

Problemas / Invenientes (-10)

Medição corrente (-5)

Inversa Comparação

legibilidade (-5)

illegível

80%

Objetivo

Medida da tensão e corrente em um mesmo ponto de encontro de dois resistores ou diodo para poder determinar a resistência

Considerações

No caso de a tensão produzida pelo gerador não for precisa, pode-se ou seja, se a corrente elétrica para a mesma tensão e após alteração da tensão superiormente e volta para o valor de tensão diferente, poderá ser necessário um segundo procedimento que será necessário. Para o qual será medida a resistência interna do gerador $V = R I$.

Não ultrapassar 5V de polaridade inversa porque danificar o diodo.

Eq. Formulas utilizadas

$$P = UI$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (=) \quad U = RI$$

$$\mathcal{E} = U + R_s I$$

Atividade experimental

• Para cada diodo representar graficamente a curva característica da corrente elétrica em função de V_D

• Calcular a resistência estática do diodo em elementos representativos do gráfico

• Linearizar a função $\ln(I_D + I_0) = \ln(I_0) + \frac{eV}{mkT}$ onde

$$I_D + I_0 \sim I_D, \text{ pois } I_D \gg I_0$$

• Representar graficamente $\ln(I_D)$ em função de V_D

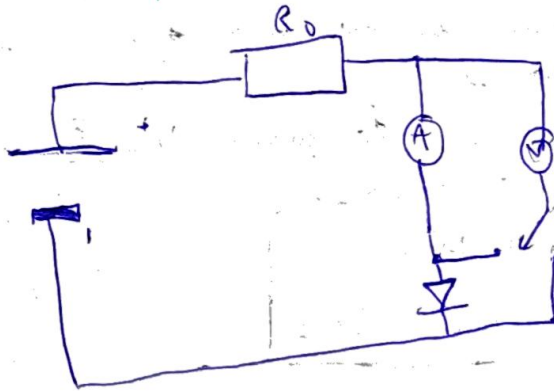
• Fazer regressão linear do passo anterior

Propriedades ~~teóricas~~ de um diodo

O diodo retifica a corrente elétrica, isto é, ~~mas~~ no sentido direto (polarização direta) apresenta baixa resistência à condução elétrica e elevada no sentido inverso (polarização inversa)

Parte p \rightarrow ânodo Parte n \rightarrow cátodo
 \downarrow
conexões

Sentido direto \rightarrow do ânodo para o cátodo (sentido real da
montagem experimental)



Esta montagem experimental permite medir, quer a ^{diferença de potencial} ~~tensão~~ quer a corrente elétrica sentida mais eficiente

✓

Esquema de cores da resistência

Castanho, verde, laranja, dourado

R de proteção $\rightarrow 14,836 \text{ k}\Omega$

↓

Curva característica de um diodo

$$I = I_0 \left(e^{\frac{eV}{n k T}} - 1 \right)$$

$$I = I_0 \left(\frac{eV}{n k T} - 1 \right)$$

$I \rightarrow$ corrente que atravessa o diodo

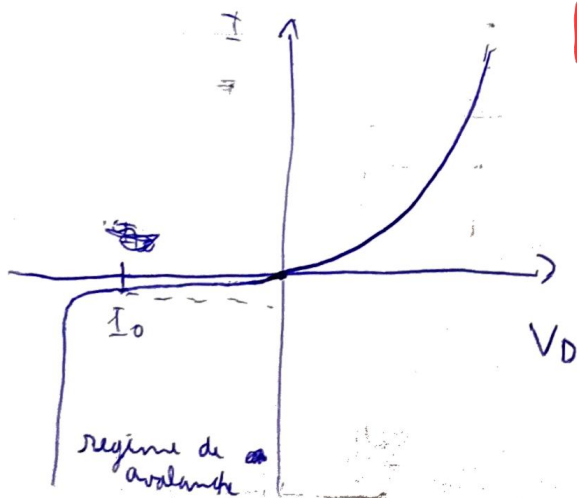
$R \rightarrow$ constante de Boltzmann $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

$n \rightarrow 1 \text{ ou } 2$

$I \rightarrow$ corrente de saturação

$V \rightarrow$ diferença de potencial

Devido às características de um diodo em que a resistência no sentido direto é ~~em~~ várias ordens de grandeza inferior à resistência no sentido inverso. Note-se que os diodos não são condutores ôhmicos, ou seja, a resistência não se mantém constante com a variação da corrente elétrica ou da diferença de potencial. É de notar que o diodo retificador não funciona em regime de avalanche, uma vez que isso destruiria as propriedades deste diodo por criação de pares n-p. O regime de avalanche é observável no sentido inverso, a uma dada diferença de potencial, o diodo tem uma grande ~~diminuição~~ ^{diminuição} da sua resistência, ^{rapidamente} ou seja, uma vez que a resistência é muito baixa dá-se um grande aumento da corrente elétrica para valores muito próximos e crescentes em módulo da diferença de potencial.

