

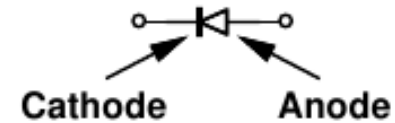
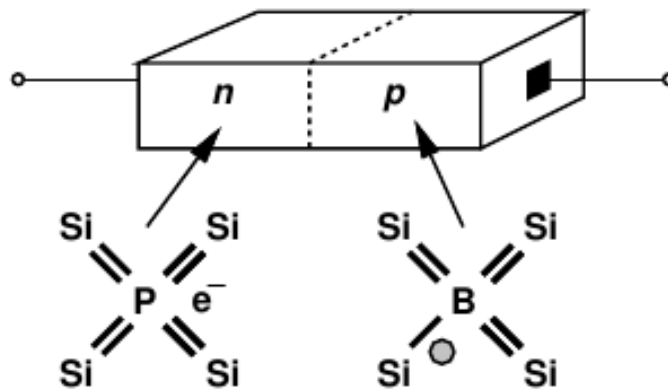
# **TE 046**

## **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS**

**Oscar C. Gouveia Filho**  
**Departamento de Engenharia Elétrica**  
**UFPR**

URL:  
[www.eletrica.ufpr.br/ogouveia/te046](http://www.eletrica.ufpr.br/ogouveia/te046)  
E-mail: [ogouveia@eletrica.ufpr.br](mailto:ogouveia@eletrica.ufpr.br)

### 3. JUNÇÃO pn

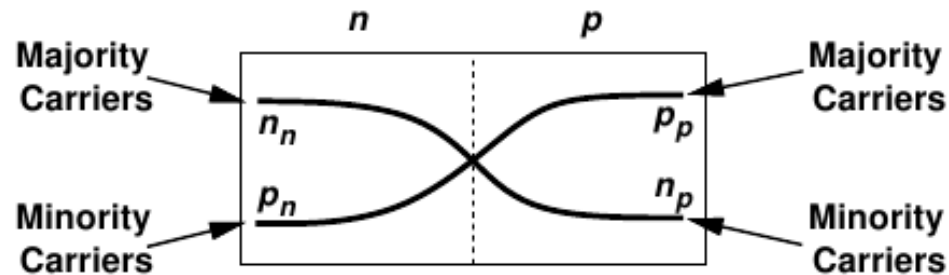


Fonte: Razavi, B., Fundamentos de Microeletrônica

### 3.1. A Junção pn em Equilíbrio

A junção pn está em equilíbrio quando não há conexão externa nem tensão aplicada ao dispositivo

