



RELATÓRIO DE ELETRÔNICA 1

Experimento 1: Traçador de Curvas $V \times I$

Eduardo Kalleb

Franciellen Thurler Freire Allemão

Sergio Pedro Rodrigues Oliveira

Victor Hugo Queiroz

30 setembro 2023

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Experimento	1
1.2	Teoria	1
2	OBJETIVO	2
3	LISTA DE MATERIAIS	3
4	DESENVOLVIMENTO	4
4.1	Descrição do experimento	4
4.2	Resultados dos experimentos	5
4.2.1	Circuito aberto	5
4.2.2	Curto-circuito	7
4.2.3	Resistor	9
4.2.4	Diodo no sentido direto	11
4.2.5	Diodo zener no sentido direto	13
4.2.6	Diodo zener no sentido direto em série com resistor	15
4.2.7	Diodo zener no sentido reverso em série com resistor	17
4.2.8	Diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto	19
4.2.9	Diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso	21
4.2.10	Diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto	23
4.2.11	Diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso	25
5	CONCLUSÃO	27
	BIBLIOGRAFIA	28

LISTA DE FIGURAS

1	Circuito aberto.	5
2	Montagem do circuito aberto para o experimento.	5
3	Gráfico do osciloscópio para o circuito aberto.	6
4	Gráfico do circuito aberto simulado computacionalmente.	6
5	Curto-circuito.	7
6	Montagem do curto-circuito para o experimento.	7
7	Gráfico do osciloscópio para o curto-circuito.	8
8	Gráfico do curto-circuito simulado computacionalmente.	8
9	Circuito com resistor de $2.0K\Omega$	9
10	Montagem do circuito com resistor de $2.0K\Omega$ para o experimento.	9
11	Gráfico do osciloscópio para o circuito com resistor de $2.0K\Omega$	10
12	Gráfico do circuito com resistor de $2.0K\Omega$, simulado computacionalmente.	10
13	Circuito com diodo no sentido direto.	11
14	Montagem do circuito com diodo no sentido direto.	11
15	Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto.	12
16	Gráfico do circuito com diodo no sentido direto, simulado computacionalmente.	12
17	Circuito com diodo zener no sentido direto.	13
18	Montagem do circuito com diodo zener no sentido direto.	13
19	Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo zener no sentido direto.	14
20	Gráfico do circuito com diodo zener no sentido direto, simulado computacionalmente.	14
21	Circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$	15
22	Montagem do circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$	15
23	Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$	16
24	Gráfico do circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$, simulado computacionalmente.	16
25	Circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$	17
26	Montagem do circuito com diodo zener no sentido reverso em série com resistor de $2.0K\Omega$	17
27	Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo zener no sentido reverso em série com resistor de $2.0K\Omega$	18
28	Gráfico do circuito com diodo zener no sentido reverso em série com resistor de $2.0K\Omega$, simulado computacionalmente.	18
29	Circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto.	19
30	Montagem do circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto.	19
31	Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto.	20
32	Gráfico do circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto, simulado computacionalmente.	20
33	Circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso.	21
34	Montagem do circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso.	21
35	Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso.	22
36	Gráfico do circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso, simulado computacionalmente.	22
37	Circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto.	23
38	Montagem do circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto.	23
39	Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto.	24
40	Gráfico do circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto, simulado computacionalmente.	24
41	Circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso.	25

42	Montagem do circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso.	25
43	Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso.	26
44	Gráfico do circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso, simulado computacionalmente.	26

LISTA DE TABELAS

1	Lista de materiais	3
---	------------------------------	---

1 INTRODUÇÃO

1.1 Experimento

1.2 Teoria

2 OBJETIVO

- Implementar um traçador de curvas $V \times I$ para dispositivos de 2 terminais.
- Obter as curvas características de vários tipos de componentes, com especial ênfase em diodos.

3 LISTA DE MATERIAIS

Table 1: Lista de materiais

Materiais	QTD
Fonte de tensão de 15 Voltz	1
Osciloscópio	1
Multímetro de bancada	1
Jumpers	4
Protoboard	1
Resistências de 2K Ohm	2
Diodo de silício	1
Diodo zener	1
<i>Software</i> de simulação de circuitos eletrônicos: LTSpice	1

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Descrição do experimento

O laboratório de Eletrônica 1 foi conduzido com o objetivo de familiarizar os alunos com o uso do Traçador de Curvas $V \times I$, para dispositivos de 2 terminais, um instrumento fundamental para o estudo e caracterização de componentes eletrônicos, como resistores e diodos. O experimento visa analisar as relações entre a tensão (V) aplicada a um componente e a corrente (I) que flui através dele. Onde o principal componente utilizado foi o diodo.

Sendo assim, foi montado pelo grupo um traçador de curvas na protoboard, como mostra a figura 2. A partir dele foram testadas 11 combinações diferentes, com diodo, diodo zener, resistores e sem componentes (circuito em curto e aberto).

Verificamos se o Traçador de Curvas $V \times I$ estava devidamente conectado à fonte de alimentação e ao multímetro. Certificamo-nos de que todos os cabos estavam corretamente encaixados e seguros.

Conectamos o componente eletrônico aos terminais de teste do Traçador de Curvas $V \times I$. Com o osciloscópio digital no modo XY e as escalas adequadas, plotamos os dados graficamente, com a tensão no eixo X e a corrente no eixo Y.

Analisamos a curva $V \times I$ obtida para extrair informações sobre o comportamento do componente testado.

Assim foram testados os 11 tipos de circuitos: circuito aberto, curto-circuito resistor, diodo no sentido direto, diodo zener no sentido direto, diodo zener no sentido direto em serie com resistor, diodo zener no sentido reverso em serie com resistor, diodo no sentido direto em serie com diodo zener no sentido direto, diodo no sentido direto em serie com diodo zener no sentido reverso, diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto, diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso.

Para cada curva plotada no osciloscópio, foram fotografadas e simuladas computacionalmente, para sua verificação e comparação teórica e prática.

4.2 Resultados dos experimentos

4.2.1 Circuito aberto

O primeiro experimento foi projetado com o circuito aberto no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 1. O circuito foi montado como apresentado na figura 2. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio é uma linha reta no eixo x, representando a tensão sobre o nó CH1, figura 3, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 4.

Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

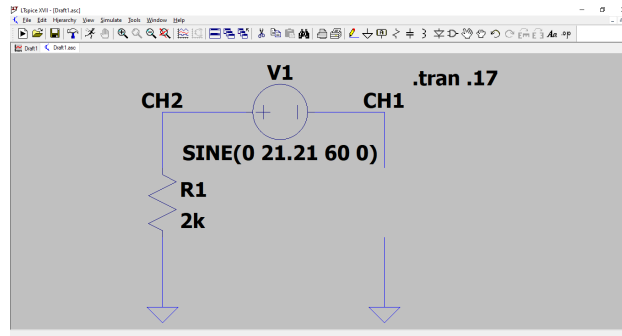


Figure 1: Circuito aberto.

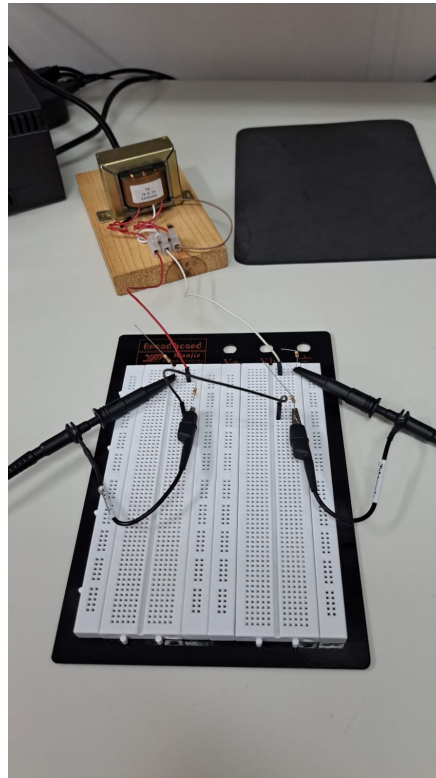


Figure 2: Montagem do circuito aberto para o experimento.

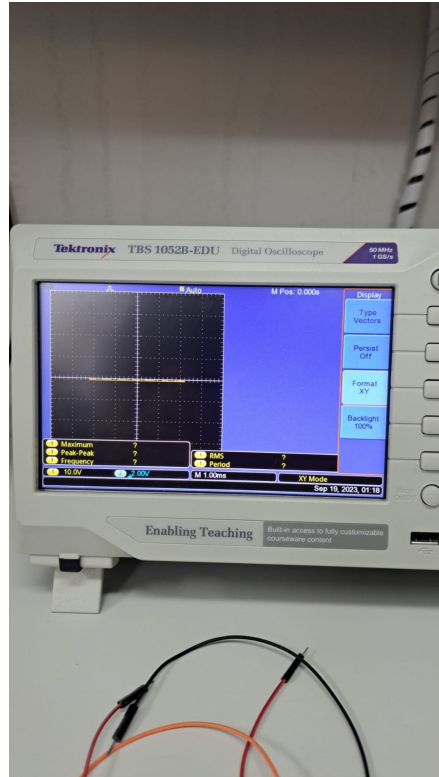


Figure 3: Gráfico do osciloscópio para o circuito aberto.

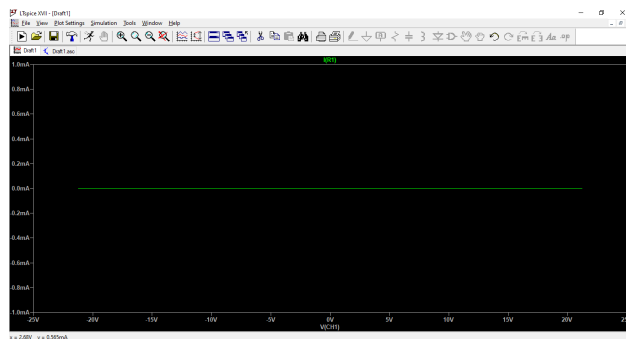


Figure 4: Gráfico do circuito aberto simulado computacionalmente.

4.2.2 Curto-circuito

O segundo experimento foi projetado com o circuito em curto no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 5. O circuito foi montado como apresentado na figura 6. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio é uma linha reta no eixo y, que representa a corrente que flui do nó CH1 para o terra, figura 7, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 8.

Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

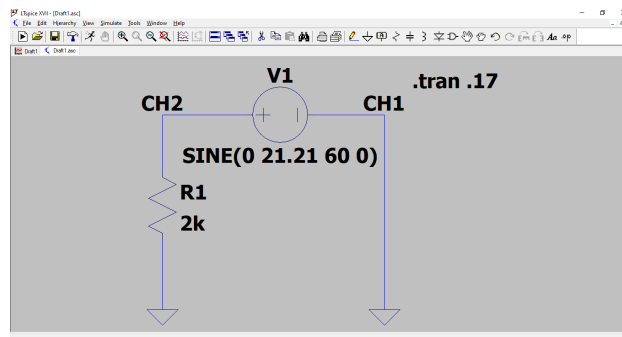


Figure 5: Curto-circuito.

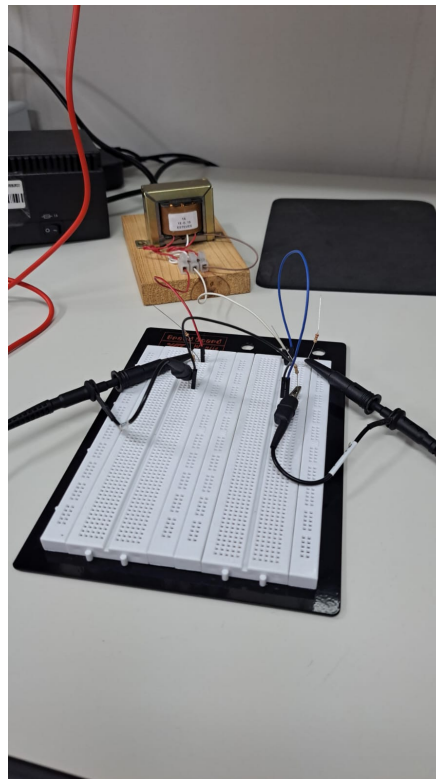


Figure 6: Montagem do curto-circuito para o experimento.

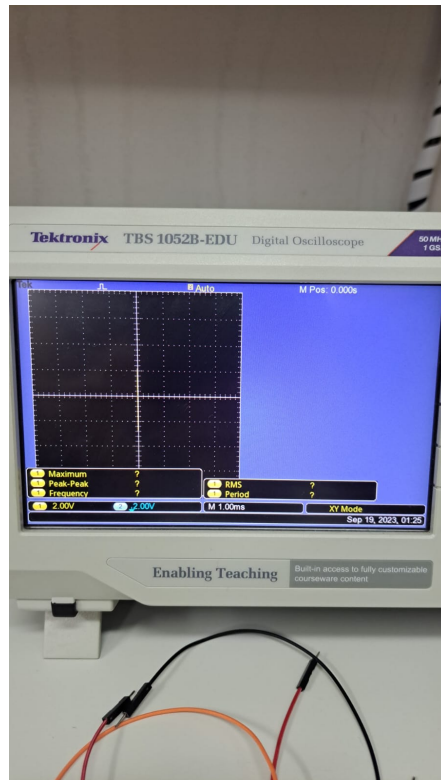


Figure 7: Gráfico do osciloscópio para o curto-circuito.

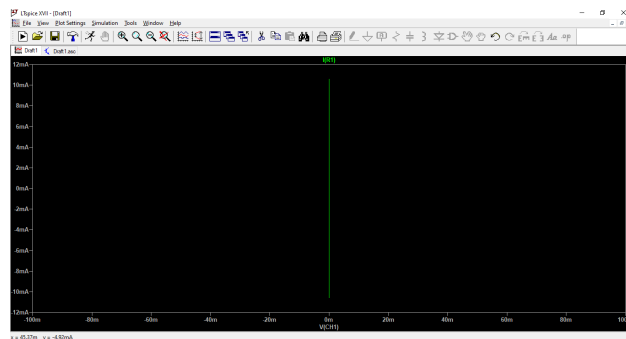


Figure 8: Gráfico do curto-circuito simulado computacionalmente.

4.2.3 Resistor

O terceiro experimento foi projetado com uma resistência de $2.0K\Omega$ no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 9. O circuito foi montado como apresentado na figura 10. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio é uma linha reta enclinada, que representa bem a relação da lei de Ohm, $V = R \times I$ (Johnson, Hilburn e Johnson, 2015), figura 11, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 12.

Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

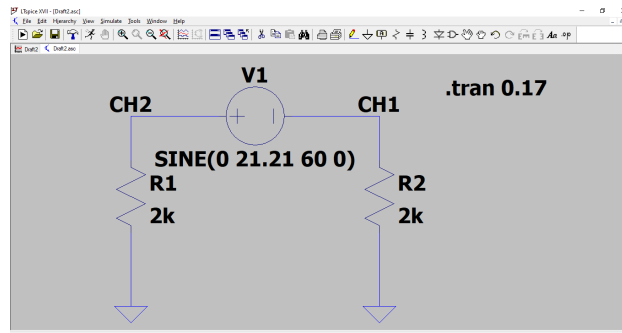


Figure 9: Circuito com resistor de $2.0K\Omega$.

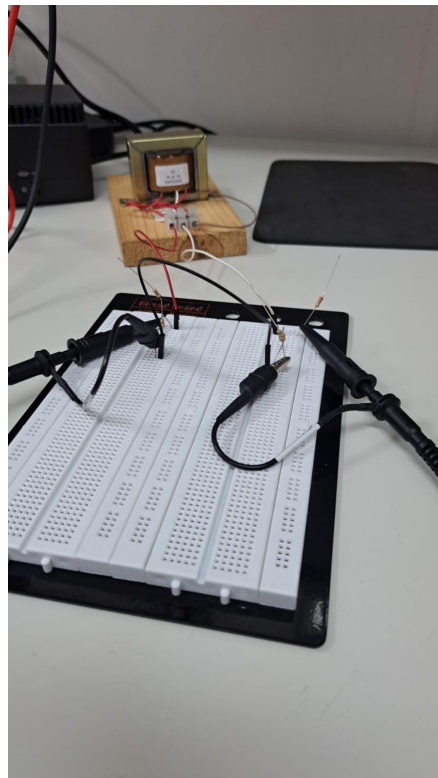


Figure 10: Montagem do circuito com resistor de $2.0K\Omega$ para o experimento.

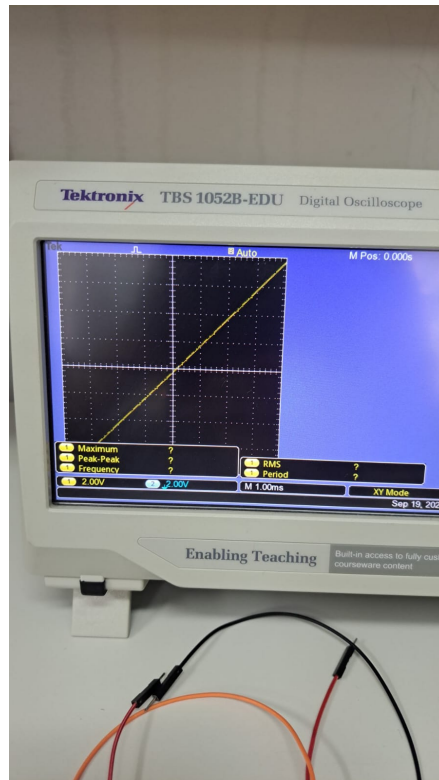


Figure 11: Gráfico do osciloscópio para o circuito com resistor de $2.0K\Omega$.

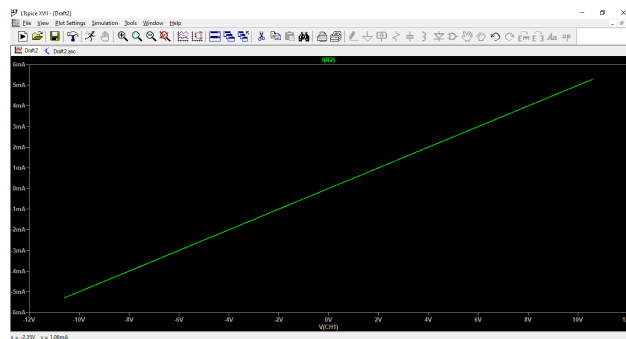


Figure 12: Gráfico do circuito com resistor de $2.0K\Omega$, simulado computacionalmente.

4.2.4 Diodo no sentido direto

O quarto experimento foi projetado com um diodo de silício, no sentido da corrente (direto), no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 13. O circuito foi montado como apresentado na figura 14. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio é a curva exponencial característica do funcionamento de um diodo de silício com $V_k \approx 0.7V$, figura 15, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 16.

Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

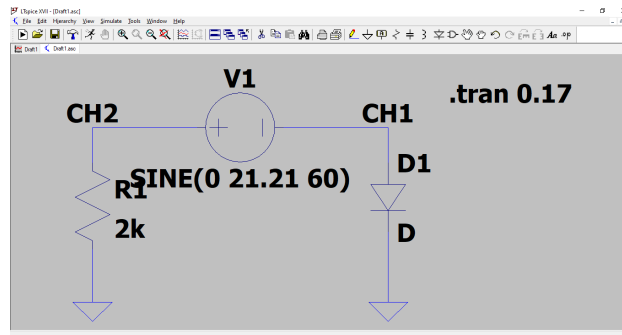


Figure 13: Circuito com diodo no sentido direto.

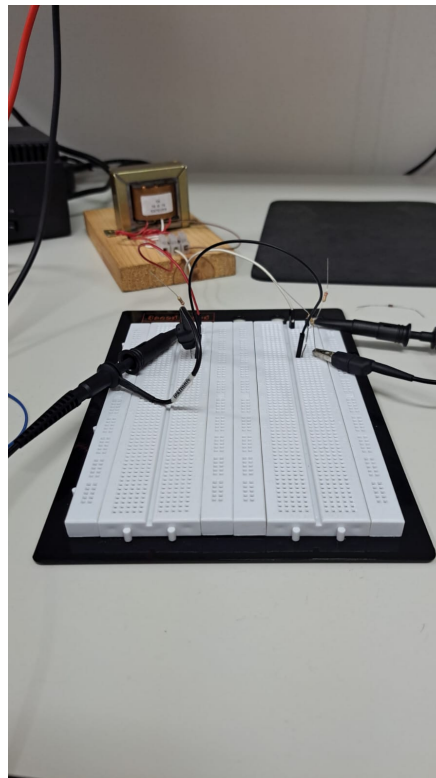


Figure 14: Montagem do circuito com diodo no sentido direto.

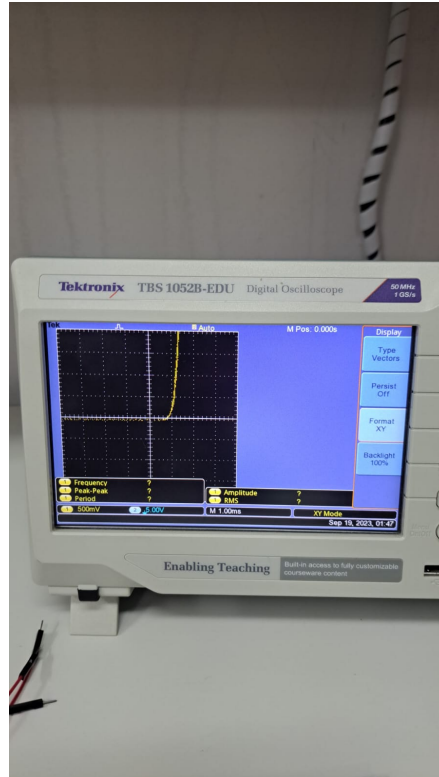


Figure 15: Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto.

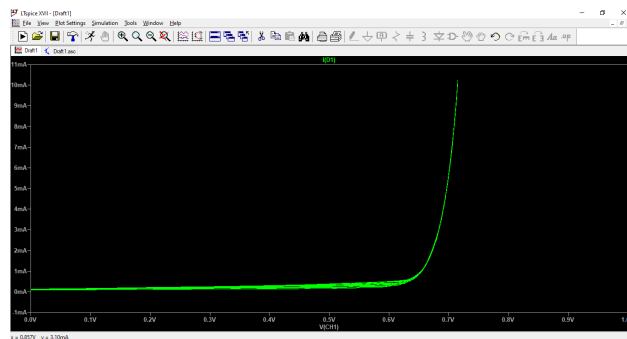


Figure 16: Gráfico do circuito com diodo no sentido direto, simulado computacionalmente.

4.2.5 Diodo zener no sentido direto

O quinto experimento foi projetado com um diodo zener, no sentido da corrente (direto), no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 17. O circuito foi montado como apresentado na figura 18. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio é a curva exponencial característica do funcionamento de um diodo com $V_k \approx 0.7V$, figura 19, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 20.

Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

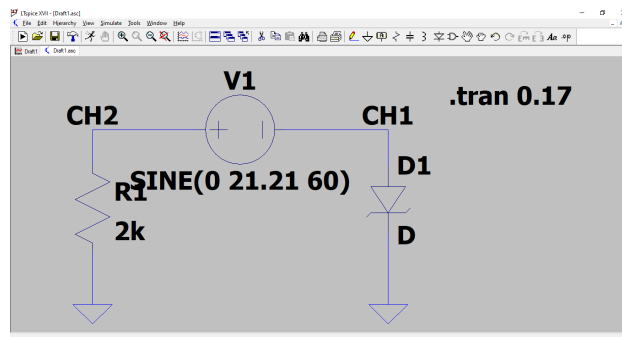


Figure 17: Circuito com diodo zener no sentido direto.

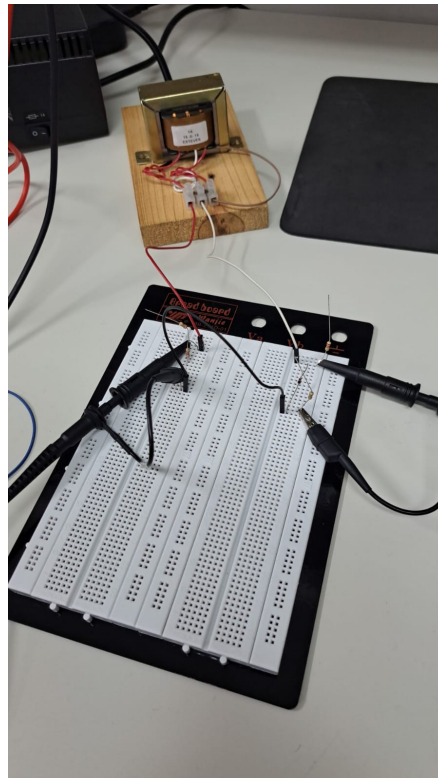


Figure 18: Montagem do circuito com diodo zener no sentido direto.

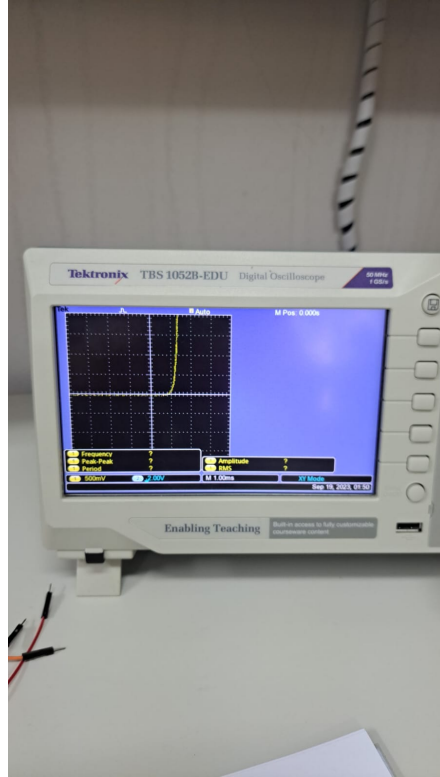


Figure 19: Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo zener no sentido direto.

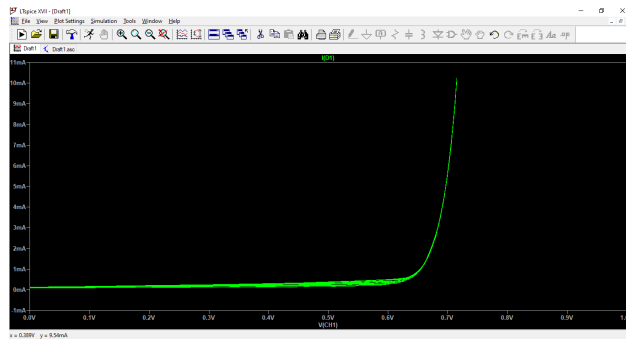


Figure 20: Gráfico do circuito com diodo zener no sentido direto, simulado computacionalmente.

4.2.6 Diodo zener no sentido direto em série com resistor

O sexto experimento foi projetado com um diodo zener, no sentido da corrente (direto), em série com um resistor de $2.0K\Omega$, esses dois dispositivos no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 21. O circuito foi montado como apresentado na figura 22. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio é um segmento de reta onde o diodo atua como uma bateria quando na região onde $V_k \approx 0.7V$ associado a uma resistencia, apresentando assim um segmento de reta característico da equação de Ohm para resistores (modelo de retas, ou segmentos lineares) (Sedra e Smith, 2007), figura 23, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 24.

Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

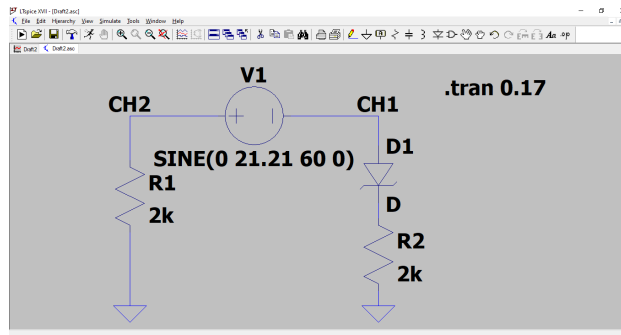


Figure 21: Circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$.

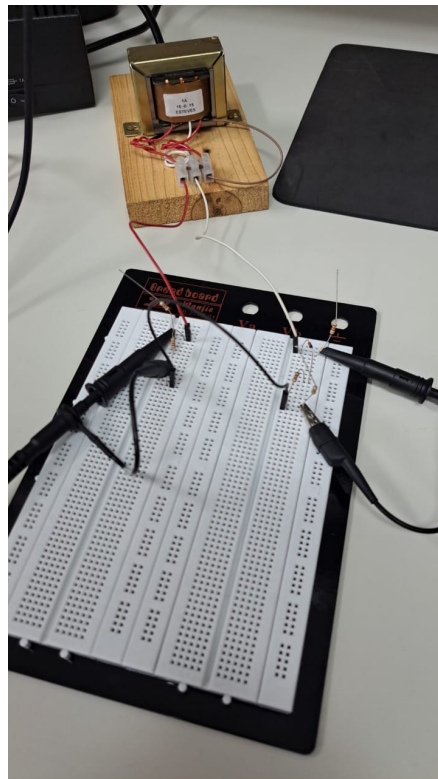


Figure 22: Montagem do circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$.

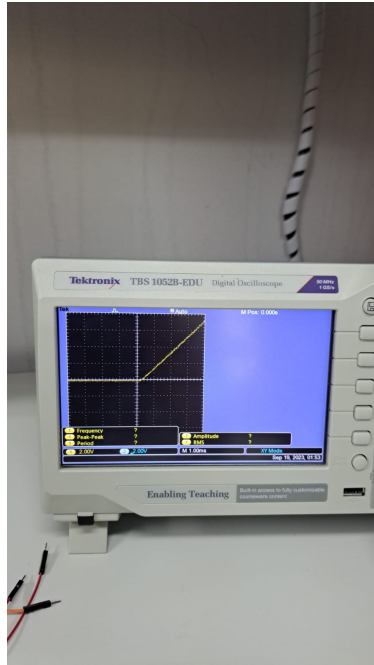


Figure 23: Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$.

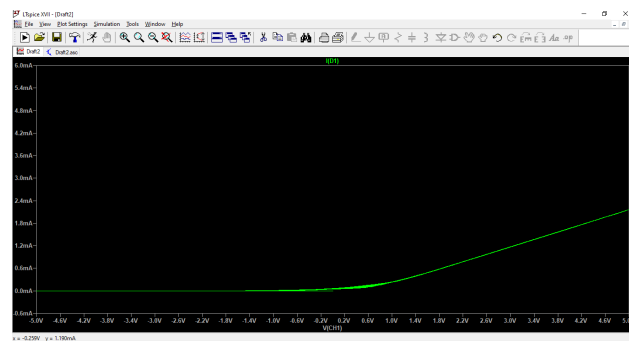


Figure 24: Gráfico do circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$, simulado computacionalmente.

4.2.7 Diodo zener no sentido reverso em série com resistor

O sétimo experimento foi projetado com um diodo zener, no sentido da reverso, em série com um resistor de $2.0K\Omega$, esses dois dispositivos no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 25. O circuito foi montado como apresentado na figura 26. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio é um segmento de reta onde o diodo zener atua como uma bateria quando na região ruptura onde $V_{ZK} \approx -1.4V$ associado a uma resistencia, apresentando assim um segmento de reta característico da equação de Ohm para resistores (modelo de retas, ou segmentos lineares) (Sedra e Smith, 2007) , figura 27, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 28. Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

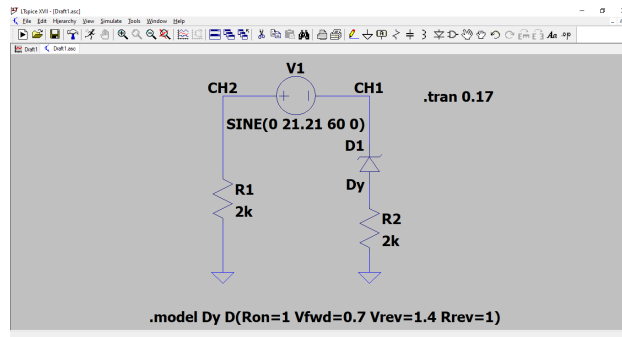


Figure 25: Circuito com diodo zener no sentido direto em série com resistor de $2.0K\Omega$.

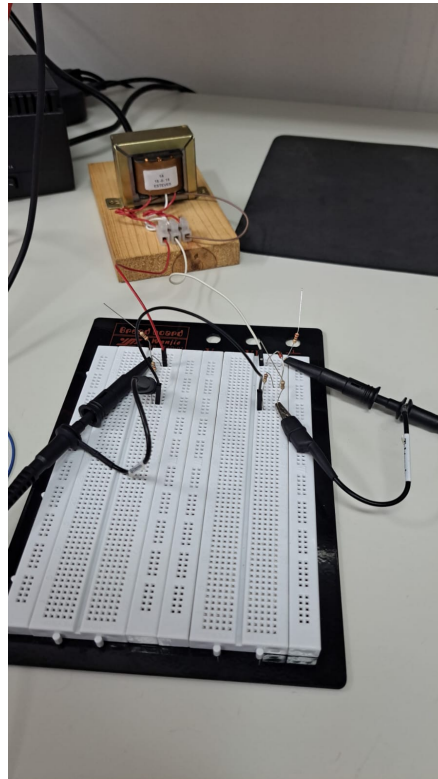


Figure 26: Montagem do circuito com diodo zener no sentido reverso em série com resistor de $2.0K\Omega$.

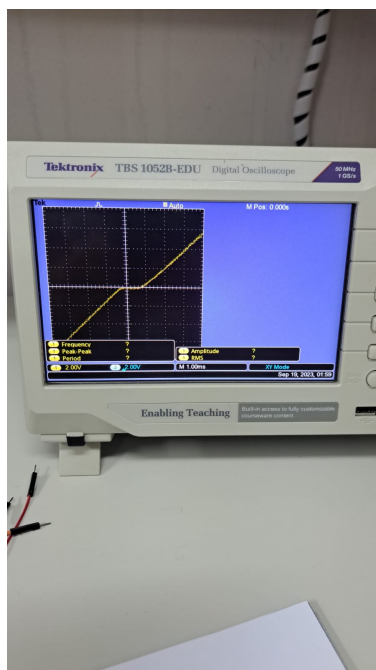


Figure 27: Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo zener no sentido reverso em série com resistor de $2.0K\Omega$.

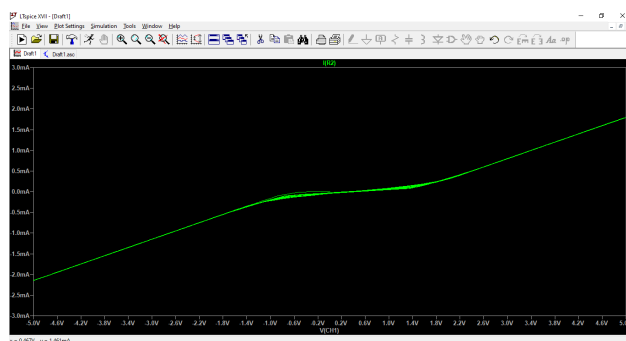


Figure 28: Gráfico do circuito com diodo zener no sentido reverso em série com resistor de $2.0K\Omega$, simulado computacionalmente.

4.2.8 Diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto

O oitavo experimento foi projetado com um diodo, no sentido direto, em série com um diodo zener, no sentido da direto, esses dois dispositivos no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 29. O circuito foi montado como apresentado na figura 30. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio é a soma dos V_K , $V_K \approx 1.4V$, figura 31, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 32.

Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

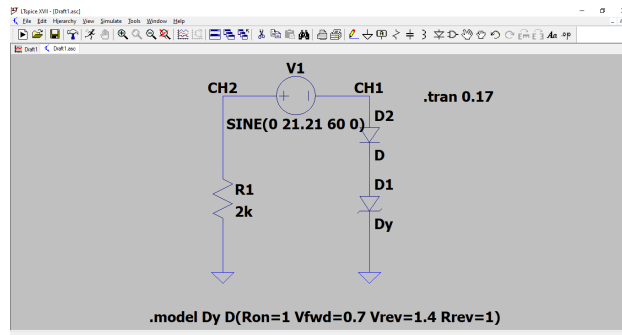


Figure 29: Circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto.

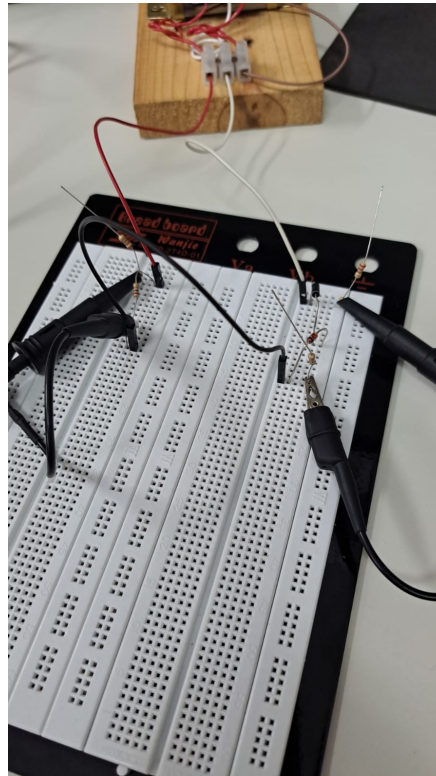


Figure 30: Montagem do circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto.

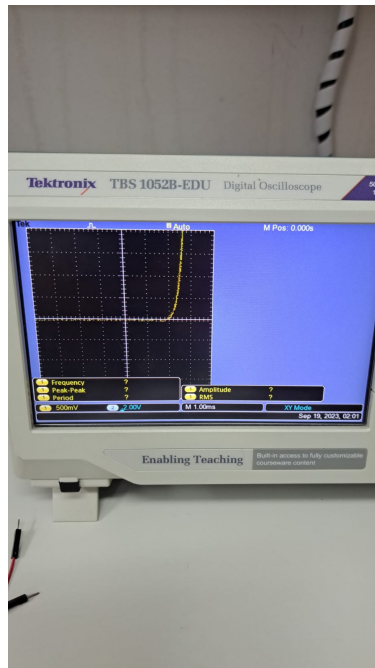


Figure 31: Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto.

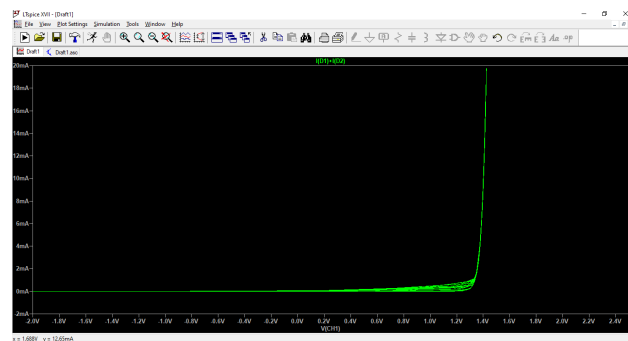


Figure 32: Gráfico do circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido direto, simulado computacionalmente.

4.2.9 Diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso

O nono experimento foi projetado com um diodo, no sentido direto, em série com um diodo zener, no sentido da reverso, esses dois dispositivos no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 33. O circuito foi montado como apresentado na figura 34. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio é a soma do V_K do diodo com o V_{ZK} do diodo zener, $V_K \approx 2.1V$, figura 35, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 36.

Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

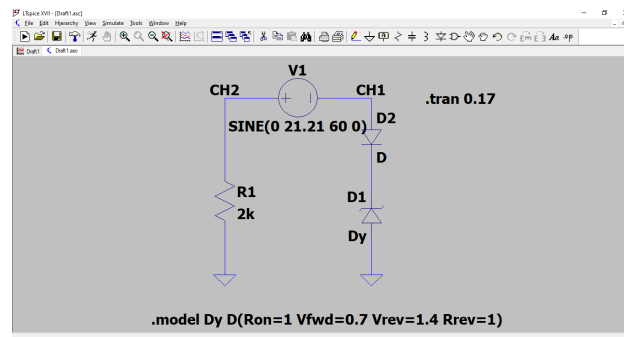


Figure 33: Circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso.

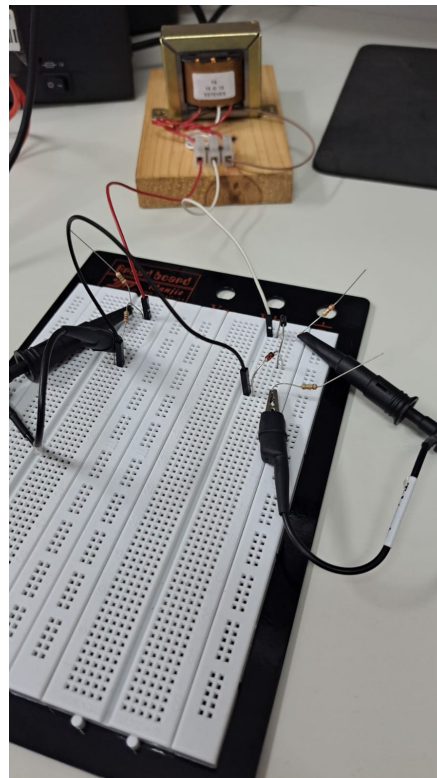


Figure 34: Montagem do circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso.

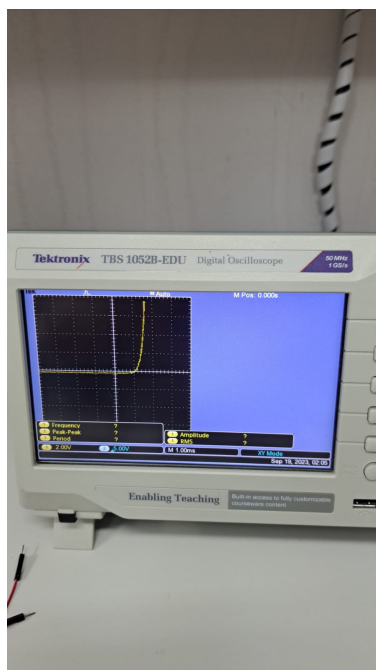


Figure 35: Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso.

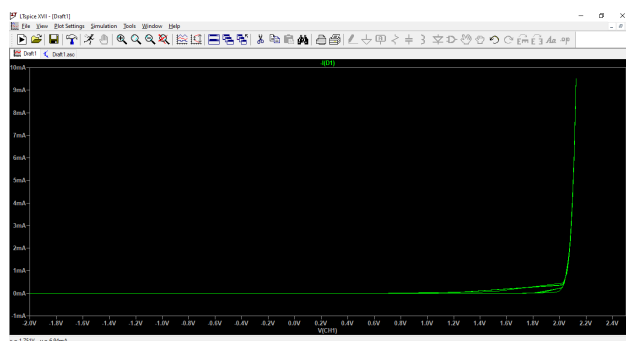


Figure 36: Gráfico do circuito com diodo no sentido direto em série com diodo zener no sentido reverso, simulado computacionalmente.

4.2.10 Diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto

O décimo experimento foi projetado com um diodo, no sentido direto, em paralelo com um diodo zener, no sentido da direto, esses dois dispositivos no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 37. O circuito foi montado como apresentado na figura 38. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio, figura 39, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 40.

Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

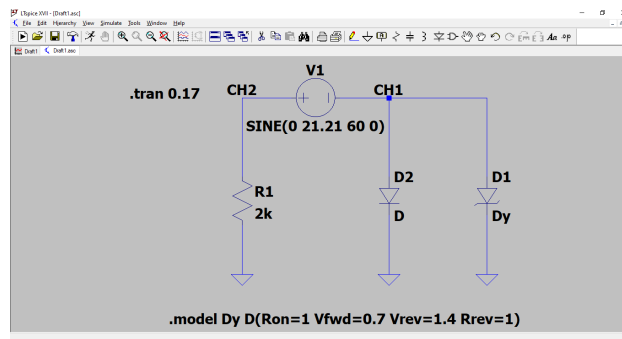


Figure 37: Circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto.

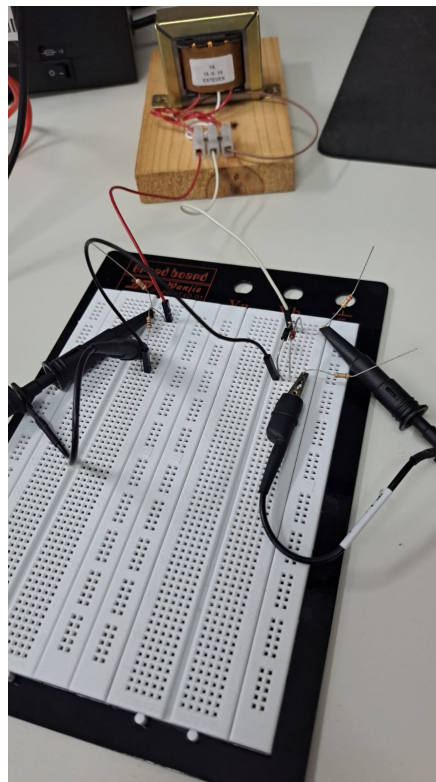


Figure 38: Montagem do circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto.

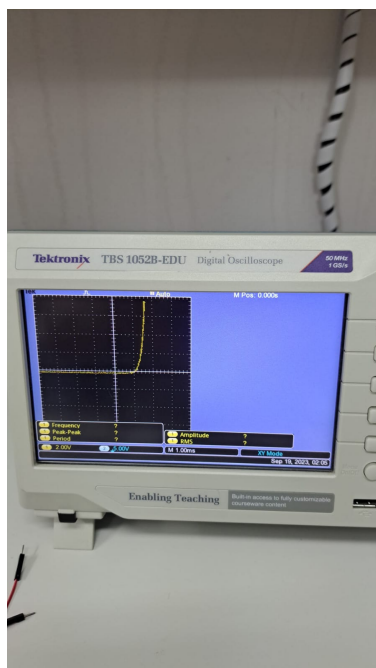


Figure 39: Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto.

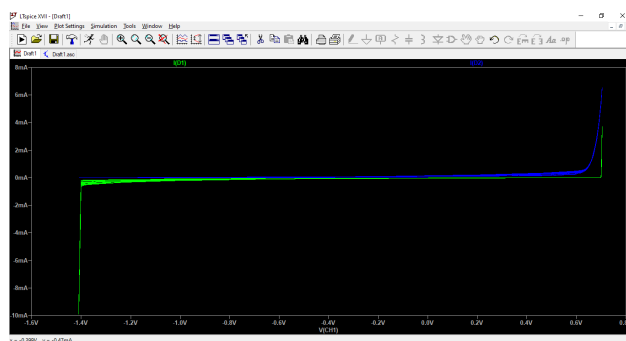


Figure 40: Gráfico do circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido direto, simulado computacionalmente.

4.2.11 Diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso

O décimo primeiro experimento foi projetado com um diodo, no sentido direto, em paralelo com um diodo zener, no sentido da reverso, esses dois dispositivos no lugar do dispositivo de teste, como pode ser observado pela figura 41. O circuito foi montado como apresentado na figura 42. O resultado obtido pelo gráfico presente no osciloscópio, figura 43, e o resultado esperado é o simulado computacionalmente pela figura 44. Como pode ser observado, o gráfico obtido pelo osciloscópio e o simulado são semelhantes, mostrando que o experimento foi bem-sucedido.

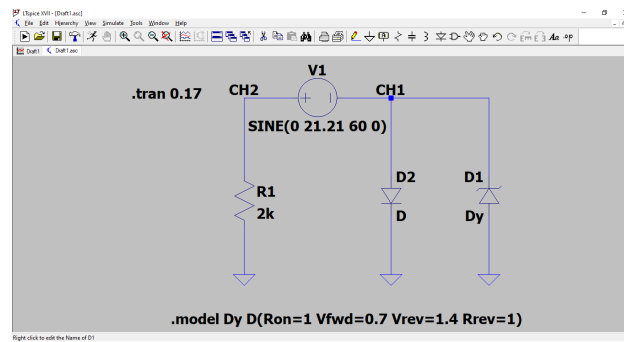


Figure 41: Circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso.

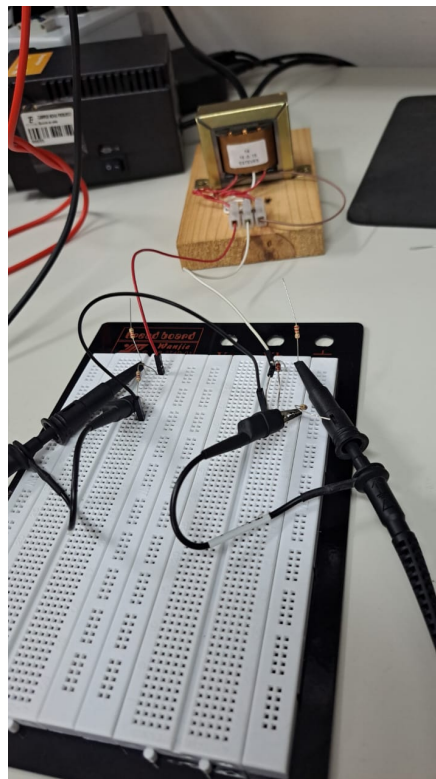


Figure 42: Montagem do circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso.

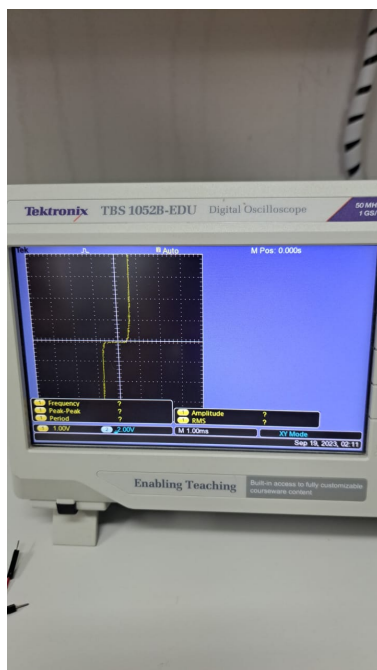


Figure 43: Gráfico do osciloscópio para o circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso.

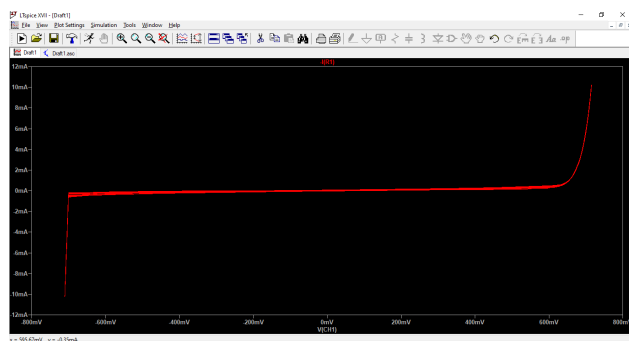


Figure 44: Gráfico do circuito com diodo no sentido direto em paralelo com diodo zener no sentido reverso, simulado computacionalmente.

5 CONCLUSÃO

BIBLIOGRAFIA

JOHNSON, D. E.; HILBURN, J. L.; JOHNSON, J. R. **Fundamentos de Análise de Circuitos Elétricos** - 4ed. [s.l.] Editora LTC, 2015.

SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. **Microeletrônica**. [s.l.] Pearson Makron Books, 2007.