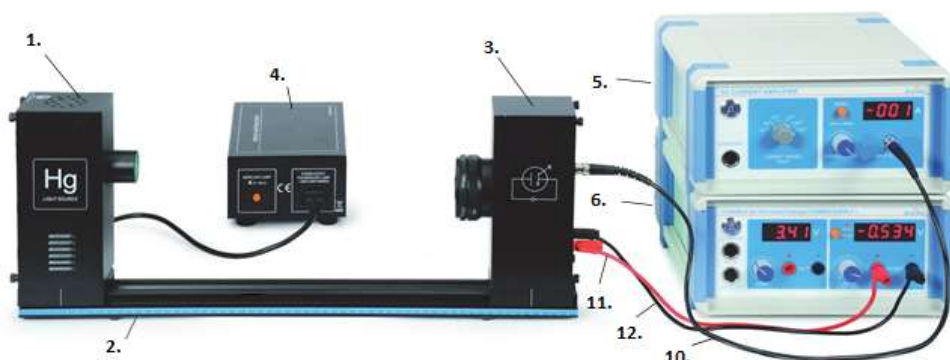


# Aparelho de Efeito Fotoelétrico

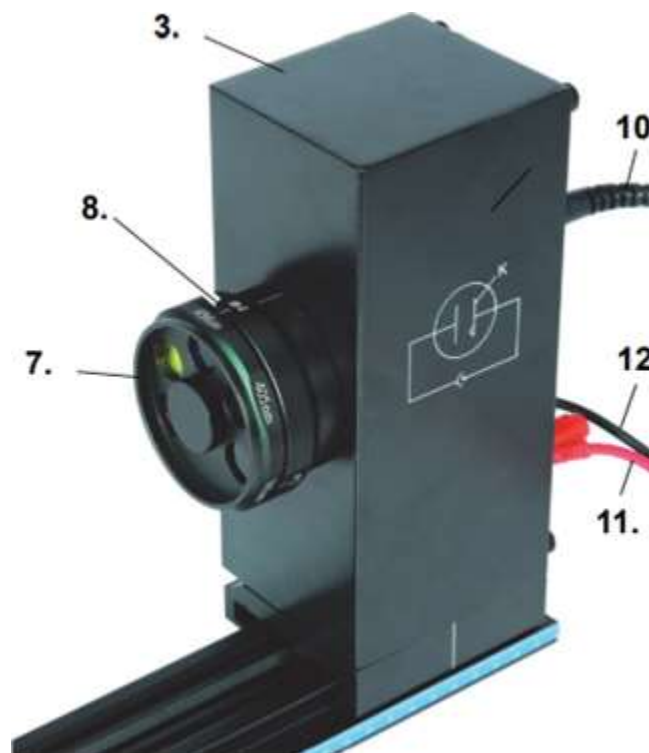
Modelo nº: SE-6609

## Lista de equipamentos



Equipamento Incluso
1. Compartimento da Luz de Mercúrio
2. Pista, 60 cm
3. Compartimento do Fotodiodo
4. Fonte de alimentação da fonte de Luz de Mercúrio
5. Amplificador de corrente CC
6. Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante

Filtros ópticos, aberturas e Capas
7. Roda do filtro (365, 405, 436, 546, 577 nm)
8. Seletor de abertura (Diâmetro 2 mm, 4 mm, 8 mm)
9. Compartimento do Fotodiodo
10. Capa do compartimento do Fotodiodo
11. Capa do compartimento da fonte de luz de Mercúrio



<b>Cabos e conexões</b>
9. Cabo de alimentação (3) (110 V versão mostrada)
10. Cabo de conexão BNC , Compartimento Fotodiodo
11. Cabo de conexão, Vermelho
12. Cabo de conexão, Preto
13. Cabo de interface (3) UI-5219



<b>Equipamento recomendado</b>	Modelo
PASCO 850 Universal Interface	UI-5000
PASCO Capstone Software	UI-5400

\*veja o site PASCO em [www.pasco.com](http://www.pasco.com) para mais informações

<b>Itens de reposição</b>	Modelo
Lâmpada de Mercúrio de reposição	SE-6597
Tubo fotodiodo de reposição	SE-6612

## **Garantia Limitada e Limitação de Responsabilidade**

Este produto Brolight possui garantia de um ano a partir da data de compra. Esta garantia não cobre fusíveis ou danos causados por acidente, negligência, uso indevido, alteração, contaminação ou condições anormais de operação ou manuseio. Os revendedores não estão autorizados a estender qualquer outra garantia em nome da Brolight. Para obter assistência durante o período de garantia, devolva a unidade ao ponto de compra com uma descrição do problema.

ESTA GARANTIA É O SEU ÚNICO RECURSO. NENHUMA OUTRA GARANTIA, COMO ADEQUAÇÃO A UM DETERMINADO FIM, É EXPRESSA OU IMPLÍCITA. A BROLIGHT NÃO SE RESPONSABILIZA POR QUAISQUER DANOS OU PERDAS ESPECIAIS, INDIRETAS, INCIDENTAIS OU CONSEQUENTES, DECORRENTES DE

QUALQUER CAUSA OU TEORIA. Como alguns estados ou países não permitem a exclusão ou limitação de uma garantia implícita ou de danos incidentes ou consequentes, esta limitação de responsabilidade pode não se aplicar a você.




## **Informação de Segurança**












**Aviso: Para evitar possíveis choques elétricos ou ferimentos pessoais, siga as instruções:**

- Não limpe os equipamentos com um pano molhado.
- Antes de usar, verifique se o aparelho não está danificado.

- Não remova o aterramento de segurança do cabo de alimentação.
- Conecte a uma tomada aterrada (terra).
- Não use o produto de qualquer maneira não especificada pelo fabricante.
- Não instale peças substitutas nem realize qualquer modificação não autorizada no produto.
- Fusíveis de proteção de linha e corrente: Para proteção contínua contra incêndio, substitua o fusível de linha e o fusível de proteção de corrente somente por fusíveis do tipo e classificação especificados.
- Desconexão da alimentação principal e da entrada de teste: Desconecte o instrumento da tomada da parede, remova o cabo de alimentação e remova todas as pontas de prova de todos os terminais antes da manutenção. Somente pessoal qualificado e treinado em serviço deve remover a tampa do instrumento.
- Não use o equipamento se estiver danificado. Antes de usar o equipamento, inspecione o gabinete. Preste atenção especial ao isolamento ao redor dos conectores.
- Não use o equipamento se estiver operando de forma anormal. A proteção pode ser prejudicada. Em caso de dúvida, faça a manutenção do equipamento.
- Não opere o equipamento na presença de gás, vapor ou poeira inflamáveis. Não use em condições de umidade.
- Não aplique mais do que a tensão nominal, conforme marcado no aparelho, entre terminais ou entre qualquer terminal e terra
- Ao fazer a manutenção do equipamento, use apenas peças de reposição especificadas.
- Tenha cuidado ao trabalhar com tensão acima de 30 V CA RMS, pico de 42 V ou 60 V CC. Tais tensões representam um risco de choque.
- Para evitar choque elétrico, não toque em nenhum condutor nu com a mão ou a pele.
- Aderir às normas de segurança locais e nacionais. O equipamento de proteção individual deve ser usado para evitar choque e lesões por explosão de arco elétrico onde os condutores perigosos estão expostos.
- Perigo restante: Quando um terminal de entrada é conectado a um potencial perigoso, deve-se observar que esse potencial pode ocorrer em todos os outros terminais!

## Simbologia elétrica

	Corrente alternada
	Corrente contínua
	Alerta, risco de perigo, consulte o manual de operação antes de usar.

 Atenção, possibilidade de choque elétrico
 Terminal de aterramento
 Terminal do condutor de proteção
 Aterramento do Chassi
 Em conformidade com as diretivas da União Europeia.
 REEE, resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos
 Fusível
 Ligado (Alimentação)
 Desligado (Alimentação)
 posição fechada do controle de pressionamento bi-estável.
 posição aberta do controle de pressionamento bi-estável.

## Introdução

O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons da superfície de um metal quando a radiação eletromagnética (como a visível ou luz ultravioleta) de frequência adequada brilha no metal. Na época de sua descoberta, o modelo de onda clássico para a luz previu que a energia dos elétrons emitidos aumentaria à medida que a intensidade (brilho) da luz aumentasse.

Em vez disso, descobriu-se que a energia dos elétrons emitidos era diretamente proporcional à frequência da luz incidente, e que nenhum elétron seria emitido se a fonte de luz não estivesse acima de uma certa frequência limite.

Elétrons de energia mais baixa foram emitidos quando a luz com frequência relativamente baixa incidiu sobre o metal, e os elétrons de maior energia foram emitidos quando a luz com frequência relativamente alta incidiu sobre o metal.

## A respeito do aparelho

O Aparelho de Efeito Fotoelétrico SE-6609 consiste em um compartimento de fonte de luz de mercúrio, uma pista, uma Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante, um amplificador de corrente CC, uma fonte de alimentação para a fonte de luz de mercúrio, cabos diversos, um invólucro de tubo de fotodiodo que possui filtros ópticos com cinco frequências distintas, um disco de abertura com três diâmetros diferentes e tampas de proteção para o compartimento do fotodiodo e o compartimento da fonte de luz de mercúrio. O compartimento do fotodiodo e o compartimento da fonte de luz de mercúrio são montados no trilho incluso.

O aparelho possui várias características importantes:

- O amplificador de corrente possui alta sensibilidade e é bem estável a fim de melhorar a precisão da medição.
- O tubo fotodiodo possui baixos níveis de corrente escura e corrente reversa de ânodo.
- Os filtros ópticos são de alta qualidade para evitar erros por interferência entre diferentes linhas espectrais.

