

# ATIVIDADE 3B: TRAÇADO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE DIÓDOS

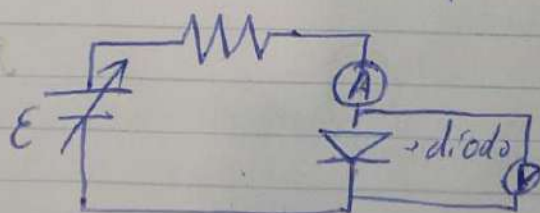
- Objetivos:
- Traçar e polarizar a curva (reta linear) característica de diodos retificados e zener;
  - Avaliar as resistências internas aparentes nas várias gamas de tensão, em diodos retificados e zener.
  - O que é polarização? *ainda é uma dúvida?*

- Materiais:
- 1 multímetro digital com resolução de 4-5 dígitos, a configurar como amperímetro na gama  $\mu A - mA$ ;
  - 1 multímetro digital com resolução de 4-5 dígitos, a configurar como volímetro na gama  $0,1 mV - 15V$ ;
  - Fonte de tensão variável  $0-15V$ ;
  - Resistência de proteção do circuito,  $R_0 = 15 k\Omega$ ;
  - Conjunto de vários diodos montados em placas com terminais;
  - Comutador;
  - Fios elétricos para ligação do circuito.

## Esquema

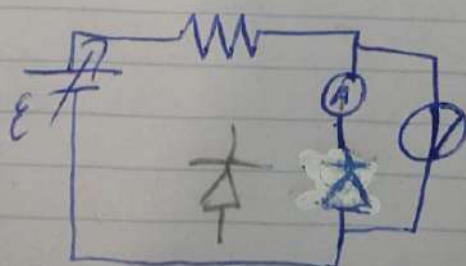
Esquema experimental: Escala:  $1V$ ;  $1 mA$

Circuito **a**:



Adequado para  $R_{diodo} \ll R_{volímetro}$

Circuito **b**:



Adequado para  $R_{diodo} \sim R_{volímetro}$   
Escala:  $1 kV$ ;

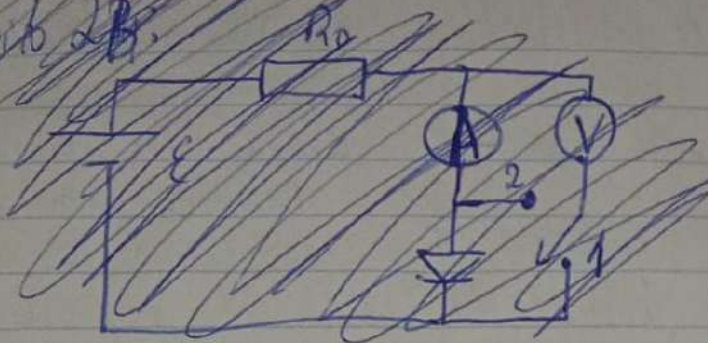
Nota: Tomamos  $R_{amp} \ll R_{volímetro}$ .

①  $10 \mu A$

② zona:  $10V$   
 $1 mA$



Circuito 2B:



Plano: Confeita a disponibilidade do equipamento e se necessário, substitui alguns dos instrumentos, tendo em conta que a corrente no diodo não deverá ultrapassar 2mA, uma vez que quanto maior o valor de corrente, maior a energia dissipada pelo efeito joule, e o sobreaquecimento do diodo poderia ~~destruí-lo~~ estragá-lo.

- Escolher um dos diodos (retificador ou zener);
- Montar os circuitos AA e AB;
- Ligar os multímetros e configurá-los;
- ~~Realizar a aferição da corrente~~ Ligar o gerador, com a tensão no mínimo;
- Variar a tensão de saída no gerador,  $E$ , e registar os valores que surjam no amperímetro e no voltmeter, tendo em conta as flutuações;
- Traçar os gráficos de  ~~$P_D$  versus  $V$~~   $I_D$  em função de  $V$  e de  $P_D$  em função de  $V$ ;
- Desmontar o circuito;
- Montar o circuito 2B, com o comutador na posição 1; Repetir as mesmas anteriores relativas a AA e AB;
- Inverter a polaridade da fonte de tensão para medir a corrente inversa, tendo a tensão para a polaridade da fonte de tensão e dos multímetros;

Quantidade de pontos,  
como assim?

- Registrar os dados ( $V_1$ ,  $I_D$ ,  $V_2$ ,  $V_D$ ) numa tabela, com o símbolo, a unidade de medida e a incerteza de cada grandeza;
- Supondo que a tensão de saída do gerador



é suficientemente estável, executar o procedimento de medida com ajuste  $I_2 = I_1$ ;

- Ajustar a tensão - do gerador e medir a tensão,  $V_1$ , e a corrente,  $I_1 = I_0$ , com o comutador na posição 1, registrando os valores;

- Mudar o comutador para a posição 2 e verificar que os valores de tensão e corrente mudam;

- Ajustar a tensão - do gerador de modo a repetir a corrente no valor anterior (i.e.,  $I_2 = I_1$ ), medindo o novo valor de tensão,  $V_2$ ;

- Calcular a tensão no diodo e registrar o seu valor:  $V_D = V_1 - V_2$ ;

- Fazer um estudo semelhante para o outro diodo;

- Representar a curva característica do diodo,  $I_D(V_D)$ ;

- Calcular a resistência estática,  $R_{DC} = \frac{V}{I}$  em alguns pontos da curva  $I_D(V_D)$  e estimar a resistência dinâmica,  $R_{AC} = \frac{dV}{dI}$ , num ponto de condução direta; por quê?

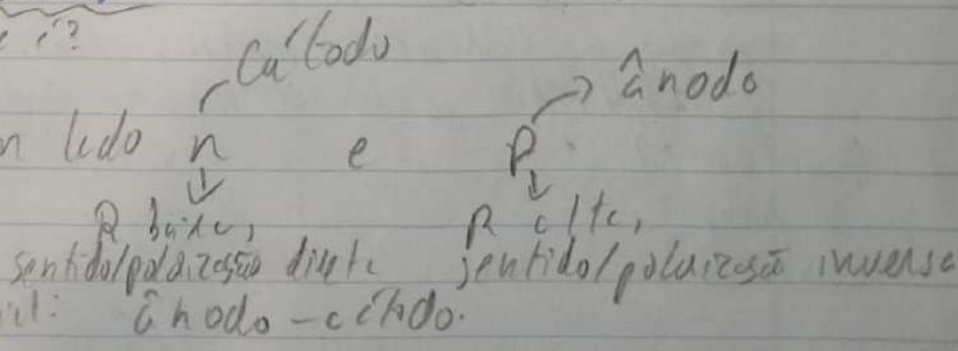
- Lineariza a Lei de Shockley\* com uma transformação logarítmica:  $\ln(I_D + I_0) = \ln(I_0) + \frac{eV}{nKT}$ ,  $I_0 \ll I_D$  pois  $I_D \gg I_0$

- Representar graficamente  $\ln(I_D)$  em função de  $V_D$ , comentando a qualidade do ajuste linear obtido e determinando os parâmetros  $I_0$ ,  $n$  e as incertezas respectivas;

- Calcular o valor de  $I_0$  obtido pelo ajuste com o gráfico no gráfico ( $I_0 =$  intercepto dos pontos sobre a linha de saturação).

