

## **Eletrónica**

**Curso Técnico Superior Profissional de Sistemas Eletrónicos e Computadores**

### Trabalho de Laboratório nº 3: Curvas características do transístor de junção bipolar (NPN)



Nome: André Antunes    Número: 190204003  
Nome: Diogo Silva      Número: 190204007  
Nome: João Quintiliano   Número: 190204013  
Docente: Vítor Antunes e Raul Correia  
Turma: SEC

Ano Letivo 2019-2020

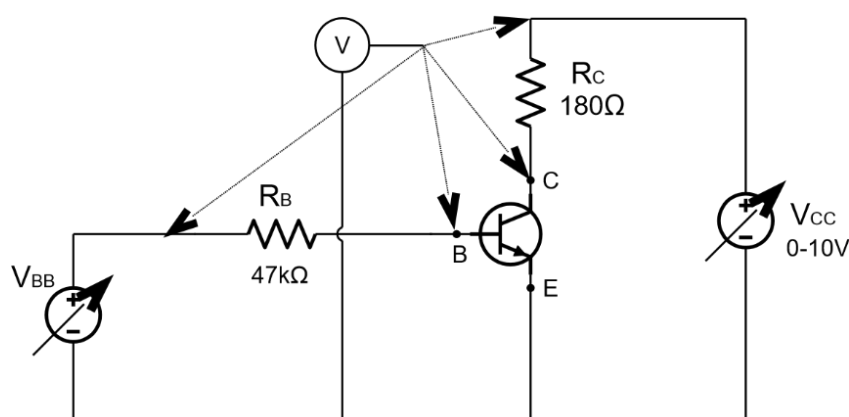
## Índice

<b>I INTRODUÇÃO</b>	2
<b>II CORPO DO RELATÓRIO</b>	3
Tabela 1	9
Tabela 2	10
Tabela 3	10
Tabela 4	11
Tabela 5	11
<b>III CONCLUSÕES</b>	12
<b>IV BIBLIOGRAFIA</b>	12
<b>V ANEXOS</b>	13

## I INTRODUÇÃO

São vários os objetivos para o presente trabalho, especialmente, provar, traçando as curvas de modo que  $I_C = f(V_{CE})$  e  $I_B = f(V_{BE})$  de um transistor de junção bipolar (NPN), a partir das medidas efetuadas, calcular o ganho de corrente ( $\beta_F$ ), obter um valor aproximado da tensão de Early a partir das curvas traçadas e identificar as regiões de funcionamento do transistor. As curvas características obter-se-ão a partir de pares de valores dos quais são  $V_{CE}$  e  $I_C$ , para diferentes valores de  $I_B$ , e ( $V_{BE}$ ,  $I_B$ ) para um dado valor de  $V_{CE}$ , utilizando-se a montagem em emissor comum representada na figura 1.

### ESQUEMA



## II CORPO DO RELATÓRIO

### II - A tensão de Early foi descoberta por James M. Early

O Efeito de Early é a descrição um fenómeno que acontece nos transístores de junção bipolar (BJT).

O  $\beta_f$  é a relação entre  $I_C$  e  $I_B$ . Uma forma do  $\beta_f$  ser maior é aumentar a tensão  $V_{CE}$ , ou seja, aumentar a tensão no Coletor, mas, ao aumentar a tensão no Coletor existirá uma menor perda para a Base, acabando por complicar os cálculos.

Com o aumento da polarização inversa aumenta também a região do Coletor onde não há cargas, ou seja, significa que com uma base mais estreita, há menos cargas a perderem-se, comprova-se assim, que  $\beta_f$  aumenta.

Na família dos Transístores MOSFETs também se aplica o efeito de Early.

A figura abaixo ilustra a curva característica do efeito de Early.

