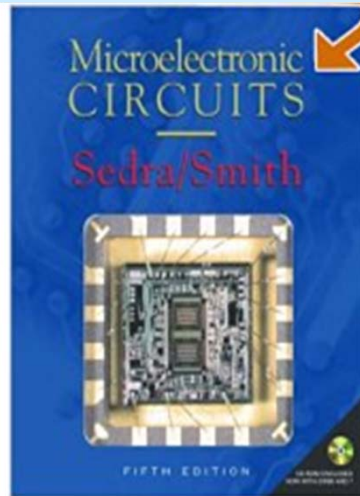


Transistor Bipolar de Junção - TBJ

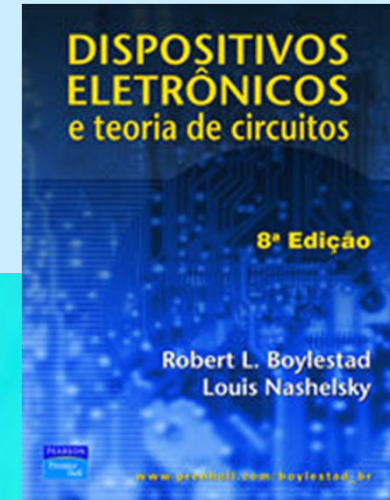
Cap. 4 Sedra/Smith

Cap. 2 Boylestad

Cap. 6 Malvino



Fundamentos do TBJ



Notas de Aula SEL 313 Circuitos Eletrônicos 1 Parte 1

1º Sem/2017 Prof. Manoel

Introdução

O transistor é a unidade básica de semicondutor com 3 terminais.

O 3º. terminal permite o controle do fluxo de corrente ou do nível de tensão ou da potência entre os dois outros terminais.

Funções principais: **Chave controlada** ou,
Amplificador linear.

Como **amplificador** opera na **REGIÃO ATIVA** no tratamento de sinais de forma linear.

Como **chave** opera nas regiões de **CORTE** e de **SATURAÇÃO** (conduzindo ou não-conduzindo) no tratamento de sinais digitais.

OBJETIVO INICIAL : Análise de circuitos básicos de transistores no projeto de amplificadores lineares e de chaves simples.

Estrutura física e operação do TBJ

O nome **Transistor Bipolar de Junção** se deve ao fato de conter **junções PN** tais como as dos diodos e pelo fato de que tantos os **elétrons** quanto as **lacunas** formam a corrente no dispositivo.

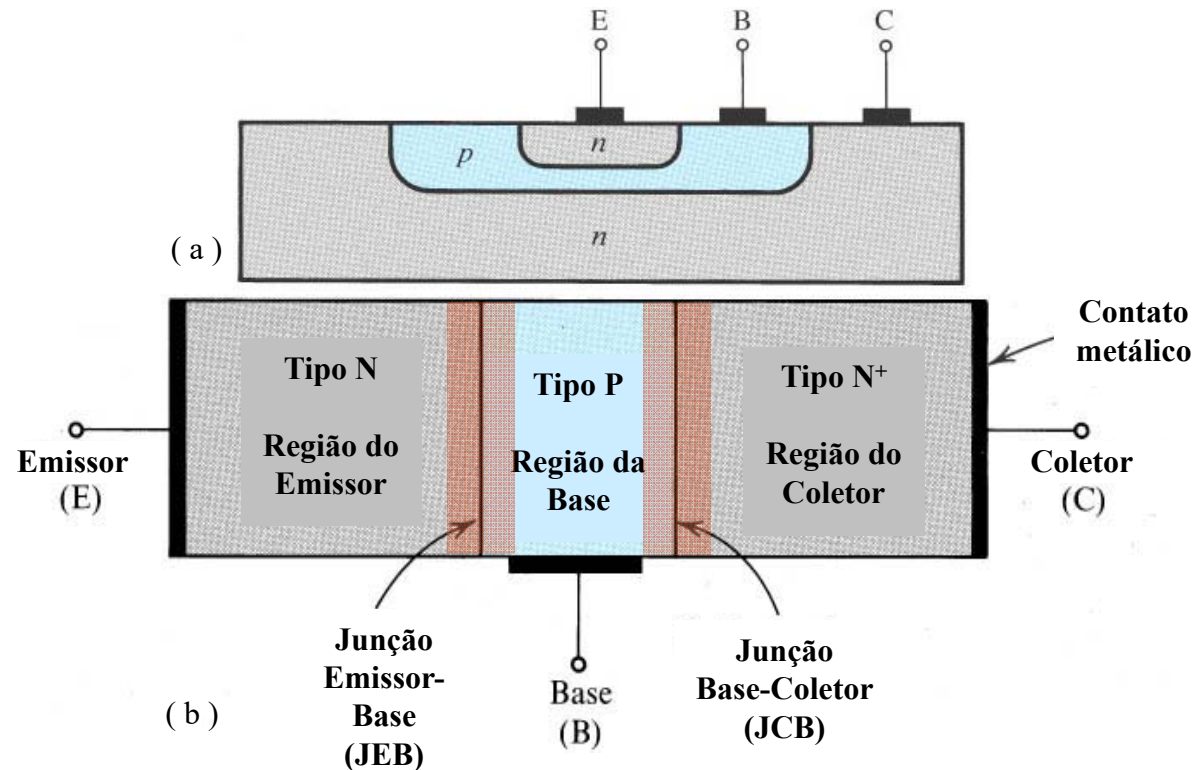


Figura 2.1 Aspecto construtivo e modelo simplificado das junções no transistor NPN

A região de Base é bem estreita em relação ao Emissor e Coletor (1:150) e a base é menos dopada (1:10), sendo o Emissor o mais dopado. A “resistência” da base é mais elevada que nas outras partes.

Junções no TBJ e Operação

As junções em temperatura ambiente e equilíbrio térmico do dispositivo formam duas Regiões de Depleção em torno de JEB e de JCB.

Sem efeito de polarizações externas cada uma das regiões de depleção se comporta tal como nos diodos.

As regiões de operação do TBJ dependem de uma polarização simultânea das duas junções e as condições necessárias são indicadas a seguir.

Com Polarização simultânea :

