

TB3 - Diodos

Grupo 3 - Maria Helene Nunes da Silveira

21/03

Objetivos:

- Falta uma
Experiência 75%
• logbook bem
ordenado

- Traçar a ~~cotação~~ curva (muito linear) característica de diodos retificadores e geradores, parametrizando-as? Que quer dizer.
- Analisar as resistências internas aparentes nos vários gabinetes de teste, com diodos retificadores e geradores

Materiais:

- Amperímetro (multímetro) na gama mA - mA com resolução de 4,5 dígitos ①
- Voltímetro (multímetro) na gama 0,1 mV - 15V com resolução de 4,5 dígitos ②
- Fonte de tensão 0 - 15V ③
- Resistência de 15 K Ω de proteção do circuito
- Conjunto de vários diodos montados em placas com terminais
- Comutador
- Fios elétricos para ligação do circuito

① Keithley 197 Nicelost DMM

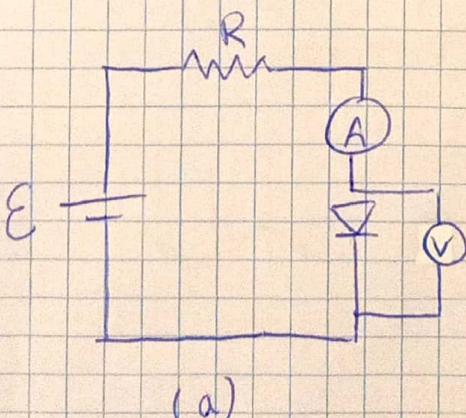
② Keithley 2110 5 1/2 Digit Multimeter

③ Leybold com o diodo retificador ✓

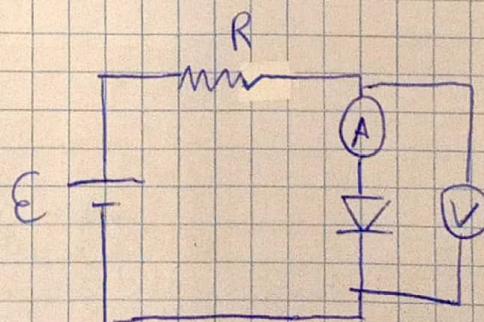
Procedimento:

1. Montar os circuitos (a) e (b) ~~e~~ abaixo e fazer o cuidado de considerar em cada

um dos circuitos as formas $I(V)$ adequadas às approximações



(a)



(b)

2. Varia os valores de V e registra correspondentes valores de I

3. Redige a mesma expressão com o diodo Zener

Análise de dados

4. Representa graficamente $\ln(I_D)$ vs V_D

5. Calcula a resistência estática equivalente do diodo em alguns pontos experimentais da curva $I_D(V_D)$. Estima igualmente a resistência dinâmica num ponto de conduta fixa

6. Representa graficamente $\ln(I_D)$ em função de V_D na gama adequada da curva $I_D(V_D)$, isto é, na gama em que a tensão é aparente linear

7. Verifica a validade da equação $\ln(I_D + I_0) = \ln(I_0) + \frac{cV}{mK^T}$ com

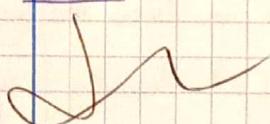
$I_0 + I_0 \approx I_D$, calculando a regressão linear de $\ln(I_D)$ em função de V_D

8. Compara a qualidade do ajuste linear obtido. Determina os parâmetros I_0 e c e as respectivas incertezas.

9. Considera o valor de I_0 obtido pelo ajuste com o valor obtido no gráfico

(Nota: determinar I_0 fazendo uma média dos pontos sobre a linha de seteig)

Dados



Díodo retificador

Circuito (a)

Ende: +V	2mA	
	V (V)	I (mA)
0,36790	0,0079	
0,39020	0,0152	
0,46227	0,1070	
0,48667	0,1948	
0,50069	0,2688	
0,51240	0,3495	
0,51989	0,4118	
0,53145	0,5282	
0,53840	0,6126	
0,54436	0,6952	
0,54970	0,7773	
0,55410	0,8513	
0,55796	0,9233	

0,56448	1,0575
0,56936	1,1624
0,57176	1,2297
0,57625	1,3482
0,58052	1,4720
0,58450	1,5963
0,58821	1,7242
0,59023	1,7984
0,59194	1,8461
0,59275	1,8899
0,59354	1,9218
0,59567	1,9850

Circuit (B)

Endeckt IV	1V	2mA
	V(V)	I(mA)
	0,44135	0,0558
	0,47935	0,1261
	0,50722	0,2011
	0,51939	0,2622
	0,54080	0,3244
	0,55262	0,3749
	0,56154	0,4131
	0,57062	0,4605
	0,58322	0,5260
	0,59256	0,5761
	0,60415	0,6415
	0,61718	0,7178
	0,63027	0,7982
	0,64870	0,9170
	0,66723	1,0399
	0,68258	1,1483
	0,69580	1,2396
	0,70988	1,3417
	0,71687	1,3933
	0,72893	1,4830
	0,74477	1,6033
	0,75579	1,6880
	0,76925	1,7931
	0,78304	1,9016
	0,79355	1,9857



Amônia de dedos

T (K)	291.15
e (C)	1.6E-19
k (J/K)	1.40E-23

Tabela ~~de constantes~~: temperatura do laboratório no momento da experiência (T), carga do elétrodo (e) e constante de Boltzmann (k)

① Circuito (a) - Diodo retificador

V (V) $\pm E-05$	I (mA) $\pm E-04$	ln(I)	Ajuste	Resíduos	Ajuste EXP
0.36790	0.0079	-4.8409	---	---	---
0.39020	0.0152	-4.1865	---	---	---
0.46227	0.1070	-2.2349	---	---	---
0.48667	0.1948	-1.6358	---	---	---
0.50069	0.2688	-1.3138	---	---	---
0.51240	0.3495	-1.0513	---	---	---
0.51989	0.4118	-0.8872	---	---	---
0.53145	0.5282	-0.6383	---	---	---
0.53840	0.6126	-0.4900	---	---	---
0.54436	0.6952	-0.3636	-0.3614	-0.0022	0.6967
0.54970	0.7773	-0.2519	-0.2511	-0.0009	0.7780
0.55410	0.8513	-0.1610	-0.1601	-0.0008	0.8520
0.55796	0.9233	-0.0798	-0.0804	0.0006	0.9227
0.56448	1.0575	0.0559	0.0543	0.0016	1.0558
0.56936	1.1694	0.1565	0.1551	0.0014	1.1678
0.57176	1.2297	0.2068	0.2047	0.0020	1.2272
0.57625	1.3482	0.2988	0.2975	0.0013	1.3465
0.58052	1.4720	0.3866	0.3857	0.0009	1.4707
0.58450	1.5963	0.4677	0.4679	-0.0003	1.5967
0.58821	1.7242	0.5448	0.5446	0.0002	1.7239
0.59023	1.7984	0.5869	0.5863	0.0006	1.7974
0.59154	1.8461	0.6131	0.6134	-0.0003	1.8467
0.59275	1.8899	0.6365	0.6384	-0.0019	1.8934
0.59354	1.9218	0.6533	0.6547	-0.0015	1.9246
0.59507	1.9850	0.6856	0.6863	-0.0007	1.9864

