



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
ESTADO DO AMAZONAS  
CAMPOS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL  
CURSO TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL**

**JOSÉ PAULO ARAÚJO ROCHA NASCIMENTO**

**CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DO DIODO ZENER**

**MANAUS - AM**

**2023**

**JOSÉ PAULO ARAÚJO ROCHA NASCIMENTO**

**CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DO DIODO ZENER**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM/CMDI), como requisito para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica Industrial.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N244c Nascimento, José Paulo Araújo Rocha.  
Caracterização elétrica do Diodo Zener / José Paulo Araújo Rocha. — Manaus, 2023.  
45f.: il. (color).

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial, 2023.  
Orientador: Prof.º Celso Souza Cordeiro, Esp.

1. Caracterização elétrica. 2. Diodo Zener. 3. Multisim. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.381

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/nº 734)

## ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 23 dias do mês de fevereiro de 18:30 às 19:30 h, o(a) discente **JOSÉ PAULO ARAÚJO ROCHA NASCIMENTO**, apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro (docente-orientador), Prof. Ms. José Geraldo de Pontes e Souza (Membro 1) e Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro (Membro 2). A sessão pública de defesa foi aberta pelo(a) presidente da banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC, que tem como título "CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DO DIODO ZENER".

Na sequência, o(a) discente teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho. Cada integrante da banca examinadora fez suas arguições após a defesa do mesmo. Ouvidas as explicações do(a) discente, a banca examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou e decidiu pela aprovção com média final 7,0 (sete) do referido trabalho.

Foi dada ciência ao(à) discente que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia 13/03/2023 com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 19 h 30 min, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo(a) discente.

Prof.(a) Orientador(a)/Presidente: \_\_\_\_\_

Prof.(a) Avaliador 1: \_\_\_\_\_

Prof.(a) Avaliador 2: \_\_\_\_\_

Discente: \_\_\_\_\_

### *Dedicatórias*

*Aos meus pais, pelas angustias e preocupações que passaram por minha causa, por terem dedicado suas vidas a mim, pelo amor, carinho e estímulo que ofereceram, e por não estarem mais entre a gente, dedico-lhes essa conquista como gratidão.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas IFAM

Agradeço ao meu orientador Professor Celso Sousa Cordeiro, pela paciência e carinho com que me acolheu;

Agradeço a meus professores que sempre souberam me encaminhar nos estudos;

Agradeço a meus colegas pelo apoio e estímulo.

## RESUMO

Este projeto de caracterização elétrica, para componentes eletrônicos, com polarização direta e reversa, Diodo Zener e Multisim. Tem a finalidade de caracterizar componentes eletrônicos como o diodo zener, através das polarizações direta e reversa, que terá a finalidade de capacitar alunos na sua formação acadêmica para desenvolvimento de circuitos complexos com carga, e sem carga na placa eletrônica, utilizando-se dos parâmetros de curvas analisadas em uma fonte de tensão e multímetro digitais, onde os dados dos componentes serão inseridos através de um programa de dados eletrônico, neste caso, o simulador de ambiente gráfico, o multisim, que estará preparado para esta tarefa de integração lógica.

**Palavras-chave** – Diodo Zener, Caracterização Elétrica, Curva Característica, Multisim.

## **ABSTRACT**

This electrical characterization project, for electronic components, with direct and reverse polarization, zener diode multisim has the purpose of characterizing electronic components such as the zener diode, through forward and reverse polarization, which will have the purpose to enable students in their academics training to develop complex circuits with and without load on the electronic board, using the parameters, of curves analyzed in a voltage source and digital multimeter, where the component data will be inserted through a program of electronic data, in this case, the graphical environment simulator, the Multisim, which will be prepared for this logical integration task.

**Keywords** - Zener Diode, Electrical Characterization, Characteristic Curve, Multisim.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 Tema.....	11
1.2 Problema.....	11
1.3 Justificativa.....	12
1.4 Ojetivo.....	12
1.5 Objetivo Especifico.....	12
<b>2 REFERENCIAL TEORICO</b> .....	13
2.1 Conceito de diodo zener.....	13.....14
2.2 Curva característica dos componentes.....	15
2.3 Dados dos Componentes.....	16
2.4 Simulação eletrônica de tensão direta do diodo zener BZX 5V6.....	17
2.5 Simulação gráfica no ambiente de simulação multisim.....	18
<b>3 CARACTERÍSTICA ELÉTRICA DO DIODO ZENER</b> .....	19
3.1 Curvas características.....	19
3.2 Diodo zener com operação sem carga.....	19
3.3 Curvas características do zener com diferentes temperaturas.....	20
3.4 barreira de potencial.....	20
3.5 Família zener BZV55 com tipos B C.....	21
3.6 Família zener BZX e suas características.....	22
3.7 Família zener BZX55XXX e suas características.....	23
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	24
4.1 Local de estudo.....	24
4.2 Análise.....	24
4.2.1 Medição direta de anodo para catodo.....	24
4.2.2 Medição direta de catodo para anodo.....	25
4.3 Equações de zener a 5.6V.....	25
4.4 Equação do desvio padrão.....	25
4.5 Diodo de união PN polarizado diretamente.....	27
4.6 Diodo de união PN polarizado reversamente.....	28
4.7 Datasheet do componente diodo zener BZX 5V6.....	29
4.8 Datasheet do componente diodo zener BZX 5V6.....	30
4.9 Datasheet diodo zener BZX 5V6 IF VS VF valores típicos.....	31

4.10 Equação do diodo.....	31
5 RESULTADOS.....	32
5.1 medição real do componente eletrônico realizada na bancada de teste..	32
5.2 DC Power digital utilizada na bancada de testes para realização da caracterização dos componentes.....	33
5.3 Multímetro digital utilizado na bancada de testes em MADC.....	34
5.4 Protoboard Minipa utilizada na montagem do circuito com diodo zener..	35
5.5 TRAÇADOR DE CURVAS.....	36
5.6 Resultados no ambiente de simulação gráfica multisim .....	37
5.6.1 Analisar resultados.....	37
5.6.2 Análises dos gráficos.....	38
5.6.3 Ambiente grafico de simulação multisim.....	39
5.6.4 Media da tensão em voltagem vcc.....	40
5.6.5 Desvio padrão positivo da corrente.....	41
5.6.6 Desvio padrão negativo da média da corrente.....	42
5.6.7 Desvio padrão positivo da tensão.....	43
5.6.8 Desvio padrão negativo da corrente.....	44
5.6.9 Diodo zener virtual BZX 5V6.....	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
REFERENCIAS.....	47

## **1 INTRODUÇÃO**

Para que esse trabalho fosse desenvolvido, foi preciso fazer uma revisão bibliográfica detalhada visando a coleta de informações necessárias para entender as formas de como caracterizar um componente semicondutor, tal como um diodo zener, que foi projetado especialmente para funcionar diferentemente dos diodos retificadores comuns, que por sua vez, funcionam apenas no sentido direto.

Para entender o funcionamento do diodo zener, foi necessário buscar informações em alguns PDFs e livros eletrônicos, artigos científicos, manuais técnicos, entre outros, buscando o máximo possível de informações relativas aos dispositivos cujas características serão investigadas.

Com a revisão bibliográfica foi possível compreender sobre o funcionamento do componente e assim realizar um experimento em laboratório de caracterização elétrica do diodo zener, realizar o levantamento de suas curvas características através de medidas obtidas no experimento com multímetro e fonte de alimentação e comparar com os valores obtidos no experimento do circuito simulado no programa Multisim e com o Datasheet do componente fornecido pelo fabricante.

### **1.1 Tema**

Caracterização Elétrica do diodo zener

### **1.2 Problema**

Muitos estudantes realizam projetos e ensaios de circuitos com componentes com o diodo zener, alguns projetos dão errado devido ao componente não está dentro do especificado no Datasheet, para tanto existe uma grade necessidade de teste de qualidade dos componentes.

### **1.3 Justificativa**

O presente trabalho pretende auxiliar estudantes de cursos técnicos e nível superior no entendimento sobre caracterização de componentes eletrônicos, dar aos estudantes a exata noção das implicações do comportamento não linear dos dispositivos semicondutores para o funcionamento dos circuitos.

### **1.4 Objetivo**

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização elétrica do diodo zener, para tanto foi feita uma revisão bibliográfica sobre o funcionamento do componente e um experimento prático em laboratório, a montagem do circuito para a aquisição dos pontos I vs V das curvas características.

### **1.5 Objetivo específico**

- Adquirir conhecimentos sobre o funcionamento do Diodo Zener;
- Caracterizar eletricamente o Diodo Zener;
- Realizar ensaios e testes em ambientes real e simulado utilizando o Diodo Zener;
- Utilizar o programa Multisim para levantamento de curva característica.

## 2 REFERÊNCIAL TEORICO

### 2.1 Conceito Diodo Zener

Segundo o físico americano Clarence Melvin Zener, Seitz, Frederick (09, 1986). O diodo zener, é também conhecido como diodo regulador de tensão.

De acordo com William F. Smith, importância da caracterização do diodo zener é fazer, com que a corrente mínima seja capaz de garantir que o diodo zener esteja operando corretamente, ou seja, os valores abaixo da corrente mínima fazem com que o componente não tenha a capacidade de entregar a sua principal característica como regulador de tensão. (SEITZ, 1986).

Os diodos de rupturas ou diodos zener, como são algumas vezes chamados, são retificadores de silício no qual a corrente reversa (corrente de fuga) é pequena. Porém um ligeiro acréscimo da voltagem de polarização reversa é suficiente para se atingir uma voltagem de ruptura caracterizada por um aumento muito rápido de corrente reversa. (SMITH, 1986).

O diodo zener possui dois limites de correntes para operação, um inferior ( $I_{Zmin}$ ) o outro superior ( $I_{Zmax}$ ).  $I_{Zmin}$  é menor corrente necessária para o zener atingir a tensão de ruptura ( $V_{ZK}$ ).  $I_{Zmax}$  é limitado pela máxima dissipação de potência do componente. [10]

O efeito avalanche, ou efeito zener, consiste em um aumento repentino da corrente reversa, dissipando uma potência suficiente para causar a ruptura da junção PN, danificando o diodo, e pode variar em função do tamanho e do nível de dopagem da junção PN. De 2 a 200 volts. [8].

Uma avalanche de elétrons é um processo no qual vários elétrons livres em um meio de transmissão são submetidos a uma forte aceleração por um campo elétrico e posteriormente colidem com outros átomos do meio, ionizando-os (ionização por impacto). Isso libera elétrons adicionais que aceleram e colidem com outros átomos, liberando mais elétrons – uma reação em cadeia. Em um gás, isso faz com que a região afetada se torne um plasma eletricamente condutor. [8].

O diodo zener pode funcionar polarizado diretamente ou inversamente, quando está polarizado diretamente, funciona como outro diodo qualquer, não conduz corrente elétrica enquanto a tensão aplicada aos seus terminais for inferior a aproximadamente 0,6 volts no diodo de silício, ou de 0,3 volts no diodo de germânio. [11].

Os diodos zener podem ser encontrados numa vasta variedade de tensões de operação, as quais estão associadas as tensões de ruptura. Assim como todos os diodos, os diodos zener também apresentam uma resistência interna nas regiões PN. Esta resistência pode provocar uma queda de tensão, além da tensão de ruptura. Comercialmente, podemos encontrar diodos zener, como reguladores de tensão, na faixa de 1,8 a 200 V. Quando polarizado diretamente o diodo zener opera como um diodo retificador normal. [S.ed.].

O valor de tensão inversa que faz com que o diodo zener entre em condução é denominado de tensão zener.

Tensão zener ( $V_Z$ ) é a tensão que, aplicada inversamente a um diodo zener, provoca a sua condução.

Enquanto houver corrente inversa circulando no diodo zener, a tensão sobre seus terminais se mantém praticamente no valor de tensão zener.

O funcionamento típico do diodo zener é com corrente inversa, o que estabelece uma tensão fixa sobre seus terminais.

É importante observar que, no sentido reverso, o diodo zener difere do diodo retificador convencional.

Um diodo retificador nunca chega a conduzir intensamente no sentido reverso e se isto acontecer o diodo estará em curto, danificado permanentemente.

O diodo zener é levado propositalmente a conduzir no sentido reverso, visando obter a tensão zener constante sobre seus terminais, sem que isto danifique o componente. [SENAI/SP].

## 2.2 Curva Característica dos componentes

A figura 1 da página seguinte, mostra como entender as características dos pontos I e V no gráfico cartesiano.