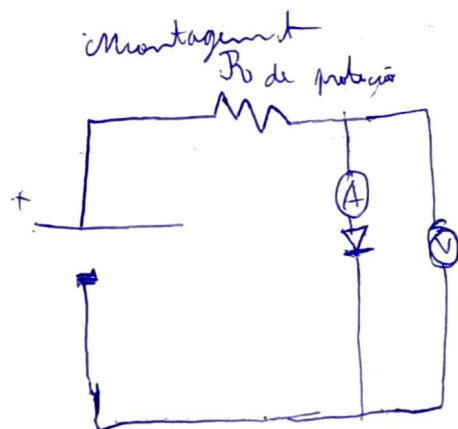
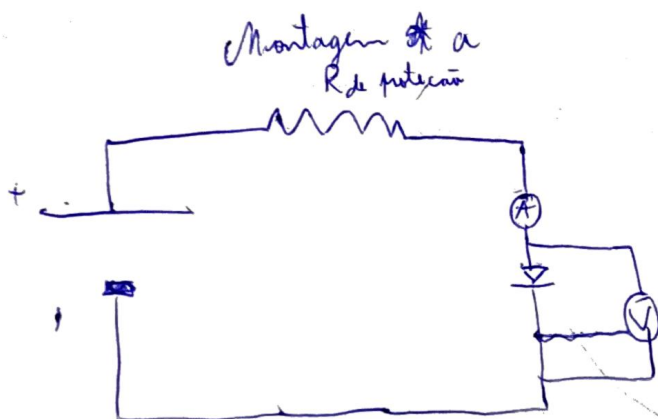


Boatime
esqueme
e algumas
notas +
relevante p/
trabalho

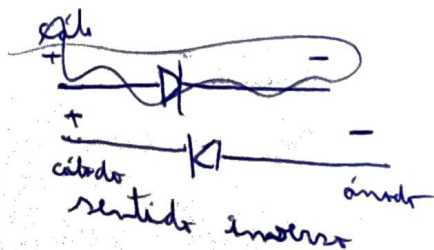
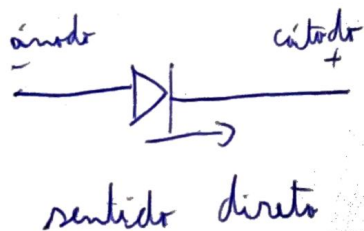
Montagem utilizada (Derma si do texto para o book)

Pelas características do diodo sabemos empiricamente que a resistência no sentido direto do diodo é várias ordens de grandeza inferior à resistência no sentido inverso do diodo, assim foi usada a montagem de que nos foi apresentada para o sentido inverso dos diodos, uma vez que apesar da resistência do voltímetro ser muito alta, a resistência do diodo no sentido inverso terá uma resistência próxima desta valor, desta forma, se a montagem fosse a a, a corrente elétrica seria dividida em parcelas bastante próximas da corrente elétrica ^(na mesma ordem de grandeza pelo que se formariam erros sistemáticos), visto que a corrente elétrica medida seria diferente da corrente elétrica que efetivamente passava pelo diodo.

No sentido direto, para ambos os diodos foi ~~usada~~ usada a montagem a, uma vez que a resistência do diodo é muito inferior no sentido direto à resistência do voltímetro, tornando ~~quase~~ virtualmente a passagem de corrente elétrica no voltímetro 0A, não provocando erros sistemáticos.



Nota:



Resistência dinâmica e resistência estática

Resistência estática (RDC)

Esta deverá ser calculada num ponto de condução franco e utilizando a fórmula: $R_{DC} = \frac{U}{I}$, no gráfico de $U = IR$ em que R é o declive do gráfico. Para minimizar os erros experimentais serão usados 3 pontos com o qual será feita a média.

Resistência dinâmica (RAE)

Esta poderá ser calculada $R_{AE} = \frac{\partial U}{\partial I}$, ou experimentalmente, através do declive da projeção linear da reta.

Linearização da Lei de Shockley

$I = I_0 (e^{\frac{eV}{kT}} - 1)$ poderá ser linearizada por:

$$\ln(I + I_0) = \ln(I_0) + \frac{eV}{kT} \quad \text{E' de notar que não poderá ser usada esta linearização para diferenças de potencial baixas longe da zona de avalanche}$$

$$\Leftrightarrow \underbrace{\ln(I + I_0)}_{\text{ordenada y}} = \underbrace{\ln(I_0)}_{\text{ordenada na origem}} + \underbrace{\frac{e}{kT}}_{\text{declive}} \underbrace{V}_{\text{abscissa (x)}}$$

$$K = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Podemos calcular I_0 através de:

$$b = \ln(I_0) \Leftrightarrow I_0 = e^b$$

Podemos também calcular η ($\eta \in [1, 2]$) através de:

$$m = \frac{e}{kT} \Leftrightarrow m\eta = \frac{e}{kT} \Leftrightarrow \eta = \frac{e}{m kT}$$

Uma vez que não foi medido, T terá de ser estimado, estimamos a 19°C o que equivale a 292,15 K