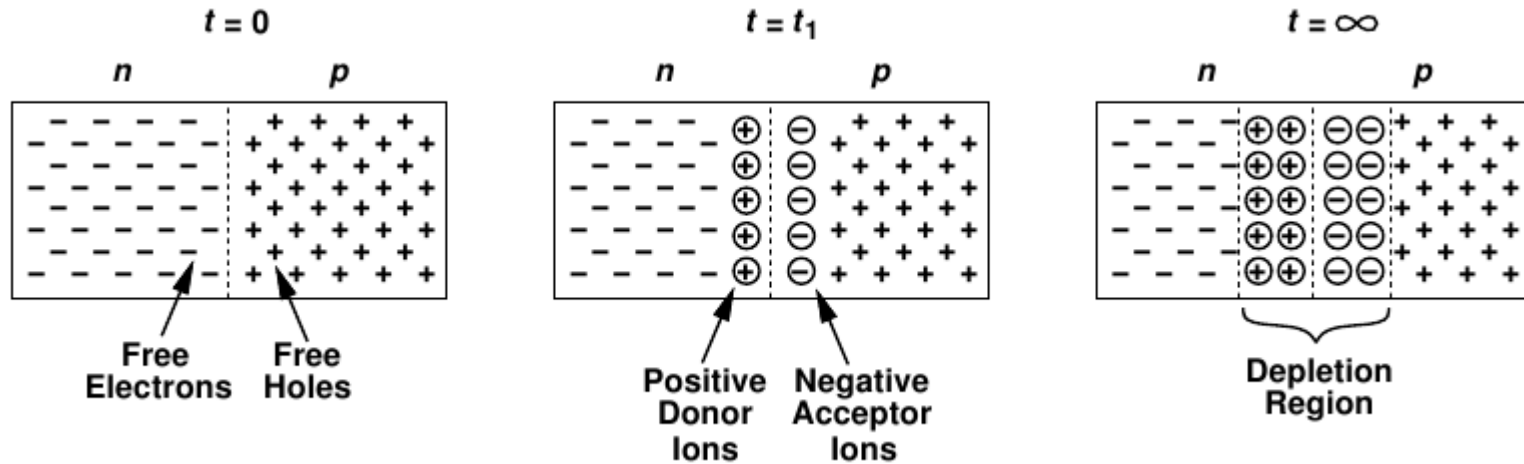
#### Notação



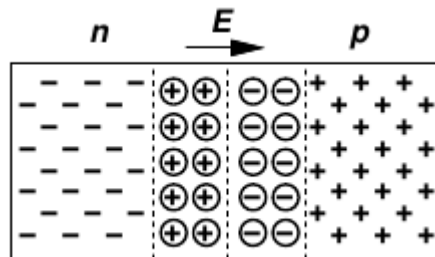
$n_n$  : Concentration of electrons on n side  
 $p_n$  : Concentration of holes on n side  
 $p_p$  : Concentration of holes on p side  
 $n_p$  : Concentration of electrons on p side

*Exemplo:* Uma junção pn tem os seguintes níveis de dopagem:  $N_A = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  e  $N_D = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Determine as concentrações de elétrons e lacunas em ambos os lados.

