

# Apostila sobre Transistor de Junção Bipolar

## Sumário

01. Breve Histórico
02. Tipo e classificação do Transistor
03. Transistor Bipolar
04. Transistor de silício de uso geral
05. Tipos de encapsulamento e disposição dos terminais
06. Transistor de alta potência
07. Polarização do Transistor bipolar tipo NPN
08. Curvas de Polarização Fixado do TJB
09. Regiões de operação do TJB - Parte I
10. Regiões de operação do TJB - Parte II
11. Parâmetros alfa e beta do TJB - Parte I
12. Parâmetros alfa e beta do TJB - Parte II
13. Parâmetros alfa e beta do TJB - Parte III
14. Ganho de corrente para o TJB
15. Transistor operando como chave - Relé temporizado
16. Transistor operando como chave - Porta NOT
17. Transistor operando como chave - Porta AND
18. Transistor operando como chave - Porta OR
19. Transistor operando como chave - Foto-controle
20. Transistor operando como chave - Relé temporizado
21. Transistor operando como chave - Controle de nível
22. Polarização do TJB - Fixa
23. Polarização do TJB - Com resistor de emissor
24. Polarização do TJB - Por divisor de tensão
25. Polarização do TJB - Divisor de tensão - Thévenin
26. Par Darlington
27. Configurações do TJB
28. Especificações elétricas do TJB
29. Referências

## 1. Breve Histórico

A era da eletrônica foi inaugurada em 1907, com a invenção da válvula tríodo por L. Forest. Em 1951, SCHOKLEY inventou o primeiro transistor de junção. A evolução do transistor foi um grande passo para o surgimento do circuito integrado, um processador usado nos computadores no início deste milênio, encerra de forma integrada mais de 10 milhões de transistores.



O primeiro transistor inventado foi do tipo "Contato de Ponta" ou simplesmente transistor de "ponta", que se baseava no fenômeno da retificação, verificado quando se apoiavam contatos metálicos na superfície do cristal semicondutor (no início o germânio - Ge). A Fig. 1 ilustra este dispositivo.

**Fig. 1 - O primeiro transistor.**

## 2. Tipos e classificação dos transistores

Os transistores podem ser classificados de acordo com o tipo de portador de carga utilizado para transporte de corrente. Sob esse ponto de vista, existem dois tipos: os bipolares e os unipolares. Bipolares são os TJBs, unipolares são os FETs e IGBTs.

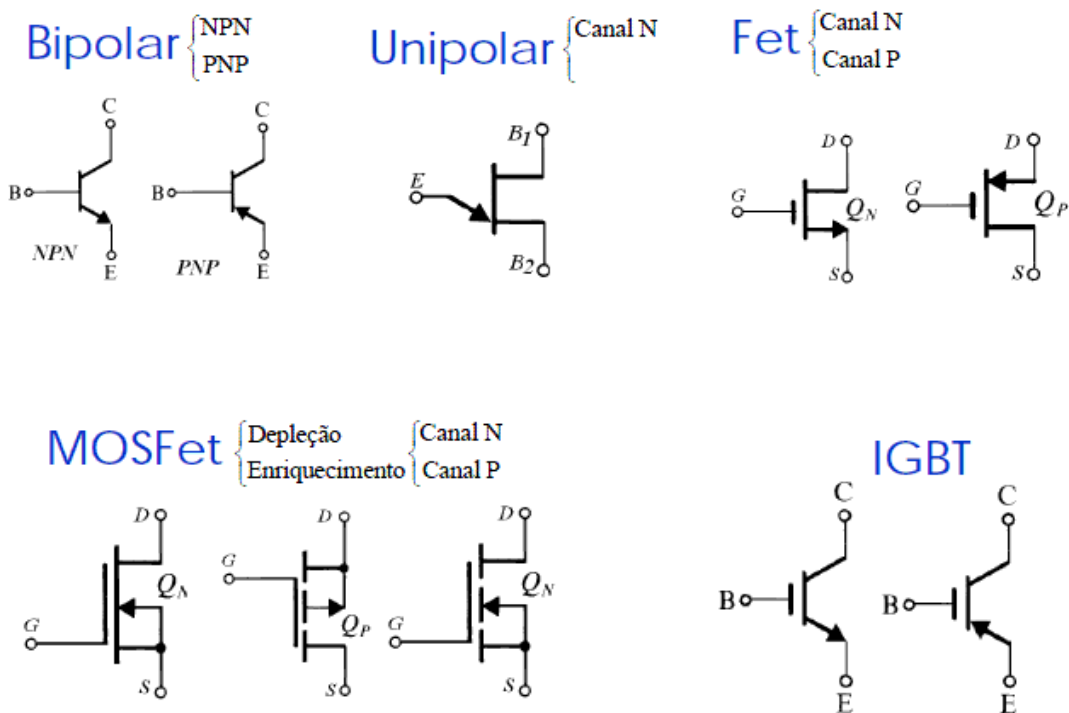


Fig.2 - Classificação dos transistores

### 3. Transistor de Junção Bipolar - TJB

Transistor bipolar - o nome transistor resulta da aglutinação dos termos ingleses TRANSfer + reSISTOR (resistência de transferência). O termo bipolar refere-se ao fato dos portadores lacunas ou elétrons participarem do fluxo de corrente.

Transistor bipolar - é um dispositivo de estado sólido formado por duas junções, P e N, em que os elementos semicondutores podem estar dispostos na sequência PNP ou NPN. O primeiro recebeu o nome de Transistor PNP, enquanto que o segundo é Transistor NPN.

