

# Circuitos Eletrônicos

## Aula 03 - Diodo

# Apresentação

Nesta aula, aprofundaremos nosso estudo no dispositivo semicondutor diodo de junção. Conheceremos um pouco mais das principais características desse dispositivo, a fim de conseguirmos realizar análise de circuitos utilizando diodo. Além disso, iremos nos familiarizar com outros tipos de diodos, como LED e Zener, utilizados em diversas aplicações.

## Objetivos

Ao final desta aula, você será capaz de:

- Caracterizar os modos de operação de um diodo de junção;
- Diferenciar as características de um diodo ideal e real;
- Entender a curva característica de tensão-corrente do diodo real;
- Analisar circuitos com diodos e resistores;
- Conhecer alguns tipos de diodos, como diodo LED e Zener.

## Relembrando a aula passada

Depois de estudarmos os semicondutores, vimos o primeiro dispositivo eletrônico que pode ser construído com eles, o diodo de junção.

Como vimos, os diodos de junção são formados pela união de um semicondutor tipo p com um semicondutor tipo n, conforme representado na figura 1.

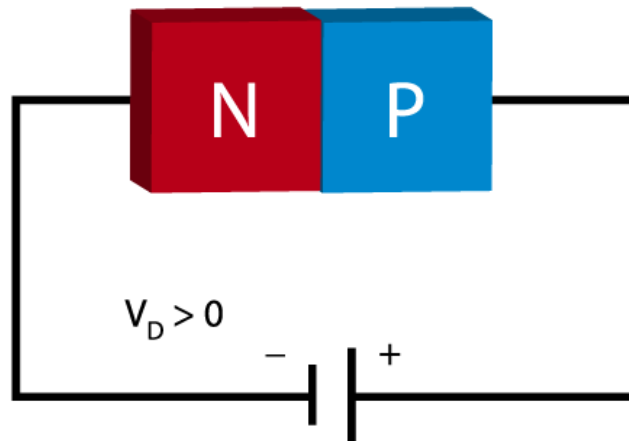
Sendo assim, um diodo é um dispositivo com dois terminais e, por isso, podemos ligá-lo ao circuito de duas formas distintas: polarizado diretamente, conforme representado na figura 2, ou polarizado reversamente, conforme representado na figura 3.

**Figura 01** - Esquema que mostra a construção do diodo de junção a partir da união de semicondutores do tipo n e do tipo P.



**$V_D > 0$  : Polarização direta**

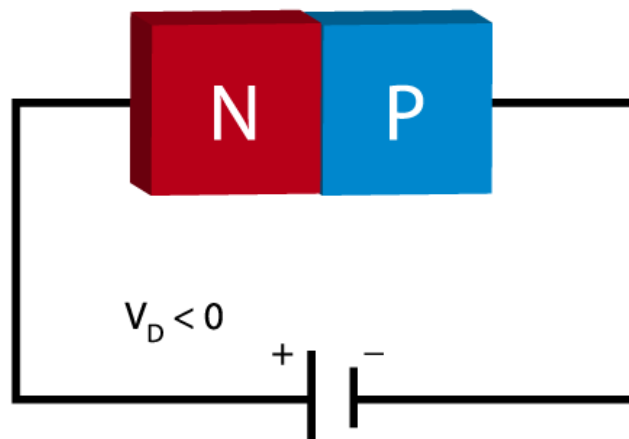
**Figura 02** - Diodo polarizado diretamente.



O diodo, quando **polarizado diretamente**, passa a ser um dispositivo **condutor** **no sentido P-N**, em outras palavras, ele “deixa” a corrente elétrica passar.

**$V_D < 0$  : Polarização reversa**

**Figura 03** - Diodo polarizado reversamente.

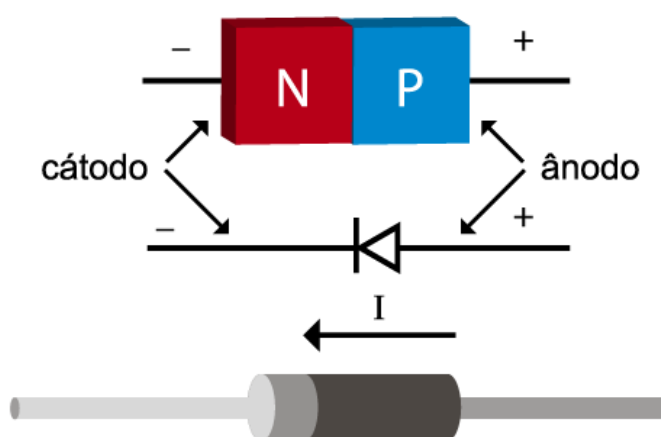


Quando **polarizado reversamente**, ele passa a atuar como um dispositivo **isolante**, em outras palavras, ele “impede” a passagem de corrente elétrica **no sentido N-P**.

# Simbologia

A simbologia utilizada nos circuitos eletrônicos para o diodo é essa que pode ser vista na figura 4: um triângulo posicionado ao lado de um segmento de reta. A figura também ilustra como identificar o ânodo e o cátodo em um diodo real. O diodo utilizado na figura é um n4007. Neste caso, onde a maior parte do encapsulamento é preta, o cátodo é identificado pela parte cinza em destaque. Na maioria dos diodos, o cátodo é, usualmente, destacado com uma cor diferente do resto do encapsulamento. E, a corrente flui no sentido P-N.