\* Lei Anodo

NOTA: Diodos têm lado n e p



$$V_D = V_A - V_C$$

Ânodo      Cátodo

→ o gráfico não é linear, mas podemos linearizar  
 $I_0$  = corrente de polarização inversa.

regime de avalanche:  $|V_{invers}|$  alto e  $V_D < 0$ , ruptura e letargia

Nunca queremos 2 things a zona de avalanche e queremos inversa de polarização  
 → alta corrente de fuga

Lei de Shockley (1)

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

$I_0$ : corrente de saturação, que depende de  $T$  e da energia de band gap do semicondutor

$V$ : Tensão

$K$ : constante de Boltzmann,

$T$ : temperatura de junção (K)

$n$ :  $1 \leq n \leq 2$

se  $n=1$  → corrente de saturação  
 se  $n=2$  → altas correntes de fuga no gerador

Voltagem APENAS:

• longe de zona avalanche

• 1 alta

• sem outros mecanismos de retenção de carga

Res. estática:  $R_{DC} = \frac{V}{I}$

Res. dinâmica:  $R_{AC} = \frac{\partial V}{\partial I}$

ML (antes MB)

$$n = \frac{e^1}{mKT}$$

depois do ajuste

$$K = 1,38065 \times 10^{-23}$$

$$T = 296,15 K$$

(aproximado)

$$e^1 = 1,602177 \times 10^{-19} C$$

$$I_0 = e^5 \rightarrow \text{ajuste}$$

→ gráficos

Expressões utilizadas: • Lei de Shockley:  $I = I_0 \left( e^{\frac{eV}{nKT}} - 1 \right)$

e valores

$$I_0 = e^5$$

$$n = \frac{e^1}{mKT}$$

$$K = 1,38065 \times 10^{-23}$$

$$T = 296,15 K$$

$$e^1 = 1,602177 \times 10^{-19} C$$



## Resultados:

~~Nome do aluno~~ ~~Matrícula~~ ~~Retificador~~ ~~Matr~~

⇒ Diodo retificador:

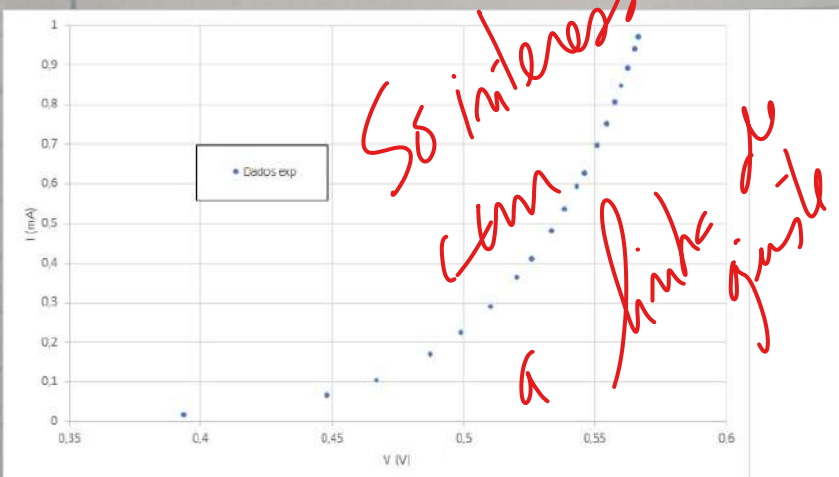
- Circuito ~~da~~:

Dados obtidos:

$(V \pm 0,000003)$ (V)	$(I \pm 0,00005)$ (mA)	$\ln I$	$(\ln I)_{aj\text{ preliminar}}$	$(Res \ln I)_{\text{preliminar}}$	$(\ln I)_{aj}$	$I_{aj}$ (mA)	Res de $\ln I$	$I_D$ (mA)	$\ln(I_D)$	$Res \ln(I_D)$
0,566955	0,96815	-0,032368245	0,029973267	0,062341512	-0,00498337	0,995029027	0,027384875	1,004637349	0,00462663	0,03699488
0,565430	0,93845	-0,063525701	-0,006368141	0,05715756	-0,039117512	0,961637698	0,024408189	0,970898375	-0,029533476	0,03399222
0,562860	0,88970	-0,116870952	-0,067612351	0,049258601	-0,096641936	0,907881027	0,020229015	0,916583908	-0,087101663	0,02976929
0,560440	0,84580	-0,167472354	-0,125281996	0,042190358	-0,150808904	0,860012028	0,01666345	0,868220252	-0,141309849	0,02616250
0,558100	0,80550	-0,216292076	-0,181045207	0,03524687	-0,203185228	0,816127058	0,013106848	0,823883585	-0,193726039	0,02256604
0,554680	0,74950	-0,288348961	-0,262545284	0,025803678	-0,27973524	0,755983869	0,008613722	0,763124312	-0,270334336	0,01801463
0,551120	0,69510	-0,363699559	-0,347381621	0,016317938	-0,359418878	0,698081879	0,004280681	0,704632655	-0,350078669	0,01362089
0,546140	0,62560	-0,46904409	-0,466057172	0,002986918	-0,470886439	0,624448487	-0,001842349	0,630254746	-0,461631183	0,00741291
0,543500	0,59160	-0,524924548	-0,528969512	-0,004044964	-0,529977676	0,58861811	-0,005053128	0,594064441	-0,520767479	0,00415707
0,538780	0,53480	-0,625862434	-0,64144915	-0,015586716	-0,635625646	0,52960404	-0,009763212	0,534461247	-0,626496055	-0,00063362
0,533740	0,48000	-0,733969175	-0,761554527	-0,027585352	-0,74843619	0,473105822	-0,014467015	0,477403736	-0,73939274	-0,00542357
0,526190	0,40710	-0,898696423	-0,941474287	-0,042777864	-0,917428175	0,399545281	-0,018731752	0,40312285	-0,908513924	-0,00981750
0,520780	0,36130	-1,018046641	-1,070396924	-0,052350283	-1,038520446	0,353978024	-0,020473805	0,35711447	-1,029698903	-0,01165226
0,510710	0,28840	-1,243406874	-1,310369372	-0,066962499	-1,263917703	0,282544928	-0,020510829	0,284999152	-1,255269076	-0,01186220
0,499490	0,22310	-1,500135178	-1,577746818	-0,07761164	-1,515055461	0,219795994	-0,014920284	0,221662317	-1,50660015	-0,00646497
0,487580	0,16860	-1,780226233	-1,861567261	-0,081341028	-1,78163752	0,168362225	-0,001411287	0,169756813	-1,773388379	0,00683785
0,467300	0,10230	-2,279845606	-2,344848419	-0,065002813	-2,235565661	0,106931626	0,044279945	0,107779181	-2,227670764	0,05217484
0,448550	0,06300	-2,764620553	-2,791669017	-0,027048464	-2,655247744	0,070281425	0,109372809	0,070814917	-2,647685612	0,11693494
0,393960	0,01410	-4,261580482	-4,092572292	0,16900819	-3,877138139	0,02071001	0,384442343	0,020845746	-3,870605384	0,39097510

