

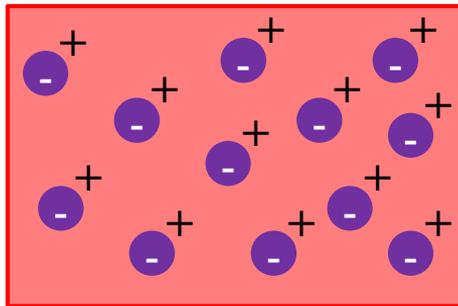
Diodos

FABRÍCIO – RONALDO-DORIVAL

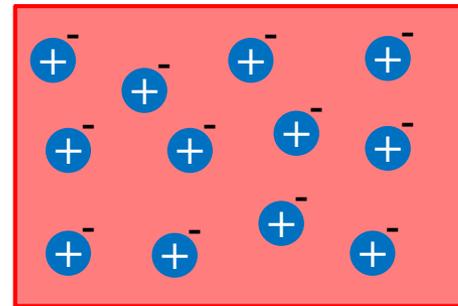
Diodos

- Estruturalmente temos:
 - ▣ Material p \Rightarrow íons receptores + “lacunas” livres
 - ▣ Material n \Rightarrow íons doadores + elétrons livres

Material p

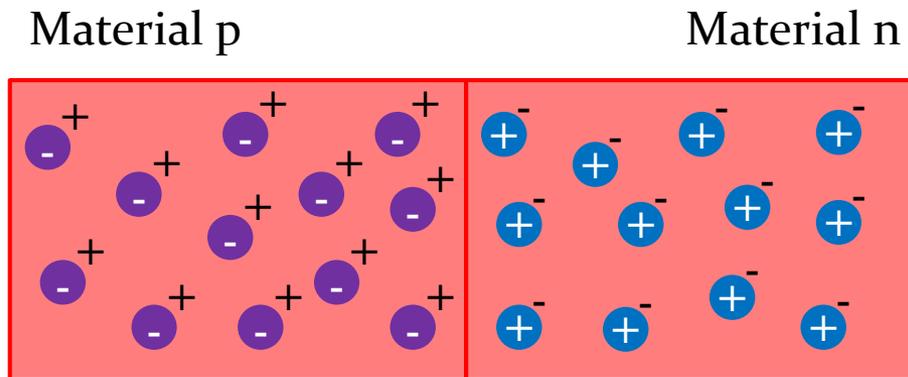


Material n



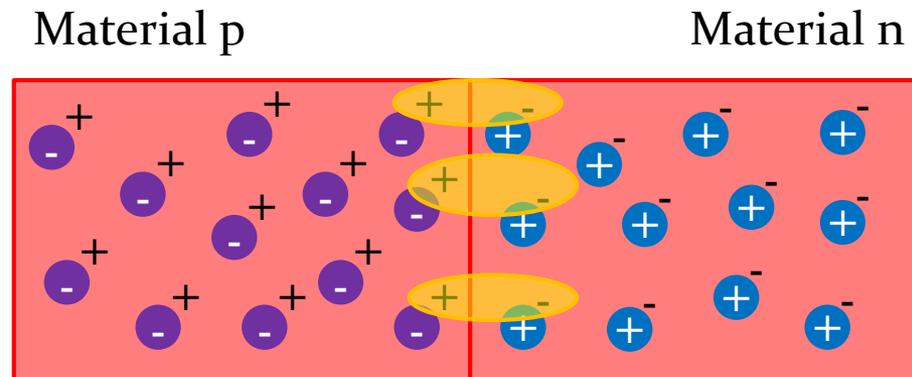
Diodos

- Quando ligamos um pedaço de material do tipo p com um pedaço de material do tipo n produzimos um **Diodo**.



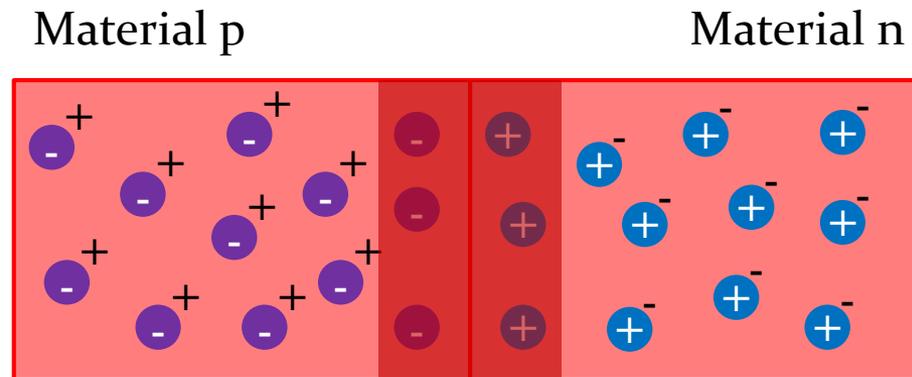
Diodos

- Próximo à junção, os elétrons livres do material do tipo n migram para as “lacunas” livres do material do tipo p (atração elétrica).



Diodos

- Forma-se então uma **zona de depleção** onde há apenas íons negativos e positivos fixados pela estrutura cristalina.