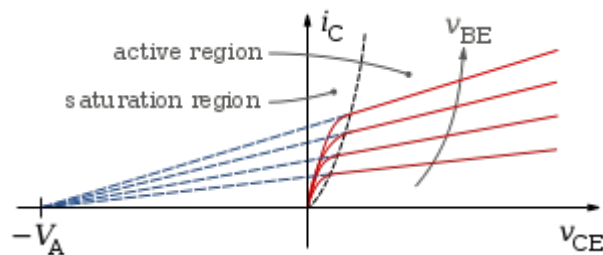


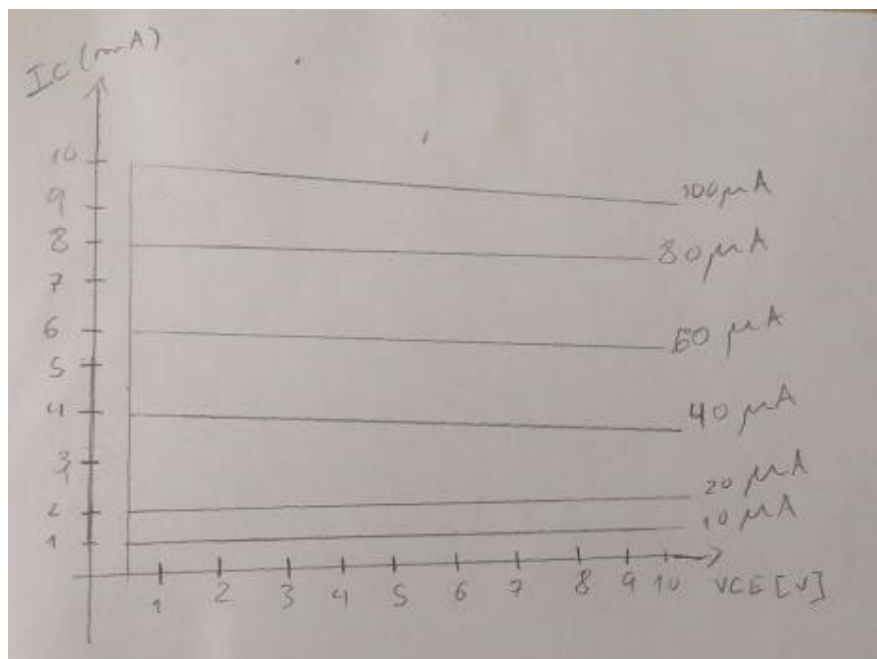
Figura 1- Curva característica do efeito de Early

### II - Resultados obtidos por via analítica

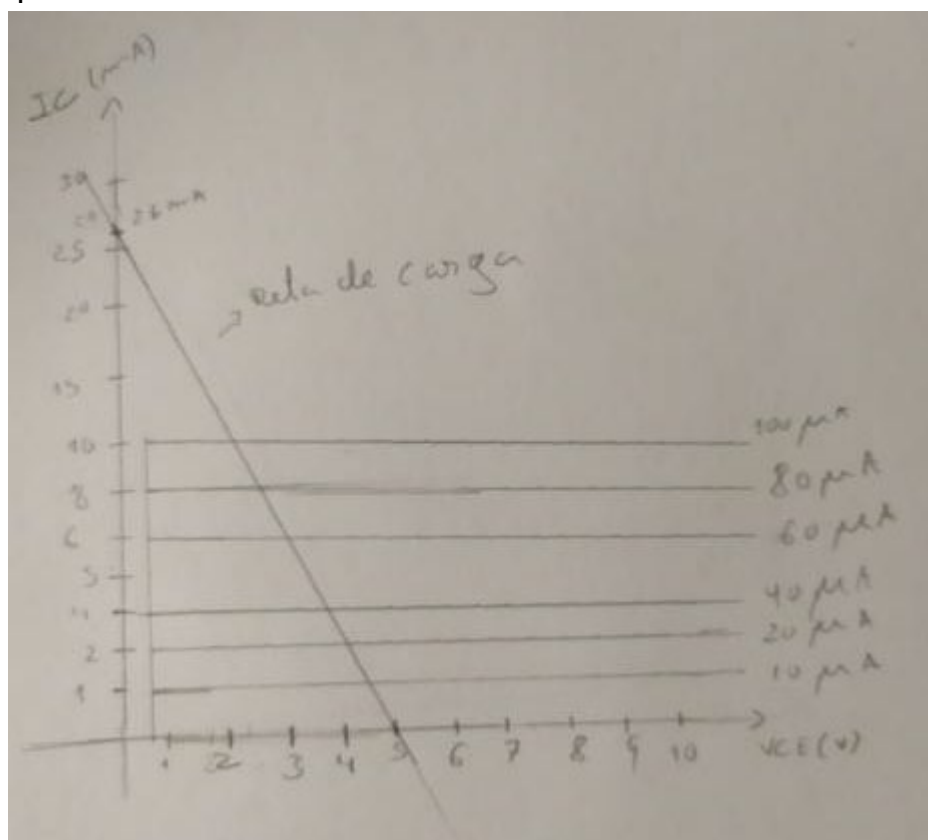
1- Após a análise feita as características do transistor estimamos que o valor de  $V_{BEon}$  será de 0.6V, no caso de  $V_{CEsat}$  o valor vai variar entre 0.3 e 1V esta variação vai depender de  $I_B$ , finalmente para o  $\beta_f$  o valor entre 30 e 325 isto deve-se a variação de valor da corrente  $I_C$ .

