

Nicolas formid - aquecimento de placas

Relatório da T2 - Estudo do efeito fotoelétrico

T2 - Efeito Fotoelétrico 17/10/2021

→ Objetivos

- Entender em que consiste o efeito fotoelétrico.
- Determinar experimentalmente o valor do constante de Planck e do trabalho de saída de um elétron do material.
- Entender da dependência do potencial de paragem do efeito fotoelétrico no comprimento de onda (λ) da luz incidente.
- Medir, no laboratório, o comprimento de onda da luz e determinar o potencial de paragem (quando o corrente é nula).

→ Introdução teórica

$$E_f = hf \quad (f - \text{freqüência da radiação eletromagnética}, h - \text{constante de Planck})$$

$\delta +$ ligado \rightarrow é liberada energia da energia do fôton excedente à energia de ligação do e- no metal (w); $hf \geq w$

$$hf = w + \frac{1}{2}mv^2$$

↓
potencial de trabalho

ou eletrônico via da cátoda para ánodo

O potencial de paragem é o potencial necessário para anular a energia cinética do elétron ($I=0$):

$$\text{rel } V_0 = \frac{1}{2}mv^2 \quad \Leftrightarrow \quad V_0 = \frac{h}{Ie}f - \frac{w}{Ie}$$

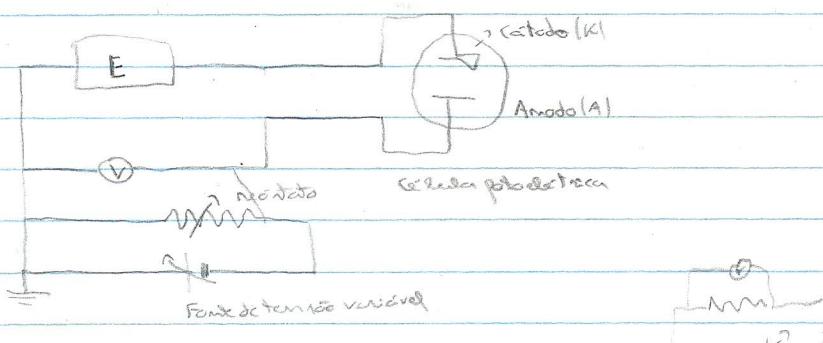
potencial de paragem Fóton F-trabalho
 ↓ ↓ ↓
 p. da cátoda

→ Engenho de montagem e plano de trabalho

Existe duas partes: Parte A - determinação do potencial de paragem que anula o corrente no circuito;

Parte B - Invertemos a energia da corrente fotoelétrica para um condensador em série com a célula fotoelétrica, determinando o valor da tensão no condensador

Parte A



E - Eletrônico

1 - Montar o experimento experimental

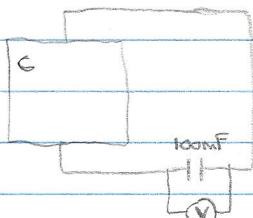
2 - Colocar LED junto à célula e quantificar, durante a execução, a célula fotovoltaica está isolada relativamente à sua ambiente.

3 - Determinar um valor aproximado da tensão de paragem; comutar para escala menor removendo o amperímetro de modo a não queimar o circuito; a medida que I se aproxima de zero, aumentar a sensibilidade do eletrônmetro e repetir o procedimento.

4 - Enrolar a escala de sensibilidade máxima para permitir realizar medidas para a determinação de corrente medida mas alterar a escala para evitar excesso em medição de escala. Registar valores de I (V) para identificar o padrão de variação de corrente fotovoltaica.

5 - Repetir o procedimento para outros LED's.

Parte B



C - célula fotovoltaica

V - voltmetro

O potencial de paragem vai corresponder à tensão nos terminais do condensador.

1 - Montar o experimento experimental

2 - Combinar o gráfico de $V_o(f)$ e determinar o valor de h (pelos dados de V_o e de f pela ordemada na origem).

NOTA: A célula fotovoltaica opera num domínio de $\lambda \in [185-650]\text{nm}$ (caso term. nôto de um todos LED's)

Sendo a maior sensibilidade para $\lambda \approx 340\text{nm}$ é preferível trabalhar com a proximidade de valor.

O circuito de controlo dos LED's é alimentado a 5V dc.