Calcula ~~dos~~ de I_0 , η , resistência estática e resistência dinâmica

~~Diódo retificador~~ ~~potência~~ ~~diódo~~ ~~potência~~ ~~diódo~~

$y = 22,48x - 19,6$ pelo gráfico e cálculos apresentados no

final

$$\ln(I_0) = 22,48V + \ln(I_0)^{-19,6}$$

$$I_0 = \cancel{e^{19,6}} e^{-19,6} = 3,07 \times 10^{-9} \text{ A}$$

Confere com o esperado uma vez que deverá tender por 0

$$\eta = \frac{1,6 \times 10^{-19}}{22,48 \times 1,381 \times 10^{-23} \times 292,15} = 1,76 \in [1, 2]$$

$$R_{DQ} = \frac{0,56}{56,13 \Omega} = 0,0099 \Omega$$

V	I
0,56	0,000896
0,562	$0,428 \times 10^{-3}$
0,564	$2,467 \times 10^{-3}$
0,562	$0,419 \times 10^{-3}$

$$R_{AQ} = 59,92 \Omega \text{ Usados 12 pontos e feita a projeção linear}$$

Diodo refrigerado ~~em~~ polarização inversa

$$\ln(I) = 35,0274 \text{ V} - 37,0384 = \ln(I_0)$$

$$I_0 = e^{-37,0384} = 3,31 \times 10^{-14} \text{ A}$$

$$\eta = \frac{1,6 \times 10^{-19}}{35,0274 \times 1,381 \times 10^{-23} \times 292,15} = 39,657 \times \frac{1}{m} = \frac{39,657}{35,0274} = 1,13 \in [1, 2]$$

$$\eta = 1,13 \in [1, 2]$$

Não será feita a resistência ρ estática nem dinâmica porque seria obtido um valor de η que tende para infinito, uma vez que não funciona em regime de avalanche; η também não pode ser calculado.

Diode ~~sem~~ polarização direta

$$\ln(I) = 35,0274 \text{ V} - 37,0$$

$$I_0 = e^{-37,0384} = 3,31 \times 10^{-14}$$

$$\eta = 39,657 \times \frac{1}{35,0274} = 1,13 \in [1, 2]$$

$$R_{DQ} = \frac{0,0099}{8,1974 \times 10^{-4}} \Omega$$

$$R_{AQ} = 40,96 \times 10^{-4} \Omega$$

Diode ~~sem~~ polarização inversa

Diode ~~sem~~ polarização inversa

Nem momento inicial, nota-se uma resistência estática antes do ponto de avalanche de $1,14 \times 10^{-6} \Omega$ e com 4 pontos num momento mais final, verifica-se uma resistência estática de $3,16 \times 10^{-4}$ não foi calculada a resistência dinâmica devido à grande alteração de valores.

Conclusões

Nota-se uma tendência parabólica dos resíduos que não dá o reflexo que no diodo gerar em ~~potência~~ polarização direta, mostrando que ~~se~~ existe uma variável que não foi estudada ou que a linearização não foi bem executada. Sendo mais natural no diodo gerar a incerteza do amperímetro nas tabelas é alterada, uma vez que a mesma foi alterada, na propagação de erros seria mais a maior incerteza.

Propagação de incerteza

• Diodo retificador polaridade direta

$$I_0 = 10^{-10} A$$

$$\sigma^2(I_0) = \left(\frac{\partial I_0}{\partial k} \right)^2 \sigma^2(k) =$$

$$\Rightarrow \sigma(I_0) = \sigma^k(k) = 3,07 \times 10^{-9} \times 0,055 = 3,13 \times 10^{-10}$$

$$\sigma^2(\eta) = \left(\frac{\partial \eta}{\partial m} \right)^2 \sigma^2(m) =$$

$$\Rightarrow \sigma(\eta) = \frac{1}{kTm^2} \sigma(m) = 8 \times 10^{-3}$$

$$I_0 = (3,1 \times 10^{-10} \pm 2 \times 10^{-10}) A$$

$$\eta = (1,160 \pm 0,008)$$

$$\sigma(RD\%) = \sqrt{\left(\frac{1}{I} \right)^2 \sigma^2(V) + \left(-\frac{V}{I^2} \right)^2 \sigma^2(I)} =$$

$$= 1,18 \%$$

$$RD\% = 56,13 \pm 1,18 \%$$

• Diodo gerador polaridade direta

$$\sigma^2(I_0) = \sigma^k(k) = 3,31 \times 10^{-14} \times 0,014 = 5,56 \times 10^{-16} A$$

$$\sigma^2(\eta) = \frac{1}{kTm^2} \sigma^2(m) = 0,034074 \times 0,02293 = 1,8 \times 10^{-3}$$

$$I_0 = (3,31 \times 10^{-14} \pm 6 \times 10^{-16}) A$$

$$\eta = (1,130 \pm 0,001)$$

$$\sigma(RD\%) = \sqrt{\left(\frac{1}{I} \right)^2 \sigma^2(V) + \left(-\frac{V}{I^2} \right)^2 \sigma^2(I)} =$$

$$= 1,62 \%$$

$$RD\% = (4,12 \times 10^{-4} \pm 1,62 \%)$$

Nota-se que a incerteza não está bem calculada, mas não foi possível descrever o erro.