$$R_{DC} (K\Omega) \\ 46.5696$$

$$0.6500$$

$$0.2998$$

Tabela 1.1.: Medição de dados e constante elétrica e R_{DC} determinada
para ~~alguns~~ alguns valores

Ajuste linear		
m	20.661	-11.608
s(m)	0.020	0.012
	0.999986876	0.001315107
	1066700.853	14
	1.844864772	2.42131E-05

	Resultado	Incerteza
I_0 (mA)	9.0895E-06	1.046E-07
n	1.90	0.09

Tabela 1.3.: Determinar I_0 e n
e respectivas incertezas

Tabela 1.2.: Dados ajuste linear

Curva característica $I(V)$

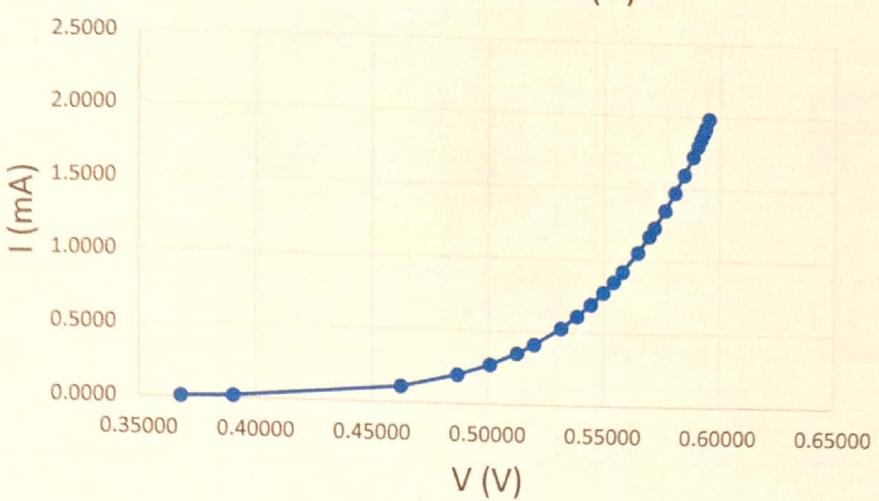


Gráfico 1.1.

$\ln(I)$ em função da tensão V

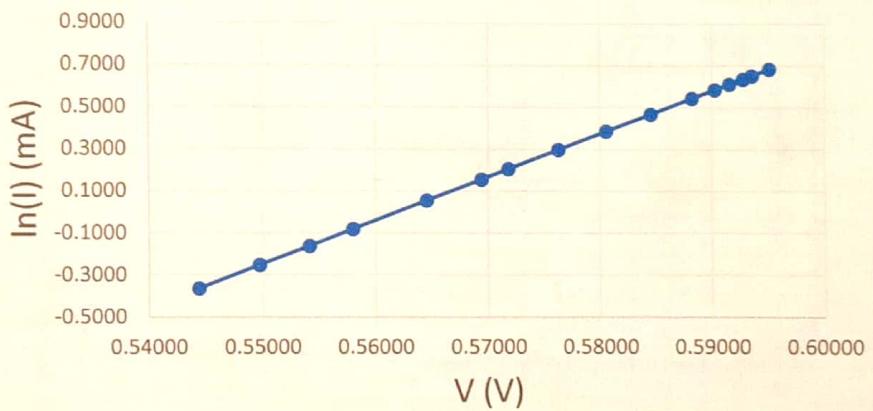
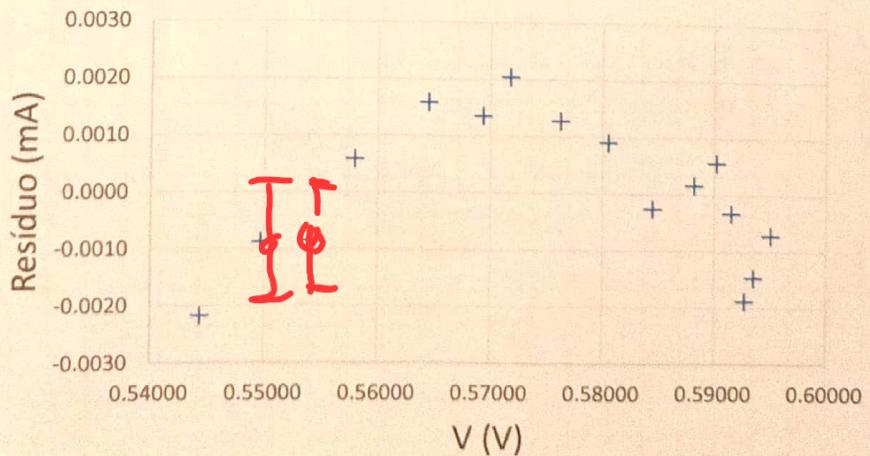


Gráfico 1.2.

Resíduos de $\ln(I)$ em função da tensão V



Varay
do
ayunt

Gráfico 1.3.