Em seguida, representou-se a corrente <sup>amperímetro (total)</sup> ~~do diodo~~  $I$ , da tensão nos seus terminais,  $V$ :

Gráfico 1:



$I$  em função de  $V$ :  
Parece existir uma tendência exponencial, pelo que se linearizou o gráfico com um logaritmo neperiano. Fez-se ainda um ajuste linear preliminar.



m	23,8	-13,5	b
om	0,3	0,2	ob
r <sup>2</sup>	0,997	0,06	oy

Tabela 1: Dados relativos ao ajuste preliminar, feito usando toda a gama experimental

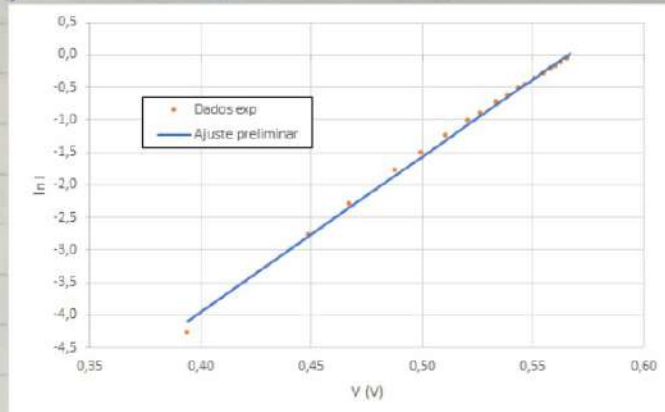


Gráfico 2: Dados experimentais e ajuste linear preliminar de  $\ln I$  em função de  $V$

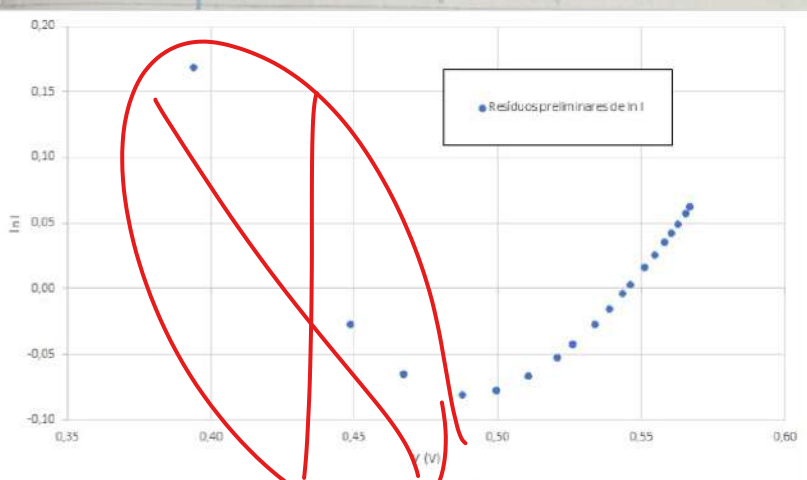


Gráfico 3: Resíduos preliminares de  $\ln I$ , em toda a gama experimental. Além de uma ~~tendência linear~~ tendência parabólica, os resíduos encontram-se distantes de 0. Como tal, recorreu-se a um segundo ajuste linear:

Tabela 2: Dados relativos ao ajuste linear final, para os valores de  $V$  entre 0,467300V e 0,562860V ~~destinados ao ajuste~~

m	22,4	-12,7	b
om	0,2	0,1	ob
r <sup>2</sup>	0,9992	0,02	oy

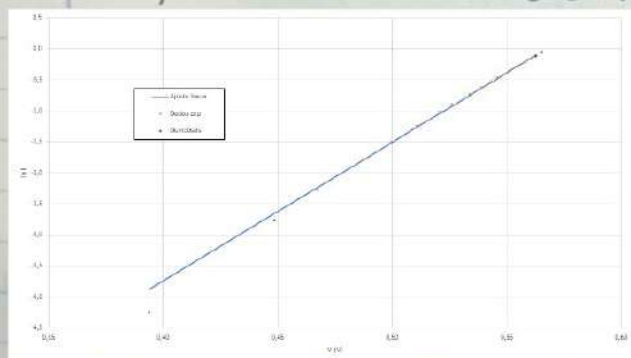
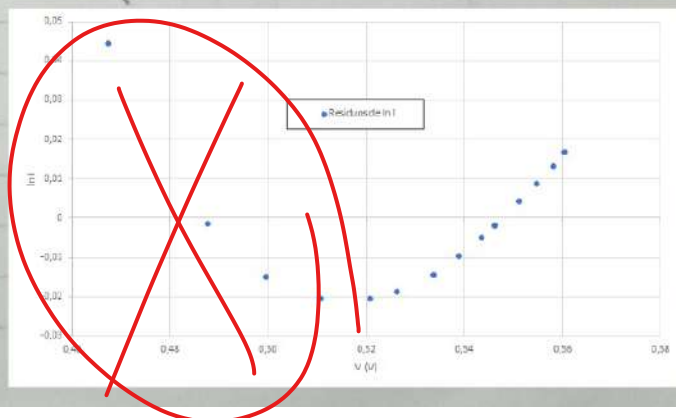


Gráfico 4: Dados experimentais e ajuste linear de  $\ln I$  em função de  $V$ , incluindo os pontos duvidosos (que são os que não foram usados no ajuste).