(game esconde?)

Tabelas tem de estar no fim
Gráficos não!

não pode estar bem. Inc. relativa de 0,7%
Limit de 5%

$$\text{Exemplo } U = 0,56 V$$

$$I = 0,00084 A$$

Exemplo

$$U = 0,73974 V$$

$$I = 0,000592 A$$

U/V	I/mA	I/A	Ln(I)	Ln(I _{ajuste})	Resíduos (Ln(I))	Incerteza(U/V)	Incerteza(I/A)
0,381	0,004	0,000004	-12,43	-11,04	1,3901	0,001	0,00001
0,418	0,024	0,000024	-10,64	-10,21	0,4303	0,001	0,00001
0,441	0,049	0,000049	-9,92	-9,69	0,2336	0,001	0,00001
0,459	0,082	0,000082	-9,41	-9,29	0,1234	0,001	0,00001
0,464	0,097	0,000097	-9,24	-9,17	0,0679	0,001	0,00001
0,474	0,124	0,000124	-9,00	-8,95	0,0471	0,001	0,00001
0,486	0,168	0,000168	-8,69	-8,68	0,0132	0,001	0,00001
0,494	0,204	0,000204	-8,50	-8,50	-0,0010	0,001	0,00001
0,507	0,278	0,000278	-8,19	-8,21	-0,0183	0,001	0,00001
0,516	0,345	0,000345	-7,97	-8,00	-0,0318	0,001	0,00001
0,523	0,396	0,000396	-7,83	-7,85	-0,0123	0,001	0,00001
0,531	0,478	0,000478	-7,65	-7,67	-0,0206	0,001	0,00001
0,533	0,501	0,000501	-7,60	-7,62	-0,0227	0,001	0,00001
0,539	0,572	0,000572	-7,47	-7,49	-0,0203	0,001	0,00001
0,542	0,607	0,000607	-7,41	-7,42	-0,0122	0,001	0,00001
0,546	0,667	0,000667	-7,31	-7,33	-0,0166	0,001	0,00001
0,552	0,752	0,000752	-7,19	-7,19	-0,0016	0,001	0,00001
0,557	0,836	0,000836	-7,09	-7,08	0,0049	0,001	0,00001
0,559	0,863	0,000863	-7,06	-7,04	0,0181	0,001	0,00001
0,56	0,896	0,000896	-7,02	-7,01	0,0031	0,001	0,00001
0,561	0,911	0,000911	-7,00	-6,99	0,0089	0,001	0,00001
0,562	0,928	0,000928	-6,98	-6,97	0,0129	0,001	0,00001
0,563	0,951	0,000951	-6,96	-6,95	0,0109	0,001	0,00001
0,564	0,967	0,000967	-6,94	-6,92	0,0167	0,001	0,00001
0,5636	0,951	0,000951	-6,96	-6,93	0,0244	0,00001	0,00001
0,56151	0,91	0,00091	-7,00	-6,98	0,0215	0,00001	0,00001
0,55981	0,878	0,000878	-7,04	-7,02	0,0191	0,00001	0,00001
0,55764	0,839	0,000839	-7,08	-7,07	0,0157	0,00001	0,00001
0,55548	0,802	0,000802	-7,13	-7,12	0,0123	0,00001	0,00001
0,55421	0,781	0,000781	-7,15	-7,14	0,0102	0,00001	0,00001
0,55285	0,759	0,000759	-7,18	-7,18	0,0082	0,00001	0,00001
0,55116	0,732	0,000732	-7,22	-7,21	0,0065	0,00001	0,00001
0,54927	0,703	0,000703	-7,26	-7,26	0,0044	0,00001	0,00001
0,54766	0,679	0,000679	-7,29	-7,29	0,0029	0,00001	0,00001
0,54705	0,671	0,000671	-7,31	-7,31	0,0011	0,00001	0,00001
0,54482	0,64	0,00064	-7,35	-7,36	-0,0018	0,00001	0,00001
0,54363	0,623	0,000623	-7,38	-7,38	-0,0016	0,00001	0,00001
0,54321	0,606	0,000606	-7,41	-7,39	0,0166	0,00001	0,00001
0,54045	0,582	0,000582	-7,45	-7,45	-0,0050	0,00001	0,00001
0,53916	0,566	0,000566	-7,48	-7,48	-0,0062	0,00001	0,00001
0,53815	0,554	0,000554	-7,50	-7,51	-0,0074	0,00001	0,00001
0,53572	0,526	0,000526	-7,55	-7,56	-0,0102	0,00001	0,00001
0,53323	0,498	0,000498	-7,60	-7,62	-0,0115	0,00001	0,00001
0,53126	0,477	0,000477	-7,65	-7,66	-0,0127	0,00001	0,00001
0,52837	0,448	0,000448	-7,71	-7,73	-0,0150	0,00001	0,00001
0,5255	0,42	0,00042	-7,78	-7,79	-0,0149	0,00001	0,00001
0,52352	0,403	0,000403	-7,82	-7,83	-0,0181	0,00001	0,00001
0,52045	0,376	0,000376	-7,89	-7,90	-0,0178	0,00001	0,00001
0,51704	0,349	0,000349	-7,96	-7,98	-0,0200	0,00001	0,00001
0,51296	0,317	0,000317	-8,06	-8,07	-0,0155	0,00001	0,00001
0,50996	0,296	0,000296	-8,13	-8,14	-0,0144	0,00001	0,00001
0,50494	0,264	0,000264	-8,24	-8,25	-0,0129	0,00001	0,00001
0,49808	0,225	0,000225	-8,40	-8,41	-0,0073	0,00001	0,00001
0,49489	0,208	0,000208	-8,48	-8,48	-0,0004	0,00001	0,00001
0,48985	0,185	0,000185	-8,60	-8,59	0,0034	0,00001	0,00001
0,44252	0,052	0,000052	-9,86	-9,66	0,2084	0,00001	0,00001

