

T2 - EMISSÃO LED, QUANTUM DE LUZ E EFEITO FOTOELÉTRICO

Mania Helme Nunes da Silva, PL1, Grupo 2

25/09/2023

OBJETIVOS

- Caracterização espectral de emissão do LED.
- Estudo da dependência do potencial de paragem de corrente fotoelétrica na frequência da radiação incidente.
- Determinação do trabalho de extração de um elétron do metal e da constante de Planck.
- Diminuir aquela montagem experimental que permite obter uma medida mais robusta e confiável.

INTRODUÇÃO TEÓRICA

Parte A (potencial que anula a corrente fotoelétrica)

Determinar V_c (potencial de paragem) → quando $I = 0$

Parte B (condensador carregado: $V_S = V_c$, isto é, até a corrente se anular)

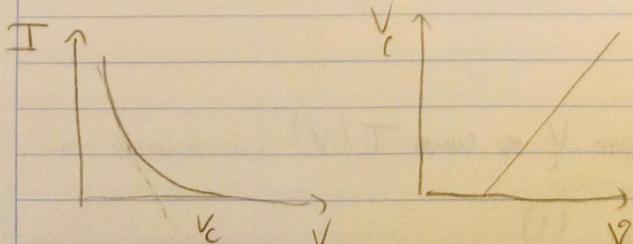
$$V_c = \frac{h\nu}{q} - \frac{W}{q} \quad (1)$$

$$W_{teórico} = [143 - 159] \cdot V$$

$$q = 1,602 \times 10^{-19} C$$

$$h_{teórico} = 6,626 \times 10^{-34} Js$$

$$c = 2,998 \times 10^8 m s^{-1}$$



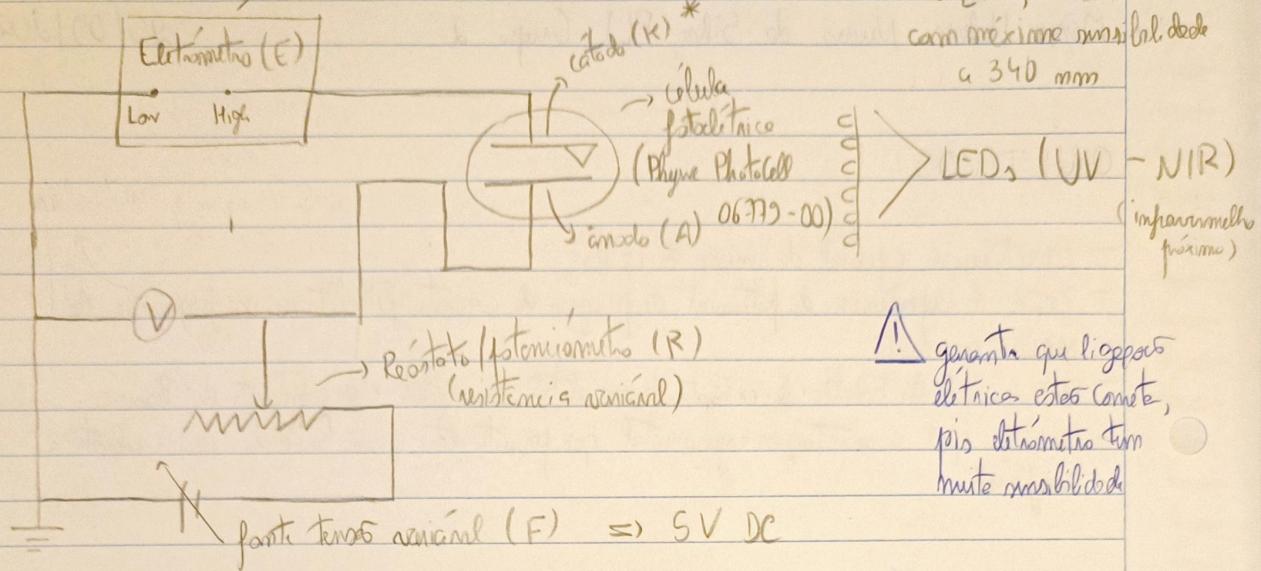
PROCEDIMENTO

PARTE (A)

* lige da Génio - Antimónio
(Sb - Cr)

$\lambda E [185,650]$ nm

comprimento de onda
a 340 mm
(infravermelho
próximo)



A geranta que ligaçoes
elétricas estão corretas,
pôs fotovoltímetro tem
muito sensibilidade

A) Efeito fotovoltaico no emissor deve originar uma I positiva no eletrômetro

Se $I < 0$:

- hó efeito fotovoltaico no coletor
OU

- hó parergum de corrente no fotovoltaico originado por mau isolamento elétrico do circuito
de medida, relativos um dia húmido → limpou a célula com alicate, evitando
toque - hó com as mãos

① Monta aquecimento com LED_s junto à célula fotovoltaica

② Selecionar um dos LED_s com comutador e gerantir isolamento da célula relativamente à
lug ambiente

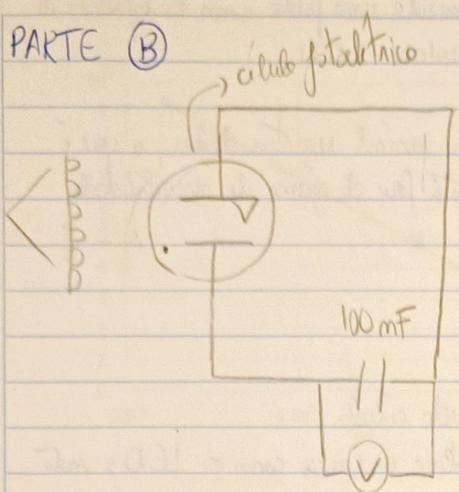
③ Ajustar fotovoltímetro para reduzir a corrente à medida que se aproxime de corrente
máx aumentar a sensibilidade do eletrômetro e repetir, escolher sensibilidade menor
e manter escala constante ao longo das medidas, fazendo curva $I(V)$

