liberando elétrons ou buracos nesta associação. Para o caso do silício, temos  $Z = 14$ . Neste caso, sua distribuição eletrônica oferece  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ . Como consequência, temos 4 elétrons de valência que se interligam neste material em uma ligação covalente. Se adicionarmos átomos pentavalentes, como fósforo, antimônio e arsênio, liberaremos nesta ligação um elétron, já que quatro dos cinco elétrons destas impurezas ocuparão as ligações covalentes e o quinto elétron ficará disponível para conduzir corrente elétrica. Caso as impurezas sejam materiais trivalentes, como boro, gálio e o índio, teremos um lugar vago

na quarta ligação covalente, disponibilizando buracos capazes de aceitar elétrons. No primeiro caso, temos impurezas aceitadoras e um semicondutor tipo n; no segundo, impurezas doadoras constituindo um semicondutor tipo p. Para uma dada concentração de impurezas, ocorre um deslocamento do nível de Fermi.

### Comportamento de uma junção P-N

Quando um semicondutor tipo p e um tipo n são colocados em contato, elétrons em excesso da região n e buracos da região p começam a difundir e se recombinam. Podemos dizer que o lado p deste semicondutor fica mais negativo na extremidade da junção, que a parte mais interna do material, o mesmo ocorrendo com o lado n que fica mais positivo, conforme ao esquema da Figura 5(a) e 5(b).

O deslocamento destas cargas vai originar um campo elétrico que cria uma barreira ao movimento. Se aplicarmos um campo elétrico no mesmo sentido que o estabelecido na junção teremos uma corrente elétrica muito pequena, chamada de corrente térmica. No entanto, se aplicarmos um campo elétrico no sentido oposto ao estabelecido na junção, favoreceremos o deslocamento dos portadores maio-

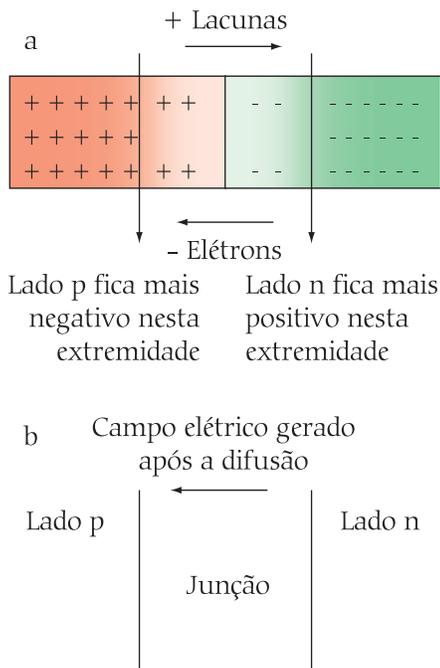


Figura 5. Dois semicondutores, um tipo p e outro tipo n colocados em contato (a) se recombinam, causando o surgimento de um campo elétrico (b).

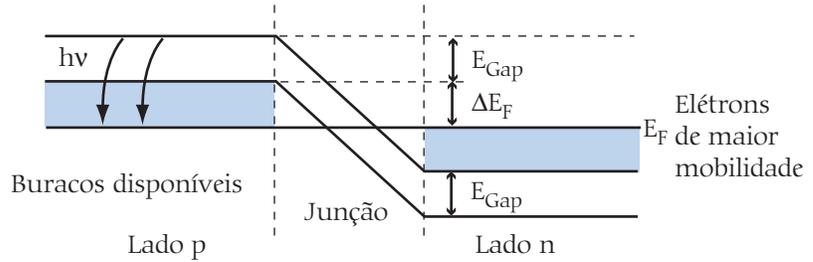


Figura 7. Diagrama de energia para uma junção p-n.

ritários (elétrons do lado n e buracos do lado p) gerando correntes tanto maiores quanto maior for o campo externo aplicado.

A Figura 6 mostra os diagramas de energia obtidos para o silício tipo p e tipo n antes e depois da junção (as concentrações são indicadas na figura em cada caso).

### Diodo emissor de luz

Um diodo emissor de luz consiste em uma junção entre semicondutores fortemente dopados. De acordo com o diagrama de energia estabelecido em uma junção p-n, ao aplicarmos um campo elétrico externo oposto ao local, estaremos polarizando diretamente o diodo e fazendo-o conduzir; a corrente elétrica obtida aumenta com a tensão aplicada na junção.