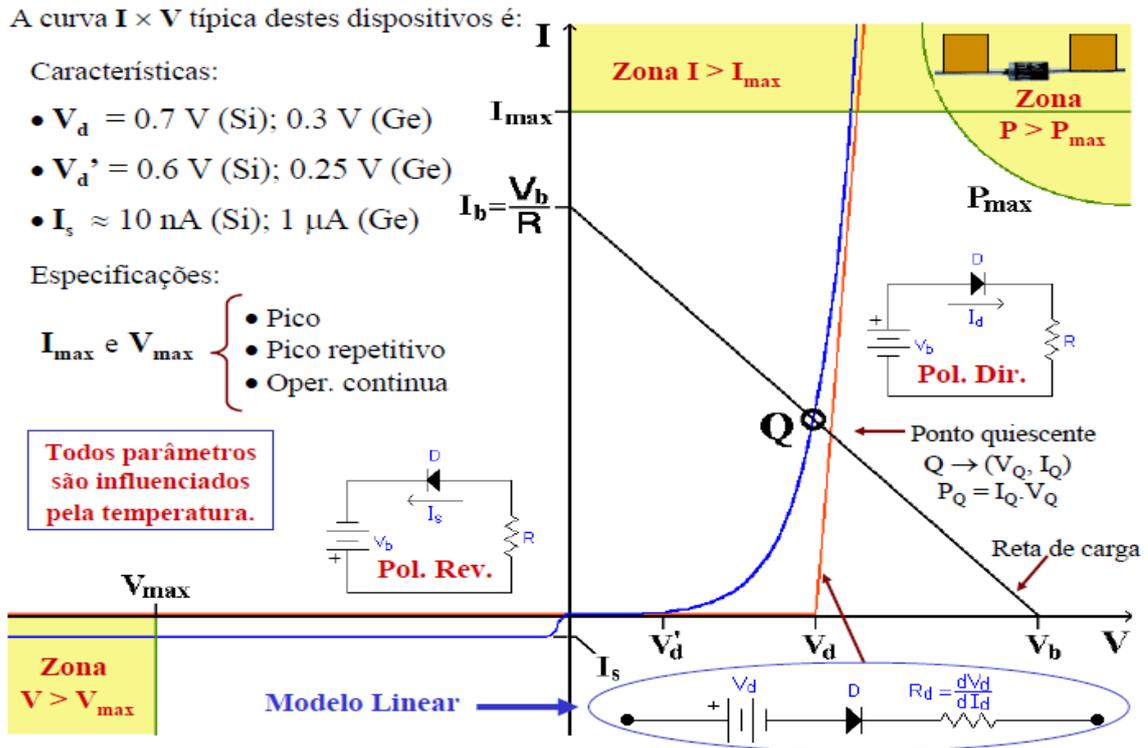


Figura 1- Gráfico do plano cartesiano polarização direta

Fonte: (J.R. Karchny)

### 2.3 Dados dos componentes

O diodo comum, é um componente formado por dois cristais de semicondutores de germânio ou silício. Porém na fabricação, o semicondutor é misturado a outras substâncias, formando assim um cristal do tipo N (ânodo) e outro do tipo P (cátodo).

Os diodos zener são construídos de modo que possam conduzir a corrente no modo reverso, com a tensão do cátodo maior que a do corpo do diodo. No modo direto ele conduz corrente como um diodo comum. No modo direto, essa condução começa a ocorrer com tensões de aproximadamente 0.7 V, podendo variar de acordo com o modelo do diodo. Figura 2 [S, I].

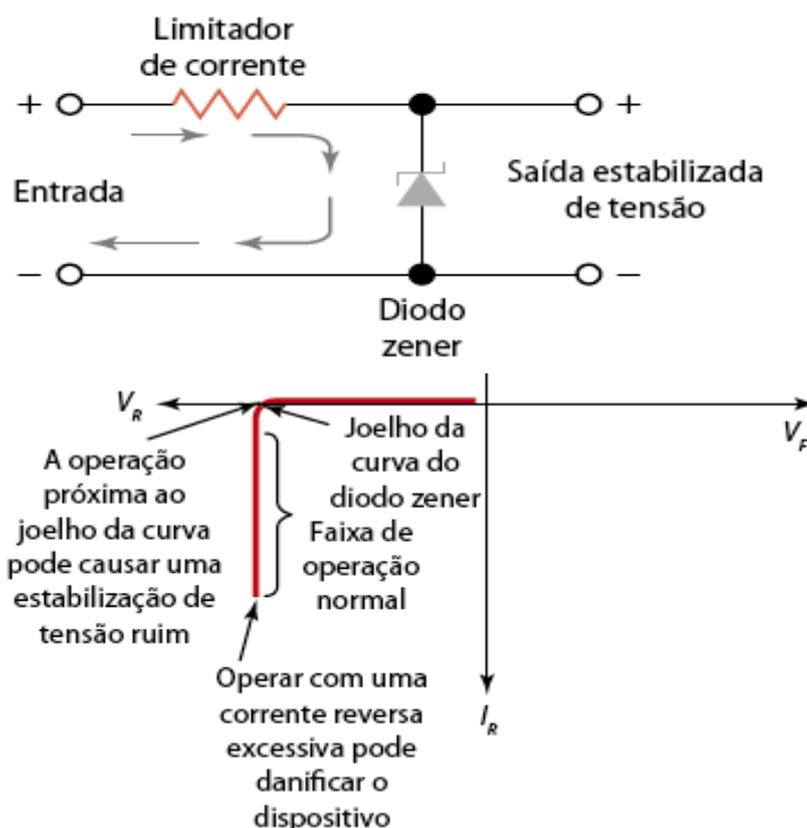


Figura 2 - Circuito zener com polarização direta  
Fonte: (Schuler)

## 2.4 Simulação eletrônica de tensão direta do diodo zener BZX5v6

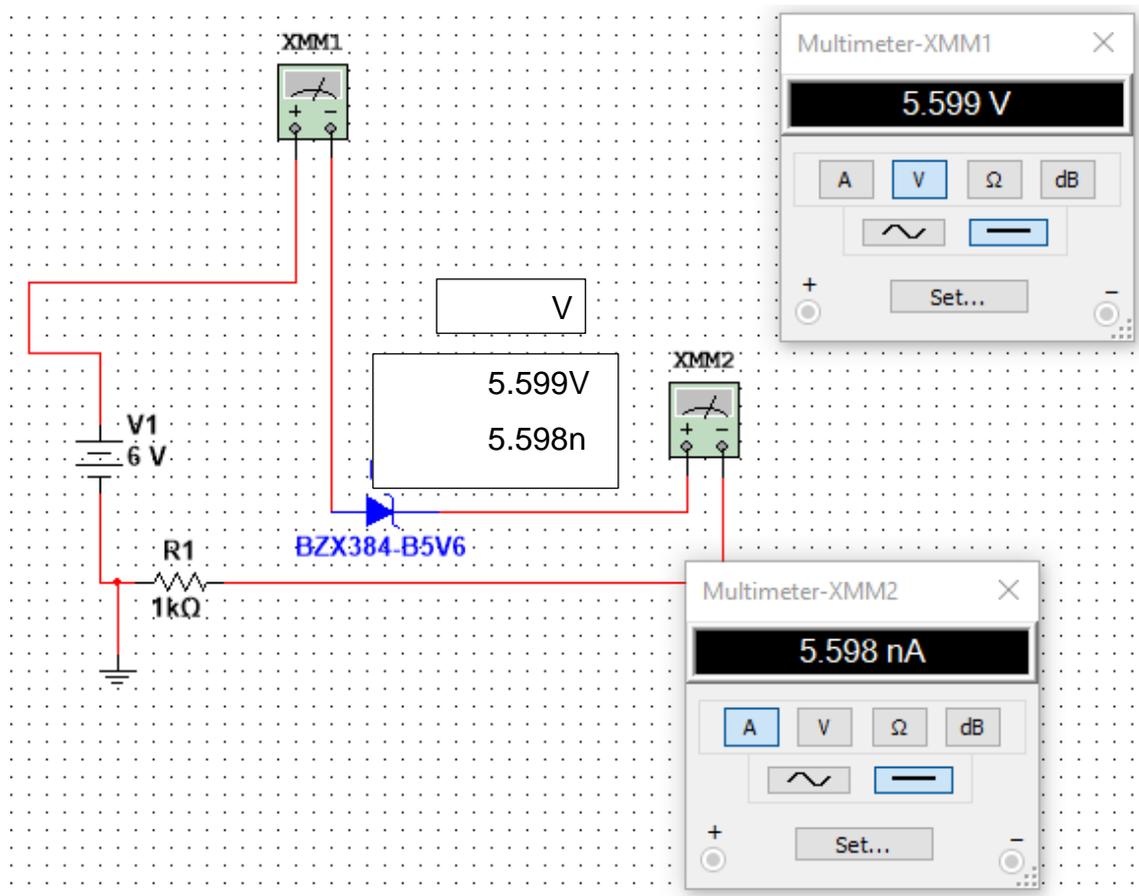


Figura 3 - Circuito Simulado no Multisim  
Fonte: (Autor)

Nesta simulação há dois multímetros conectados no circuito da fonte, para detecção de voltagem e amperagem. Tensão de entrada de 6 volts com resistor limitador de 1kΩ Tensão de saída de 5.599volts por 5.598nA de corrente.

## 2.5 Simulações gráfica do zener no ambiente de simulação multisim 14

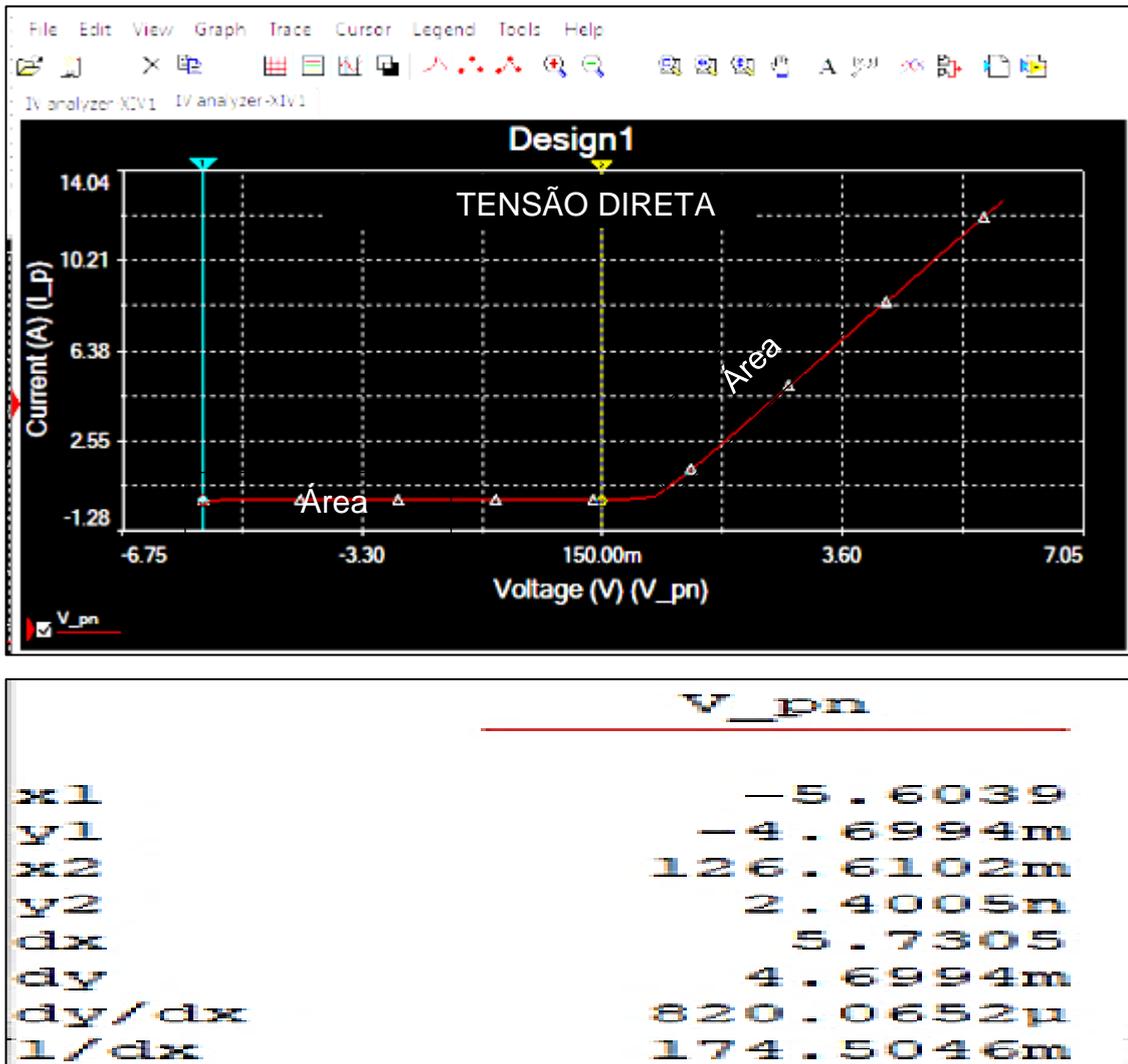


Figura 4 - Analisador XIV1

Fonte: (Multisim 14)

$$\frac{dy}{dx}(x) \cdot \left(\frac{4.699}{57305}\right) = \left\{ \frac{d}{dx} y(x) = 0.8199982550u \right.$$

$$\frac{\partial}{\partial x} Y(x) \text{ Regra da constante}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} C = 0 \quad \frac{\partial y}{\partial x} (X) = 0 = 0,8199982550$$

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} Y(X) = 0,8199982550 Y(X) + C$$

$$\frac{1}{dx} = \frac{1}{5.7305} = 0.1745048425094m$$

### 3 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO DIODO ZENER

Diodo Zener é um tipo especial de diodo, que por construção, intencionalmente, opera na região de ruptura. Este tipo de diodo, também chamado diodo de ruptura, é o elemento principal dos reguladores de tensão. Ou seja, é utilizado para garantir “tensão constante independente da corrente requisitada pela carga do circuito.