④ Repetir para todos os LED_s

⑤ Para cada LED determinar potencial de paragem V_c na curva $I(V)$ (curva anexo - n)

⑥ Ver gráficos $V_c(V)$ e determinar $h \cdot W$ (1)

PARTE B



LEDs

① Montar e escolher um LED, registar ddp nos terminais do condensador, repetir para outros LED,

② Construir V_c (v) e determinar $h \cdot W$ (1)

PARTE C

① Usar espetómetro SpectroScan (VIS - NIR e UV-VIS), registar a cor percecionada e o comprimento de onda correspondente ao pico máximo da LED

② Exportar os dados da cadeia espetro medida para ficheiro de texto, bem identificado para posterior análise

7 nov
25/10/2023

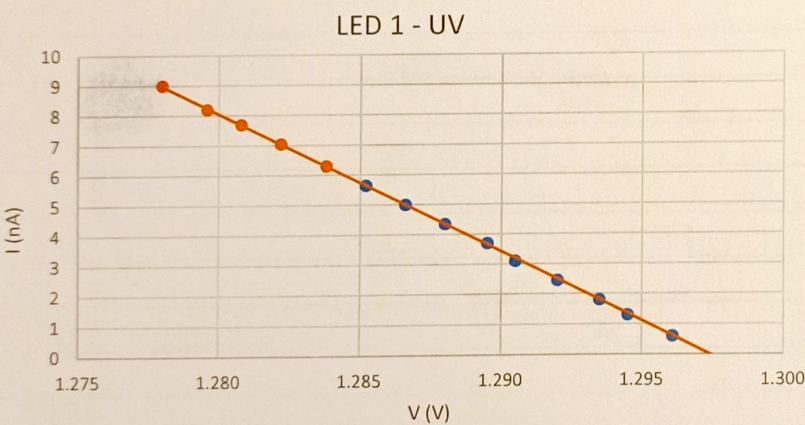
DISCUSSÃO E ANÁLISE

- Notas: A partir de C não foi realizada pois já foi fornecido uma folha com os espectros de cada LED e o respetivo comprimento de onda.

O LED 1V não foi utilizado pois não foi possível registrar dados, o que é esperado dado que o comprimento de onda está fora do gama de sensibilidade da liga SF-C₃ da célula fotovoltaica.

PARTE (A)

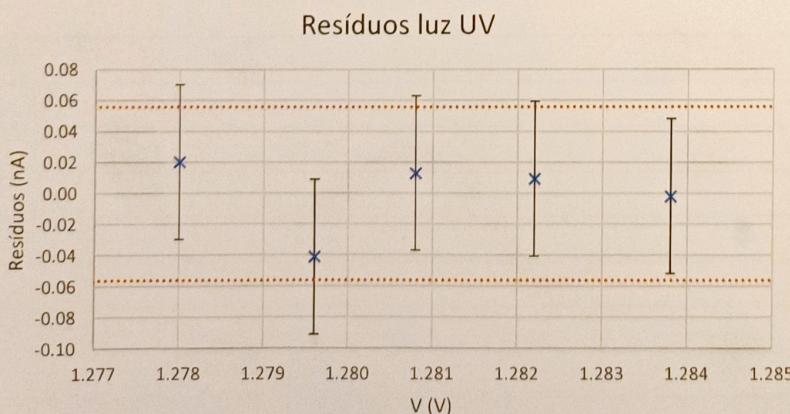
- LEDs posicionados a uma distância de ~ 2 cm da célula
- Em todos os medições garantiu-se que o fio que coloca a caixa com os LEDs não permitia a entrada de luz ambiente
- Em todos os medições usou-se a escala de 10 mA no eletrometro, tentando -n obter o mais próximo possível da realidade real, alterando V no potenciômetro
- Tablas com rebus de I(V) para cada LED mantiveram -n um anexo



Para todos os LEDs:

- pontos laranja: utilizados para o ajuste linear
- reta laranja: reta de ajuste linear
- pontos azuis: resultados dos registados

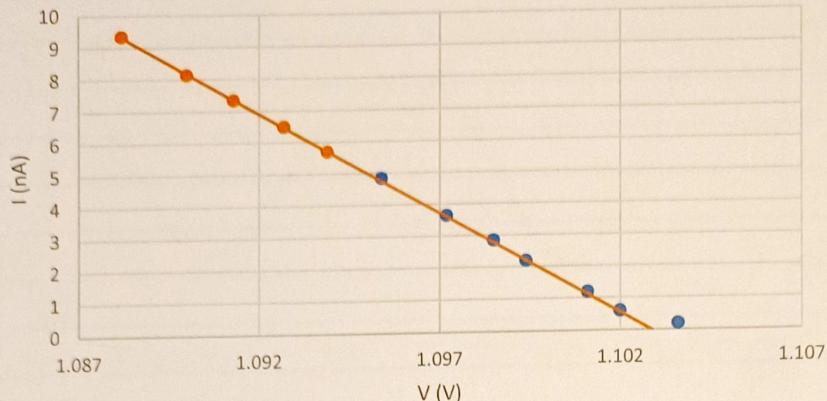
Ajuste linear		
m	-462	599
s(m)	6	8
r ²	0.9995	0.028
		s(y)