	JEB	JCB
CORTE	Reversa	Reversa
ATIVA	Direta	Reversa
SATURAÇÃO	Direta	Direta

Caso NPN na Região Ativa

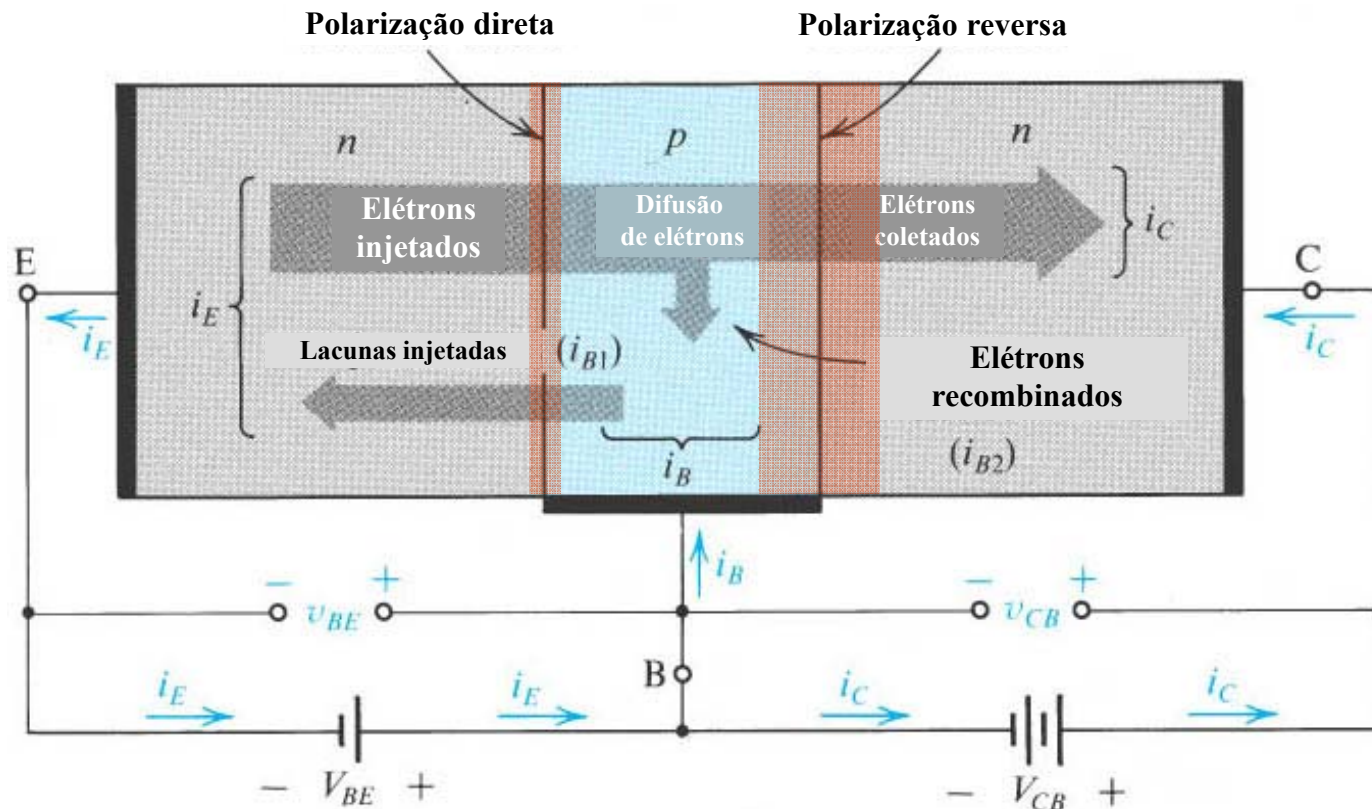


Figura 2.2 – Correntes no modo ativo do caso NPN.

JEB Direta → Depleção reduzida (diodo em condução) ($V_{BE} \sim 0,7V$)

JCB Reversa → Depleção aumentada

I_E = elétrons + lacunas injetadas

I_B = elétrons recombinados + lacunas “perdidas”

I_C = elétrons atraídos (acelerados) pelo potencial de JCB e V_{CB}

Caso PNP na Região Ativa

No caso do PNP trocam-se as funções de elétrons e lacunas em relação ao NPN.

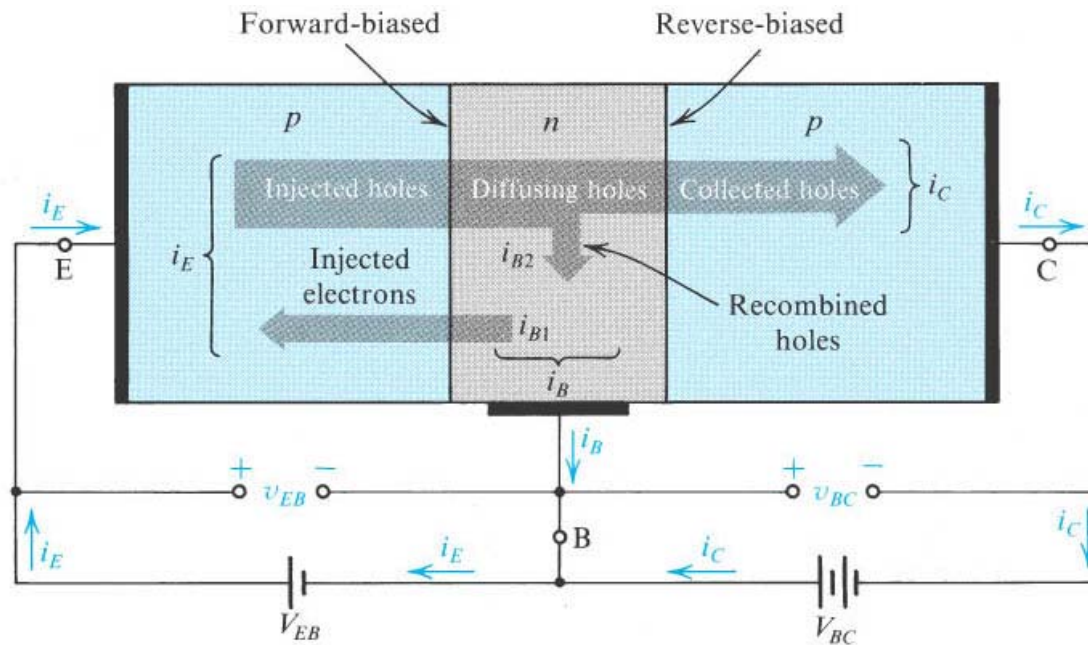


Figura 2.3 – Correntes no modo ativo do caso PNP.

O símbolo do TBJ em circuitos usa uma seta no terminal de Emissor e esta seta aponta o sentido de corrente neste terminal.

No NPN a corrente convencional sai pelo Emissor e no caso do PNP a corrente entra pelo Emissor.

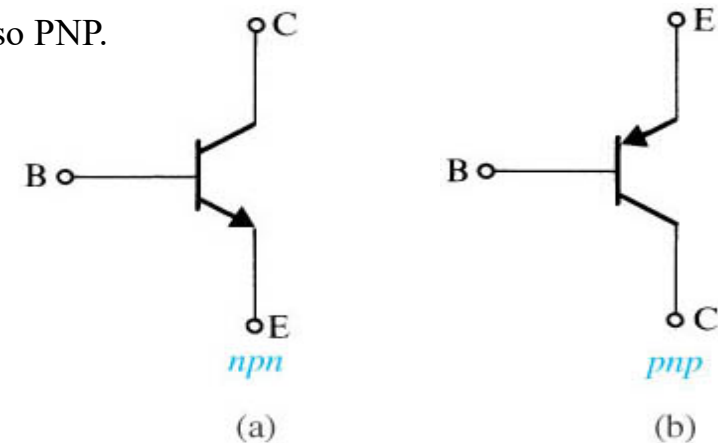


Figura 2.4 – Símbolos do transistores NPN e PNP.

Fluxo de Correntes no TBJ

Se bateria $V_{BE} = 0.7V$, o diodo Emissor-base conduz através da injeção de elétrons do Emissor para a Base.

Sendo a Base estreita e pouco dopada uma pequena parte destes elétrons se recombina com as lacunas majoritárias na Base.

A maior parte dos elétrons vindo do Emissor são acelerados pelo potencial positivo na junção reversa no coletor e pelo potencial positivo externo da bateria V_{CB} . Assim, grande parte dos elétrons atravessam a base e a junção JCB e são “acelerados para o” ou “coletados no” Coletor.

A **corrente de Emissor I_E** é portanto a porção de elétrons injetados mais a porção de lacunas da Base para o Emissor.

A **corrente de Base I_B** é a porção de lacunas que deixam a base em direção do Emissor e a porção de lacunas que se recombina com elétrons.

A **corrente de Coletor I_C** se constitui dos elétrons que atravessam a base e a junção reversa JCB.

Correntes no TBJ

Corrente de Coletor

I_C é praticamente a corrente do diodo polarizado diretamente em JEB

$$i_C = I_S e^{\left(\frac{v_{BE}}{V_T}\right)} \quad V_T = 25 \text{ mV} \quad (2.1)$$

Corrente de Base

I_B é praticamente uma parcela muito pequena de I_C (pouca recombinação e baixa dopagem)

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \left(\frac{I_S}{\beta}\right) e^{\left(\frac{v_{BE}}{V_T}\right)} \quad (2.2)$$

β é muito grande (100 a 500)

Corrente de Emissor

I_E é sempre a soma de I_C e I_B e é poucas vezes maior que I_C .

$$i_E = i_C + i_B = \left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) i_C = \left(\frac{\beta + 1}{\beta}\right) I_S e^{\left(\frac{v_{BE}}{V_T}\right)} \quad (2.3)$$

Outras relações de correntes no TBJ

β em (2.2) é chamado : ganho de corrente em Emissor-Comum;
 α é definido como : ganho de corrente em Base-Comum e vale ≈ 1 .

$$i_C = \alpha i_E \quad (2.4-a)$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (2.4-b)$$

ou

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (2.4-c)$$

$$i_E = \frac{I_S}{\alpha} e^{\left(\frac{v_{BE}}{V_T} \right)} \quad (2.5)$$

Características de Entrada – Saída Base-Comum

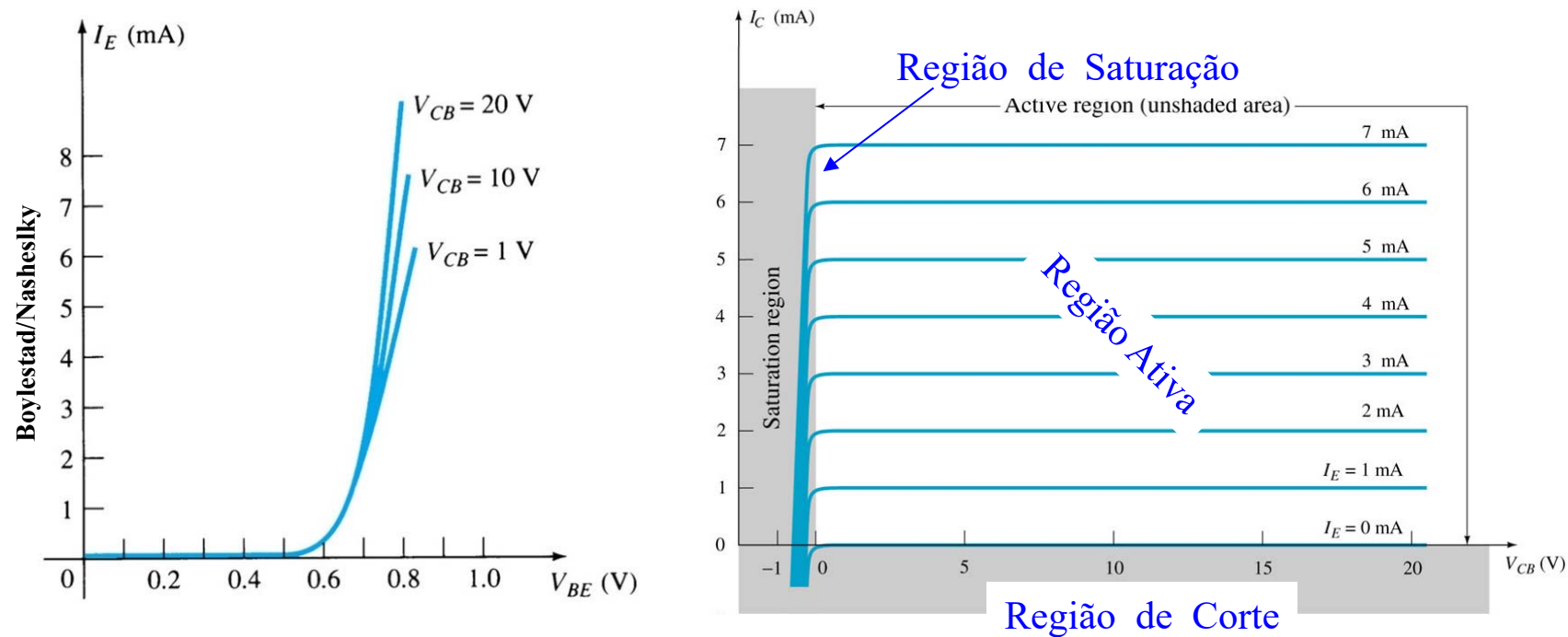
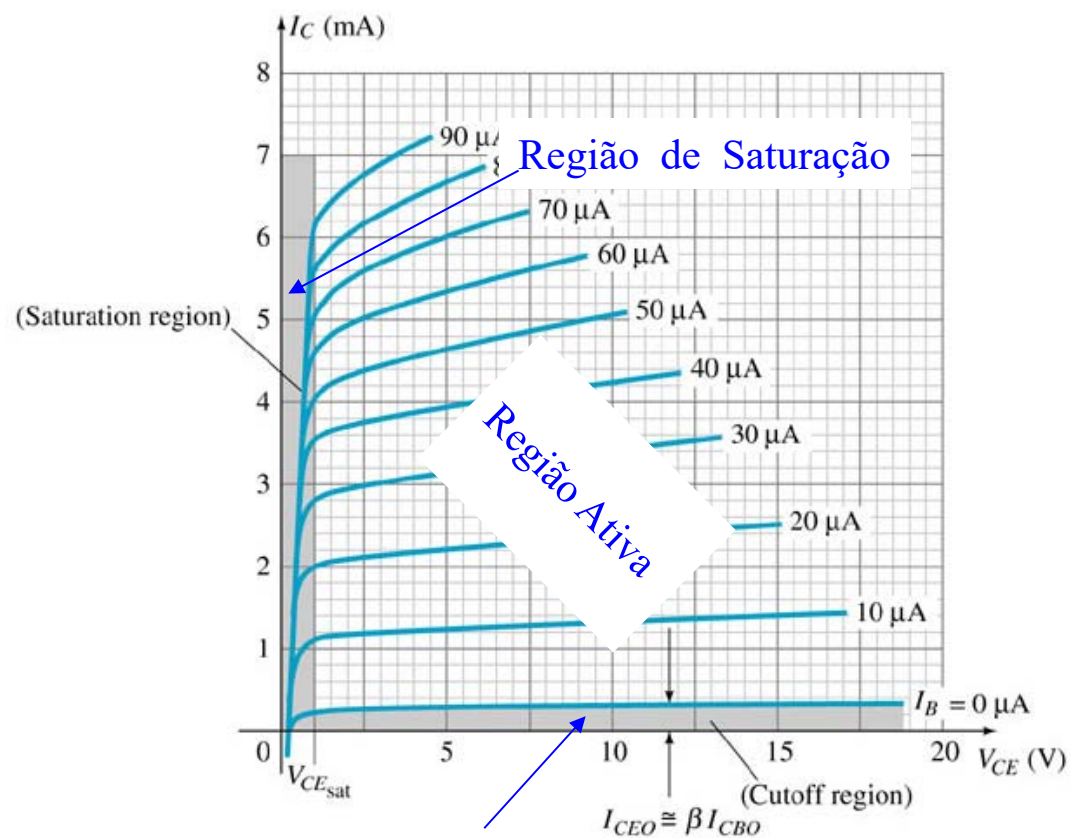


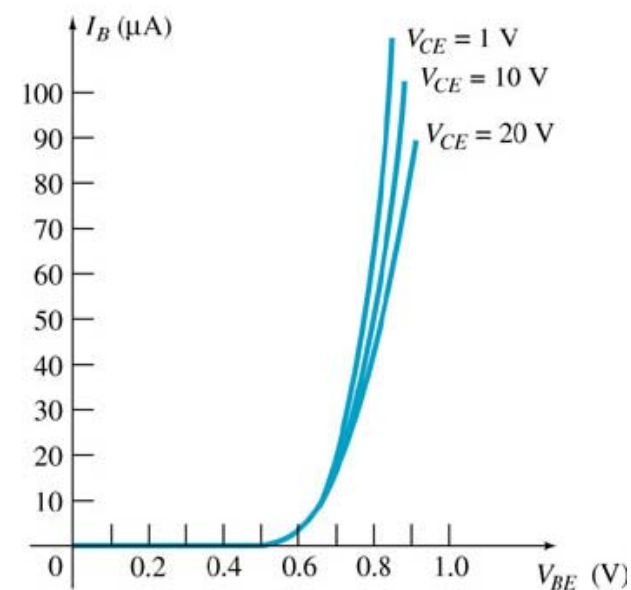
Figura 2.5 – Características Entrada – Saída (Base-Comum)

Características de Entrada – Saída Emissor-Comum



Região de Corte

(a)



(b)

Figura 2.6 – Características Entrada – Saída (Emissor-Comum)

Dados típicos de catálogos (*Datasheet*)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	2N4123	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	40	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	5.0	Vdc
Collector Current – Continuous	I_C	200	mA dc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625 5.0	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

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

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 ($V_{CE} = 20 \text{ Vdc}, I_E = 0$)	I_{CBO}	–	50	nA dc
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 3.0 \text{ Vdc}, I_C = 0$)	I_{EBO}	–	50	nA dc

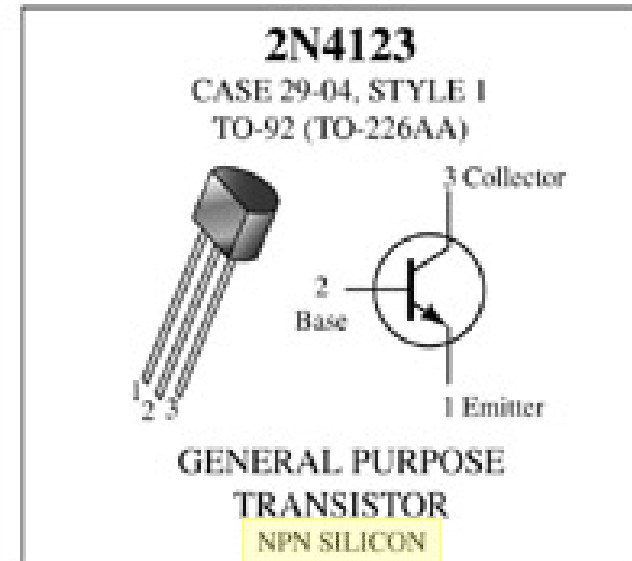


Figura 2.7 – Exemplo Datasheet.

Dados típicos de catálogos (*Datasheet*)

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

ON CHARACTERISTICS

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

← β

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

Current-Gain – Bandwidth Product ($I_C = 10 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 20 \text{ Vdc}$, $f = 100 \text{ MHz}$)	f_T	250		MHz
Output Capacitance ($V_{CE} = 5.0 \text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 100 \text{ MHz}$)	C_{obe}	–	4.0	pF
Input Capacitance ($V_{BE} = 0.5 \text{ Vdc}$, $I_C = 0$, $f = 100 \text{ kHz}$)	C_{ibo}	–	8.0	pF
Collector-Base Capacitance ($I_E = 0$, $V_{CB} = 5.0 \text{ V}$, $f = 100 \text{ kHz}$)	C_{cb}	–	4.0	pF
Small-Signal Current Gain ($I_C = 2.0 \text{ mAdc}$, $V_{CE} = 10 \text{ Vdc}$, $f = 1.0 \text{ kHz}$)	h_{fe}	50	200	–

Figura 2.8 – Exemplo Datasheet.

Dados típicos de catálogos (*Datasheet*)

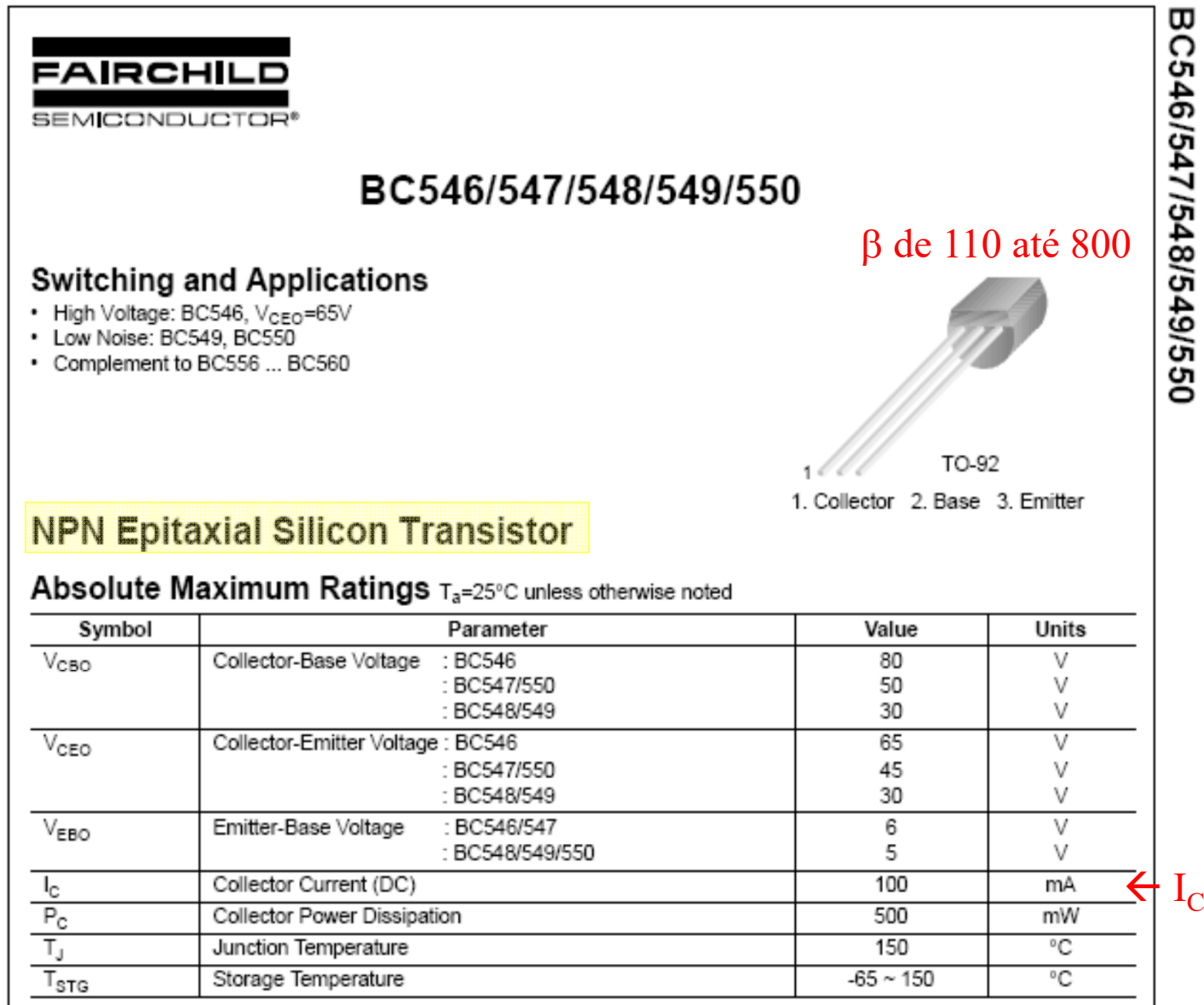


Figura 2.9 – Exemplo Datasheet.

Dados típicos de catálogos (*Datasheet*)

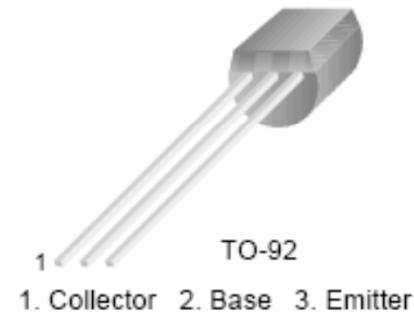


BC337/338

β de 100 até 600

Switching and Amplifier Applications

- Suitable for AF-Driver stages and low power output stages
- Complement to BC327/BC328



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC337	50	V
	: BC338	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage		
	: BC337	45	V
	: BC338	25	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	800	mA
P_C	Collector Power Dissipation	625	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

BC337/338

← I_C

Figura 2.10 – Exemplo Datasheet.

Dados típicos de catálogos (*Datasheet*)

			
BC237/238/239			
β de 120 até 800			
Switching and Amplifier Applications			
• Low Noise: BC239			
			
NPN Epitaxial Silicon Transistor			
Absolute Maximum Ratings $T_a=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted			
Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CES}	Collector-Emitter Voltage : BC237	50	V
	: BC238/239	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BC237	45	V
	: BC238/239	25	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage : BC237	6	V
	: BC238/239	5	V
I_C	Collector Current (DC)	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

← I_C

Figura 2.11 – Exemplo *Datasheet*.

Teste de TBJ com Ohmímetro (Junção Base-Emissor)

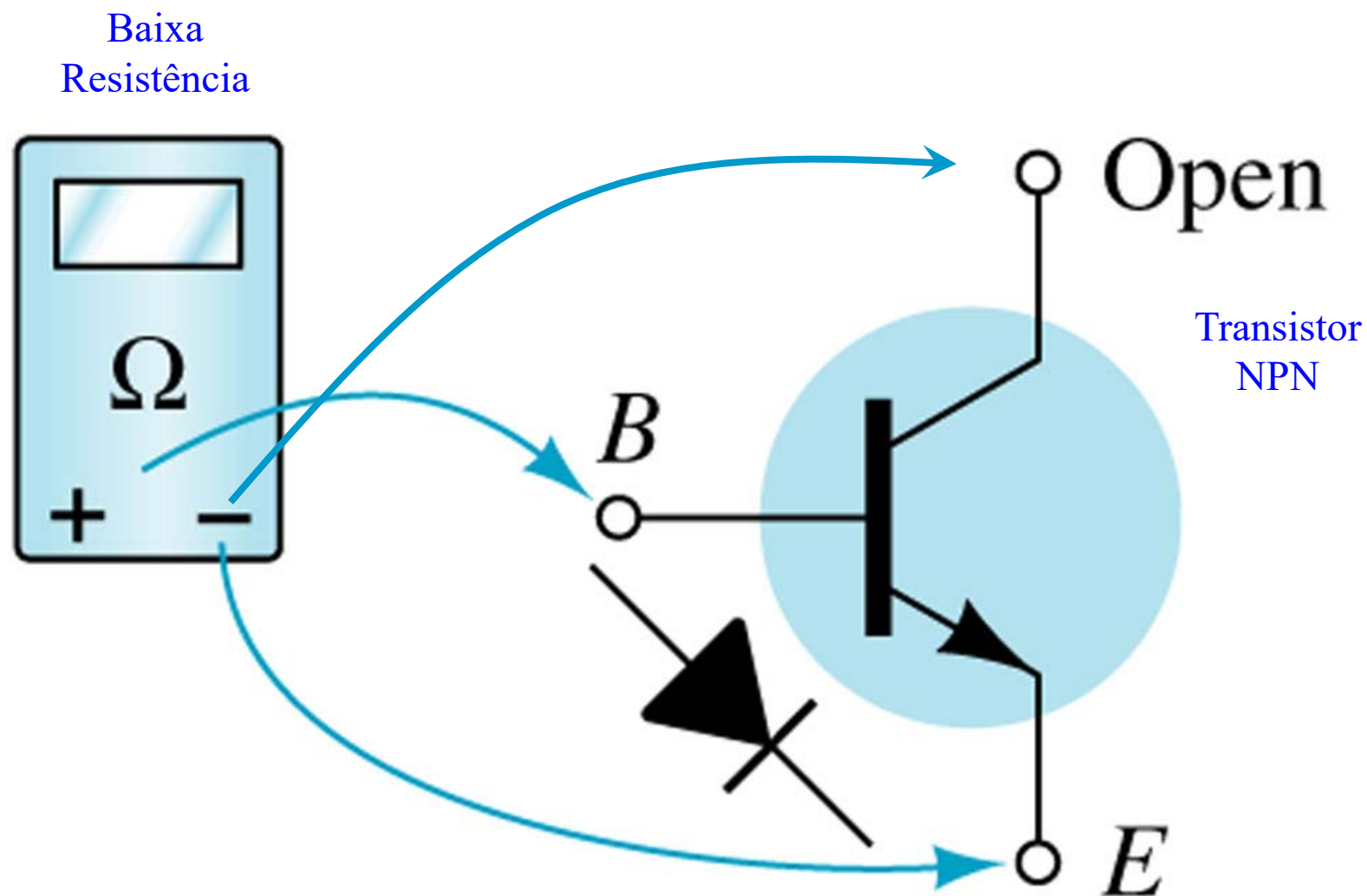
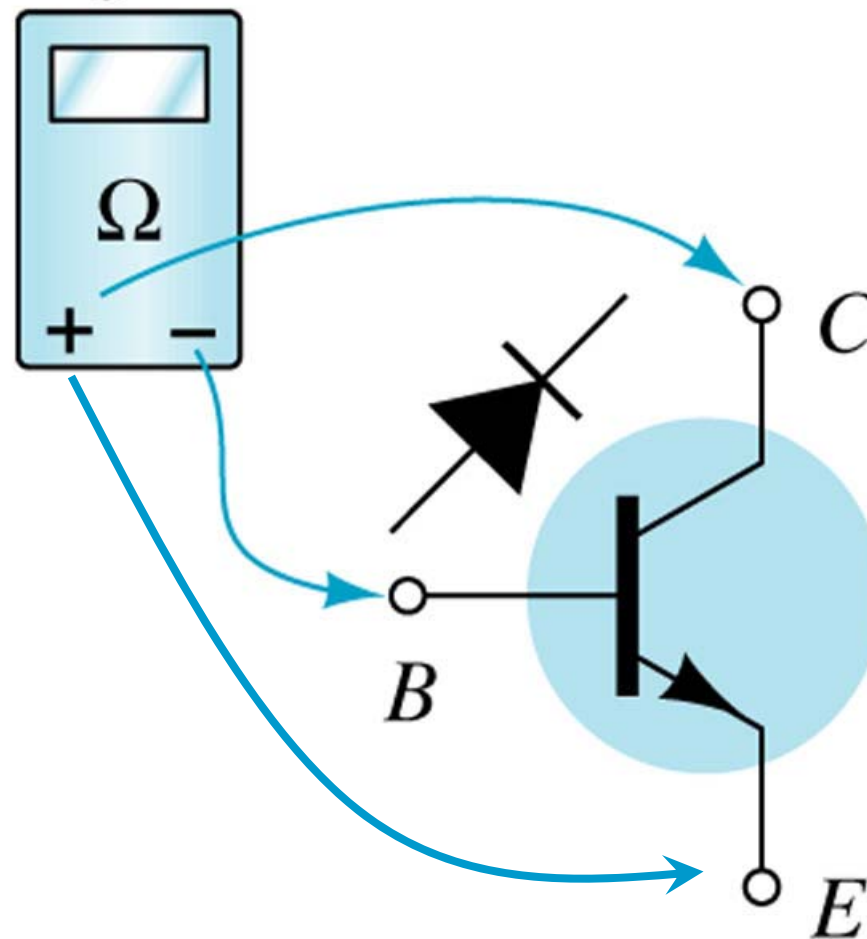


Figura 2.12 – Teste CC do TBJ. Terminal (+) na Base.

Teste de TBJ com Ohmímetro (Junção Base-Coletor)

Alta
Resistência



Transistor
NPN

Figura 2. 13 – Teste CC do TBJ. Terminal (-) na Base.

Teste de TBJ com Multímetro Digital

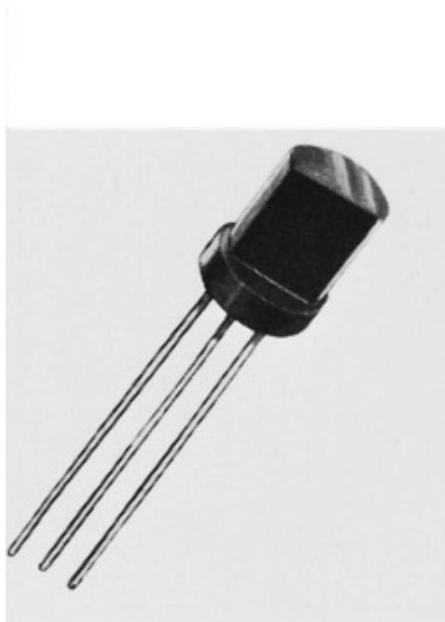
Alguns modelos contem um testador interno



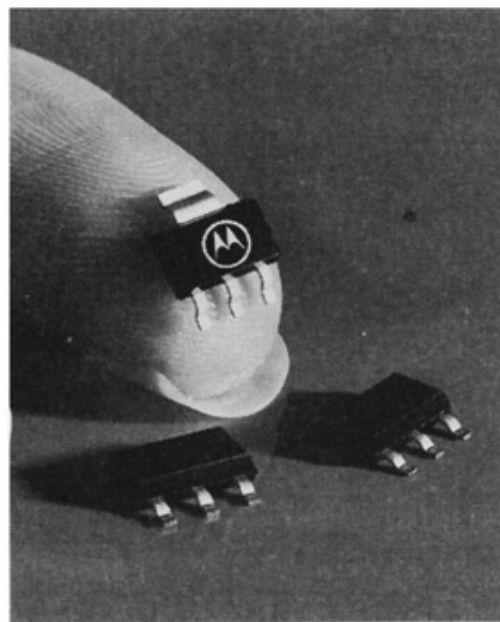
Além de indicar o estado do Transistor
pode-se ler o valor do ganho β (ou hfe)
no display digital

Figura 2. 14– Teste CC do TBJ. Terminal (-) na Base.

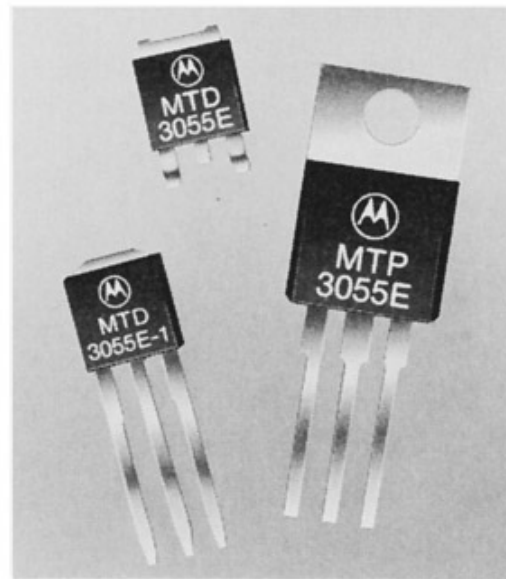
Exemplos de encapsulamento (*Case*)



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.15 – Tipos de encapsulamentos.

Exemplos de encapsulamento (*Case*)

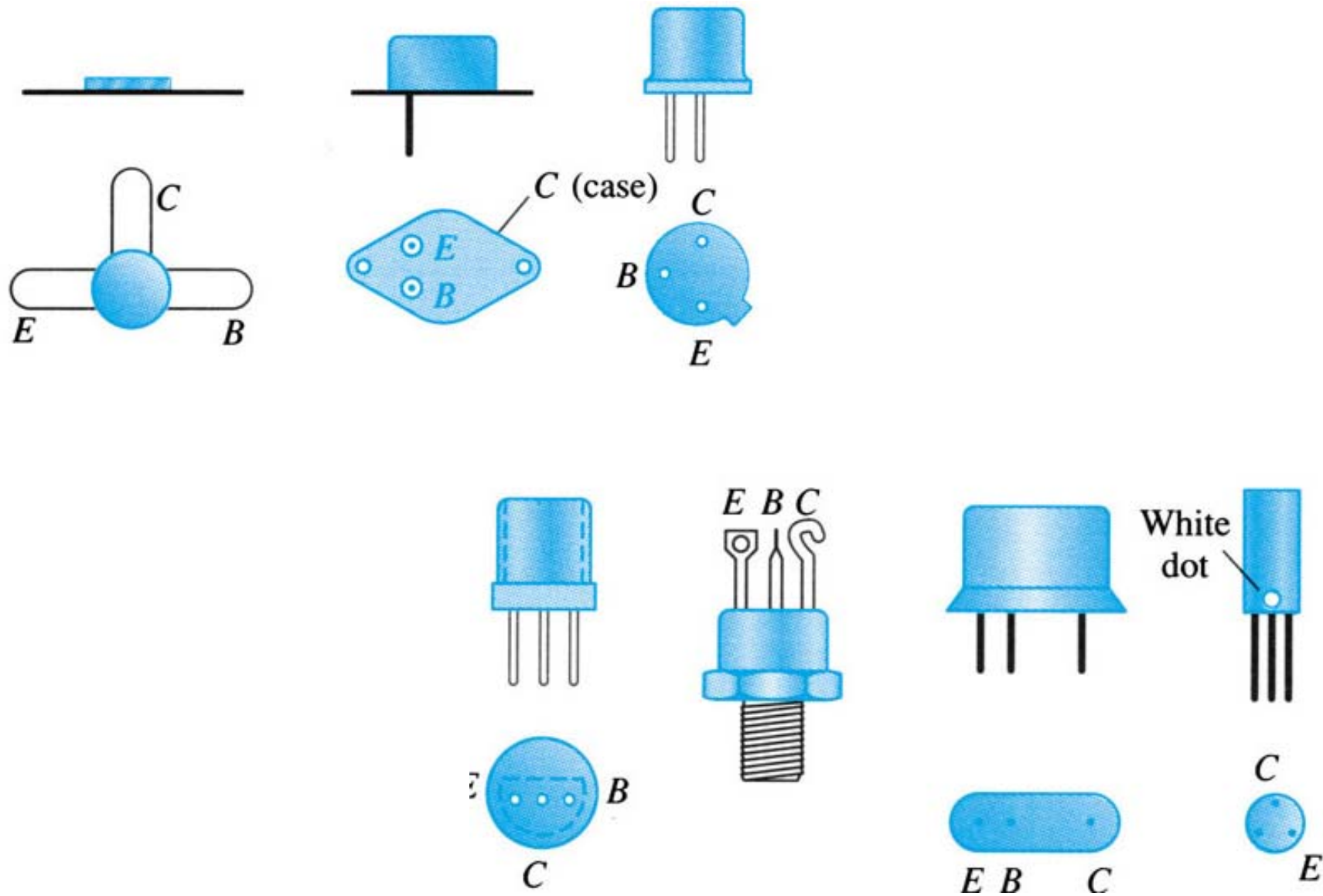
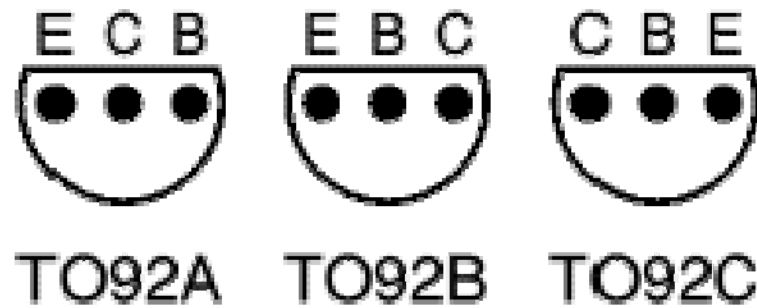
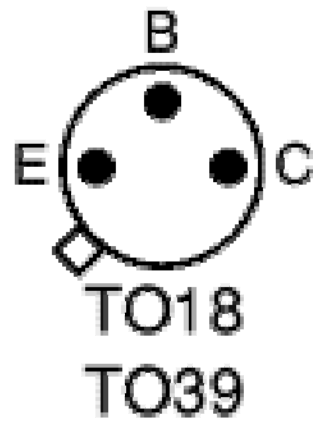


Figura 2.16 – Tipos de encapsulamentos.

Exemplos de encapsulamento (*Case*)



Views are from below with
the leads towards you.

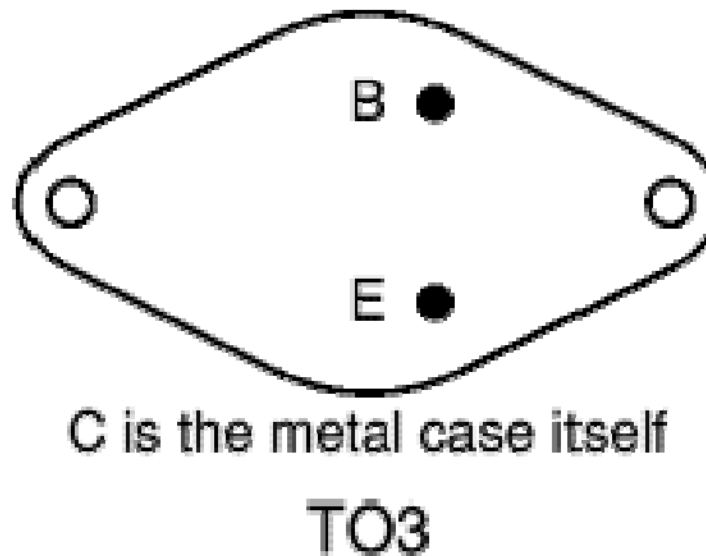
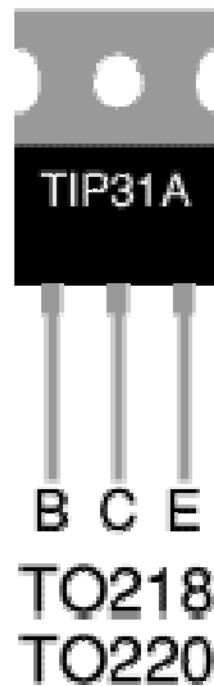


Figura 2.17– Tipos de encapsulamentos.

Montagem do TBJ no encapsulamento TO-92

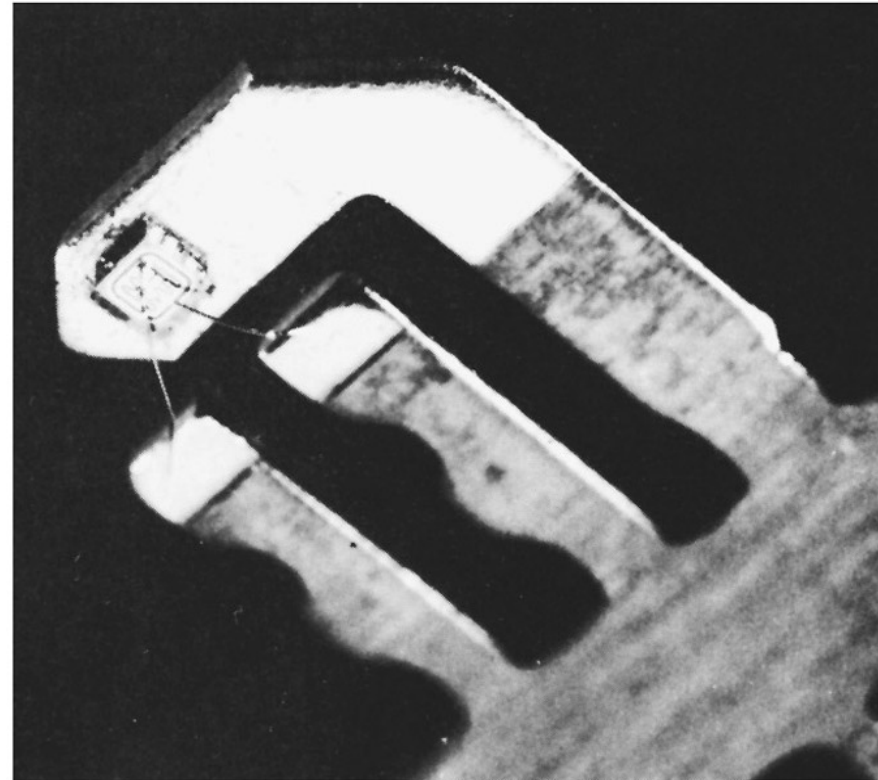
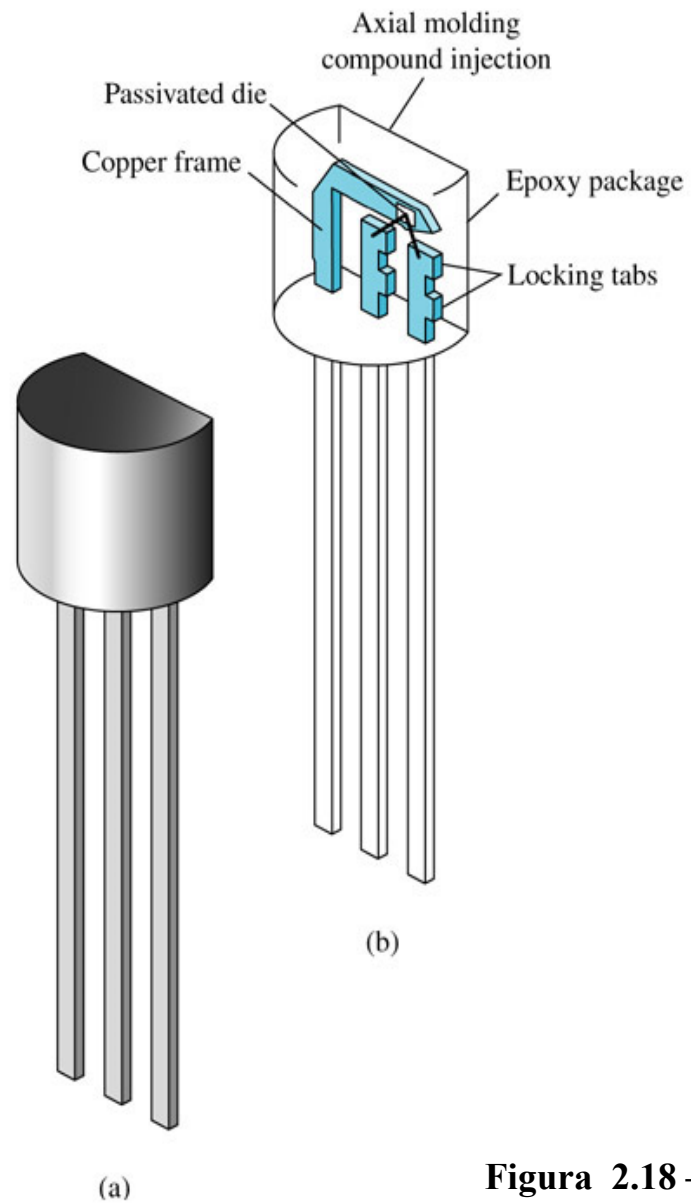


Figura 2.18 – Detalhe montagem TBJ.

Encapsulamento em DIP 14

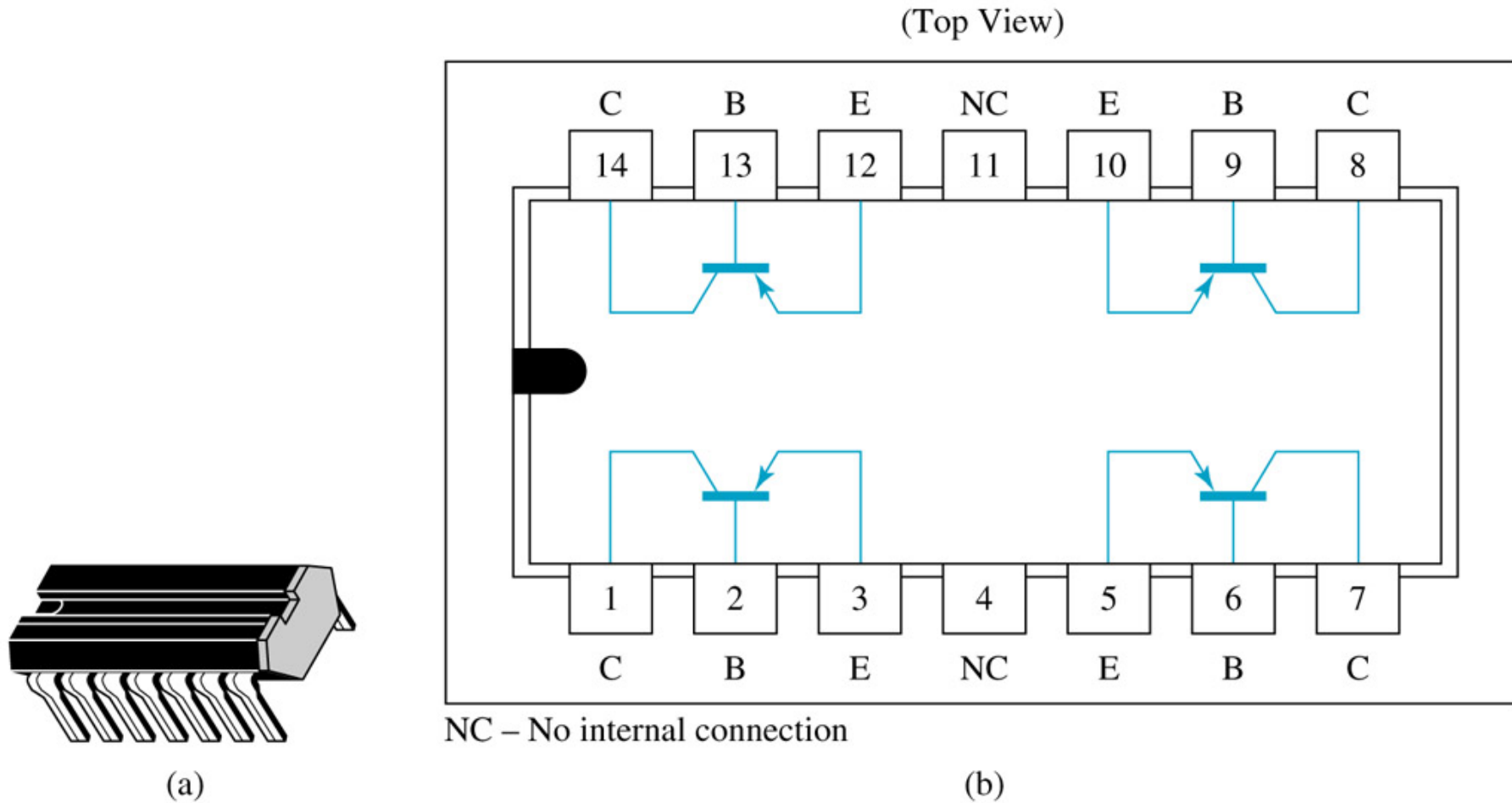


Figura 2.19 – Tipo de encapsulamento em CI de múltiplos transistores.

Bibliografia

SEDRA - Pgs. 207 a 215

BOYLESTAD - Pgs. 95 a 114

MALVINO - Pags. 188 a 202

O Primeiro Transistor

VIDE Arquivo PDF – BJT_History .pdf

Fonte : (google) BJT History

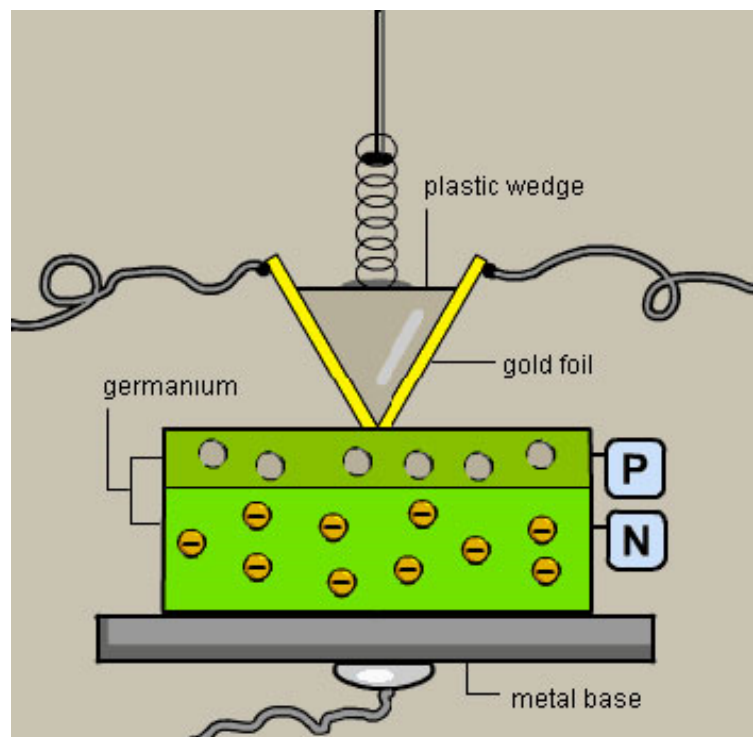
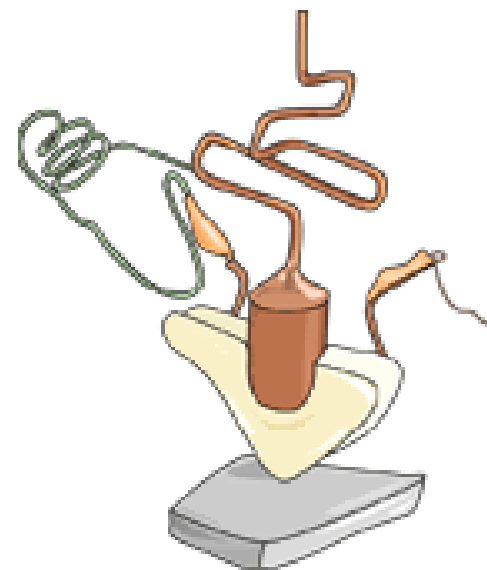
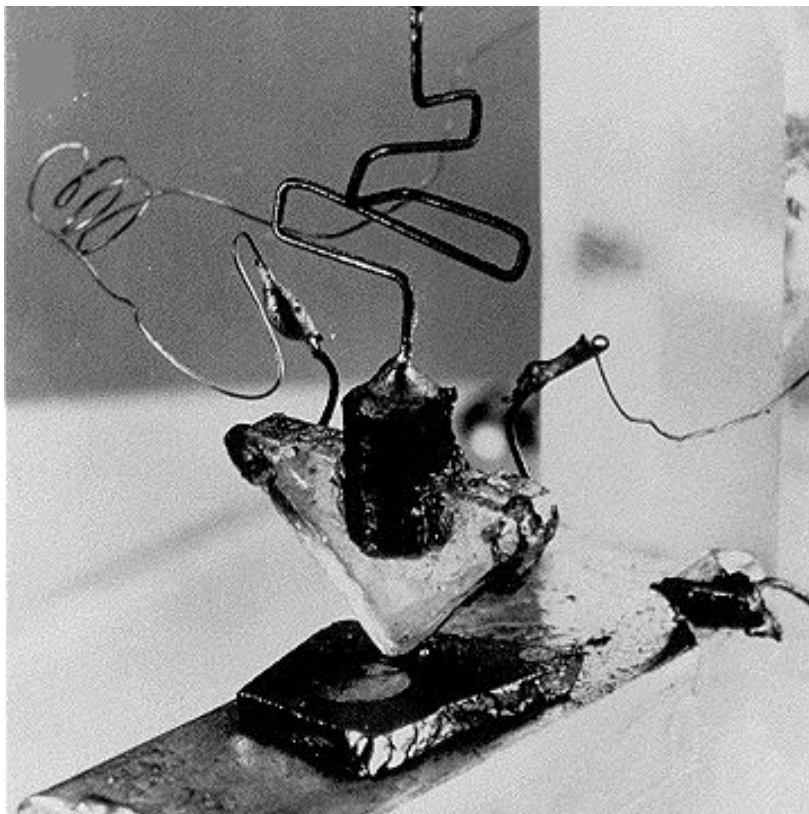


Figura 2.20 – Foto, Esboço e Diagrama do primeiro Transistor (de contato).

Algumas animações de BJT

http://www.learnabout-electronics.org/bipolar_junction_transistors_05.php

http://images.google.com.br/imgres?imgurl=http://pics.computerbase.de/lexikon/188807/Transistor_animation.gif&imgrefurl=http://www.computerbase.de/lexikon/Bipolartransistor&usg=__cHNU-xXviPOVkJPEDrRiTbthyerE=&h=480&w=640&sz=25&hl=pt-BR&start=3&um=1&itbs=1&tbnid=FI5wXSfKk8nR0M:&tbnh=103&tbnw=137&prev=/images%3Fq%3Dtransistor%2Banimation%26um%3D1%26hl%3Dpt-BR%26tbs%3Disch:1