Gráfico 5: Resíduos de  $\ln I$ , na gama experimental usada no ajuste. Nota-se ainda uma ~~tendência~~ tendência parabólica, mas como os valores estão próximos de 0, este será o ajuste usado.



# GRÁFICOS MAIORES!

- A escolha da gama experimental poderá estar na origem desta tendência.

Tomando  $I_0 = e^b$ , sendo  $b$  o ~~outro~~ termo independente do ajuste linear;

$$I_0 = e^{(-12,7 \pm 0,1)} = \cancel{3,1 \times 10^{-6}} \\ = (3,1 \pm 0,3) \times 10^{-6} \text{ mA}$$

Assim, obtém-se um valor de ~~o~~ corrente no ~~diodo~~:

$$\cancel{I_0 = I_0 e^{e^b}}$$

→ a incerteza obtém-se da expressão:

$$U(I_0) = \sqrt{\left(\frac{\partial e^b}{\partial b}\right)^2 U(b)} = \sqrt{(e^{-12,7 \pm 0,1})^2} = \\ \approx 0,3 \text{ mA.}$$

Pode ainda tomar-se  $n = \frac{e}{m k T}$ , sendo  $m$  o declive do ajuste:

$$\cancel{R_0 R_0} \cdot n = \frac{1,602177 \times 10^{-19}}{(22,4 \pm 0,2) \times 1,38065 \times 10^{-23} \times 296,15} = \\ \approx 1,75 \pm 0,02$$

Daqui, obtemos ~~os~~ <sup>os valores de</sup> ~~o~~ valor de  $I_0$  e registados na tabela. A incerteza ~~de~~ de  $I_0$  foi determinada usando uma calculadora de incertezas, uma vez que a expressão é extremamente complicada.



Gráfico 6: ~~Sobreposição dos dados experimentais e da equação~~ ~~linhas, incluindo os dados e os~~ ~~valores de  $\ln I_d$ , em que se verificam sobreposições.~~

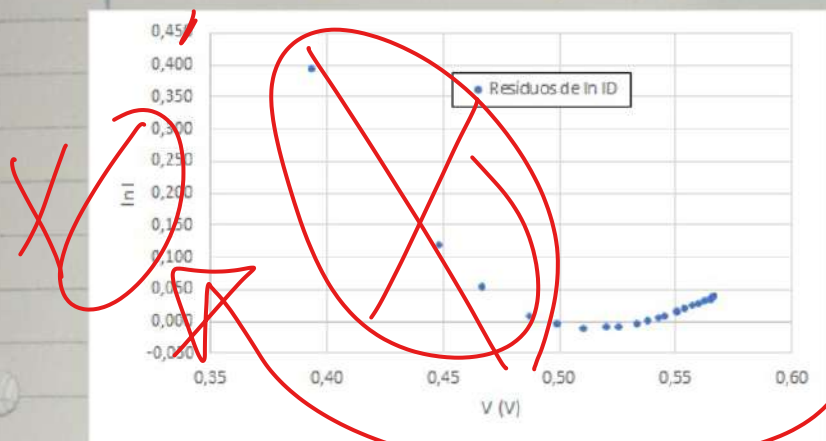
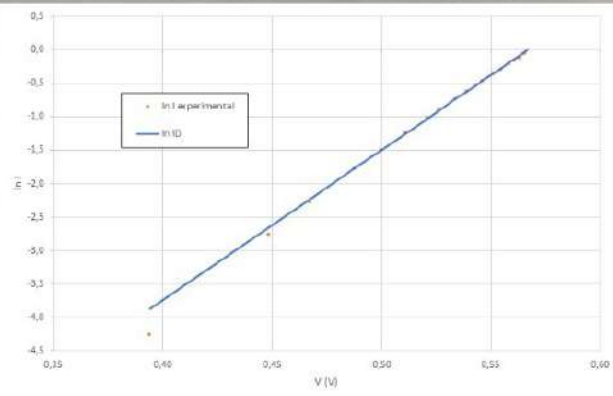


Gráfico 7: Resíduos de  $\ln I_d$ . A maioria dos pontos encontra-se próxima de 0, mas volta a surgir uma tendência parabólica.

- Circuito #6:

Dados obtidos:

$(V \pm 0,000003) \text{ (V)}$	$(I \pm 0,000005) \text{ (mA)}$
0,664050	0,000003
1,966700	0,000003
3,709000	0,000003
6,058400	0,000003
7,450500	0,000004
9,903000	0,000004
14,894000	0,000005

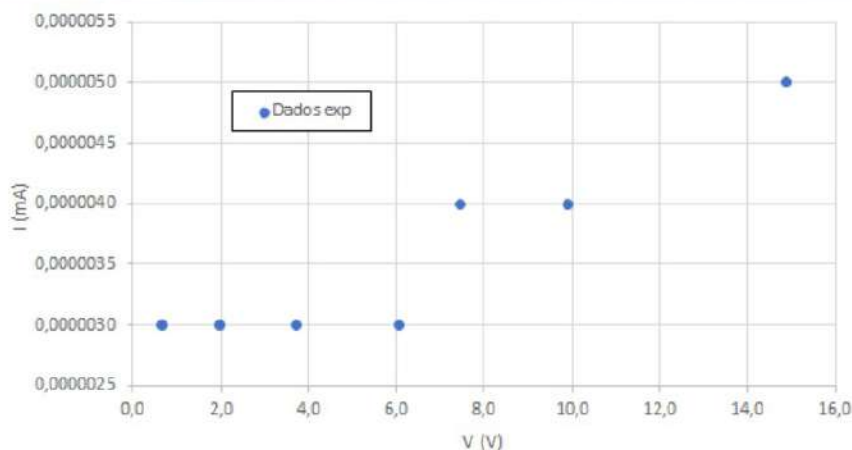
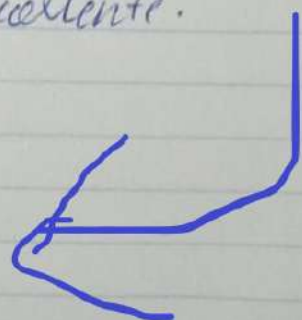


Gráfico 8:  $I$  em função de  $V$ : nota-se que os valores de  $V$  e de  $I$ , na polarização inversa, estão apresentados como positivos, embora o sentido seja contrário ao do circuito da. Notam-se valores muito reduzidos de corrente, que se apresentam quase como degraus. Isto mostra que  $R_{chegada}$  aumenta com o sentido invertido da corrente.