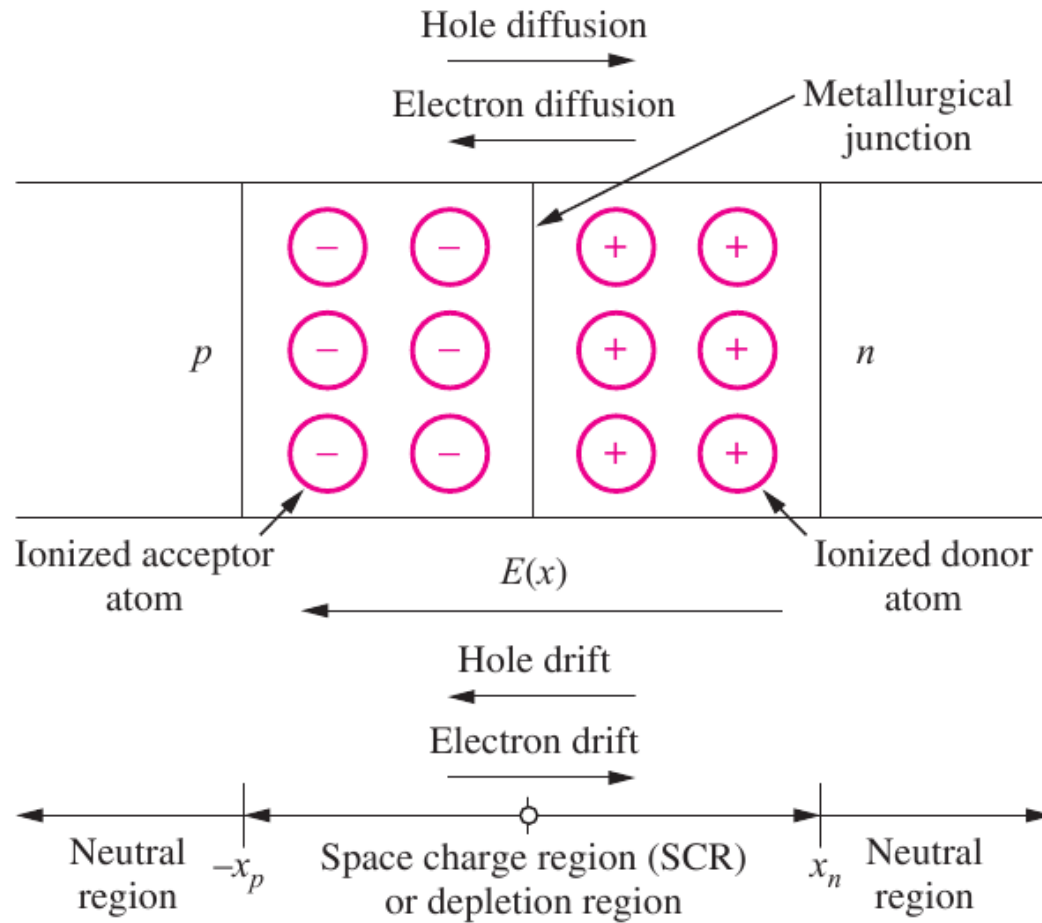
## Comportamento físico da junção pn

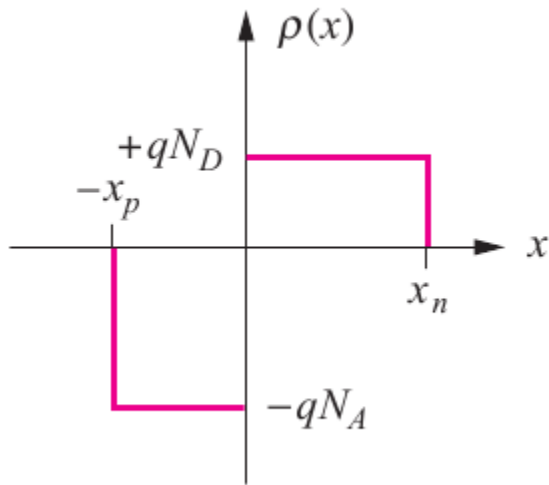


Aparecimento de um campo elétrico  $E$  na junção suficiente para compensar as correntes de difusão.



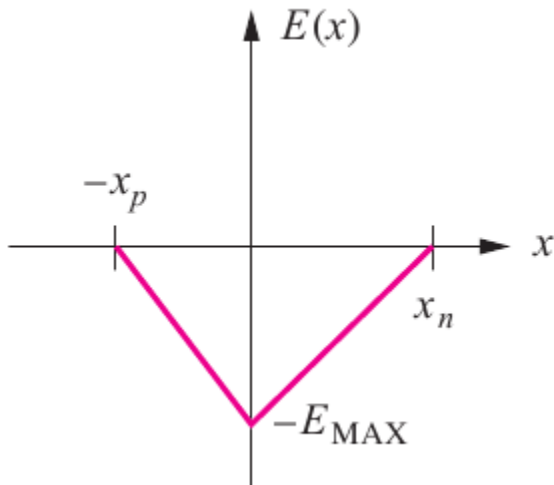
# Campo elétrico e potencial elétrico na região de depleção