Quando aplicamos uma tensão externa à junção, os elétrons de condução ganham energia suficiente para vencer a barreira de potencial e cami-

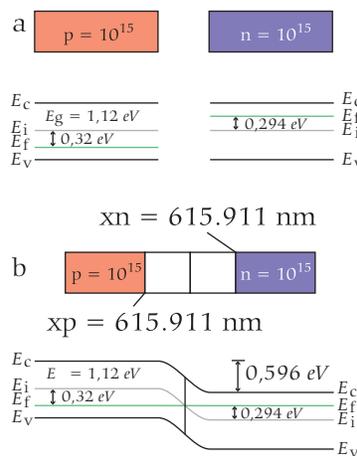


Figura 6. Silício tipo p à esquerda e tipo n à direita (a) e junção p-n silício, mostrando a barreira de potencial gerada após a difusão (b). Applets disponíveis no endereço <http://jas.eng.buffalo.edu/education/pn/pnformation-B/index.html>.

nhar para a região p. Podemos ver na Figura 7 que para os elétrons de maior mobilidade penetrarem na região p, a quantidade de energia máxima necessária é dada por:

$$eV_{\text{aplicada}} = E_G + \Delta E_F, \quad (1)$$

onde  $\Delta E_F$  incorpora os efeitos do nível de Fermi e a distribuição de elétrons na banda de condução.

Quando o elétron passar para a região p, podemos ter uma recombinação entre elétrons e buracos e como consequência, para cada transição, teremos a emissão de um fóton com energia  $h\nu$ . Em geral,  $\Delta E_F$  é muito pequeno e pode ser desprezado em primeira aproximação. Admitindo-se isso, da frequência de radiação de intensidade máxima pode ser escrita em termos do limiar de tensão (aquele valor para o qual o diodo começa a conduzir corrente), ou seja

$$h\nu = eV \quad (2)$$

### Determinação da constante de Planck

Com o objetivo de determinar a constante de Planck, procedemos inicialmente ao levantamento da curva característica dos LED's que serão utilizados. Para isso, usamos o esquema da Figura 8.

As chaves  $K_V$  e  $K_{Vd}$  nos permitem selecionar o LED cuja curva característica será obtida. Para uma tensão direta aplicada aos terminais dos LED's, temos as curvas características da Figura 9:

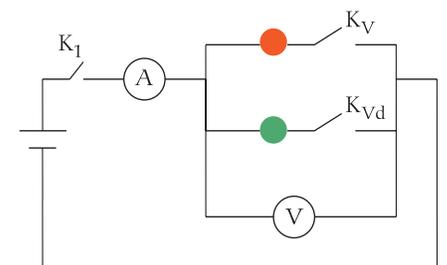


Figura 8. Diagrama esquemático da experiência.

Na página <http://jas2.eng.buffalo.edu/applets/education/pn/iv/index.html#> podemos obter, através de uma simulação via *aplets*, a curva  $i \times V$  para diferentes diodos de junção p-n. Para tensões diretas o valor de corrente aumenta consideravelmente à medida que elevamos o seu valor. Isto é facilmente verificado a partir das curvas de calibração desses LED's.

No gráfico de  $i \times V$  observa-se um valor de tensão para o qual o diodo

**Experimentos virtuais, quando bem orientados, podem ser instrumentos muito úteis para o desenvolvimento de conceitos físicos**

começa a conduzir corrente. Chamamos tensão de limiar o valor obtido por extrapolação da reta média nos pontos de corrente significativamente maiores que as correntes térmicas dos portadores minoritários.

A simulação disponível na página [http://jas2.eng.buffalo.edu/applets/education/pn/pnformation\\_B/index.html](http://jas2.eng.buffalo.edu/applets/education/pn/pnformation_B/index.html) permite variar o valor da tensão de limiar para diferentes materiais semicondutores e diferentes concentrações de impurezas doadoras e aceitadoras. Em uma primeira aproximação podemos dizer que:

$$eV_{\text{limiar}} = hv$$

onde  $v$  é a frequência da radiação de maior intensidade emitida pelo LED.

Os LED's utilizados foram produzidos pela Radio Shack e apresentavam comprimentos de onda conhecidos. No entanto, a maioria dos LED's disponíveis no mercado não traz esta informação. Para a determinação destes valores, com uma boa precisão, recomenda-se utilizar uma rede de difração convencional ou um CD transparente, analisando-se diretamente o desvio das radiações emitidas pelos LED's em uma régua. Se, no entanto, o que importa não é a precisão na medida, mas o desenvolvimento do aluno no enfrentamento de soluções intermediárias, sugerimos o método desenvolvido por Cavalcante e Benedetto através do qual os comprimentos de onda são obtidos, projetando-se em uma tela os anéis resultantes da decomposição da luz em um CD e construindo-se curvas de calibração para a análise espectral. Podemos ainda enriquecer este trabalho efetuando um estudo, com o auxílio do profes-

or de Matemática, na tentativa de se verificar qual a função que melhor representa esta calibração. Convém ainda salientar que quando recorremos a uma medida do comprimento de onda, estamos considerando a luz como onda eletromagnética, que interfere e difrata.