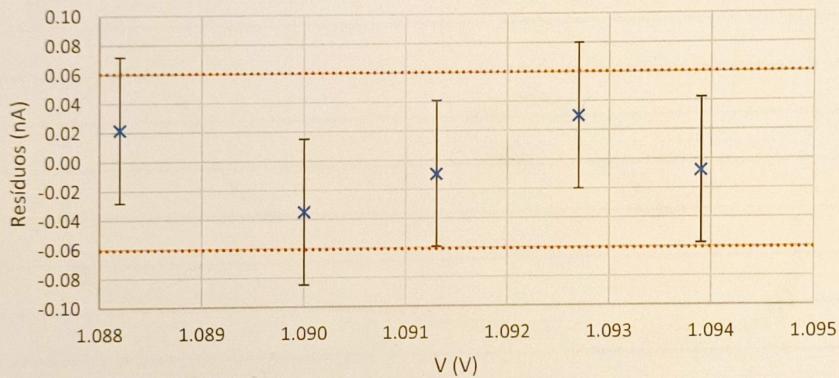
Para todos os LEDs:

- pontos azuis: médias
- retas atraçadas: $+2s(y)$ e $-2s(y)$

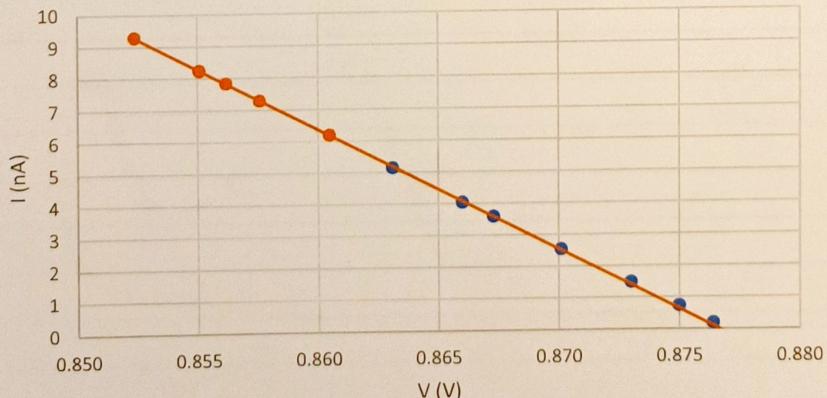
LED 2 - violeta escuro



Resíduos violeta escuro



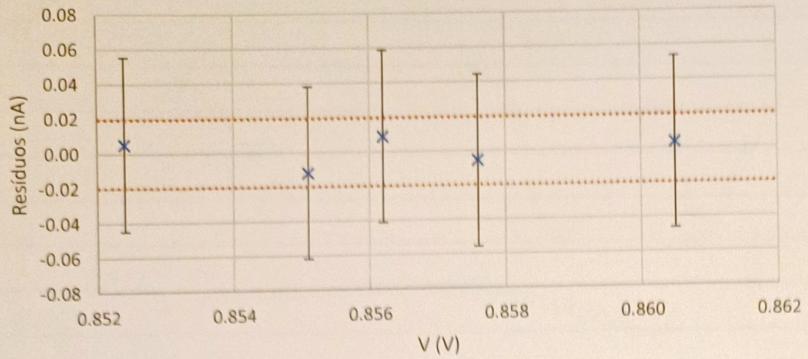
LED 3 - azul escuro



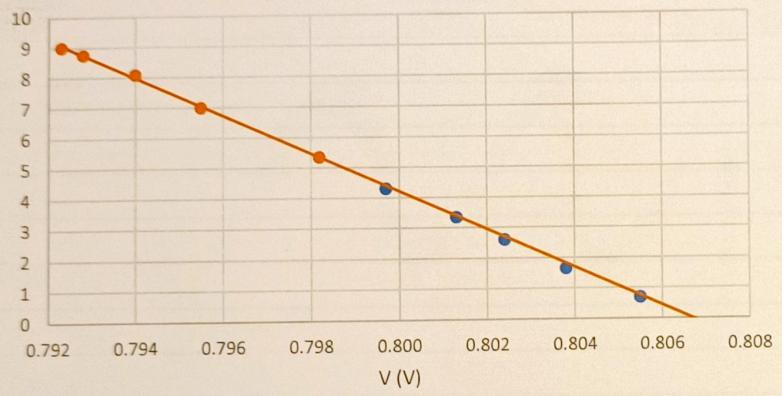
Ajuste linear		
m	-635	701
s(m)	7	7 s(b)
r ²	0.9997	0.030 s(y)

Ajuste linear		
m	-382	335
s(m)	2	1 s(b)
r ²	0.99994	0.0099 s(y)

Resíduos azul escuro



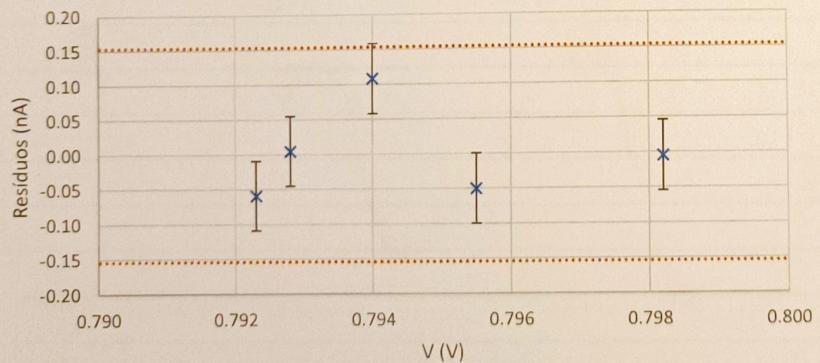
LED 4 - azul claro



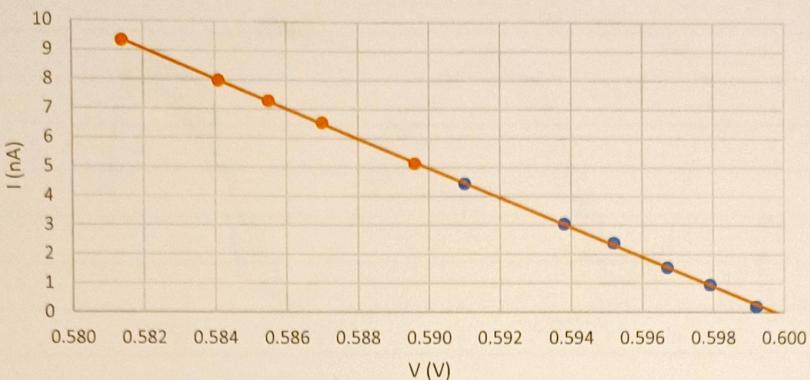
Ajuste linear

m	-628	507	b
s(m)	16	13	s(b)
r ²	0.998	0.077	s(y)