Quando conectado a uma interface PASCO usando o software de aquisição de dados PASCO (como PASCO Capstone), a corrente e a tensão podem ser medidas, gravadas, exibidas e analisadas.

## Informação Complementar

Muitas pessoas contribuíram para a descoberta e explicação do efeito fotoelétrico. Em 1865, James Clerk Maxwell previu a existência de ondas eletromagnéticas e concluiu que a própria luz somente mais uma dessas ondas. Experimentalistas tentaram gerar e detectar radiação eletromagnética e a primeira tentativa claramente bem-sucedida foi feita em 1886 por Heinrich Hertz. Durante sua experimentação, descobriu-se que a faísca produzida por um receptor eletromagnético era mais vigorosa se exposta à luz ultravioleta. Em 1888 Wilhelm Hallwachs demonstrou que um eletroscópio de folha de ouro carregado negativamente descarregaria mais rapidamente do que o normal se um disco de zinco limpo conectado ao eletroscópio fosse exposto à luz ultravioleta.

Em 1899, J. J. Thomson determinou que a luz ultravioleta causou a emissão de elétrons do metal.

Em 1902, Phillip Lenard, assistente de Heinrich Hertz, usou uma luz de arco de carbono de alta intensidade para iluminar uma placa emissora. Usando uma placa coletora e um amperímetro sensível, ele foi capaz de medir a pequena corrente produzida quando a placa emissora foi exposta à luz. Para medir a energia dos elétrons emitidos, Lenard carregou negativamente a placa coletora, de modo que os elétrons da placa emissora seriam repelidos. Ele descobriu que havia um potencial mínimo de “parada” que impedia todos os elétrons de chegarem ao coletor. Ele ficou surpreso ao descobrir que o “potencial de parada”,  $V$ , e, portanto, a energia dos elétrons emitidos, não dependia da intensidade da luz. Ele descobriu que a energia dos elétrons emitidos dependiam da cor, ou frequência, da luz.

Em 1901, Max Planck publicou sua teoria da radiação. Nessa publicação, ele afirmou que um oscilador, ou qualquer sistema físico similar, tem um conjunto discreto de valores ou níveis de energia possíveis; energias entre esses valores nunca ocorrem. Planck prosseguiu afirmando que a emissão e absorção de radiação está associada a transições ou saltos entre dois níveis de energia. A energia perdida ou ganha pelo oscilador é emitida ou absorvida como um quantum de energia radiante, cuja magnitude é expressa pela equação:  $E = h\nu$  onde  $E$  é igual a energia radiante,  $\nu$  é a frequência de radiação, e  $h$  é uma constante fundamental da natureza. (a constante,  $h$ , ficou conhecida como a constante de Planck.)

Em 1905, Albert Einstein deu uma explicação simples das descobertas de Lenard usando a teoria de Planck. O novo modelo, conhecido como modelo quântico, previu que a luz de frequência alta produziria elétrons emitidos de energia mais alta (fotoelétrons), independente da intensidade enquanto o aumento da intensidade só aumentaria o número de elétrons emitidos (ou corrente fotoelétrica). Einstein assumiu que a luz que brilha no material emissor poderia ser pensada com ‘quanta’ de energia (chamadas de fótons) com a quantidade de energia igual a  $h\nu$  com  $\nu$  sendo a frequência. No efeito fotoelétrico, um ‘quantum’ de energia é absorvido por um elétron. Se o elétron estiver abaixo da superfície do material emissor, parte da energia absorvida é perdida à medida que o elétron se move em direção a superfície. esse processo costuma ser chamado de “função de trabalho” ( $W_0$ ). Se o ‘quantum’ é maior que a ‘função trabalho’, então o elétron é emitido com uma certa quantidade de energia cinética.

Einstein aplicou a teoria de Planck e explicou o efeito fotoelétrico em termos do modelo quântico usando sua famosa equação, a qual recebeu o prêmio Nobel em 1921:

$$E = h\nu = KE_{max} + W_0 \quad E = h\nu = KE_{max} + W_0$$

Onde  $KE_{max}$  é a máxima energia cinética do fotoelétron emitido. Em termos de energia cinética:

$$KE_{max} = h\nu - W_0 \quad KE_{max} = h\nu - W_0$$

Se a placa coletora estiver carregada negativamente até o potencial de “parada” de modo que os elétrons do emissor não atinjam o coletor e a fotocorrente seja zero, os elétrons com o maior valor de energia cinética energia  $eV$  onde ‘e’ é a carga do elétron e ‘V’ é a parada potencial:

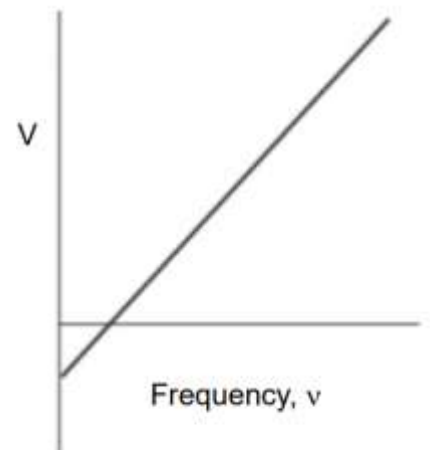
$$eV = h\nu - W_0 \quad eV = h\nu - W_0$$

$$V = h\nu/e - W_0/e = h\nu/e - W_0/e$$

A teoria de Einstein prevê que, se a frequência da luz incidente for variada, e o potencial de parada,  $V$ , for plotado em função da frequência, a inclinação da linha será  $h/e$  (Consultar figura 1).



**Albert Einstein**



**Fig. 1: Stopping Potential, V, versus Frequency**

## Princípio do experimento

Quando a luz incidente brilha no catodo (K), fotoelétrons podem ser emitidos e transferidos ao anodo (A). Isso constitui uma fotocorrente. Ao alterar a tensão entre o anodo e o catodo, e medindo a fotocorrente, é possível determinar as curvas características de tensão-corrente do tubo fotoelétrico.

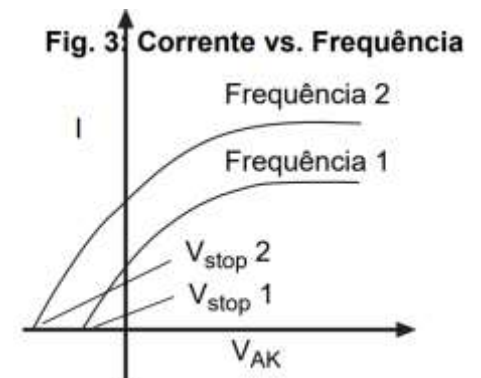
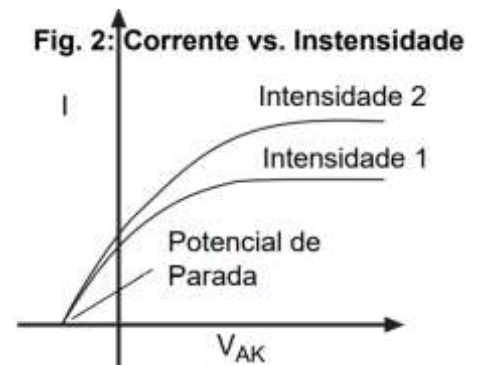
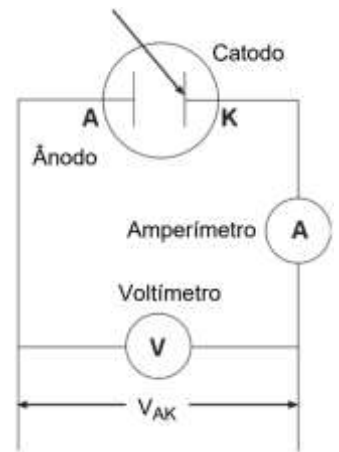
As constatações básicas dos experimentos de efeito fotoelétrico são os seguintes:

- Para uma dada frequência (cor) da luz, se a tensão entre o catodo e o anodo,  $V_{AK}$ , for igual ao potencial de parada,  $V$ , a fotocorrente é Zero.
- Quando a tensão entre o catodo e o anodo é maior que o potencial de parada, a fotocorrente irá aumentar rapidamente e eventualmente alcançar a saturação. A corrente de saturação é proporcional a intensidade da luz incidente. (Veja a figura 2).

- Luzes de diferentes frequências (cores) possuem diferentes potenciais de parada. (Veja a figura 3).


- A inclinação do gráfico do potencial de parada x frequência é o valor da razão,  $h/e$ . (Veja a figura 1).

- O efeito fotoelétrico é quase instantâneo. Uma vez que a luz brilha no cátodo, fotoelétrons são emitidos em menos de um nanossegundo.




## Instalação e Manutenção

### Instalação e troca da lâmpada de mercúrio

 **CUIDADO, LUZ ULTRAVIOLETA:** AO USAR ESSE PRODUTO, NÃO FOCAR VISÃO SOBRE A LÂMPADA QUANDO ESTIVER LIGADA. RAIOS ULTRAVIOLETAS PODEM SER PERIGOSOS. USE UMA PROTEÇÃO DE OLHO ADEQUADA.

NOTA: A lâmpada de mercúrio para o compartimento da fonte de luz de mercúrio não é acompanhada do mesmo e deve ser instalada antes da primeira utilização.

 **Alerta:** Antes de instalar ou trocar a lâmpada de mercúrio, assegure-se de desconectar o compartimento da fonte de luz de mercúrio da fonte de alimentação da lâmpada de mercúrio

**FERRAMENTAS:** uma chave de fenda é necessária para abrir o compartimento da fonte de luz de mercúrio.

- Use uma chave de fenda para remover os 4 parafusos que seguram a placa metálica do compartimento da fonte de luz de mercúrio.
- Use uma chave de fenda para alavancar a placa metálica da parte de trás do compartimento.