Figura 1 – Tabela com os dados relativos ao díodo retificador (corrente direta).

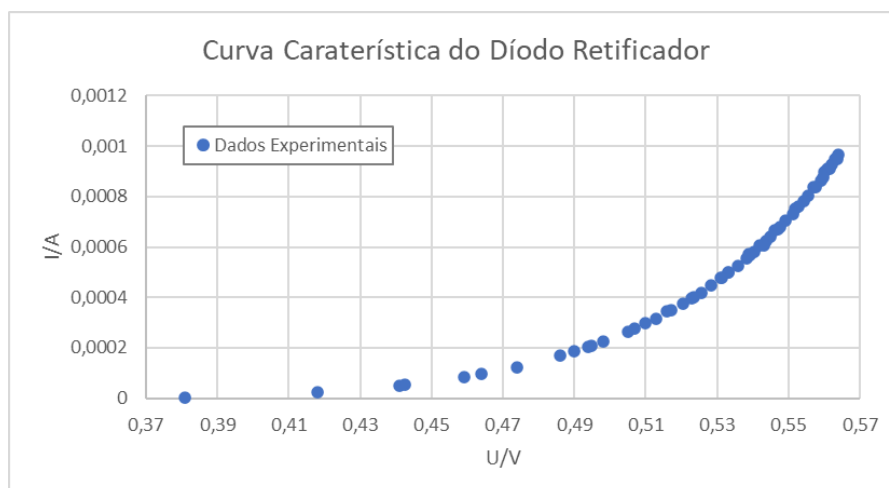
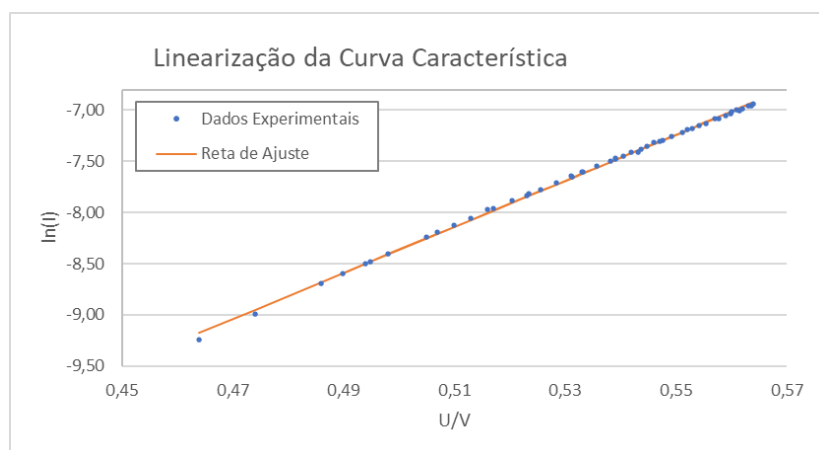


Figura 2 – Curva Característica do diodo retificador (corrente direta).



m	22,5	-19,6	b
s_m	0,1	0,05	s_b
r²	0,99899	0,018	s_y

Figura 3 – Linearização e ajuste da curva característica do diodo Retificador ($\ln(I)$) e os seus parâmetros de linearização.

comentário . Que lhe mostre o gráfico de resíduos?
 mais escolha de zona de linearização

