

LOM3206 – ELETRÔNICA

AULA 4

Prof. Dr. Emerson G. Melo

Transistor;

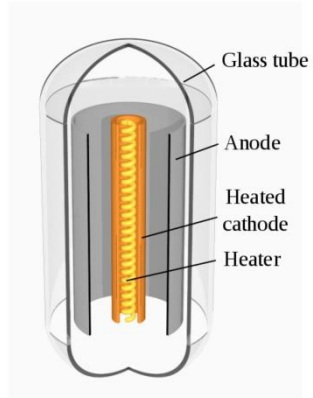
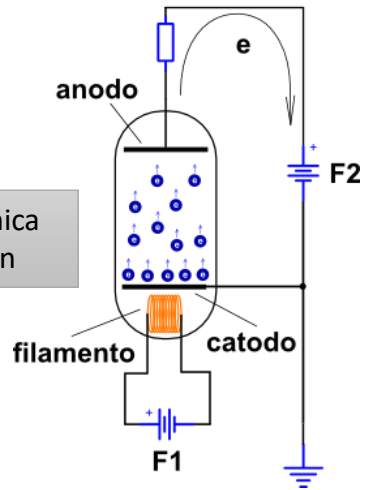
- Construção;
- Operação;
- Polarização;
- Base-comum;
- Emissor-comum;
- Coletor-comum;
- Ganho;
- Limites de Operação;
- Potência;
- Folha de Dados;

Exercícios Propostos.

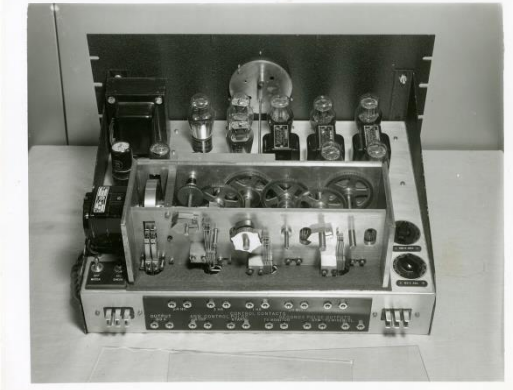
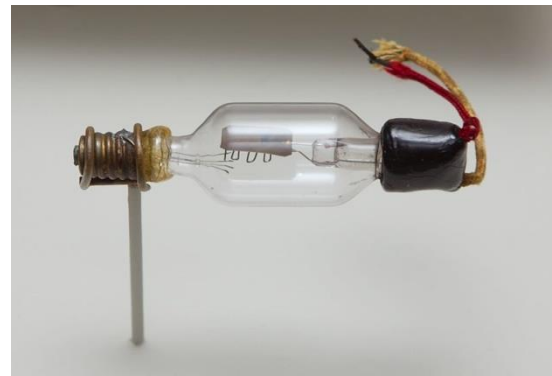
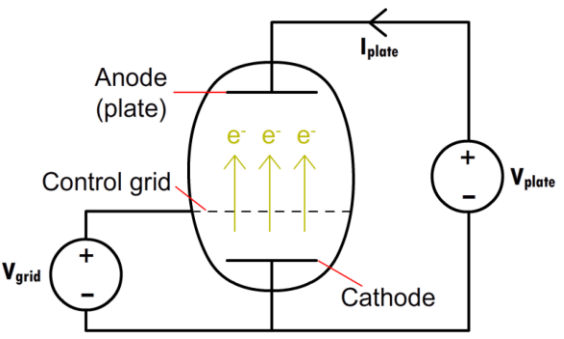
Válvulas

Válvula Diodo: John A. Fleming, 1904

Emissão Termiônica ou Efeito Edison



Válvula Triodo: Lee de Forest, 1906



Fonte: engineering.com, 2020

Transistor

- Dispositivo de estado sólido com 3 terminais que poderia ser utilizado para amplificação de sinais com performance superior em relação às válvulas.



Transistor Bipolar de Junção:
Laboratórios Bell, 1947



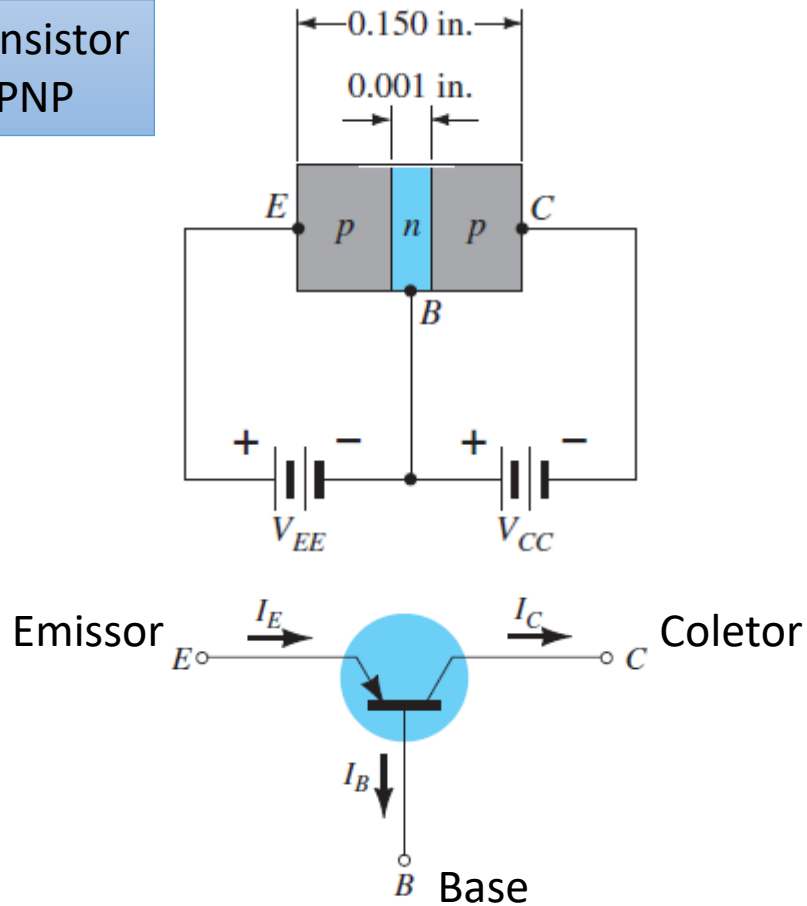
John Bardeen, William Shockley e Walter Brattain.
Prêmio Nobel de Física em 1956



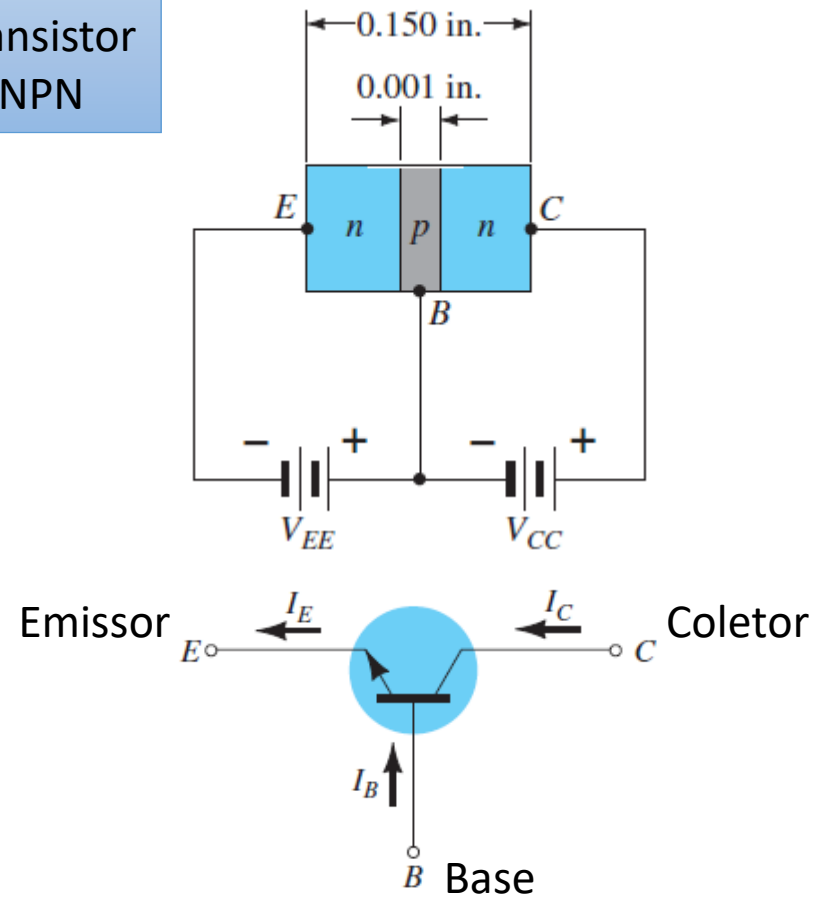
Transistor: Construção

Formado por duas junções *pn*, sendo o material da camada central muito mais fino e menos dopado que o material das camadas externas.

Transistor PNP



Transistor NPN



Razão entre a espessura das camadas

$$\frac{0,150}{0,001} = \frac{150}{1} \quad \begin{matrix} E,C \\ B \end{matrix}$$

Razão entre a concentração de portadores extrínsecos

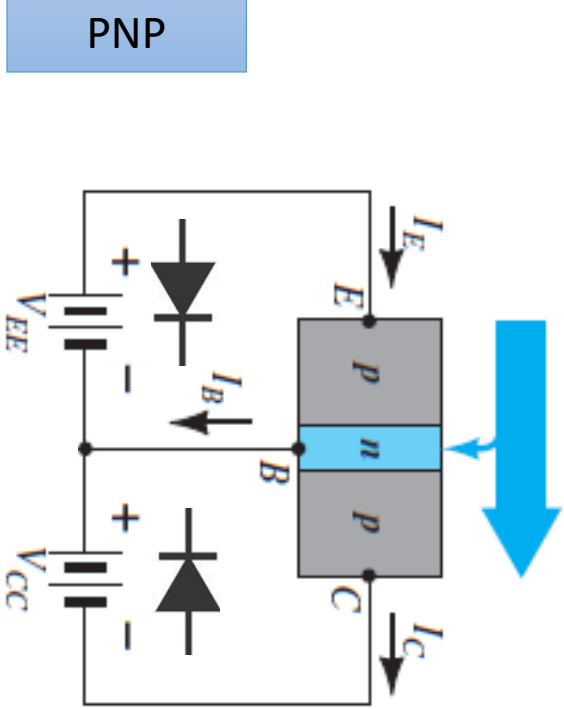
$$\geq \frac{10}{1} \quad \begin{matrix} E,C \\ B \end{matrix}$$

A Base possui menor condutividade!!!