2- Ver tabela 1.

3-

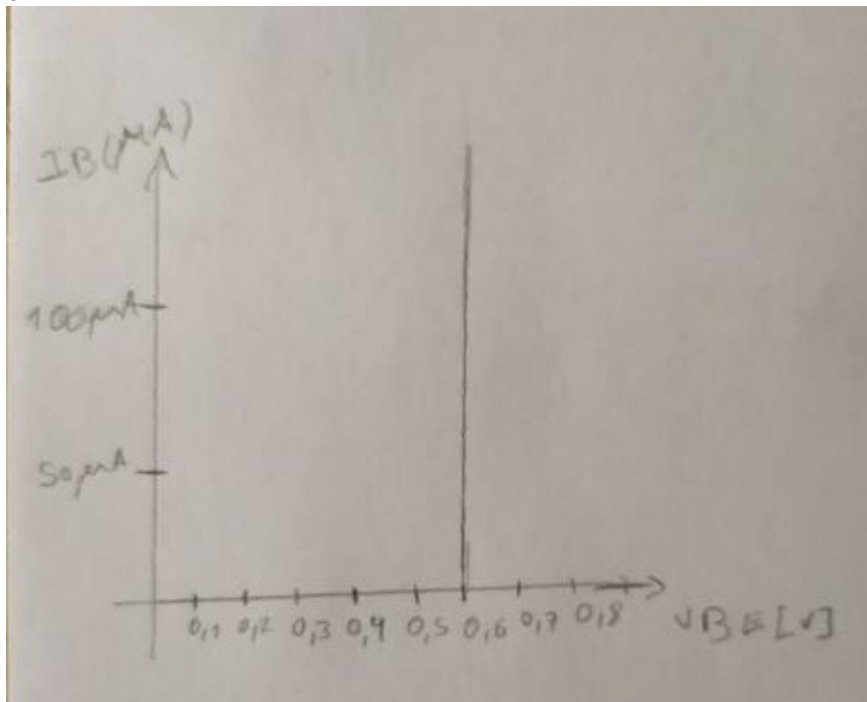


4-

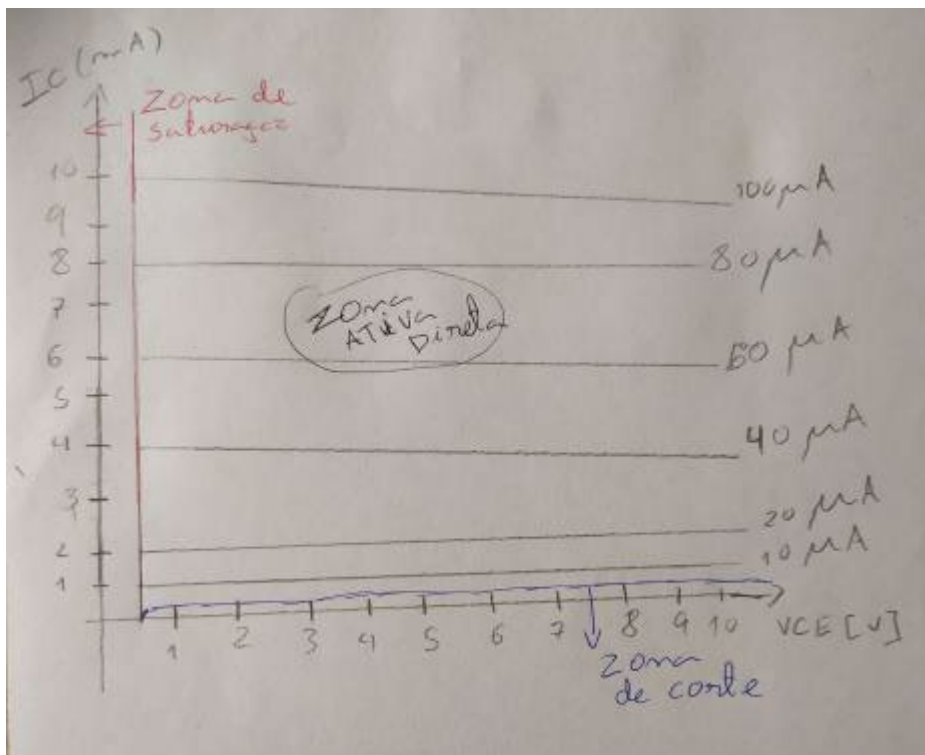


5- Os cálculos realizados encontram-se na Tabela 2.