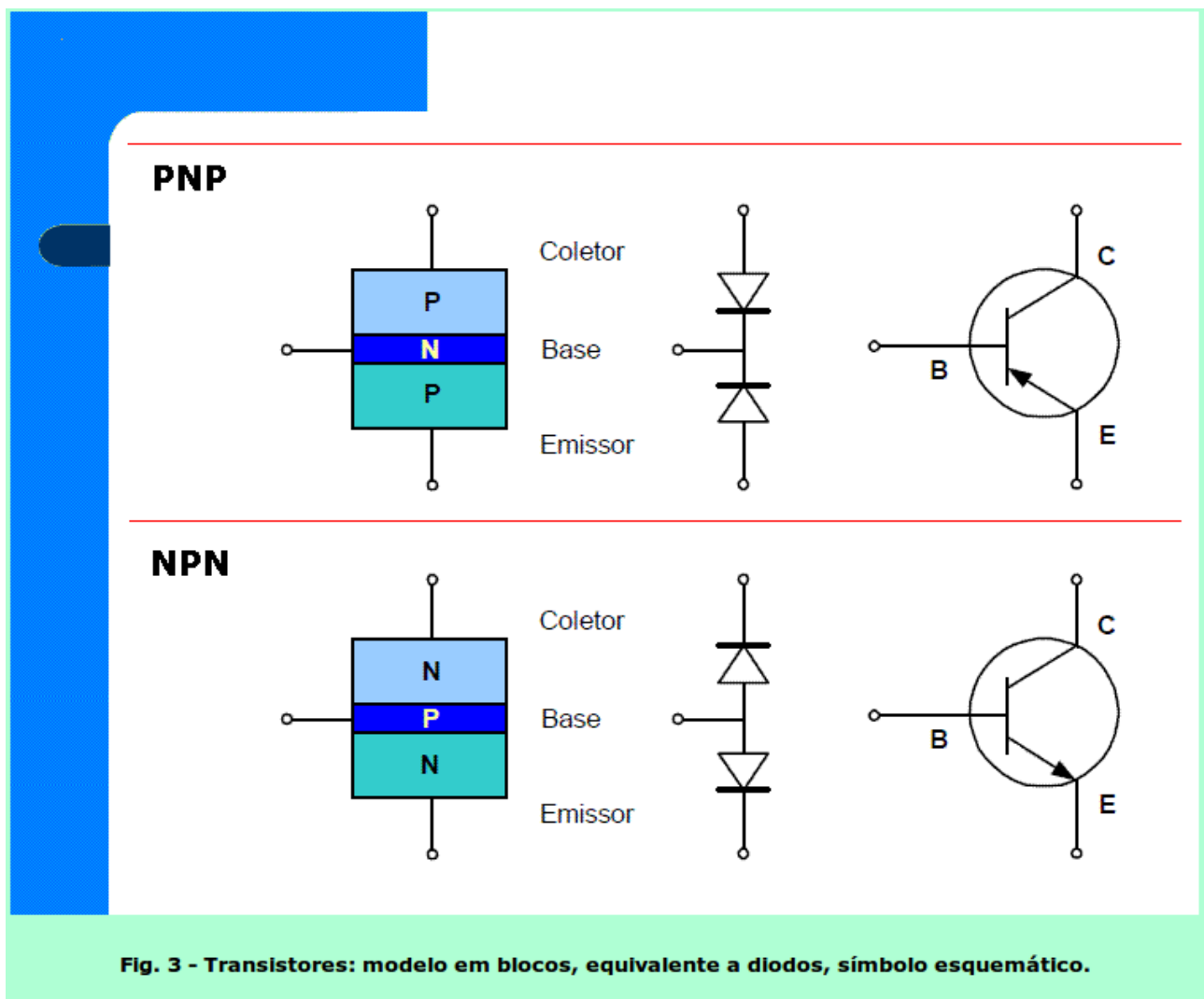


Fig. 3 - Transistores: modelo em blocos, equivalente a diodos, símbolo esquemático.

## 4. Transistor de silício para uso geral

Transistor de silício de baixa potência para uso geral -  
Encapsulamento e disposição dos terminais.

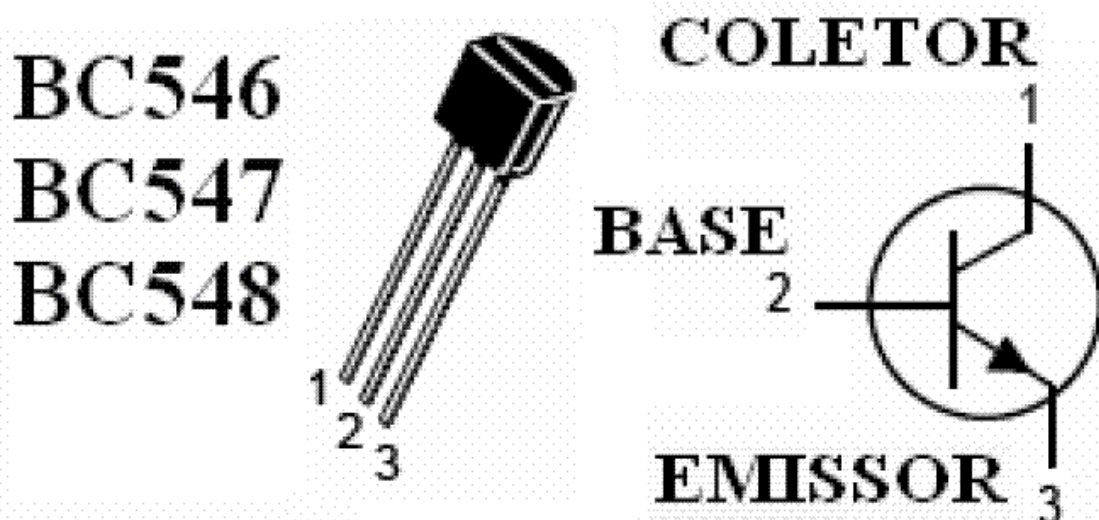


Fig. 4 - Encapsulamento e posição dos terminais.



## 6. Transistor de alta potência

Transistor de alta potência com encapsulamento TO-3 e respectiva montagem em um radiador de calor.