**NOTE:** Não toque o envelope de vidro da lâmpada de mercúrio. óleo e umidade da pele podem comprometer a performance da lâmpada. Ao invés disso, use luvas, tecido limpo, ou uma toalha de papel para manusear a lâmpada de mercúrio.

- Parafuse a lâmpada de mercúrio no soquete dentro do compartimento.
- Coloque novamente a placa metálica da parte de trás do compartimento.





## Especificações da lâmpada de mercúrio

linhas de emissão de espectro de : 365, 405, 435, 546 e 577 nanômetros (nm).

**NOTA:** Troque a lâmpada de mercúrio por uma do mesmo tipo.

- Parafuse a lâmpada de mercúrio no soquete dentro do compartimento.
- Coloque novamente a placa metálica da parte de trás do compartimento.

## Troca do tubo do Fotodiodo

Nota: Exposição prolongada do tubo do fotodiodo a luz pode diminuir o tempo de vida ou mesmo danificar o tubo.

Não deixe o tubo do fotodiodo desacoplado. Quando realizar a troca do tubo fotoelétrico, faça rapidamente.

- Use uma chave de fenda para remover os 4 parafusos pequenos que prendem a parte de trás do compartimento do fotodiodo.
- Use uma chave de fenda de lâmina plana pequena para desparafusar a placa metálica da parte de trás do compartimento.
- Use uma chave de fenda de lâmina plana para remover os 2 pequenos parafusos que prendem o tubo do fotodiodo a placa metálica de trás do compartimento.
- Tire o tubo de fotodiodo a ser trocado e coloque o novo tubo de fotodiodo.
- Parafuse novamente a placa metálica da parte de trás do compartimento.
- Especificações do tubo do fotodiodo



## Especificações do tubo do fotodiodo

Alcance de resposta espectral: 300-700 nm

sensibilidade mínima do catodo:  $\geq 1\mu A/Lm \geq 1\mu A/Lm$

Anodo: Anel de níquel;

Corrente negra:  $\leq 20 \cdot 10^{-13} A (-4.5V \leq V_{AK} \leq 0V)$

## Fios e Cabos de conexão

**NOTA:** Antes de conectar quaisquer fios ou cabos, certifique-se de que todos os interruptores ON/OFF em todas as partes dos aparelhos estão na posição OFF.

**NOTA:** Os conectores de alimentação de entrada nas fontes e amplificador de corrente CC podem ser operados em 110 V ou 220 V(CA). Certifique-se de selecionar o ajuste correto de acordo com o seu nível de tensão CA



- Conecte o cabo de alimentação do compartimento da fonte de luz mercúrio no recipiente rotulado como **“POWER OUTPUT FOR MERCURY LAMP ~220V”** na parte frontal da Fonte de Alimentação da Lâmpada de Mercúrio.

**NOTA:** Os próximos três cabos conectam o compartimento do fotodiodo ao amplificador de corrente CC e a Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante. Esses três cabos serão desconectados durante a calibração. Não é necessário desligar a alimentação do Amplificador de corrente CC e a Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante ao desconectar e reconectar esses cabos durante a calibração.

- Conecte o cabo BNC plug-to-plug BNC especial entre a porta marcada com “K” no compartimento do fotodiodo e a porta rotulada “INPUT SIGNAL” no amplificador de corrente CC. Alinhe os entalhes do plugue BNC com as guias da porta BNC. Empurre o plugue BNC na porta e gire o plugue um quarto de volta no sentido horário para travá-lo na porta.
- Conecte o cabo plug banana vermelho entre a porta marcada “A” no compartimento do fotodiodo e a porta banana plug vermelha próxima ao botão de controle marcado “-4.5V – 0VA” na metade direita da Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante.
- Conecte o cabo de conexão plugue banana preto entre a porta marcada com a “seta para baixo” (símbolo do ATERRAMENTO) no compartimento do fotodiodo e a porta de plugue banana preto próxima ao botão de controle marcado “-4.5V – 0VA” na metade direita da frente da Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante.


Conecte os cabos de alimentação do compartimento da fonte de luz Mercúrio, do Amplificador de Corrente DC e da Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante entre a porta rotulada “AC POWER CORD, 110-120V/220-240V 50Hz/60Hz” e uma tomada apropriada.

## Especificações de Cabos e Fios

Item	Especificação
Cabo de alimentação	Comp: 1.5 m Valores: 10A/250V
Cabo de conexão	Comp: 0.85 m Valores: 10A/300V

**NOTA:** Sempre troque o cabo de alimentação ou de conexão por outros do mesmo tipo.

## Reposição do fusível

 **ALERTA:** Para reduzir o risco de choque elétrico ou danificar o instrumento, desligue a chave de alimentação e desconecte o cabo de alimentação antes de trocar o fusível.

Desconecte o cabo de alimentação do instrumento.

Abra a proteção do fusível e remova o fusível.

Troque os fusíveis. Use fusíveis do mesmo tipo.

Reconecte o cabo de alimentação e ligue o instrumento.

Se o problema persistir, contacte o suporte técnico para auxílio.



## Fonte de alimentação (Tensão Constante) CC ajustável

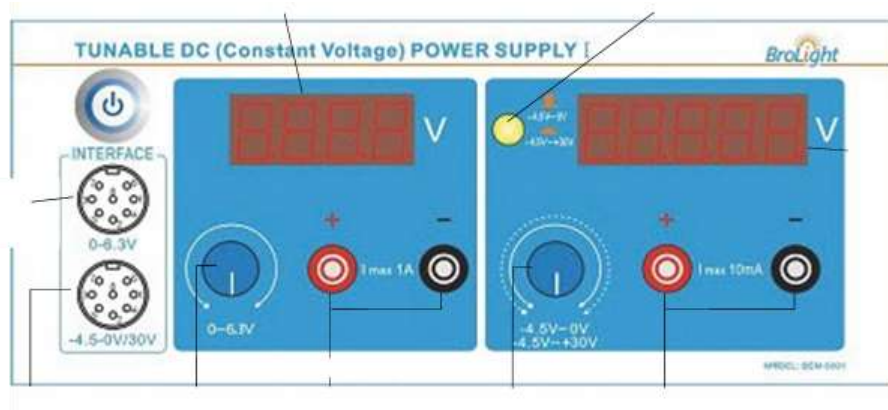


Figura: Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante

A Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante fornece potencial para o tubo do fotodiodo, que é mostrado em um dos visores de voltímetro e podem ser registrados usando uma interface PASCO e software de aquisição de dados. A fonte de alimentação tem duas saídas: a Tensão CC com duas faixas, -4,5V a 0V e -4,5V a 30V e a Tensão do Filamento (0 – 6,3V) que não é utilizada.

\*NOTA: A tensão do filamento não é usada neste experimento

- Power Switch (Chave de Alimentação): LIGA ou DESLIGA a alimentação do instrumento.
- Voltmeter Displays (Visor do Voltímetro): Um visor mostra o potencial através do tubo do fotodiodo e o outro exibe a tensão do filamento (não usado neste experimento)
- Voltage Range Switch CC (Chave de Faixa de Tensão CC): Define a faixa de tensão DC como -4,5 V a +30 V para traçar características de tensão e de corrente e -4,5 V a 0 V para medição do potencial de parada.

- Data Interface (interface de dados) 8-pin DIN Ports : Uma porta é para medir a tensão CC ( $-4,5\text{ V} - 0\text{ V}/30\text{ V}$ ) e pode ser conectada aos dados aparelho de processamento (interface PASCO) e a outra porta é para medir a tensão do filamento\* ( $0 - 6,3\text{ V}$ ) e não é usada nesse experimento.
- Voltage Adjust Knobs (Botões de ajuste de tensão): Um botão ajusta o potencial através do tubo de fotodiodo para ambas as faixas de tensão DC e o outro botão ajusta o potencial do filamento\* (não usado neste experimento).
- Power Output Ports (Portas de saída de energia): Um conjunto de portas é para saída de energia para o tubo de fotodiodo e o outro conjunto é para tensão de filamento\* (não usado neste experimento).

## Amplificador de corrente contínua

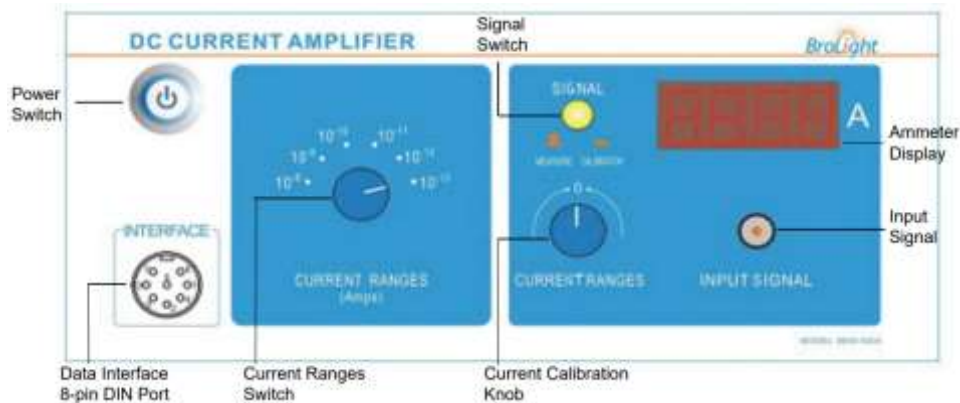


Figura: Amplificador de corrente contínua

- Power Switch (Chave de alimentação): LIGA ou DESLIGA a alimentação do instrumento.
- Data Interface (Interface de Dados) 8-pin DIN Port : Porta para conexão do aparelho de processamento de dados (Interface PASCO).
- Current Range Switch (Chave de Faixa de Corrente): Define a faixa de corrente para o amplificador de corrente do instrumento (10<sup>-8</sup> to 10<sup>-13</sup> A).
- Signal Switch (Chave de Sinal): Ajusta o sinal do tubo fotodiodo para "CALIBRATION" (calibração), (botão IN) ou MEASURE (medição), (botão OUT).
- Current Calibration Knob (Botão de Calibração de Corrente): Ajusta a corrente através do instrumento para zero.
- Ammeter Display (Visor do Amperímetro): Mostra a fotocorrente através do tubo fotodiodo.
- Input Signal (Sinal de entrada): porta de entrada BNC para o sinal do tubo fotodiodo.