$\ln(I)$ e ajuste linear em função da tensão V

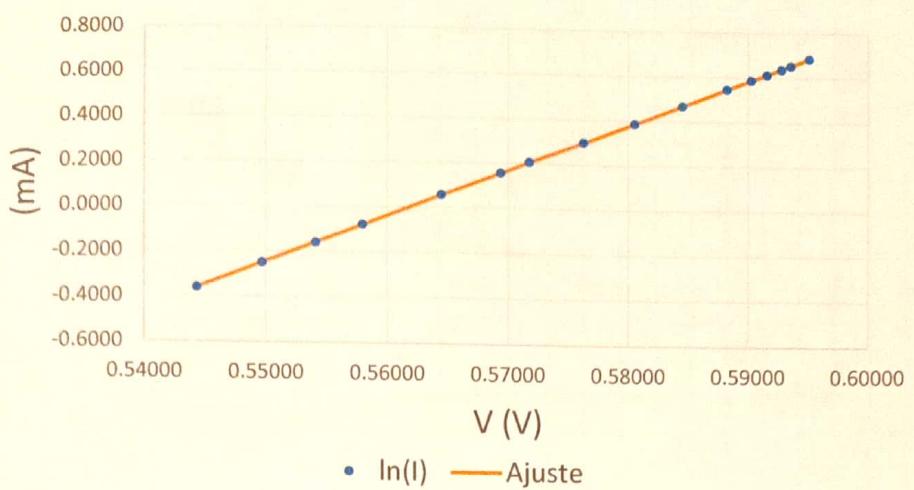


Grafico 1.4. Substituir Gráfico 1.2

Curva característica $I(V)$ com ajuste exponencial

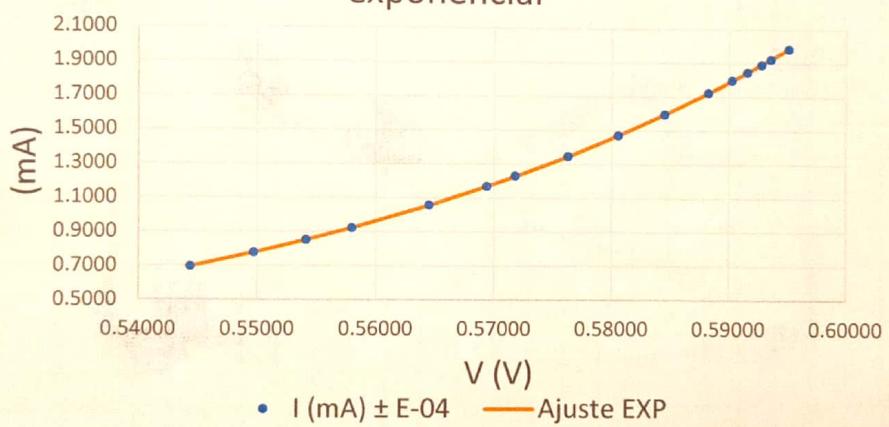


Grafico 1.5.

2) Circuito (b) - Diodo retificador

V (V) $\pm E-05$	I (mA) $\pm E-04$	ln(I)	Ajuste	Resíduos	Ajuste EXP
0.44135	0.0558	-2.8860	---	---	---
0.47935	0.1241	-2.0867	---	---	---
0.50722	0.2011	-1.6040	---	---	---
0.51939	0.2422	-1.4180	---	---	---
0.54080	0.3244	-1.1258	---	---	---
0.55242	0.3749	-0.9811	---	---	---
0.56154	0.4171	-0.8744	---	---	---
0.57062	0.4608	-0.7748	---	---	---
0.58322	0.5260	-0.6425	---	---	---
0.59256	0.5761	-0.5515	---	---	---
0.60415	0.6415	-0.4439	---	---	---
0.61718	0.7178	-0.3316	---	---	---
0.63027	0.7982	-0.2254	-0.1703	-0.0551	0.8434
0.64890	0.9170	-0.0866	-0.0681	-0.0186	0.9342
0.66723	1.0399	0.0391	0.0325	0.0066	1.0331
0.68298	1.1483	0.1383	0.1190	0.0193	1.1263
0.69580	1.2396	0.2148	0.1893	0.0255	1.2084
0.70988	1.3417	0.2939	0.2666	0.0273	1.3055
0.71687	1.3933	0.3317	0.3050	0.0267	1.3566
0.72893	1.4830	0.3941	0.3711	0.0229	1.4494
0.74477	1.6033	0.4721	0.4581	0.0140	1.5810
0.75579	1.6880	0.5235	0.5186	0.0050	1.6796
0.76925	1.7931	0.5839	0.5924	-0.0085	1.8084
0.78304	1.9016	0.6427	0.6681	-0.0254	1.9506
0.79355	1.9857	0.6860	0.7258	-0.0398	2.0664

R_{de} (kΩ)

7.9095

0.8598

0.3996

Tabela 2.1: Medidas de tensão e corrente térmica e R_{de}
determinadas para alguns valores

Ajuste linear		
m	5.4883	-3.6294
s(m)	0.1603	0.1153
	0.990697562	0.02853175
	1171.485755	11
	0.95366067	0.00895467

Tabela 2.2: Dados ajuste linear

	Resultado	Incerteza
I ₀ (mA)	2.6531E-02	3.060E-03
n	7.15	1.30

Tabela 2.3: Determinação de I₀ e n com as medições inseridas

Curva característica I(V)

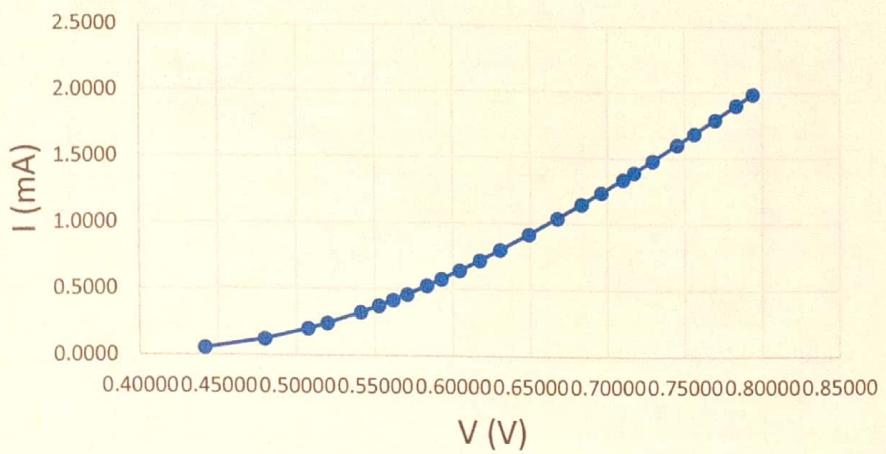


Gráfico 2.1.