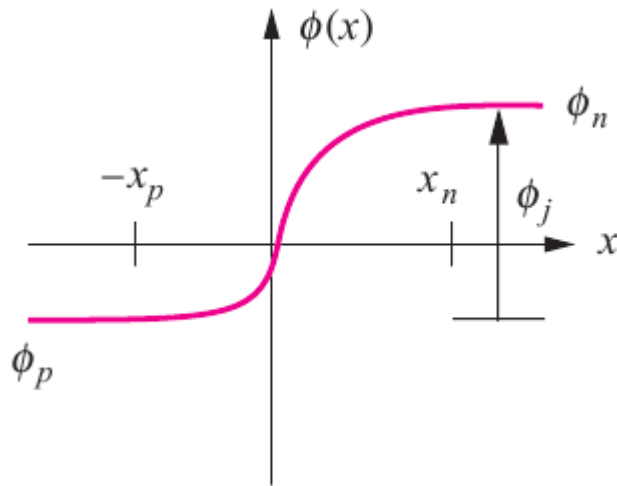
Densidade de carga

$$q N_A x_p = q N_D x_n$$



Campo elétrico

$$E(x) = \frac{1}{\epsilon_s} \int \rho_c(x) dx$$



Potencial elétrico

$$\phi_j = - \int E(x) dx \quad \text{V}$$

Pode-se mostrar que o potencial interno da junção é dado por

$$\phi_j = V_T \ln \left( \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

onde

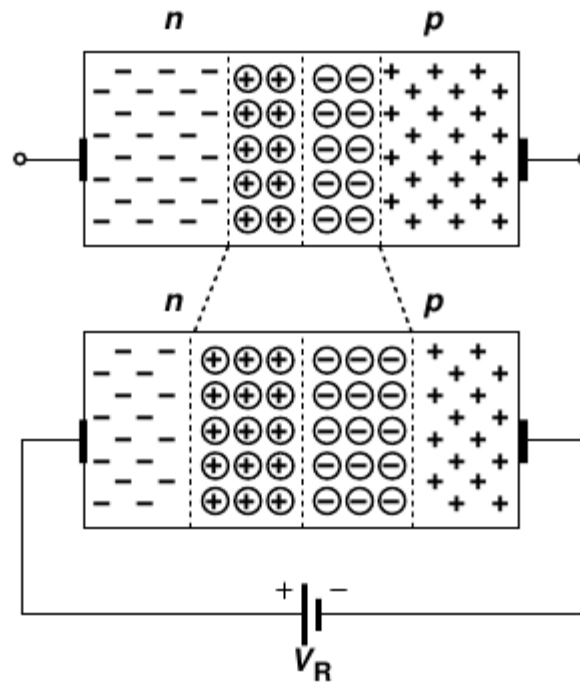
$$V_T = \frac{kT}{q}$$



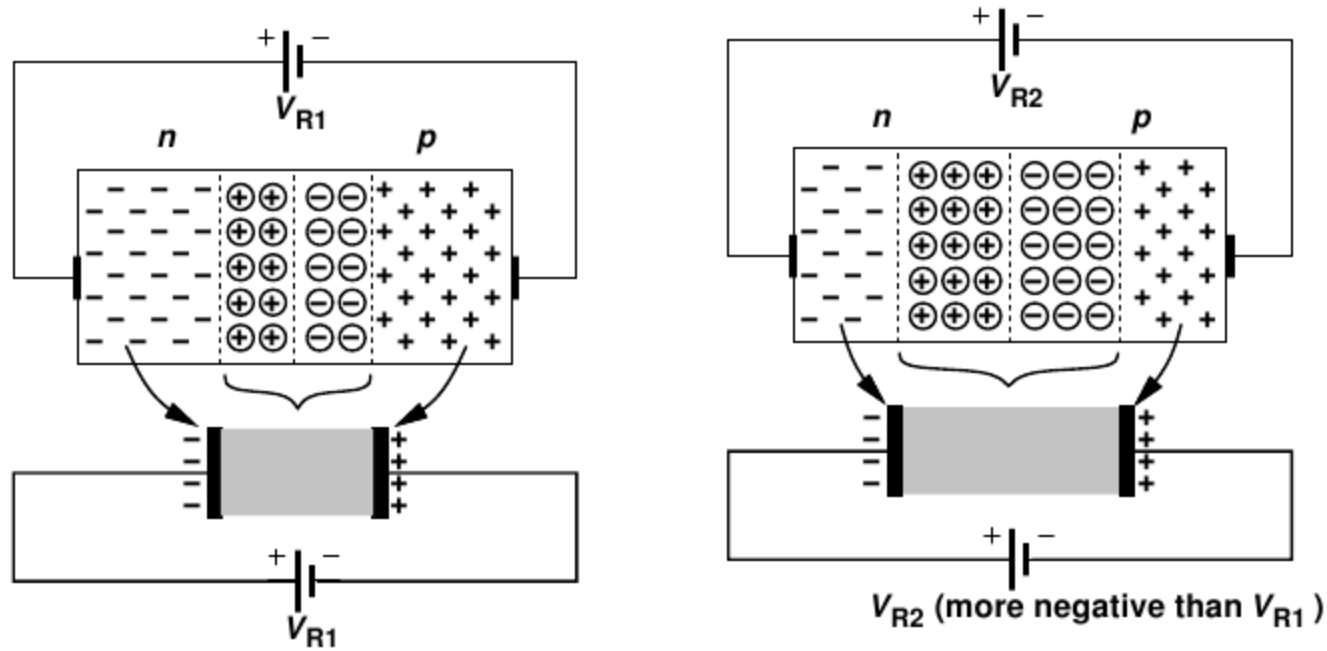
*Exemplo:* Uma junção pn tem os seguintes níveis de dopagem:  $N_A = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  e  $N_D = 4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Determine o potencial interno da junção à temperatura ambiente ( $T = 300 \text{ K}$ ).