Resíduos azul claro



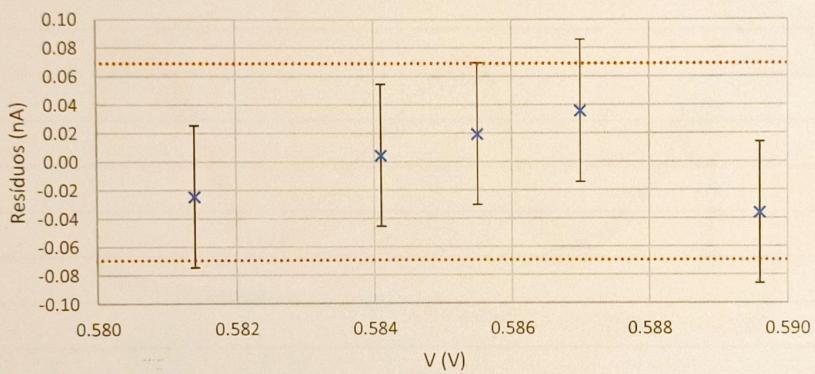
LED 5 - verde



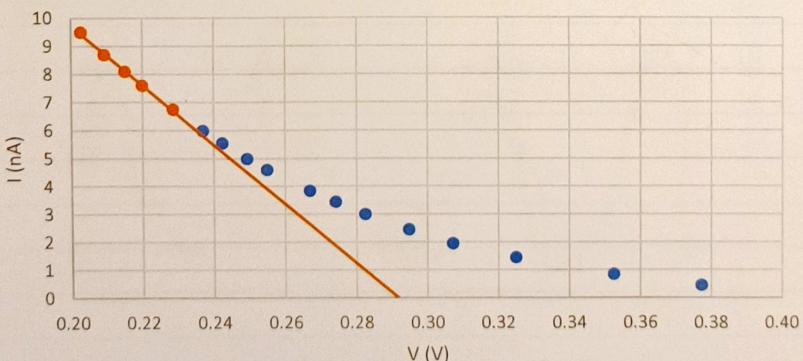
Ajuste linear

m	-511	306	b
$s(m)$	6	3	$s(b)$
r^2	0.9996	0.035	$s(y)$

Resíduos verde



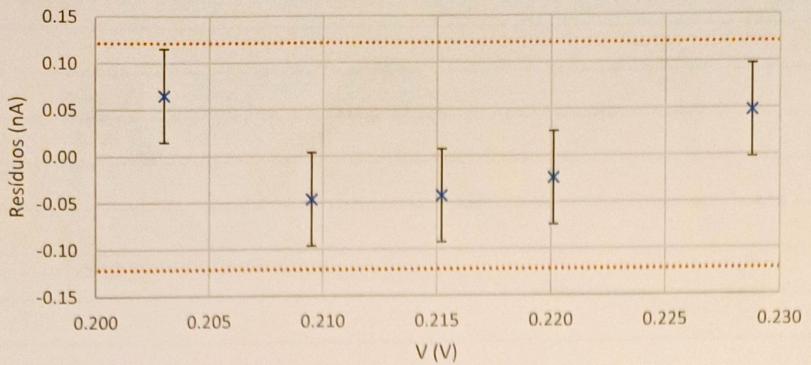
LED 6 - amarelo



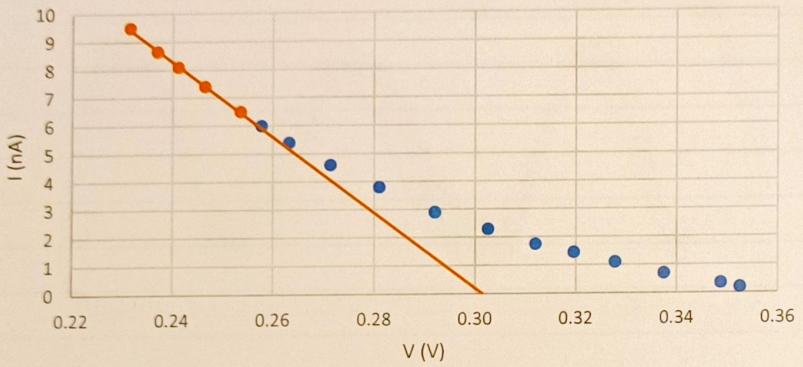
Ajuste linear

m	-106	31	b
$s(m)$	3	1	$s(b)$
r^2	0.997	0.061	$s(y)$

Resíduos amarelo



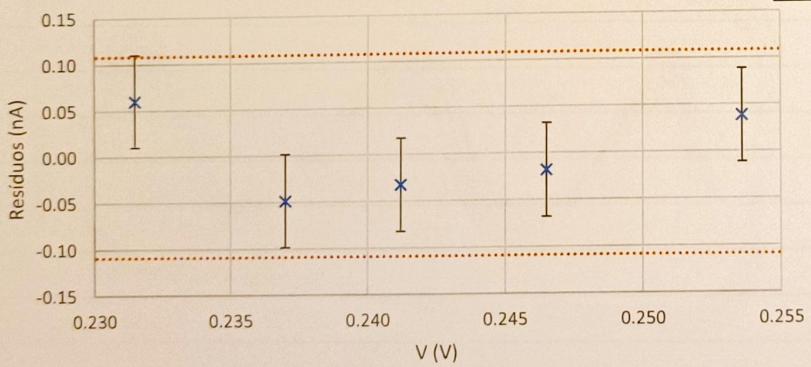
LED 7 - laranja



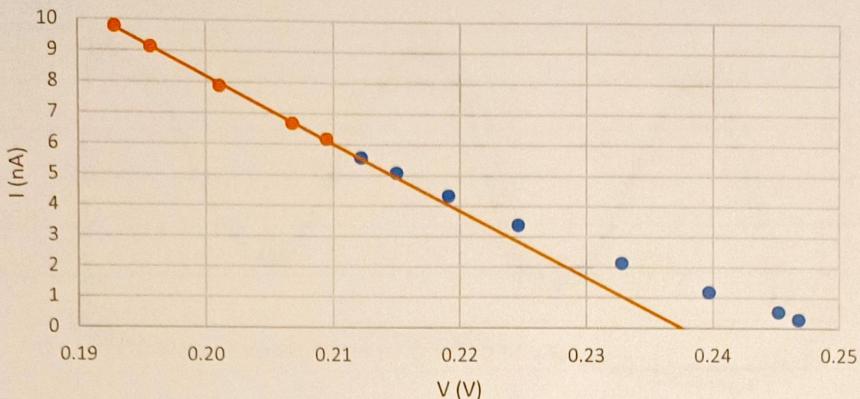
Ajuste linear

m	-135	41	b
$s(m)$	3	1	$s(b)$
r^2	0.998	0.054	$s(y)$

Resíduos laranja



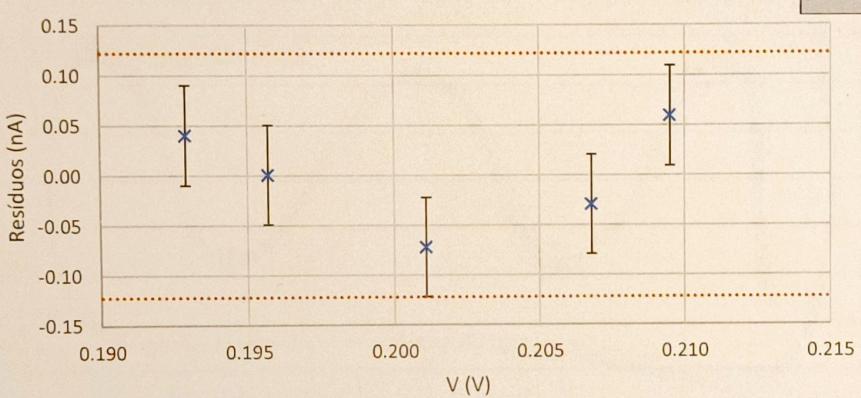
LED 8 - vermelho



Ajuste linear

m	-218	52	b
s(m)	4	1	s(b)
r ²	0.9988	0.061	s(y)

Resíduos vermelho



- Para os LEDs com comprimentos de onda maiores (laranja, amarelo, vermelho), a curva $I(V)$ é quase linear até atingir o potencial de paragem.