6-



7-



Preto – zona ativa direta

Vermelho – zona de saturação

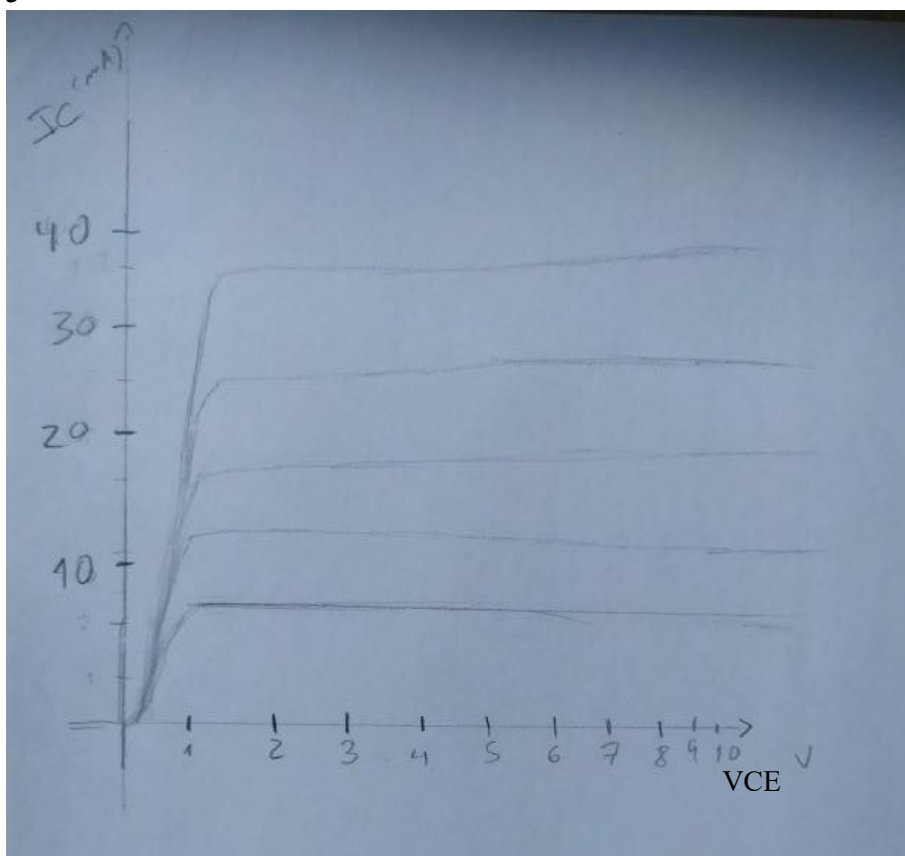
Azul – zona de corte

#### IV – Resultados obtidos por simulação

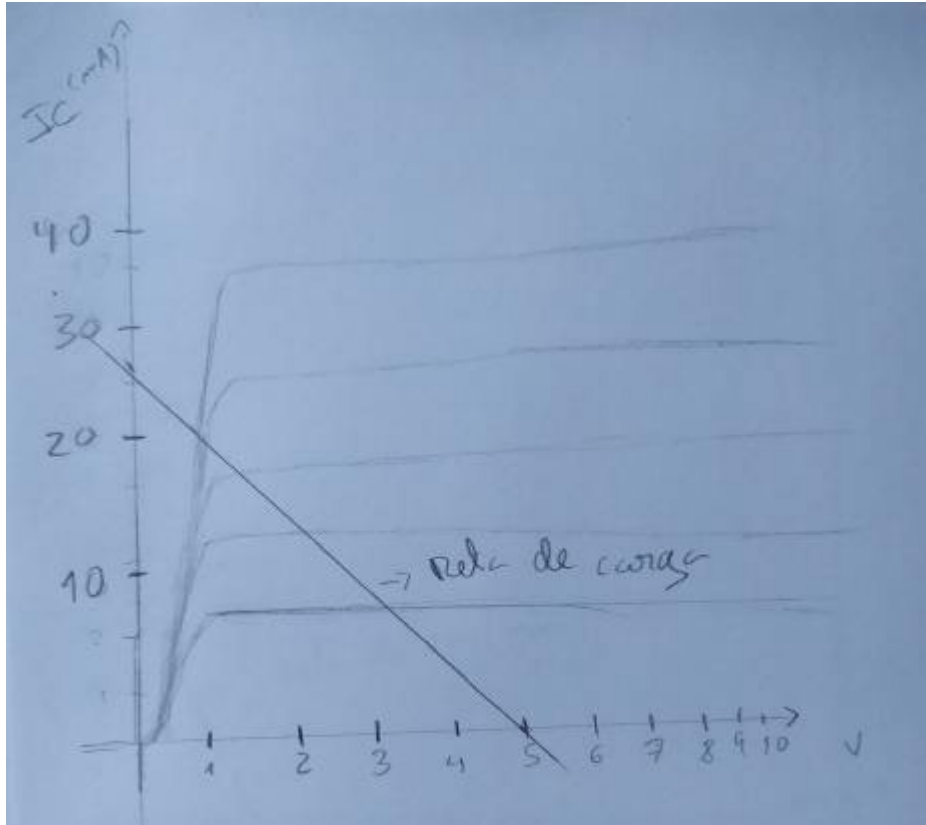
1- Resposta a esta questão encontra-se na tabela 3.

2- Resposta a esta questão encontra-se na tabela 4.

3-



4-