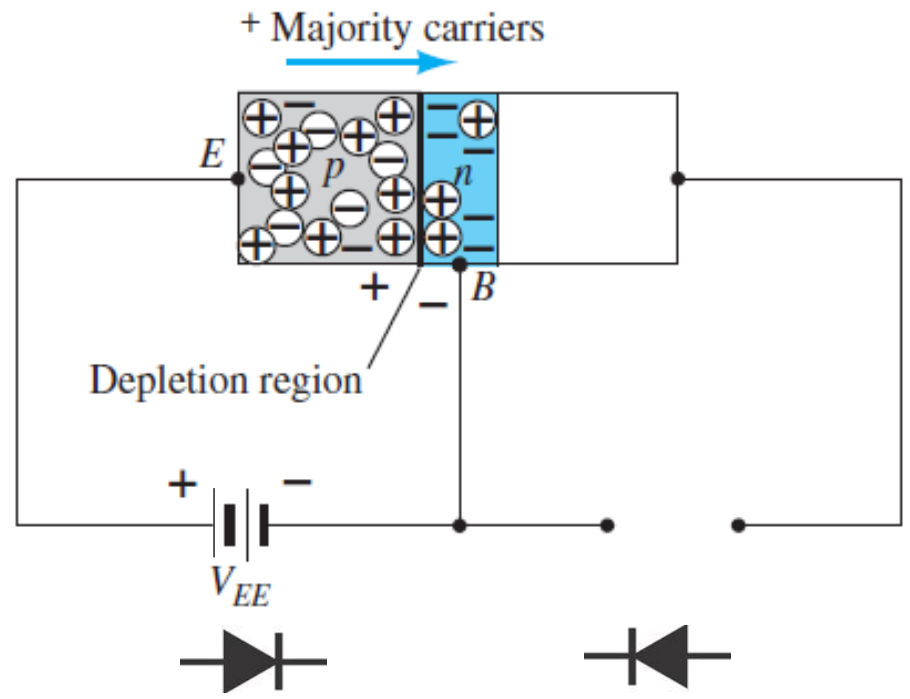
Transistor: Operação

A operação dos transistores PNP e NPN são similares, sendo necessário apenas considerar o tipo correto de portadores majoritários e minoritários.

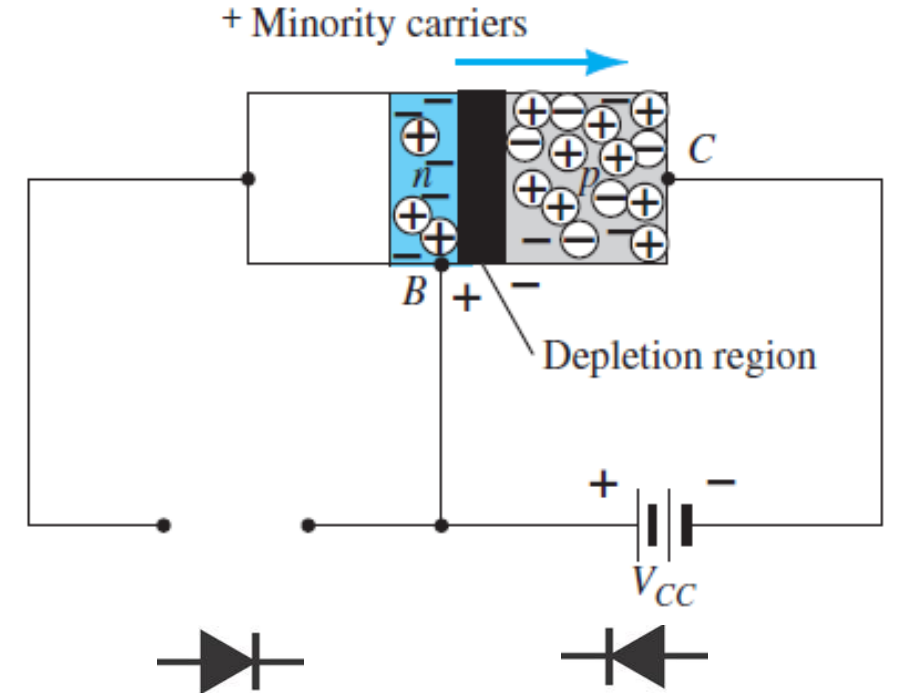
Transistor PNP



Polarização Direta entre Emissor e Base



Polarização Reversa entre Base e Coletor

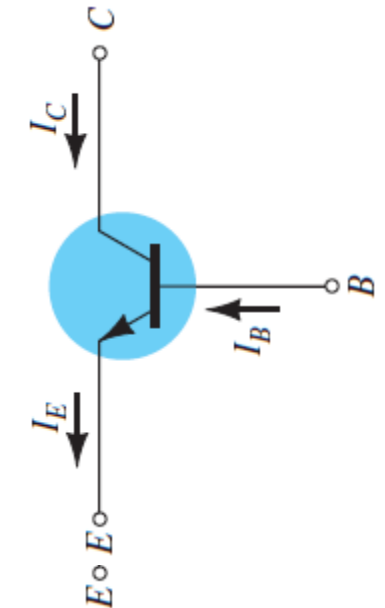
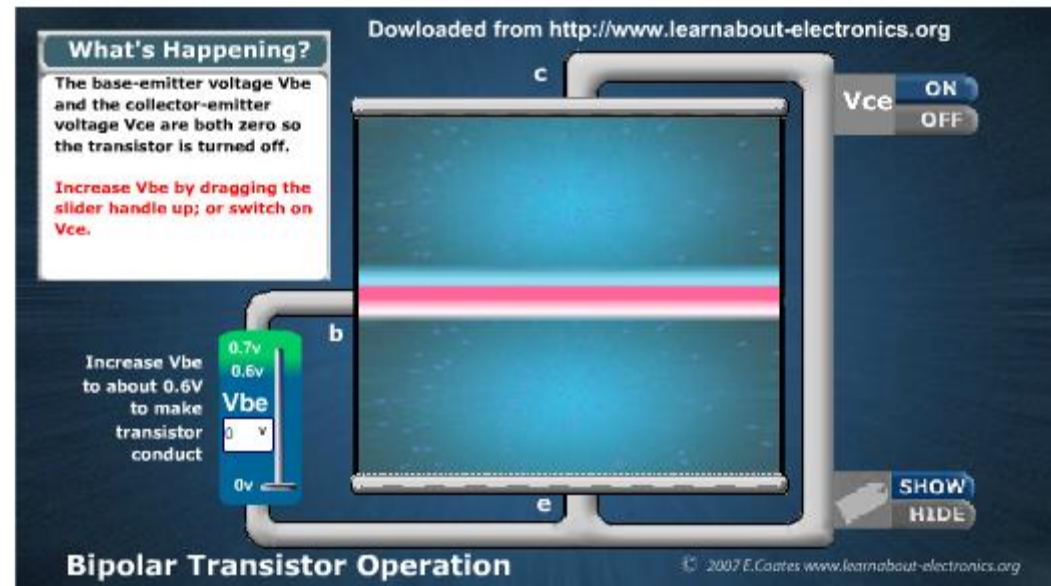
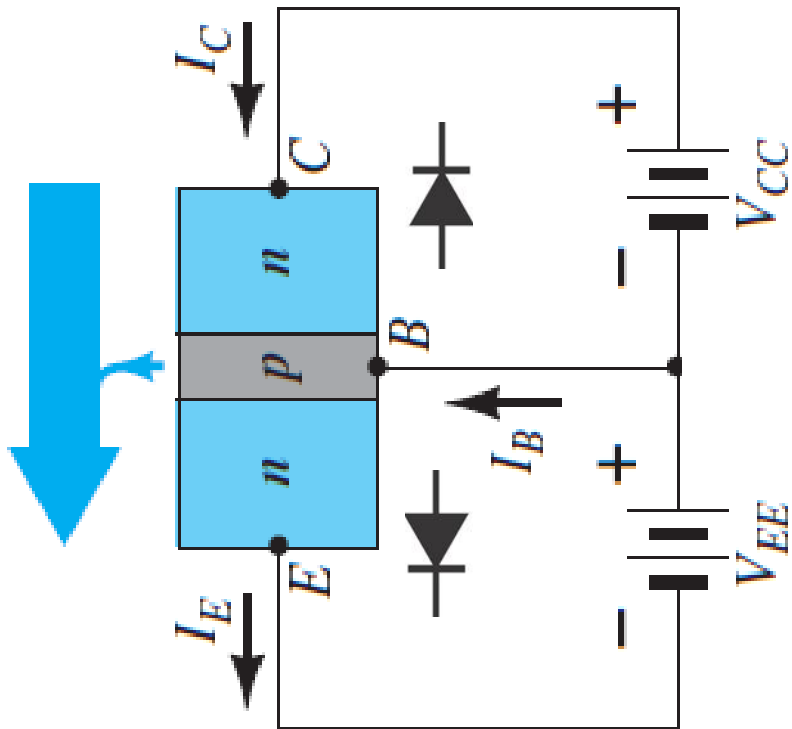


Transistor: Operação

□ A operação dos transistores apenas considerar o tipo cc

necessário
minoritários.

Transistor
NPN



$$I_E = I_C + I_B$$

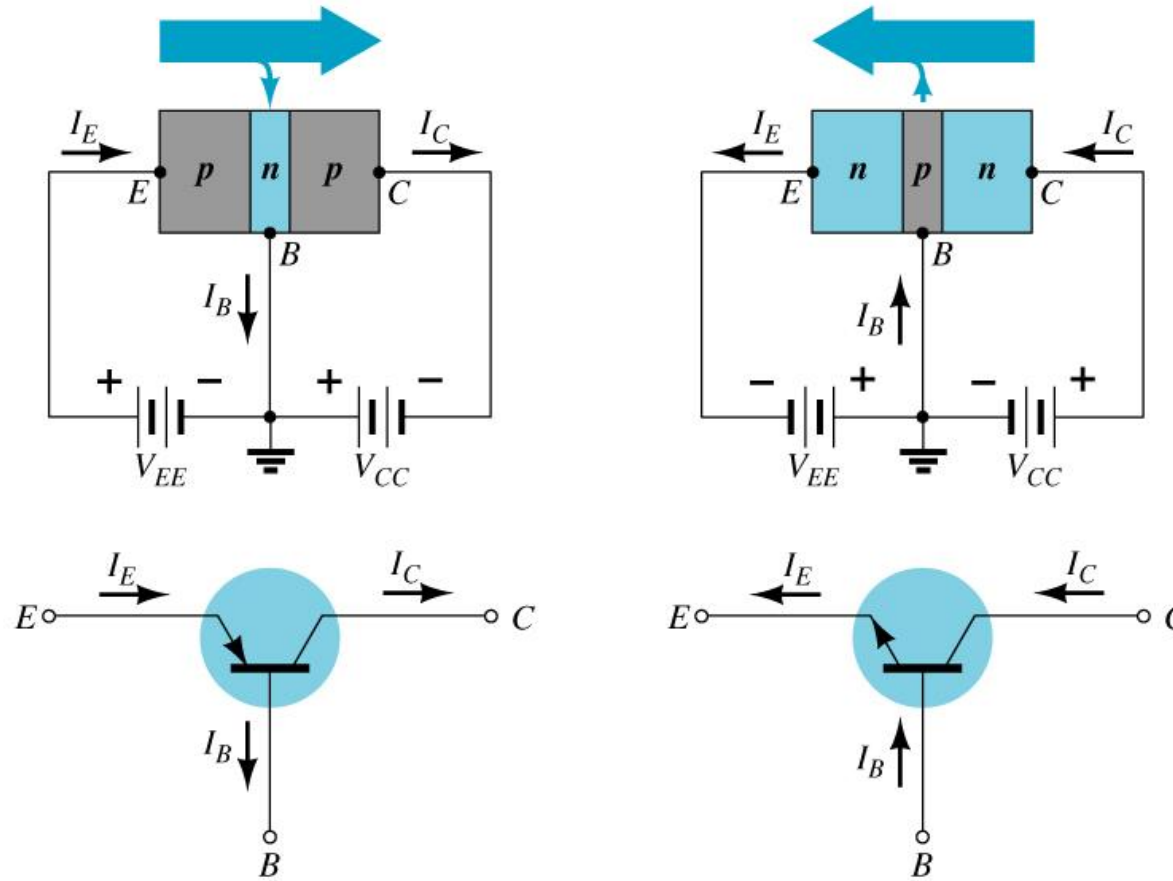
$$I_C = I_{Cmaj.} + I_{Cmin.}$$

<https://hackaday.com/2018/09/02/transistor/>

- ❑ O Transistor pode ser polarizado em três tipos diferentes de configuração.
 - ❑ Emissor comum;
 - ❑ Sinal injetado na base e retirado no coletor.
 - ❑ Base comum;
 - ❑ Sinal injetado no emissor e retirado no coletor.
 - ❑ Coletor comum.
 - ❑ Sinal injetado na base e retirado no emissor.