$\ln(I)$ em função da tensão V

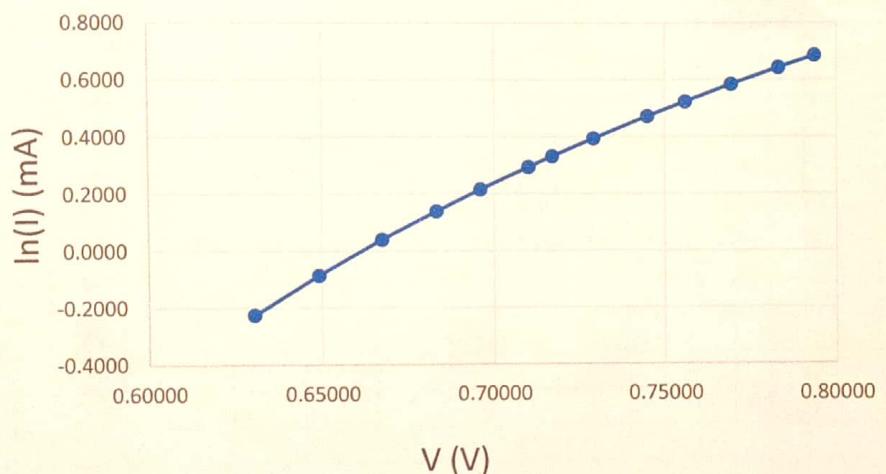


Gráfico 2.2.

Resíduos de $\ln(I)$ em função da tensão V

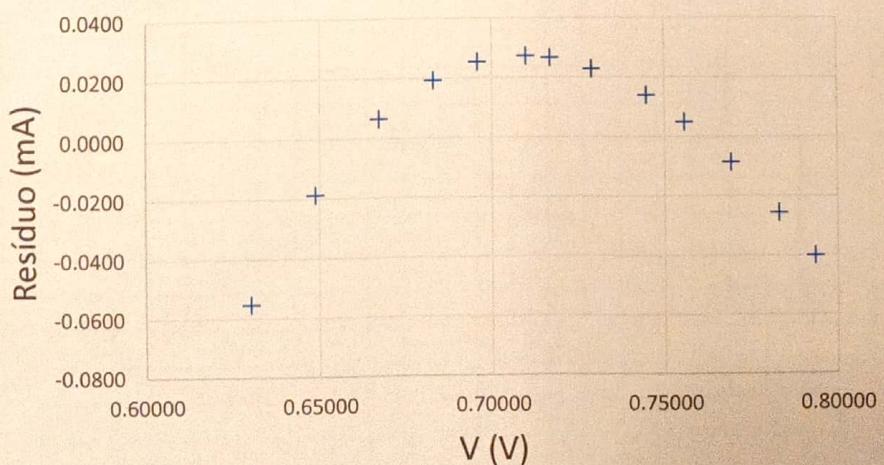


Gráfico 2.3.

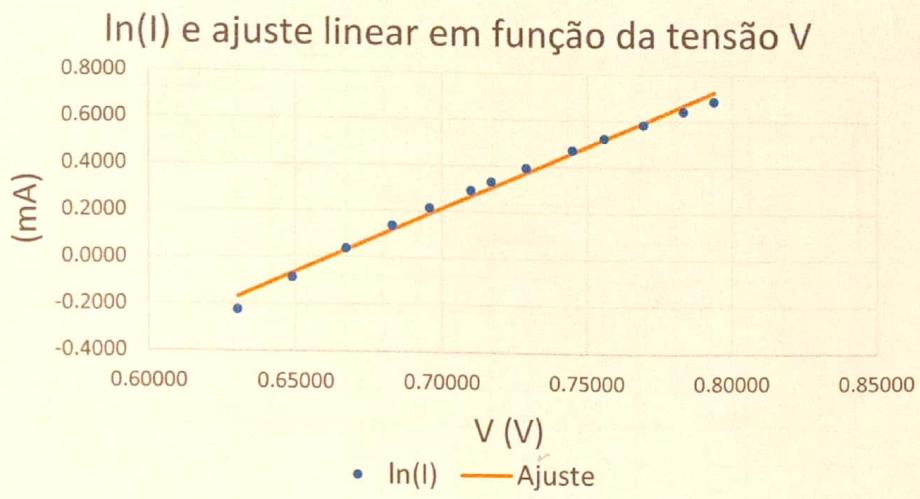


Gráfico 2.4.

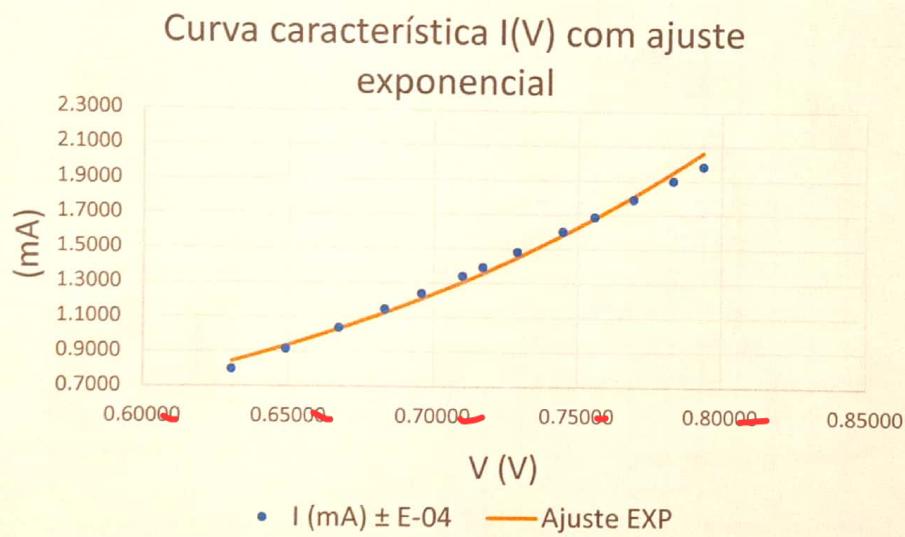


Gráfico 2.5.

Nas círculas
não
vale a
pena
escrever
toda
os
algarismos

As dimensões de Vlām mta
aqui?