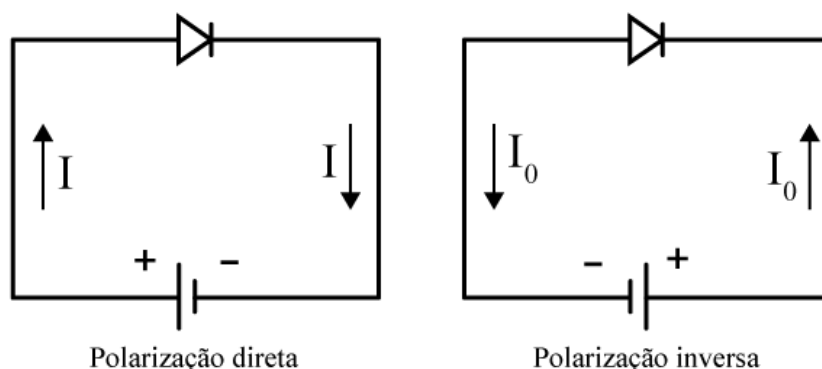
**Figura 04** - Simbologia utilizada em circuitos eletrônicos para um diodo.



A simbologia foi feita para que fique mais fácil de memorizar. É simples! Basta associar o triângulo como a ponta de uma flecha. Nesse sentido, o diodo permite a passagem de corrente elétrica. No sentido contrário, a corrente não passa. E, você pode imaginar que o segmento de reta é como uma parede que impede a passagem das cargas elétricas.

Veja, na figura 5, como ficariam as polarizações do diodo utilizando a simbologia descrita anteriormente.

**Figura 05** - Simbologia do diodo e sua polarização direta e inversa no circuito.



Se você fizer a relação dos elétrons com automóveis, você pode imaginar o diodo como sendo um guarda de trânsito controlando uma rua que é mão única.

Outra analogia que pode ser feita é que os elétrons seriam como esferas e o diodo uma ladeira. Naturalmente, as esferas não conseguem subir a ladeira. Entretanto, se elas forem colocadas no topo da ladeira, rolarão de forma natural até embaixo.

## Curva característica de um diodo

### Diodo Ideal

Na aula passada, foi descrito o funcionamento dos diodos quando estão polarizados diretamente ou reversamente. Vimos que a polarização do diodo irá depender do valor de tensão aplicado em seus terminais. Se esta tensão é positiva, dizemos que o diodo está **polarizado diretamente** e que o mesmo está em **condução**, ou simplesmente, **ligado**. Para o caso em que a tensão em seus

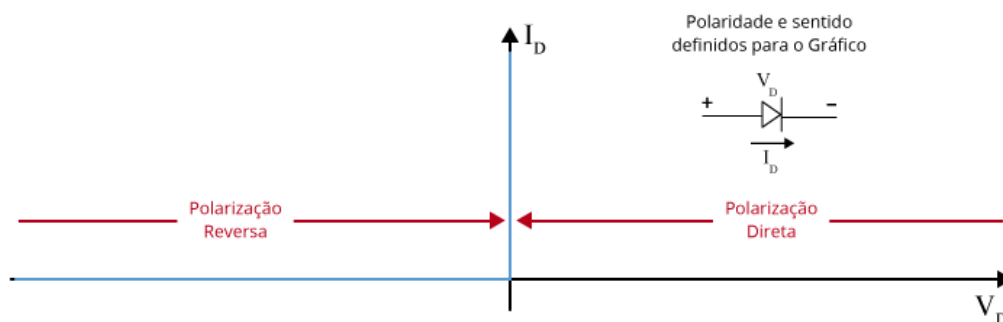
terminais é zero ou menor que zero, dizemos que o diodo está **polarizado reversamente** e que o mesmo está em **corte**, ou simplesmente, **desligado**. Veja na figura 6, os circuitos equivalentes a esses dois casos.

**Figura 06** - Circuito equivalente na polarização direta e reversa.



Este comportamento descreve a característica de um diodo ideal, ou seja, basta que a tensão seja positiva para que o mesmo entre em condução e, em caso de corte, a corrente que flui pelo mesmo é zero. A figura 7, a seguir, ilustra o comportamento da tensão e corrente nas duas polarizações.

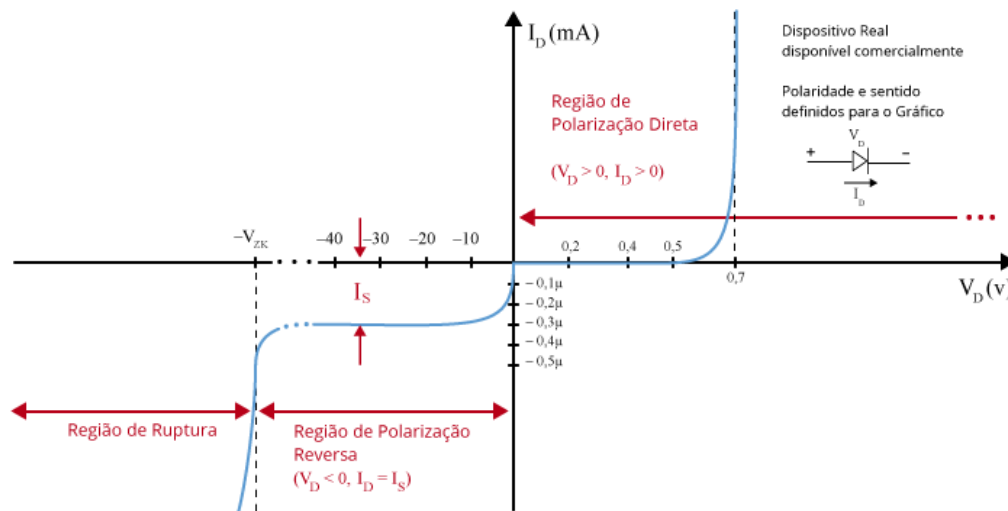
**Figura 07** - Característica i-v para um diodo ideal.