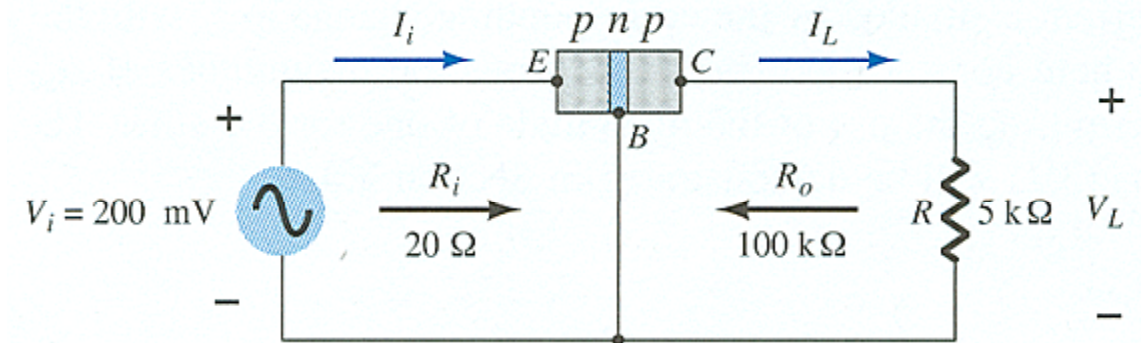
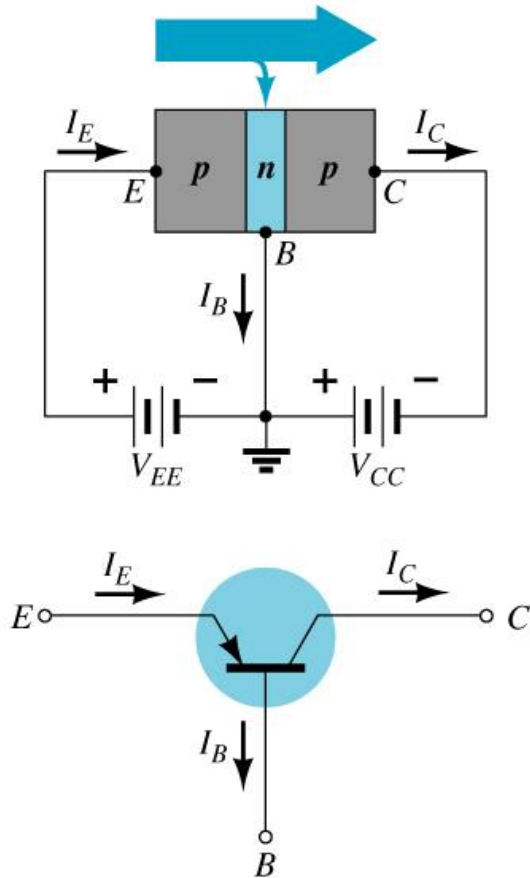
Transistor: Base-comum

☐ Sinal injetado no emissor e retirado no coletor.



Transistor: Base-comum

Amplificação



Correntes e Tensões:

$$I_E = I_i = \frac{V_i}{R_i} = \frac{200 \text{ mV}}{20 \Omega} = 10 \text{ mA}$$

$$I_C \cong I_E$$

$$I_L \cong I_i = 10 \text{ mA}$$

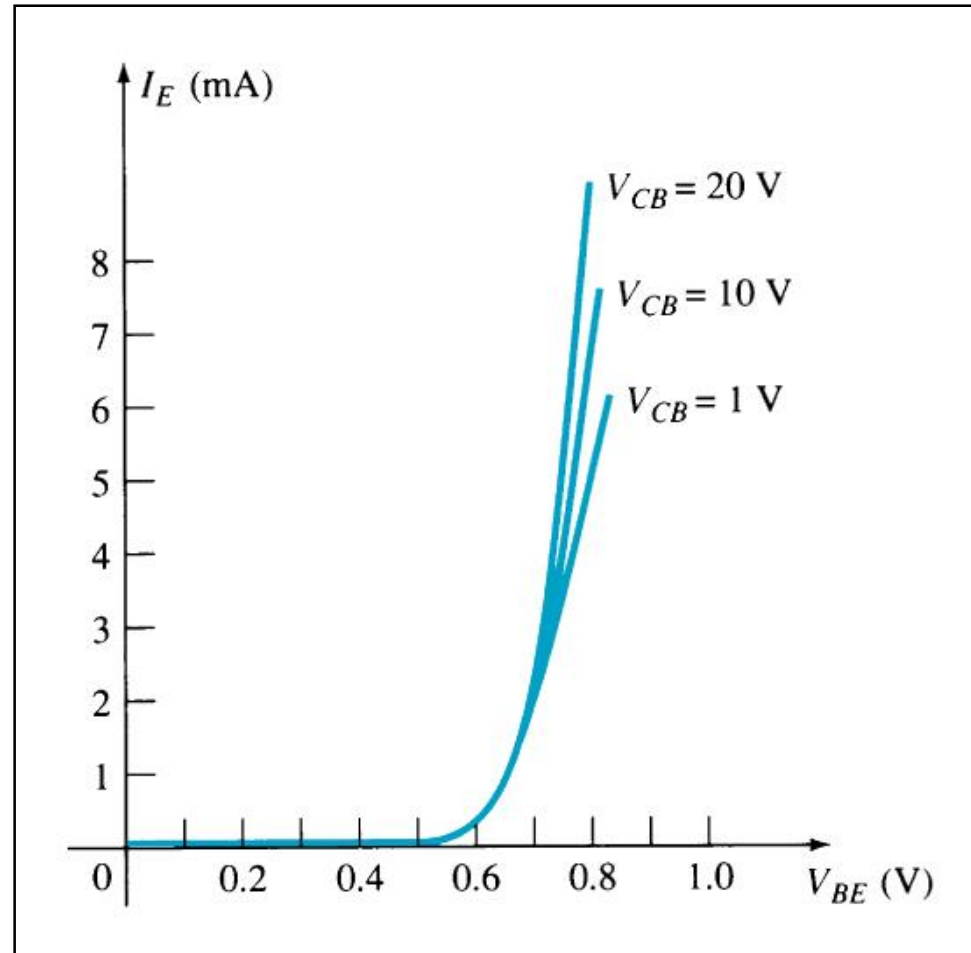
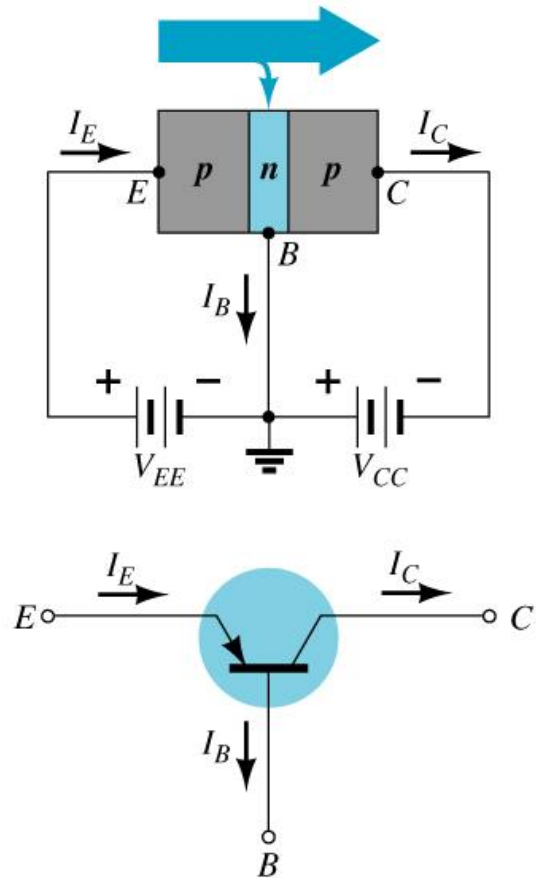
$$V_L = I_L R = (10 \text{ mA})(5 \text{ k}\Omega) = 50 \text{ V}$$

Ganho de Tensão:

$$A_V = \frac{V_L}{V_i} = \frac{50 \text{ V}}{200 \text{ mV}} = 250$$

Transistor: Base-comum

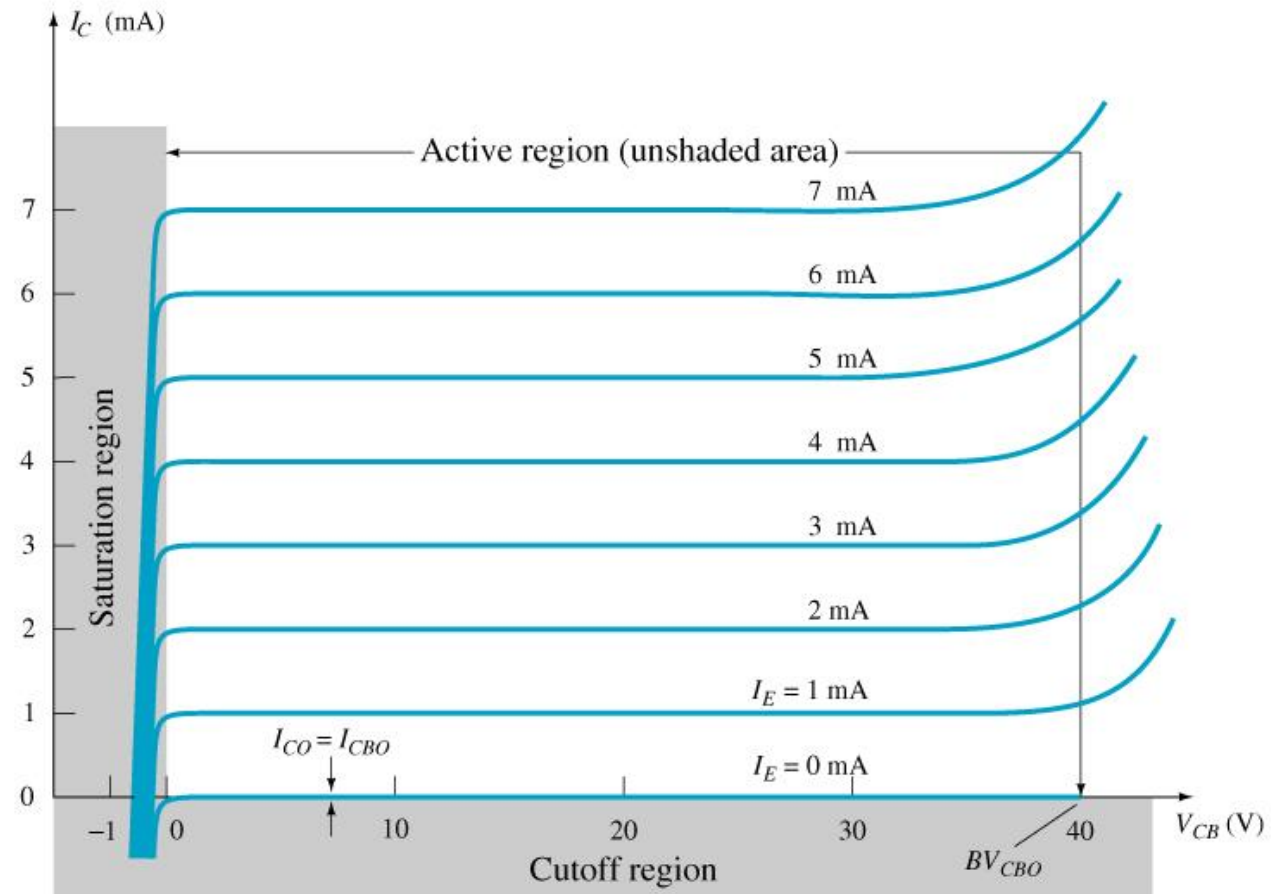
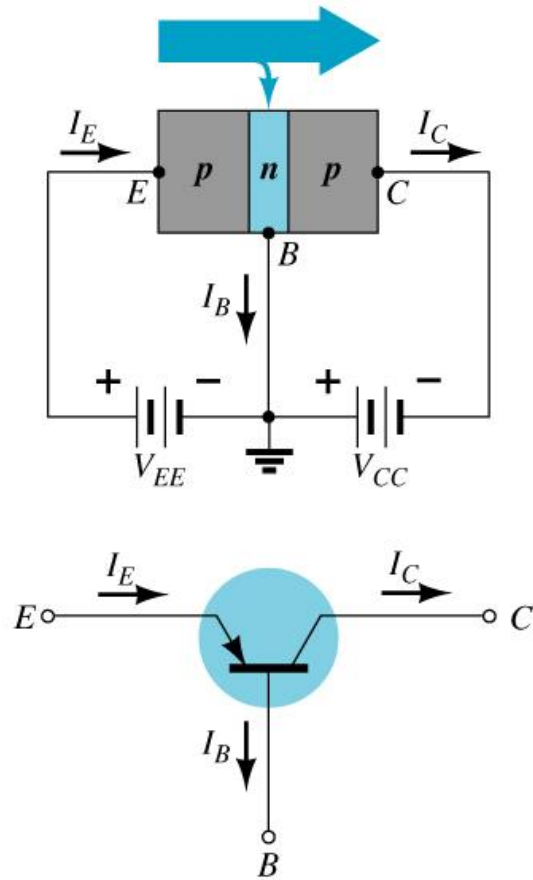
Curvas características de entrada: relação entre a corrente (I_E) e a tensão (V_{BE}) de entrada para diferentes níveis de tensão de saída (V_{CB}).



$V_{BE} = 0,7\text{ V}$ (Silício)

Transistor: Base-comum

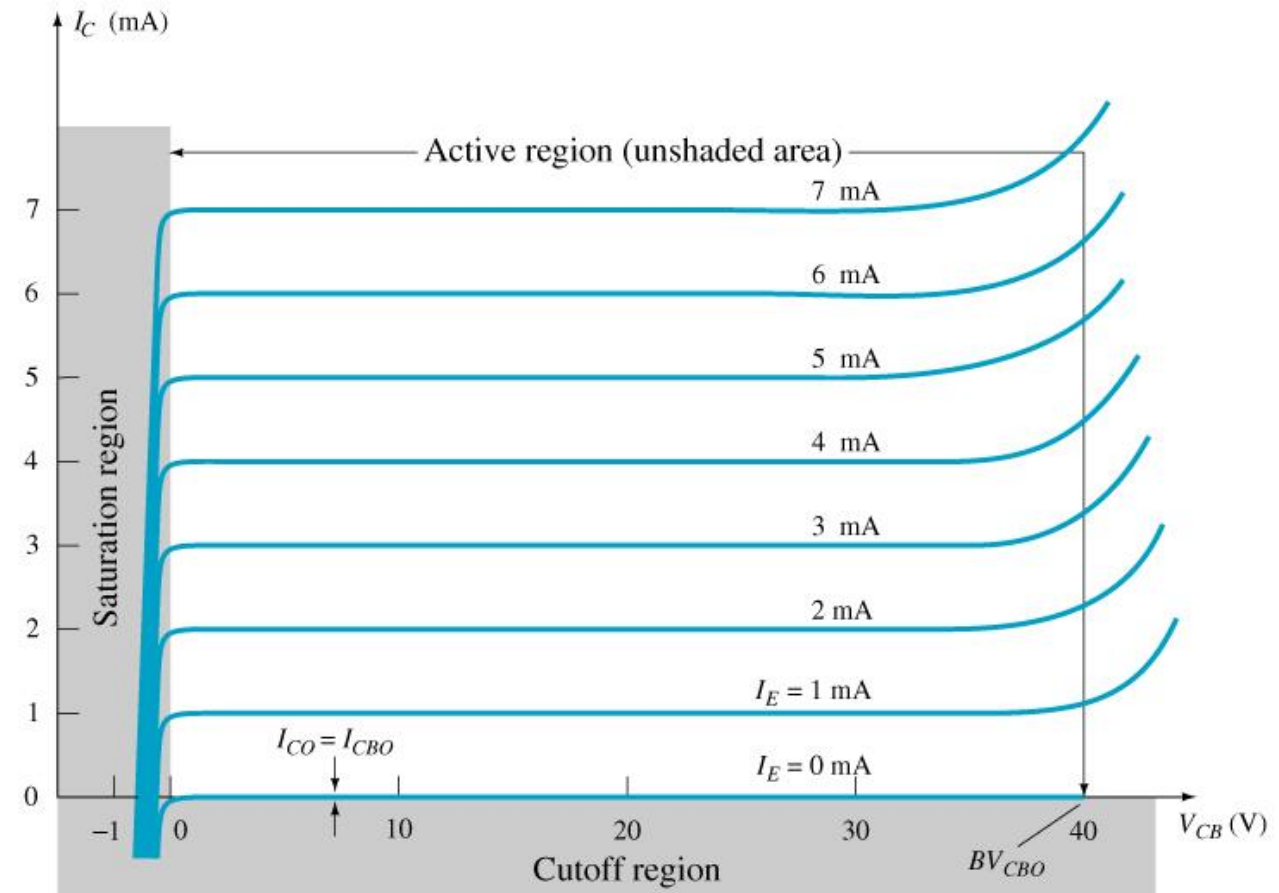
Curvas características de saída: relação entre a corrente (I_C) e a tensão de saída (V_{CB}) para vários níveis de corrente de entrada (I_E).



$$I_C \approx I_E$$

Transistor: Base-comum

- ❑ Regiões de operação:
- ❑ Ativa: Transistor conduzindo e amplificando.
- ❑ Corte: Existe tensão entre coletor e emissor mas a corrente é mínima (chave aberta).
- ❑ Saturação: Existe corrente entre coletor e emissor mas a tensão é mínima (chave fechada).



Transistor: Parâmetro Alfa (α)

- ❑ Parâmetro que define a taxa entre as correntes de coletor (I_C) e emissor (I_E).
- ❑ Idealmente: $\alpha = 1$, ou seja, as correntes de coletor e emissor são iguais.
- ❑ Porém, em circuitos reais: $0,9 < \alpha < 1$, a corrente de coletor é ligeiramente menor que a de emissor devido a contribuição da corrente base-emissor (I_{BE}).

Operação DC

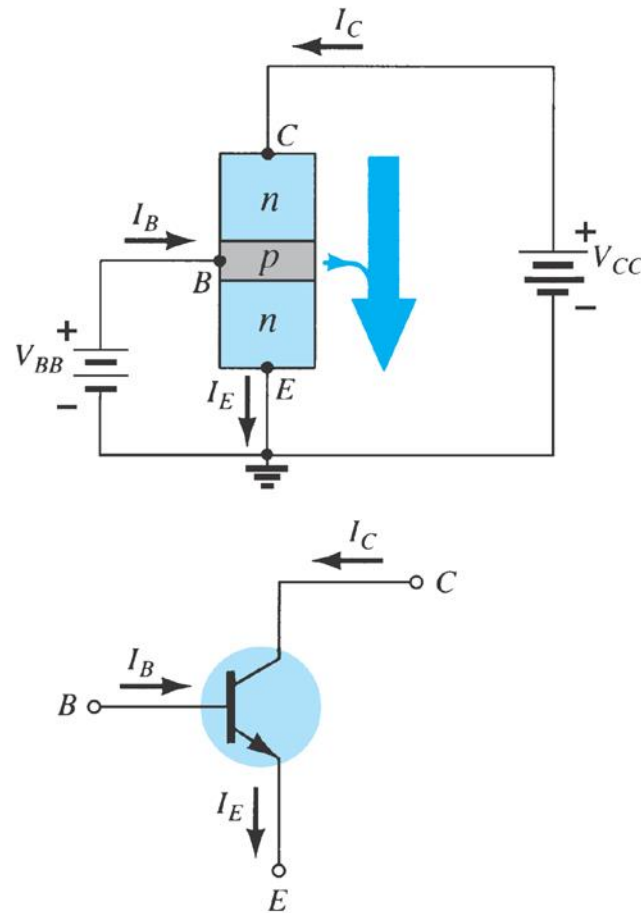
$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$$