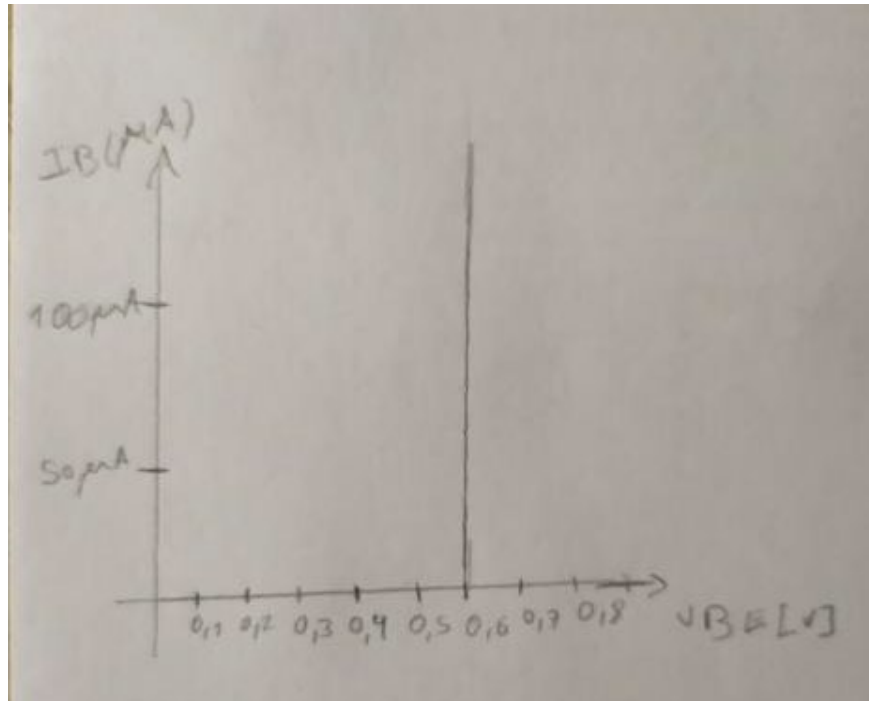
5- Ao observar o gráfico conseguimos perceber que á medida que o VCE aumenta que o nosso IC vai aumentar também. Uma vez que sabemos que para calcular o  $\beta_f$  usamos a fórmula  $\beta_f = I_C / I_B$  percebemos que quando o IC aumenta o ganho vai diminuir. Comprovamos isto a partir dos resultados da tabela 4.