## Diodo Real

Quando estamos analisando um circuito prático com diodo, devemos considerar algumas características que até então não mencionamos. Estas características são provenientes da natureza do material utilizado para construção do dispositivo. O gráfico a seguir, representado na figura 8, chamado curva característica de um diodo real, resume seu comportamento.

**Figura 08** - Curva característica de um diodo de silício.



Antes de analisarmos o gráfico anterior, vamos prestar atenção para alguns detalhes importantes que ajudam na compreensão do mesmo. O eixo das abscissas (horizontal) é relacionado à  $V_D$ , ou seja, a tensão aplicada nos terminais do diodo. O eixo das ordenadas (vertical) representa a corrente que passa de um terminal para o outro do diodo.

Agora observe as escalas! Veja que no eixo de  $V_D$ , sua porção positiva possui uma escala muito menor do que a da sua porção negativa. Do lado positivo (direito), temos variações em mV. Do lado negativo (esquerdo), a variação é em dezenas de Volts. O mesmo acontece para a corrente no eixo vertical do gráfico. A parte positiva (superior) foi feita sob uma escala de mA. Já a parte negativa (inferior) foi feita sob uma escala de  $\mu$ A.

## Região de polarização direta:

Depois de termos vistos essas singularidades, podemos entender o gráfico! Veja: Na medida em que aumentamos a tensão nos terminais do diodo, temos o surgimento de uma corrente entre os terminais. O diodo está polarizado positivamente e está conduzindo (Região de polarização direta). Observe que, até mais ou menos 0,7V, a corrente que passa pelo diodo ainda é relativamente pequena. A partir daí, temos uma crescente muito forte. Essa é a tensão mínima que é necessária "pagar" para que o diodo passe a conduzir. Esse gráfico mostra uma curva característica de um diodo de silício. Se fosse um diodo de germânio, o valor a



ser “pago” seria menor, em torno de 0.3V. Essa tensão é chamada de tensão limiar e, geralmente, é representada pelo símbolo  $V_t$  ( o t vem de Threshold - limiar em inglês).

## Região de polarização reversa:

Agora, temos que saber o que ocorre na região reversa, ou seja, precisamos analisar o que acontece quando a tensão aplicada aos terminais do diodo é negativa. Já sabemos a resposta não é mesmo? Quando um diodo está polarizado negativamente, já sabemos que ele não deixa a corrente elétrica passar em seus terminais. Só precisamos ver agora, esse comportamento no gráfico. Portanto, vamos analisá-lo novamente.

O caso em que aplicamos uma tensão negativa, aos terminais do diodo, está representado na parte negativa do gráfico, no eixo  $V_D$  (horizontal). Veja que, para qualquer valor negativo de  $V_D$ , -10, -20, etc., teremos uma pequena corrente de cerca de  $0.3\mu A$ . Num diodo ideal - teórico e perfeito - ela não existiria. Entretanto, em um diodo real, comercial, ela existe e é chamada corrente de fuga. Ela é tão pequena que para a maioria dos casos pode ser considerada nula e assim, podemos dizer que o diodo, quando polarizado negativamente, não deixa passar corrente entre os seus terminais.

A corrente de fuga surge nos diodos pelo movimento dos portadores minoritários entre os semicondutores tipo N e tipo P. Se você quiser saber mais à respeito, basta reler a aula passada e fazer uma breve busca na internet.

## Região de Ruptura:

Para completar a análise, precisamos analisar a terceira região de operação do diodo, a região de ruptura. Esta região é obtida quando aplicamos aos terminais do diodo uma **tensão reversa** maior que um valor específico, chamado **tensão de ruptura**. Esta tensão é ilustrada na figura 8 como  $V_{ZK}$ , onde o subíndice Z representa o nome Zener (referente a um determinado tipo de diodo, que estudaremos mais a frente) e o subíndice K indica joelho (knee), pois a tensão  $V_{ZK}$  ocorre no joelho da curva tensão-corrente do diodo.

Na região de ruptura, como indicado na figura 8, qualquer acréscimo na tensão reversa além de  $V_{ZK}$ , provoca um rápido aumento da corrente inversa. Você deve estar se perguntando: Caso o diodo entre nessa região, ele vai queimar? Na verdade, esta região não é normalmente destrutiva para o diodo, pois podemos fazer com que a potência dissipada pelo diodo, quando operando nesta região, permaneça em um nível seguro. Este nível seguro, geralmente, é fornecido pelo fabricante e conseguimos fazer com que o diodo opere neste nível, utilizando um circuito externo para limitar corrente. Logo, de acordo os níveis de potência permissíveis para o diodo, limitamos a corrente reversa na região de ruptura.

## Atividade 01

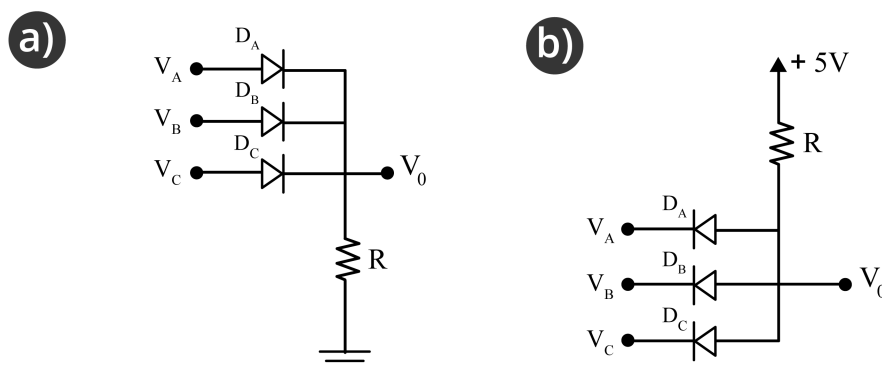
1. Em sua opinião, qual a principal diferença entre um diodo ideal e um diodo real?
2. Cite as principais características do diodo real, quando operando na região direta, reversa e de ruptura.
3. Em qual aplicação podemos utilizar um diodo operando na região de ruptura?