③ Circuito (c) - Diodo Zener

V (V) $\pm E-05$	I (mA) $\pm E-04$	In(I)	Ajuste	Resíduos	Ajuste EXP
0.59117	0.0048	-5.3391	---	---	---
0.63350	0.0187	-3.9792	---	---	---
0.65652	0.0394	-3.2340	---	---	---
0.67458	0.0711	-2.6437	---	---	---
0.68702	0.1072	-2.2331	---	---	---
0.71390	0.2642	-1.3310	---	---	---
0.72383	0.3711	-0.9913	-0.9976	-0.0063	0.3688
0.73073	0.4700	-0.7550	-0.7563	-0.0013	0.4694
0.73570	0.5587	-0.5821	-0.5826	-0.0004	0.5585
0.74192	0.6929	-0.3669	-0.3651	0.0018	0.6941
0.74602	0.7992	-0.2241	-0.2217	0.0024	0.8011
0.75016	0.9217	-0.0815	-0.0770	0.0046	0.9259
0.75384	1.0495	0.0483	0.0517	0.0034	1.0531
0.75626	1.1434	0.1340	0.1363	0.0023	1.1460
0.75777	1.2049	0.1864	0.1891	0.0027	1.2082
0.76101	1.3481	0.2987	0.3024	0.0037	1.3531
0.76318	1.4578	0.3769	0.3783	0.0013	1.4598
0.76528	1.5717	0.4522	0.4517	-0.0005	1.5710
0.76721	1.6819	0.5199	0.5192	-0.0007	1.6806
0.76808	1.7381	0.5528	0.5496	-0.0032	1.7325
0.76916	1.8013	0.5885	0.5874	-0.0012	1.7992
0.76986	1.8464	0.6132	0.6118	-0.0014	1.8438
0.77040	1.8827	0.6327	0.6307	-0.0020	1.8789
0.77097	1.9206	0.6526	0.6506	-0.0020	1.9168
0.77173	1.9747	0.6804	0.6772	-0.0032	1.9684

R_{DE} ($K\Omega$)

123.1604

0.8139

0.3908

Tabla 3.1. Medidas de tensão e corrente díptica e R_{DE} determinados para

Algunos valores

Ajuste linear			
m	34.965	-26.306	b
s(m)	0.047	0.035	s(b)
0.999969865	0.0029071		
564108.0307	17		
4.767326861	0.0001437		

Tabla 3.2. Dados ajuste linear

	Resultado	Incerteza
I_0 (mA)	3.7620E-12	1.325E-13
η	1.12	0.03

Tabla 3.3. Determinar de I_0 , e η e suas respectivas incertezas

Curva característica $I(V)$

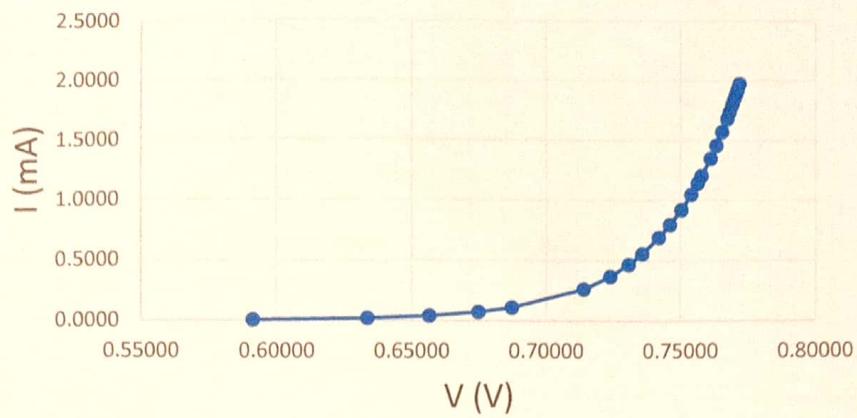


Gráfico 3.1.

$\ln(I)$ em função da tensão V

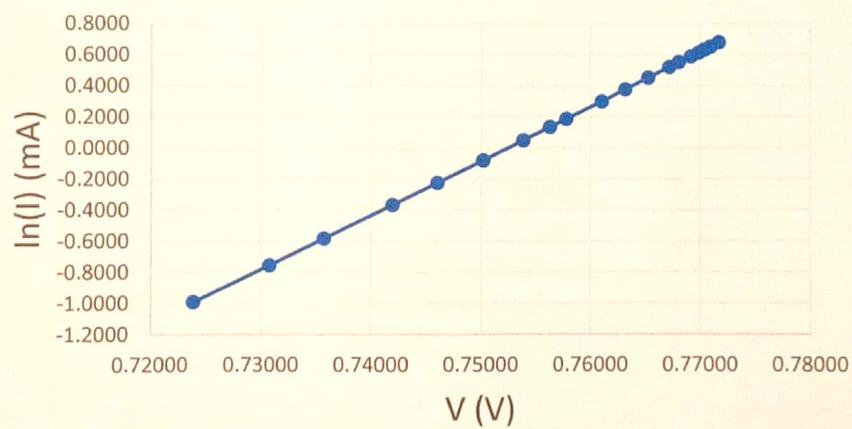


Gráfico 3.2.

Resíduos de $\ln(I)$ em função da tensão V

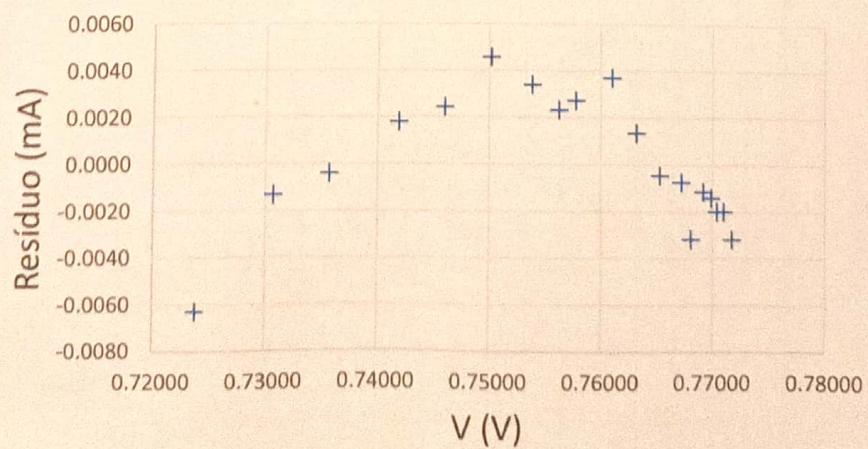


Gráfico 3.3

$\ln(I)$ e ajuste linear em função da tensão V

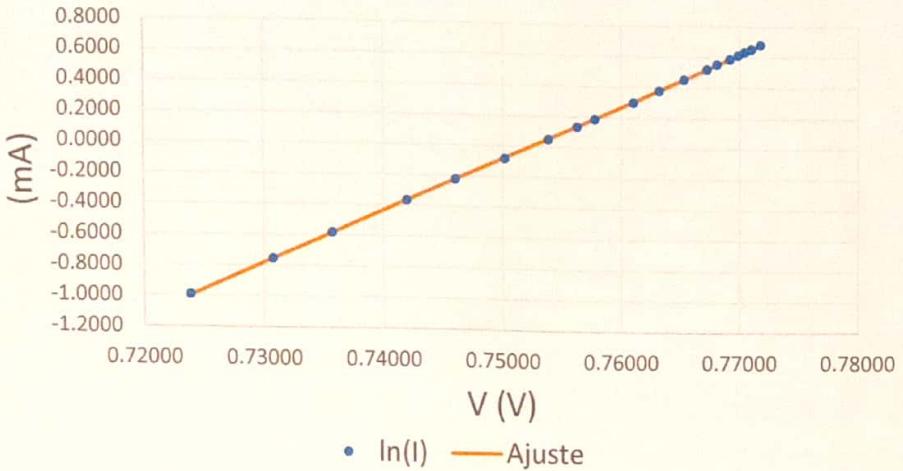


Gráfico 3.4. (Substitui 3.2)