#### 3.1 Curva Características

uma simples observação da característica I-V na região direta, revela que a corrente tem um valor desprezável para V menor do que cerca de 0,5 V. Este valor é, usualmente, referido como tensão limiar de condução. Deve realçar-se, contudo, que está fronteira aparente na característica é simplesmente uma consequência da relação exponencial.

#### 3.2 Diodo zener com operação sem carga

Deve existir sempre um resistor para limitar a corrente na tensão de ruptura do diodo zener, caso contrário, assim como os diodos normais o zener queimaria por excesso de potência.

A corrente que circula por (RS) resistor limitador, é a corrente que circula pelo diodo zener.

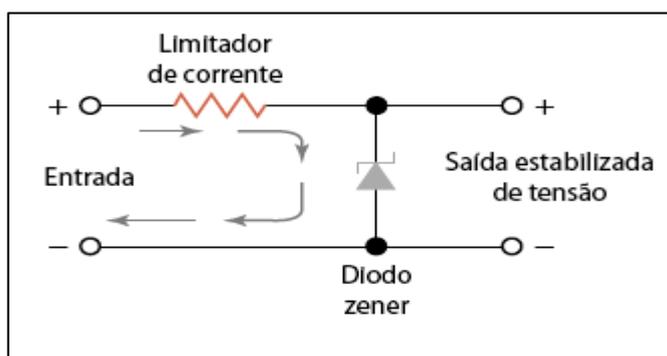


Figura 5 - Circuito Zener sem carga  
Fonte: (Schurle)

### 3.3 Curvas características de um zener com diferentes temperaturas

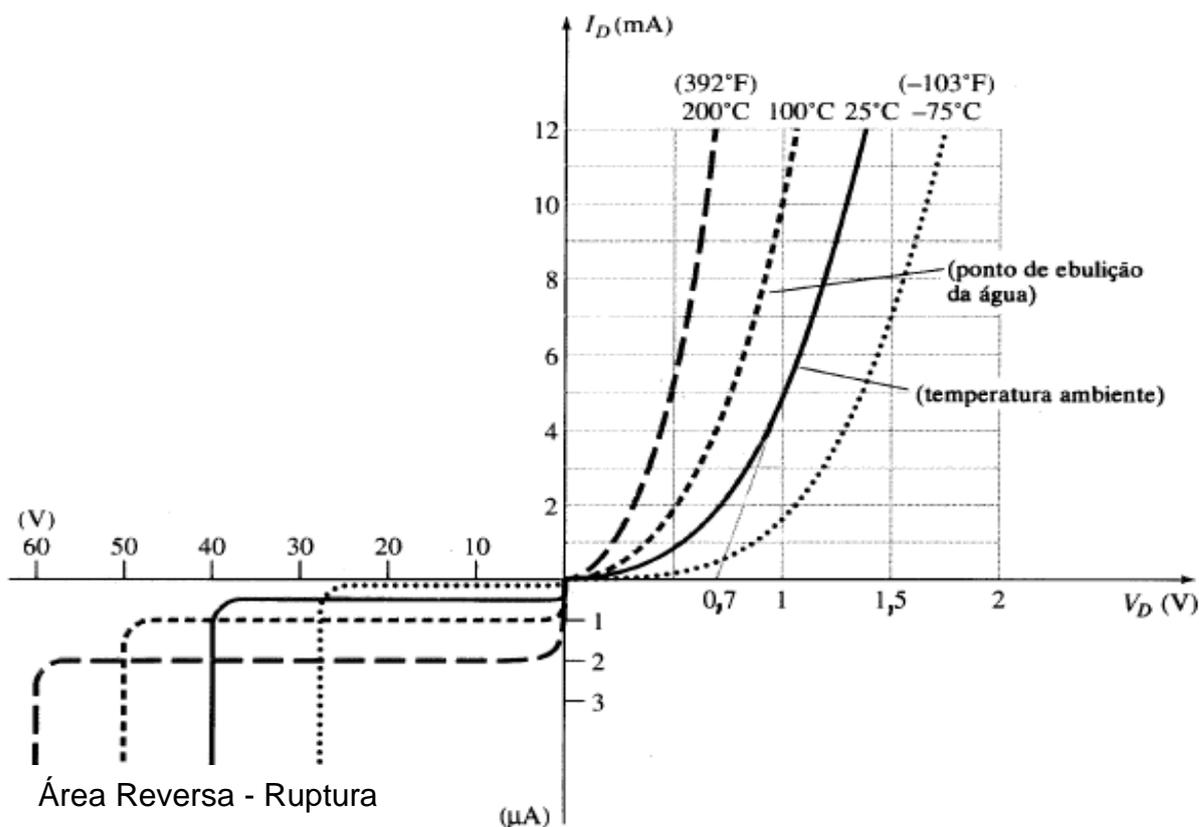


Figura 6 - Gráfico Cartesiano com diferentes temperaturas  
 Fonte: (Diodos Semicondutores Capítulo 1)

### 3.4 Barreira de potencial

A camada de depleção age como uma barreira impedindo a continuação da difusão de elétrons livres através da junção. A repulsão interna da camada de depleção interrompe a difusão dos elétrons livres através da junção.

A diferença de potencial através da camada de depleção é chamada barreira de potencial.

A 25°C, esta barreira de potencial é aproximadamente igual a 0,7 V para os diodos de silício. Os diodos de germânio têm barreira de potencial de 0,3 V.

### 3.5 Família zener BZV55 com tipos B C

Esta tabela indica as características por tipo de diodos, incluindo tensão máxima e mínima, resistência ôhmica, corrente máxima e mínima, O diodo em questão, é o BZV55BC 5.6 volts.

Table 8. Characteristics per type; BZV55-B2V4 to BZV55-C24 <i>T<sub>j</sub> = 25 °C unless otherwise specified.</i>												
BZV55-xx	Sel	Working voltage V <sub>Z</sub> (V)		Differential resistance r <sub>diff</sub> (Ω)				Temperature coefficient S <sub>Z</sub> (mV/K)			Diode capacitance C <sub>d</sub> (pF) <sup>[1]</sup>	Non-repetitive peak reverse current I <sub>ZSM</sub> (A) <sup>[2]</sup>
				I <sub>Z</sub> = 1 mA		I <sub>Z</sub> = 5 mA		I <sub>Z</sub> = 5 mA				
		Min	Max	Typ	Max	Typ	Max	Min	Typ	Max	Max	Max
2V4	B	2.35	2.45	275	600	70	100	-3.5	-1.6	0	450	6.0
	C	2.2	2.6									
2V7	B	2.65	2.75	300	600	75	100	-3.5	-2.0	0	450	6.0
	C	2.5	2.9									
3V0	B	2.94	3.06	325	600	80	95	-3.5	-2.1	0	450	6.0
	C	2.8	3.2									
3V3	B	3.23	3.37	350	600	85	95	-3.5	-2.4	0	450	6.0
	C	3.1	3.5									
3V6	B	3.53	3.67	375	600	85	90	-3.5	-2.4	0	450	6.0
	C	3.4	3.8									
3V9	B	3.82	3.98	400	600	85	90	-3.5	-2.5	0	450	6.0
	C	3.7	4.1									
4V3	B	4.21	4.39	410	600	80	90	-3.5	-2.5	0	450	6.0
	C	4.0	4.6									
4V7	B	4.61	4.79	425	500	50	80	-3.5	-1.4	0.2	300	6.0
	C	4.4	5.0									
5V1	B	5.0	5.2	400	480	40	60	-2.7	-0.8	1.2	300	6.0
	C	4.8	5.4									
5V6	B	5.49	5.71	80	400	15	40	-2.0	1.2	2.5	300	6.0
	C	5.2	6.0									

Figura 7 - Família Zener BZV55xxx  
Fonte: (Datasheet NXP Semiconductors)

### 3.6 Família zener BZX e suas características

A figura abaixo indica voltagem máxima e mínima, resistência ôhmica, corrente reversa, máxima e mínima, o diodo em questão, é o BZX de 5.6 volts.

**BZX2V0~39V**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25°C)**

Type	Zener Voltage at Iz=5mA Vz(v)		Dynamic resistance		Temp coeff of Zener volt at Iz=5mA AVz(%/°C) Typ	Reverse Current at Ta=25°C IR(mA)		Admissible Zener current Iz(mA) MAX.
			at Iz=5mA f=1KHz Rzj(Ω)	at Iz=5mA f=1KHz Rzj(Ω)		MAX.	VR(v)=	
	MAX.	MIN.	MAX.	MAX.	MAX.	MAX.	MAX.	
BZX2V0	2.10	1.90	100	1000	-0.075	120	0.7	165
BZX2V2	2.31	2.09	100	1000	-0.075	120	1.0	155
BZX2V4	2.52	2.28	100	1000	-0.070	120	1.0	145
BZX2V7	2.83	2.57	110	1000	-0.070	100	1.0	135
BZX3V0	3.15	2.85	120	1000	-0.070	50	1.0	130
BZX3V3	3.46	3.14	120	1000	-0.065	20	1.0	120
BZX3V6	3.78	3.42	120	1100	-0.055	10	1.0	110
BZX3V9	4.09	3.71	120	1200	-0.035	5	1.0	100
BZX4V3	4.51	4.09	120	1200	-0.030	5	1.0	90
BZX4V7	4.93	4.47	100	1200	-0.020	5	1.0	85
BZX5V1	5.35	4.85	70	1200	±0.010	5	1.5	78
BZX5V6	5.88	5.32	40	900	0.035	5	2.5	70
BZX6V2	6.51	5.89	30	500	0.035	5	3.0	64
BZX6V8	7.14	6.46	25	150	0.040	2	3.5	58
BZX7V5	7.87	7.13	25	120	0.052	0.5	4.0	53
BZX8V2	8.61	7.79	20	120	0.055	0.5	5.0	48
BZX9V1	9.55	8.65	20	120	0.055	0.5	6.0	43
BZX10	10.50	9.50	20	120	0.060	0.2	7.0	40

Figura 8 - Família Zener BZX2V0-10V  
Fonte: (Datasheet Daiwahk)

### 3.7 Família zener BZX55xxx e suas características

A figura 9 inclui voltagem máxima e mínima, Resistencia ôhmica, corrente máxima e mínima, o diodo em questão, é o BZX55C 5.6 volts.