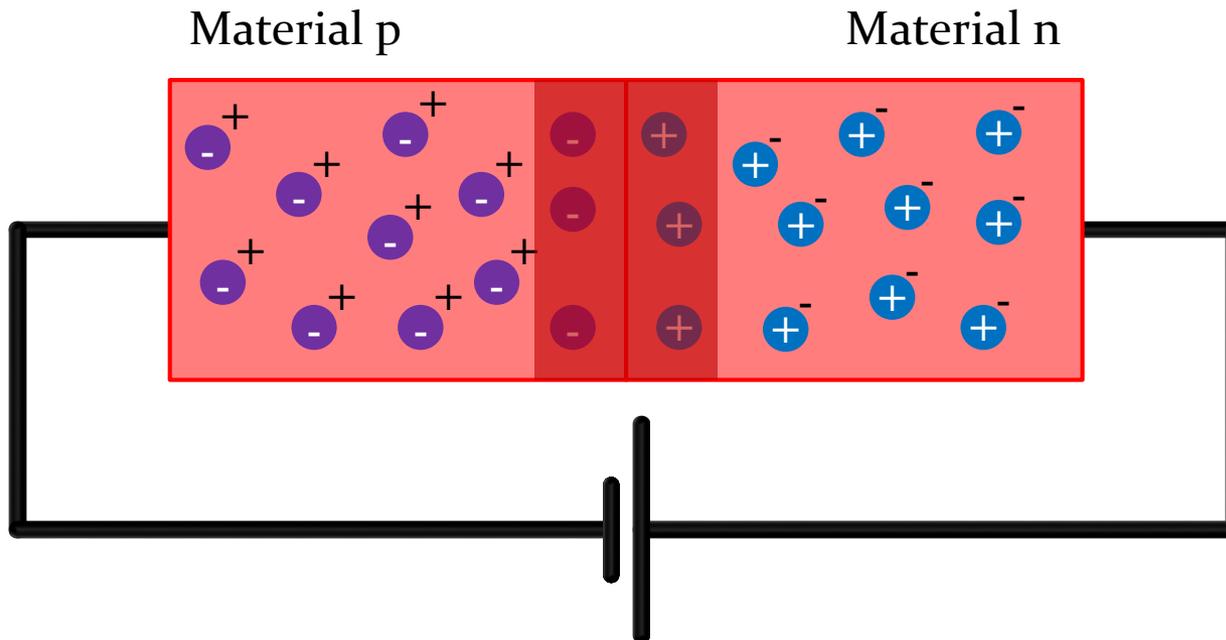


Diodos

- O tamanho da zona de depleção depende:
 - ▣ Do material intrínseco (Si, Ge)
 - ▣ Da quantidade de impurezas
- Por que outros elétrons livres (e “lacunas” livres) não atravessam a zona de depleção, aumentando-a?

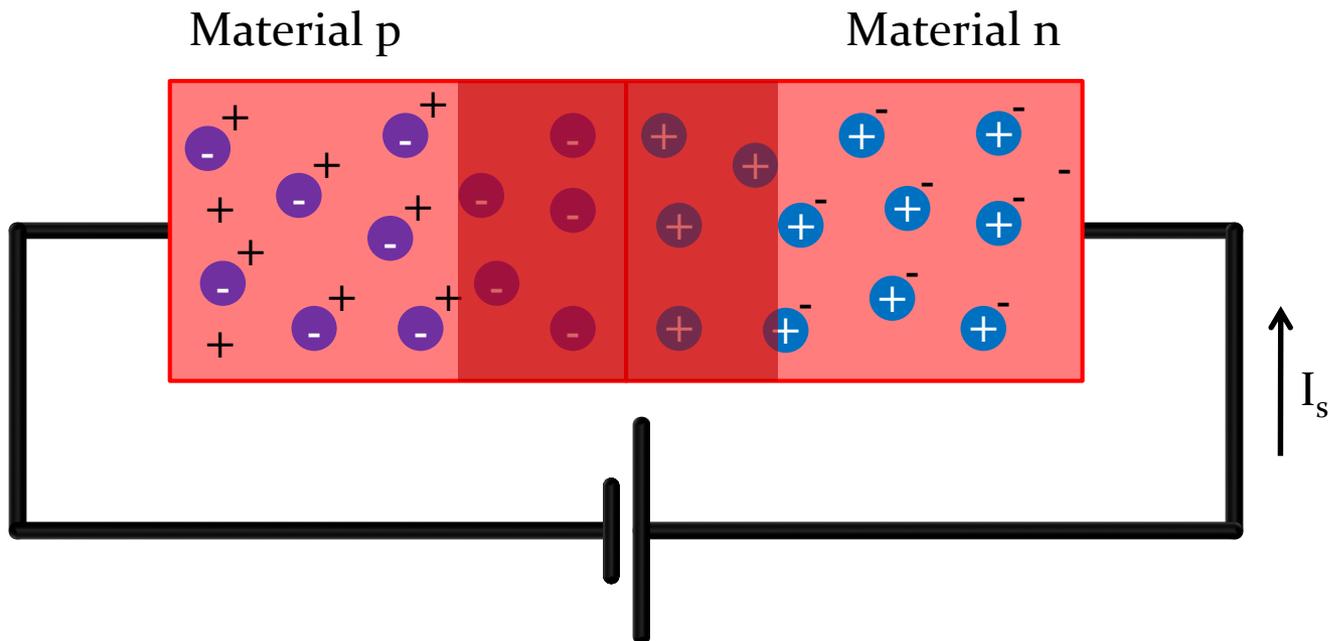
Diodos

- Aplicando uma tensão (**polarização inversa**)
 - ▣ Elétrons são atraídos para potencial positivo
 - ▣ “Lacunas” são atraídas para potencial negativo