Neste momento, é oportuno reforçar um aspecto de extrema relevância e que pode ser mais bem lapidado pelo professor de Filosofia; embora se queira com este experi-

mento determinar a constante de Planck, que caracteriza a quantização da energia para a radiação, não estamos "descartando" o comportamento ondulatório da luz. A prova disto está na própria ação dos alunos diante da necessidade de conhecer o comprimento de onda da radiação emitida pelo LED.

### Resultados obtidos

O próximo passo para se obter a constante de Planck é determinar o valor da tensão limiar de cada LED, em seguida, substituir estes valores na Eq. 1. O resultado encontra-se na Tabela 1.

### Análise dos Resultados e Comentários

Os recursos apresentados neste trabalho envolvem basicamente dois experimentos, um virtual e outro real. Através deles, podemos compreender conceitos importantes associados à descoberta do efeito fotoelétrico, bem como determinar o valor da constante de Planck.

Experimentos virtuais, quando bem orientados, podem ser instrumentos muito úteis para o desenvolvimento de conceitos físicos, principalmente em áreas em que a Física Experimental encontra sérios limites para atuação.

No entanto, é importante salientar Tabela 1. Dados obtidos para os LED's.

	LED vermelho	LED verde
Frequência ( $\times 10^{14}$ Hertz)	4,5	5,3
V (Volts)	1,89	1,95
Constante de Planck ( $\times 10^{-34}$ J.s)	6,66	5,93
Valor médio para a Constante de Planck ( $\times 10^{-34}$ J.s)	6,29	

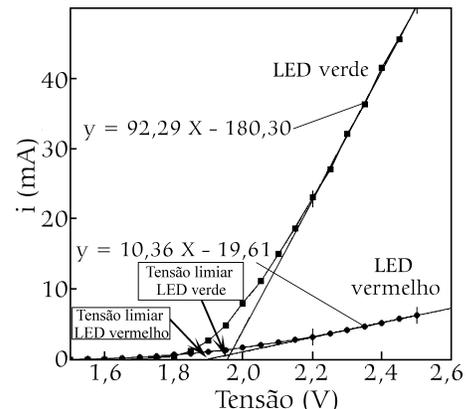


Figura 9. Gráfico obtido para o LED's vermelho e verde.

tar que os resultados obtidos através de simulações computacionais são provenientes de uma estrutura previamente programada e portanto atendem perfeitamente às expectativas frente ao modelo teórico estabelecido. Já a Física Experimental traz ao cientista a realidade dos "fatos" e, por muitas vezes, modelos teóricos são elaborados na tentativa de justificar estas observações. O trabalho experimental é desafiador e não pode ser comparado em seus resultados àquelas evidenciados em experimentos virtuais, visto serem de origens inteiramente distintas.

É natural, porém, que se questione o fato de, por exemplo, ter-se valores tão distintos para a constante de Planck quanto os apresentados nestes dois experimentos propostos. Para analisar esta discrepância, temos que retomar o processo experimental proposto. Neste processo a constante de Planck é obtida a partir do valor de tensão necessária para acender um LED comercial de uma dada cor. Na análise espectral dos LED's comerciais, verifica-se facilmente a existência de uma banda de emissão com extensão de 200 a 500 Angstroms, o que conduz a uma indeterminação no valor de tensão para acendimento. Este é, por exemplo, um dos limites impostos pela técnica apresentada.

Não podemos deixar de dar algu-

mas dicas importantes ao desenvolver este experimento:

1. Utilizamos para a determinação da constante de Planck LED's produzidos comercialmente, cujos valores de frequência são conhecidos e, deste modo, os erros experimentais introduzidos pela análise espectral não foram considerados. Se, no entanto, este valor não for conhecido, é aconselhável que antes de iniciar a medida de tensão de limiar, seja determinado o espectro de emissão correspondente a cada um dos LED's, de modo a se certificar de sua largura espectral.

2. Os LED's mais indicados são aqueles de encapsulamento transparente, que permitem uma melhor análise espectral.

## Contribuições para a Prática Pedagógica

Os valores para a constante de Planck, embora limitados pela técnica utilizada, ainda estão distantes daqueles obtidos através de instrumentos de alta precisão. No entanto, há de se considerar que obtemos a ordem

de grandeza correta de uma constante fundamental da Física. É relevante que o aluno do Ensino Médio execute um experimento tecnicamente simples, porém rico em conceitos e aplicações tecnológicas. A nosso ver, esta atitude contribui para uma

desmistificação do papel de constantes físicas, que muitas vezes parecem surgir nas teorias por encanto ou magia.