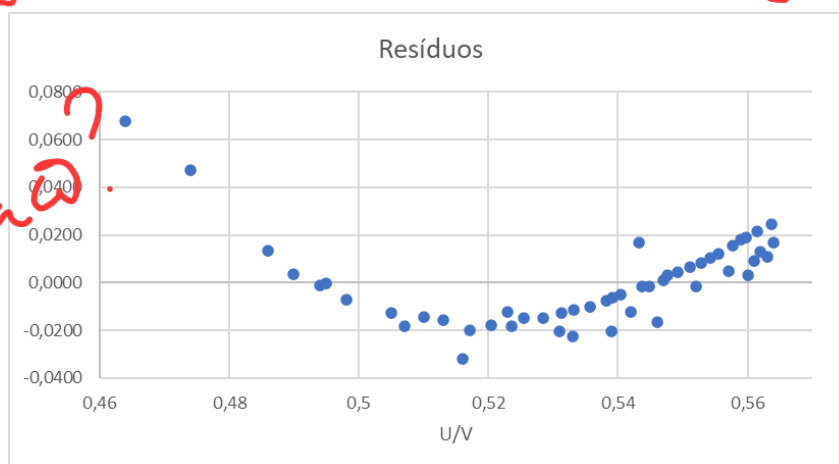


Figura 4 – Gráfico com os resíduos resultantes da linearização.

escalas de media

U/V	I/mA	I/A	Incerteza(U/V)	Incerteza(I/A)
0,62278	0,008	0,00008	0,0003	0,00001
1,0444	0,008	0,00008	0,0001	0,00001
1,5347	0,008	0,00008	0,0001	0,00001
2,0633	0,008	0,00008	0,0001	0,00001
2,7237	0,008	0,00008	0,0001	0,00001
3,3362	0,008	0,00008	0,0001	0,00001
3,6829	0,008	0,00008	0,0001	0,00001
4,4638	0,008	0,00008	0,0001	0,00001
5,042	0,008	0,00008	0,0001	0,00001
5,805	0,008	0,00008	0,0001	0,00001

Figura 5 – Tabela com os valores relativos à corrente de saturação do díodo retificador (corrente inversa).

escala de Amperimetro?

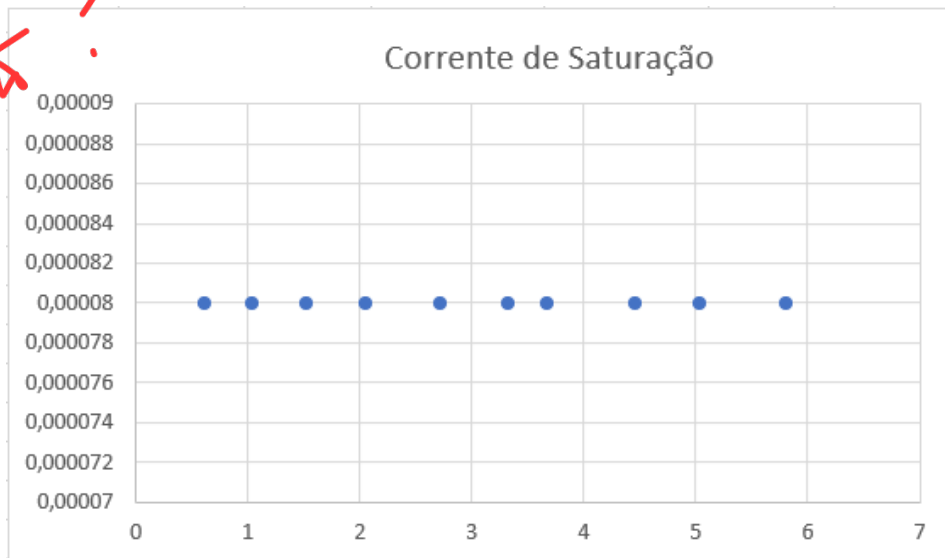


Figura 6 – Gráfico com a corrente de saturação do díodo retificador.