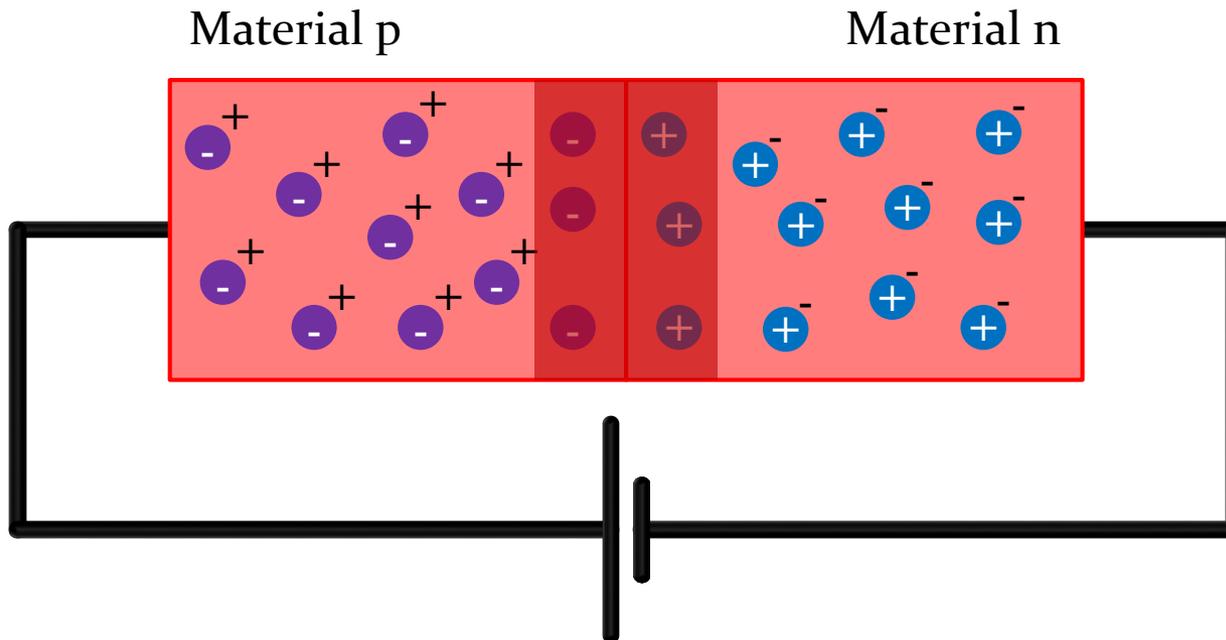
Diodos

- Aumento da zona de depleção, impedindo elétrons livres alcançarem “lacunas” livres através dessa zona.
- Presença de corrente reversa (saturação) – I_s
 - Devido a impurezas – minoritárias – dos materiais.



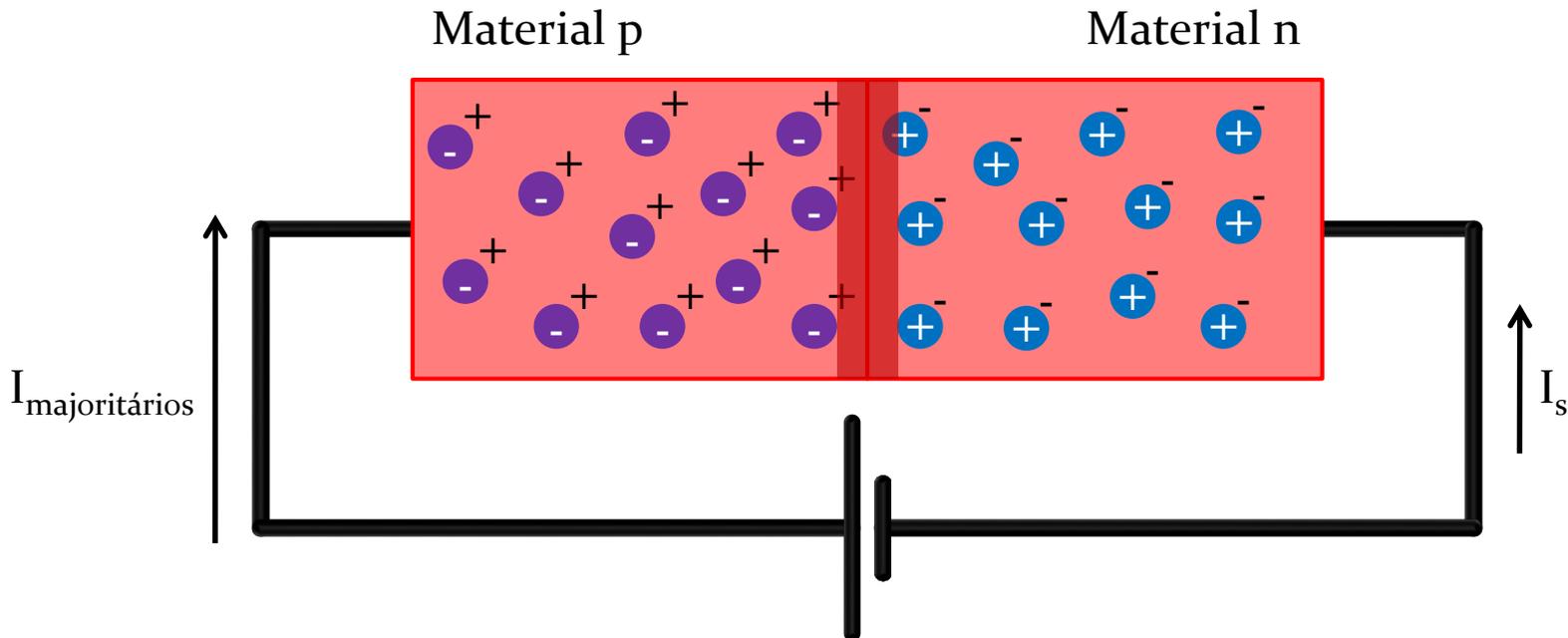
Diodos

- Aplicando uma tensão (**polarização direta**)
 - ▣ Elétrons são afastados pelo potencial negativo
 - ▣ “Lacunas” são afastados pelo potencial positivo



Diodos

- Redução da zona de depleção, facilitando elétrons livres alcançarem “lacunas” livres através dessa zona.
- Pouca energia para que elétrons e “lacunas” livres cruzem a junção (corrente $I_{\text{majoritários}}$)



Diodos

- Note que existe uma tensão mínima aplicada pela bateria/fonte que consegue “zerar” a zona de depleção (**potencial de junção**).
 - Silício $\Rightarrow V_{\text{junção}} = 0,7 \text{ V}$
 - Germânio $\Rightarrow V_{\text{junção}} = 0,3 \text{ V}$
- Quando polarizado diretamente
 - o diodo **conduzirá corrente** quando a tensão direta aplicada for maior que o potencial de junção.
 - $V_{\text{direta}} > V_{\text{junção}}$.