- Para os LEDs com comprimentos de onda menores (verde, azul claro, azul escuro, violeta escuro, UV), $I(V)$ é linearmente desproporcionalmente linear até atingir o potencial de paragem.
- Para realizar os ajustes lineares, escolham 5 pontos da maior escurtição com bons meios que possam.

$$I = mV + b \rightarrow \text{admitindo que origem}$$

↳ declive

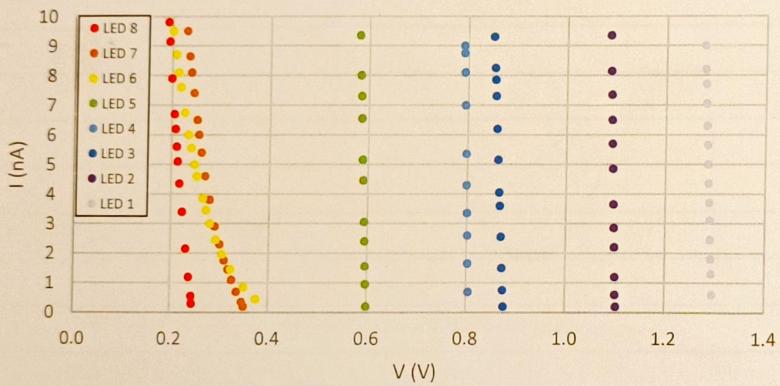
Pode determinar o potencial de paragem, $I = 0 \Rightarrow 0 = mV_c + b \Rightarrow V_c = -\frac{b}{m}$ (2)

É um critério coerente para todos os LEDs, pois além de que o eletrômetro é um aparelho analógico que pode precisar para valores próximos de 0, logo a amolação da escala no fim do movimento polariza condizente com a escala, desde a sensibilidade do aparelho.