Electrical Characteristics <small>TA = 25°C unless otherwise noted</small>											
Device	$V_Z$ (V)		$Z_Z$ ( $\Omega$ ) @	$I_{ZT}$ (mA)	$Z_{ZK}$ ( $\Omega$ ) @	$I_{ZT}$ (mA)	$V_R$ (V) @	$I_R$ ( $\mu$ A) @	$I_R$ ( $\mu$ A) $T_A = 150^\circ\text{C}$	$T_C$ (%/°C)	$I_{ZRM}$ (mA)
	MIN	MAX									
BZX55C 3V3	3.1	3.5	85	5.0	600	1.0	1.0	2.0	40	-0.060	115
BZX55C 3V6	3.4	3.8	85	5.0	600	1.0	1.0	2.0	40	-0.055	105
BZX55C 3V9	3.7	4.1	85	5.0	600	1.0	1.0	2.0	40	-0.050	95
BZX55C 4V3	4.0	4.6	75	5.0	600	1.0	1.0	1.0	20	-0.040	90
BZX55C 4V7	4.4	5.0	60	5.0	600	1.0	1.0	0.5	10	-0.020	85
BZX55C 5V1	4.8	5.4	35	5.0	550	1.0	1.0	0.1	2.0	+0.010	80
BZX55C 5V6	5.2	6.0	25	5.0	450	1.0	1.0	0.1	2.0	+0.025	70
BZX55C 6V2	5.8	6.6	10	5.0	200	1.0	2.0	0.1	2.0	+0.032	64
BZX55C 6V8	6.4	7.2	8.0	5.0	150	1.0	3.0	0.1	2.0	+0.040	58
BZX55C 7V5	7.0	7.9	7.0	5.0	50	1.0	5.0	0.1	2.0	+0.045	53
BZX55C 8V2	7.7	8.7	7.0	5.0	50	1.0	6.2	0.1	2.0	+0.048	47
BZX55C 9V1	8.5	9.6	10	5.0	50	1.0	6.8	0.1	2.0	+0.050	43
BZX55C 10	9.4	10.6	15	5.0	70	1.0	7.5	0.1	2.0	+0.055	40
BZX55C 11	10.4	11.6	20	5.0	70	1.0	8.2	0.1	2.0	+0.060	36
BZX55C 12	11.4	12.7	20	5.0	90	1.0	9.1	0.1	2.0	+0.065	32
BZX55C 13	12.4	14.1	26	5.0	110	1.0	10	0.1	2.0	0.070	29
BZX55C 15	13.8	15.6	30	5.0	110	1.0	11	0.1	2.0	0.070	27
BZX55C 16	15.3	17.1	40	5.0	170	1.0	12	0.1	2.0	0.075	24
BZX55C 18	16.8	19.1	50	5.0	170	1.0	13	0.1	2.0	0.075	21
BZX55C 20	18.8	21.1	55	5.0	220	1.0	15	0.1	2.0	0.080	20
BZX55C 22	20.8	23.3	55	5.0	220	1.0	16	0.1	2.0	0.080	18
BZX55C 24	22.8	25.6	80	5.0	220	1.0	18	0.1	2.0	0.080	16
BZX55C 27	25.1	28.9	80	5.0	220	1.0	20	0.1	2.0	0.085	14
BZX55C 30	28.0	32.0	80	5.0	220	1.0	22	0.1	2.0	0.085	13
BZX55C 33	31.0	35.0	80	5.0	220	1.0	24	0.1	2.0	0.085	12

$V_F$  Forward Voltage = 1.0 V Maximum @  $I_F = 100$  mA for all BZX 55 series

Figura 9 - Família Zener BZX55C  
Fonte: (Cin-UFPE)

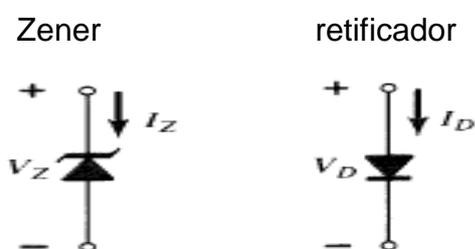
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Local de estudo

Nossa metodologia irá fazer uma revisão bibliográfica e um experimento de caracterização do componente diodo zener por meio de uso dos equipamentos do laboratório de Indústria II, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas.

### 4.2 Análise

A região zener na curva cai de uma forma quase vertical para um potencial de polarização reversa denominado de  $V_Z$ . O fato de a curva cair abaixo do eixo horizontal e se distanciar em vez de subir para a região  $V_D$  positiva, revela que a corrente na região zener, tem uma direção oposta àquela de um diodo polarizado diretamente. Esta região de característica única é empregada no projeto de diodo zener, ambos os diodos zener e retificador são mostrados na figura abaixo, para garantirem que o sentido da condução de cada um, foi muito bem entendido juntamente com a polaridade exigida para a tensão aplicada.



#### 4.2.1 Medição direta de anodo para catodo

Na medição direta, o zener passou a conduzir corrente, mas não estabilizou para a tensão de zener, porque se comportou como um diodo retificador de tensão, comum.

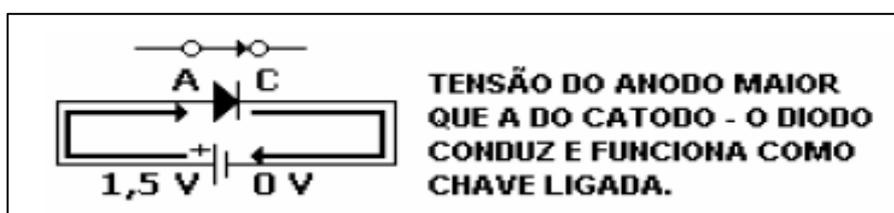


Figura 10 - Diodo Zener Polarizado diretamente  
Fonte: (Iburgos)

### 4.2.2 Medição reversa de catodo para anodo

Para que a corrente se estabilize, é preciso que no sentido reverso, a tensão aplicada em seus terminais, seja maior que o valor descrito no corpo do diodo zener, caso a tensão aplicada em seu terminal de cátodo para anodo, seja menor que o valor do zener, não conduzirá e nem estabilizará. Exemplo abaixo.

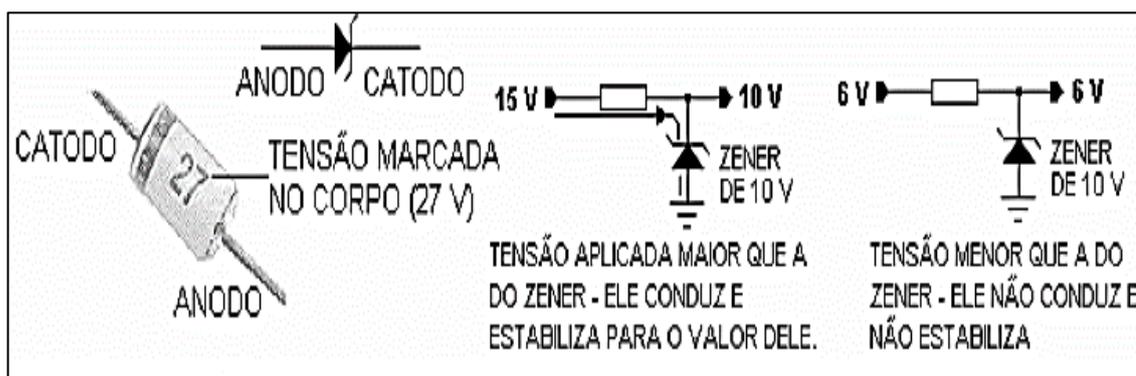


Figura 11 - Circuito Zener com tensão de estabilização de corpo  
Fonte: (Iburgos)

### 4.3 Equações zener a 5.6 V

com a tensão da fonte for menor que a tensão de regulagem do zener, temos:

$$(V_E < V_Z): i_s = V_E - V_Z / R_s$$

$$5.4V - 5.6V = \frac{-0.2}{1.000} = -0.0002A$$

com a tensão da fonte for maior que a tensão de regulagem do zener, temos:

$$(V_E > V_Z): i_s = V_E - V_Z / R_s$$

$$6.0 - 5.6 = \frac{0.4}{1.000} = 0.0004A$$

#### 4.4 Equação do desvio padrão

Esta equação do desvio padrão, foi aplicada nos cálculos automáticos dos gráficos do desvio padrão que serão vistos mais adiante através de gráficos, onde se verifica a porcentagem na produção do componente, se está boa ou ruim. Para isto se utiliza as somas das tensões e das correntes, tirando-se as medias de ambas as medições feitas no circuito a ser analisado.

Variância de dados não agrupados

$$\text{Amostra: } S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Variância de dados agrupados

$$\text{Amostra: } S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot f_i}{n - 1}$$

Desvio padrão

$$\text{Amostra: } S = \sqrt{S^2}$$

- (CV) coeficiente de variação ou (RSD) desvio padrão relativo

O CV ou RSD lhe dá a porcentagem do resultado da média do desvio padrão multiplicando a raiz por cem por cento sobre a média.

CV = % porcentagem

- Probabilidades na produção de 100 peças

± 1S →	65%	35%	sucata
± 2S →	95%	5%	bom
± 3S →	99,95%	0,05%	bom

Em uma linha de produção, a probabilidade de se obter uma peça defeituosa (sucesso) é de 10%

#### 4.5 Diodo de união PN polarizado diretamente

Na polarização direta os elétrons fluem no sentido contrário ao indicado na seta permitindo a passagem de elétrons livres pela junção PN e a condução só ocorre com tensões de aproximadamente acima de 1 volt.

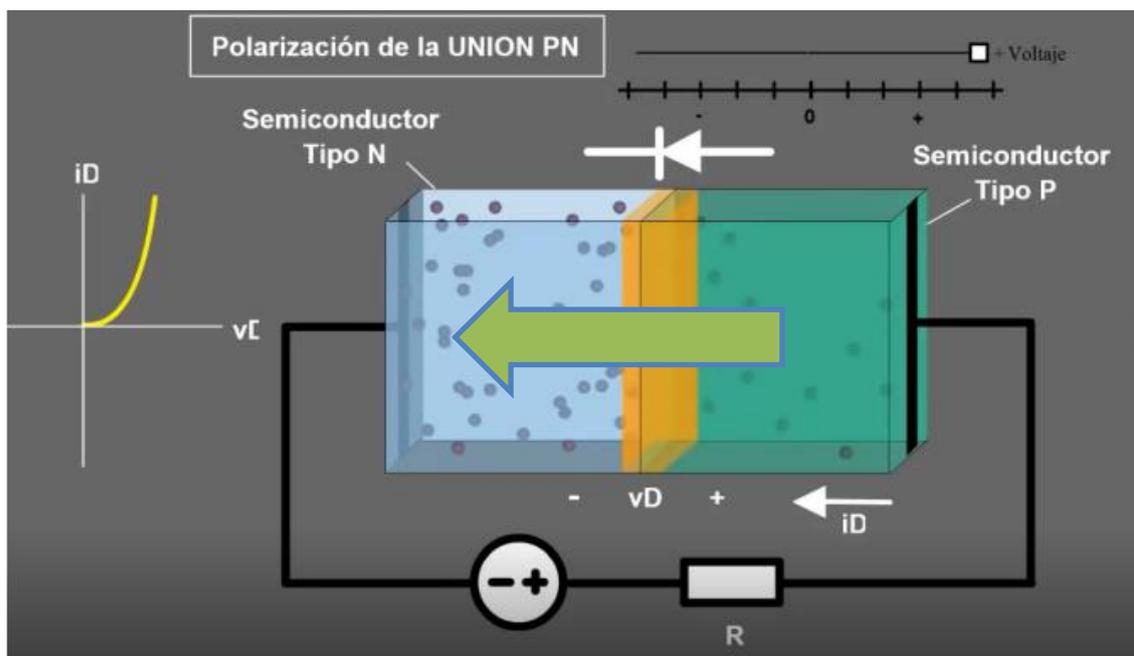


Figura 12 - Circuito zener no sentido direto com barreira de potencial  
Fonte: (Torchbrowser)

No diodo de união PN polarizado diretamente, os portadores majoritários se atraem até a união, e se cruzam para recombinar-se de maneira que flui uma corrente considerável. Nesse caso, temos uma porta aberta.

#### 4.6 Diodo de união PN polarizado inversamente

Na polarização reversa, os elétrons fluem no mesmo sentido indicado na seta e uma barreira de depleção é criada na junção PN aumentando a voltagem e impedindo o fluxo de corrente, que se torna muito pequena. E a condução só ocorre a partir de uma tensão bem definida.

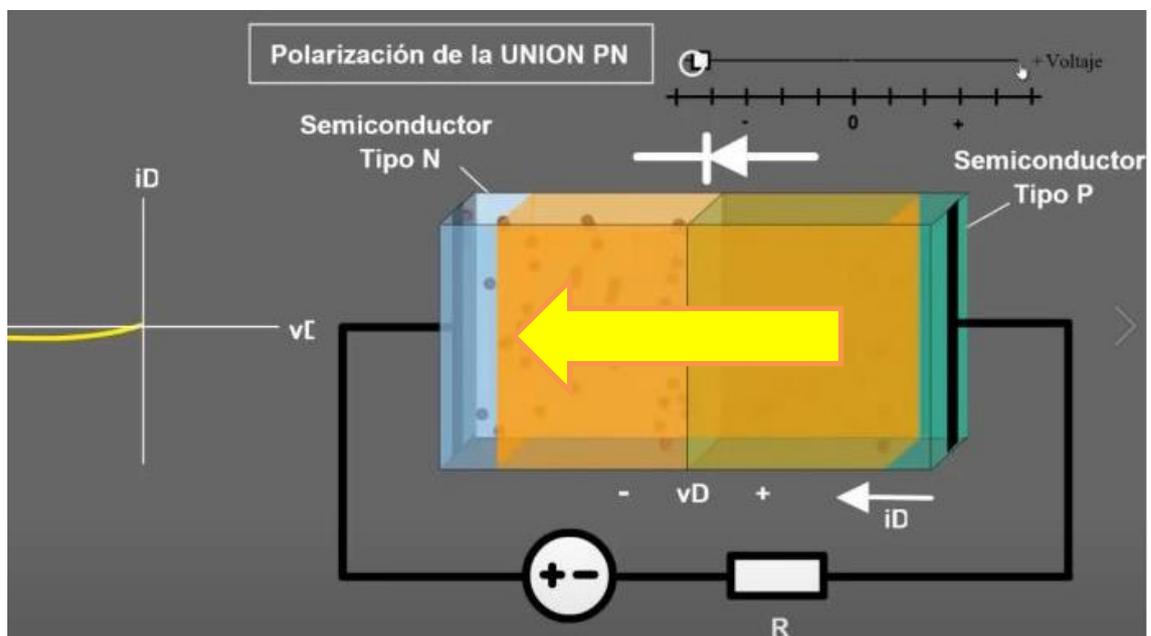


Figura 13 - Circuito Zener com polarização reversa e área de depleção  
Fonte: (Torchbrowser)

Os portadores majoritários são repelidos da união PN, criando uma região de depleção, quando a união está em equilíbrio, o fluxo de corrente devido aos portadores majoritários se reduz quase a zero. No entanto, os portadores minoritários estão polarizados diretamente, o que cria uma pequena corrente de fuga.