## 3.2. A Junção pn em Polarização Reversa



## Capacitância da junção

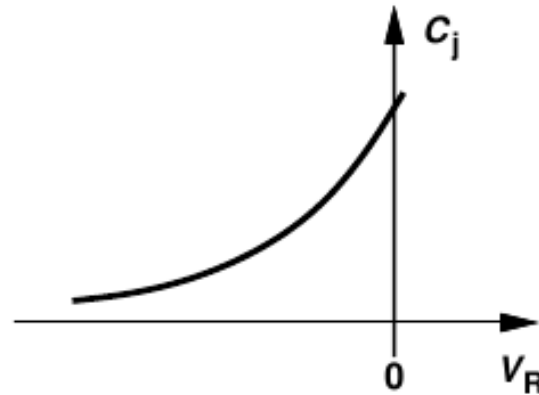


## Capacitância por unidade de área

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{\left(1 - \frac{V_R}{\phi_j}\right)}} \quad \text{onde}$$

$$C_{j0} = \sqrt{\frac{\epsilon_{sq}}{2} \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \frac{1}{\phi_j}}$$

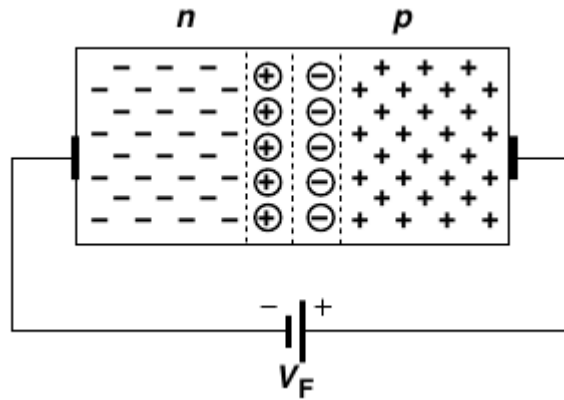
## Capacitância da junção em função da tensão reversa



*Exemplo:* Uma junção pn tem os seguintes níveis de dopagem:  $N_A = 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  e  $N_D = 9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Determine a capacitância da junção, à temperatura ambiente, para  $V_R = 0 \text{ V}$  e  $V_R = 1 \text{ V}$ .

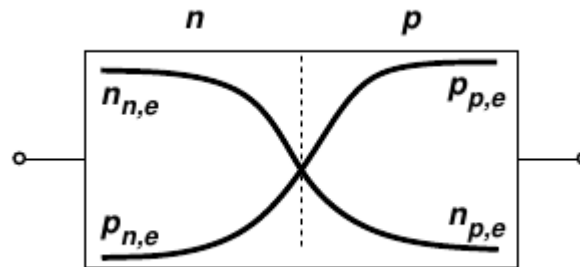
*Exemplo:* Um telefone celular contém um oscilador na frequência de 2 GHz, a qual é definida pela frequência de ressonância de um circuito tanque LC. Se a capacitância do circuito é realizada pela junção pn do exemplo anterior, calcule a variação de frequência do oscilador quando a tensão reversa varia de 0 a 2 V. Assuma que a frequência de 2 GHz é obtida para  $V_R = 0$  V e a área da junção é de  $2000 \mu\text{m}^2$ .