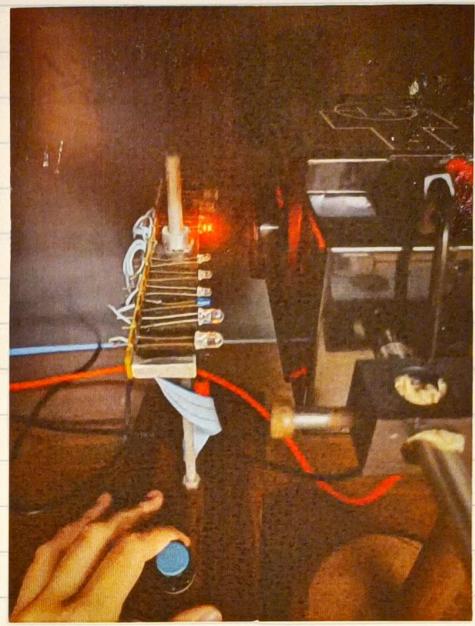
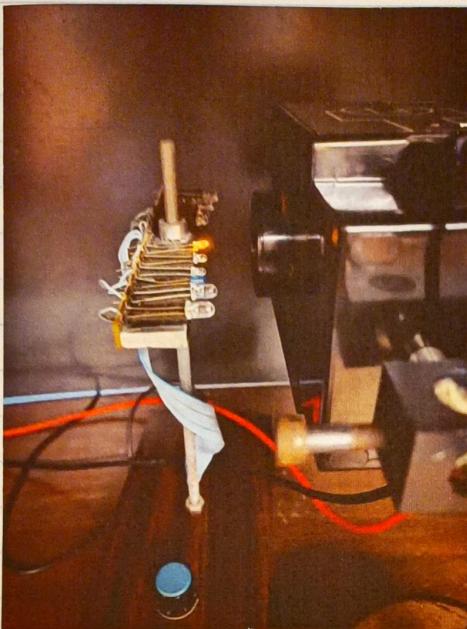
- Apesar de todos os valores estarem dentro do intervalo $\pm 2\sigma(y)$, apresentam tendências parabólicas e/ou bolas de uso grandes. Assim, os dados medidos podem ter sido afetados por vários fatores:

- Erros de leitura do eletrômetro
- Toques acidentais nos cabos de ligação, potenciômetro ou murro na mesa, que afetam medições pois eletrômetro tem muita sensibilidade
- Variação constante do potencial (em algumas medições a tensão não foi variada em intervalos iguais e muitas vezes desceu - a valor de tensão e voltava - em uma tentativa de registrar o valor de I com mais precisão)

Todos os LEDs



- Neste gráfico, verifica-se a sobreposição da curva do LED amarelo com a curva do LED laranja, quando me expectava que os valores medidos para o amarelo correspondiam a valores de potencial maiores, dado o maior comprimento de onda. No gráfico $V_c(V)$ (a seguir) também que o valor de potencial de faísca determinado para o amarelo é inferior ao vermelho. Estes dois fatores podem ser explicados pela menor intensidade do LED amarelo relativamente aos outros LEDs.



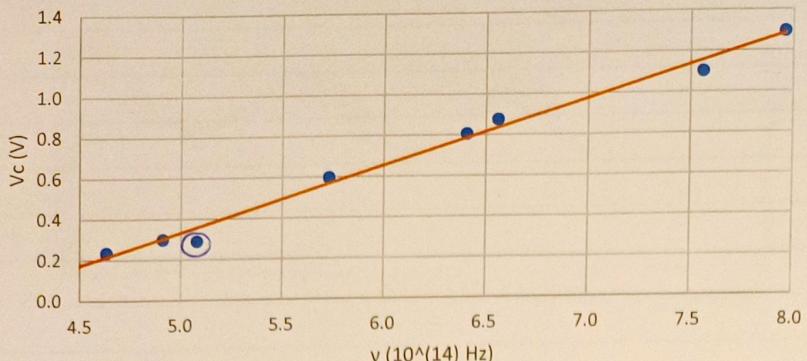
Figures 1 e 2 : Intermídeo de medição do LED amarelo (à esquerda) comparativamente aos outros LEDs (para referência, à direita, o LED laranja)

— Após calculado V_c a partir de eq (2) e respetiva incerteza (no respecto de fórmulas de incerteza a seguir à discussão anterior) para cada LED, construiu -se o gráfico do potencial de hansen em função de frequência e foi realizado um ajuste linear com base na eq (1) (na introdução teórica)

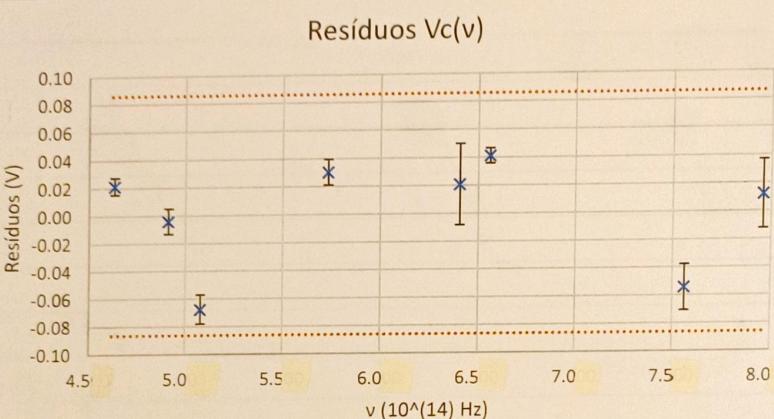
LEDS	V_c (V)	$u(V_c)$ (V)	v (Hz)	$v \cdot 10^{14}$ (Hz)	Ajuste	Resíduos
1	1.297	0.025	7.961E+14	7.961	1.285	0.012
2	1.103	0.017	7.561E+14	7.561	1.157	-0.054
3	0.877	0.005	6.560E+14	6.560	0.835	0.041
4	0.807	0.029	6.406E+14	6.406	0.786	0.021
5	0.600	0.009	5.732E+14	5.732	0.570	0.030
6	0.292	0.011	5.079E+14	5.079	0.360	-0.068
7	0.302	0.009	4.911E+14	4.911	0.306	-0.004
8	0.238	0.006	4.632E+14	4.632	0.216	0.021

→ determinado com $\vartheta = \frac{e}{2}$ (valor tabelado de
→ resistência de l_{wj}
ma introdução teórica)