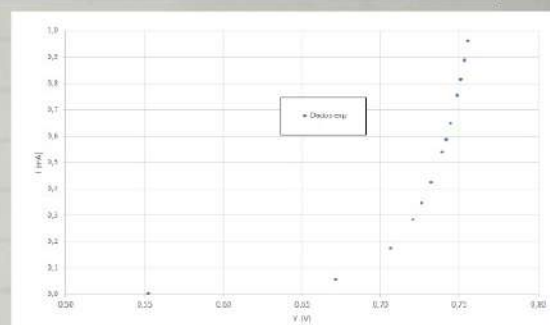
• Diodo Zener

- Circuito  $R_a$ : Boa condução

Dados obtidos:

$(V \pm 0,000003) \text{ (V)}$	$(I \pm 0,00005) \text{ (mA)}$	$\ln I$	$(\ln I)_{aj} \text{ preliminar}$	$(Res \ln I) \text{ preliminar}$	$(\ln I)_{aj}$	$Res \ln I$
0,75590	0,95930	-0,041551	-0,249143148	-0,207592	-0,279590	-0,238038
0,75369	0,88740	-0,282774	-0,253066491	0,029708	-0,282592	0,000182
0,75122	0,81360	-0,286057	-0,257451403	0,028605	-0,285947	0,000109
0,74903	0,75300	-0,288976	-0,26133924	0,027637	-0,288922	0,000054
0,74483	0,64580	-0,294599	-0,268795366	0,025804	-0,294628	-0,000029
0,74197	0,58690	-0,298446	-0,273872633	0,024574	-0,298513	-0,000067
0,73940	0,53670	-0,301916	-0,278435072	0,023481	-0,302005	-0,000088
0,73256	0,42330	-0,311210	-0,290577906	0,020632	-0,311297	-0,000087
0,72657	0,34470	-0,319420	-0,301211762	0,018209	-0,319434	-0,000013
0,72082	0,28300	-0,327366	-0,311419553	0,015946	-0,327245	0,000121
0,70664	0,17470	-0,347234	-0,336592855	0,010641	-0,346508	0,000726
0,67157	0,05480	-0,398137	-0,398851508	-0,000714	-0,394150	0,003987
0,55250	0,00160	-0,593302	-0,610232681	-0,016931	-0,555903	0,037399

Clássico g: Corrente no amperímetro em função de  $V$ . Note-se uma tendência exponencial, que leva a uma linearização logarítmica.



m	1,8	-1,6	b
$\sigma_m$	0,3	0,3	$\sigma_b$
$r^2$	0,7	0,07	$\sigma_y$

~~Ques~~ Tabela 3: Dados relativos ao ajuste linear preliminar, em toda a gama experimental. O valor do fator  $R^2$  é tão baixo, que se passa de seguida para o gráfico de resíduos, para depois se realizar outro ajuste linear.

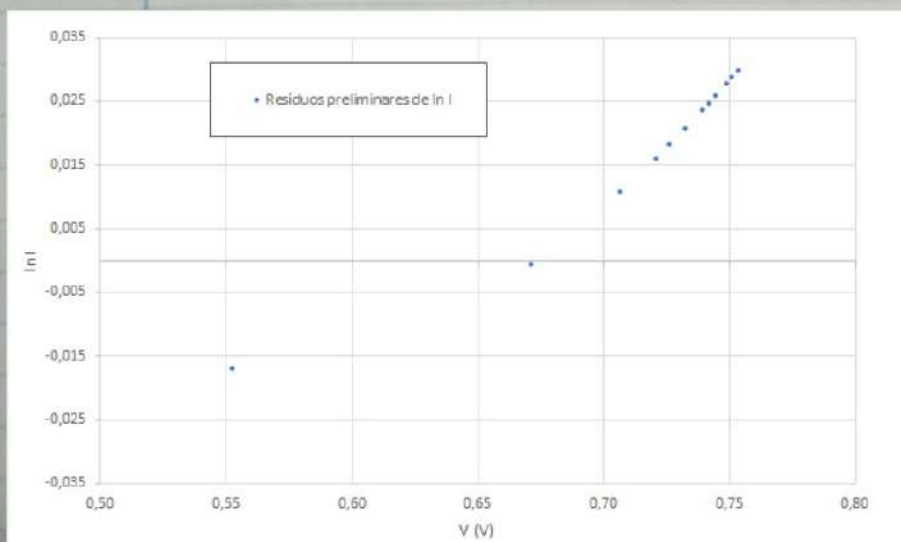


Gráfico 10:  
Resíduos preliminares  
de In 1.



Tabela 4: Dados relativos ao segundo ajuste linear, no grama experimental dos valores de tensão entre 0,72082V e 0,75122V.

m	1,358	-1,306	b
$\sigma_m$	0,003	0,002	$\sigma_b$
$r^2$	0,99997	0,0001	$\sigma_y$

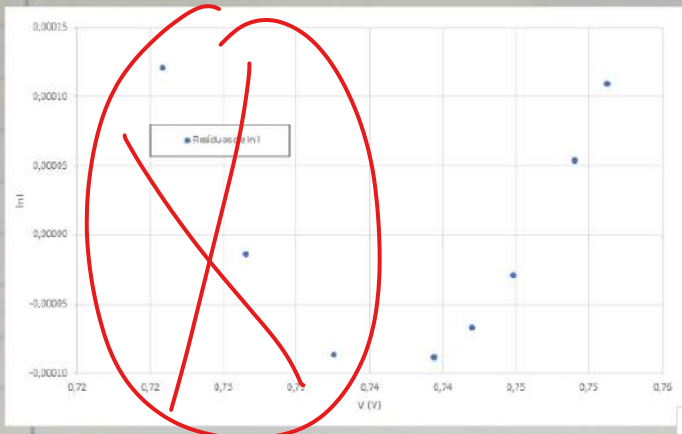
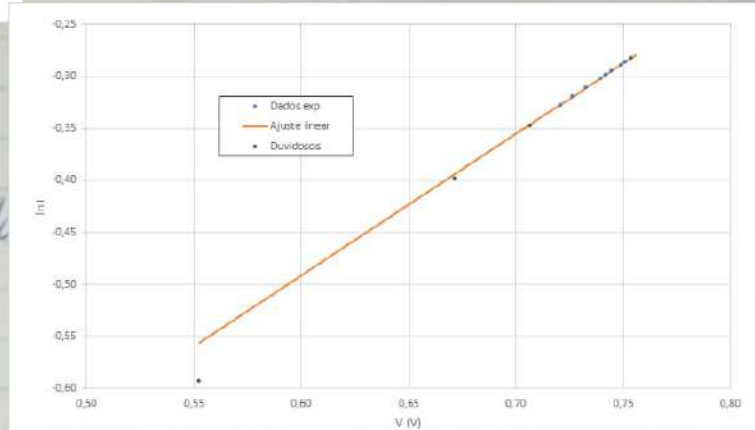


Gráfico 11: Resíduos de  $\ln I$ : Volta a notar-se uma tendência parabolica, ~~por isso~~ mas, mais uma vez, torna-se este ajuste como o mais correto, por os valores de resíduos estarem próximos de 0.