Operação AC

$$\alpha_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

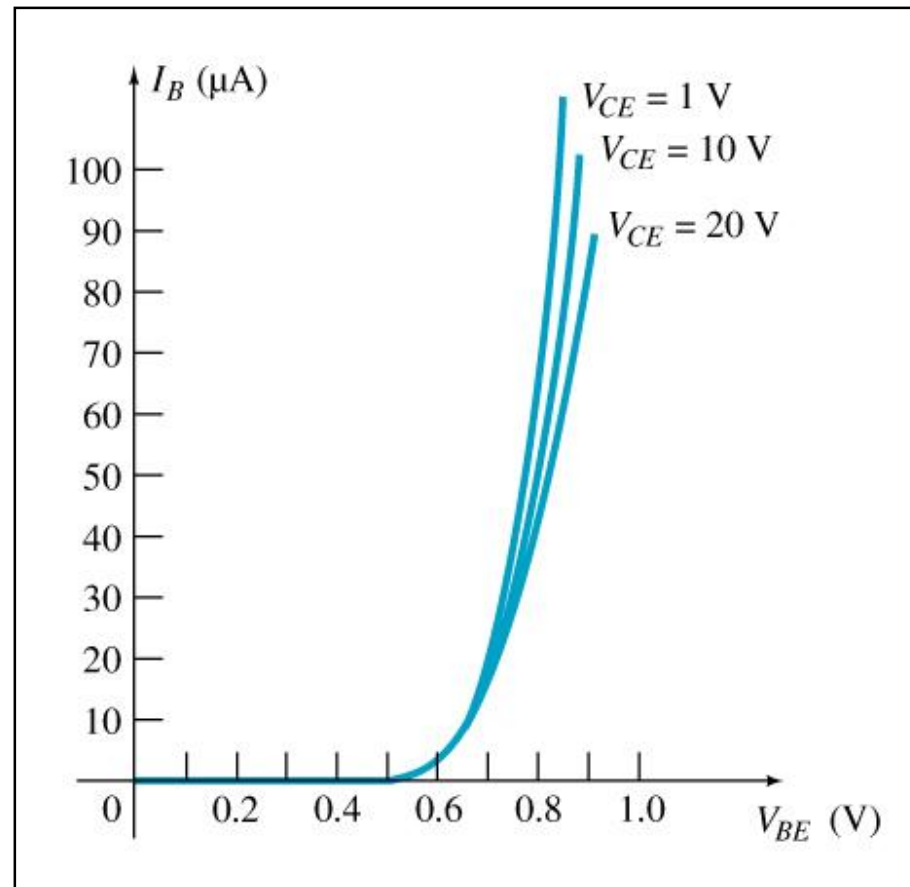
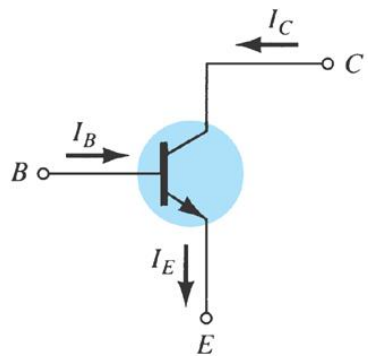
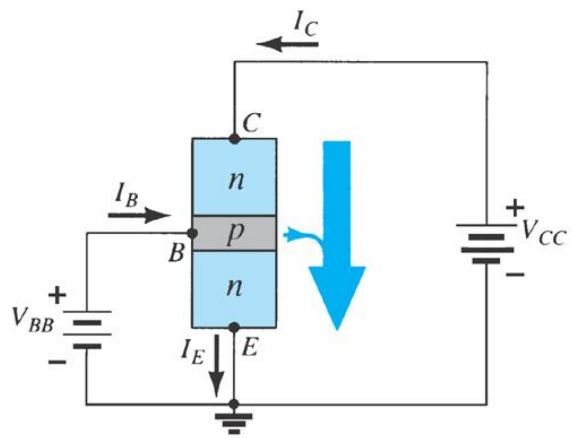
Transistor: Emissor-comum

□ Sinal injetado na base e retirado no coletor.



Transistor: Emissor-comum

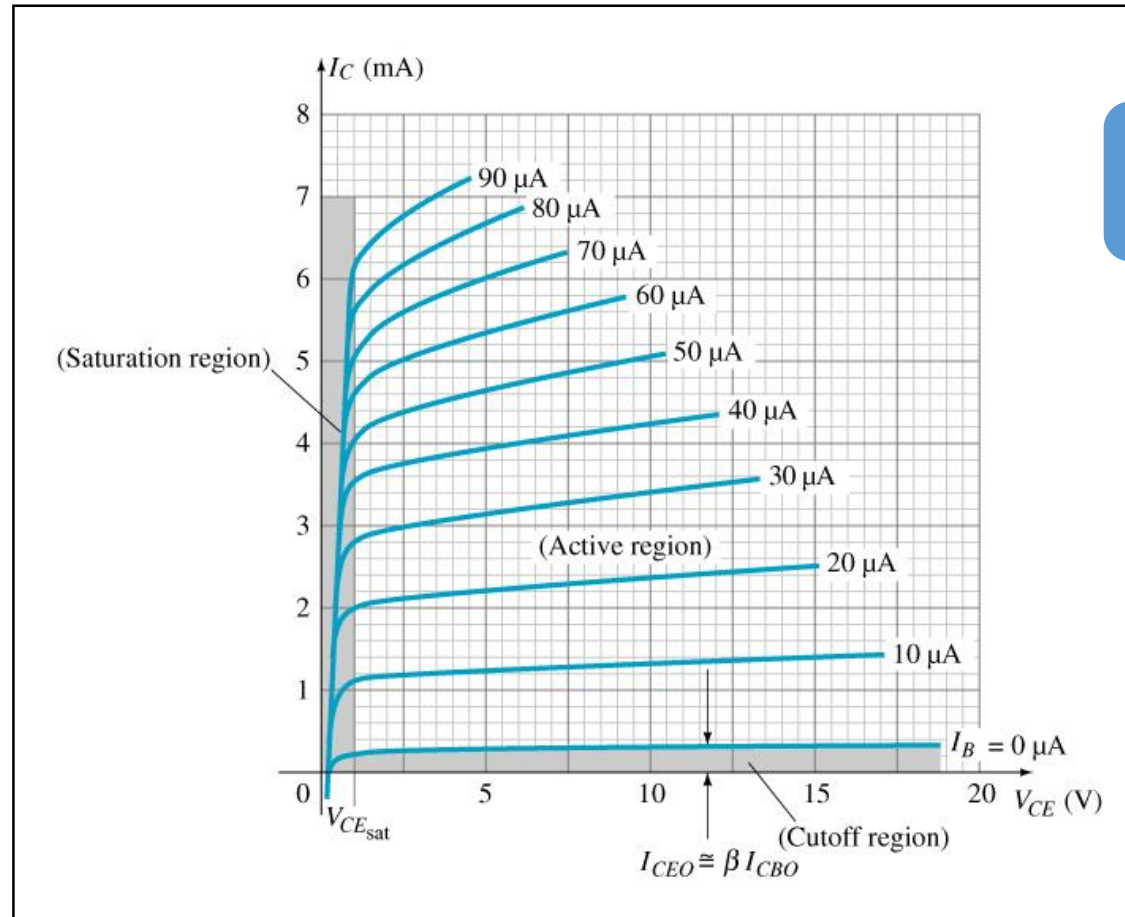
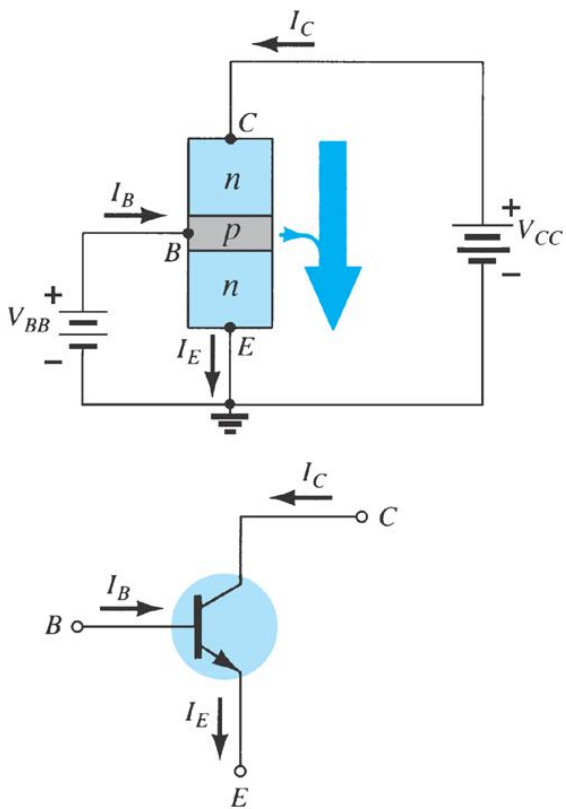
Curvas características de entrada: relação entre a corrente (I_B) e a tensão (V_{BE}) de entrada para diferentes níveis de tensão de saída (V_{CE}).



$$V_{BE} = 0,7 \text{ V (Silício)}$$

Transistor: Emissor-comum

Curvas características de saída: relação entre a corrente (I_C) e a tensão de saída (V_{CE}) para vários níveis de corrente de entrada (I_B).



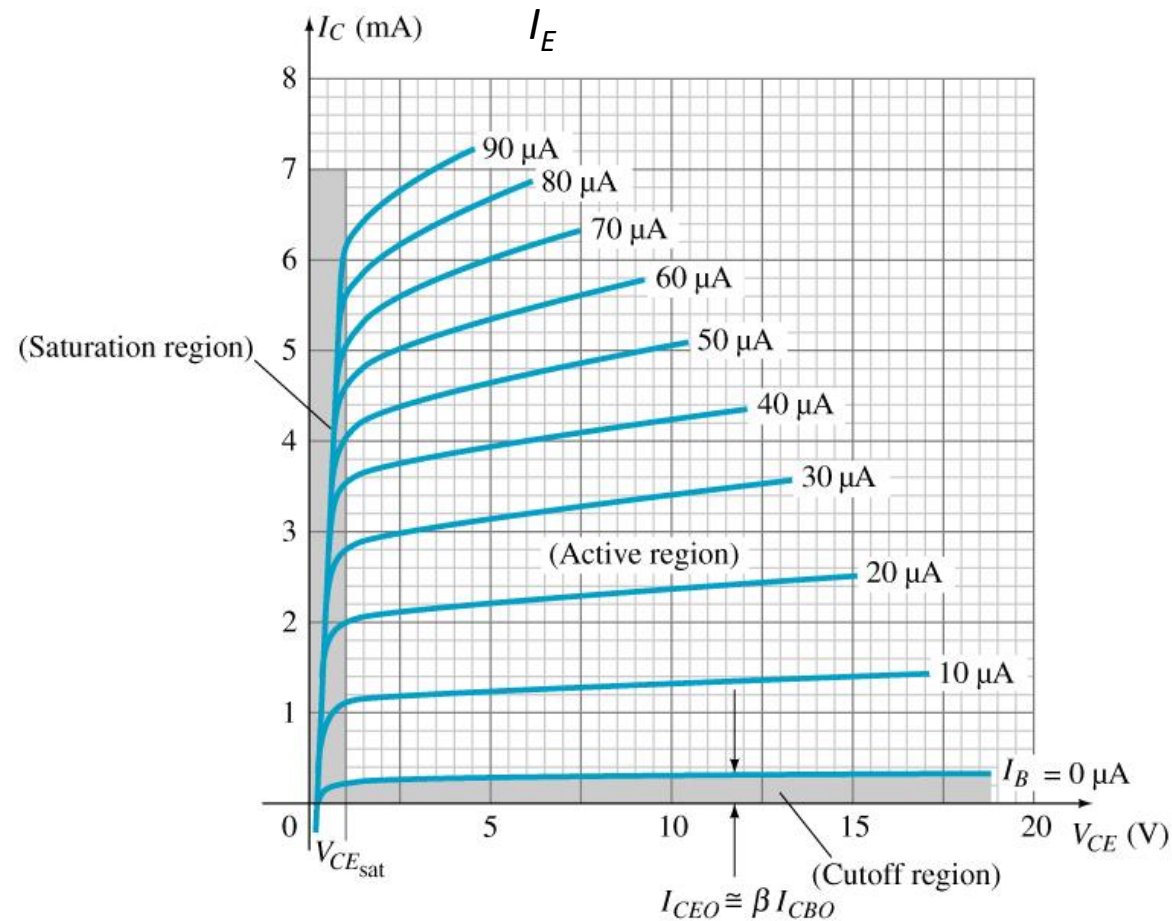
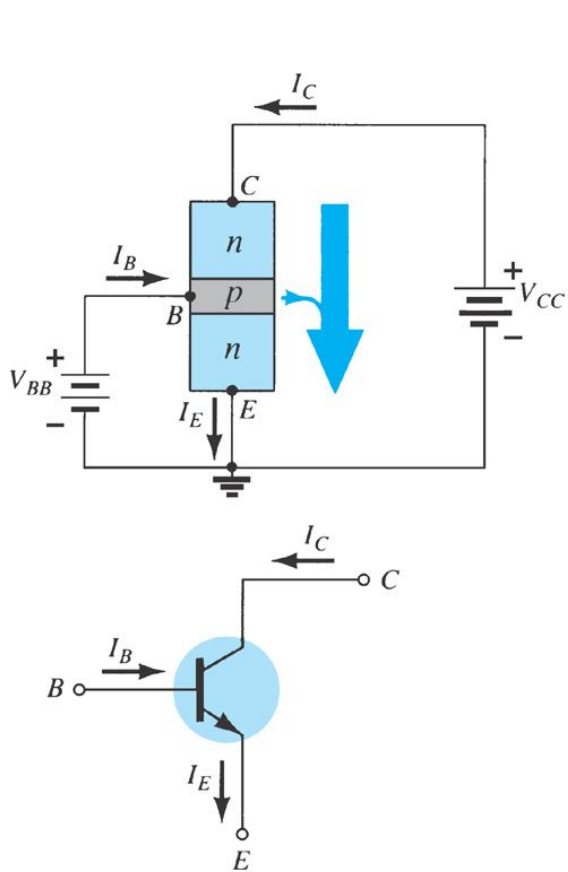
$$I_E = I_C + I_B \quad I_C = \alpha I_E$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

$$I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} \Big|_{I_B = 0 \mu A}$$