Potencial de paragem em função da frequência



- pontos aquisição de dados registados
- reta linear: ajuste linear
- ponto rodeado: valor de V_c registrado para o LED amarelo, que como referido anteriormente, é inferior ao esperado, mas contribuindo para a tendência linear



Ajuste linear		
m	0.32	-1.27
$s(m)$	0.01	0.08
r^2	0.990	0.043
b		$s(b)$
$s(y)$		$s(y)$

- pontos aquisição: resíduos
- retas atraçadas: $+2s(y)$ e $-2s(y)$

resíduos abatidos

A partir do ajuste linear determinou-se h e W com

$$(3) \quad h = m \cdot q \cdot 10^{-14} \text{ (em J s)}$$

↳ conversão de unidades

↳ valor tabelado da carga do elétron na introdução técnica

$$(4) \quad W = -b \text{ (em eV)}$$

Os resultados obtidos foram:

$$h = 5,146 \times 10^{-34} \text{ J s} \pm 4\%$$

Erro: 22%

$$W = 1,27 \text{ eV} \pm 6\%$$

Erro: 16%

Nota: para o valor teórico de W considerou-se o valor médio do intervalo referido na introdução técnica, ou seja, 151 eV

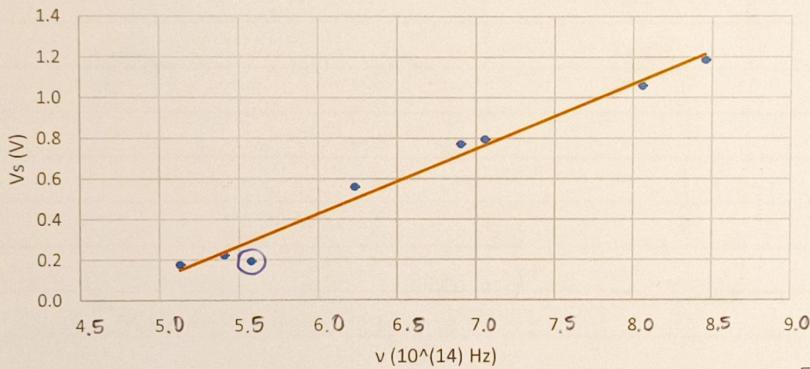
PARTE (B)

- O sinal de tensão registrado no multímetro, isto é, a tensão nas terminais do condensador V_s , oscilava bastante, logo optou-se por registrar, para cada LED, o intervalo de valores observados e considerar como potencial da fonte gerador a vila médio. Analogamente à parte A, construir um gráfico em função de frequência e realizar-se um ajuste linear como fez na eq. (1).

do potencial da fonte geradora

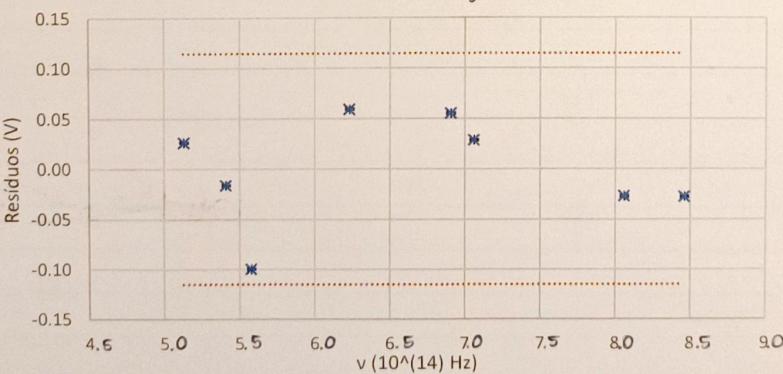
LED (λ) (nm)	Intervalo V_s (V) ± 0.001	Média V_s (V) ± 0.001	v (Hz)	$v \cdot 10^{14}$ (Hz)	Ajuste	Resíduos
1	376.6	1.180-1.193	1.187	7.961E+14	7.961	1.214
2	396.5	1.053-1.066	1.060	7.561E+14	7.561	1.086
3	457.0	0.789-0.802	0.796	6.560E+14	6.560	0.767
4	468.0	0.766-0.779	0.773	6.406E+14	6.406	0.717
5	523.0	0.555-0.568	0.562	5.732E+14	5.732	0.502
6	590.3	0.187-0.200	0.194	5.079E+14	5.079	0.293
7	610.5	0.217-0.230	0.224	4.911E+14	4.911	0.240
8	647.2	0.170-0.184	0.177	4.632E+14	4.632	0.151

Potencial em função da frequência



- pontos aqui: dados registrados
- reta laranja: ajuste linear
- ponto redondo: valor do potencial da fonte geradora que o LED arrojou, que tal como na parte A, rei de tendência linear

Resíduos V_s (v)



Ajuste linear		
m	0.32	-1.3 b
s(m)	0.02	0.1 s(b)
r²	0.98	0.057 s(y)

- pontos aqui: resíduos
- retas a tracejado:
- + 2s(y) e - 2s(y)

- bairros de erro não se aminimizam a esta escala

→ resíduos aleatórios

- Usou - m os cgs (3), (4) para determinar h e W a partir do ajuste linear, obtendo - m

$$h = 5,119 \times 10^{-34} \text{ Js} \pm 6\% \quad \text{Erro: } 23\%$$

$$W = 1,33 \text{ eV} \pm 8\% \quad \text{Erro: } 12\%$$

FÓRMULAS DE INCERTEZA

$$u(I) = \frac{\text{menor divisão da escala}}{2} \rightarrow 0,05 \quad (\text{parte A})$$

$$u(V_c) = \sqrt{\left(-\frac{1}{m} u(b)\right)^2 + \left(\frac{b}{m^2} \cdot u(m)\right)^2} \quad (\text{parte A})$$

$$u(h) = u(m) \cdot q \cdot 10^{-14}$$

$$u(W) = -u(b)$$

CONCLUSÃO

- Verificamos que a distância do LED à célula fotovoltaica não afeta o corrente elétrica medida nem o potencial de paragem, desde que seja consegui a falte de intensidade do LED amarelo, tentou - m aproximar o mesmo possível est. de célula, mental mas causou alterações nos dados registrados.