Gráfico 12:  $\ln I$  em função de  $V$ , com os dados experimentais, o ajuste final, e os pontos duvidosos (não obtidos no ajuste).



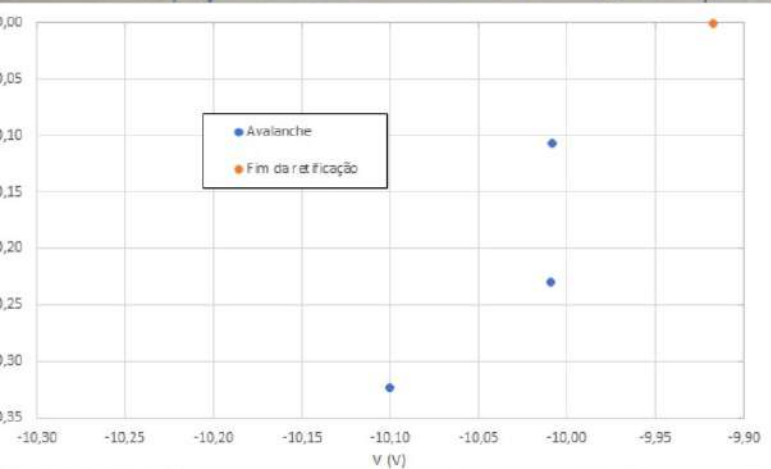
- Circuito  $R_a$ : Avalanche

Dados obtidos:

$(V \pm 0,000003)$ (V)	$(I \pm 0,000005)$ (mA)
-10,100400	-0,32280
-10,009400	-0,22930
-10,008600	-0,10640
-9,917500	-0,00120
-8,977900	-0,00090
-8,027000	-0,00080
-6,923500	-0,00070
-5,619000	-0,00060
-4,825000	-0,00050
-3,586000	-0,00400

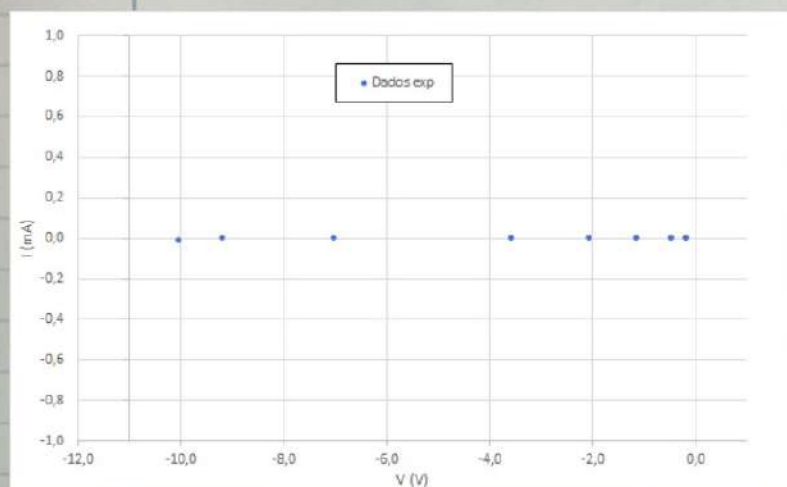


Gráfico 13:  $I$  em função de  $V$ , em que os dados se mostram próximos de 0 até que  $V \sim -10V$



- Circuito 05

Dados obtidos:



Seguem-se os dados relativos aos diodos Zener, acompanhados das suas curvas características:

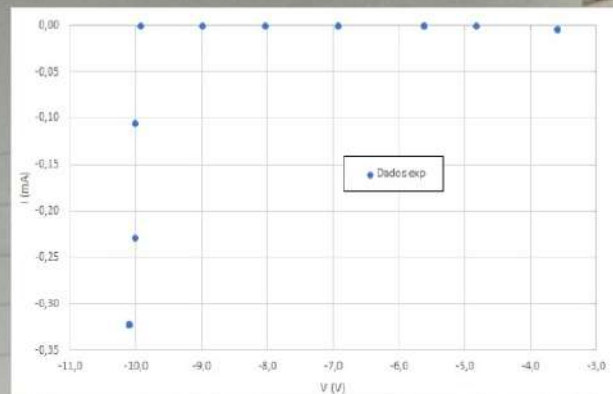


Gráfico 14: Aproximação de 13, para melhor visibilidade do fim da zona de retificação e da avalanche.

$V \pm 0,000003$ (V)	$I \pm 0,000005$ (mA)
-0,165200	-0,00000200
-0,458100	-0,00000100
-1,134000	-0,00000100
-2,046500	-0,00000100
-3,557700	-0,00000100
-7,014000	-0,00000100
-9,185200	-0,00000800
-10,016700	-0,01362000

Gráfico 15:  $I$  em função de  $V$ . Os valores encontram-se todos arbitrariamente perto de 0.

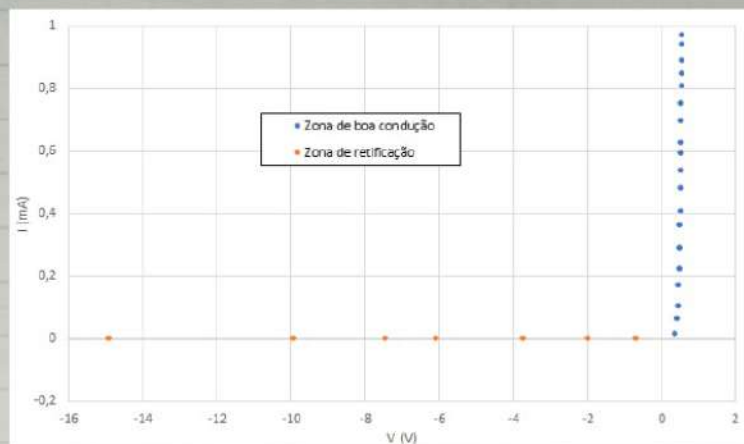


Retificadas:

Dados

V (V)	I (mA)	u(V) (V)	u(I) (mA)
0,566955	0,96815	0,000003	0,00005
0,565430	0,93845	0,000003	0,00005
0,562860	0,88970	0,000003	0,00005
0,560440	0,84580	0,000003	0,00005
0,558100	0,80550	0,000003	0,00005
0,554680	0,74950	0,000003	0,00005
0,551120	0,69510	0,000003	0,00005
0,546140	0,62560	0,000003	0,00005
0,543500	0,59160	0,000003	0,00005
0,538780	0,53480	0,000003	0,00005
0,533740	0,48000	0,000003	0,00005
0,526190	0,40710	0,000003	0,00005
0,520780	0,36130	0,000003	0,00005
0,510710	0,28840	0,000003	0,00005
0,499490	0,22310	0,000003	0,00005
0,487580	0,16860	0,000003	0,00005
0,467300	0,10230	0,000003	0,00005
0,448550	0,06300	0,000003	0,00005
0,393960	0,01410	0,000003	0,00005
-0,664050	-0,000003	0,000003	0,000005
-1,966700	-0,000003	0,000003	0,000005
-3,709000	-0,000003	0,000003	0,000005
-6,058400	-0,000003	0,000003	0,000005
-7,450500	-0,000004	0,000003	0,000005
-9,903000	-0,000004	0,000003	0,000005
-14,894000	-0,000005	0,000003	0,000005

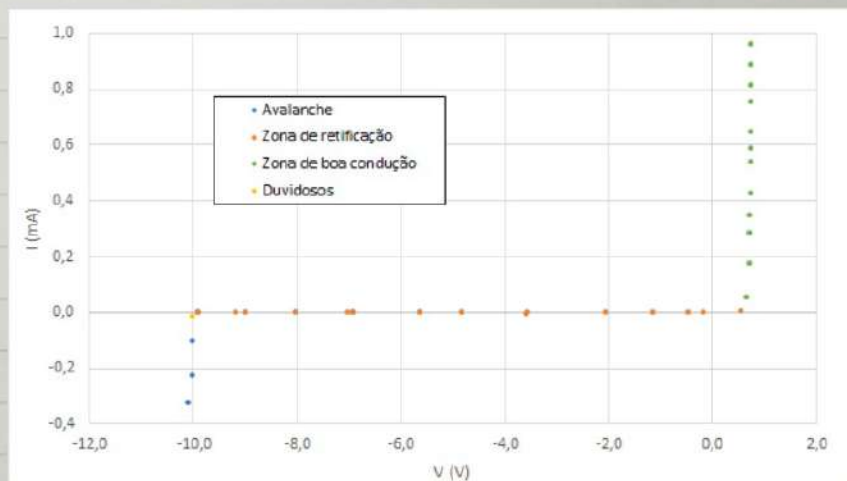
Gráfico 16



Zener:  
Dados

V (V)	I (mA)	u(V) (V)	u(I) (mA)
-10,100400	-0,32280	0,000003	0,00005
-10,009400	-0,22930	0,000003	0,00005
-10,008600	-0,10640	0,000003	0,00005
-9,917500	-0,001200	0,000003	0,000005
-8,977900	-0,000900	0,000003	0,000005
-8,027000	-0,000800	0,000003	0,000005
-6,923500	-0,000700	0,000003	0,000005
-5,619000	-0,000600	0,000003	0,000005
-4,825000	-0,000500	0,000003	0,000005
-3,586000	-0,004000	0,000003	0,000005
-0,165200	-0,000002	0,000003	0,000005
-0,458100	-0,000001	0,000003	0,000005
-1,134000	-0,000001	0,000003	0,000005
-2,046500	-0,000001	0,000003	0,000005
-3,557700	-0,000001	0,000003	0,000005
-7,014000	-0,000001	0,000003	0,000005
-9,185200	-0,000008	0,000003	0,000005
-10,016700	-0,013620	0,000003	0,000005
0,552500	0,001600	0,000003	0,000005
0,755900	0,95930	0,000003	0,00005
0,753690	0,88740	0,000003	0,00005
0,751220	0,81360	0,000003	0,00005
0,749030	0,75300	0,000003	0,00005
0,744830	0,64580	0,000003	0,00005
0,741970	0,58690	0,000003	0,00005
0,739400	0,53670	0,000003	0,00005
0,732560	0,42330	0,000003	0,00005
0,726570	0,34470	0,000003	0,00005
0,720820	0,28300	0,000003	0,00005
0,706640	0,17470	0,000003	0,00005
0,671570	0,05480	0,000003	0,00005

Gráfico 17





Resistências do diodo retificador:

As ~~resistências~~ incertezas podem ser calculadas usando o Excel, ~~para~~ com as seguintes expressões para cada linha:

$$R_{DC} = \frac{V(V)}{I(A)}$$

$$R_{AC} = \frac{\partial V}{\partial I} \approx \frac{\Delta V}{\Delta I}, \text{ em que se consideram } \frac{\text{pequenos}}{\text{sucessivos}} \text{ valores}$$

$$u(R_{DC}) = \sqrt{\left(\frac{u(V)}{V}\right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I}\right)^2}$$

converter-se 1 de mA para A.

$$u(R_{AC}) = R_{AC} \sqrt{\left(\frac{u(V)}{V}\right)^2 + \left(\frac{u(I)}{I}\right)^2}$$

Dados obtidos:

(V ± 0,000003) (V)	(I ± 0,0000005) (mA)	R <sub>DC</sub> (Ω)	R <sub>AC</sub> (Ω)	u(R <sub>DC</sub> ) (Ω)	u(R <sub>AC</sub> ) (Ω)
0,566955	0,96815000	5,85607E+02	1,576697E-03	3E-03	8E-09
0,565430	0,93845000	6,02515E+02	2,74116E-03	3E-03	1E-08
0,562860	0,88970000	6,32640E+02	2,72261E-03	3E-03	1E-08
0,560440	0,84580000	6,62615E+02	2,76925E-03	4E-03	1E-08
0,558100	0,80550000	6,92862E+02	4,24976E-03	4E-03	2E-08
0,554680	0,74950000	7,40067E+02	4,75424E-03	4E-03	3E-08
0,551120	0,69510000	7,92864E+02	7,17089E-03	4E-03	4E-08
0,546140	0,62560000	8,72986E+02	4,22394E-03	5E-03	2E-08
0,543500	0,59160000	9,18695E+02	7,98558E-03	5E-03	4E-08
0,538780	0,53480000	1,007442E+03	9,43255E-03	6E-03	5E-08
0,533740	0,48000000	1,111958E+03	1,574252E-02	6E-03	9E-08
0,526190	0,40710000	1,292533E+03	1,330092E-02	7E-03	8E-08
0,520780	0,36130000	1,441406E+03	2,78938E-02	8E-03	2E-07
0,510710	0,28840000	1,77084E+03	3,89344E-02	1E-02	2E-07
0,499490	0,22310000	2,23886E+03	5,34245E-02	1E-02	3E-07
0,487580	0,16860000	2,89193E+03	1,203577E-01	2E-02	7E-07
0,467300	0,10230000	4,56794E+03	1,83397E-01	3E-02	1E-06
0,448550	0,06300000	7,11984E+03	8,66702E-01	5E-02	6E-06
0,393960	0,01410000	2,79404E+04	7,50362E+01	2E-01	6E-04
-0,66405	-0,00000300	2,21E+08	-----	-4E+06	-----
-1,9667	-0,00000300	6,6E+08	-----	-1E+07	-----
-3,709	-0,00000300	1,24E+09	-----	-2E+07	-----
-6,0584	-0,00000300	2,02E+09	1,39E+09	-3E+07	2E+07
-7,4505	-0,00000400	1,86E+09	-----	-2E+07	-----
-9,903	-0,00000400	2,48E+09	4,99E+09	-3E+07	6E+07
-14,894	-0,00000500	2,98E+09	2,98E+09	-3E+07	3E+07

Tabela 5:

Resistência	Zona	max	min
DC	Boa condução	2,79404E+04	5,8561E+02
	Retificação	2,98E+09	2,2135E+08
AC	Boa condução	7,50E+01	1,5767E-03
	Retificação	-----	-----

Não se encontrou um valor de R<sub>AC</sub> máximo ou mínimo na zona de retificação, pois a aproximação torna esse cálculo impossível para ΔI = 0. ~~Se ΔI = 0~~ deve-se a diferenças de corrente tão pequenas que o



amperímetro não é capaz de as detectar; de facto, pode quase assumir-se uma resistência infinita.

- Resistências do diodo Zener:

Dados

$(V \pm 0,000003) (V)$	$(I \pm 0,00005) (mA)$	$R_{DC} (\Omega)$	$R_{AC} (\Omega)$	$u(R_{DC}) (\Omega)$	$u(R_{DC}) (\Omega)$
-10,100400	-0,32280	31290	0,28211	5	4E-05
-10,009400	-0,22930	4,365E+04	0,0034905	1E+01	8E-07
-10,008600	-0,10640	9,407E+04	0,8562	4E+01	4E-04
-9,917500	-0,00120	8,3E+06	7,8E+02	3E+05	3E+01
-8,977900	-0,00090	1,0E+07	1,06E+03	6E+05	6E+01
-8,027000	-0,00080	1,00E+07	1,38E+03	6E+05	9E+01
-6,923500	-0,00070	9,9E+06	1,9E+03	7E+05	1E+02
-5,619000	-0,00060	9,4E+06	1,3E+03	8E+05	1E+02
-4,825000	-0,00050	1E+07	2,5E+03	1E+06	2E+02
-3,586000	-0,00400	9,0E+05	-8,63E+01	1E+04	-1E+00
-0,165200	-43,65198	3,78448	-6,7244E-03	7E-05	-1E-07
-0,458100	-94,06579	4,87000	-7,87751E-03	3E-05	-5E-08
-1,134000	-8264,58333	1,372120E-01	-1,105443E-04	4E-07	-3E-10
-2,046500	-9975,44444	2,051538E-01	-1,516445E-04	3E-07	-2E-10
-3,557700	-10033,75000	3,545733E-01	-3,448073E-04	3E-07	-3E-10
-7,014000	-9890,71429	7,091500E-01	-2,1972708E-04	3E-07	-9E-11
-9,185200	-9365,00000	9,808009E-01	-8,8879625E-05	3E-07	-3E-11
-10,016700	-9650,00000	1,0380000	9,8074611E-04	3E-07	3E-10
-0,552500	-0,00160	3,5E+05	5,1E+02	1E+04	2E+01
0,755900	0,95930	787,97	2,3059E-03	4E-02	1E-07
0,753690	0,88740	849,32	2,7860E-03	5E-02	2E-07
0,751220	0,81360	923,33	2,6942E-03	6E-02	2E-07
0,749030	0,75300	994,73	5,5825E-03	7E-02	4E-07
0,744830	0,64580	1153,34	4,4326E-03	9E-02	3E-07
0,741970	0,58690	1264,2	4,3829E-03	1E-01	4E-07
0,739400	0,53670	1377,7	1,2755E-02	1E-01	1E-06
0,732560	0,42330	1730,6	1,4162E-02	2E-01	2E-06
0,726570	0,34470	2107,8	1,6695E-02	3E-01	2E-06
0,720820	0,28300	2547,1	5,0137E-02	5E-01	9E-06
0,706640	0,17470	4045	0,20081	1	6E-05
0,671570	0,05480	1,2E+04	-----	1E+01	-----

Tabela 6:

Resistência	Zona	max	min
DC	Boa condução	9,407E+04	3,1290E+04
	Retificação	1,00E+07	1,3721E-01
	Avalanche	1,2E+04	7,8797E+02
AC	Boa condução	8,56E-01	3,4905E-03
	Retificação	2,50E+03	-8,6E+01
	Avalanche	2,01E-01	2,3059E-03

Resultados Finais?



## Discussão e conclusão:

Seppman!

Foi possível traçar curvas características dos dois diodos dentro daquilo que seria de se esperar. No entanto, há que se nota que os ajustes lineares usados não terão sido os mais corretos, pois os gráficos de resistências apresentavam tendências (marcadamente parabólicas). Isto pode dever-se a erros sistemáticos ou a escolhas inadequadas de gemas experimentais, ou ainda a um número demasiado baixo de medições.

Quanto às resistências, no retificador verificamos que ~~as~~ estas são sempre superiores na zona de retificação, o que justifica os valores de corrente próximos de 0 no gráfico 8. As resistências AC cabem por ser, para todos os efeitos práticos, aproximadamente infinitas na zona de retificação.

No diodo Zener, ~~verificamos a mesma tendência~~  
~~de resistência de condução e de retificação.~~  
foi possível verificar que ambas as resistências (AC e DC) eram máximas na zona de retificação, e que apresentavam a mesma ordem de grandeza nas zonas de boa condução e de avalanche. Isto explica a tendência quase vertical perto de  $V_R - 10V$  na curva do diodo de Zener.

Por fim, é possível notar uma maior variabilidade de valores de resistência no diodo Zener, e que a resistência máxima do diodo retificador é pelo menos cem vezes superior à do diodo Zener.