Comentário

U/V	I/mA	I/A	Ln(I)	Ln(I _{ajuste})	Resíduos (Ln(I))	Incerteza(U/V)	Incerteza(I/A)
0,39989	0,008	0,00008	-9,43	-17,0	-7,5979	0,00001	0,00001
0,6236	0,007	0,00007	-9,57	-9,20	0,3717	0,00001	0,00001
0,65725	0,032	0,00032	-8,05	-8,02	0,0305	0,00001	0,00001
0,6848	0,086	0,00086	-7,06	-7,05	0,0069	0,00001	0,00001
0,69773	0,136	0,00136	-6,60	-6,60	0,0015	0,00001	0,00001
0,70706	0,189	0,00189	-6,27	-6,27	-0,0008	0,00001	0,00001
0,71203	0,225	0,00225	-6,10	-6,10	-0,0011	0,00001	0,00001
0,71613	0,26	0,0026	-5,95	-5,95	-0,0020	0,00001	0,00001
0,7199	0,296	0,00296	-5,82	-5,82	0,0003	0,00001	0,00001
0,72253	0,324	0,00324	-5,73	-5,73	0,0021	0,00001	0,00001
0,72604	0,366	0,00366	-5,61	-5,61	0,0031	0,00001	0,00001
0,72769	0,388	0,00388	-5,55	-5,55	0,0026	0,00001	0,00001
0,73136	0,441	0,00441	-5,42	-5,42	0,0031	0,00001	0,00001
0,73328	0,472	0,00472	-5,36	-5,35	0,0024	0,00001	0,00001
0,73481	0,499	0,00499	-5,30	-5,30	0,0004	0,00001	0,00001
0,73633	0,526	0,00526	-5,25	-5,25	0,0009	0,00001	0,00001
0,73816	0,56	0,0056	-5,18	-5,18	0,0024	0,00001	0,00001
0,73974	0,592	0,00592	-5,13	-5,13	0,0021	0,00001	0,00001
0,74155	0,632	0,00632	-5,06	-5,06	0,0002	0,00001	0,00001
0,74285	0,661	0,00661	-5,02	-5,02	0,0008	0,00001	0,00001
0,74447	0,7	0,007	-4,96	-4,96	0,0002	0,00001	0,00001
0,7457	0,731	0,00731	-4,92	-4,92	0,0000	0,00001	0,00001
0,74734	0,774	0,00774	-4,86	-4,86	0,0003	0,00001	0,00001
0,74864	0,811	0,00811	-4,81	-4,82	-0,0009	0,00001	0,00001
0,74952	0,836	0,00836	-4,78	-4,78	-0,0004	0,00001	0,00001
0,75071	0,872	0,00872	-4,74	-4,74	-0,0009	0,00001	0,00001
0,75236	0,925	0,00925	-4,68	-4,69	-0,0021	0,00001	0,00001
0,75332	0,957	0,00957	-4,65	-4,65	-0,0025	0,00001	0,00001
0,7534	0,96	0,0096	-4,65	-4,65	-0,0028	0,00001	0,00001
0,74256	0,656	0,00656	-5,03	-5,03	-0,0017	0,00001	0,00001
0,73954	0,589	0,00589	-5,13	-5,13	0,0002	0,00001	0,00001
0,73782	0,555	0,00555	-5,19	-5,19	-0,0006	0,00001	0,00001
0,72974	0,418	0,00418	-5,48	-5,48	-0,0001	0,00001	0,00001
0,72309	0,331	0,00331	-5,71	-5,71	0,0003	0,00001	0,00001
0,71373	0,239	0,00239	-6,04	-6,04	-0,0019	0,00001	0,00001
0,70132	0,155	0,00155	-6,47	-6,47	-0,0035	0,00001	0,00001

Figura 7 – Tabela com os dados experimentais relativos ao diodo Zener (corrente direta).

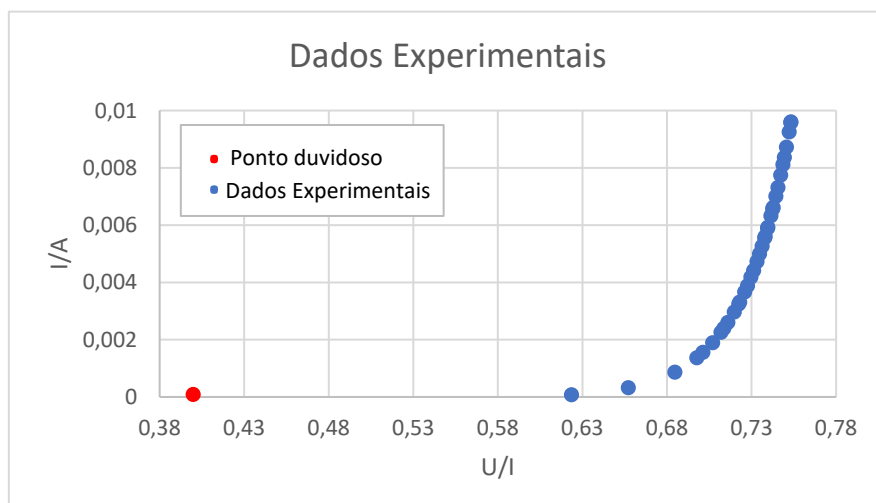


Figura 8 – Gráfico com os dados experimentais da curva caraterística do díodo Zener (corrente direta).

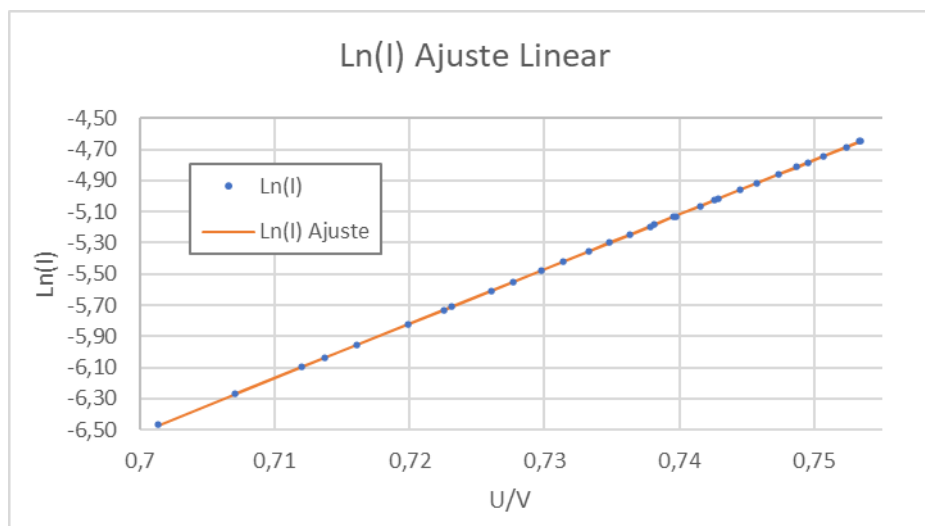


Figura 9 – Gráfico com a linearização dos dados experimentais do díodo Zener ($\ln(I)$) e o seu ajuste e os seus parâmetros de linearização (corrente direta).