Como já foi falado anteriormente sabemos que a tensão de Early é o prolongamento da reta para a parte negativa de VCE intersetando eventualmente num ponto do eixo VCE, pois temos então que  $V_{CE} = -V_A$ , sendo  $V_A$  o valor da tensão de Early.

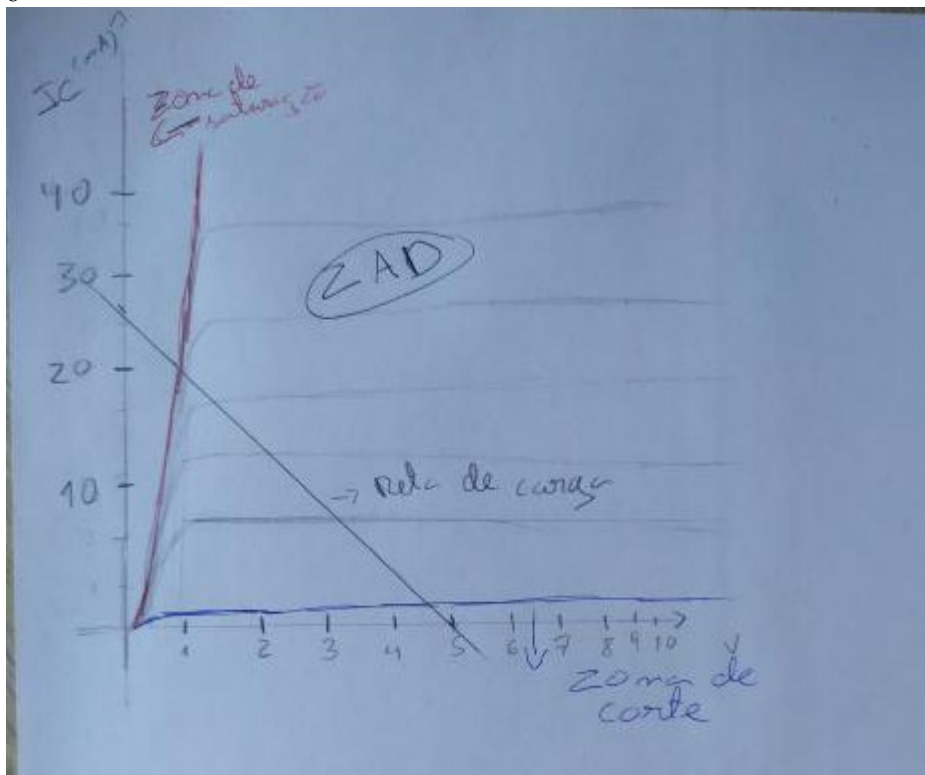
Ao verificar o valor mais alto da tensão VCE á tabela 3,  $V_{CE} = 9.82V$ , concluímos que o valor da tensão de Early será aproximadamente 9.82V.

6- Resposta a esta questão encontra-se na tabela 5.

7-



8-



9- Os resultados obtidos por via analítica comparados com os resultados obtidos através da simulação são bastante semelhantes. Contudo na tabela 1 e na tabela 3 vemos que há uma discrepância nos valores de VCE sendo que na tabela 1 temos valores de VCE negativos. Considerámos que neste caso não foi ignorada o efeito de Early sendo que esses valores negativos, em análise teórica, serão um resultado da consideração do efeito de Early.



## FOLHA DE REGISTOS

Tabela 1

	$V_{BB} (V)$	1.07	1.54	2.48	3.42	4.36	5.3
	$I_B (\mu A)$	10	20	40	60	80	100
	$I_C (mA)$	1	2	4	6	8	10
$V_{CC}(V)$							
0,5	$V_{CE} (V)$	0.32	0.14	-0.22	-0.58	-0.94	-1.3
	$V_{BE} (V)$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
1	$V_{CE} (V)$	0.82	0.64	0.28	-0.08	-0.44	-0.8
	$V_{BE} (V)$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2	$V_{CE} (V)$	1.82	1.64	1.28	0.92	0.56	0.2
	$V_{BE} (V)$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
4	$V_{CE} (V)$	3.82	3.64	3.28	2.92	2.56	2.2
	$V_{BE} (V)$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
6	$V_{CE} (V)$	5.82	5.64	5.28	4.92	4.56	4.2
	$V_{BE} (V)$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
10	$V_{CE} (V)$	9.82	9.64	9.28	8.92	8.56	8.2
	$V_{BE} (V)$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Tabela 2