#### 4.7 Datasheet do componente diodo zener BZX5v6

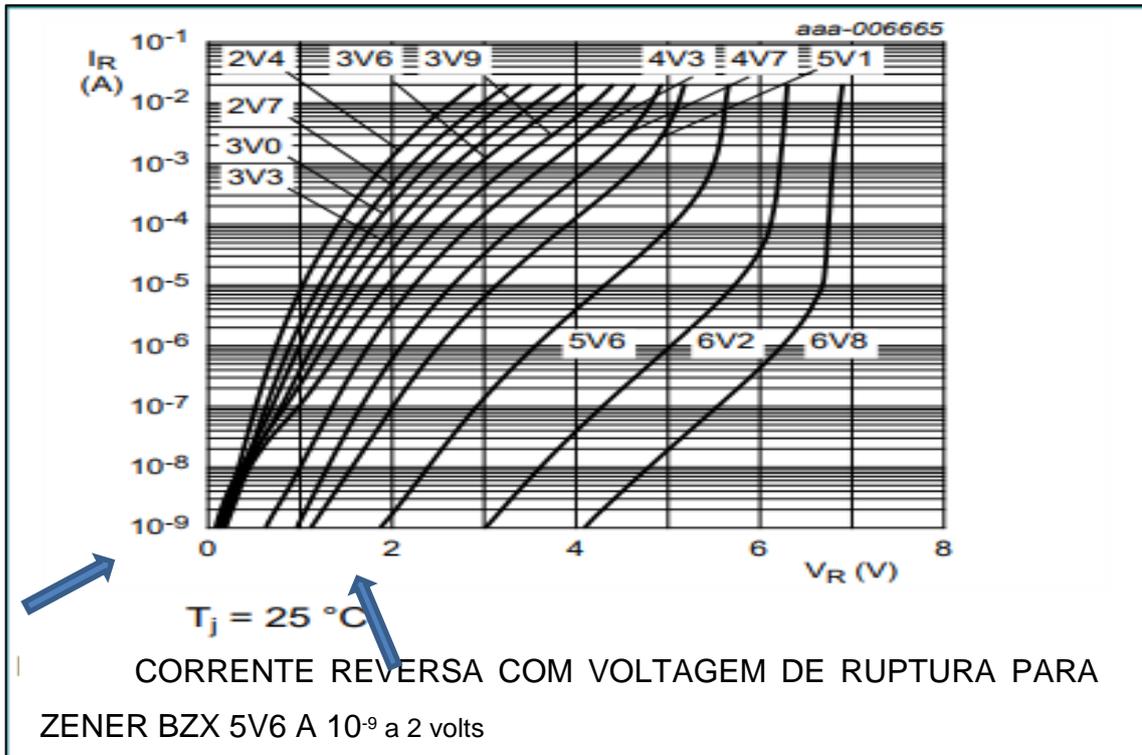


Figura 14 - Curvas características voltagem de ruptura ( $V_R$ ) do zener bzx5v6  
 Fonte: (Datasheet NPX Semicondutores)

#### EQUAÇÃO:

Valores da voltagem de ruptura do zener

$$\text{Log}_2(2 \cdot 10^{-9}) = (1/500000000) = 0,000000002 = -28.8973528539863$$

#### 4.8 Datasheet do componente diodo zener bzx 5v6

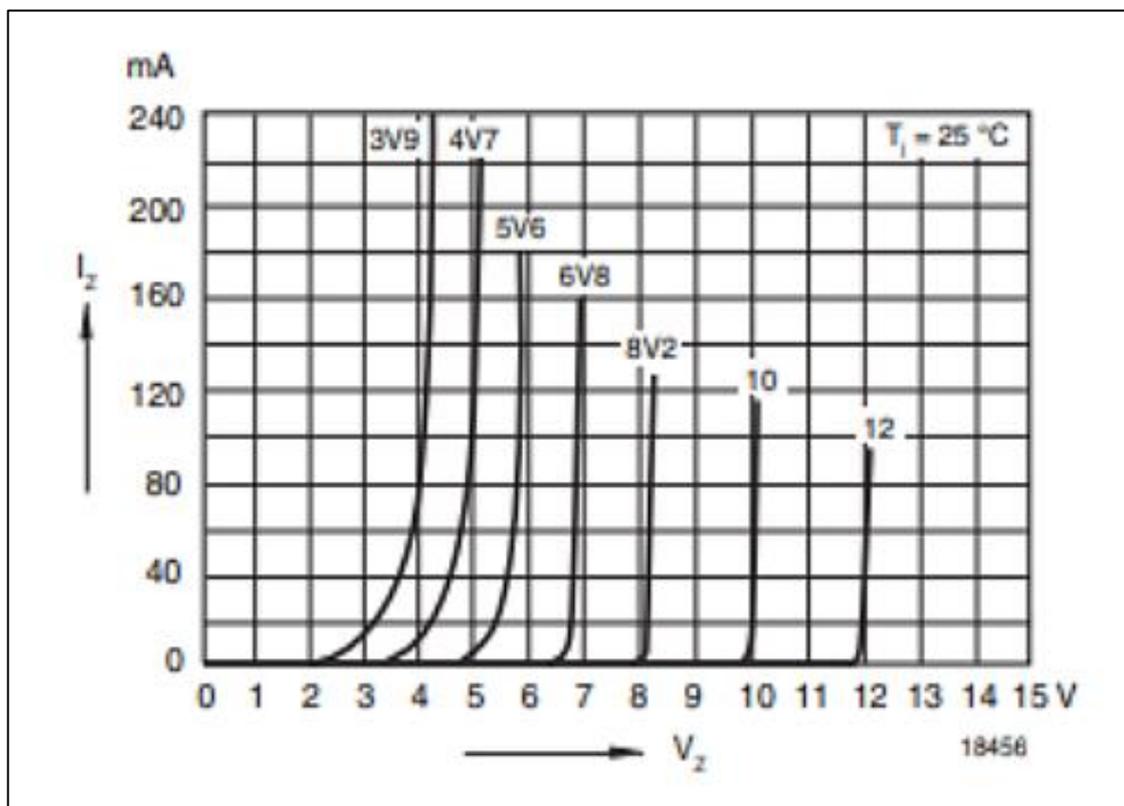


Figura 15 - curvas características da tensão de ruptura do zener bzx 5v6  
Fonte: (Vishay)

Temos aqui vários diodos de diversos valores medindo corrente e tensão direta.

#### 4.9 Datasheet diodo zener BZX 5v6 If vs Vf valores típicos

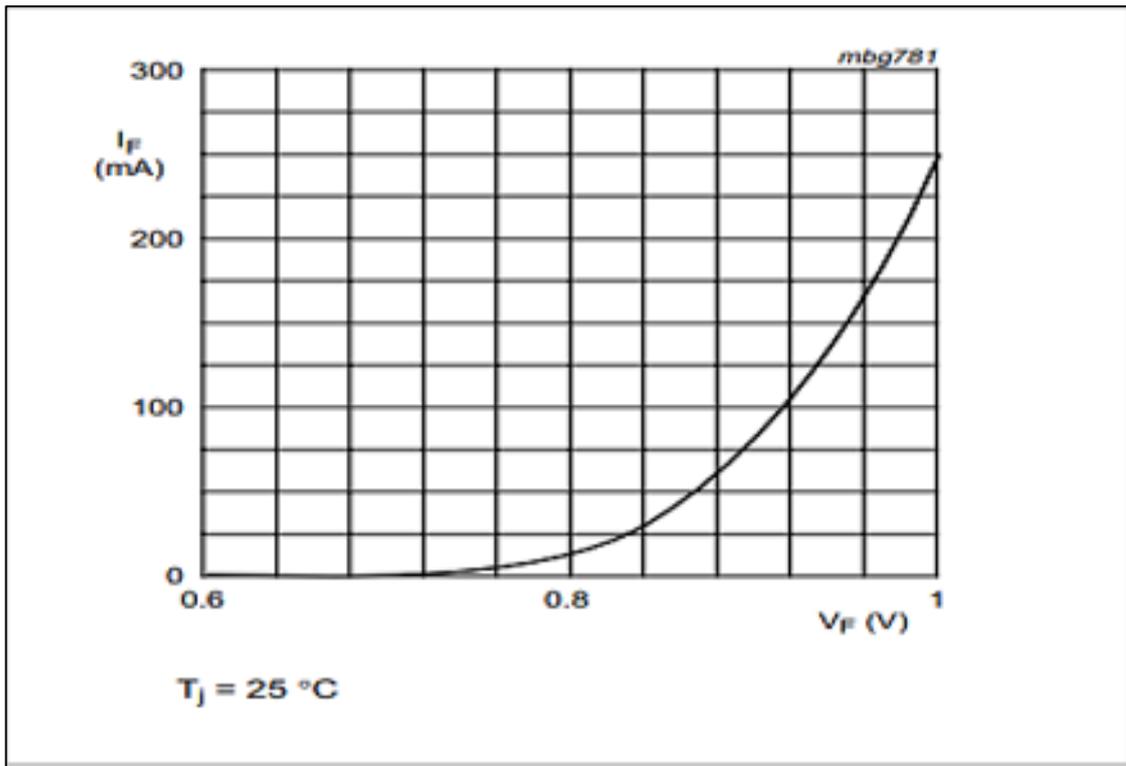


Figura 16 - Corrente direta com a função de voltagem para zener BZX 5v6  
Fonte: (Vishay)

Aqui temos uma corrente direta com voltagem também direta no mesmo gráfico.

#### 4.10 Equação do diodo

com a tensão da fonte for menor que a tensão de regulagem do zener  
( $V_E < V_Z$ ):  $i_s = V_E - V_Z / R_s$

$$5.4V - 5.6V = \frac{-0.2}{1.000} = -0.0002A$$

com a tensão da fonte for maior que a tensão de regulagem do zener  
( $V_E > V_Z$ ):  $i_s = V_E - V_Z / R_s$

$$6 - 5.6 = \frac{0,4}{1.000} = 0.0004A$$

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Medição Real do Componente Eletrônica realizada na bancada de teste

A tabela 1 mostras os resultados do experimento com os dados coletados do diodo zener em experimento realizado no laboratório.

POLARIZAÇÃO DIRETA DIODO ZENER BZX5V6												
T	VCC Volts					VZ	MACC IZ Amperes					Tj = 25° C
	1↑	2↓	3↑	4↓	5↑		1↑	2↓	3↑	4↓	5↑	
1	.00	.00	.00	.00	.00	0.0A	0.0A	0.0A	0.0A	0.0A		
2	.06	.06	.06	.06	.06	0.0A	0.0A	0.0A	0.0A	0.0A		
3	.20	.20	.20	.20	.20	0.5 <sup>a</sup>	0.6A	0.5A	0.5A	0.5A		IZM AX = 6A
4	.80	.80	.80	.80	.80	1.2 <sup>a</sup>	1.4A	1.3A	1.3A	1.3A		IZMI N= 2A
5	.40	.40	.40	.40	.40	1.9 <sup>a</sup>	2.1A	2.1A	2.1A	2.2A		VZM AX=5.7V
6	.00	.00	.00	.00	.00	2.8 <sup>a</sup>	2.9A	3.0A	3.0A	2.9A		VZM IN=5.4V
7	.60	.60	.60	.60	.60	3.5 <sup>a</sup>	3.8A	3.7A	3.7A	3.8A		
8	.20	.20	.20	.20	.20	4.2 <sup>a</sup>	.46A	4.6A	4.6A	4.6A		
9	.80	.80	.80	.80	.80	5.4 <sup>a</sup>	5.4A	5.4A	5.4A	5.4A		
0	.40	.40	.40	.40	.40	6.3 <sup>a</sup>	6.2A	6.3A	6.3A	6.2A		
1	.00	.00	.00	.00	.00	7.0A	6.9A	7.1A	7.0A	6.9A		

Tabela 1 - tabela de voltagens e amperagens do diodo zener  
Fonte: (Autor)

VCC - Valores de 5 tensões - ↑↓ subindo e descendo

MACC - Valores de 5 correntes - ↑↓ subindo e descendo

Esta polarização direta, é feita com a fonte de tensão em serie com o multímetro para obtenção de valores de tensões e correntes. Porém o valor de condução de 0,7volts, se manterá mesmo que aumentemos a tensão na fonte.