## Montagem do compartimento do fotodiodo e do compartimento da fonte de luz de mercúrio

O compartimento do fotodiodo e o compartimento da fonte de luz de mercúrio são montados no trilho de 60 cm incluído. Solte o parafuso de aperto manual que está próximo à parte inferior do painel lateral de cada compartimento. Coloque os compartimentos na pista com o compartimento do fotodiodo voltado para o invólucro da fonte de luz de mercúrio. Posicione os compartimentos de forma que fiquem a cerca de 35 cm de distância (conforme indicado pela escala métrica na lateral da pista). Aperte o parafuso de aperto manual na parte inferior de cada compartimento para mantê-lo no lugar do trilho.

## Precisão da medição

Dois fatores podem afetar a precisão da medição. Primeiro, a fotocorrente é muito pequena, e em segundo lugar, por causa do cátodo de corrente escura e a corrente reversa do ânodo, a tensão quando a fotocorrente é zero não é exatamente o potencial de parada. (Para mais informações, veja Experiments in Modern Physics de A. Melissinos, copyright 1966, Harcourt Brace Jovanovich, publishers.)

O aparelho possui um amplificador de corrente muito sensível e estável para que a pequena fotocorrente possa ser medida com precisão. O tubo de fotodiodo possui um baixo nível de corrente escura e tensão reversa do ânodo. Além disso, devido aos gráficos de potencial de parada x frequência serem plotados para várias linhas espectrais e a inclinação do potencial de parada x frequência ser usada para calcular a constante de Planck, o método da inclinação fornece um resultado preciso, mesmo que o potencial de parada não seja exatamente preciso.

# Usando o software de interface e aquisição de dados PASCO

## Conecte-se à interface

Use dois dos cabos de plug DIN de 8 pinos incluídos para conectar a interface de dados porta do amplificador de corrente CC e a porta de interface de dados “-4,5 – 0V/30V” da Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante para uma interface PASCO (como a Interface Universal PASCO 850, a Interface PASCO 750 ou 500). Coloque os plugues dos dois cabos em duas das Portas ANALOG INPUT na interface PASCO.

## PASCO Capstone Workbook

Um arquivo de WorkBook eletrônico para o PASCO Capstone está disponível no site PASCO, [www.pasco.com](http://www.pasco.com). Digite “EX-5549A” na janela ‘Pesquisar’ e siga as instruções para baixar o arquivo Capstone.

## Configuração do software

Ligue a interface e inicie o software PASCO Capstone. A Interface Universal 850 identifica automaticamente os dois equipamentos que estão conectados a ele (amplificador de corrente CC e Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante). Para obter informações sobre como usar o equipamento com a interface PASCO 750 ou a interface PASCO 500, consulte o Apêndice D.

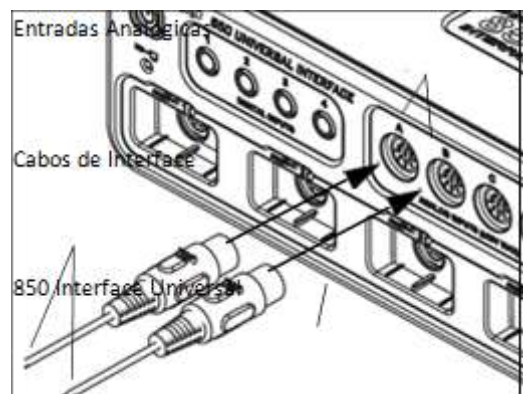
## Verifique a configuração de hardware

Clique no ícone "Hardware Setup" no painel "Tools" para abrir a janela de configuração de hardware. Os ícones para tensão da fonte de alimentação CC e corrente do Amplificador de Corrente DC irão aparecer conectados aos ícones do canal analógico do ícone de interface.

Clique no ícone "Hardware setup" no painel Ferramentas novamente para fechar a janela de configuração de hardware.

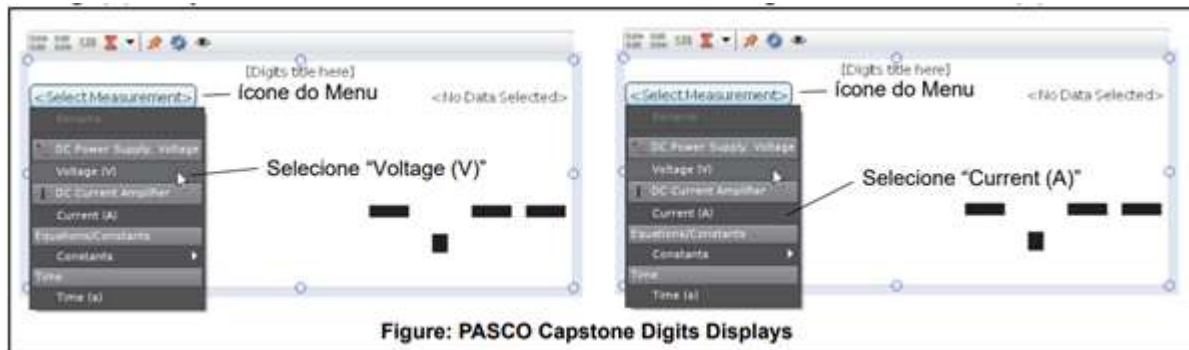
## Configurar a exibição de dados

Selecione uma das exibições de dados configuradas na janela WorkBook ou clique e arraste um ícone de exibição de dados da tela "Displays" para a janela "Workbook". Por exemplo, arraste "two digits displays" (exibição de dois dígitos) para a janela "Workbook".



## Seleção de Medições

Para um par de display de dígitos de dados, por exemplo, clique no ícone do menu "Select measurement" e selecione "Voltage (V)". Clique no ícone do menu "Select measurement" na tela "other digits" e selecione "Current (A)".



Para esse experimento você irá selecionar o template "Table-Graph" da página workbook no software PASCO Capstone.

# Experimento 1 – Constante de Planck, h

## Medindo e Calculando a Constante de Planck, h

### Preparação antes da medição

1. Cubra a janela do compartimento da fonte de luz de mercúrio com a tampa da lâmpada de mercúrio. Cubra a janela do compartimento do fotodiodo com a tampa do fotodiodo.
2. Ajuste a distância entre o compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio e o compartimento do Fotodiodo para que o espaçamento geral seja entre 30,0 cm a 40,0 cm. NOTA: A distância recomendada é de 35,0 cm.
3. Na Fonte de Alimentação da Lâmpada de Mercúrio, pressione o botão para ligar a LÂMPADA DE MERCÚRIO. Na Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante e Amplificador de Corrente CC, pressione o botão POWER para a posição ON.
4. Deixe a fonte de luz e o aparelho aquecer por 10 minutos.
5. Na Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante, ajuste a chave "Voltage Range" para **-4,5 V – 0 V**. No amplificador de corrente CC, gire a chave "CURRENT RANGES" para  **$10^{-13}$  A**.
6. No amplificador de corrente CC, pressione o botão "SIGNAL" para a posição "in" para CALIBRAÇÃO.
7. Ajuste o botão "CURRENT RANGES" até que o amperímetro mostre que a corrente é zero.
8. Pressione o botão "SIGNAL" para que ele se mova para a posição "out" para "MEASURE"(medição).
9. Conecte os cabos banana vermelho e preto no fotodiodo aos conectores banana vermelho e preto para as portas de saída de **-4,5 V – 0 V** na Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante.
10. Conecte o cabo "BNC" entre o fotodiodo e a porta "BNC" no amplificador de corrente CC.
11. Conecte um cabo DIN de 8 pinos da porta "INTERFACE" do Amplificador de corrente CC para o "Universal Interface 850 Channel A".
12. Conecte outro cabo DIN de 8 pinos da Porta INTERFACE -4,5V – 0V da fonte de alimentação CC para o "Universal Interface 850 Channel B".



### Configuração do software PASCO Capstone

1. No "PASCO Capstone", escolha o "table-graph" (modelo de gráfico de tabela) três colunas na tabela.
2. Na primeira coluna, crie um conjunto de dados inserido pelo usuário chamado Comprimento de onda com unidades de nm. Nas propriedades dessa medição, defina o símbolo para  $\lambda$  (lambda). Digite os valores dos comprimentos de onda de Mercúrio: 365, 405, 436, 546, 577.
3. Abra a calculadora no Capstone e crie um cálculo para a frequência, f:
 
$$f = \square = \square / \square \cdot 10^{-5} \square \square \square \square \square \square \square \square \square \square (\square 10^{14} \square \square)$$

c = [Velocidade da luz (m/s)]

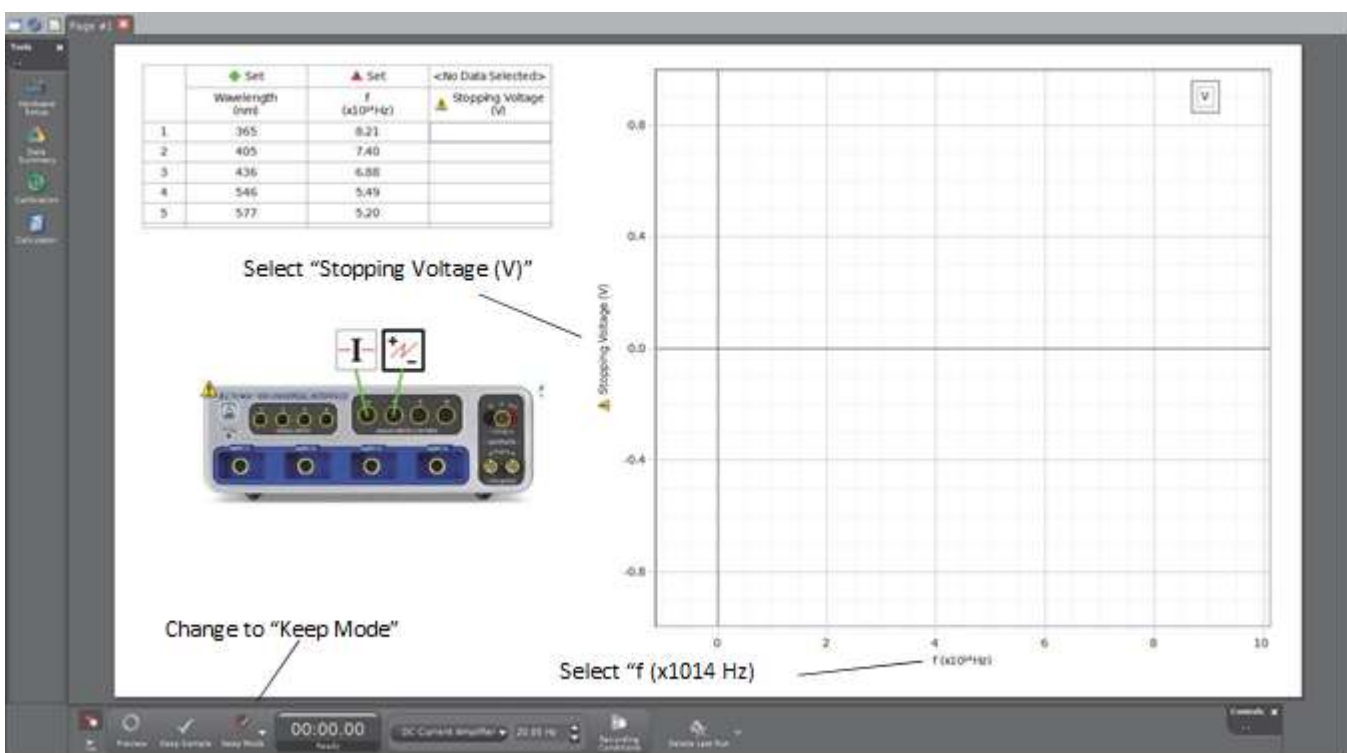
$\lambda$  = [Comprimento de onda (nm)],
4. Selecione o cálculo **f** na segunda coluna da tabela.



5. Na terceira coluna da tabela, selecione a tensão da fonte de alimentação CC. Renomeie a medida na coluna cabeçalho para "Stopping Voltage".

	◆ Set	▲ Set	<No Data Selected>
	Wavelength (nm)	f (x10 <sup>14</sup> Hz)	⚠ Stopping Voltage (V)
1	365	8.21	
2	405	7.40	
3	436	6.88	
4	546	5.49	
5	577	5.20	

6. Altere o modo de amostragem na barra de controle de amostragem de **Continuous Mode** para **Keep Mode**.
7. No gráfico, selecione **Stopping Voltage** no eixo vertical e **f** (frequência) no eixo horizontal.



## Medição

1. Puxe suavemente o mostrador de abertura para fora da caixa do compartimento do fotodiodo e gire o mostrador para que a abertura de 4mm de diâmetro esteja alinhada com a linha branca. Em seguida, gire a roda do filtro até que o filtro de 365 nm esteja alinhado com a linha branca. Por fim, remova a tampa da tampa.
2. Abra a janela da Fonte de Luz de Mercúrio. Linhas espectrais de comprimento de onda de 365 nm brilharão no cátodo do fototubo.
3. Comece a visualizar no Capstone e clique na primeira linha na exibição da tabela.

- Ajuste o botão "VOLTAGE ADJUST" na fonte de alimentação CC até que o medidor digital no Amplificador de corrente DC mostre que a corrente é zero.
- Pressione "Keep Sample" na barra de controle de amostra para registrar a magnitude do potencial de parada para 365 nm comprimento de onda na exibição da tabela.
- Gire a roda do filtro até que o filtro de 405 nm esteja alinhado com a linha branca. Linhas espectrais de comprimento de onda de 405 nm irão brilhar no cátodo no fototubo.
- Ajuste o botão VOLTAGE ADJUST na fonte de alimentação CC até que o medidor digital no amplificador de corrente DC mostra que a corrente é igual a zero.
- Clique na segunda linha da tela da tabela e pressione "Keep Sample" para registrar a magnitude do potencial de parada para o comprimento de onda de 405 nm na exibição da tabela.
- Repita o procedimento de medição para os outros três filtros. Registre a magnitude do potencial de parada para cada comprimento de onda na tabela e, em seguida, pressione "Stop" no software.
- Desligue a chave liga/desliga da lâmpada de mercúrio e a chave "POWER" nos outros equipamentos. Gire a roda do filtro até que um filtro de 0 nm esteja alinhado com a linha branca. Cubra as janelas do compartimento da Fonte de Luz de mercúrio e do compartimento do fotodiodo.

## Cálculos

- Trace um gráfico do Potencial de Parada (V) x Frequência ( $\times 10^{14}$  Hz).
- Encontre a inclinação da linha de melhor ajuste através dos pontos de dados do gráfico Potencial de Parada (V) x Frequência ( $\times 10^{14}$  Hz).

**Nota:** inclinação é a razão de  $h/e$ , então a constante de Planck,  $h$ , é o produto da carga do elétron ( $e = 1.602 \times 10^{-19}$  C) e a inclinação da linha de melhor ajuste.

- Registre a inclinação calculada e use-a para calcular o valor da constante de Planck,  $h$ .

Inclinação = \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_

$h = e \times$  inclinação = \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_

- Use o valor " $\pm$ " para a inclinação como o erro na inclinação e arredonde o resultado obtido para o valor apropriado.

Compare o valor calculado de  $h$  ao valor aceito,  $h_0$ ,  $6.626 \times 10^{-34}$  J s.

## Questões

- Como seu valor calculado de  $h$  se compara ao valor aceito?
- O que você acha que pode justificar a diferença, caso haja, entre o valor calculado de  $h$  e o valor aceito?
- Como é possível encontrar o valor da Função Trabalho a partir do gráfico do Potencial de Parada x Frequência?

## Extensão

Repita o procedimento de medição e análise de dados para os outros dois diâmetros de abertura, 2 mm e 8 mm.

## Perguntas

- Como seu valor calculado de  $h$  para cada abertura se compara ao valor aceito,  $h_0$ ,  $6.626 \times 10^{-34}$  J s?
- Como a intensidade da luz afeta o potencial de parada?

## Experiência 2 - Medindo características de Corrente-Tensão 1

### Medindo características de Corrente-Tensão de linhas espectrais - frequência constante, diferente intensidade

Essa seção descreve as instruções para medir e comparar as características de Corrente x Tensão de uma linha espectral com três intensidades de luz diferentes.

#### Preparação para medição

1. Cubra a janela do compartimento da fonte de luz de mercúrio com a tampa da lâmpada de mercúrio. Cubra a janela do compartimento do fotodiodo com a tampa do fotodiodo.
2. Ajuste a distância entre o compartimento da fonte de luz de mercúrio e o compartimento do fotodiodo para que o espaçamento geral seja entre 30,0 cm a 40,0 cm. Nota: A distância recomendada é de 35,0 cm.
3. Na fonte de alimentação da lâmpada de mercúrio, pressione o botão para ligar a lâmpada de mercúrio. Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante e no amplificador de corrente CC, pressione o botão ON / OFF para a posição ON.
4. Deixe a fonte de luz e o aparelho aquecer por 10 minutos.
5. Na Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante de tensão constante, defina a mudança de faixa de tensão para -4,5V -30 V. No amplificador de corrente CC, gire o intervalo de corrente para  $10^{-11}$  A. (se a corrente de  $10^{-11}$  A não for suficientemente grande, por favor, gire a chave de intervalo de corrente para  $10^{-10}$  A.)
6. Empurre o botão de sinal para a posição "in" para calibração.
7. Ajuste o botão das faixas de corrente até que o amperímetro mostre que a corrente é zero.
8. Pressione o botão de sinal para que ele se mova para a posição "Out" para medição.

NOTA: É muito importante permitir que a fonte de luz e o aparelho aqueçam por 10 minutos antes de fazer as medições.

#### Medição - Frequência Constante, Diferentes Intensidades

##### Abertura de 2 mm

1. Puxe delicadamente o mostrador de abertura para fora do compartimento do fotodiodo e gire-o para que a abertura de 2 mm fique alinhada com a linha branca. Em seguida, gire a roda do filtro até que o filtro de 436 nm esteja alinhado com a linha branca. Por fim, retire a capa de proteção.
2. Abra a janela da Fonte de Luz de Mercúrio. Linhas espectrais de comprimento de onda de 436 nm brilharão no cátodo no fototubo.
3. Ajuste o botão "VOLTAGE ADJUST" em **-4,5V- 30V**, até que a corrente no amperímetro seja zero. Registre a tensão e a corrente na Tabela 4.
4. Aumente um pouco a tensão (por exemplo, 2 V). Registre a nova corrente e tensão na Tabela 4.

AVISO: A tampa do Compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio é muito quente. Proteja-se!

5. Continue a aumentar a tensão no mesmo pequeno incremento. Registre a nova tensão e corrente a cada vez na Tabela 4. Pare quando chegar ao final da faixa de TENSÃO.

### **Abertura de 4 mm**

1. Cubra as janelas do compartimento da fonte de luz de mercúrio e do gabinete do fotodiodo.
2. Puxe delicadamente o mostrador de abertura para fora do compartimento do fotodiodo e gire-o para que a abertura de 4 mm fique alinhada com a linha branca. Em seguida, gire a roda do filtro até que o filtro de 436 nm esteja alinhado com a linha branca. Por fim, retire a capa de proteção.
3. Abra a janela da Fonte de Luz de Mercúrio. Linhas espectrais de comprimento de onda de 436 nm brilharão no cátodo no fototubo.
4. Ajuste o botão "VOLTAGE ADJUST " em **-4,5V– 30V**, até que a corrente no amperímetro seja zero. Registre a tensão e a corrente na Tabela 4.
5. Aumente um pouco a tensão (por exemplo, 2 V). Registre a nova corrente e tensão na Tabela 4. Continue a aumentar a tensão no mesmo pequeno incremento. Registre a nova tensão e corrente a cada vez na Tabela 4. Pare quando chegar ao final da faixa de TENSÃO.

### **Abertura de 8 mm**

1. Cubra as janelas do compartimento da fonte de luz de mercúrio e do gabinete do fotodiodo.
2. Puxe delicadamente o mostrador de abertura para fora do compartimento do fotodiodo e gire-o para que a abertura de 8 mm fique alinhada com a linha branca. Em seguida, gire a roda do filtro até que o filtro de 436 nm esteja alinhado com a linha branca. Por fim, retire a capa de proteção.
3. Abra a janela da Fonte de Luz de Mercúrio. Linhas espectrais de comprimento de onda de 436 nm brilharão no cátodo no fototubo.
4. Ajuste o botão "VOLTAGE ADJUST " em **-4,5V– 30V**, até que a corrente no amperímetro seja zero. Registre a tensão e a corrente na Tabela 4.
5. Aumente um pouco a tensão (por exemplo, 2 V). Registre a nova corrente e tensão na Tabela 4. Continue a aumentar a tensão no mesmo pequeno incremento. Registre a nova tensão e corrente a cada vez na Tabela 4. Pare quando chegar ao final da faixa de TENSÃO.
6. Desligue a chave ON/OFF da lâmpada de mercúrio e a chave POWER nos outros equipamentos. Gire o filtro roda até que o filtro de 0 nm esteja alinhado com a linha branca. Cubra as janelas do compartimento da Fonte de de luz de mercúrio e o compartimento do fotodiodo.

**Tabela 1: Tensão e corrente das linhas espectrais**

$\lambda = 436 \text{ nm}$ 2 mm dia.	V (V)												
	$I (x 10^{-11} \text{ A})$												
$\lambda = 436 \text{ nm}$ 4 mm dia.	V (V)												
	$I (x 10^{-11} \text{ A})$												
$\lambda = 436 \text{ nm}$ 8 mm dia.	V (V)												
	$I (x 10^{-11} \text{ A})$												

### Análise

1. Trace os gráficos de Corrente (eixo y) x Tensão (eixo x) para uma linha espectral, 436 nm, nas três diferentes intensidades.

### Perguntas

1. Como as curvas de corrente x tensão para uma linha espectral em três intensidades diferentes se comparam? Em outras palavras, como as curvas são semelhantes entre si?
2. Como as curvas de corrente x tensão para uma linha espectral em três intensidades diferentes contrastam? Em outras palavras, como as curvas se diferem umas das outras.

## Experimento 3 – Medindo características de corrente-tensão das linhas espectrais - Diferentes Frequências, Intensidade Constante

Esta seção descreve as instruções para medir e comparar as características de corrente versus tensão de três linhas, 365 nm, 405 nm e 436 nm, mas com a mesma intensidade de luz.

### Preparação para Medição

1. Cubra a janela do compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio com a Tampa da Lâmpada de Mercúrio. Cubra a janela do compartimento do fotodiodo com a tampa do fotodiodo.
2. Ajuste a distância entre o compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio e o compartimento do Fotodiodo para que o espaçamento geral seja entre 30,0 cm a 40,0 cm. NOTA: A distância recomendada é de 35,0 cm.
3. Na Fonte de Alimentação da Lâmpada de Mercúrio, pressione o botão para ligar a LÂMPADA DE MERCÚRIO. Na Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante e Amplificador de Corrente CC, pressione o botão "POWER" para a posição ON.
4. Deixe a fonte de luz e o aparelho aquecer por 10 minutos.
5. Na Fonte de Alimentação CC ajustável de tensão constante, ajuste a chave de faixa de tensão para **-4,5 V – 30 V**. No amplificador de corrente CC, gire a chave "CURRENT RANGES" para  $10^{-11}$  A. (Se  $10^{-11}$  A não for grande o suficiente, gire a chave "CURRENT RANGES" para  $10^{-10}$  A.)
6. Pressione o botão "SIGNAL" para a posição "in" para "CALIBRATION" (calibração).
7. Ajuste o botão "CURRENT RANGES" até que o amperímetro mostre que a corrente é zero.
8. Pressione o botão "SIGNAL" para que ele se mova para a posição "out" para "MEASURE" (medição).

NOTA: É muito importante permitir que a fonte de luz e o aparelho aqueçam por 10 minutos antes de fazer as medições.

### Medição - Frequências Diferentes, Intensidade Constante

#### Comprimento de onda de 365 nm

1. Puxe suavemente o disco de abertura e gire-o para que a abertura de 4 mm fique alinhada com a linha branca. Gire então a roda do filtro até que um filtro de 365 nm se alinhe com a linha branca. Por fim, remova a capa de proteção.
2. Abra a janela do compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio. Linhas espectrais de 365 nm brilharão no cátodo do compartimento do fotodiodo.
3. Ajuste o botão "VOLTAGE ADJUST" em **-4,5V– 30V** para que o display da corrente seja zero. Registre a tensão e a corrente na Tabela 5.
4. Aumente um pouco a tensão (por exemplo, 2 V). Registre a nova voltagem e a atual na Tabela 5.
5. Aumente continuamente a tensão no mesmo incremento. Registre a nova tensão e corrente a cada incremento na Tabela 5.
6. Pare quando chegar ao final da faixa de tensão.

AVISO: A tampa do Compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio é muito quente. Proteja-se!

#### Comprimento de onda de 405 nm

1. Cubra a janela do compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio.
2. Gire a roda do filtro até que um filtro de 405 nm esteja alinhado com a linha branca.
3. Abra a janela do compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio. Linhas espectrais de 405 nm brilharão no cátodo do compartimento do fotodiodo.

- Ajuste o botão "VOLTAGE ADJUST" em **-4,5V– 30V** para que o display da corrente fique em zero. Registre a tensão e a corrente na Tabela 5.
- Aumente a tensão em uma pequena quantidade (por exemplo, 2 V) e registre a nova tensão e corrente na Tabela 5.
- Continue a aumentar a tensão no mesmo pequeno incremento e registre a nova tensão e corrente a cada vez na Tabela. Pare quando chegar ao final da faixa de tensão.

### Comprimento de onda de 436 nm

- Cubra a janela do compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio.
  - Gire a roda do filtro até que um filtro de 436 nm esteja alinhado com a linha branca.
  - Abra a janela do compartimento da Fonte de Luz de Mercúrio. Linhas espectrais de 436 nm brilharão no cátodo do compartimento do fotodiodo.
  - Ajuste o botão "VOLTAGE ADJUST" em **-4,5V– 30V** para que o display da corrente fique em zero. Registre a tensão e a corrente na Tabela 5.
  - Aumente a tensão em uma pequena quantidade (por exemplo, 2 V) e registre a nova tensão e corrente na Tabela 5.
  - Continue a aumentar a tensão no mesmo pequeno incremento e registre a nova tensão e corrente a cada vez na Tabela. Pare quando chegar ao final da faixa de tensão.
- Desligue a chave "ON/OFF" da lâmpada de mercúrio e a chave "POWER" nos outros equipamentos. Gire o filtro roda até que um filtro de 0 nm esteja alinhado com a linha branca. Cubra as janelas do compartimento da Fonte de Luz de mecúrio e do compartimento do fotodiodo.

**Table 2: Current and Voltage of Spectral Lines**

$\lambda = 365 \text{ nm}$ 4 mm dia.	V (V)												
	$I (x 10^{-11} \text{ A})$												
$\lambda = 405 \text{ nm}$ 4 mm dia.	V (V)												
	$I (x 10^{-11} \text{ A})$												
$\lambda = 436 \text{ nm}$ 4 mm dia.	V (V)												
	$I (x 10^{-11} \text{ A})$												

### Análise

- Trace os gráficos de Corrente (eixo y) x Tensão (eixo x) para as três linhas espectrais, 365 nm, 405 nm e 436 nm, em uma intensidade.

### Perguntas

- Como se comparam as curvas de corrente versus tensão para as três linhas espectrais em uma intensidade constante? Em outras palavras, como as curvas são semelhantes entre si?
- Como as curvas de corrente versus tensão para as três linhas espectrais em uma intensidade constante contrastam? Em outras palavras, como as curvas diferem umas das outras.

## Apêndice A: Especificações

Tensão de alimentação: 110-120V~/220-240V~

Flutuações da tensão de alimentação principal:

±10% Frequência: 50/60Hz

Proteção Fusível para entradas: 250 V

T 2A Exibição: display de 3-1/2 ou 4-

1/2 dígitos Usando o site: Uso interno

Temperatura: Operação: 0°C a 40°C, Armazenamento: -20°C

a 50°C Altitude de operação: 0 a 2000 metros

Umidade Relativa: Sem condensação < 10 °C, 90% de 10 °C a 30 °C; 75% de 30°C a

40°C Grau de poluição: 2

Vida útil da lâmpada de mercúrio: >2000

horas Certificações: CE

Conformidade de segurança: IEC/EN

61010-1 Categoria de sobretensão: II

Grau de proteção: IP20

Proteção de energia

normal: 5J

Item	Descrição
<b>Tunable DC (Constant Voltage) Power Supply</b>	0 – 6.3 VCC, I ≤ 1A (ripple < 1%), 3.5 Display Digital;  -4.5 – 0 VCC/-4.5 – 30VCC (ripple < 1%) (dois alcances), I ≤10mA, 4.5 Display Digital;
<b>Amplificador de Corrente CC</b>	Alcance da corrente: $10^{-8}$ □ □ $10^{-13}$ □, em 6 intervalos; 3.5 Display Digital; Desvio zero: ≤ ±0.2% de leitura de faixa total em 30 minutos na faixa de $10^{-13}$ □ (após 20 minutos de aquecimento)
<b>Filtros Ópticos</b>	Cinco filtros com comprimentos de onda centrais de 365, 405, 436, 546, and 577 nm
<b>Aberturas ópticas</b>	diâmetro de 2 mm, 4 mm, and 8 mm
<b>Lâmpada de Mercúrio</b>	Emitindo linhas espectrais de 365, 405, 436, 546, and 577 nm
<b>Tubo do Fotodiodo</b>	Faixa de resposta espectral: 300 to 700 nm Sensibilidade mínima do cátodo: ≥1μ A/Lm Ânodo: anel de níquel  Corrente Negra: [Equação]
<b>Alimentação da Lâmpada de Mercúrio</b>	Entrada: 110–120 V/220–240V, 50/60Hz; Saída: 220VAC, 200W
<b>Pista</b>	Comprimento: 60 cm (0.60 m)



## Apêndice B: Notas dos professores

### Data Amostral

#### Experiment 1: Medindo e calculando a constante de Planck, $h$

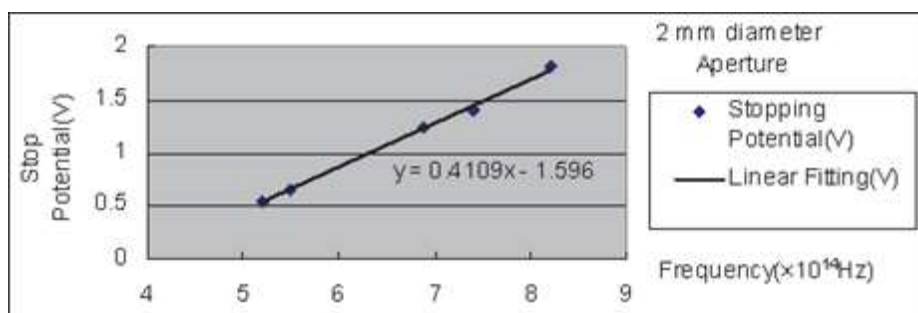
A tabela a seguir mostra os dados típicos para a tensão de parada das linhas espectrais para a abertura de 2 mm de diâmetro.

#### Potencial de Parada de Linhas Espectrais, Abertura de 2 mm de diâmetro

Item	1	2	3	4	5
Comprimento de onda, $\lambda$ (nm)	365	405	436	546	577
Frequência, $\nu = c/\lambda$ , ( $\times 10^{14}$ Hz)	8.214	7.408	6.879	5.490	5.196
Potencial de Parada, $V$ (V)	-1.805	-1.408	-1.235	-0.661	-0.546

O valor da inclinação de  $0.4109 \text{ V}/10^{14} \text{ Hz}$  fornece um valor para a constante de Planck, de  $h = 6.582 \times 10^{-34} \text{ J}$

s. Este valor tem uma diferença de 0,66% com relação ao valor aceito,  $h_0 = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ .



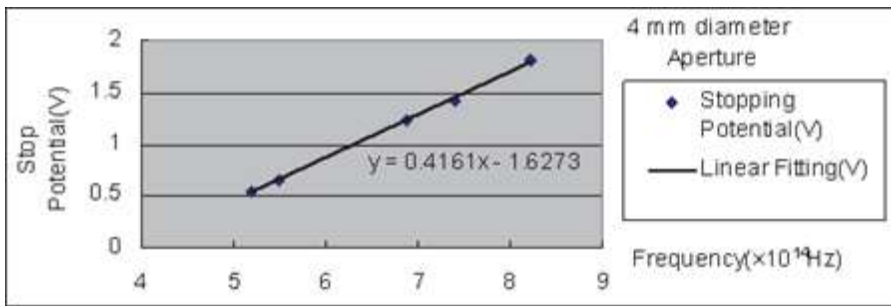
A tabela a seguir mostra os dados típicos para a tensão de parada de linhas espectrais para a abertura de 4 mm de diâmetro.

#### Potencial de Parada de Linhas Espectrais, Abertura de 4 mm de diâmetro

Item	1	2	3	4	5
Comprimento de onda, $\lambda$ (nm)	365	405	436	546	577
Frequência, $\nu = c/\lambda$ , ( $\times 10^{14}$ Hz)	8.214	7.408	6.879	5.490	5.196
Potencial de Parada, $V$ (V)	-1.819	-1.414	-1.238	-0.660	-0.542

O valor da inclinação de  $0.4161 \text{ V}/10^{14} \text{ Hz}$  fornece um valor para a constante de Planck de  $h = 6.666 \times 10^{-34} \text{ J}$

s. Esse valor tem uma diferença de 0.60% com relação ao valor aceito,  $h_0 = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ .



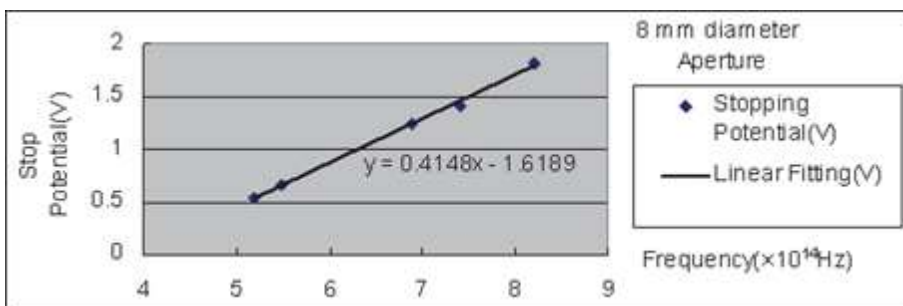
A tabela a seguir mostra os dados típicos para a tensão de parada de linhas espectrais para a abertura de 4 mm de diâmetro.

### Potencial de Parada de Linhas Espectrais, Abertura de 8 mm de diâmetro

Item	1	2	3	4	5
Comprimento de Onda, $\lambda$ (nm)	365	405	436	546	577
Frequência, $\nu = c/\lambda$ , ( $\times 10^{14}$ Hz)	8.214	7.408	6.879	5.490	5.196
Potencial de parada, $V$ (V)	-1.817	-1.413	-1.237	-0.660	-0.545

O valor da inclinação de  $0.4148 \text{ V}/10^{14} \text{ Hz}$  fornece um valor para a constante de Planck de  $h = 6.645 \times 10^{-34} \text{ J}$

s. Esse valor tem uma diferença de 0.28% com relação ao valor aceito,  $h_0 = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ .



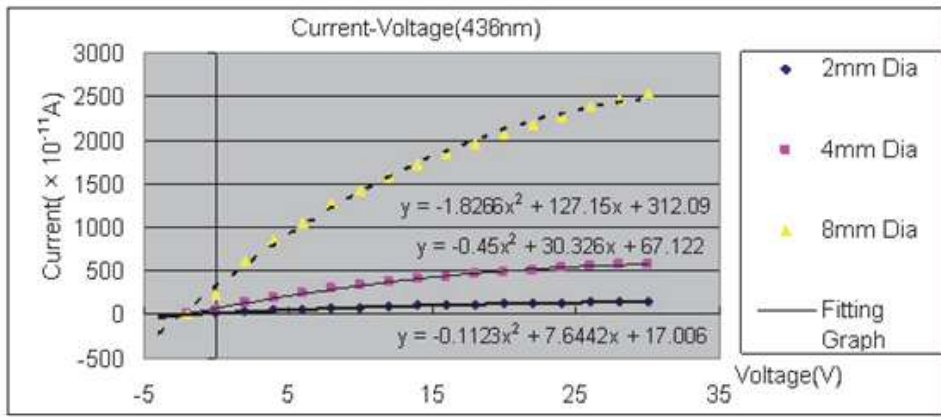
## Experimento 2: Medindo Características de Tensão-Corrente

### Características de Tensão-Corrente de Linhas Espectrais com Frequência Constante e Intensidades Diferentes

A tabela a seguir mostra dados típicos de corrente e tensão para uma linha espectral (436 nm) para três intensidades diferentes.

#### Corrente e Tensão, Frequência Constante, Diferentes Aberturas

Tensão(V)	Corrente (436nm) $\times 10^{-11}$ A		
	2 mm dia	4 mm dia	8 mm dia
-4			
-2	0	0	0
0	11	44	220
2	35	136	610
4	49	193	860
6	62	242	1060
8	73	292	1270
10	83	336	1430
12	92	362	1580
14	102	405	1730
16	109	431	1850
18	117	459	1960
20	122	483	2080
22	130	507	2180
24	134	534	2280
26	141	552	2390
28	144	568	2460
30	147	581	2540



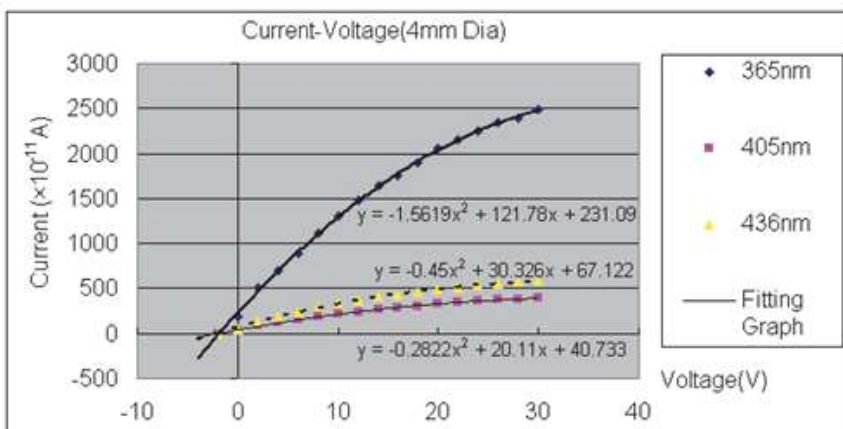
# Experimento 3: Medindo as características da Tensão-Corrente

## Características de Tensão-Corrente de Linhas Espectrais: Frequências Diferentes, intensidade constante

A tabela a seguir mostra dados típicos de corrente e tensão para três linhas espectrais (365, 405 e 436 nm) para uma abertura (4 mm de diâmetro).