Curva característica $I(V)$ com ajuste exponencial

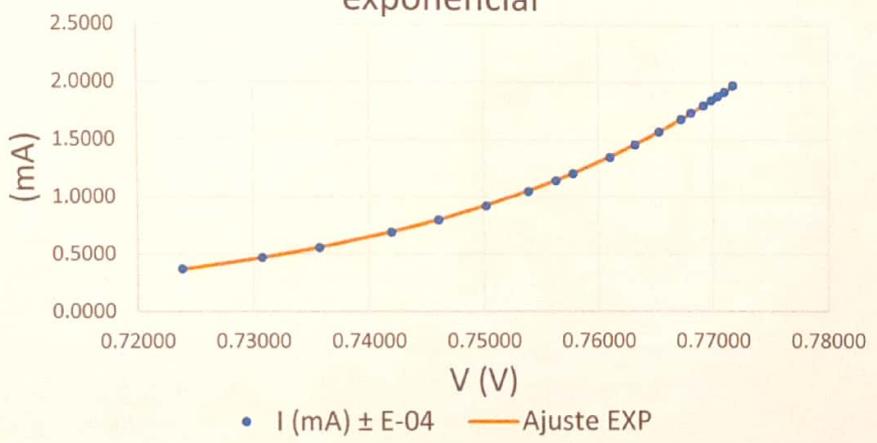


Gráfico 3.5.

(4) Circuitos (b) - Diodo Zener

V (V) ± E-05	I (mA) ± E-04	ln(I)	Ajuste	Resíduos	Ajuste EXP
0.65003	0.0289	-3.5439	---	---	---
0.67499	0.0592	-2.8268	---	---	---
0.70226	0.1191	-2.1278	---	---	---
0.72440	0.1944	-1.6378	---	---	---
0.73966	0.2602	-1.3463	---	---	---
0.76020	0.3659	-1.0054	---	---	---
0.76519	0.3939	-0.9317	---	---	---
0.77846	0.4730	-0.7487	---	---	---
0.79062	0.5500	-0.5978	---	---	---
0.80618	0.6550	-0.4231	---	---	---
0.81562	0.7219	-0.3259	---	---	---
0.82827	0.8136	-0.2063	---	---	---
0.85249	0.9970	-0.0030	---	---	---
0.86431	1.0896	0.0858	---	---	---
0.88009	1.2160	0.1956	---	---	---
0.89086	1.3037	0.2652	---	---	---
0.90038	1.3822	0.3237	0.3319	-0.0082	1.3936
0.90949	1.4579	0.3770	0.3785	-0.0015	1.4600
0.92020	1.5475	0.4366	0.4332	0.0034	1.5422
0.92948	1.6258	0.4860	0.4806	0.0054	1.6171
0.93851	1.7035	0.5327	0.5268	0.0059	1.6935
0.94788	1.7835	0.5786	0.5747	0.0039	1.7765
0.95504	1.8451	0.6125	0.6113	0.0013	1.8427
0.96400	1.9232	0.6540	0.6570	-0.0031	1.9291
0.96999	1.9749	0.6805	0.6877	-0.0071	1.9891

R_D (kΩ)

22.4924

1.0180

0.4912

Tabela 4.1. : Medidas de tensão e corrente elétrica e R_D

determinados para alguns valores

Ajuste linear		
m	5.1107	-4.2696 b
s(m)	0.0823	0.0772 s(b)
	0.998188016	0.005641962
	3856.169087	7
	0.122748544	0.000222822

Tabela 4.2. : Dados ajuste linear

	Resultado	Incerteza
I ₀ (mA)	1.3987E-02	1.079E-03
n	7.68	1.50

Tabela 4.3. : Determinações de I₀ e n e respectivas incertezas

Curva característica $I(V)$

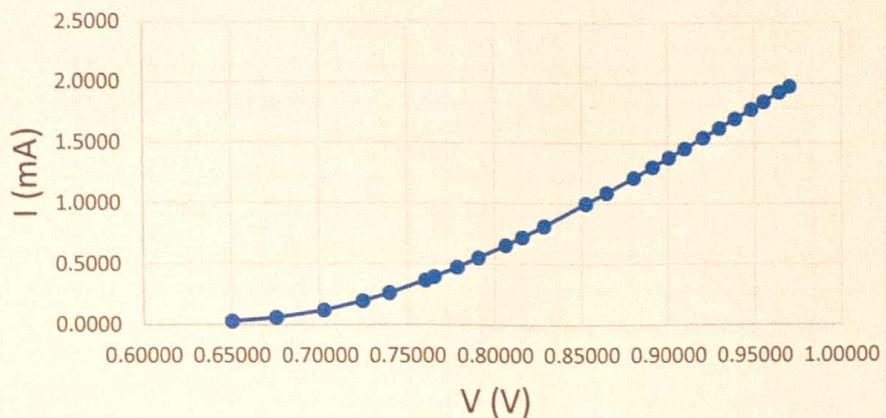


Gráfico 4.1.