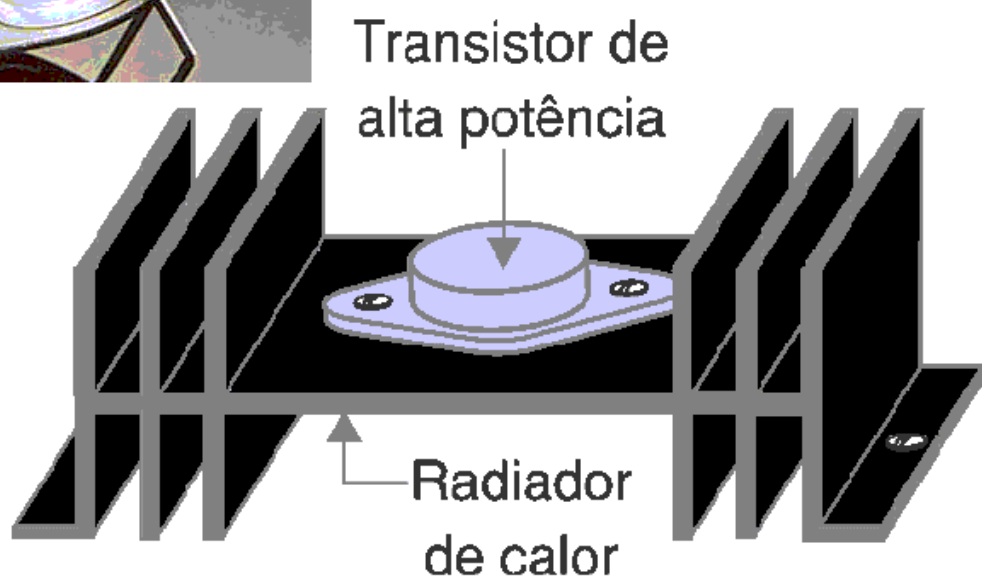


Fig. 6 - Transistor de potência e dissipador de calor.

## 7. Polarização do transistor bipolar NPN

Polarizar um circuito significa aplicar uma alimentação em CC, de modo a estabelecer valores fixos de tensões e correntes no componente principal e periféricos, para que estes possam realizar determinadas tarefas ou funções em uma dada aplicação.

### Polarização

- $V_{CE}$  - Tensão coletor - emissor
- $V_{BE}$  - Tensão base - emissor
- $V_{CB}$  - Tensão coletor - base
- $I_C$  - Corrente de coletor
- $I_B$  - Corrente de base
- $I_E$  - Corrente de emissor
- $V_{RE}$  - Tensão no resistor de emissor
- $V_{RC}$  - Tensão no resistor de coletor

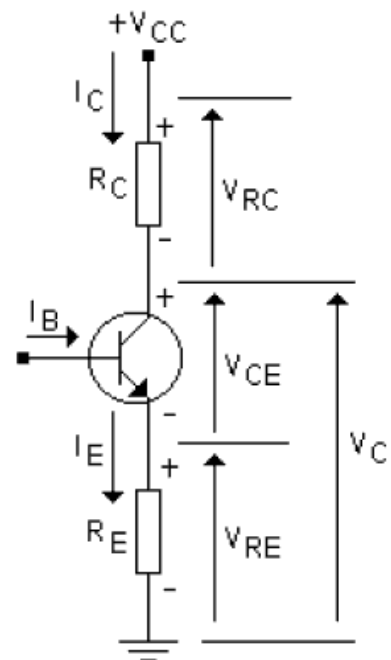
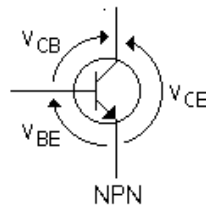


Fig. 7 - Transistor NPN com as tensões e correntes de polarização.



## 8. Polarização - Características de coletor

No gráfico das curvas características de coletor de um TJB, uma reta de carga permite fixar o ponto de operação dentro da área útil de trabalho do transistor.

### Curva de Polarização

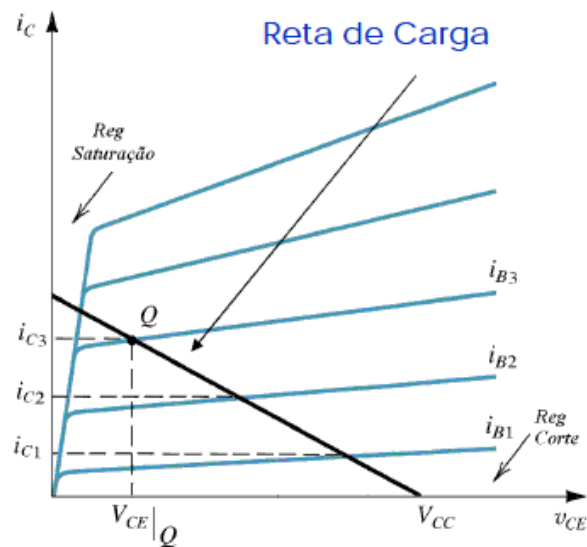
Região de Corte

$$I_{C_{\text{corte}}} \cong 0 \quad V_{CE_{\text{corte}}} = V_{CC}$$

Região de Saturação

$$I_{C_{\text{sat}}} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

$$V_{CE_{\text{sat}}} \cong 0$$



$Q$  é o **ponto Quiescente** (ponto de operação)

Fig. 8 - Reta de carga e o ponto quiescente.

## 9. Regiões de operação do TJB - Parte I

Através da curva de polarização, podemos definir um dos três estados para o transistor operar: próximo ao CORTE, próximo a SATURAÇÃO ou na região ATIVA também chamada de REGIÃO LINEAR.