Transistor: Coletor-comum

Curvas características de saída: relação entre a corrente (I_E) e a tensão de saída (V_{CE}) para vários níveis de corrente de entrada (I_B).



Transistor: Parâmetro Beta (β)

- ❑ Parâmetro que define a taxa entre as correntes de coletor (I_C) e base (I_B).
- ❑ Representa o fator de amplificação de um transistor.
- ❑ Em operação AC, o beta também é chamado de h_{fe} .

Operação DC

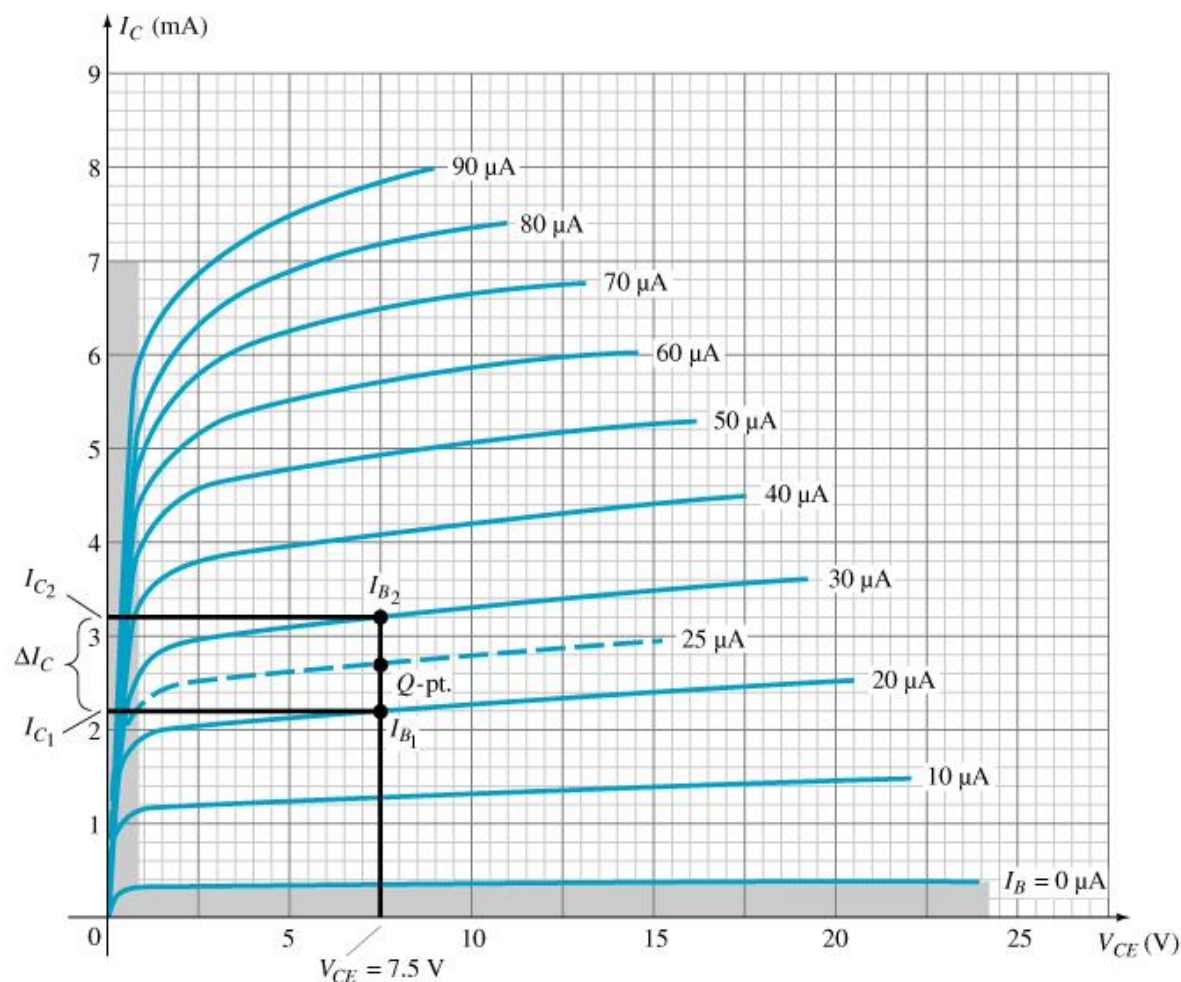
$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

Operação AC

$$\beta_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \Big|_{V_{CE} = \text{constant}}$$

Transistor: Parâmetro Beta (β)

□ Determinação de β a partir das curvas características.



Operação DC

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\beta_{DC} = \frac{2.7 \text{ mA}}{25 \mu\text{A}} \Big|_{V_{CE}=7.5 \text{ V}} = 108$$

Operação AC

$$\beta_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \Big|_{V_{CE}=\text{constant}}$$

$$\beta_{AC} = \frac{(3.2 \text{ mA} - 2.2 \text{ mA})}{(30 \mu\text{A} - 20 \mu\text{A})} = \frac{1 \text{ mA}}{10 \mu\text{A}} \Big|_{V_{CE}=7.5 \text{ V}} = 100$$

Transistor: Parâmetro Beta (β)

□ Relação entre β e α .

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{\alpha - 1}$$

□ Relação entre as correntes e β .

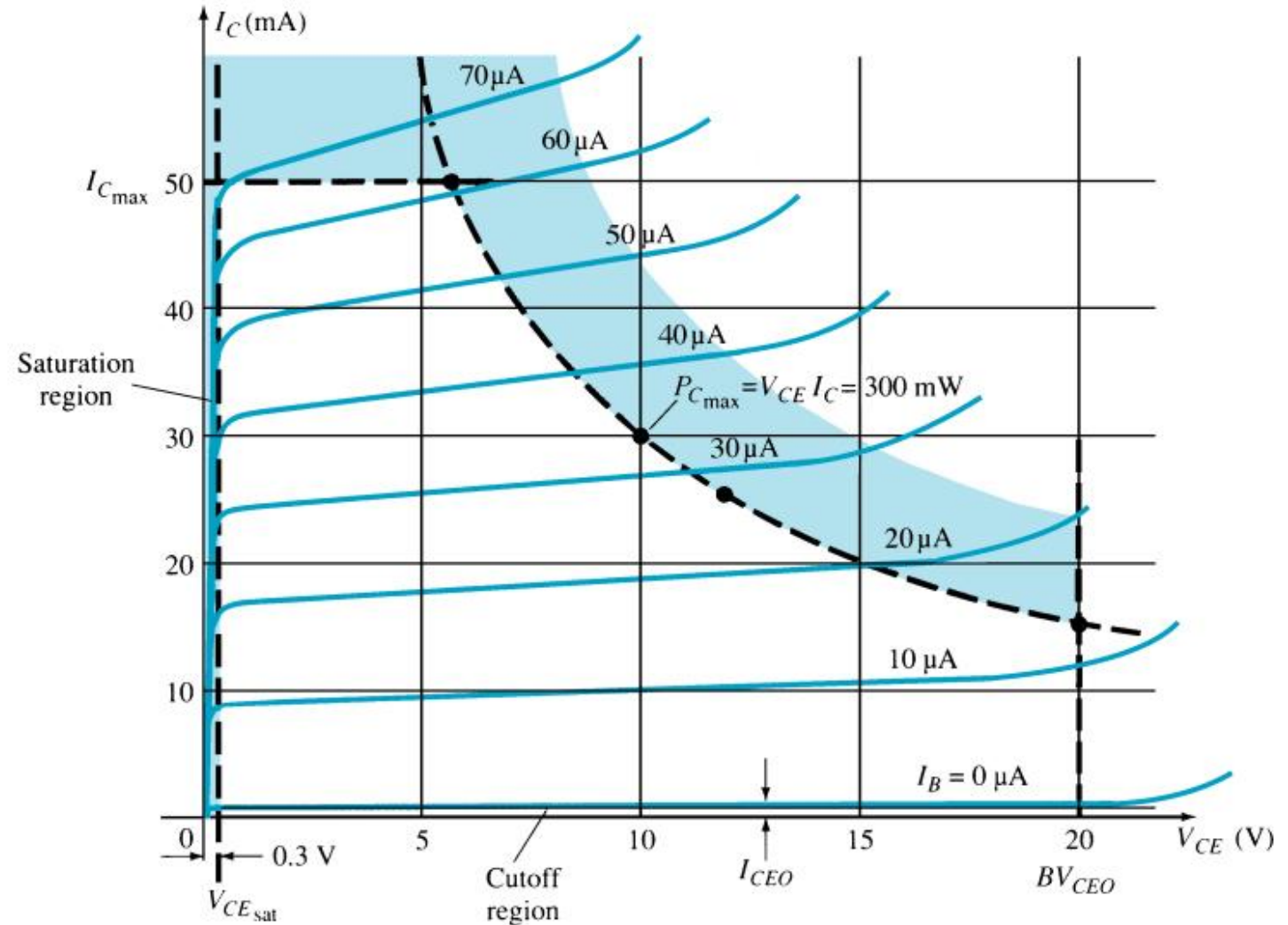
$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

Transistor: Limites de Operação

❑ A operação do transistor é limitada por:

- ❑ Máxima corrente de coletor;
- ❑ Máxima tensão entre coletor e emissor;
- ❑ Máxima potência;
- ❑ Mínima tensão entre coletor e emissor.