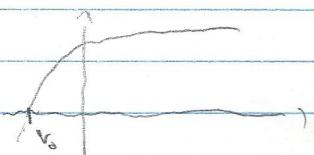
Ver se o eletrônmetro está calibrado

18/10/2021

Multímetro - $V_i = 0,0001$

$$h = 3,07 \times 10^{-16}$$

Eletrônmetro - mA : 0,5 mA



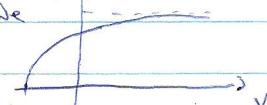
Podem haver um curto de fuga de condensador.

Era dividido em partes ou mais led's e separados de distância.

Dados experimentais e análise

Na menor parte da abóbada, ponto A, recolheremos valor do potencial elétrico e corrente elétrica de modo a comutar num gráfico de $I(V)$. Desta forma, através da reta $I = mV + b$ podemos ver qual é o potencial de paragem, ou seja, potencial elétrico para o qual a corrente se anula: $I = 0 \Leftrightarrow V_0 = -\frac{b}{m}$. Fazendo este procedimento para cada LED podemos fazer um gráfico de V_0 em função de f e assim determinar a constante de Planck e a função de trabalho através, repetidamente, do declive e da ordem da origem: $V_0 = \frac{h \cdot f}{e} - \frac{W}{e}$.

Apenas recolheremos valores na escala mais remota do electrometro uma vez que para valores de corrente maiores a tendência deixa de ser linear: observa-se o seguinte



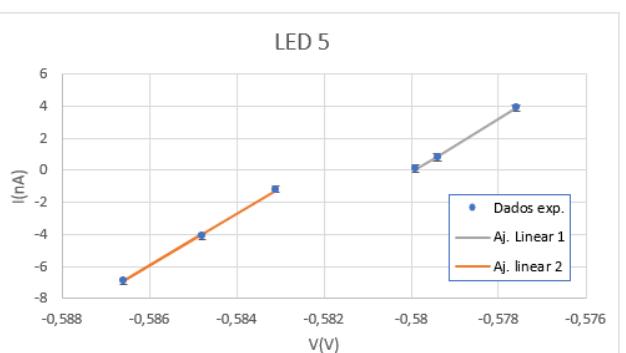
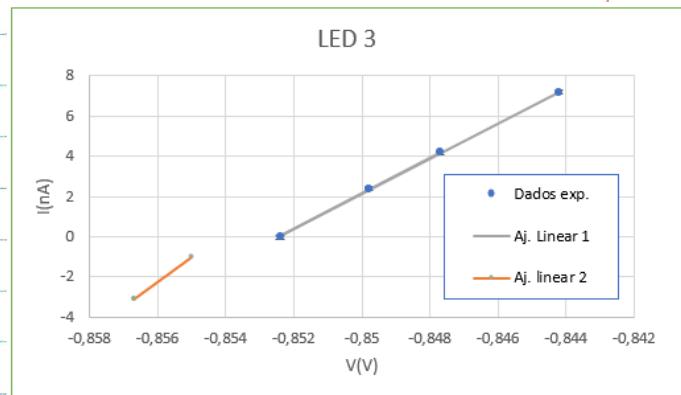
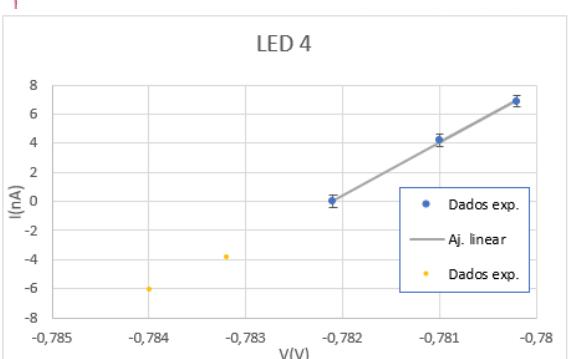
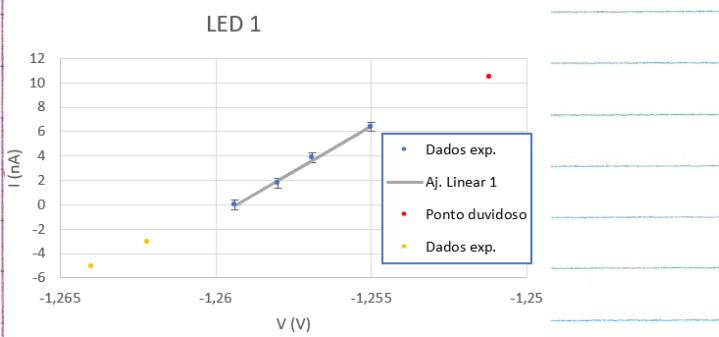
Aproveitaremos recolhermos valores (V, I) para valores de V máximos, V_0 de V_0 .

Também temos um valor de V_0 diretamente quando observamos $I = 0$.

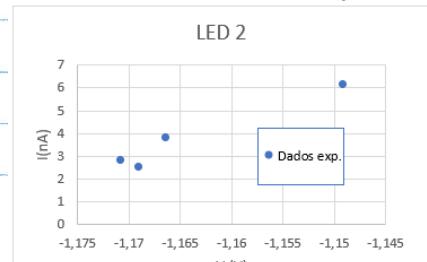
Numerei os LED de 1 a 9 tendo em conta que o LED 1 corresponde ao LED com menor comprimento de onda e o LED 9 com o maior comprimento de onda.

Na verdade também temos dados de (V, I) para corrente negativa sem explicar-me adianta o seu significado.

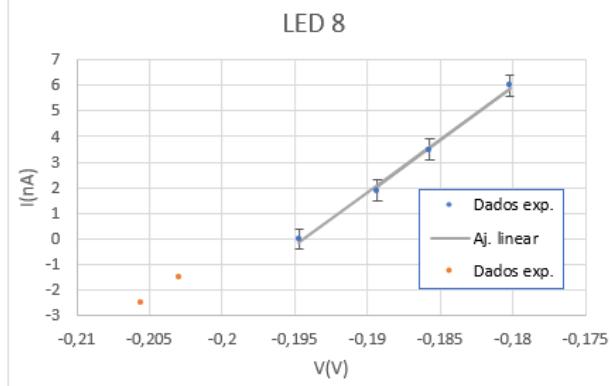
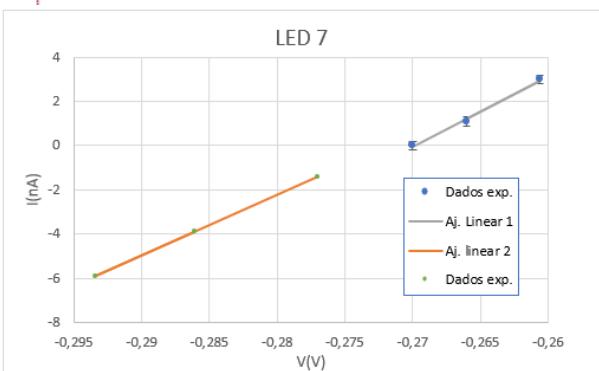
Assim, os gráficos obtidos são os seguintes:



Matriz de ajuste LED 1				Matriz de ajuste LED 3			
m	1481	1865	b	m	876	746	b
dm	76	95	db	dm	12	10	db
R ²	0,995	0,2	sy	R ²	0,9996	0,07	sy
Matriz de ajuste LED 4				Matriz de ajuste LED 5			
m	3643	2849	b	m	1671	969	b
dm	124	97	db	dm	57	33	db
R ²	0,9988	0,2	sy	R ²	0,9988	0,1	sy



Banco de ensaio correspondente à $\lambda \times sy$



Matriz de ajuste LED 7

m	321	87	b
dm	22	6	db
R²	0,996	0,1	sy

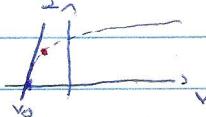
Matriz de ajuste LED 8

m	416	81	b
dm	19	4	db
R²	0,996	0,2	sy

Orações apenas fazem feitos com pontos de $I > 0$.

No gráfico do LED 1 foi considerado um ponto deviado; isto porque observa-se que o ponto já está acima da tendência da reta de ajuste e já não segue a tendência linear.

No entanto, tem sentido a localização desse ponto porque se $I \approx 10\text{mA}$ e sendo V ligeiramente elevado, vê-se aproximadamente o seguinte perfil:



No gráfico do LED 2 não é possível fazer menção comum pois o gráfico tem negativa tendência monótona.

Isso deve-se ao fato de o LED 2 ter muito pouco intervalo e, qualquer variação estética da ordem variável vai alterar facilmente os dados.

No LED 9, correspondente à curva apresentada no informe, não se observou qualquer variação na corrente, pelo que pode concluir que em função da pressão do LED 9 não $E = h\nu = h \cdot \Phi_{LED9} = 6,626 \times 10^{-34} \cdot 3,57 \times 10^{14} \approx 2,37 \times 10^{-19} \approx 1,48\text{eV}$. Como a $E_g = 1,48\text{eV}$ é considerada menor energia suficiente para vencer o gap entre o ligante de Silício-Antimoníio (Si-Sb), intervalo de voltagem da junção tratado ($1,47\text{eV}$ vs $1,51\text{eV}$) é provável que não funcione, que foi o caso.

Basta $W > 1,48\text{eV}$ para não funcionar.

Desse modo apresento os seguintes resultados:

Potencial de paragem tendo em conta
↑ a curva linear: $V_0 = -\frac{b}{m}$

LED	$\lambda(\text{nm})$	$\alpha(\lambda)\text{nm}^{-1}$	$\beta(10^4\text{Hz})$	$\alpha(p) 10^{13}\text{Hz}$	$V_0 (\text{V})$	$M(V_0) (\text{V})$
1	376	5	8,0	1	-1,28	0,09
2	396	7	7,6	1	-	-
3	457	10	6,6	1	-0,85	0,02
4	468	11	6,4	2	-0,78	0,04
5	523	15	9,7	2	-0,58	0,03
6	590	7	5,08	0,6	-	-
7	610	8	4,91	0,7	-0,27	0,03
8	647	9	4,64	0,6	-0,19	0,01
9	840	20	7,57	0,9	-	-

$$\kappa = \lambda p \kappa^{-1} p = \frac{\kappa}{\lambda}$$

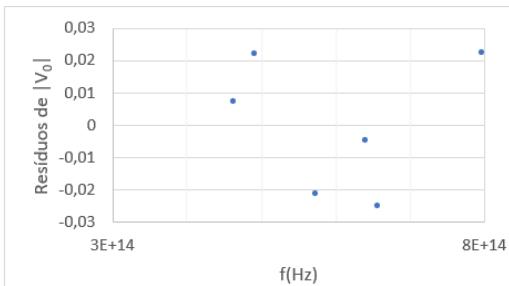
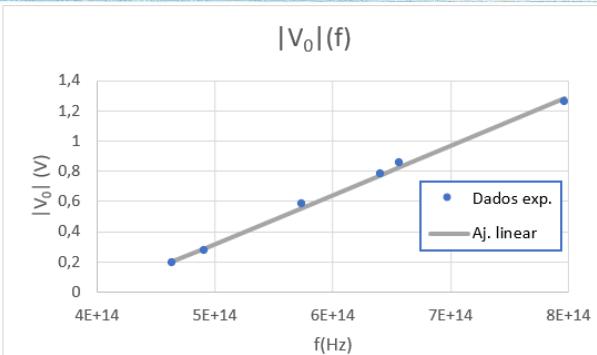
$$m(p) = C \left(\frac{1}{\lambda^2} \right) \cdot \Delta \lambda = \frac{C \Delta \lambda}{\lambda^2}$$

Ajuste de λ é mantido da largura da curva das espécies dos LED's quando a potência normalizada é igual a 0,5

$$V_0 = -\frac{b}{m} \quad u^2(V_0) = \left(\frac{-1}{m}\right)^2 u^2(b) + \left(b \left(\frac{1}{m}\right)\right)^2 u^2(m)$$

Fazendo o gráfico de $|V_0|$ em função de f obtemos

NOTA: As horas de ensaio são muito pequenas
e por isso não param corretamente



Os resíduos são aleatórios e a amplitude é inferior a $2 \times s_y = 2 \times 0,02 = 0,04$, pelo que podemos concluir que os dados seguem aproximadamente horas ajeitadas (resíduos muito próximos de zero).

m	$3,24 \times 10^{-15}$	-1,30	b
m_{true}	9×10^{-17}	0,05	s_b
n^2	0,997	0,02	s_y

$$u(h) = c^2 u(m)$$

$$|V_0| = \frac{b}{|e|} f = \frac{w}{|e|}$$

$$\frac{b}{|e|} = m \leq h = 3,24 \times 10^{-15} \times 1,602176 \times 10^{-19} = 5,20 \times 10^{-34}$$

$u(h) = u(m) \cdot c$: considerando muitas casas decimais mais constantes

$$u(h) = 1 \times 10^{-75}$$

da carga da elétrode de modo a não haver ameaça numérica

$$h = (5,2 \pm 0,1) \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$$

% incerteza = 2%

% erro percentual = 21%

$$h = 6,1626070 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$$

$$\frac{|h - h_{\text{true}}|}{h_{\text{true}}} \times 100$$

5,1

$$\text{A função traseira } w = b - |e| = 1,30 \text{ eV}$$

$$w = (1,30 \pm 0,05) \text{ eV}$$

Tipicamente, a função traseira de um catodo de silício é da seguinte forma:

$$1,43 \text{ eV} \leq w \leq 1,57 \text{ eV}$$

Utilizando como valor verdadeiro a média das extremas: $w_{\text{true}} = \frac{1,47 + 1,59}{2} = 1,53 \text{ eV}$

Deste modo, $w = (1,30 \pm 0,05) \text{ eV}$ % inc = 4% e % erro = 14%

Utilizando o valor de V_0 obtido diretamente segundo fazemos a comete no zero (a regras, o ponto em que varia para a resistência de modo a ter $I=0$) temos:

LED	V_o (V)	I_o (A)	ΔV_o (V)	ΔI_o (A)	Δh (J)	% inc	% erro
1	-1,2594	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
3	-0,8524	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
4	-0,7821	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
5	-0,5799	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
7	-0,2703	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
8	-0,1947	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

$$\text{Análise} \quad h = 3,5 \times 10^{-15} \cdot 0,1 = 5,6 \times 10^{-16} \text{ J} \cdot \text{s} \quad h = (5,6 \pm 0,8) \times 10^{-16} \text{ J} \cdot \text{s}$$

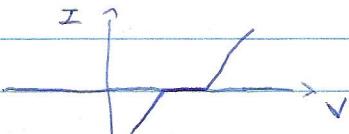
$$1 \% \text{ inc} = 14\% \quad \text{erro \%} = 15\%$$

$$\text{A função trabalho experimental} \quad w = 1,6 \pm 0,3 \text{ eV} \quad \% \text{ inc} = 19\% \quad \text{erro \%} = 6\%$$

Como é de se esperar, este método de determinar h tem uma maior percentagem de incerteza associada pois é extremamente difícil obterem com eletrônicos a corrente elétrica medida no eletrometro. Contudo, o erro experimental percentual associado a h é menor do que quando fazemos a ajuste pela reta no gráfico de $I(V)$.

Deutsche este experimento verificamos dados correspondentes aos curváculos o potencial retarding dependendo da corrente que ter estagnado. Desta maneira, o que acontece é que os elétrons para círculo de percorrem, regredem ao catodo. Aí, recontínuam o curváculo o tempo retarding, eles vão movimento mover-se, mas no "sentido oposto" ao que se moveiam inicialmente quando a tensão não era suficientemente retardadora para os fazer parar.

Desta maneira, espera-se que quando $I=0$ haja uma pressença grande de tensões tendo como perfil o gráfico



Tal é particularmente visível para o LED 3,5 e 8.

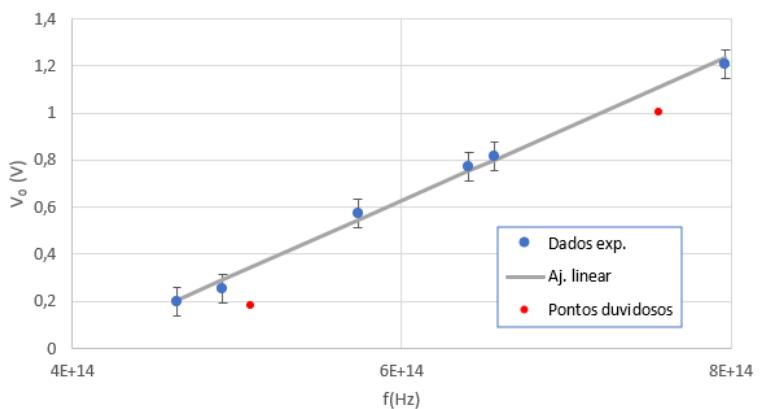
Esta gamma de tensões é devida pelo facto de, após os elétrons percorrem, eles regredem movimento no catodo e na meia-volta num curváculo de tensão permanecerem mover em sentido oposto.

Na parte B, excitamos movimento da fotocelula com os LED e usaremos-las em série com o circuito de condensador. Neste método determinamos o potencial de paragem V_0 que corresponde à tensão no terminal do condensador (quando este estabiliza).

Antes de colocares LED's, põe-se o circuito-circuito para garantir que o condensador está descarregado.

Os dados experimentais foram os seguintes:

LED	V_0
1	1,2095
2	1,0063
3	0,8165
4	0,7720
5	0,5720
6	0,1844
7	0,12954
8	0,11997



Considerei dois pontos duvidosos uma vez que saiam da tendência linear.

$m = 3,1 \times 10^{-15}$	-1,23	b
$1m = 0,1 \times 10^{-15}$	0,06	3b
$n^2 = 0,996$	0,03	1y

$$h = m \cdot r = 4,77 \times 10^{-34} \text{ J s} \quad h = (3,1 \pm 0,1) \times 10^{-34} \text{ J s} \quad \% \text{ inc} = 4\%$$

$$\% \text{ erro} = 2,4\%$$

$$W = 1,23 \text{ eV} \Rightarrow W = (1,23 \pm 0,05) \text{ eV} \quad \% \text{ inc} = \frac{0,05}{1,23} \times 100 = 5\%; \% \text{ erro} = 18\%$$

→ Resultados finais e discussão

	Parte A ($\frac{V_0}{V_0}$)	Parte A ($\frac{\text{medida}}{V_0}$)	Parte B
$h(\text{J s})$	$(5,2 \pm 0,1) \times 10^{-34}$	$(5,6 \pm 0,8) \times 10^{-34}$	$(5,0 \pm 0,2) \times 10^{-34}$
% inc	2%	14%	4%
% erro	21%	15%	14%
$W(\text{eV})$	$(1,20 \pm 0,05)$	$(1,6 \pm 0,3)$	$(1,2) \pm 0,06$
% erro	14%	8%	18%
% inc	4%	19%	5%

Ambos os métodos para determinar h e W tiveram resultados semelhantes: o método com menor erro percentual foi quando utilizamos o valor de V_0 diretamente do multímetro. No entanto, foi o método com menor $\% \text{ de incerteza}$.

Honestamente pensei que esse método daria um resultado ^{mais} devido à dificuldade de leitura no eletrometro mas, no entanto, foi o método com melhores resultados.

O erro ligeiramente elevado pode-se deveu a múltiplos fatores: com catodo de ligação que temos erros matemáticos (afetam essencialmente o valor de W); pode ser devido a uma má calibração do multimetro, embora não me pareça.

Poderíamos dizer que se devem a uma corrente excessiva da célula mas, após ler o manual que aconselha, que a corrente excessiva é de 15mA e da ordem dos 2,5mA pelo que não pode ser um fator relevante.

Entretanto não tenho feito um estudo ^{específico} de como a distância ^{entre} a célula e o LED afetaria os resultados que a mesma faria colocar o LED junto da célula influenciando tanto o valor de I e de V e, embora tenhamos visto resultados em que o LED estava bastante próximo da célula, este fator pode ter sido essencialmente a causa principal de erro tanto na parte A como na B.

Por fim, a célula opera com radiação luminosa de comprimentos de onda na faixa de 385-650 nm, sendo a máxima remissão de 740 nm. Como utilizamos LED que não está nessa faixa ($\lambda = 850\text{ nm}$), e como a maior parte dos LED's são um pouco afastados da máxima remissão, este pode ter sido outro fator determinante para o erro observado.

NOTA: Tentaram isolas com a monta prota o melhor - possível pelo que creio que não seja um fator de erro.

→ Conclusão

Nesta atividade entendemos o efeito fotoelétrico num fotocélula com catodo Sb-C.

No Parte A da atividade determinoumos h e W por duas maneiras distintas: fazendo um gráfico de $I(V)$ para determinar V_0 ^{obtendo} $h = (5,2 \pm 0,1) \times 10^{-34} \text{ J s}$ a menos de 2% de incerteza e 21% de erro e determinando diretamente da variação no valor de V_0 para o qual $I = 0$ obtemos $h = (5,6 \pm 0,8) \times 10^{-34} \text{ J s}$ a menos de 14% de incerteza e 15% de erro. Os valores de W foram respectivamente $W = (1,70 \pm 0,05) \text{ eV}$ a menos de 14% de erro e 4% de incerteza e $W = (1,05 \pm 0,3) \text{ eV}$ com 6% de erro e 19% de incerteza.

No parte B, utilizando o potencial de estabilização nos terminais do condensador obtive $h = (5,0 \pm 0,1) \times 10^{-34} \text{ J s}$ a menos de 4% de incerteza e 24% de erro e $W = (1,27 \pm 0,6) \text{ eV}$ com 18% de erro e 18% de incerteza de 9%.