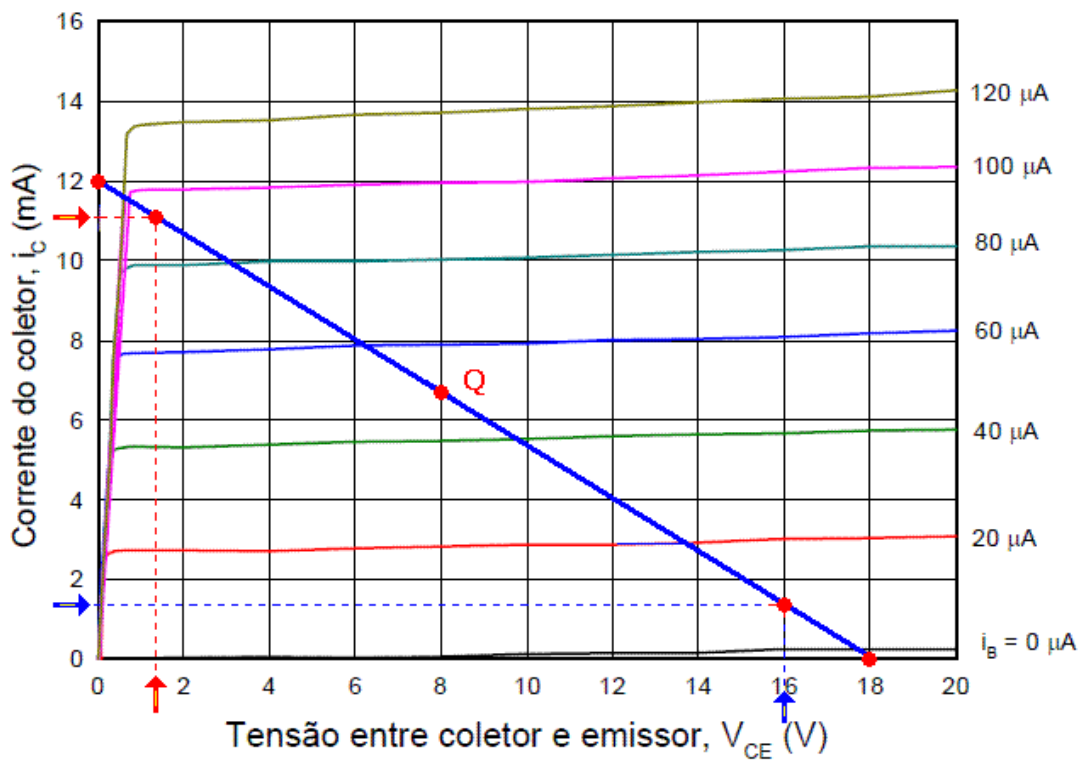


Fig. 9 - Curvas características do coletor de um transistor bipolar..

## 10. Regiões de operação do TJB - Parte II

Comportamento do transistor nas três regiões

Região Linear

$$I_C \cong I_C \text{ máx} / 2$$
$$V_{CE} \cong 1/2 V_{CC}$$

- Junção base-emissor polarizada diretamente.
- Junção base-coletor polarizada reversamente

Região de Corte

$$I_C \cong 0$$
$$V_{CE} \cong V_{CC}$$

- Junção base-emissor polarizada reversamente.
- Junção base-coletor polarizada reversamente.

Região de Saturação

$$I_C = V_{CC} / R_C$$
$$V_{CE} \cong 0$$

- Junção base-emissor polarizada diretamente.
- Junção base-coletor polarizada diretamente.

Fig. 10 - Regiões de operação do TJB.

## 11. Parâmetros Alfa e Beta do TJB - Parte I

Normalmente os Parâmetros Alfa e Beta do transistor bipolar são definidos para medir a corrente contínua, mas as vezes utilizados por alguns autores, para medir indistintamente corrente alternada e corrente contínua.

### Parâmetros $\alpha$ e $\beta$

No modo cc, os valores de  $I_C$  e  $I_E$  estão relacionados por um parâmetro chamado  $\alpha$  dado por:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} (i)$$

No modo cc, os valores de  $I_C$  e  $I_B$  estão relacionados por um parâmetro chamado  $\beta$  ( $h_{FE}$ ) dado por:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} (ii)$$

Fig. 11 - Parâmetros Alfa e Beta.

## 12. Parâmetros Alfa e Beta do TJB - Parte II

O parâmetro alfa de um transistor é a relação entre a corrente de coletor ( $I_C$ ) e a corrente de emissor ( $I_E$ ), com a tensão entre a base e o coletor (VCB) constante.

### Parâmetros $\alpha$

No modo cc, os valores de  $I_C$  e  $I_E$  estão relacionados por um parâmetro chamado  $\alpha$  dado por:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} (i)$$

Da equação das malhas de corrente temos:  $I_E = I_C + I_B$ , como  $I_B$  é muito menor que  $I_E$  e  $I_C$ , podemos dizer que  $I_E$  é um pouco maior que  $I_C$  (aproximadamente iguais). Logo, dividindo  $I_C$  por  $I_E$ , resulta em um valor menor do que 1, e podemos dizer que:  $\alpha < 1$

Fig. 12 - Parâmetros Alfa e Beta.

### 13. Parâmetros Alfa e Beta do - Parte III

O parâmetro beta de um transistor é a relação entre a corrente de coletor ( $I_C$ ) e a corrente da base ( $I_B$ ), com a tensão entre o coletor e emissor (VCE) constante.

#### Parâmetro $\beta$

Da equação das malhas de corrente temos:

$$I_E = I_C + I_B$$

E pela equação (ii)  $I_C = \beta \cdot I_B$

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

Fig. 13 - Parâmetros Alfa e Beta.

## 14. Ganho de corrente do TJB

Ganho de corrente do transistor na configuração emissor comum.

### Parâmetro $\beta$

O parâmetro  $\beta$  representa a relação entre a corrente de coletor e a corrente de base que é o ganho de corrente do transistor na configuração emissor comum.

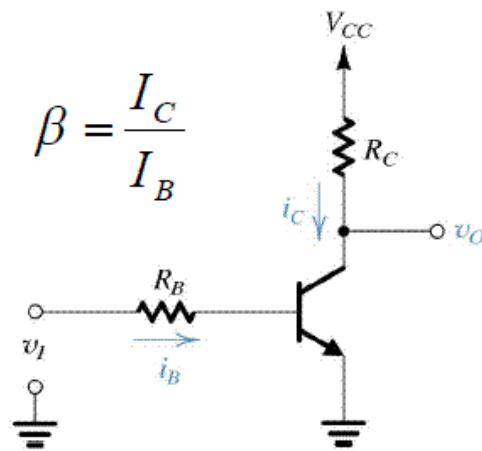


Fig. 14 - Ganho de corrente do TJB.

## 15. Transistor operando como chave

Um transistor pode operar como chave eletrônica, bastando para tal polarizá-lo de forma conveniente: corte ou saturação.

### Operação como Chave

$$v_i = V_{RB} + V_{BE}$$

$$R_{B_{SAT}} = \frac{V_i - V_{BE}}{I_{B_{SAT}}}$$

$$v_o = V_{CC} - V_{RC}$$

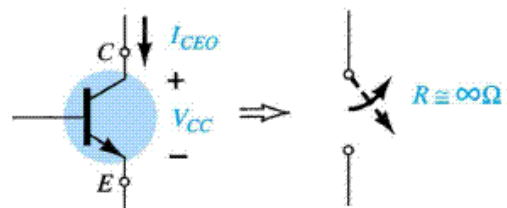
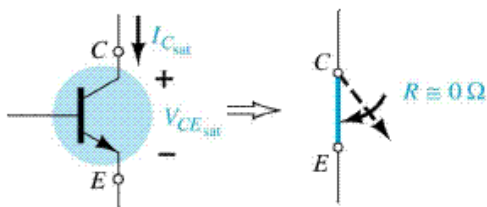
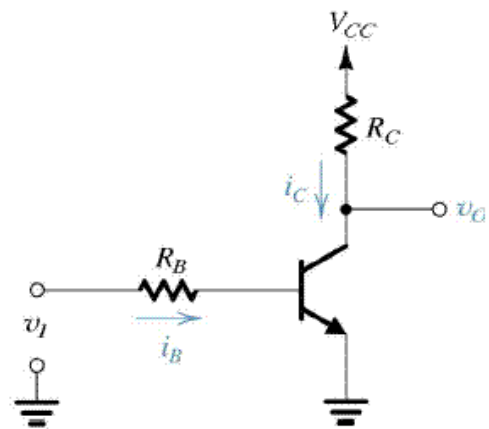


Fig. 15 - Transistor operando como chave.



## 16. Transistor como chave - Porta lógica NOT

Este circuito funciona logicamente como inversor. Quando  $V_{in}$  está no nível lógico baixo,  $V_{out}$  estará no nível alto, e vice-versa.

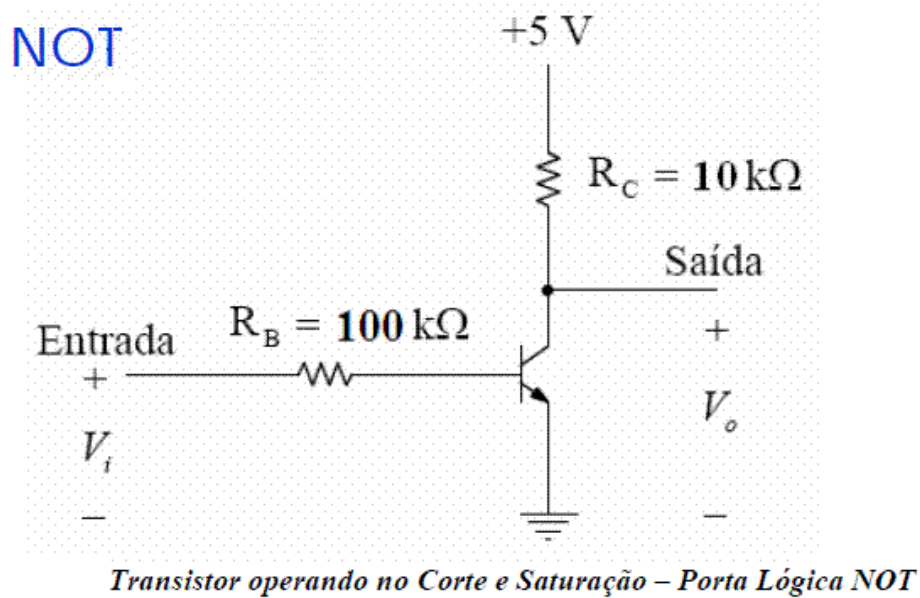
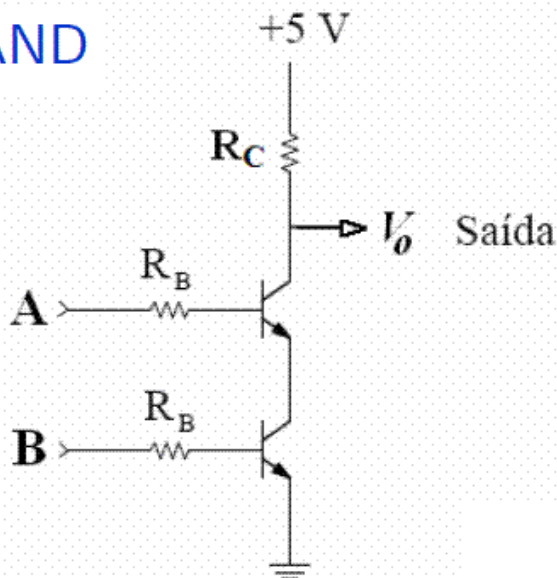


Fig. 16 - Transistor operando como chave - Porta Lógica NOT.

## 17. Transistor como chave - Porta lógica AND

Dois transistores ligados em série. Vout assume nível lógico baixo, se V1 e V2 estiverem no nível lógico alto.

AND



A	B	C
V1	V2	V(saída)
0V	0V	
0V	5V	
5V	0V	
5V	5V	

*Transistor operando no Corte e Saturação – Porta Lógica AND*

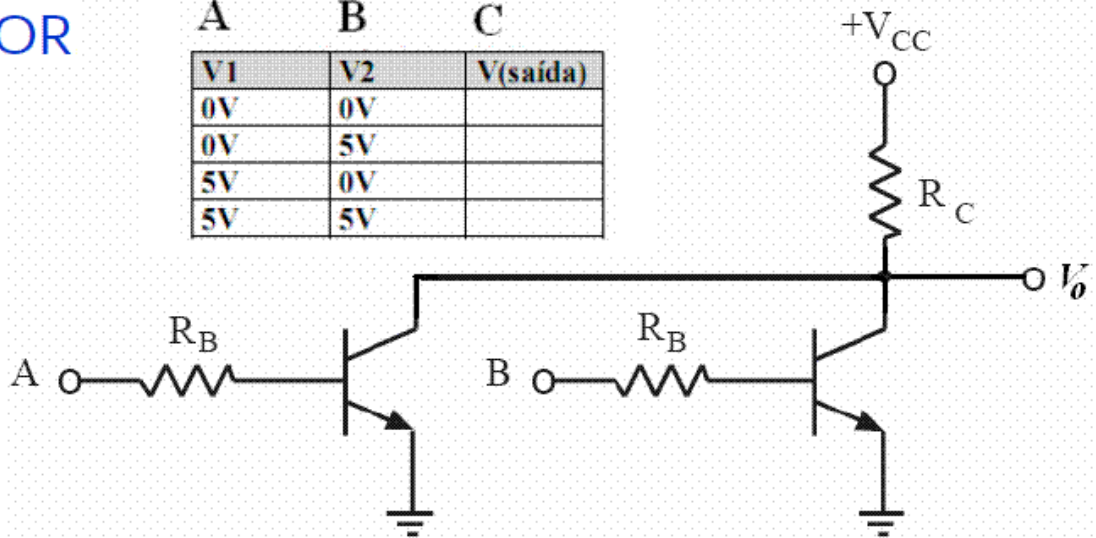
Fig. 17 - Transistor operando como chave - Porta Lógica AND.

## 18. Transistor como chave - Porta lógica OR

Dois transistores ligados em paralelo. Vout assume nível lógico baixo, se V1 ou V2 estiver no nível lógico alto.

OR

A	B	C
V1	V2	V(saída)
0V	0V	
0V	5V	
5V	0V	
5V	5V	

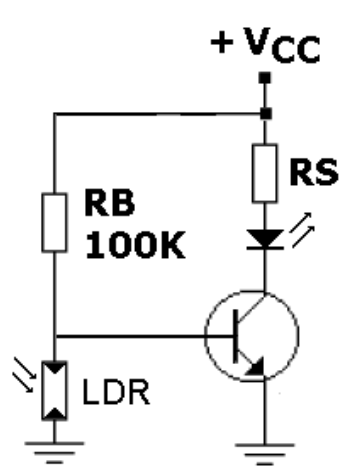


*Transistor operando no Corte e Saturação – Porta Lógica OR*

Fig. 18 - Transistor operando como chave - Porta Lógica OR.

## 19. Transistor como chave - Foto controle

Aplicação simples do transistor como chave em um circuito de acionamento de LED.



$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{B_{Sat}}} = \frac{V_{CC}}{I_{B_{Sat}}}$$

$$I_{B_{Sat}} = \frac{I_{C_{Sat}}}{\beta_{\text{mín}}} = \frac{I_{LED}}{\beta_{\text{mín}}}$$

$$I_{B_{Sat}} = \frac{20 \text{ mA}}{100} = 0,2 \text{ mA}$$

$$R_B = \frac{15 \text{ V}}{0,2 \text{ mA}} = 75 \text{ K}$$

Por segurança, adotamos o segundo valor comercial acima, ou seja:  $R_B = 100\text{K}$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{15 \text{ V} - 2\text{V}}{20 \text{ mA}} = \frac{13 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 0,65 \text{ K}$$

Para  $R_C$  adotamos o valor comercial superior. 680 Ohms.  $R_C = R_S$ .

Fig. 19 - Transistor operando como chave - Relé acionado por luz.

## 20. Transistor como chave - Relé temporizado

Transistor como chave em um circuito temporizador. Neste circuito IB de saturação é alcançada no início da carga do capacitor, o botão "reset" permite o início da temporização.

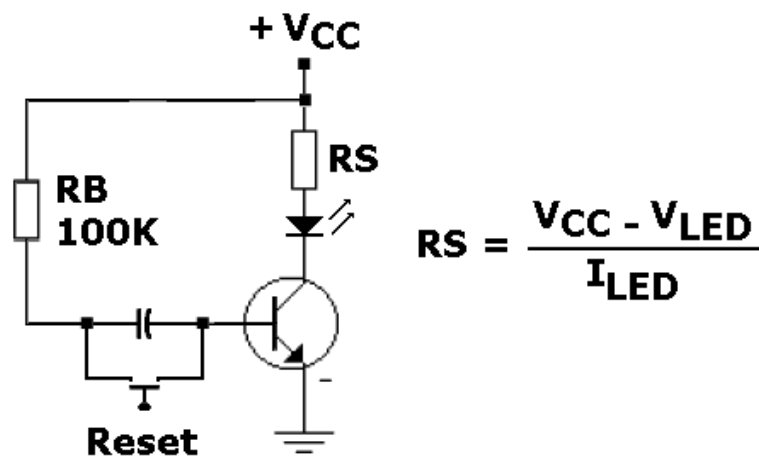


Fig. 20 - Transistor operando como chave - Relé temporizado.

## 21. Transistor como chave - Controle de nível

Aplicação simples do transistor como chave em um circuito de controle de nível de líquido.

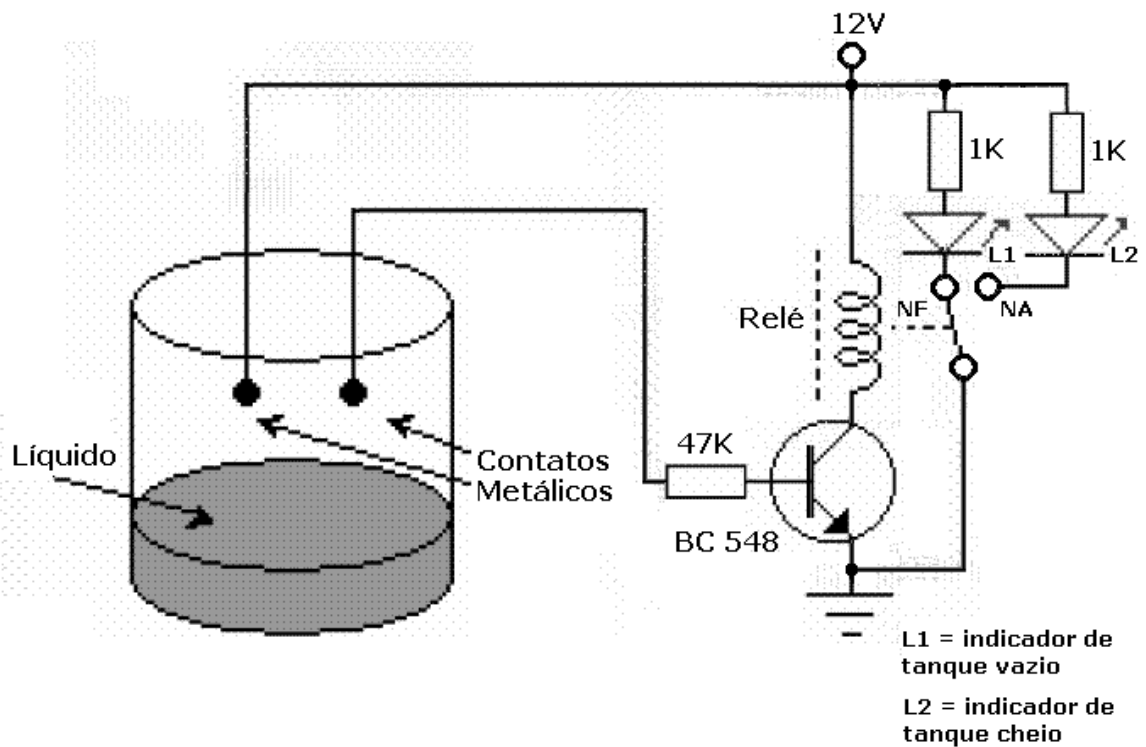
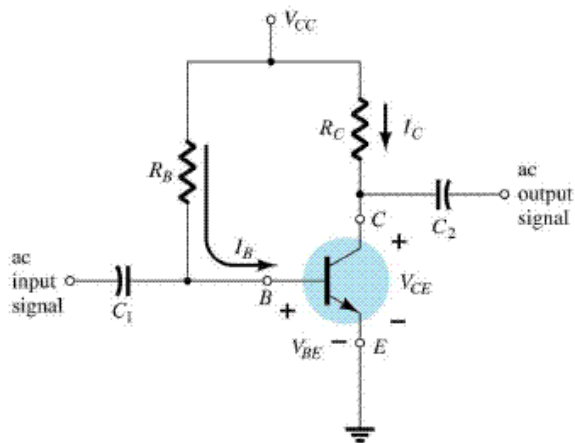


Fig. 21 - Transistor operando como chave - Controle de nível de líquido.

## 22. Polarização do TJB - Polarização fixa

Circuito do TJB com polarização fixa.

### Polarização Fixa



Malha de Entrada

$$V_{CC} = V_{R_B} + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

Malha de Saída

$$V_{CC} = V_{R_C} + V_{CE}$$

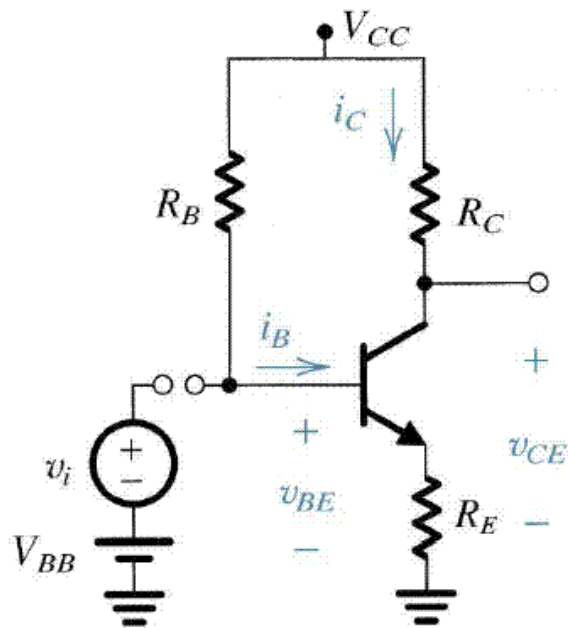
$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$

Fig. 22 - Circuito para polarização fixa do TJB.

## 23. Polarização do TJB - Com RE

Polarização com resistor de emissor.

### Polarização fixa com Re



Malha de Entrada

$$V_{CC} = V_{R_B} + V_{BE} + V_{RE}$$

Malha de Saída

$$V_{CC} = V_{R_C} + V_{CE} + V_{RE}$$

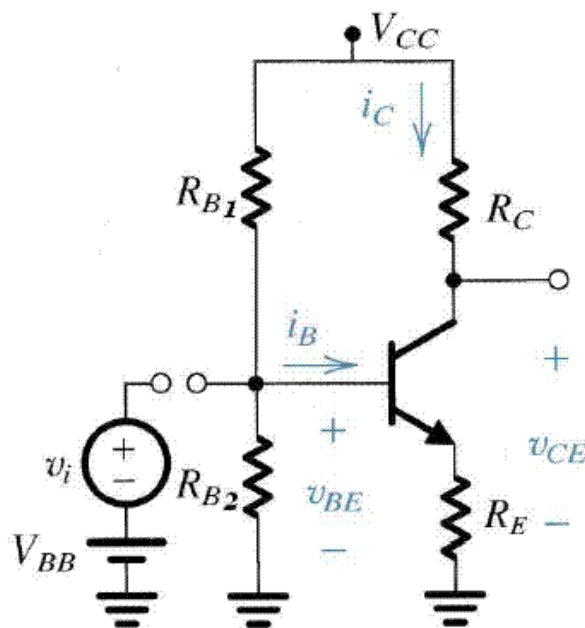
Fig. 23 - Circuito para polarização do TJB, com resistor de emissor.



## 24. Polarização do TJB - Por divisor de tensão

Polarização do TJB por divisor de tensão - Polarização automática.