Transistor: Potência Dissipada

□ Base-comum: $P_{Cmax} = V_{CB} I_C$

□ Emissor-comum: $P_{Cmax} = V_{CE} I_C$

□ Coletor-comum: $P_{Cmax} = V_{CE} I_E$

Transistor: Resumo Equações

$$I_E = I_C + I_B,$$

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E},$$

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B},$$

$$I_C = \beta I_B,$$

$$I_C = I_{C_{\text{majority}}} + I_{CO_{\text{minority}}},$$

$$\alpha_{ac} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right|_{V_{CB}=\text{constant}},$$

$$\beta_{ac} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=\text{constant}},$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B,$$

$$V_{BE} \cong 0.7 \text{ V}$$

$$I_{CEO} = \left. \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} \right|_{I_B=0 \mu\text{A}}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$P_{C_{\text{max}}} = V_{CE}I_C$$

MAXIMUM RATINGS

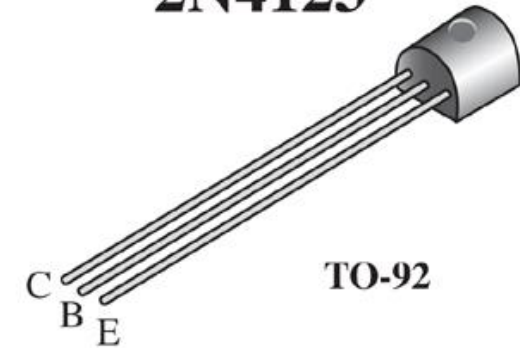
Rating	Symbol	2N4123	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	30	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	5.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	200	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_j, T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C W}$

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

2N4123



TO-92

**General Purpose
Transistor
NPN Silicon**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage (1) ($I_C = 1.0 \text{ mA}_{dc}$, $I_E = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	30		Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 10 \mu\text{A}_{dc}$, $I_E = 0$)	$V_{(BR)CBO}$	40		Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 10 \mu\text{A}_{dc}$, $I_C = 0$)	$V_{(BR)EBO}$	5.0	–	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 20 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$)	I_{CBO}	–	50	nA _{dc}
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 3.0 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$)	I_{EBO}	–	50	nA _{dc}

ON CHARACTERISTICS

DC Current Gain(1) ($I_C = 2.0 \text{ mA}_{dc}$, $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$) ($I_C = 50 \text{ mA}_{dc}$, $V_{CE} = 1.0 \text{ Vdc}$)	h_{FE}	50 25	150 –	–
Collector-Emitter Saturation Voltage(1) ($I_C = 50 \text{ mA}_{dc}$, $I_B = 5.0 \text{ mA}_{dc}$)	$V_{CE(sat)}$	–	0.3	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage(1) ($I_C = 50 \text{ mA}_{dc}$, $I_B = 5.0 \text{ mA}_{dc}$)	$V_{BE(sat)}$	–	0.95	Vdc

- 1 – Desenhe um diagrama de construção e explique o funcionamento de um transistor NPN.

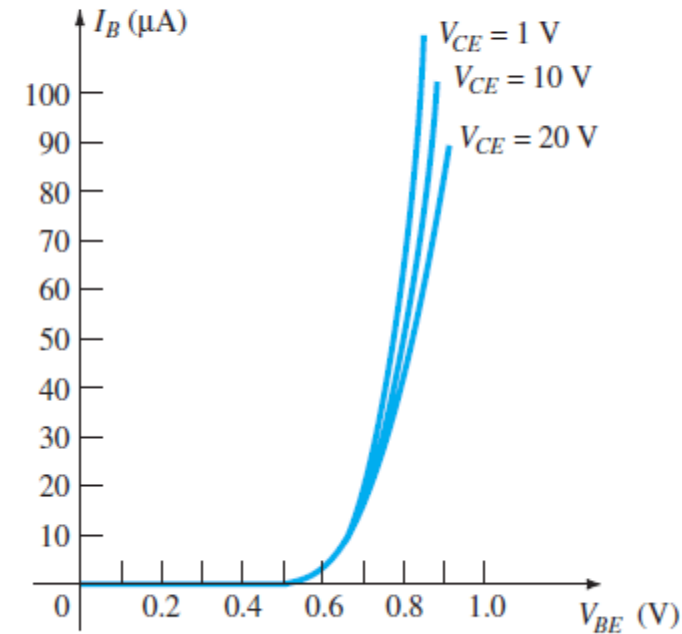
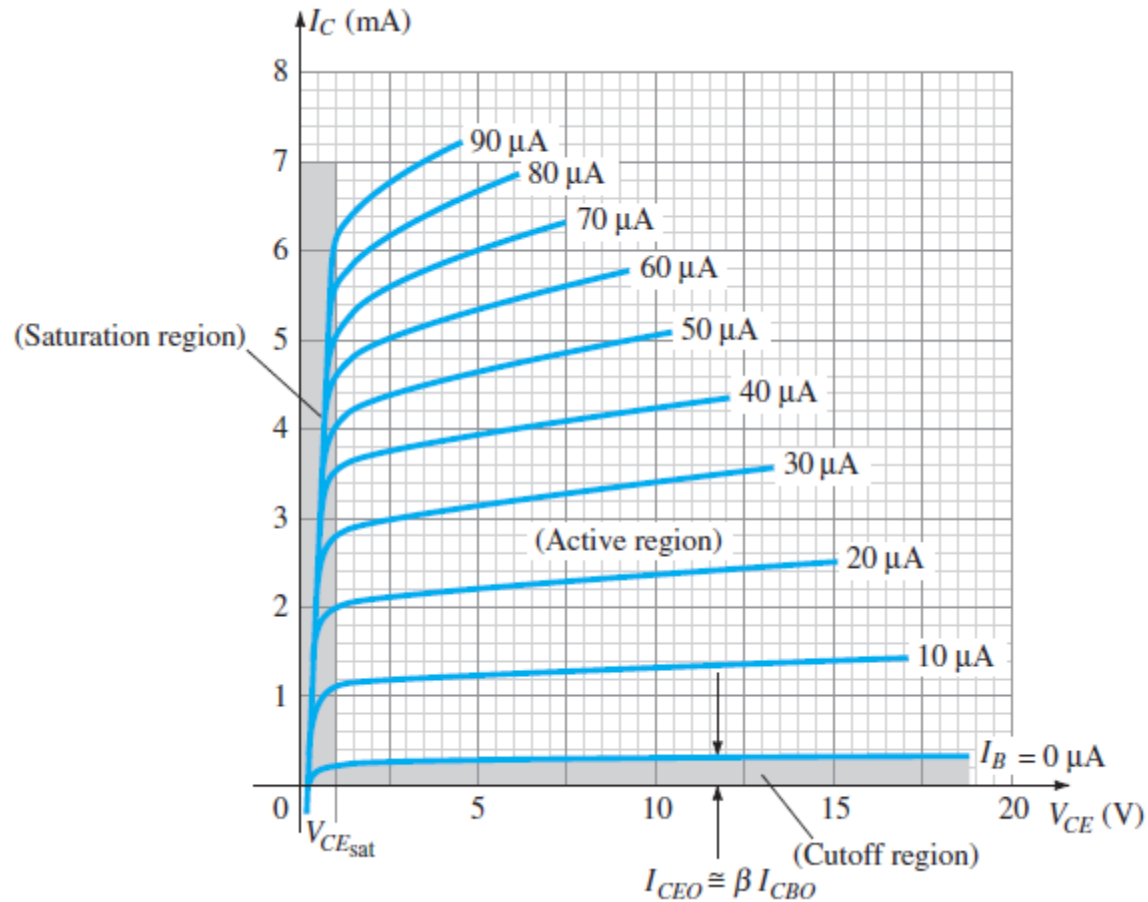
Exercícios Propostos

□ 2 – Demonstre:

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

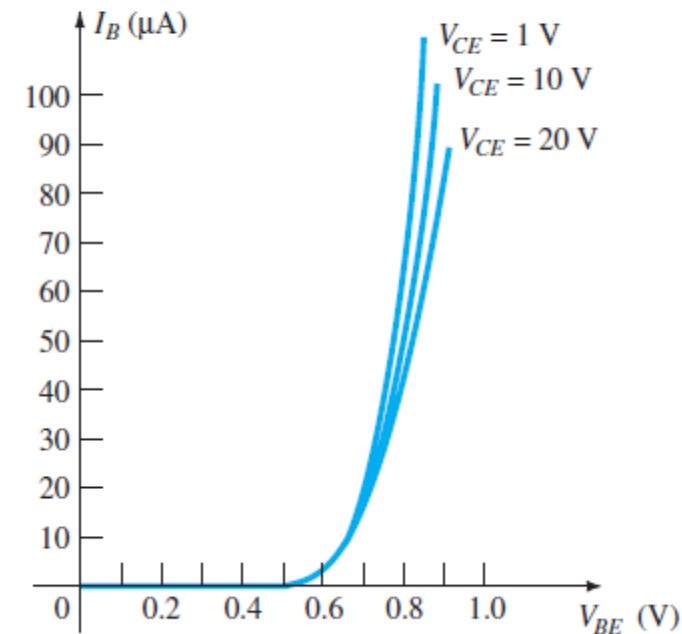
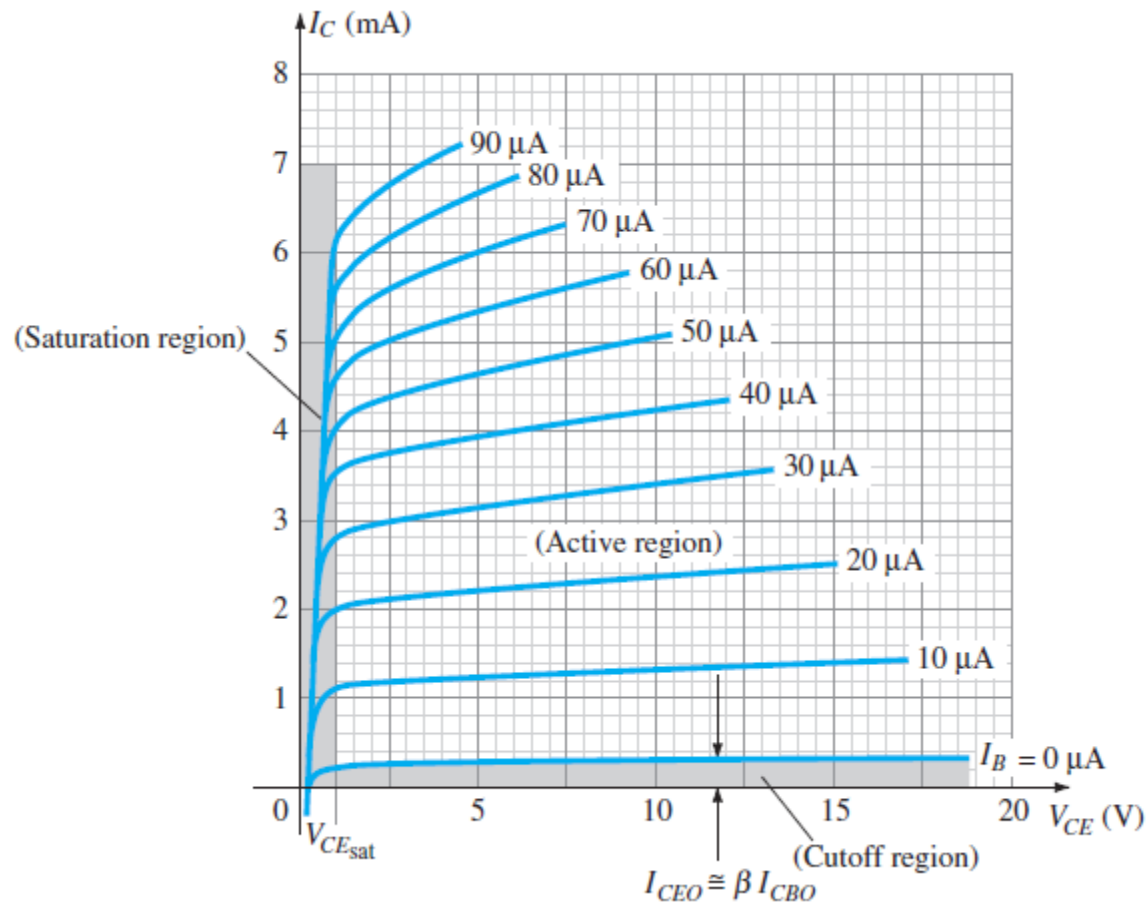
Exercícios Propostos

3 – Encontre o valor de I_C correspondente a $V_{BE} = +750 \text{ mV}$ e $V_{CE} = +4 \text{ V}$.