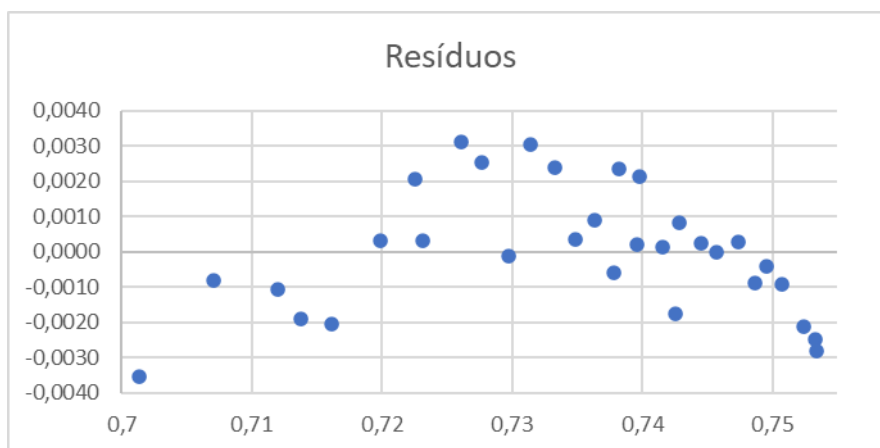


Figura 10 – Gráfico com os resíduos resultantes da linearização.

U/V	I/mA	I/A	Incerteza(U/V)	Incerteza(I/A)
0,954	0	0	0,0001	0,000001
2,5965	0,0003	0,000003	0,0001	0,000001
4,113	0,0004	0,000004	0,0001	0,000001
5,661	0,0006	0,000006	0,0001	0,000001
7,0594	0,0007	0,000007	0,0001	0,000001
8,626	0,0007	0,000007	0,0001	0,000001
9,063	0,0009	0,000009	0,0001	0,000001
9,6717	0,001	0,00001	0,0001	0,000001
9,8089	0,0014	0,000014	0,0001	0,000001
9,8126	0,0014	0,000014	0,0001	0,000001
9,99668	0,0071	0,000071	0,0001	0,000001
10,008	0,0224	0,000224	0,001	0,000001
10,017	0,0643	0,000643	0,001	0,000001
10,017	0,0886	0,000886	0,001	0,000001
10,017	0,1018	0,001018	0,001	0,000001
10,016	0,1247	0,001247	0,001	0,000001
10,016	0,1325	0,001325	0,001	0,000001
10,016	0,1454	0,001454	0,001	0,000001
10,017	0,1892	0,001892	0,001	0,000001
10,017	0,2188	0,002188	0,001	0,000001
10,018	0,2425	0,002425	0,001	0,000001
10,018	0,2704	0,002704	0,001	0,000001
10,019	0,2894	0,002894	0,001	0,000001
10,019	0,3108	0,003108	0,001	0,000001
10,02	0,3268	0,003268	0,001	0,000001
10,02	0,3393	0,003393	0,001	0,000001

Figura 11 – Tabela com os dados experimentais obtidos do diodo Zener (corrente inversa). A cinzento escuro os dados referentes à zona de saturação. A cinzento claro, os valores da zona de avalanche.

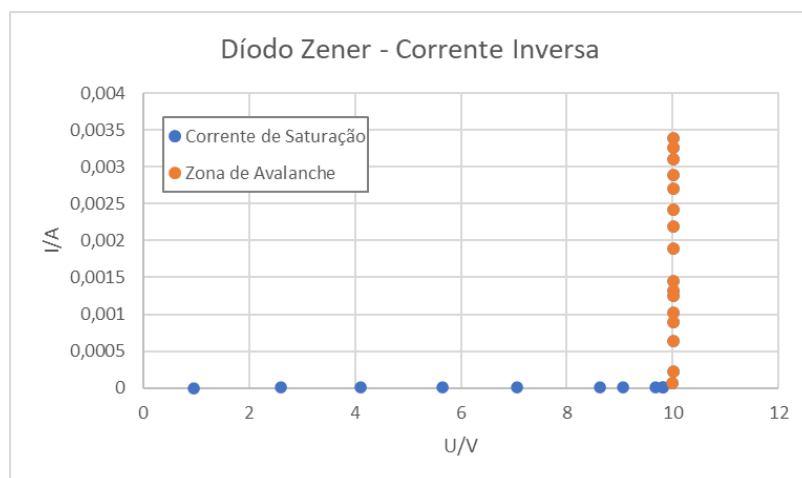


Figura 12 – Gráfico com os dados representados da tabela da figura ??.