### Corrente e Tensão, Frequências Diferentes, Abertura Constante

4 mm dia.	Corrente( $\times 10^{-11}$ A)		
Tensão(V)	365nm	405nm	436nm
-4			
-2	0	0	0
0	180	25	44
2	500	87	136
4	700	121	193
6	890	155	242
8	1110	189	292
10	1300	218	336
12	1480	243	362
14	1640	268	405
16	1760	288	431
18	1900	303	459
20	2050	324	483
22	2160	345	507
24	2250	360	534
26	2350	373	552
28	2400	385	568
30	2490	394	581



## Questões: Experimento 1 - Constante de Planck

1. Como seu valor calculado de  $h$  se compara ao valor aceito?

O valor calculado de  $h$  para a abertura de 4 mm de diâmetro está dentro de 1,8% do valor aceito de  $h$ . As respostas dos alunos variam.

2. Qual explicação você daria - se houver - entre o valor calculado de  $h$  e o valor aceito?

As respostas dos alunos variam. Uma possível razão para a diferença é que como a fotocorrente é muito pequena, é difícil ajustar o botão VOLTAGE ADJUST para o valor preciso do potencial de parada que fará com que a fotocorrente seja zero. Além disso, dispositivos eletrônicos próximos, como monitores de computador, podem influenciar os medidores sensíveis do aparelho.

3. Como é possível encontrar a Função de Trabalho a partir do gráfico de Potencial de Parada versus Frequência?

A função trabalho dividida pela carga do elétron,  $e$ , é a interceptação em  $y$  no gráfico. Multiplique o valor da interseção  $y$  por  $e$  para encontrar o valor da função trabalho,  $W_0$ .

### Questões Complementares:

1. Como o valor calculado de  $h$  para cada abertura diferente se compara ao valor aceito,  $h_0 = 6.626 \times 10^{-34}$  J•s?

Respostas irão Variar

2. Como a intensidade da luz afeta o Potencial de Parada?

A intensidade da luz não afeta significativamente o Potencial de Parada.

## Questões: Experimento 2 - Frequência Constante

1. Como as curvas de corrente versus tensão para uma linha espectral em três intensidades diferentes se comparam? Em outras palavras, como as curvas são semelhantes entre si?

As curvas de corrente versus tensão para uma linha espectral e três intensidades diferentes são semelhantes, pois o potencial de parada, - 1,1 V, é o mesmo para todas as três curvas. As curvas têm a mesma forma geral.

2. Como as curvas de corrente versus tensão para uma linha espectral em três intensidades diferentes contrastam? Em outras palavras, como as curvas diferem umas das outras?

As curvas de corrente versus tensão para uma linha espectral e três intensidades diferentes são diferentes da seguinte forma: A quantidade de fotocorrente aumenta concomitante ao aumento do tamanho das aberturas. O aumento da intensidade aumenta a quantidade de fotocorrente.

## Questões: Experimento 3 - Intensidade Constante

1. Como as curvas de corrente versus tensão para as três linhas espectrais em uma intensidade constante se comparam? Em outras palavras, como as curvas são semelhantes entre si?

As curvas de corrente versus tensão têm formas gerais semelhantes.

2. Como as curvas de corrente versus tensão para as três linhas espectrais em uma intensidade constante contrastam? Em outras palavras, como as curvas diferem umas das outras?

As curvas de corrente versus tensão diferem, pois, cada curva tem um potencial de parada diferente. Os potenciais de parada aumentam à medida que a frequência aumenta (ou o comprimento de onda diminui).

## Apêndice C: Suporte Técnico

Para assistência com o Aparelho de Efeito Fotoelétrico (SE-6609) ou qualquer outro produto PASCO, entre em contato em:

Endereço: PASCO scientific 10101 Foothills Blvd. Roseville, CA 95747	Web: <a href="http://www.pasco.com">www.pasco.com</a>
Telefone: +1 916 786 3800 (worldwide) (800) 772-8700 (USA)	Email: <a href="mailto:support@pasco.com">support@pasco.com</a>

## Garantia limitada

Para obter uma descrição da garantia do produto, consulte o catálogo da PASCO ou o site da PASCO em [www.pasco.com](http://www.pasco.com).

## Copyright

O manual científico do Aparelho de Efeito Fotoelétrico da PASCO é protegido por direitos autorais e direitos reservados. No entanto, é permitido a instituições de ensino sem fins lucrativos a reprodução de qualquer parte do manual do Aparelho de Efeito Fotoelétrico, desde que as reproduções sejam utilizadas apenas para seus laboratórios e comercializadas. A reprodução sob quaisquer outras circunstâncias, sem o consentimento por escrito da PASCO Scientific, é proibida.

## Marcas registradas

PASCO, PASCO Scientific e PASCO Capstone são marcas comerciais ou marcas registradas da PASCO Scientific nos Estados Unidos e em outros países. Para obter mais informações, visite [www.pasco.com/legal](http://www.pasco.com/legal).

## Apêndice D: Informações sobre como usar a interface e software

### PASCO ScienceWorkshop

#### Usando o aparelho de efeito fotoelétrico com uma interface 750 ou 500 ScienceWorkshop

Ao contrário da interface universal 850, as interface ScienceWorkshop 750 ou 500 não detectarão e reconhecerão automaticamente a fonte de alimentação CC ajustável (tensão constante) e o amplificador de corrente CC. No entanto, essas interfaces ainda podem ser usadas com o PASCO Capstone para detectar os sinais desses instrumentos.

1. Use um cabo macho-macho UI-5219 de 8 pinos UI-5219 (incluso) para conectar cada um dos instrumentos a um canal analógico na interface 750 ou 500.
2. Na janela “PASCO Capstone Hardware Setup”, clique no ícone da porta analógica que está conectada à fonte de alimentação CC e escolha “DC Power Supply, Voltage” na lista.
3. Na janela PASCO Capstone Hardware Setup, clique no ícone da porta analógica que está conectada ao amplificador de corrente e escolha “Current Amplifier” na lista.
4. Crie um display de dois dígitos no PASCO Capstone e escolha a corrente para um display e a voltagem para o outro. Clique em “Gravar” e essas telas mostrarão a corrente do Amplificador de Corrente em amperes e a tensão da Fonte de Alimentação CC em volts.

#### Calibration of the Interface Connections:

1. The actual voltage reading from the DC Power Supply Voltage interface connection is multiplied by 10 in the software so it matches the digital readout on the DC Power Supply. For instance, if the DC Power Supply Voltage digital display reads -1.42 V, the interface output will be -0.142 V, but the software will correctly report -1.42 V.

2. A leitura de tensão real da conexão da interface “Filament” da fonte de alimentação CC (0-6,3 V) é a mesma que a leitura digital na fonte de alimentação CC (0-6,3 V). Nenhum fator de multiplicação é necessário.
3. A conexão de interface para o Amplificador de Corrente CC produz uma tensão igual à leitura digital dividida por 1000. O software multiplica por 1000 e também pelo alcance. Por exemplo, se a leitura digital for 21 quando a chave de faixa estiver definida em 10-13A, a tensão de saída da conexão da interface será de 0,021 V, mas o software converterá corretamente para  $2,1 \times 10^{-12}$  A.
4. Se você estiver usando um software diferente do PASCO Capstone, identifique a fonte de alimentação CC e o amplificador de corrente CC como “Voltage Sensors” e use a calculadora no software para converter as leituras de tensão para a escala adequada.

## Apêndice E: Instruções de descarte do produto em fim de vida útil

### Instruções de descarte do produto no fim da vida útil:

Este produto eletrônico está sujeito a regulamentos de descarte e reciclagem que variam de acordo com o país e a região. É sua responsabilidade reciclar seu equipamento eletrônico de acordo com as leis e regulamentos ambientais locais para garantir que ele seja reciclado de uma maneira que proteja a saúde humana e o meio ambiente. Para saber onde pode entregar o seu equipamento inutilizado para reciclagem, contacte o serviço local de reciclagem/eliminação de resíduos ou o local onde adquiriu o produto.

O símbolo da União Européia WEEE (Resíduos de Equipamentos Eletrônicos e Elétricos) aqui e no produto ou em sua embalagem indica que este produto não deve ser descartado em um recipiente de lixo padrão.



### Instruções de descarte da lâmpada de mercúrio:

As lâmpadas de mercúrio contêm produtos químicos que, se liberados, podem afetar o meio ambiente e a saúde humana. As lâmpadas de mercúrio devem ser coletadas separadamente para reciclagem e recicladas em um local de descarte de materiais perigosos de acordo com os regulamentos do seu país e do governo local. Para saber onde você pode deixar suas lâmpadas de mercúrio usadas para reciclagem, entre em contato com o serviço local de descarte de resíduos ou com o local onde você comprou o produto.