### 3.3. A Junção pn em Polarização Direta

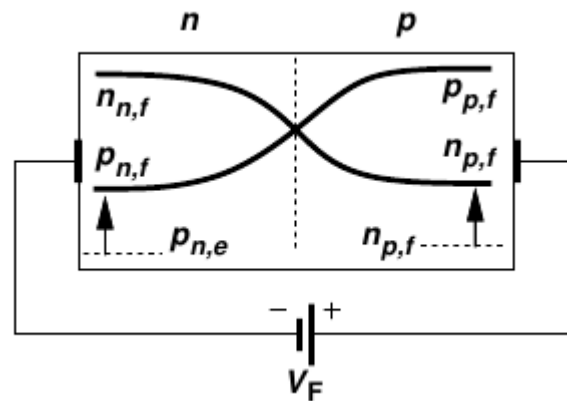


A tensão aplicada  $V_F$  reduz a barreira de potencial

## Perfil de portadores

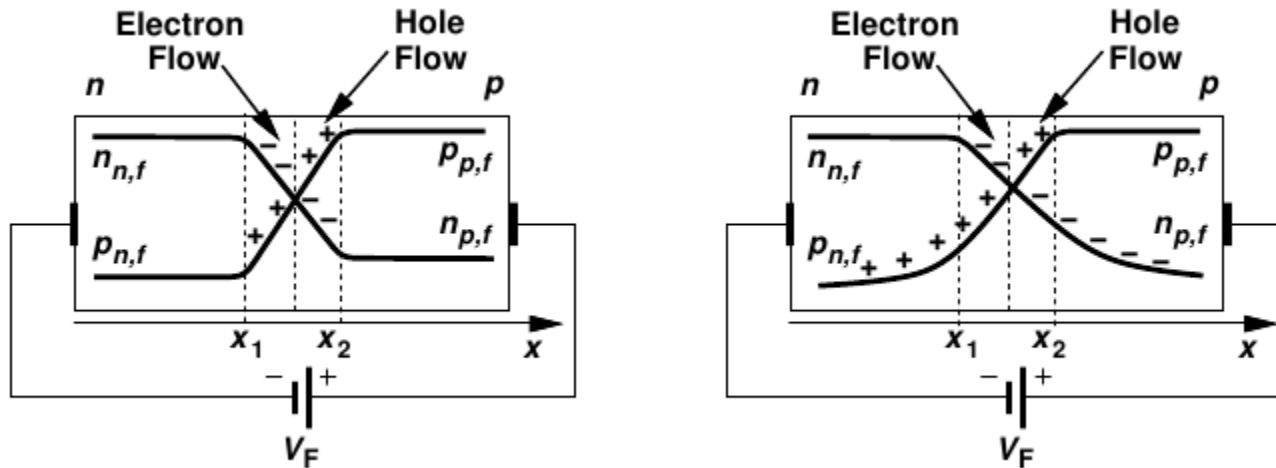


equilíbrio

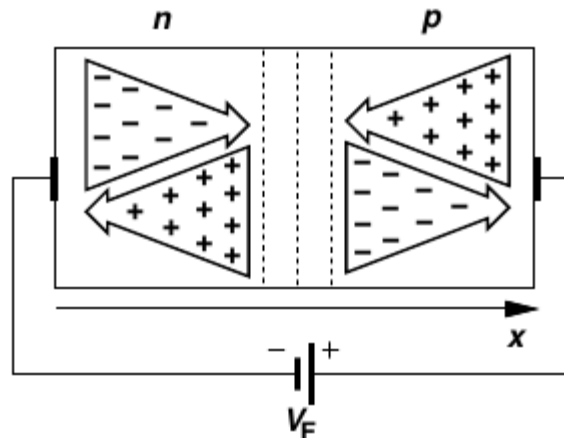


Polarização direta



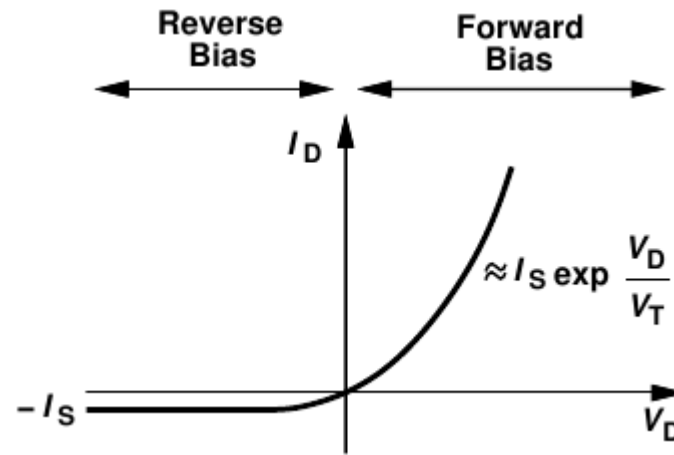


Corrente de minoritários e majoritários na junção polarizada diretamente

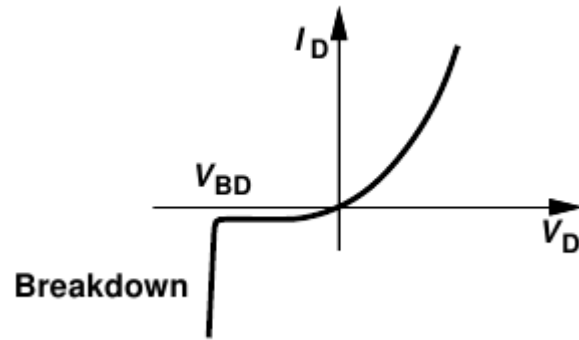


### 3.4. Característica Corrente - Tensão

$$I_D = I_S \left( \exp \frac{V_D}{V_T} - 1 \right)$$