Diodos

□ Matematicamente temos

$$I_{\text{direta}} (= I_{\text{majoritários}} - I_s) = I_s (e^{kV/T} - 1)$$

□ I_s \rightarrow corrente de saturação reversa

- $I_s = 2 \mu\text{A}$ (Germânio)

- $I_s = 10 \text{ nA}$ (Silício)

□ k \rightarrow $11.600/\eta$

- $\eta = 1$ (Germânio)

- $\eta = 2$ (Silício)

□ V \rightarrow tensão **direta** aplicada

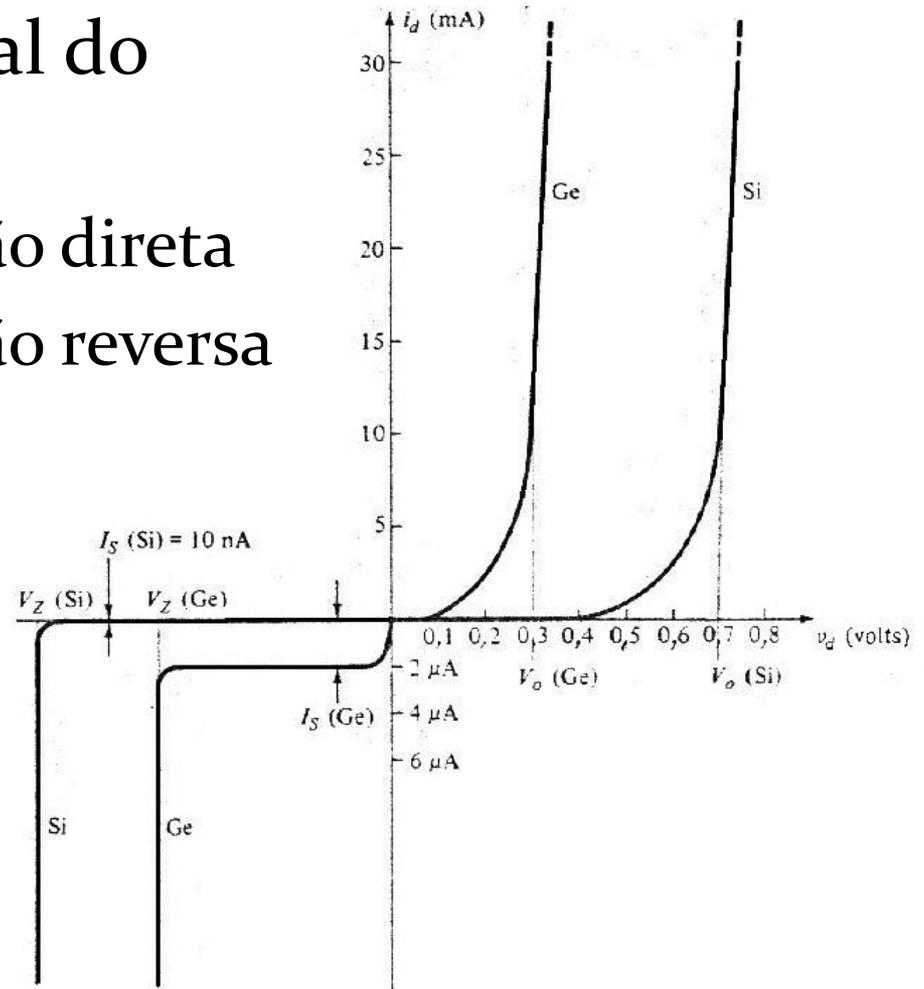
□ T \rightarrow temperatura (em kelvin) ($c = k - 273$):. $K=c+273$

Diodos

- Qual a corrente em um diodo de silício polarizado diretamente com tensão $V = 0,5 \text{ V}$ a uma temperatura de 25°C ?

Diodos

- Comportamento Real do Diodo.
 - ▣ Região de polarização direta
 - ▣ Região de polarização reversa