# Portas Lógicas com Diodos

As funções lógicas digitais podem ser implementadas utilizando diodos e resistores. A implementação das portas lógicas leva em consideração o fato do diodo só conduzir corrente elétrica em um único sentido, ou seja, agindo como um interruptor.

A figura 9 ilustra duas portas lógicas com diodos. Antes de analisarmos esses circuitos e ver como os mesmos funcionam, devemos fazer algumas considerações. Primeiramente, devemos considerar um sistema de lógica positiva, onde o valor lógico "1" (nível alto) corresponde a um valor de tensão próximo de +5V e o valor lógico "0" (nível baixo) corresponde a um valor de tensão próximo de 0V. Devemos considerar também, que as tensões  $V_A$ ,  $V_B$  e  $V_C$  são as entradas das portas lógicas e a tensão  $V_O$  é a saída das mesmas.

**Figura 09** - Portas lógicas com diodos: (a) porta OR; (b) porta AND.



Vamos analisar o circuito da figura 9a. Vamos admitir que todas as tensões de entrada estejam ligadas em +5V (nível lógico 1). Neste caso, é fácil perceber, pela posição dos diodos, que a tensão aplicada em seus terminais será maior que zero. Logo, todos os diodos irão conduzir, fazendo com que a tensão  $V_O$  seja +5V, pois quando um diodo está conduzindo a queda de tensão em seus terminais é, idealmente, zero.

Agora, vamos supor que todas as entradas estejam ligadas em 0V. Fazendo isso, a tensão nos terminais dos diodos será zero. Logo, todos os diodos estarão em corte. Desse modo, não fluirá corrente por nenhum diodo nem pelo resistor e a

tensão de saída  $V_O$  também será zero.

Mas, o que ocorrerá quando tivermos algumas entradas em nível lógico alto (+5V) e outras em nível lógico baixo (0V)?

Para respondermos a essa pergunta, considere que  $V_A = +5V$ ,  $V_B = 0V$ , e  $V_C = 0V$ . Neste caso, o diodo ligado a entrada  $V_A$  irá conduzir, pois há uma tensão maior que zero em seus terminais. Este fato, fará com que a saída  $V_O$  seja +5V, uma vez que há caminho para a corrente fluir (caminho formado pelo diodo  $D_A$  e pelo resistor). A tensão de +5V na saída fará com que todos os diodos ligados as entradas com nível lógico baixo fiquem em corte, tendo em vista que os mesmos estarão polarizados reversamente.

Com essa análise, podemos afirmar que este circuito implementa uma porta OR, pois para que a saída permaneça em nível lógico alto, basta que pelo menos uma das entradas também esteja no nível lógico alto. A tabela 1 detalha o comportamento do circuito para todas as possibilidades de entrada, para o circuito da figura 9a.

Entradas	Situação dos Diodos	Saída
$V_A = 0V$ ; $V_B = 0V$ ; $V_C = 0V$	( $D_A$ corte) ( $D_B$ corte) ( $D_C$ corte)	0V
$V_A = 0V$ ; $V_B = 0V$ ; $V_C = +5V$	( $D_A$ corte) ( $D_B$ corte) ( $D_C$ conduz)	+5V
$V_A = 0V$ ; $V_B = +5V$ ; $V_C = 0V$	( $D_A$ corte) ( $D_B$ conduz) ( $D_C$ corte)	+5V
$V_A = 0V$ ; $V_B = +5V$ ; $V_C = +5V$	( $D_A$ corte) ( $D_B$ conduz) ( $D_C$ conduz)	+5V
$V_A = +5V$ ; $V_B = 0V$ ; $V_C = 0V$	( $D_A$ conduz) ( $D_B$ corte) ( $D_C$ corte)	+5V
$V_A = +5V$ ; $V_B = 0V$ ; $V_C = +5V$	( $D_A$ conduz) ( $D_B$ corte) ( $D_C$ conduz)	+5V
$V_A = +5V$ ; $V_B = +5V$ ; $V_C = 0V$	( $D_A$ conduz) ( $D_B$ conduz) ( $D_C$ corte)	+5V

$$V_A = +5V; V_B = +5V; V_C = +5V$$

(D<sub>A</sub> conduz) (D<sub>B</sub> conduz) (D<sub>C</sub> conduz)

+5V

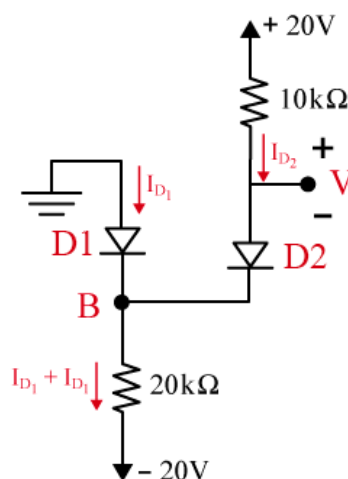
**Tabela 1** - Detalhando o circuito da porta OR.

## Exercício Resolvido

Vamos praticar a análise de circuitos com diodos e resistores através deste exemplo resolvido. Esse exemplo vai nos ajudar a entender melhor quando um diodo está conduzindo ou em corte, num determinado circuito.