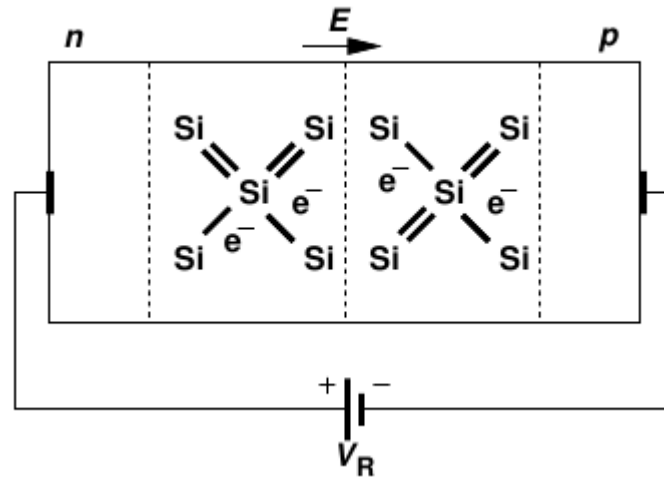


## 3.5. Ruptura Reversa



# Ruptura Zener

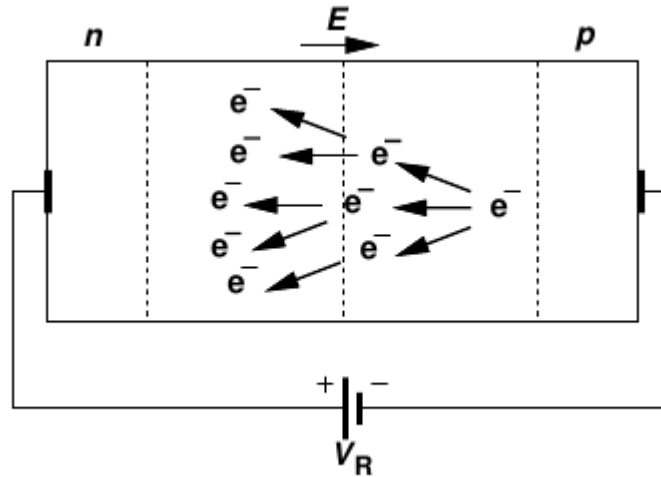
Efeito do campo elétrico sobre as ligações covalentes, liberando elétrons para condução.



- Região de depleção estreita
- Dopagem elevada
- Tensões reversas na faixa de 3 a 8 V

## Ruptura por avalanche

Portadores acelerados na região de depleção se chocam contra as ligações covalente quebrando-as e, conseqüentemente liberando mais elétrons para a condução.



- Dopagens baixas e moderadas
- Tensões reversas acima de, aproximadamente 5,6V