## 5.2 DC Power digital utilizada na Bancada de testes para realização da caracterização dos componentes.



Figura 17 - DC Regulated Power Supply digital kethley 2231A – 30-3  
Fonte: (Autor)

Nesta figura 17 o valor de 0.7volts por 0,001A é apenas da barreira de potencial na polarização direta, onde se dá o bloqueio na curva da barreira no gráfico xy.

### 5.3 Multímetros Digital Utilizado na bancada de teste em mADC



Figura 18 - Keysight 34460<sup>a</sup>  
Fonte: (Autor)

#### 5.4 Protoboard Minipa utilizada na montagem do circuito com diodo zener

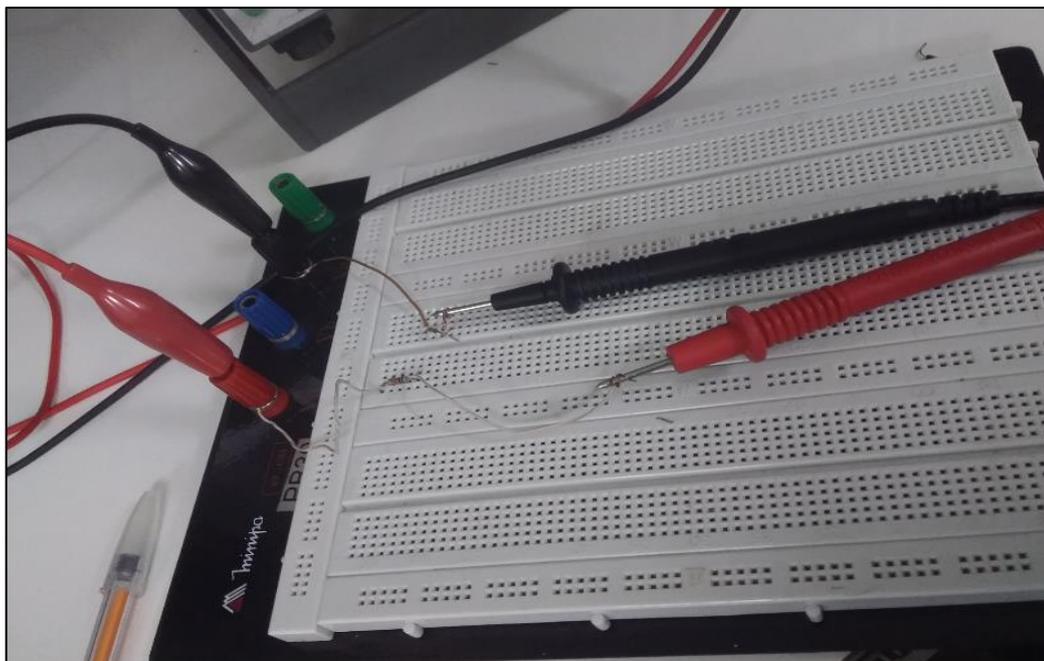


Figura 19 - circuito teste de zener com resistor limitador  
Fonte: (Autor)

Protoboard com circuito em serie com a fonte e multímetro, resistor de 1K para proteção do circuito.

## 5.5 Traçador de curvas

O traçador de curvas pode apresentar as curvas características de um grande número de dispositivos incluindo os diodos de vários tipos. Embora o instrumento pareça inicialmente bem complexo, o manual de instrução e algum manuseio, revelarão que os resultados desejados podem muitas vezes ser obtidos sem uma quantidade excessiva de esforço e tempo.

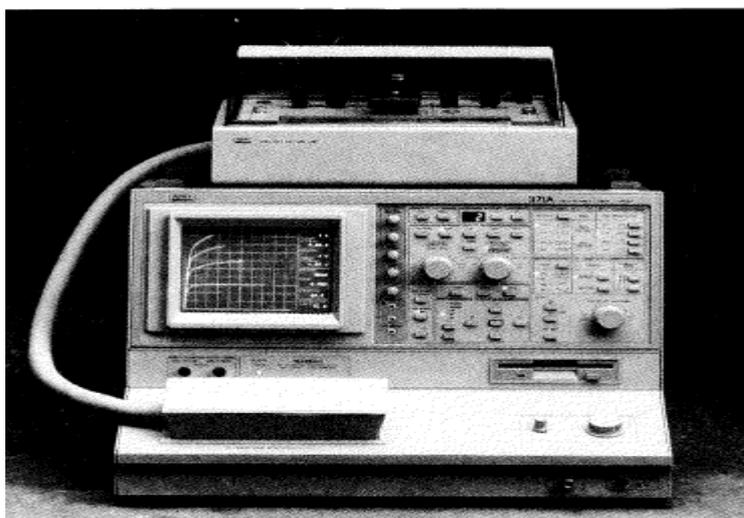


Figura 20 - medidor padrão para todos os componentes  
Fonte: (Cortesia da Tektronix)

O traçador de curvas nos confirma todos os resultados de curvas realizados em todos os testes.

## 5.6 Resultados no Ambiente de simulação grafica multism

Aqui voce pode criar, montar circuito, simular, fazer placa PCB, testar e comparar

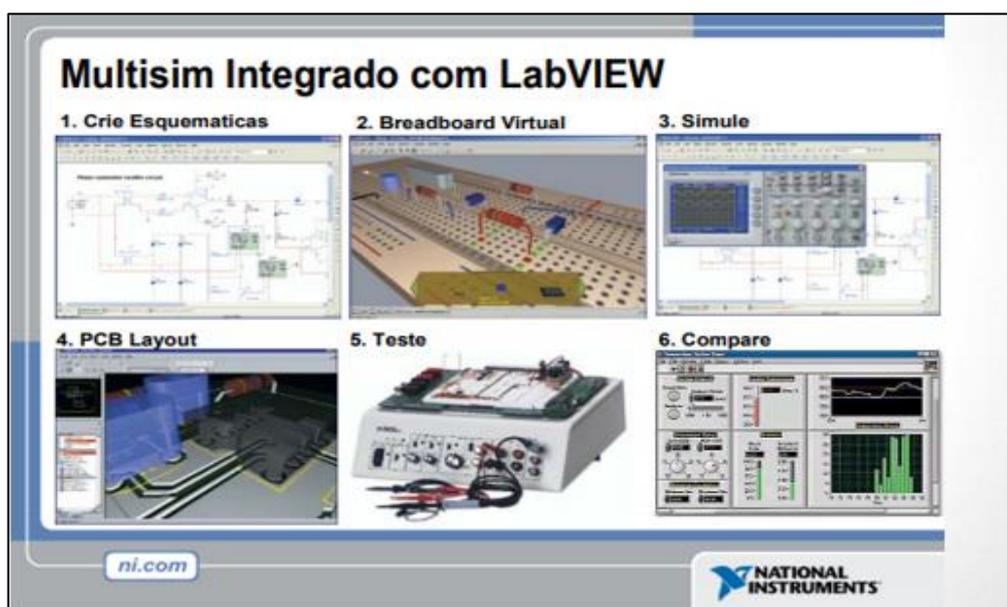


Figura 21 - Multisim integrado com labview  
Fonte: (National Instruments)

### 5.6.1 Analisar resultados

Davi Wilson, diretor de marketing do setor acadêmico da NI, disse: Queremos garantir que alunos e seus futuros empregadores estejam prontos para a inovação a partir do momento em que começarem a trabalhar juntos. Além do ecossistema cada vez mais amplo de hardware disponível no mercado digital, permitindo que os professores o incorporem aos seus cursos atuais de controle, robótica, mecatrônica e sistemas embarcados. estamos empolgados com o fato de os alunos terem acesso à mesma tecnologia que eles usarão após se formarem.

### **5.6.2 Análises dos gráficos**

Os gráficos a serem visualizados abaixo, definirão os comportamentos das curvas das tensões e das correntes realizadas nas medições práticas do diodo zener em questão, através do simulador gráfico de curvas IV analisador XIV1 do próprio multisim. Todos os gráficos com resultados de média de tensões, e medias de correntes, foram gerados no programa de planilhas do Excel bem como as curvas de desvio padrão para cálculo das análises verificadas. Todas as equações dos gráficos, foram feitas com a calculadora científica virtual Maple Calculator, baixada do play store.

### 5.6.3 Ambiente gráfico de simulação multisim 14

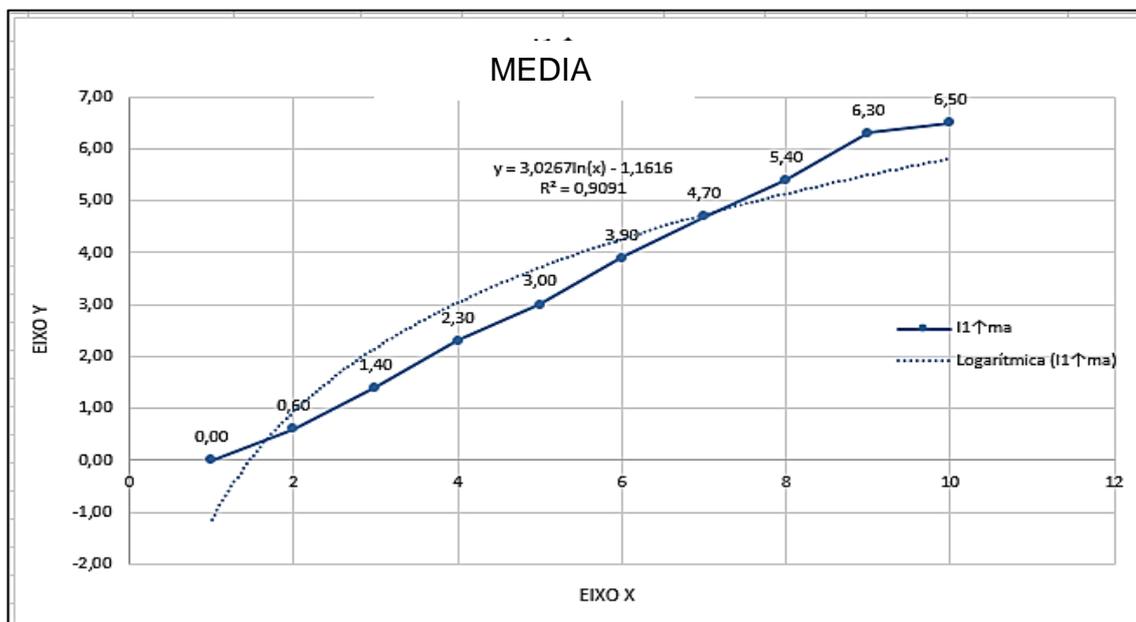


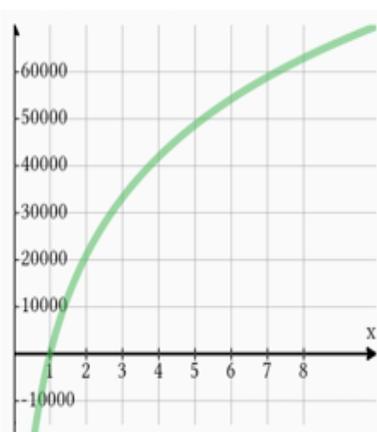
Figura 22 - Média da corrente mA  
Fonte: (Autor)

Equação do gráfico

$$Y = 30267 \cdot \ln(x) - 1.1616$$

$$\text{Integração a X} = -30268.16160 X + 30267 \cdot X \cdot \ln(x) + C$$

Expressão e pontos de amostra



x	$30267 \cdot \ln(x) - 1.1616$
1	-1.1616
1.000038379	$-5.097 \times 10^{-6}$
2	20978.32412
3	33250.53655
4	41957.80983