Outro ponto digno de registro é a proposta de execução de um trabalho coletivo, envolvendo professores de Matemática, Física e Filosofia, apontando alternativas para uma prática docente interligada e contextualizada.

O trabalho envolvendo Filosofia sem dúvida encontrará, aqui, uma questão crucial. A *dualidade onda-partícula* representou um entrave para o pensamento humano em um determinado momento. Ocorre que, desde o momento que se costuma denominar "revolução científica" – na Fí-

sica, assim como nas demais Ciências e áreas do conhecimento –, o raciocínio humano vem seguindo um encadeamento racional, não somente nos processos dedutivos e indutivos, mas também na sua formalização discursiva. A razão sempre tratou de organizar a realidade e o pensamento a fim de que ambos se tornassem compreensíveis. Então, os próprios modelos envolvendo a natureza da luz tiveram que ser pensados e definidos a partir de concepções que não contrariassem o que se considerava racional. E a razão sempre seguiu regras ou princípios, os quais são observados até mesmo por quem não os conhece diretamente. Assim, no momento em que se descobre essa dualidade, um dos princípios racionais é questionado seriamente.

São quatro os princípios racionais e podemos denominá-los: princípio da *identidade*, da *não contradição*, do *terceiro excluído* e da *razão suficiente*<sup>1</sup>. (Diante de um tema como o efeito fotoelétrico e, em se tratando de uma incursão pela Filosofia da Ciência, nossos alunos podem até dirigir-se

**A descoberta da dualidade onda-partícula representa, sem dúvida, um momento marcante para a Filosofia, pois juntamente com a teoria quântica, vem destabilizar os alicerces do pensamento racional, originando, até, aquele que se pode denominar como o quinto princípio da razão: o princípio da indeterminação**

para um estudo mais detalhado de tais princípios.) A descoberta da dualidade onda-partícula vem se chocar contra o *princípio do terceiro excluído*, pois, ao afirmar que a luz comporta-se tanto como onda luminosa quanto como feixe de partículas des-

contínuas, estabelece uma terceira condição, ferindo a lei racional que busca um único caminho de explicação para um fenômeno da natureza.

A descoberta da dualidade onda-partícula representa, sem dúvida, um momento marcante para a Filosofia, pois juntamente com a teoria quântica, vem destabilizar os alicerces do pensamento racional, originando, até, aquele que se pode denominar como o quinto princípio da razão: o *princípio da indeterminação*. A razão tem na Filosofia a sua área de estudos e discussões, mas é nas ciências que se manifesta no sentido de orientar o pensamento e organizar a natureza. Neste

estudo, o tema parece mais do que apropriado e pode ser muito rico para nossos alunos, motivando uma discussão interdisciplinar bastante rica.

O ápice desta proposta se dá através da organização de um debate, envolvendo os alunos e professores em torno de um tema comum, onde cada um deve *apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento apreendido, através de uma linguagem física adequada*.

Os recursos experimentais podem e devem ser explorados pelos alunos durante o debate, de modo a explorar questões tão importantes quanto aquelas advindas de fontes de energia alternativa e a preservação do meio ambiente, dimensionando a capacidade crescente do homem em alterar as condições de vida no planeta, propiciada pelo avanço tecnológico.

Por fim, este é um tema que tem uma riqueza extraordinária de conteúdo e abordagens e, talvez por esta razão, ele seja uma fonte inesgotável de diferentes propostas educacionais, entendendo-se esta apresentada como mais uma contribuição que nos possibilita adequarmos nossos planejamentos de curso em uma visão mais integrada e contextualizada de Ensino.

## Referências Bibliográficas

Einstein, A. e Infeld, L. *A Evolução da Física*, p. 82.

Cavalcante, M.A. e di Benedetto, M.A. *Instrumentação em Física Moderna para o Ensino Médio: Uma nova técnica para a análise quantitativa de espectros*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 21, n. 4, pp. 437-446, 1999.

Para uma descrição elementar de dispositivos semicondutores, veja *Física 3*, Grupo de Reformulação do Ensino de Física (GREF), EDUIP (1998), p. 54.

## Nota

1. O *princípio da identidade* possui um enunciado que se constitui na própria condição do pensamento: "A é A" ou "O que é, é"; por esse princípio, as coisas ficam definidas para que possam ser objeto de análise. O *princípio da não contradição* garante que, se "A é x", é impossível que "A seja não x"; sem esse princípio, o da *identidade* não funciona. O *princípio do terceiro excluído* diz que "Ou A é x ou é y, não havendo uma terceira possibilidade"; trata-se da definição para um dilema; exemplo: "Ou este homem é Sócrates, ou não é Sócrates". O *princípio da razão suficiente* ou da *causalidade* afirma que tudo o que existe tem um motivo para existir.