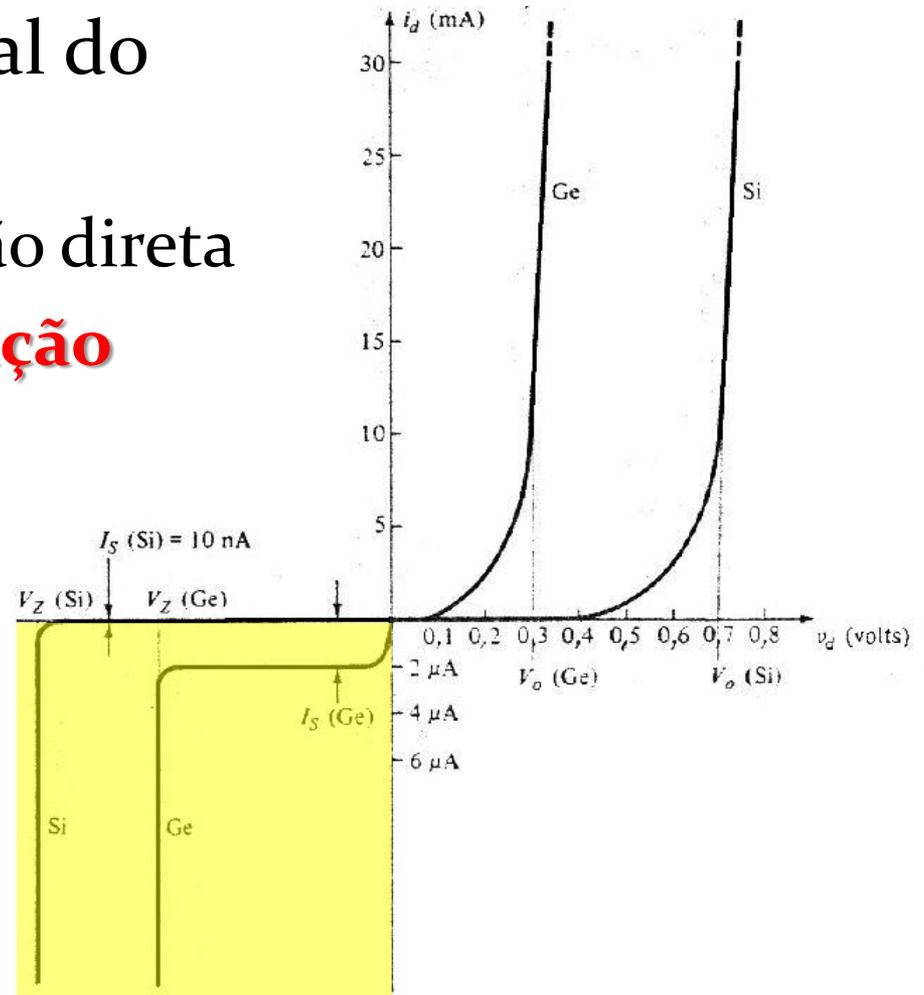
Diodos

- Comportamento Real do Diodo.
 - **Região de polarização direta**
 - Região de polarização reversa



Diodos

- Comportamento Real do Diodo.
 - ▣ Região de polarização direta
 - ▣ **Região de polarização reversa**



Diodos

- Tensão de polarização reversa (V_{Zener})
 - Tensão Zener.
 - Ocorre quando um potencial de tensão é tão alto energiza os elétrons da camada de valência, que desligam-se dos átomos do material semicondutor, e causa uma corrente reversa elevada.
 - Corrente de avalanche.
 - Da ordem de 1000 V.
 - Diodos Zener
 - Produzidos para obter V_{Zener} mais baixos.

Diodos

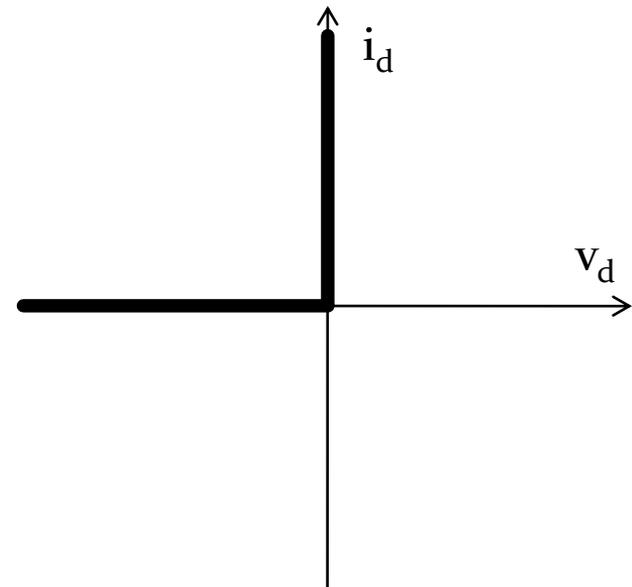
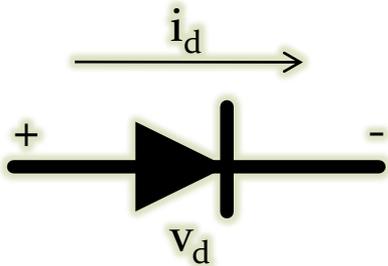
- Capacitância
 - ▣ Capacitância controlada por tensão aplicada
 - ▣ Efeito isolante de zona de depleção
- Tempo de recuperação (t_{rr})
 - ▣ Tempo para diodo responder corretamente quando alteramos entre polarização direta e reversa.
- Temperatura
 - ▣ Afeta características físicas do diodo

Diodos

- Parâmetros referentes a diodos
 - Máxima tensão direta
 - Máxima corrente direta
 - Máxima corrente reversa
 - Tensão de ruptura
 - Máxima capacitância
 - Máximo tempo de recuperação
 - Máxima temperatura de operação

Diodos

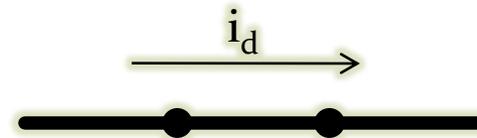
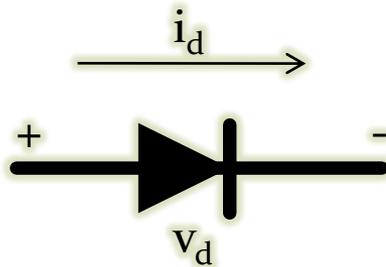
- Comportamento Ideal do Diodo
 - ▣ Não há tensão de ruptura
 - ▣ Não há tensão de junção
 - ▣ Não há corrente de polarização reversa



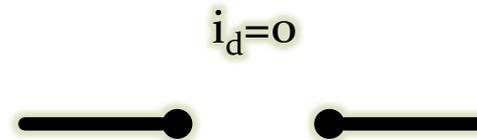
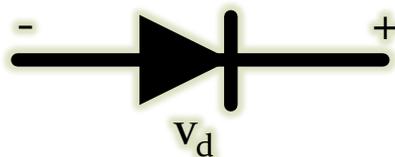
Diodos