### Polarização por Divisor de Tensão



Malha de Entrada

$$V_{CC} = V_{RB} + V_{BE} + V_{RE}$$

Malha de Saída

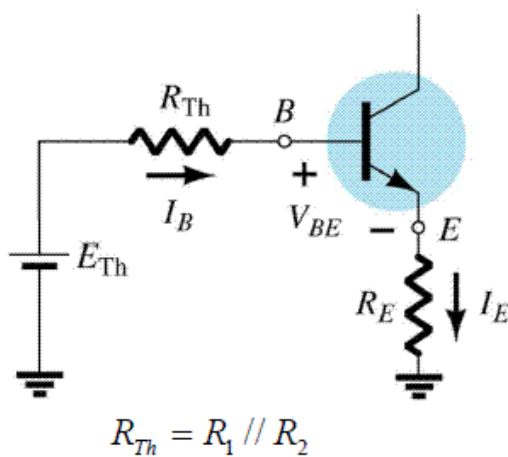
$$V_{CC} = V_{RC} + V_{CE} + V_{RE}$$

Fig. 24 - Circuito para polarização do TJB, por divisor de tensão na base.

## 25. Polarização por divisor de Thévenin

Polarização do TJB por divisor de tensão - Equivalente Thévenin.

### Polarização por Divisor de Tensão – Equivalente Thévenin.



$$E_{Th} = V_{R2} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

$$E_{Th} = I_B R_{Th} + V_{BE} + I_E R_E$$

$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

$$R_{Th} = R_1 // R_2$$

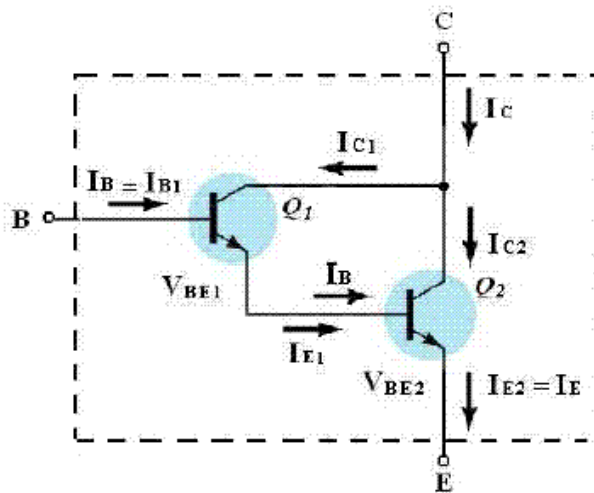
Fig. 25 - Equivalente Thévenin para cálculo de polarização por divisor de tensão na base.

## 26. Par Darlington

Polarização do transistor Darlington.

### O par Darlington

Devido ao fato de os transistores de potência possuírem um baixo ganho de corrente, temos a alternativa de ligar dois transistores na configuração Darlington para elevar o ganho de corrente.

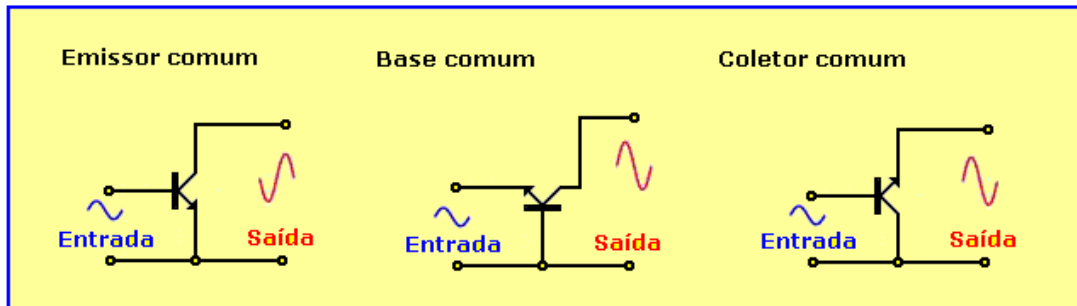


$$I_{C2} = h_{FE2} \cdot h_{FE1} I_B$$

Fig. 26 - Transistor Darlington.

## 27. Configurações do TJB

Polarização do TJB nas configurações - Emissor comum, Base comum e Coletor comum.



Circuitos equivalentes CA para as configurações:  
Emissor comum, Coletor comum e Base comum.

Caraterísticas	Emissor comum	Base comum	Coletor comum
Ganho de corrente	alto	baixo $<1$	alto
Ganho de tensão	alto	alto	baixo $<1$
Impedância de entrada	média	muito baixa	muito alta
Impedância de saída	alta	muito alta	muito baixa

Fig. 27 - Configurações do TJB.

## 28. Especificações elétricas do TJB

Especificações elétricas do TJB retiradas de publicações de folhas de dados - *Data Sheet*.

### Especificações Elétricas do Transistor

#### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC 546	BC 547	BC 548	Unit
Collector–Emitter Voltage	$V_{CEO}$	65	45	30	Vdc
Collector–Base Voltage	$V_{CBO}$	80	50	30	Vdc
Emitter–Base Voltage	$V_{EBO}$	6.0			Vdc
Collector Current — Continuous	$I_C$	100			mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625			mW
		5.0			mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5			Watt
		12			mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	–55 to +150			$^\circ\text{C}$

Fig. 28 - Especificações do TJB.

## 29. Referências

ALMEIDA, Antônio Carlos; *Notas de aulas de Eletrônica, Eletrotécnica e Instalações Elétricas*. SENAI/CEFET-BA, 1978 - 2008

BOYLESTAD, Robert L, NASHELSKY - Tradução: Rafael Monteiro Simon; *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. São Paulo - SP, Prentice Hall

BROPHY, James J.; *Eletrônica Básica*. Rio de Janeiro - RJ, Editora Guanabara Dois S.A.

COTRIM, Ademaro A. M. B.; *Instalações Elétricas*. São Paulo - SP, Prentice Hall

CREDER, Hélio; *Instalações Elétricas*. Rio de Janeiro - RJ, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

FIGINI, Gianfranco - tradução: Carlos Antonio Lauand; *Eletrônica Industrial: Circuitos e Aplicações*. São Paulo - SP, Hemus Editora Limitada

MALVINO, Albert Paul - tradução: Romeu Abdo; *Eletrônica: volume 1*. São Paulo - SP, Makron Books

KAUFMAN, Milton & WILSON J. A.; *Eletrônica Básica*. São Paulo - SP, McGraw-Hill do Brasil

Internet - [http://ivairsouza.com/circuitos\\_retificadores.html](http://ivairsouza.com/circuitos_retificadores.html)