$V_{CE}$	2V	2V	2V	2V	2V	2V
$I_B(\mu A)$	10	20	40	60	80	100
$V_{CC}(V)$	2.18	2.36	2.72	3.08	3.44	3.8
$V_{BE}(V)$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6

Tabela 3

	$V_{BB}(V)$	1.25	1.73	2.7	3.62	4.6	5.5
	$I_B(\mu A)$	10	20	40	60	80	100
$V_{CC}(V)$							
0,5	$V_{CE}(V)$	0.317	0.17	0.122	0.1	0.096	0.089
	$V_{BE}(V)$	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
1	$V_{CE}(V)$	0.817	0.64	0.28	0.15	0.13	0.119
	$V_{BE}(V)$	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
2	$V_{CE}(V)$	1.818	1.64	1.28	0.9	0.55	0.23
	$V_{BE}(V)$	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
4	$V_{CE}(V)$	3.818	3.64	3.28	2.9	2.55	2.21
	$V_{BE}(V)$	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
6	$V_{CE}(V)$	5.818	5.64	5.28	4.92	4.55	4.21
	$V_{BE}(V)$	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
10	$V_{CE}(V)$	9.82	9.64	9.28	8.92	8.55	8.21
	$V_{BE}(V)$	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8

Tabela 4

	$I_B(\mu A)$	10	20	40	60	80	100
$V_{CC}(V)$							
0,5	$I_C (mA)$	1.01	1.83	2.1	2.2	2.24	2.28
	$\beta_F$	101	91.5	52.5	36.7	28	22.8
1	$I_C (mA)$	1	2	4	4.7	4.8	4.89
	$\beta_F$	100	100	100	78.3	60	48.9
2	$I_C (mA)$	1	2	4	6.1	8	9.8
	$\beta_F$	100	100	100	101	0.1	98
4	$I_C (mA)$	1	2	4	6.1	8	9.9
	$\beta_F$	100	100	100	101.6	100	99
6	$I_C (mA)$	1	2	4	6	8	9.9
	$\beta_F$	100	100	100	100	100	99
10	$I_C (mA)$	1	2	4	6	8	9.9
	$\beta_F$	100	100	100	100	100	99

Tabela 5

$V_{CE}$	2V	2V	2V	2V	2V	2V
$I_B(\mu A)$	10	20	40	60	80	100
$V_{CC}(V)$	2.2	2.4	2.8	3.1	3.5	3.9
$V_{BE}(V)$	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8

### III CONCLUSÕES

Com este trabalho aprendemos que o Transístor pode-se encontrar em 3 zonas de operação, que são elas, Zona de Corte, Zona de Saturação e Zona Linear, também calculamos o Ganho de Corrente, aprendemos o que é o Efeito de Early e as suas curvas característica bem como os seus cálculos.

### IV BIBLIOGRAFIA

[https://en.wikipedia.org/wiki/Early\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Early_effect)

[https://pt.qwe.wiki/wiki/Early\\_effect](https://pt.qwe.wiki/wiki/Early_effect)

## V ANEXOS

Valores e tabelas retirados do DataSheet fornecido pelo Professor Doutor para os compatíveis com os seguintes modelos de Transistor Bipolar NPN (2N2221A, 2N2222A JAN, 2N2221AL, 2N2222AL JANTX, 2N2221AUA, 2N2222AUA JANTXV, 2N2221AUB, 2N2222AUB JANS, 2N2221AUBC e 2N2222AUBC).

É necessário para a questão III.1

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_C = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Parameters / Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	50	Vdc
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	75	Vdc
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	6.0	Vdc
Collector Current	$I_C$	800	mAdc
Total Power Dissipation @ $T_A = +25^\circ\text{C}$	$P_T$	0.5	W
Operating & Storage Junction Temperature Range	$T_{op}, T_{stg}$	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

### THERMAL CHARACTERISTICS

Parameters / Test Conditions	Symbol	Max.	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$		$^\circ\text{C/W}$
2N2221A, L                      2N2222A, L		325	
2N2221AUA                      2N2222AUA		210	
2N2221AUB, UBC                      2N2222AUB, UBC		325	