- Equivalentes

- Polarização direta = curto-circuito



- Polarização reversa = circuito aberto



Diodos

□ Análise DC

□ Aplicando lei de Kirchhoff

- $-V + V_D + V_R = 0$

- $V_D = V - I_D R$

□ Mas no diodo, $I_D = f(V_D)$

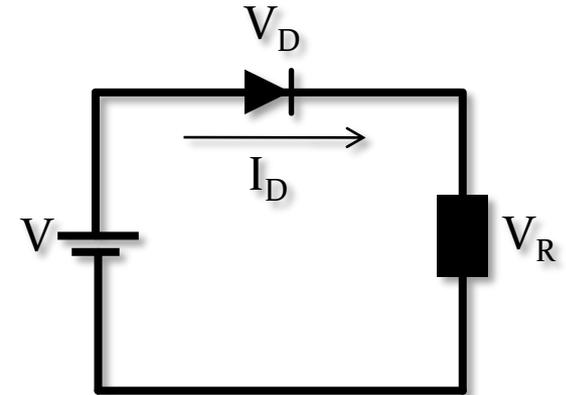
□ Reescrevendo,

- $I_D = - (1/R) V_D + (V/R)$

■ Definiremos então a reta de carga

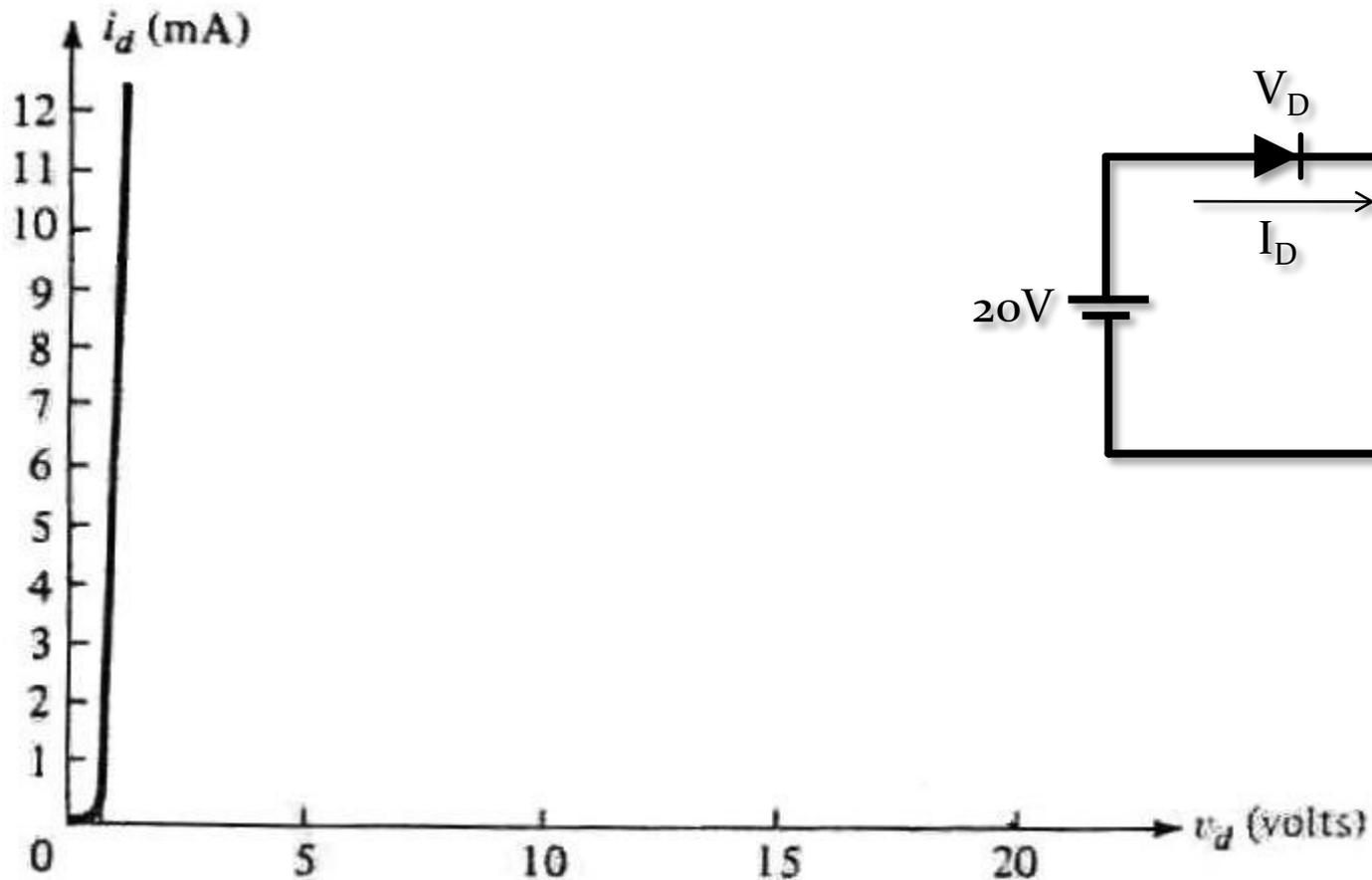
- V_D para $I_D = 0$

- I_D para $V_D = 0$



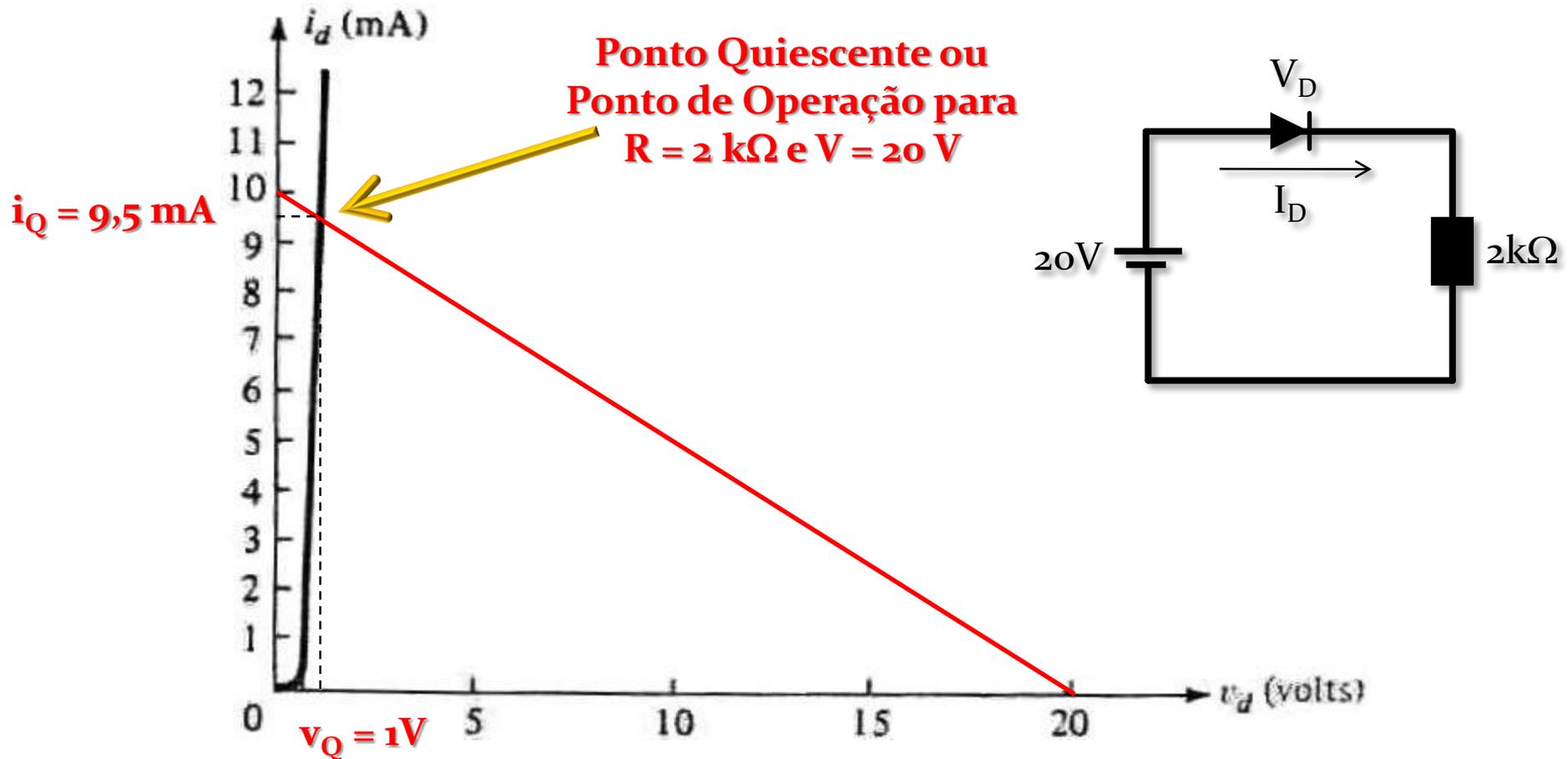
Diodos

- A partir da curva $i_d \times v_d$ de um diodo qualquer:



Diodos

- A partir da curva $i_d \times v_d$ de um diodo qualquer:



Diodos

- Para o diodo, temos $I_D = f(V_D)$
 - ▣ Logo, $R_{dc} = v_Q/i_Q$
 - Resistência estática, ou DC
 - No exemplo anterior, $R_{dc} = ?$
 - ▣ Permite substituição do diodo real por uma resistência R_{dc} .
 - ▣ Mas como lidar com tensões aplicadas ao diodo que variem no tempo?

Diodos

- Conceito de resistência dinâmica
 - ▣ Inclinação da curva característica do diodo no ponto quiescente.
 - $r_d = dV/dI @ (i_Q, v_Q)$
 - ▣ Mas...
 - $dI/dV = (k/T) (I_D + I_s)$
 $dI/dV \approx (11600/298) I_D$
 - $\eta = 1$, temperatura de 25°C, $I_D \gg I_s$
 - $dV/dI \approx 0,026/I_D$
 - $dV/dI = r_d = 26 \text{ mV} / I_D$
 - (I_D em mA)

Diodos

- Conceitos de resistência dinâmica
 - ▣ Para compensar diferenças entre diodos para diferentes aplicações
 - $r_d = 26 \text{ mV} / I_D + r_b$
 - (I_D em mA)
 - $r_b = 0,1 \Omega$ para alta potência
 - $r_b = 2 \Omega$ para baixa potência
 - ▣ Lembre-se: usado para sinais de pequena variação.

Diodos

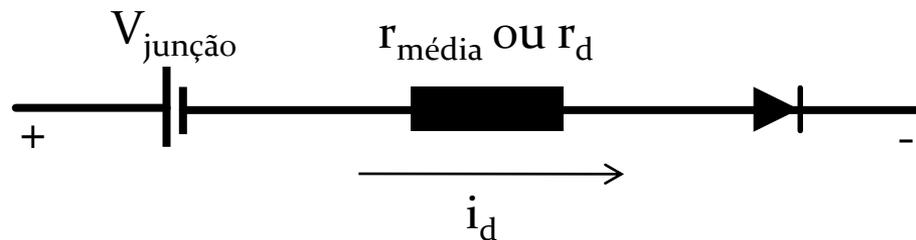
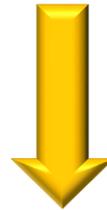
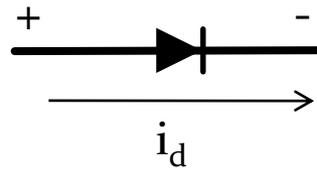
- Conceitos de resistência dinâmica
 - ▣ Para sinais com grande variação, dividimos a curva característica em regiões distintas.
 - ▣ Para cada região, usamos a aproximação:
 - $r_{\text{média}} = \Delta V / \Delta I$
 - ▣ Aproximação por segmentos
 - Piecewise linear approximation.
 - A quantidade de segmentos depende do grau de aproximação desejado.

Diodos

- Circuitos equivalentes
 - ▣ Representar adequadamente um diodo real usando:
 - Diodo ideal
 - Representar a condução ou não condução do diodo real quando polarizado direta ou reversamente.
 - Resistência
 - Representar a inclinação da curva característica do diodo por aproximação linear.
 - Fonte de tensão fixa
 - Representar a tensão da junção a ser superada para condução.

Diodos

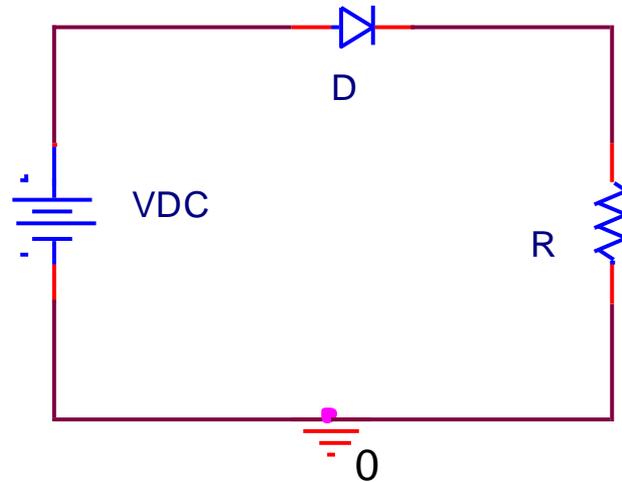
□ Circuitos equivalentes



Diodos

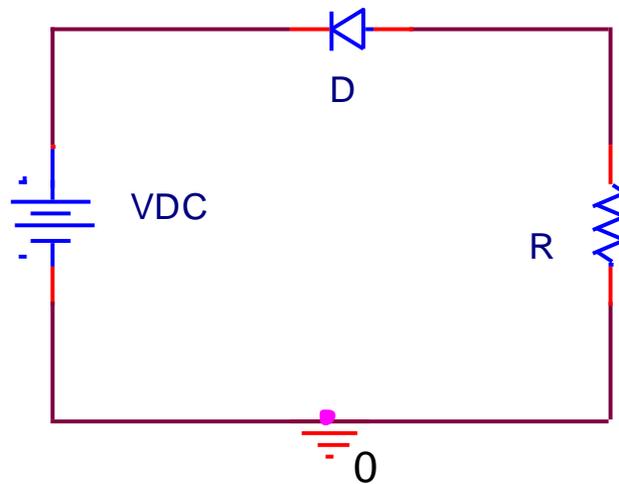
□ Exemplos

- Considere $V_{DC} = 8V$, $R = 2,2k\Omega$ e diodo D de silício.

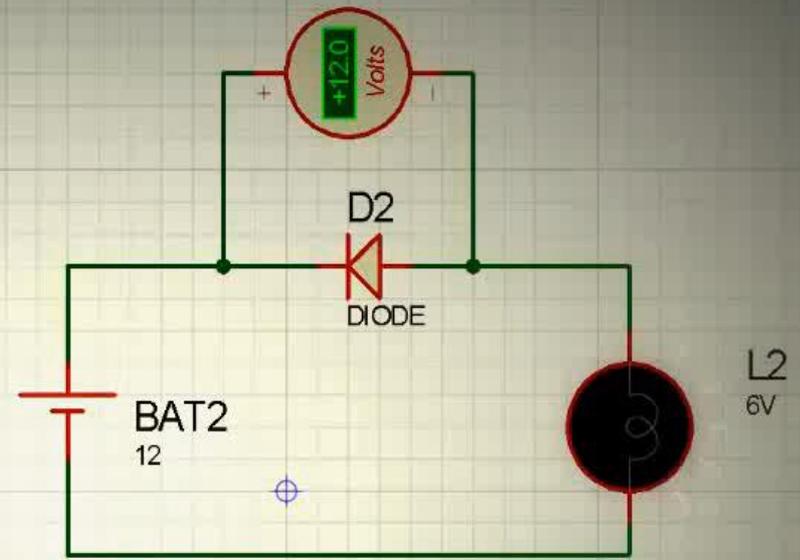
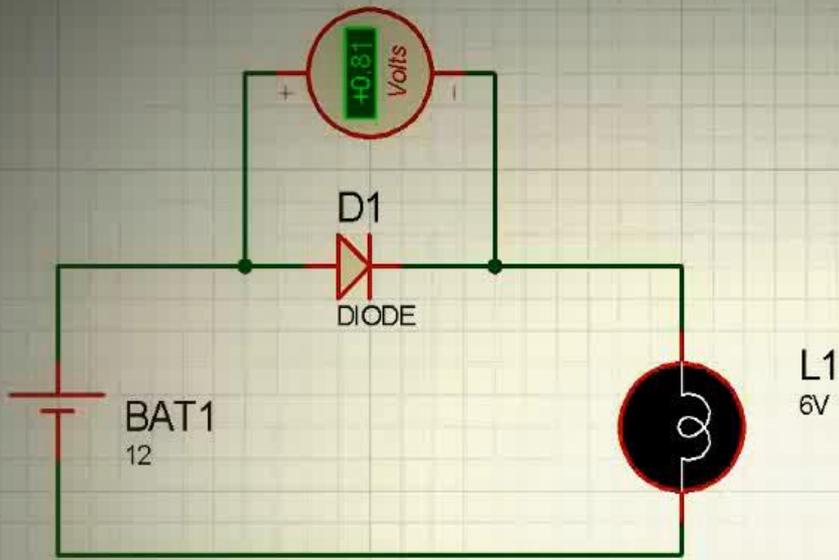


Diodos

- Exemplos
 - ▣ Considere $V_{DC} = 10V$, $R = 1k\Omega$ e diodo D de silício.



- ▣ Diodos



Diodo
aula4