- Exetuando os valores registrados para o LED amarelo, que são justificados pela falte da intensidade de radiação, verifica - m com os dois método, que o potencial de paragem aumenta linearmente com a frequência, como esperado.

- Valores de h e W obtidos com ambos os métodos:

$$h = \begin{cases} 5,146 \times 10^{-34} \text{ Js} \pm 4\% & \text{Erro: } 22\% \Rightarrow \text{(A)} \\ 5,119 \times 10^{-34} \text{ Js} \pm 6\% & \text{Erro: } 23\% \Rightarrow \text{(B)} \end{cases}$$

$$W = \begin{cases} 1,27 \text{ eV} \pm 6\% \\ 1,33 \text{ eV} \pm 8\% \end{cases}$$

Erro: 16% \Rightarrow A
Erro: 12% \Rightarrow B

- Assim, conclui-se que o método do eletroímetro (A) é o melhor na determinação de h e W: na parte A h foi determinado com mais precisão e exatidão, e apesar do método da condensadora (B) ter resultados numéricos de W mais exatos, este também tem uma maior incerteza, pelo que, em geral, o método do eletroímetro resulta num ajuste de maior qualidade e em valores mais confiáveis.

ANEXO - Tabelas de Ponto A com valores de I e V registados para cada LED

LED 1			
I (nA) ± 0.05	V (V) ± 0.0001	Ajuste	Resíduos
9.00	1.2780	8.98	0.02
8.20	1.2796	8.24	-0.04
7.70	1.2808	7.69	0.01
7.05	1.2822	7.04	0.01
6.30	1.2838	6.302	-0.002
5.65	1.2852		
5.00	1.2866		
4.35	1.2880		
3.70	1.2895		
3.10	1.2905		
2.45	1.2920		
1.80	1.2935		
1.30	1.2945		
0.60	1.2961		

LED 2			
I (nA) ± 0.05	V (V) ± 0.0001	Ajuste	Resíduos
9.35	1.0882	9.33	0.02
8.15	1.0900	8.18	-0.03
7.35	1.0913	7.36	-0.01
6.50	1.0927	6.47	0.03
5.70	1.0939	5.71	-0.01
4.85	1.0954		
3.65	1.0972		
2.85	1.0985		
2.20	1.0994		
1.20	1.1011		
0.60	1.1020		
0.20	1.1036		

LED 3

I (nA) ± 0.05	V (V) ± 0.0001	Ajuste	Resíduos
9.30	0.8524	9.29	0.01
8.25	0.8551	8.26	-0.01
7.85	0.8562	7.84	0.01
7.30	0.8576	7.31	-0.01
6.20	0.8605	6.196	0.004
5.15	0.8631		
4.05	0.8660		
3.60	0.8673		
2.55	0.8701		
1.50	0.8730		
0.75	0.8750		
0.20	0.8764		

LED 4

I (nA) ± 0.05	V (V) ± 0.0001	Ajuste	Resíduos
9.00	0.7923	9.06	-0.06
8.75	0.7928	8.745	0.005
8.10	0.7940	7.99	0.11
7.00	0.7955	7.05	-0.05
5.35	0.7982	5.355	-0.005
4.30	0.7997		
3.35	0.8013		
2.60	0.8024		
1.65	0.8038		
0.70	0.8055		

LED 5

I (nA) ± 0.05	V (V) ± 0.0001	Ajuste	Resíduos
9.35	0.5814	9.37	-0.02
8.00	0.5841	7.995	0.005
7.30	0.5855	7.28	0.02
6.55	0.5870	6.51	0.04
5.15	0.5896	5.19	-0.04
4.45	0.5910		
3.05	0.5938		
2.40	0.5952		
1.55	0.5967		
0.95	0.5979		
0.20	0.5992		

LED 6

I (nA) ± 0.05	V (V) ± 0.0001	Ajuste	Resíduos
9.50	0.2030	9.43	0.07
8.70	0.2095	8.75	-0.05
8.10	0.2152	8.14	-0.04
7.60	0.2201	7.62	-0.02
6.75	0.2288	6.70	0.05
6.00	0.2370		
5.55	0.2425		
5.00	0.2494		
4.60	0.2550		
3.85	0.2670		
3.45	0.2743		
3.00	0.2826		
2.45	0.2949		
1.95	0.3073		
1.45	0.3251		
0.85	0.3526		
0.45	0.3774		

LED 7

I (nA) ± 0.05	V (V) ± 0.0001	Ajuste	Resíduos
9.50	0.2315	9.44	0.06
8.65	0.2370	8.70	-0.05
8.10	0.2412	8.13	-0.03
7.40	0.2465	7.42	-0.02
6.50	0.2536	6.461	0.039
6.00	0.2577		
5.40	0.2632		
4.60	0.2714		
3.80	0.2811		
2.90	0.2921		
2.30	0.3026		
1.75	0.3120		
1.45	0.3196		
1.10	0.3278		
0.70	0.3375		
0.35	0.3488		
0.20	0.3526		

IED 8

I (nA) ± 0.05	V (V) ± 0.0001	Ajuste	Resíduos
9.80	0.1929	9.76	0.04
9.15	0.1957	9.149	0.001
7.90	0.2011	7.97	-0.07
6.70	0.2068	6.73	-0.03
6.20	0.2095	6.14	0.06
5.60	0.2122		
5.10	0.2150		
4.35	0.2191		
3.40	0.2246		
2.15	0.2328		
1.20	0.2397		
0.55	0.2452		
0.30	0.2468		