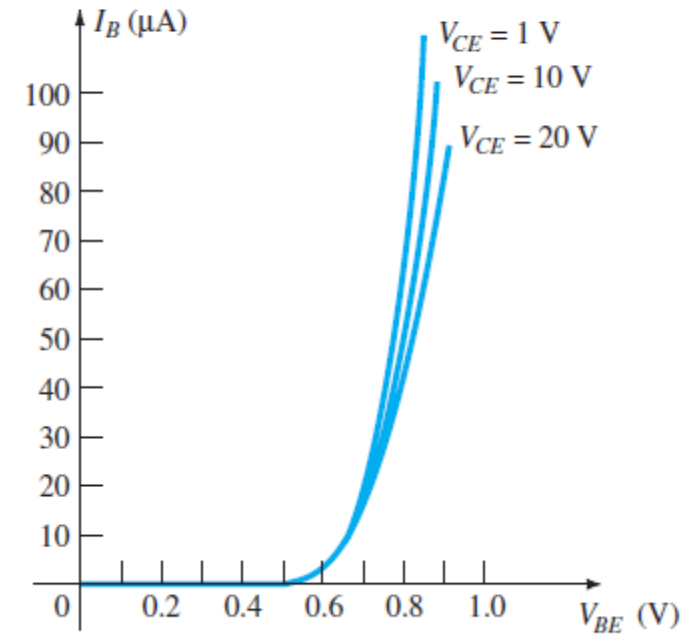
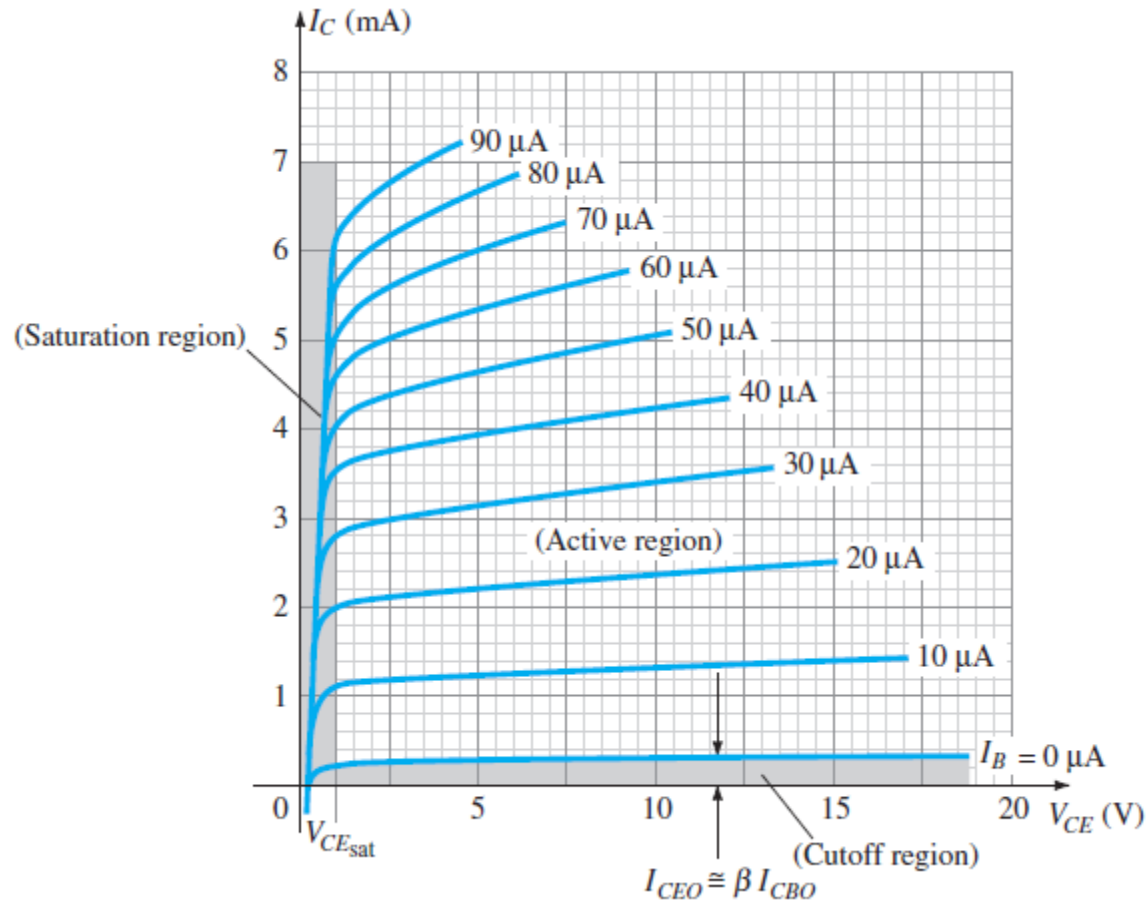
Exercícios Propostos

4 – Encontre o valor de V_{CE} e V_{BE} correspondentes a $I_C = 3,5 \text{ mA}$ e $I_B = 30 \mu\text{A}$.



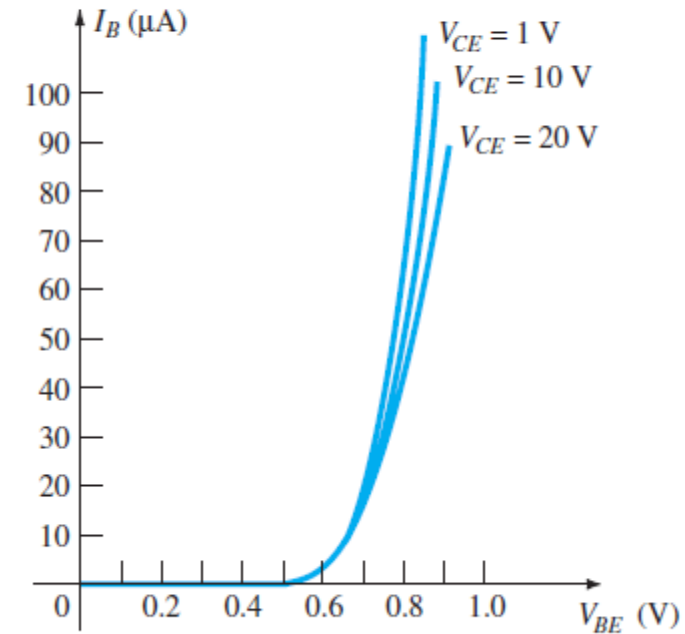
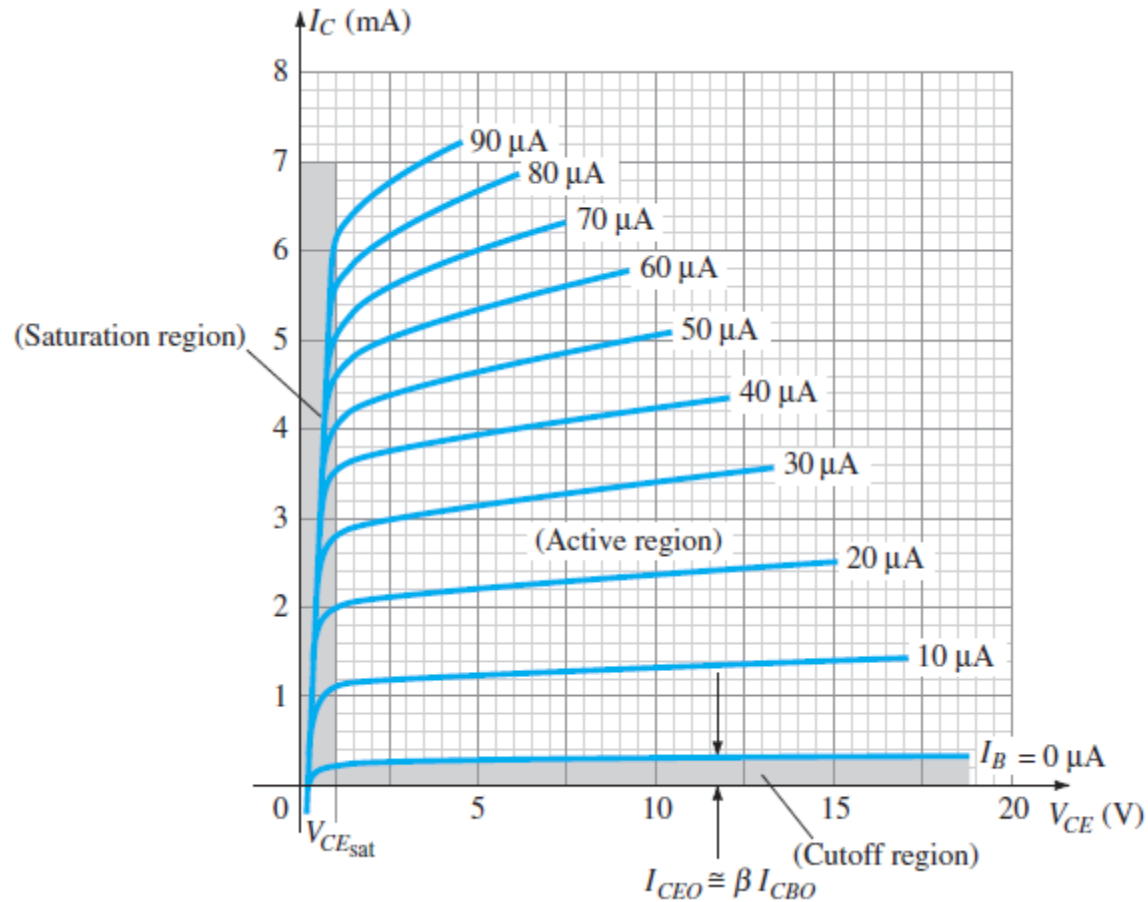
Exercícios Propostos

5 – Calcule os valores de β e α para $V_{CE} = 6\text{ V}$ e $I_C = 2\text{ mA}$.



Exercícios Propostos

6 – Calcule o valor de β para $V_{CE} = [4, 7, 10]$ V e $I_B = [60, 30, 10]$ μA .



Referências Bibliográficas

- ❑ Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis “Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos”, 6 ed., Rio de Janeiro, LTC (1998).
- ❑ Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis “Electronic Devices and Circuit Theory”, 11 ed., Boston, Pearson (2013).