### 5.6.4 Média da tensão vcc

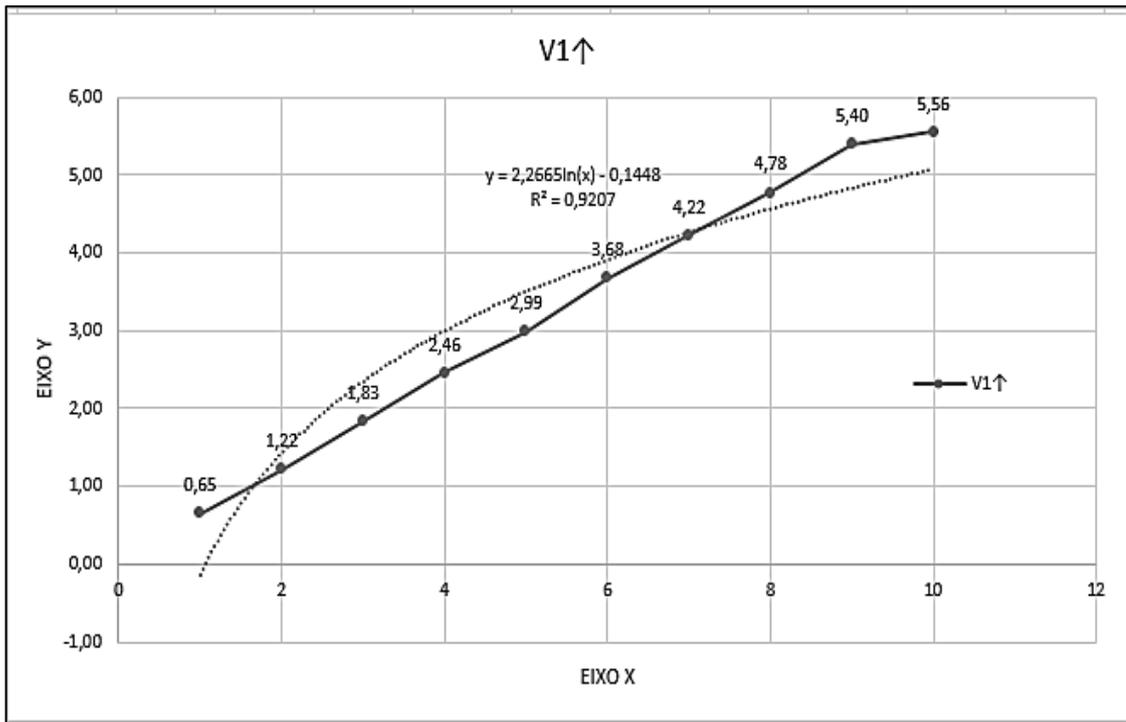


Figura 23 - Média da tensão  
Fonte: (Autor)

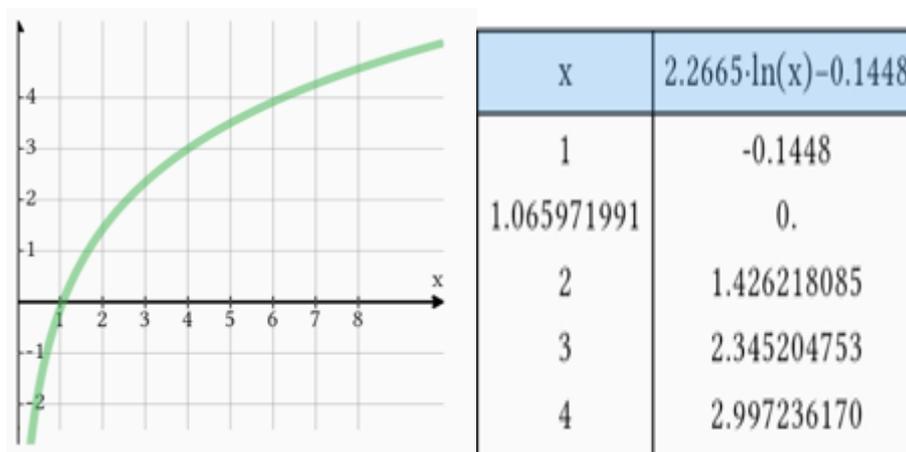
Equação do gráfico

$$Y = 2.2665 \cdot \ln(x) - 0.1448$$

Derivada de x é:  $2.2665 / X$

Integração a x =  $-2.411300000 x + 2.266500000 x \cdot \ln(x) + C$

Expressão gráfica e pontos de amostra



### 5.6.5 Desvio padrão positivo da corrente

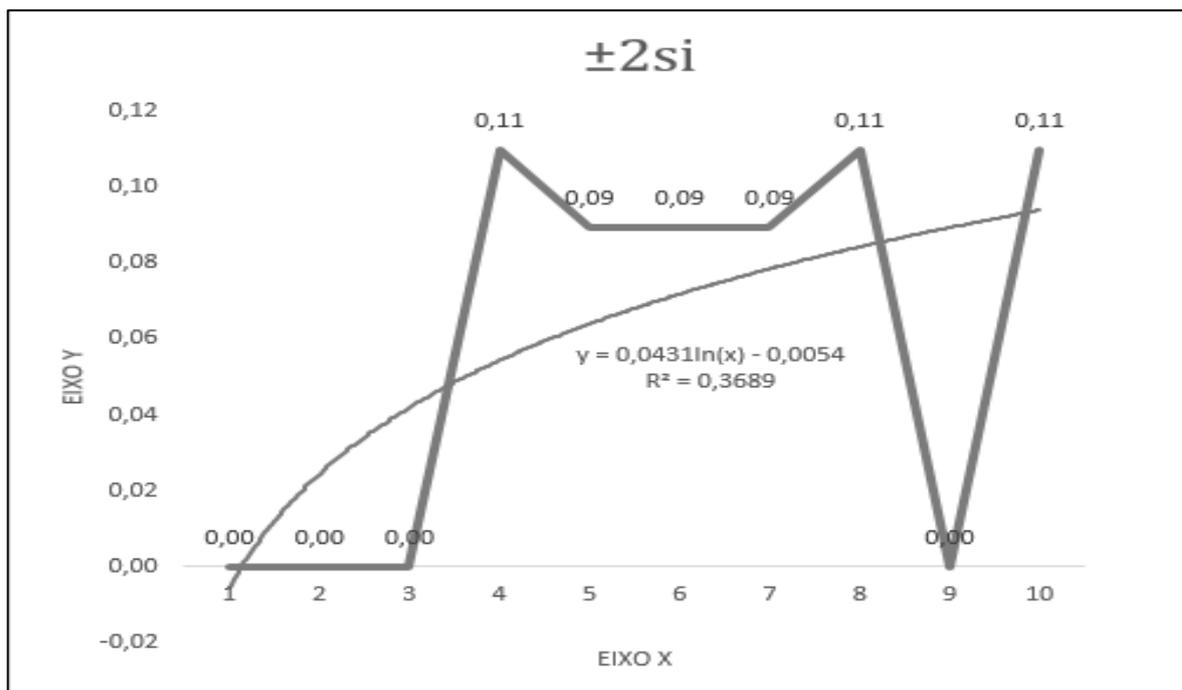


Figura 24 - gráfico de desvio padrão positivo da corrente

Fonte: (Autor)

Equação do gráfico

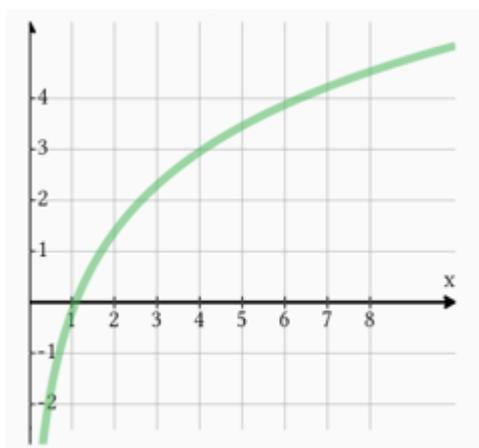
$$Y = 0.0431 \cdot \ln(x) - 0.0054$$

Derivada de x é:  $0.0431 / X$

Integração a X

$$-0.04850000000 x + 0.04310000000 x \cdot \ln(x) + C$$

Expressão gráfica e pontos de amostra



x	$0.0431 \cdot \ln(x) - 0.0054$
1	-0.0054
1.133477140	$-4 \cdot 10^{-12}$
2	0.02447464348
3	0.04195018966
4	0.05434928697

### 5.6.6 Desvio padrão negativo da média da tensão

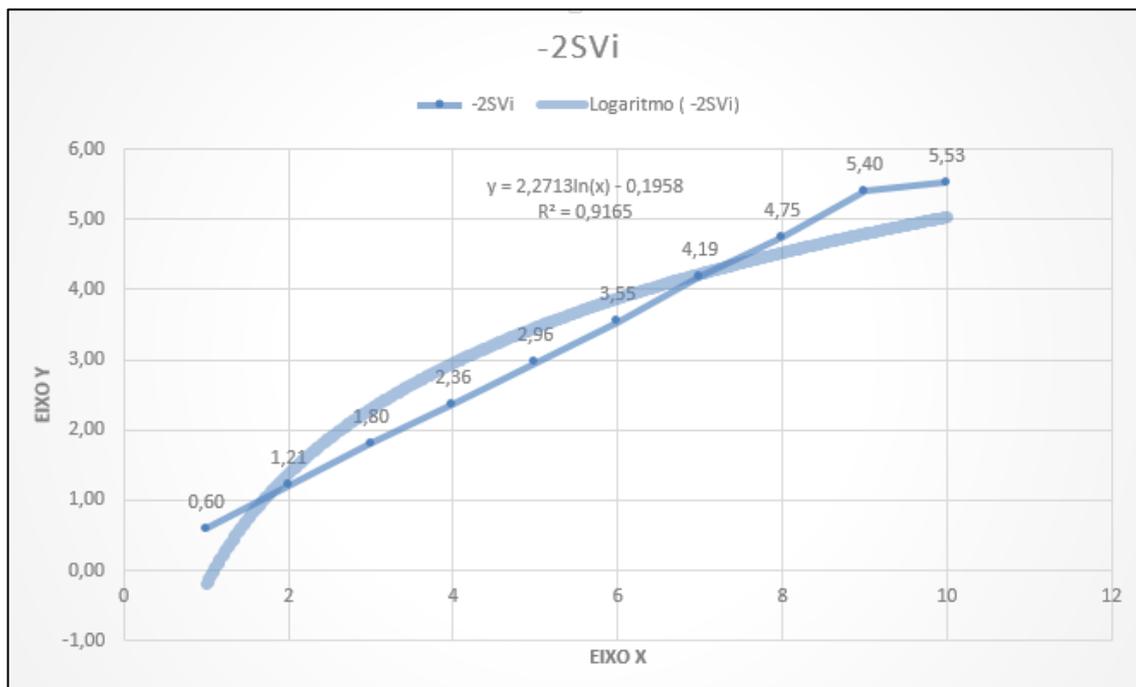


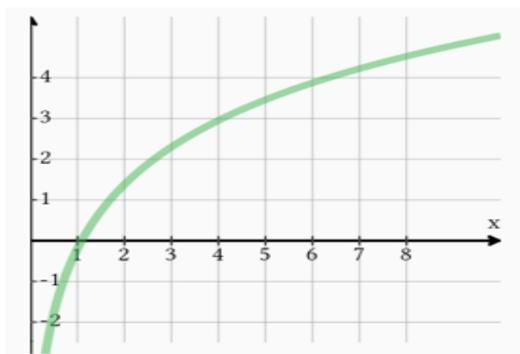
Figura 25 - gráfico de desvio padrão negativo  
Fonte: (Autor)

Equação do gráfico

$$Y = 2.2713 \cdot \ln(x) - 0.1958$$

$$\text{Integração a X} = -2.467100000x + 2.271300000x \cdot \ln(x) + C$$

Expressão gráfica e pontos de amostra



x	$2.2713 \cdot \ln(x) - 0.1958$
1	-0.1958
1.090031001	$-8 \cdot 10^{-10}$
2	1.378545191
3	2.299478092
4	2.952890383

### 5.6.7 Desvio padrão positivo da tensão

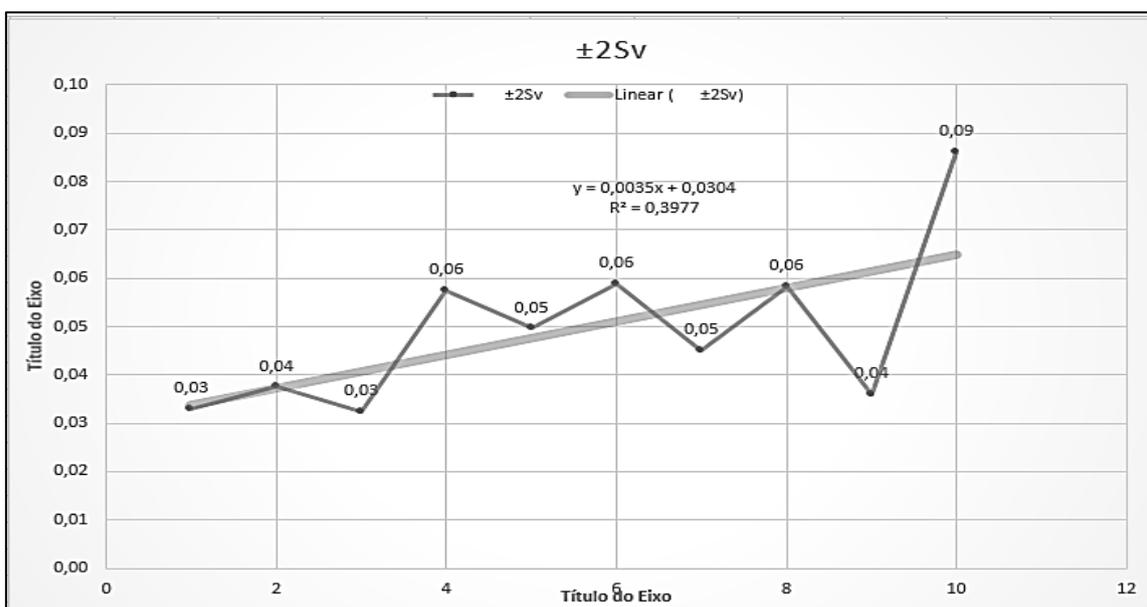


Figura 26 - gráfico de desvio padrão positivo da tensão  
Fonte: (Autor)

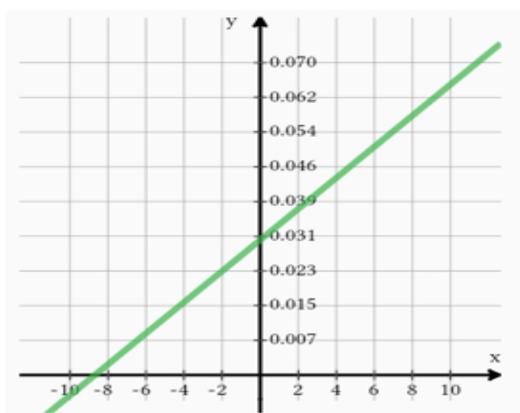
Equação do gráfico

$$Y = 0.0035 \cdot x + 0.0304 \quad \text{solução e: } \{x = -8.685714286\}$$

Integração a x

$$0.001750000000x^2 + 0.03040000000x + C$$

Expressão grafica e pontos de amostra



x	0.0035·x+0.0304
-10	-0.0046
-8.685714286	0.
1	0.0339
2	0.0374
10	0.0654

### 5.6.8 Desvio padrão negativo da corrente

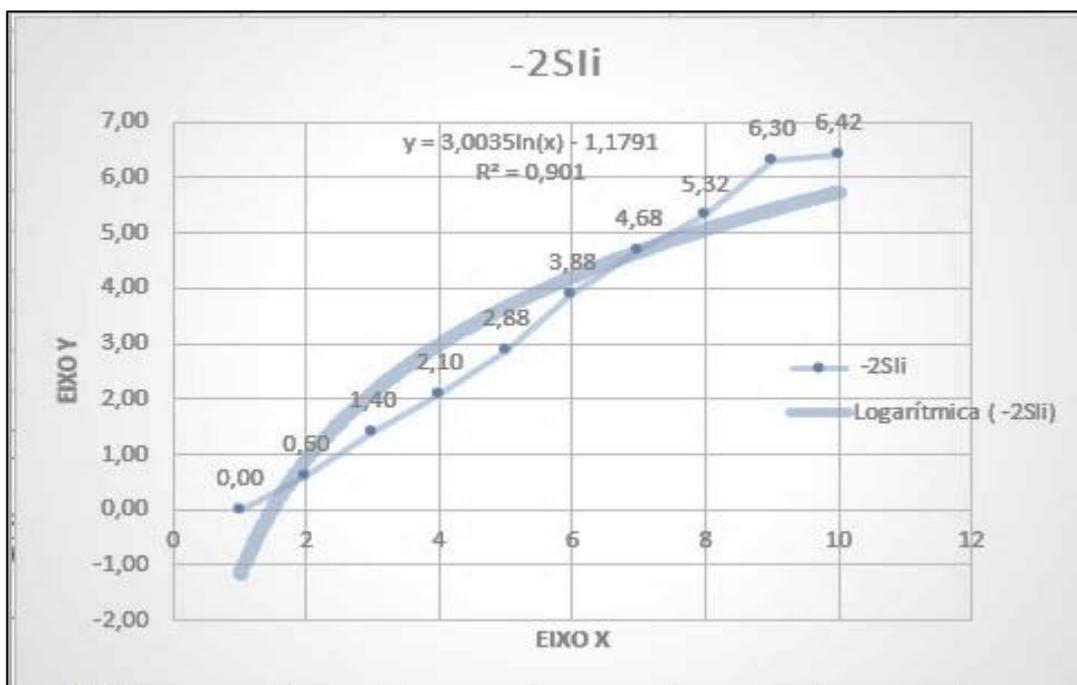


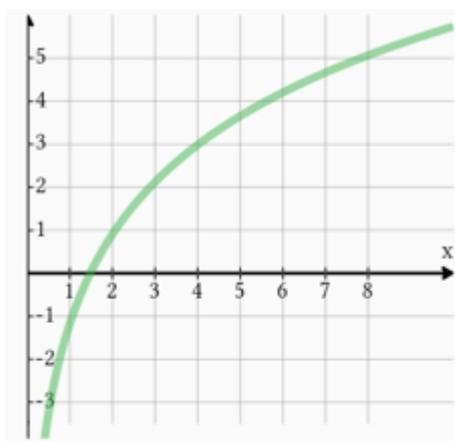
Figura 27 - gráfico de desvio padrão negativo da corrente  
Fonte: (Autor)

Equação do gráfico

$$Y = 3.0035 \cdot \ln(x) - 1.1791$$

$$\text{Integração a } x = -4.182600000 x + 3.003500000 x \cdot \ln(x) + C$$

Expressão gráfica e pontos de amostra



x	$3.0035 \cdot \ln(x) - 1.1791$
1	-1.1791
1.480789407	0.
2	0.902767557
3	2.120582010
4	2.984635114

### 5.6.9 Diodo zener virtual BZX 5v6

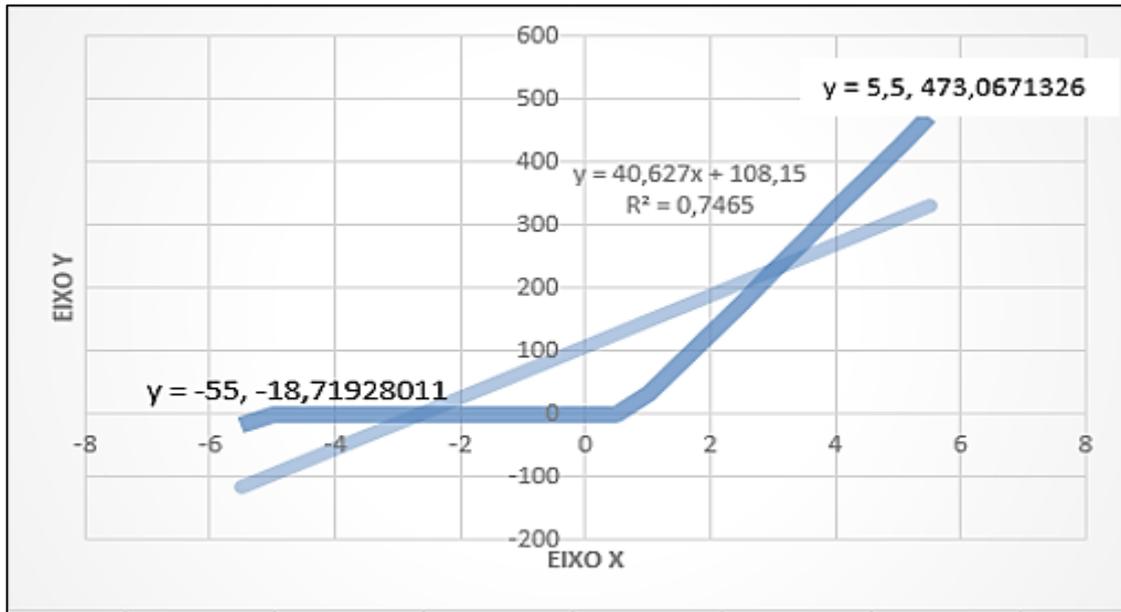


Figura 28 - gráfico de polarização direta com valores em y e x  
Fonte: (Autor)

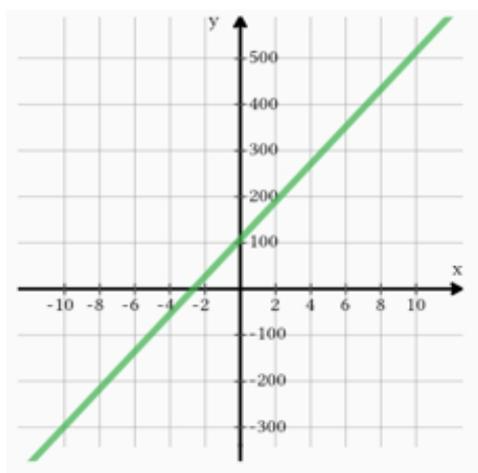
Equação do gráfico

$$Y = 40.627 \cdot X + 108.15$$

A solução é:  $\{x = -2.662022793\}$

$$\text{Integração a } x = 20.31350000 x^2 + -108.1500000 x + C$$

Expressão gráfica e pontos de amostra



x	$40.627 \cdot x + 108.15$
-10	-298.120
-2.662022793	0.
1	148.777
2	189.404
10	514.420

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este curso de TCC, está totalmente voltado para o processo de fabricação de componentes semicondutores, exclusivamente para o diodo zener. Portanto tudo que foi descrito e mostrado de forma gráfica, fotográfica, ilustrativa será entendido como um componente em sua construção dentro do laboratório de uma fábrica, onde o silício é nascido, desde fundido em altas temperaturas, se transformando em um lingote, e depois sendo fatiado em micro pastilhas, que serão dopadas com outros elementos químicos de impurezas, para haja uma junção PN.

A finalização desse projeto para caracterização elétrica de diodo zener, é fazer com que os resultados obtidos da caracterização dos componentes, sejam compatíveis, com os resultados pesquisados nas revisões bibliográficas pesquisadas em diversos meios viáveis em bibliotecas físicas e virtuais, para dar credibilidade ao trabalho desenvolvido nos laboratórios do IFAM-CMDI, bem como a deixar as informações técnicas obtidas para o corpo discente / docente do próprio instituto de educação, para futuras pesquisas.

Como esse curso de graduação, de tecnologia em eletrônica industrial é totalmente voltado para o processo de fabricação de semicondutores, espera-se que este trabalho possa ser continuado por outros estudantes de tecnologia em eletrônica, com o intuito de desenvolver aplicativos capazes de interagir com os programas já existentes, e que possam contribuir com as disciplinas voltadas para o controle automático de tensões e correntes e que seja um instrumento didático para alunos e professores.

## REFERENCIAS

[1]. Seitz, Frederick (09 1986). «On the occasion of the 80th birthday celebration for Clarence Zener: Saturday, November 12, 1985». Journal of Applied Physics (em inglês). 60 (6). pp. 1865 – 1867. ISSN 0021-8979. Consultado em 21 de dezembro de 2010.

[2]. SMITH, Wiliam. F. Fundamentos de Engenharia e Ciências dos Materiais. 5ª Edição. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 2012 pag. 572.

[3]. Houaiss, Antônio (2001). «Díodo». In: Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. VII. Lisboa: Temas & Debates. 3001 páginas.

[4]. title=Zener\_diode&oldid=1104930950https://en.wikipedia.org/w/index.php?

[5]. title=P–  
n\_junction&oldid=1102005107https://en.wikipedia.org/w/index.php?

[6]. LOPES, V. J. S. Instrumentação Virtual Aplicada ao Ensino Experimental de Engenharia Elétrica.

[7]. ANDRADE, D. C. D. G. F. DE; BALTAZAR, P. M. Estudo e simulação de controle de torque em sistemas Servo acionados. 2013.

[8]. http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electron\_avalanche&oldid=1104213740

[9]. Disponível em: <[www.http://wiki.sj.ifsc.edu.br](http://wiki.sj.ifsc.edu.br)>

[10]. Disponível em: <[www.http://joinville.ifsc.edu.br](http://joinville.ifsc.edu.br)>

[11]. Disponível em:<[www.https://p.t.m.wikipedia.org](https://p.t.m.wikipedia.org)>