Considere o circuito abaixo e suponha que os diodos são ideais. Vamos calcular o valor da corrente  $I_{D1}$  e da tensão  $V$ .

**Figura 10** - Circuito com diodos.



Você consegue dizer, olhando para o circuito, se os diodos D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> estão conduzindo ou em corte?

A primeira vista, nós não conseguimos afirmar em qual região de operação esses diodos se encontram. No entanto, uma prática comum é supor que os diodos estão operando em uma determinada região e ao final da análise verificamos se a resposta está coerente.

Então, vamos supor que os dois diodos estão em corte. Fazendo isso, podemos afirmar que a tensão no ponto B é zero ( $V_B = 0$ ) e, conseqüentemente,  $V$  também é zero. Logo, a corrente  $I_{D2}$  pode ser determinada, aplicando a lei das malhas a partir

da tensão de +20V até a tensão  $V = 0$ :

$$+20 - 10k * I_{D2} - V = 0 \rightarrow I_{D2} = \frac{20 - 0}{10k} = 2mA$$

Aplicando novamente a lei das malhas do ponto  $V_B = 0$  até a tensão -20V, temos:

$$V_B - 20k * (I_{D2} + I_{D1}) - (-20) = 0 \rightarrow I_{D2} + I_{D1} = \frac{0 - (-20)}{20k}$$

$$I_{D1} = \frac{0 - (-20)}{20k} - I_{D2} = 1mA - 2mA = -1mA$$

O que esse resultado nos mostra é que há uma corrente fluindo no diodo  $D_1$  na direção oposta à ilustrada na figura 10. Nós sabemos que isso não pode ocorrer, pois o diodo só conduz corrente no sentido direto. Logo, podemos concluir que nossa primeira suposição estava incorreta.

Reiniciamos a análise supondo, desta vez, que o diodo  $D_1$  está em corte e que o diodo  $D_2$  está conduzindo. Aplicando novamente a lei das malhas, do ponto +20V até o ponto -20V, temos:

$$+20 - 10k * I_{D2} - 20k * I_{D2} - (-20) = 0 \rightarrow I_{D2} = \frac{20 - (-20)}{30k} = 1,33mA$$

Vale a pena salientar que como o diodo  $D_1$  está em corte, a corrente  $I_{D1}$  é zero. Por esse motivo, a corrente que passa no resistor 20k é apenas 1,33mA.

Por esse motivo, a corrente que passa no resistor  $20k$  é apenas  $I_{D2}$ .

Para determinarmos a tensão  $V$  é preciso encontrar o valor de  $V_B$ , pois como o diodo  $D_2$  está conduzindo,  $V = V_B$ . Para isso, vamos aplicar a lei das malhas do ponto B ao ponto -20V:

$$V_B - 20k * I_{D2} - (-20) = 0 \rightarrow V_B = 20k * I_{D2} - 20 = +6,6V$$

Portanto, com essa suposição, nenhum resultado está incoerente. Logo, podemos afirmar que  $I_{D1} = 0$  e  $V = 6,6V$ , com  $D_1$  em corte e  $D_2$  conduzindo.

## Atividade 02

- 1. Analise o circuito da figura 9b e, de forma semelhante ao que foi feito para a porta lógica OR, monte uma tabela detalhando o circuito da porta AND. Pesquise sobre como implementar as portas NAND e NOR utilizando diodos.**
- 2. Pesquise sobre como implementar as portas NAND e NOR utilizando diodos.**

## Diodos especiais

Veremos, nesta seção, alguns diodos com características especiais que os tornam muito úteis em circuitos eletrônicos.

### Zener

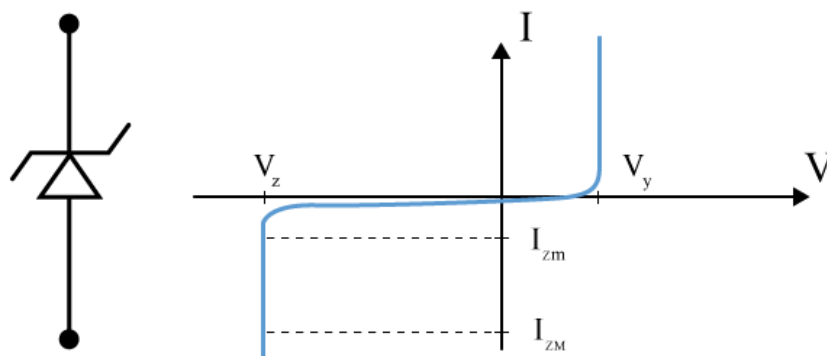
Um diodo Zener possui a mesma construção de um diodo tradicional: uma junção do semicondutor tipo N com um semicondutor tipo P. Entretanto, o processo de dopagem é feito de modo a aperfeiçoar o seu uso, quando polarizado inversamente! Isso mesmo! Como vimos, o diodo, quando polarizado diretamente,

atua como uma chave fechada, um curto circuito. Quando polarizado inversamente, ele atua como uma chave aberta. Entretanto, num diodo convencional, esse comportamento de chave aberta vai funcionar somente até certo momento.

Se aumentarmos a tensão cada vez mais entre os terminais de um diodo polarizado negativamente, chegaremos a um momento em que aquela tensão vai ser grande o suficiente para romper a barreira de potencial gerada na junção dos dois tipos de semicondutores. Em um diodo convencional, surgirá uma corrente no sentido reverso que vai danificar o diodo. Essa tensão mínima necessária para iniciar esse processo é denominada **tensão de ruptura**.

Um diodo Zener é fabricado para sustentar essa corrente reversa sem se danificar. Veja a seguir, na figura 11.

**Figura 11** - Diodo zener, simbologia à esquerda e curva característica à direita.



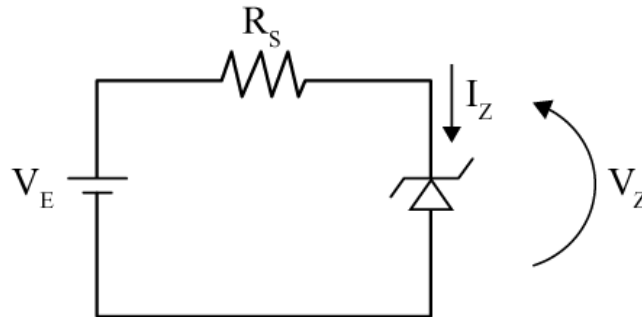
No canto esquerdo, da figura 11, temos a simbologia do diodo Zener. No canto direito, podemos observar a curva característica do diodo Zener. Ela é muito parecida com a curva característica de um diodo tradicional, exceto pela subida da corrente quando atingimos a tensão de ruptura, que no diodo Zener é comumente chamada de tensão Zener ( $V_z$ , no gráfico acima). Ao atingir esse valor de tensão negativa, o diodo Zener passa a conduzir corrente elétrica, mesmo polarizado reversamente. Essa característica permite que os diodos Zener sejam empregados na confecção de circuitos reguladores de tensão.

Os circuitos reguladores de tensão são circuitos capazes de manter a tensão de saída ( $V_z$ ) constante, ou seja, estável, mesmo havendo variações na corrente de entrada ou na tensão de entrada ( $V_E$ ). Veja o circuito da figura 12. Veremos mais



detalhadamente na próxima seção como esse circuito, implementado com diodo Zener, funciona.

**Figura 12** - Circuito de um regulador de tensão usando um diodo Zener.

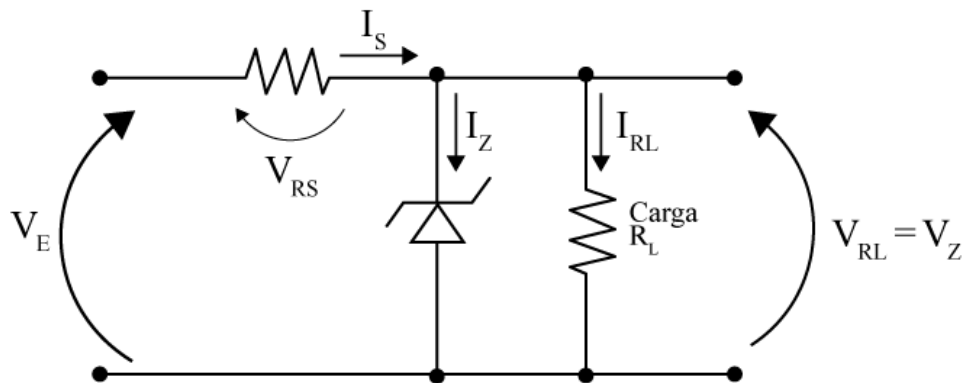


Para concluirmos, vamos detalhar algumas das características do diodo zener, ilustradas na figura 11.

- $V_Z$  é a tensão de ruptura (tensão zener) fornecida pelo fabricante;
- $V_Y$  é a tensão de condução de valor 0,7V;
- $I_{ZM}$  é a corrente máxima do zener (dada pelo fabricante);
- $I_{Zm}$  é a corrente mínima do zener. Se o fabricante não fornecer, é comum adotá-la como sendo 10% da corrente máxima;
- $P_{ZM}$  é a potência máxima do diodo ( $P_{ZM} = V_Z \cdot I_{ZM}$ ).

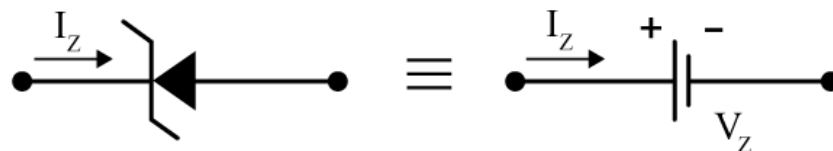
Considere o circuito da figura 13. A tensão de entrada  $V_E$  polariza o diodo Zener negativamente, produzindo uma tensão  $V_Z$  de saída. Se ligássemos ali, em paralelo, uma carga qualquer, estaríamos alimentando essa carga com a tensão Zener do diodo.

**Figura 13** - Carga ligada à diferença de potencial limitada pelo diodo Zener.



Assim, o diodo Zener, quando polarizado negativamente, atua como uma fonte de tensão cujo valor é o valor da tensão Zener. Veja, na figura 14, o esquema abaixo:

**Figura 14** - Interpretação do diodo Zener como uma fonte de tensão.



Fabricam-se diodos Zener com tensões  $V_Z$  que variam de 2 até 200V.

## Exercício Resolvido

Quando utilizamos diodo zener no circuito ilustrado na figura 13, geralmente, queremos aplicar uma tensão constante a uma determinada carga (resistência). Logo, vamos considerar a seguinte situação:

Queremos montar um circuito regulador de tensão, como ilustrado na figura 13. Para isso, estamos utilizando um diodo zener com as seguintes especificações (dados fornecidos pelo fabricante):

- $V_Z = 5,6 \text{ V}$ ;
- $I_{ZM} = 100\text{mA}$ ;
- $I_{7m} = 10\text{mA}$

## 2.2.1.1. Introdução

Nosso regulador utilizará uma fonte de tensão de entrada ( $V_E$ ) de 12V e deverá ser capaz de alimentar uma carga que poderá variar de  $100\Omega$  a  $20K\Omega$ . Para que consigamos isso, deveremos encontrar o valor de  $R_S$  que possibilite o regulador funcionar dentro dessas características.

Para resolver esse problema, precisamos entender que para o diodo zener funcionar normalmente, a corrente que flui pelo mesmo deve ser maior que  $I_{Zm}$  e menor que  $I_{ZM}$ , para qualquer valor de carga.

Sabendo disso, devemos analisar o circuito para duas situações críticas.

### Primeira situação ( $I_{Zm}$ ):

Vamos pensar na seguinte situação: Se a resistência de carga é muito baixa, a corrente de carga será muito alta devido à lei de ohm.

$$V = R * I \rightarrow I = \frac{V}{R} \rightarrow I_{RL\max} = \frac{V_Z}{R_{L\min}}$$

Isso fará com que pouca corrente de  $I_S$  flua pelo diodo, pois:

$$I_S = I_Z + I_{RL}$$

No entanto, essa pouca corrente de  $I_Z$  deve ser maior que  $I_{Zm}$  para que o diodo zener funcione normalmente. Para que isso ocorra, consideramos, nesse caso, que  $I_S$  é mínimo, pois qualquer valor acima de  $I_{S\min}$  garante uma corrente no zener maior que  $I_{Zm}$ . Logo, temos:

$$I_{S\min} = I_{Zm} + I_{RL\max}$$

Utilizando a lei de ohm, podemos reescrever a equação acima por:

$$\frac{V_E - V_Z}{R_{S\max}} = I_{Zm} + I_{RL\max} \rightarrow R_{S\max} = \frac{V_E - V_Z}{I_{Zm} + I_{RL\max}}$$

Lembrando que onde a corrente é mínima a resistência é máxima e vice versa.

Agora, vamos substituir os valores dados no problema:

$$I_{RL\max} = \frac{V_Z}{R_{L\min}} = \frac{5,6}{100} = 56mA$$
$$R_{S\max} = \frac{V_E - V_Z}{I_{ZM} + I_{RL\max}} = \frac{12 - 5,6}{10m + 56m} = 97\Omega$$

## Segunda situação ( $I_{ZM}$ ):

Nesta situação a resistência de carga é muito alta, logo a corrente de carga será muito baixa, devido à lei de ohm.

$$V = R * I \rightarrow I = \frac{V}{R} \rightarrow I_{RL\min} = \frac{V_Z}{R_{L\max}}$$

Isso fará com que grande parte da corrente de  $I_S$  flua pelo diodo, pois:

$$I_S = I_Z + I_{RL}$$

No entanto, esse alto valor de  $I_Z$  deve ser menor que  $I_{ZM}$  para que o diodo zener funcione normalmente. Para que isso ocorra, consideramos, nesse caso, que  $I_S$  é máximo, pois qualquer valor abaixo de  $I_{S\max}$  garante uma corrente no zener menor que  $I_{ZM}$ . Logo, temos:

$$I_{S\max} = I_{ZM} + I_{RL\min}$$

Utilizando a lei de ohm, podemos reescrever a equação acima por:

$$\frac{V_E - V_Z}{R_{S\min}} = I_{ZM} + I_{RL\min} \rightarrow R_{S\min} = \frac{V_E - V_Z}{I_{ZM} + I_{RL\min}}$$

Lembrando que onde a corrente é mínima a resistência é máxima e vice versa.

Agora, vamos substituir os valores dados no problema:

$$I_{RL\min} = \frac{V_Z}{R_{L\max}} = \frac{5,6}{20k} = 0,28mA$$
$$R_{S\min} = \frac{V_E - V_Z}{I_{ZM} + I_{RL\min}} = \frac{12 - 5,6}{100m + 0,28m} = 64\Omega$$

Assim, concluímos que para o regulador funcionar para uma carga variável de 100  $\Omega$  a 20k  $\Omega$ , temos que ter um resistor na faixa de 64  $\Omega$  a 97 $\Omega$ . Podemos utilizar um resistor de 82  $\Omega$  (valor comercial).

## Atividade 03

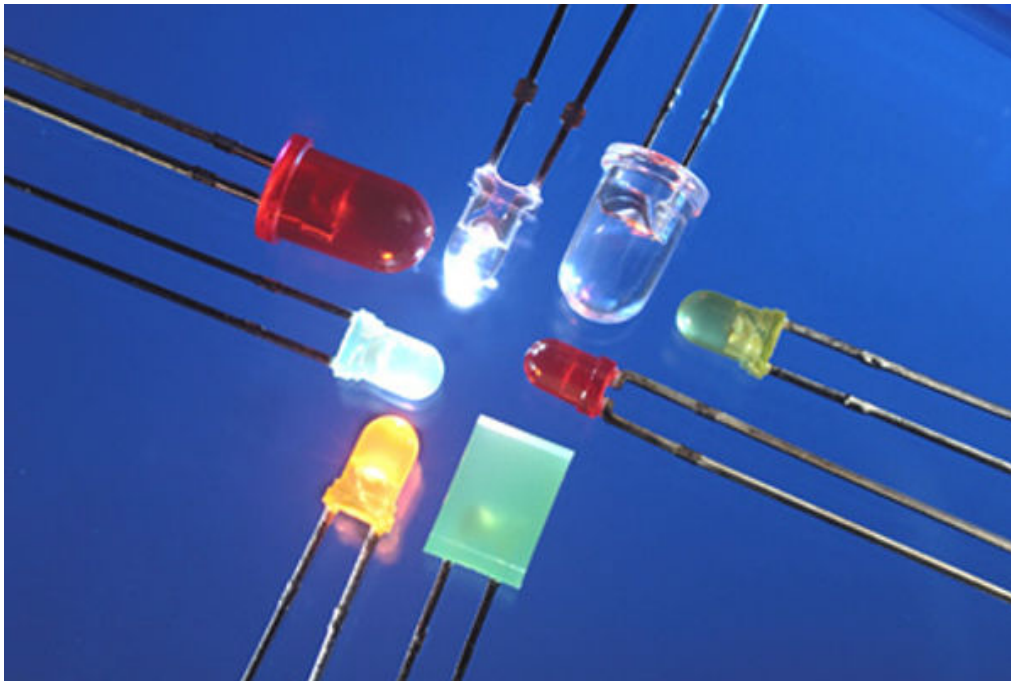
- 1. Utilizando o mesmo raciocínio do exercício resolvido, calcule o valor do resistor RS para uma carga variando de 1k  $\Omega$  a 100k  $\Omega$ .**
- 2. Calcule a potência dissipada pelo resistor RS, encontrado na questão anterior.**

## Diodos especiais (continuação)

### LED

Você pode estar se perguntando se esse LED é o mesmo LED das TVS e dos monitores de computador... Sim, é ele mesmo! Hoje em dia, o LED talvez seja até mais famoso do que os próprios diodos! Seu nome é uma sigla em inglês para diodo foto emissor - Light Emitting Diode - ou seja, um diodo emissor de luz. Na figura 15, conseguimos visualizar uma série de diodos disponíveis no mercado e geralmente encontrados em dispositivos eletrônicos.

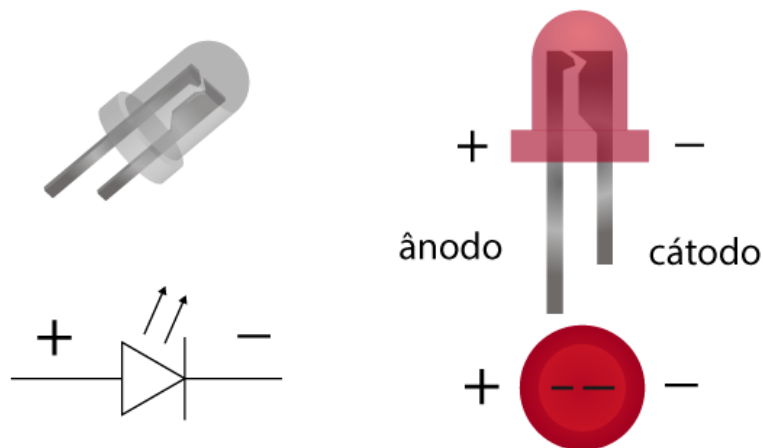
**Figura 15** - LED (Light Emitting Diode), diodo emissor de luz.



**Fonte:** <http://www.infoescola.com/electronica/led-diodo-emissor-de-luz/>. Acesso em: 15 jan. 2016.

Um LED é um diodo que emite luz. Sendo assim, ele é um dispositivo que, como o diodo, possui dois terminais: um positivo (ânodo) e um negativo (cátodo). Quando polarizado positivamente, ele atua como uma chave fechada - da mesma forma que um diodo tradicional - deixando a corrente passar e liberando luz! A figura 16 mostra, num encapsulamento tradicional, como os polos positivo e negativo podem ser reconhecidos. Além disso, podemos observar também a simbologia utilizada para representar esses dispositivos.

**Figura 16** - Diagrama de um LED.



**Fonte:** [http://www.societyofrobots.com/images/electronics\\_led\\_diagram.png](http://www.societyofrobots.com/images/electronics_led_diagram.png). Acesso em: 15 jan. 2016.

Vale ressaltar que, assim como nos diodos, temos que “pagar” uma tensão para utilizar o diodo. Enquanto que nos diodos construídos com silício, esse valor é de 0,7V - queda de tensão gerada pela barreira de potencial, quando polarizado positivamente - e 0,3V, quando o diodo foi construído a partir do semicondutor germânio. Nos LEDs esse valor vai variar com a cor do LED. Isso acontece pelas características dos materiais utilizados na confecção dos mesmos. Os LEDs vermelhos operam a um nível de tensão de 1,7V, aproximadamente. Os amarelos, por sua vez, operam a 2V. Os verdes, geralmente entre 2 e 3V.

# Resumo

Nesta aula, vimos a curva característica tensão-corrente de um diodo real. Estudamos a diferença de um diodo ideal para um real, além de nos familiarizarmos com mais uma região de operação do diodo, a região de ruptura. Vimos também, que é possível implementar portas lógicas utilizando diodos e resistores. E, por fim, aprofundamos nossos estudos em outros tipos de diodos bastante utilizados, diodo LED e diodo zener.

## Autoavaliação

1. Quais são as três regiões de operação do diodo de junção?
2. Em um diodo de junção, de silício polarizado diretamente, a partir de qual tensão aplicada em seus terminais ele começa a conduzir?
3. Quais os desenhos dos circuitos que implementam portas lógicas OR e AND, utilizando diodo?
4. Em qual região de operação o diodo zener funciona?
5. Em qual aplicação é comum utilizarmos o diodo zener?

## Referências

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8. ed. [s.l.]: Pearson, 2012.

FERREIRA, Aitan Póvoas. **Curso básico de Eletrônica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Biblioteca técnica Freitas Bastos, 1987.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade Básica**. 2. ed. [s.l.]: McGraw-Hill, 1997.



MARQUES, Angelo Eduardo B.; CHOURERI JUNIOR, Salomao; CRUZ, Eduarod Cesar Alves. **Dispositios semicondutores:** Diodos e Transistores. 13. ed. rev. São Paulo: editora Érica, 2012.