$\ln(I)$ em função da tensão V

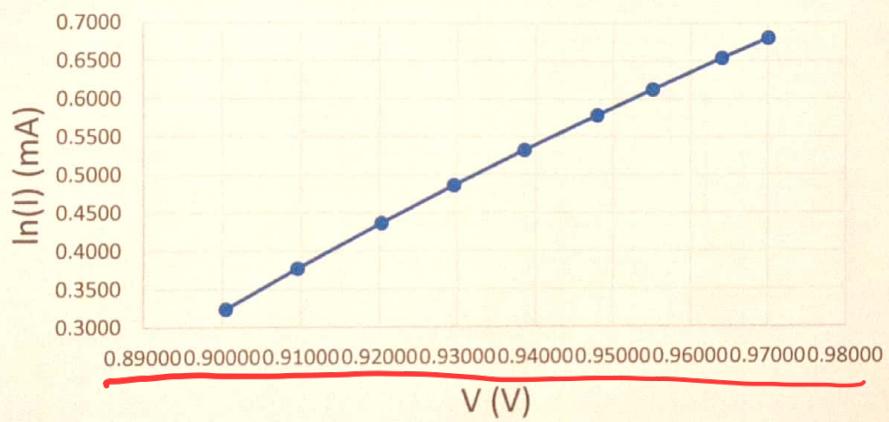


Gráfico 4.2.

legível
algumas
a mais

Resíduos de $\ln(I)$ em função da tensão V

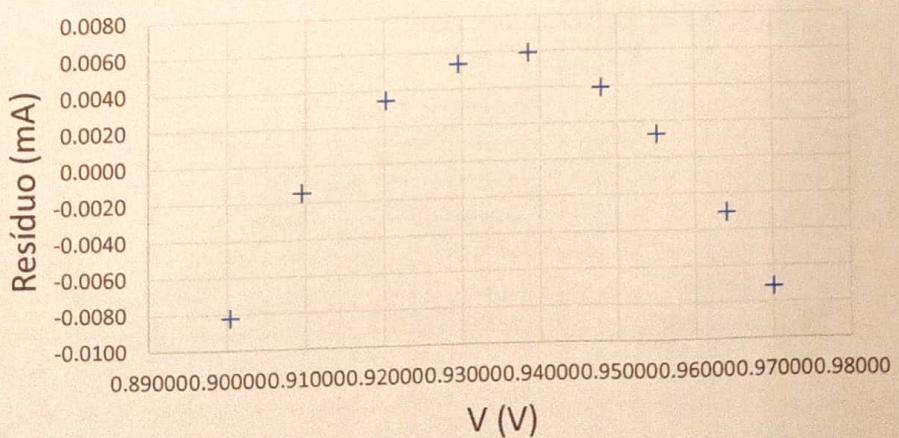


Gráfico 4.3.

$\ln(I)$ e ajuste linear em função da tensão V

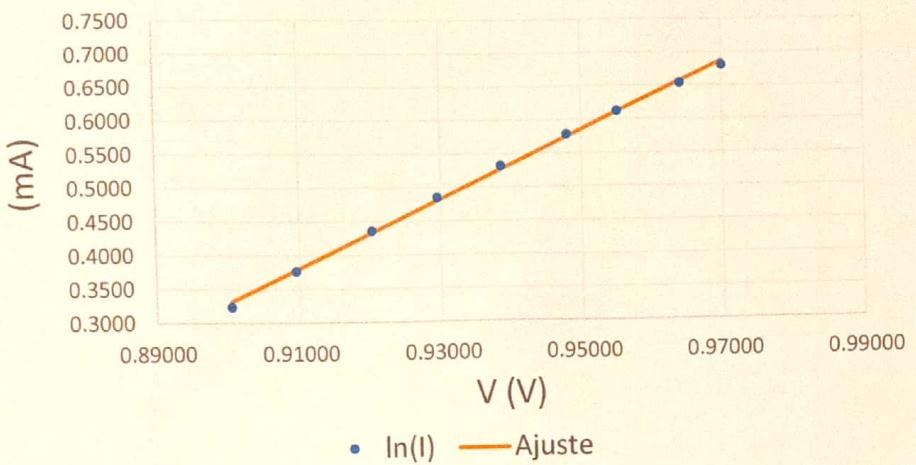


Gráfico 4.4.

Curva característica I(V) com ajuste exponencial

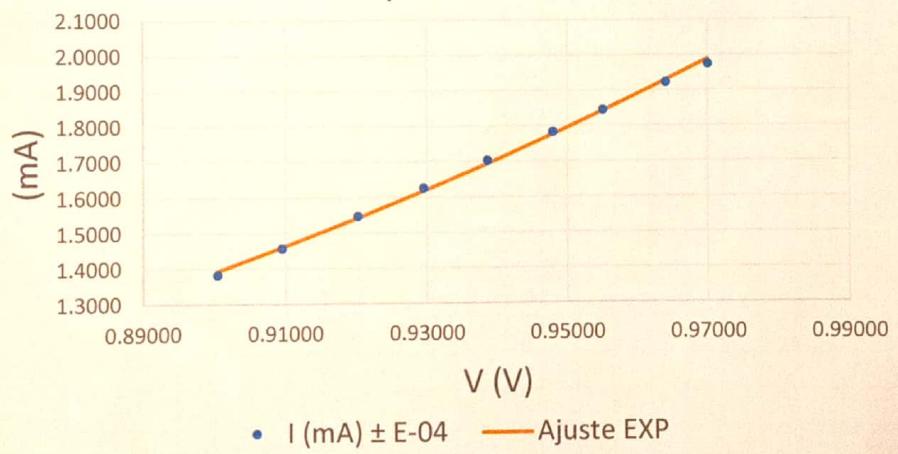


Gráfico 4.5.

Notas:

- O valor de T (temperatura) corresponde a 18°C , uma estimativa de temperatura do laboratório no momento de realização da experiência.
- De acordo com a fórmula (1) do procedimento, ~~$\ln(I_0)$~~ em (declin.) corresponde a $\frac{e}{mkT}$ e b corresponde a $\ln(I_0)$, pelo que I_0 é calculada por $\exp(b)$ e m por $\frac{e}{mkT}$. A incerteza de I_0 é dada

$$\text{por } \sqrt{\left(\frac{\partial I_0}{\partial b} \Delta(b)\right)^2 + \left(\frac{\partial I_0}{\partial m} \Delta(m)\right)^2}$$

Discussões

Círcuito (a) - Diodo retificador

- Observe o gráfico 1.1., a ~~é~~ ~~atendência linear~~ é aparente ~~vidente~~ a partir dos valores 0.54436 do gráfico 1.1., pelo que apenas esses valores são apresentados nos resultados gráficos. Além disso, ~~apenas esses resultados~~
- Observe o gráfico 1.1. e a Tabela 1.1. a curva característica $I(V)$ não apresenta ~~é~~ ~~tendência linear~~ a partir dos valores 0.54436 V e 0.6952 mA, pelo que apresentamos ~~os~~ ~~apresentados~~ resultados nos resultados gráficos e apenas esses são os mais adequados para realizar o ajuste linear. Além disso, a ~~s~~ apresentação de todos os resultados no gráfico 1.3 (números) resultaria numa tendência parabólica \rightarrow ~~uma~~ ^{Se} "uma".
- De acordo com as tabelas 1.1 e 1.3, I_0 tem ~~uma~~ ^D ~~adão~~ de grandeza ~~maior~~ do que a ordem de grandeza dos valores de ~~corrente~~ ~~corrente~~ do diodo medidos ~~no gráfico~~, pelo que é adequado ~~o procedimento~~ (1) de procedimento experimental seja válido, dado que é possível considerar que $I_0 + I \approx I_0$
- Temos que o valor de M se encontra ~~entre~~ entre 1 e 2 (fisicamente o diodo não constitui um gerador)
- Pelos dois ~~parâmetros~~ parâmetros ~~obtidos~~ obtidos acima, temos que a regressão linear realizada foi adequada

Círcuito (b) - Diodo retificador

- Observe o gráfico 2.1 e a tabela 2.1., a curva característica $I(V)$ não apresenta tendências lineares a partir dos valores 0.63027 V e 0.7982 mA, pelo que apenas esses são apresentados nos resultados gráficos e apenas estes são os mais adequados para realizar o ajuste linear. Ainda assim, o gráfico 2.2 tem uma ligera curvatura e o gráfico 2.3 (números) tem uma tendência parabólica.
- De acordo com as tabelas 2.1. e 2.3, I_0 tem ~~uma~~ ~~adão~~ de grandeza praticamente coincidente com as ordens de grandeza dos valores de corrente do diodo medidos, pelo que

a equação (1) do procedimento não é válida, sustentando assim o valor de m tomado
tradicionalmente anterior. Têm ~~que~~ - o que é negativo linear baseado na
equação (1) mas é o resultado adequado para analisar os dados experimentais.

Círcuito (a) - Dióodo Zener

- Observando o gráfico 3.1. e a Tabela 3.1., a curva característica IV) não apresenta
tendência linear a partir dos valores 0.72383 V e 0.3711 mA , pelo que
apenas esses são apresentados nos resultados. Gráficos com esses são os mais adequados
para realizar o ajuste linear. Além disso, a apresentação de todos os valores no
gráfico 3.3 (mínimos) mostra uma tendência parabólica.
- 3.1. 3.3.
- De acordo com as tabelas ~~3.1.~~ e ~~3.3.~~, I_0 tem um valor de grandeza muito
menor que os valores de grandeza dos valores de corrente de diódeo medida,
pelo que a equação (1) do procedimento experimental não é válida, dado que
é falso considerar que $I_0 + I_0 \sim I_0$.
- Temos que o valor de m se encontra entre 1 e 2 (formalmente o dióodo não
constituiu-se (Germânia), sendo um valor válido) **acurátil**
- Pelos dois parâmetros referidos acima, temos que a regressão linear feita ~~nao~~
é bastante adequada.

Círcuito (b) - Dióodo Zener

- Observando o gráfico 4.1. e a Tabela 4.1., a curva característica IV) não apresenta
tendência linear a partir dos valores 0.90038 V e 1.3822 mA , pelo que
apenas esses são apresentados nos resultados. Gráficos com esses são os mais adequados
para realizar o ajuste linear. Ainda assim, o gráfico 4.2 tem uma ligeira
curvatura e o gráfico ~~4.3.~~ (mínimos) tem uma tendência parabólica.
- De acordo com as tabelas 4.1. e 4.3., I_0 tem um valor de grandeza
praticamente ~~zero~~ coincidente com os valores de grandeza dos valores de

conforme os díodos considerados, pelo que a equação (1) do procedimento não é válida, resultando num valor da η também totalmente incorreto. Assim, tem-se que ~~a equação (1)~~ a regressão linear obtida na equação (1) não é a mais adequada para analisar os dados experimentais.

OK.

Análise geral

→ Em todos os circuitos e diodos, verifica-se que a resistência estática, $R_{DC} = \frac{V}{I}$

~~do~~ do diodo, diminui drasticamente com o aumento de tensão, o que pode ser explicado pelo efeito Zener. Esta observação justifica também a tendência curva / parabólica no ajuste linear $\ln(I)$ e nos ~~valores~~ resultados do ajuste (o diodo é um condutor mais óhmico).

→ Nos circuitos (a), comparativamente aos circuitos (b), para ambos os diodos, tanto os resultados como o ajuste linear $\ln(I)$ apresentam uma ~~maior~~ menor tendência parabólica, resultando em valores de I_0 e η muito mais adequados (aliás, o circuito (a) como diodo Zener resultou em valores mais certos). Assim, verifica-se que quando

$R_{DC} \ll R_V$ (~~valores de tensão e corrente~~) (tal como têm os valores de tensão e corrente elétrica mais elevados, que se utilizados para o ajuste linear), o circuito (a) é o mais adequado — o que se comete na medida de corrente é muito desproporcional. Para $R_{DC} \approx R_V$, ($R_{DC} \gg R_A$), o circuito (b) é o mais ~~mais~~ adequado — o que se comete na medida de tensão é muito desproporcional —; no entanto, os valores certos devem de R_{DC} ~~conformarem~~ aos valores de V e I iniciais, que não apresentam uma tendência linear e por isso não são utilizados na experiência. Assim, conclui-se que o circuito (a) é o mais adequado a este experimento.

→ Nós fomos concedidos valores de polarização imprecisos, pelo que, para o diodo Zener, não foi estabelecida a zona avalanche, tal que não foi possível determinar a resistência dinâmica, R_{AE} , do diodo, nem fomos concedidos preços. Como tal, nos fomos autorizados a fazer a resistência do diodo com base — em afora a resistência estática, R_{DC} .

(*) (diminui mais, ~~mais~~ drasticamente no circuito (a) do que no circuito (b))

Conclusão

- A experiência só bem mede a polarização de curva ($I(V)$), mas que não permite parametrizar a curva característica $I(V)$ dos diodos e eliminam as tendências parabólicas dos dados resultantes do feito. Sabe-se que o circuito (b) não é adequado para a parametrização da curva, mas ainda é útil para esta experiência.
- No foi realizada a experiência para uma polarização inversa (apenas para polarização direta), tal que não foi obtida a curva características do diodo Zener na sua totalidade. Além disso, não foi possível cumprir o segundo objetivo do procedimento, uma vez que não se calculou a resistividade dinâmica dos diodos.