**Note:** Consult 19500/255 for thermal performance curves.

1. Derate linearly 3.08mW/ $^\circ\text{C}$  above  $T_A > +37.5^\circ\text{C}$
2. Derate linearly 4.76mW/ $^\circ\text{C}$  above  $T_A > +63.5^\circ\text{C}$

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

Parameters / Test Conditions	Symbol	Min.	Max.	Unit
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>				
Collector-Emitter Breakdown Voltage $I_C = 10\text{mAdc}$	$V_{(BR)CEO}$	50		Vdc
Collector-Base Cutoff Current $V_{CB} = 75\text{Vdc}$ $V_{CB} = 60\text{Vdc}$	$I_{CBO}$		10 10	$\mu\text{Adc}$ $\eta\text{Adc}$
Emitter-Base Cutoff Current $V_{EB} = 6.0\text{Vdc}$ $V_{EB} = 4.0\text{Vdc}$	$I_{EBO}$		10 10	$\mu\text{Adc}$ $\eta\text{Adc}$
Collector-Emitter Cutoff Current $V_{CE} = 50\text{Vdc}$	$I_{CES}$		50	$\eta\text{Adc}$

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

Parameters / Test Conditions	Symbol	Min.	Max.	Unit
<b>ON CHARACTERISTICS <sup>(2)</sup></b>				
Forward-Current Transfer Ratio $I_C = 0.1\text{mA}$ , $V_{CE} = 10\text{Vdc}$ 2N2221A, L, UA, UB, UBC 2N2222A, L, UA, UB, UBC	$h_{FE}$	30 50		
$I_C = 1.0\text{mA}$ , $V_{CE} = 10\text{Vdc}$ 2N2221A, L, UA, UB, UBC 2N2222A, L, UA, UB, UBC		35 75	150 325	
$I_C = 10\text{mA}$ , $V_{CE} = 10\text{Vdc}$ 2N2221A, L, UA, UB, UBC 2N2222A, L, UA, UB, UBC		40 100		
$I_C = 150\text{mA}$ , $V_{CE} = 10\text{Vdc}$ 2N2221A, L, UA, UB, UBC 2N2222A, L, UA, UB, UBC		40 100	120 300	
$I_C = 500\text{mA}$ , $V_{CE} = 10\text{Vdc}$ 2N2221A, L, UA, UB, UBC 2N2222A, L, UA, UB, UBC		20 30		
Collector-Emitter Saturation Voltage $I_C = 150\text{mA}$ , $I_B = 15\text{mA}$ $I_C = 500\text{mA}$ , $I_B = 50\text{mA}$	$V_{CE(sat)}$		0.3 1.0	Vdc
Base-Emitter Voltage $I_C = 150\text{mA}$ , $I_B = 15\text{mA}$ $I_C = 500\text{mA}$ , $I_B = 50\text{mA}$	$V_{BE(sat)}$	0.6	1.2 2.0	Vdc

**DYNAMIC CHARACTERISTICS**

Parameters / Test Conditions	Symbol	Min.	Max.	Unit
Small-Signal Short-Circuit Forward Current Transfer Ratio $I_C = 1.0\text{mA}$ , $V_{CE} = 10\text{Vdc}$ , $f = 1.0\text{kHz}$ 2N2221A, L, UA, UB, UBC 2N2222A, L, UA, UB, UBC	$h_{fe}$	30 50		
Magnitude of Small-Signal Short-Circuit Forward Current Transfer Ratio $I_C = 20\text{mA}$ , $V_{CE} = 20\text{Vdc}$ , $f = 100\text{MHz}$	$ h_{fe} $	2.5		
Output Capacitance $V_{CB} = 10\text{Vdc}$ , $I_E = 0$ , $100\text{kHz} \leq f \leq 1.0\text{MHz}$	$C_{obo}$		8.0	pF
Input Capacitance $V_{EB} = 0.5\text{Vdc}$ , $I_C = 0$ , $100\text{kHz} \leq f \leq 1.0\text{MHz}$	$C_{ibo}$		25	pF

**SWITCHING CHARACTERISTICS**

Parameters / Test Conditions	Symbol	Min.	Max.	Unit
Turn-On Time See figure 8 of MIL-PRF-19500/255	$t_{on}$		35	ns
Turn-Off Time See Figure 9 of MIL-PRF-19500/255	$t_{off}$		300	ns

(2) Pulse Test: Pulse Width = 300 $\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .