

### Exercício 3

No circuito abaixo  $R_{B1a} = 120\text{k}\Omega$ ,  $R_{B1b} = 560\text{k}\Omega$ ,  $R_C = 56\text{k}\Omega$  e  $R_E = 12\text{k}\Omega$ . Determine:

- O ganho de tensão, a resistência de entrada e a resistência de saída do amplificador em vazio.
- As frequências de corte, nas baixas e nas altas, para  $R_{ger} = 52\text{ k}\Omega$  e  $R_L = 43\text{ k}\Omega$ .

O transistor  $QnB$  pode apresentar o seguinte espalhamento de parâmetros @  $25\text{ }^\circ\text{C}$ :  
 $180 \leq \beta \leq 525$ ;  $0,57\text{ V} \leq V_{BE} \leq 0,59\text{ V}$  e  $33\text{ V} \leq V_{AF} \leq 110\text{ V}$ .

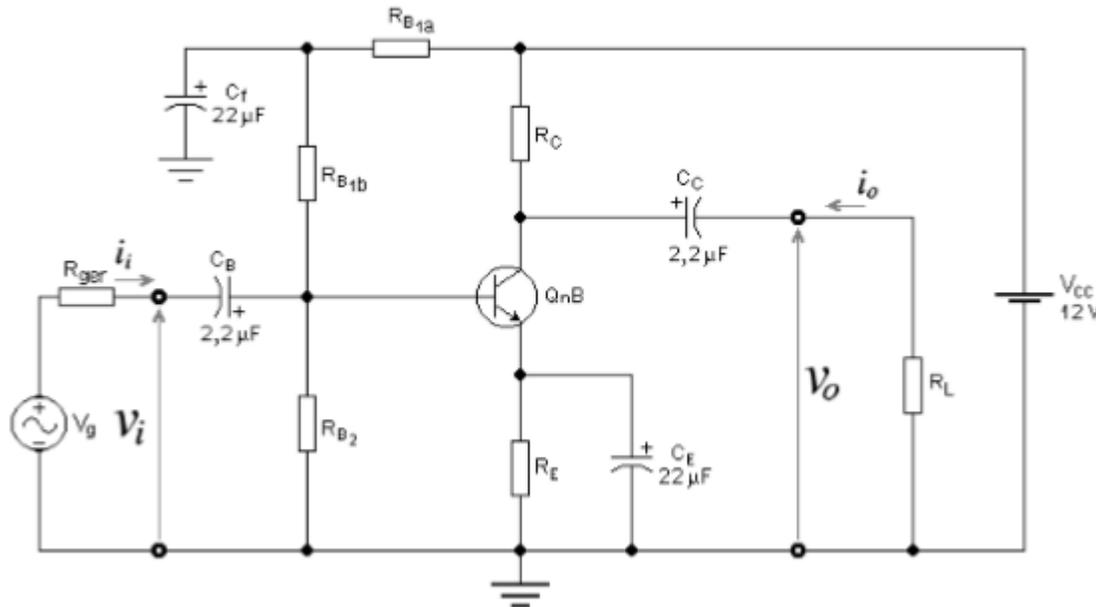


Fig. 1- Amplificador Emissor Comum

# Análise DC

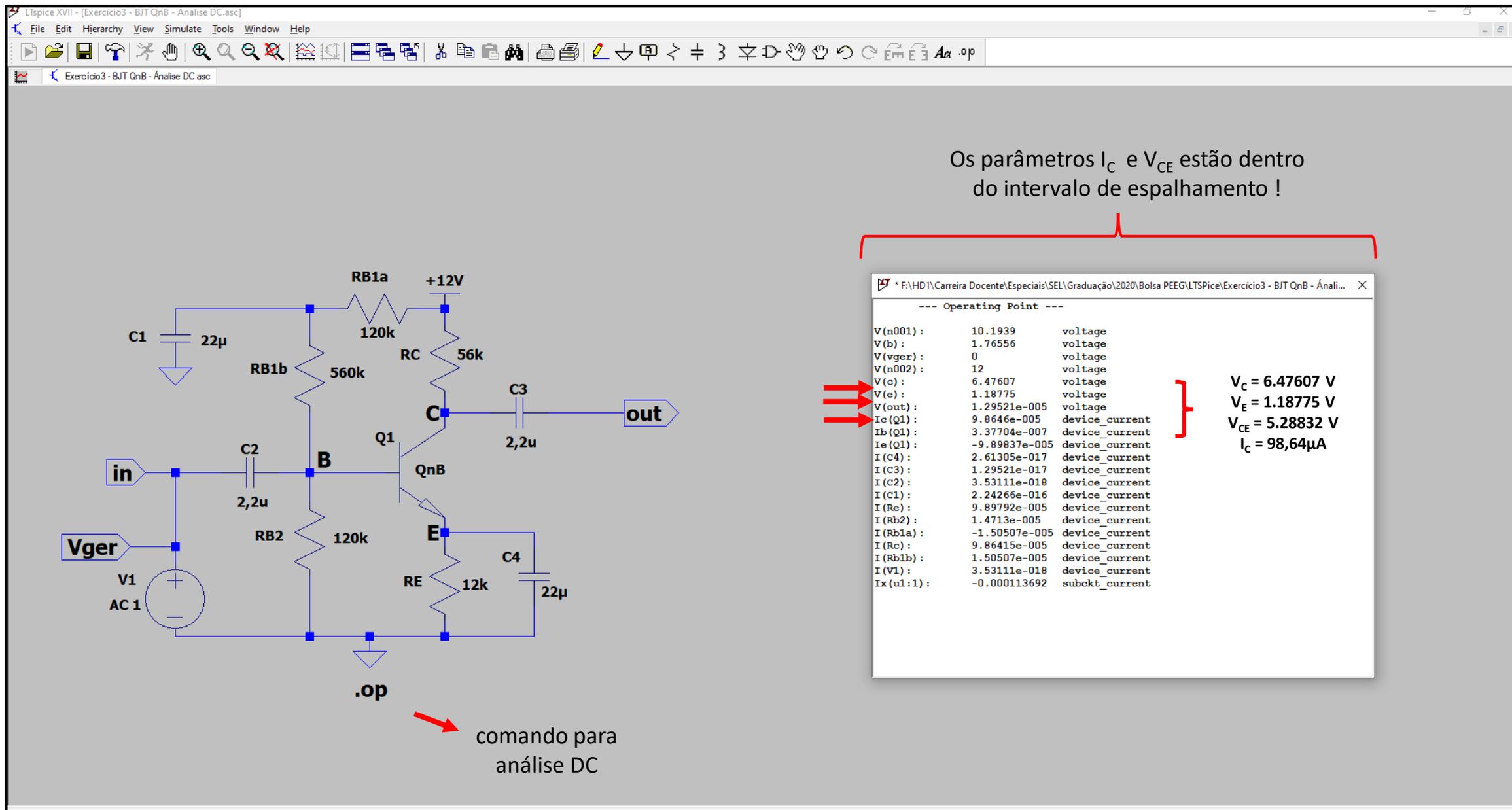
■ No exercício é realizado o espalhamento teórico, obtendo-se:

$$95,78\mu\text{A} \leq I_C \leq 100,68\mu\text{A}$$
$$5,15\text{V} \leq V_{CE} \leq 5,48\text{V}$$

Constata-se que mesmo para uma variação de  $\beta$  da ordem de 200%, o ponto quiescente permanece bem estável, permitindo, para  $I_{CQ}$ , uma variação total da ordem de 5%, que está dentro da tolerância de valores dos resistores comerciais comuns.

# Análise DC

$$95,78\mu\text{A} \leq I_C \leq 100,68\mu\text{A}$$
$$5,15\text{V} \leq V_{CE} \leq 5,48\text{V}$$



**Análise DC**  
**Comparação de Resultados Teóricos e de Simulação**  
**(Amplificador Emissor Comum)**

<b><math>I_c</math> - Teórico</b>	<b><math>V_{CE}</math> - Teórico</b>
$95,78\mu A \leq I_c \leq 100,68\mu A$	$5,15V \leq V_{CE} \leq 5.48V$
<b><math>I_c</math> - Simulação</b>	<b><math>V_{CE}</math> - Simulação</b>
98.64 $\mu A$	5.29V

# Análise AC

## Parâmetros Incrementais

$$g_m = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} = \frac{I_{CQ}}{N_F V_t} = \frac{98,244\mu}{1,0022 \times 25,69260747m} = 3,81543 \text{ [mA/V]}$$

$$r_{\pi} = \frac{\beta_{AC}}{g_m} = \frac{291,957}{3,81543m} = 76,52 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$r_o = \frac{V_{AF} + V_{CEQ} - V_{BEQ}}{I_{CQ}} \text{ [\Omega]} = \frac{66,4 + 5,3154 - 0,58271}{98,244\mu} = 724,04 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

## Cálculo de $A_v$ , $R_i$ , $R_o$

Como o resistor  $R_E$  está totalmente desacoplado pelo capacitor  $C_E$ , então  $R_{E(AC)} = 0$ . As grandezas auxiliares usadas nos cálculos, com  $R_L \rightarrow \infty$  são:

$$R_L^* = \frac{R_C \times r_o}{R_C + r_o} = \frac{56k \times 724,04k}{56k + 724,04k} = 51,98 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$R_{BAC} = \frac{R_{b1b} \times R_{b2}}{R_{b1b} + R_{b2}} = \frac{560k \times 120k}{560k + 120k} = 98,82 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$A_v = -g_m \times R_L^* = -3,81543 \times 51,98 = -198,325 \quad [\text{V/V}] \Rightarrow (45,95 \text{ dB})$$

$$R_i = \frac{r_\pi \times R_{BAC}}{r_\pi + R_{BAC}} = \frac{76,52k \times 98,82k}{76,52k + 98,82k} = 43,127 \quad [\text{k}\Omega]$$

$$R_o = \frac{R_C \times r_o}{R_C + r_o} = \frac{56k \times 724,04k}{56k + 724,04k} = 51,98 \quad [\text{k}\Omega]$$

### Cálculo das Frequência de Corte ( $f_{CA}$ )

Como  $R_{ger} = 52 \text{ k}\Omega$  e  $R_L = 43 \text{ k}\Omega$ , devem ser calculadas as seguintes grandezas auxiliares, usadas no cálculo de  $f_{CA}$ :

$$R_S = \frac{R_{ger} \times R_{BAC}}{R_{ger} + R_{BAC}} = \frac{52k \times 98,82k}{52k + 98,82k} = 34,072 \quad [\text{k}\Omega]$$

$$R_C^* = \frac{R_C \times R_L}{R_C + R_L} = \frac{56k \times 43k}{56k + 43k} = 24,32 \quad [\text{k}\Omega]$$

$$R_L^* = \frac{R_C^* \times r_o}{R_C^* + r_o} = \frac{24,32k \times 724,04k}{24,32k + 724,04k} = 23,53 \quad [\text{k}\Omega]$$

Os capacitores  $C_\pi$  e  $C_\mu$  foram calculados anteriormente:  $C_\pi = 30,97 \text{ pF}$  e  $C_\mu = 3,133 \text{ pF}$

Para  $EC$ , com  $R_{E(AC)} = 0$ , a frequência de corte nas altas é dada por :

$$f_{CA} = \frac{\frac{R_S + r_\pi}{R_S \times r_\pi}}{2\pi \left\{ C_\pi + C_\mu \times \left[ 1 + \left( \frac{1}{r_\pi} + \frac{1}{R_S} + g_m \right) \times R_L^* \right] \right\}} \quad [\text{Hz}] = \frac{\frac{34,072k + 76,52k}{34,072k \times 76,52k}}{2\pi \left\{ 30,97 \text{ p} + 3,133 \text{ p} \times \left[ 1 + \left( \frac{1}{76,52k} + \frac{1}{34,072k} + 3,81543 \text{ m} \right) \times 23,53k \right] \right\}}$$

$$f_{CA} = 21,194 \text{ kHz}$$

### Cálculo da Frequência de Corte Baixa ( $f_{CB}$ )

■ Pólo de Base:

$$P_B = \frac{1}{2\pi C_B (R_i + R_{ger})} = \frac{1}{2\pi \times 2,2\mu \times (43,127k + 52k)} = 0,76 \quad [\text{Hz}]$$

■ Pólo de Coletor:

$$p_C = \frac{1}{2\pi C_C (R_o + R_L)} = \frac{1}{2\pi \times 2,2\mu \times (51,98k + 43k)} = 0,76 \text{ [Hz]}$$

■ Pólo de Emissor:

$$p_E = \frac{1}{2\pi C_E R_E} \times \frac{r_\pi' (R_E + r_o + R_C^*) + R_E [R_C^* + r_o (1 + g_m r_\pi)]}{r_\pi' (r_o + R_C^*)}$$

$$r_\pi' = R_S + r_\pi = 34,072k + 76,52k = 110,592 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

$$p_E = \frac{1}{2\pi 22\mu \times 12k} \times \frac{110,592k \times (12k + 724,04k + 24,32k) + 12k \times [24,32k + 724,04k \times 292,957]}{110,592k \times (724,04k + 24,32k)} = 19,155 \text{ [Hz]}$$

$$z_E = \text{IFTE}(C_E \neq 0, \frac{1}{2\pi C_E (R_{E2} + R_{E3})}, 0) \text{ [Hz]} \quad \longrightarrow \quad z_E = 0$$

■ A frequência de corte nas Baixas ( $p / C_E \neq 0$ ) é dada por:

$$f_{CB} \approx \sqrt{p_B^2 + p_C^2 + p_E^2 - 2z_E^2} \text{ [Hz]}$$

Como  $p_E \gg p_B$  e  $p_E \gg p_C$ , a influência de  $p_B$  e de  $p_C$  sobre  $p_E$  é muito pequena e, portanto, pode-se afirmar que  $f_{CB} \approx p_E$ :

$$f_{CB} \cong 19,155 \text{ Hz}$$

### Cálculo de $A_v$ com $R_L = 43 \text{ k}\Omega$

- Com a adição  $R_L = 43 \text{ k}\Omega$ , o ganho do amplificador  $A_v = -198,325 \text{ V/V}$  em relação  $v_i$  diminui para:

$$A_{\theta} = \frac{[R_{E(AC)} - g_m r_{\pi} r_o] R_C^*}{[R_{E(AC)} + r_o + R_C^*] r_{\pi} + [R_C^* + (1 + g_m r_{\pi}) r_o] R_{E(AC)}} = -89,89 \text{ V/V} = 45,95 \text{ dB}$$

### Cálculo de $A_{vg}$ com $R_{ger} = 52 \text{ k}\Omega$ e $R_L = 43 \text{ k}\Omega$

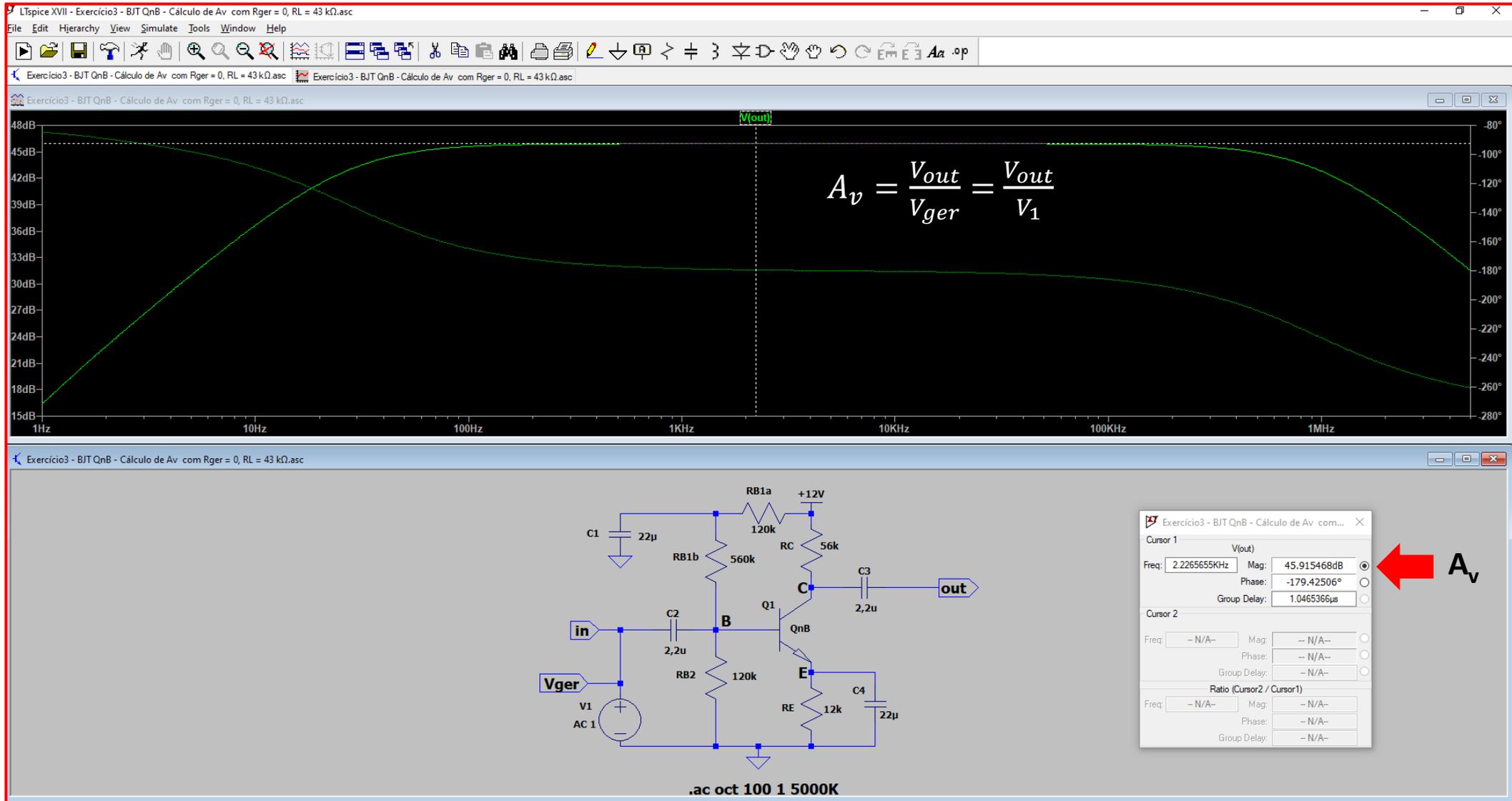
- $A_v = -89,89 \text{ V/V}$   $\rightarrow$   $A_{\theta g} = \frac{R_i}{R_{ger} + R_i} \times A_{\theta} = -40,71 \text{ V/V} = 32,19 \text{ dB}$

# **Simulação em LTSpice**

# Cálculo de $A_v$ ( $R_{ger} = 0$ e $R_L = \infty$ )

Valor Teórico  $\rightarrow$

$$A_v = -g_m \times R_L^* = -3,81543 \times 51,98 = -198,325 \text{ [V/V]} \Rightarrow (45,95 \text{ dB})$$

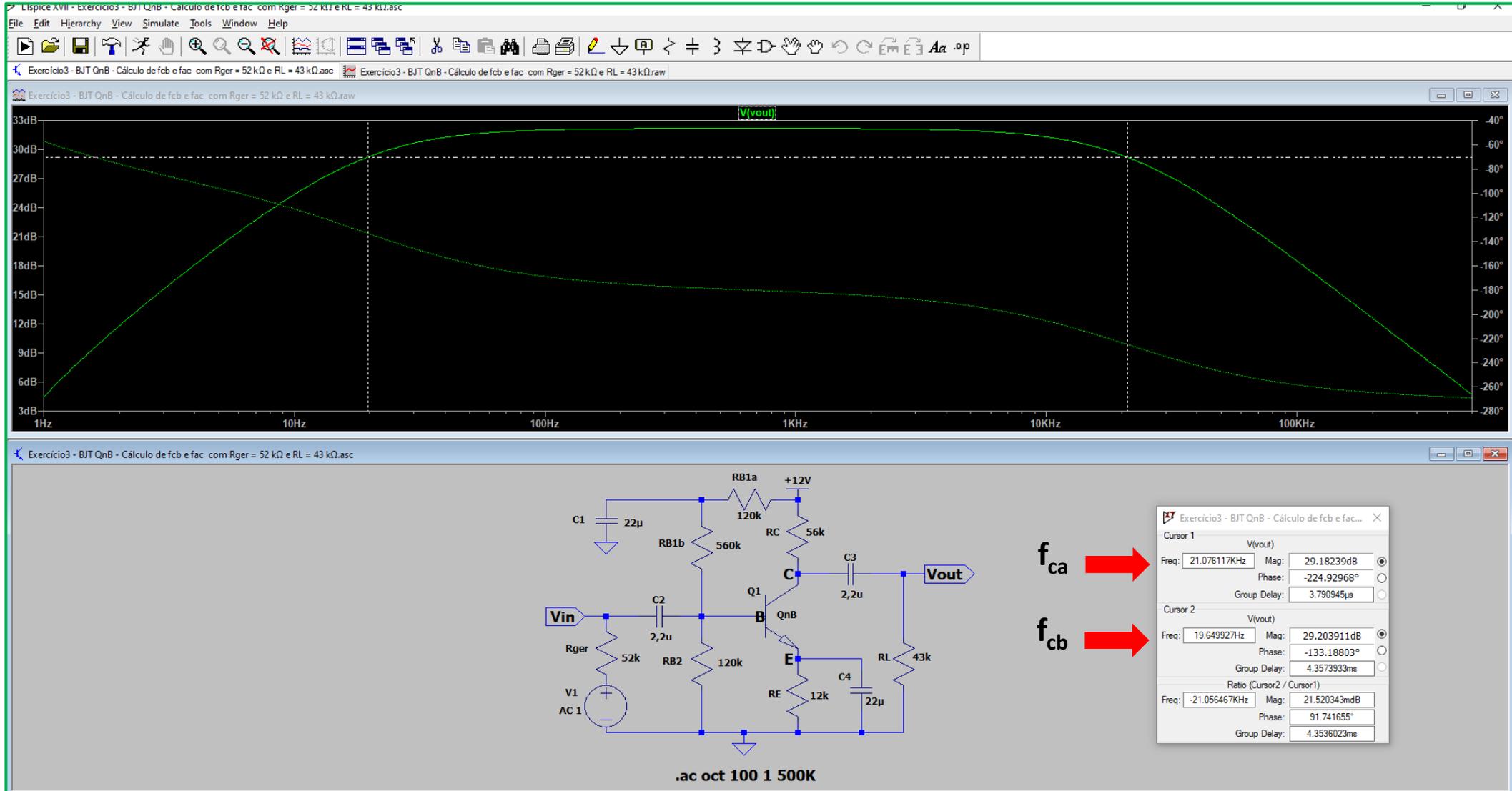


# Cálculo das Frequência de Corte $f_{CA}$ e $f_{CB}$ ( $R_{ger} = 52K\Omega$ , $R_L = 43 k\Omega$ )

Valores Teóricos  $\rightarrow$

$$f_{CB} \cong 19,155 \text{ Hz}$$

$$f_{CA} = 21,194 \text{ kHz}$$

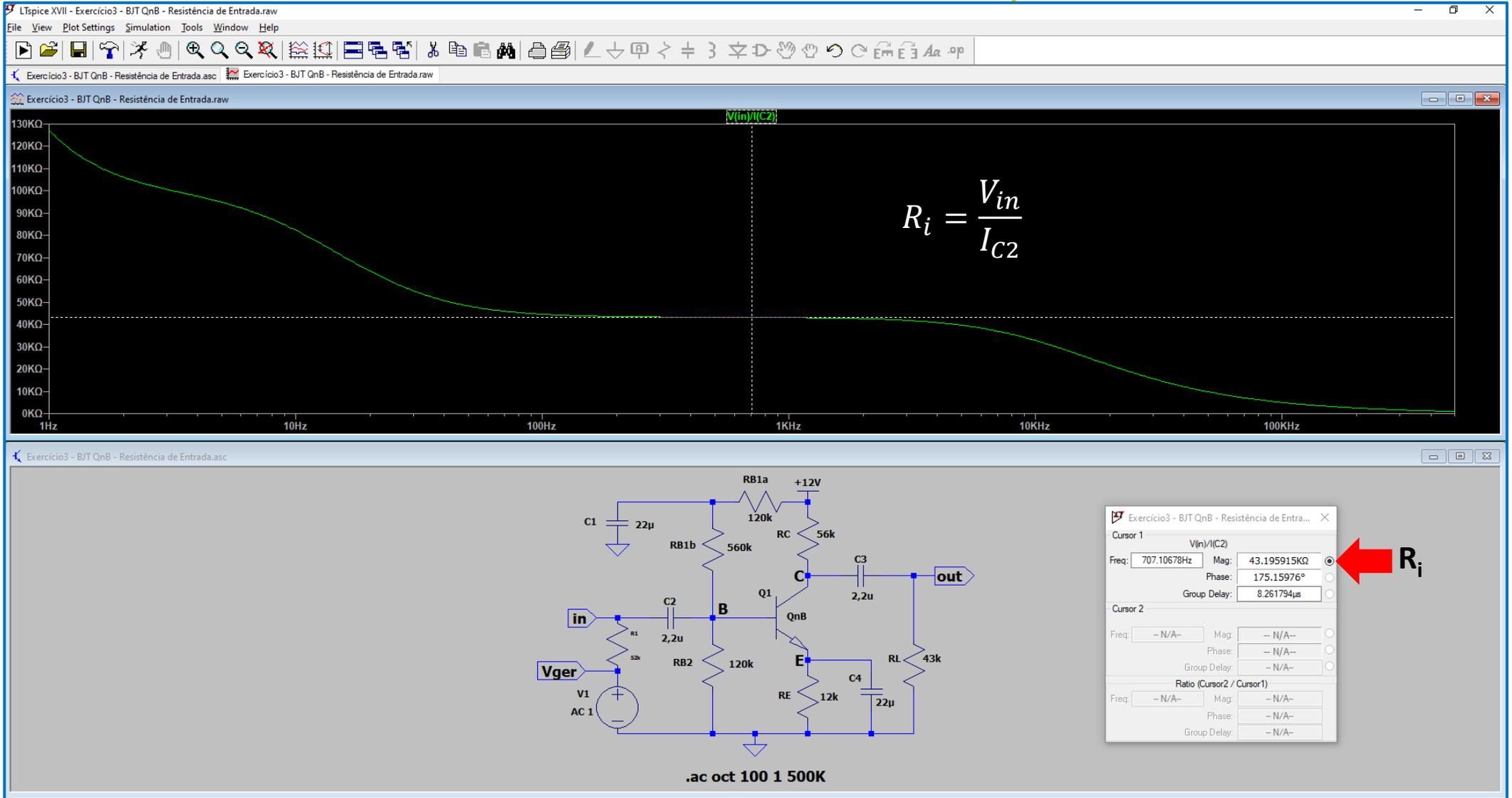


# Cálculo de $R_i$

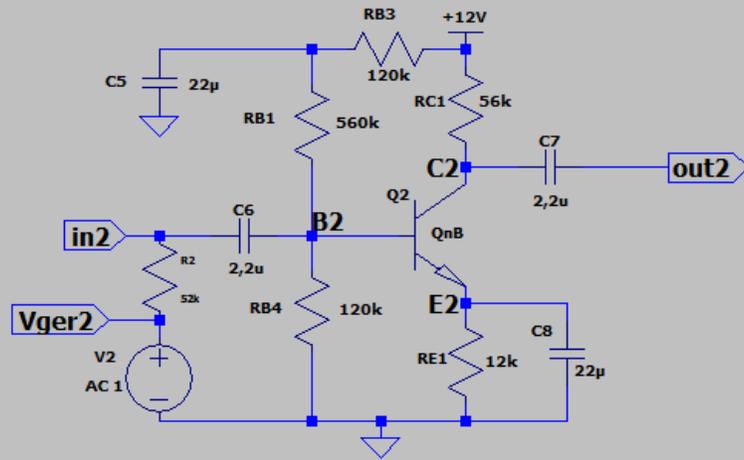
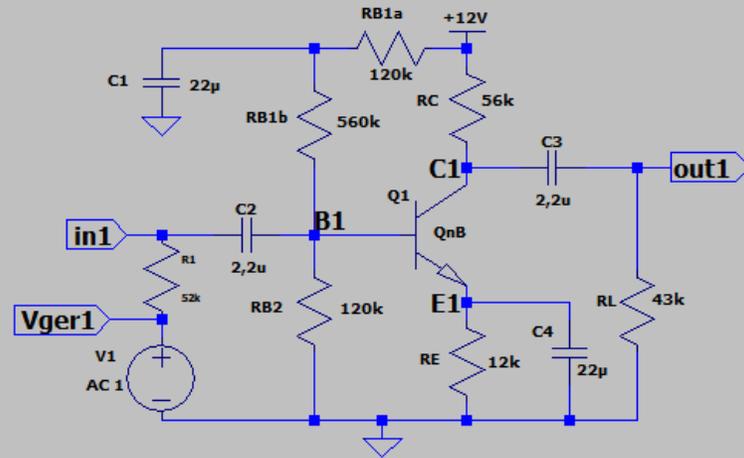
Valor Teórico



$$R_i = \frac{r_\pi \times R_{BAC}}{r_\pi + R_{BAC}} = \frac{76,52k \times 98,82k}{76,52k + 98,82k} = 43,127 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

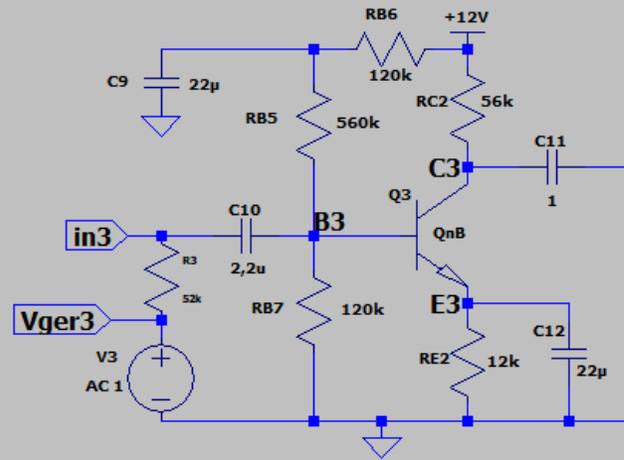


# Cálculo de $R_o$



$V_{out}$  sem carga

.ac oct 100 1 500K



$I_{out}$  com saída em curto-circuito

Valor Teórico



$$R_o = \frac{R_C \times r_o}{R_C + r_o} = \frac{56k \times 724,04k}{56k + 724,04k} = 51,98 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

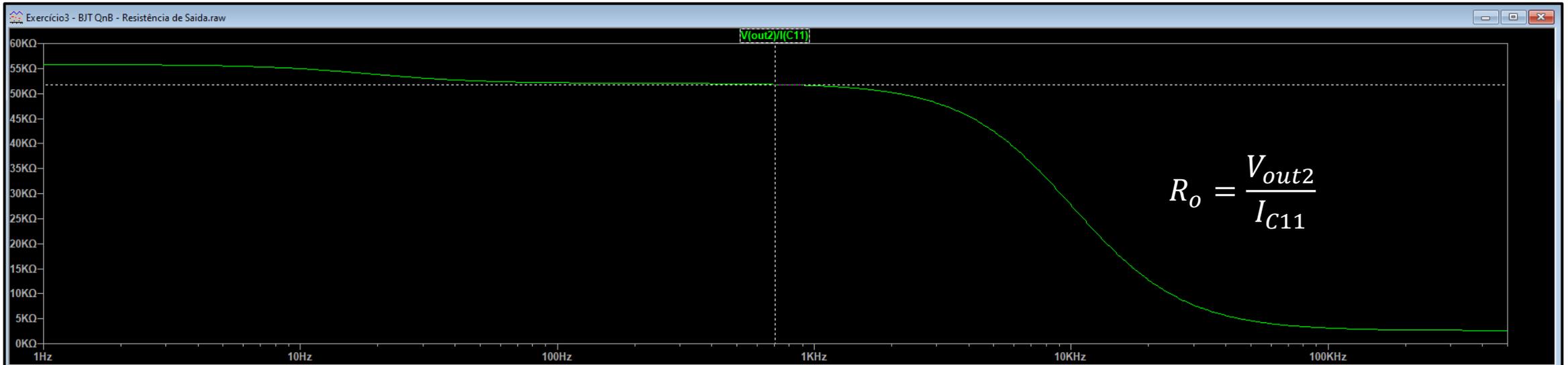
O capacitor  $C_{11} = 1F$  representa um curto-circuito em qualquer frequência !

$$R_{out} = \frac{V_{out2}}{I_{C11}}$$

# Cálculo de $R_o$

Valor Teórico  $\rightarrow$

$$R_o = \frac{R_C \times r_o}{R_C + r_o} = \frac{56k \times 724,04k}{56k + 724,04k} = 51,98 \text{ [k}\Omega\text{]}$$



Exercicio3 - BJT QnB - Resistência de Saida...

Cursor 1  $V(out2)/I(C11)$

Freq:	704.52971Hz	Real:	51.803818KΩ
		Imag:	-3.5142085KΩ

Cursor 2

Freq:	- N/A -	Mag:	- N/A -
		Phase:	- N/A -
		Group Delay:	- N/A -

Ratio (Cursor2 / Cursor1)

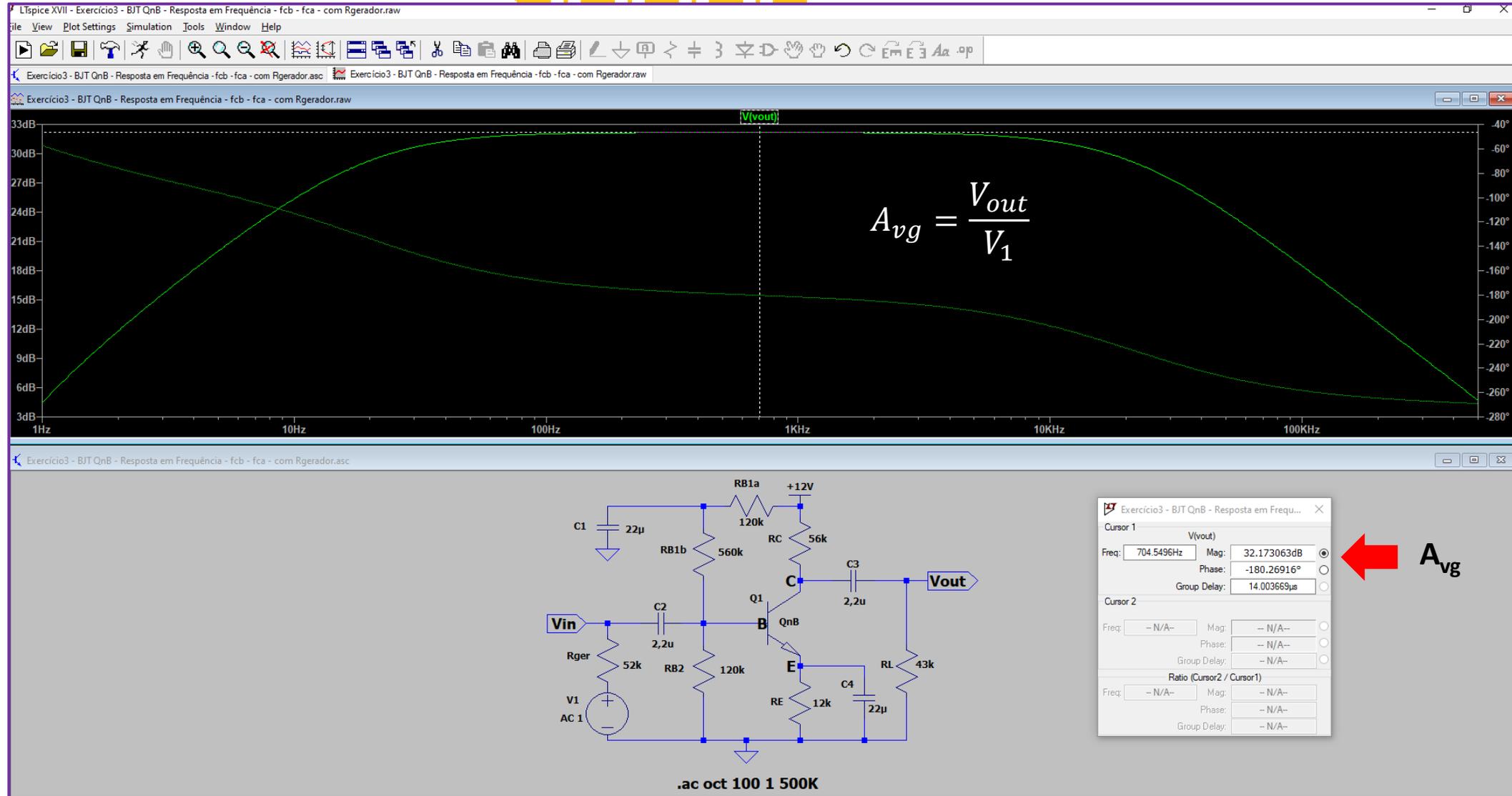
Freq:	- N/A -	Real:	- N/A -
		Imag:	- N/A -

$\leftarrow R_o$

# Cálculo de $A_{vg}$ ( $R_{ger} = 52\text{ k}\Omega$ e $R_L = 43\text{ k}\Omega$ )

Valor Teórico  $\rightarrow$

$$A_{vg} = \frac{R_i}{R_{ger} + R_i} \times A_{\theta} = -40,71\text{ V/V} = 32.19\text{dB}$$



**Análise AC**  
**Comparação de Resultados Teóricos e de Simulação**  
**(Amplificador Emissor Comum)**

<b><math>A_v</math> – Teórico (dB)</b>	<b><math>f_{CB}</math> – Teórico (Hz)</b>	<b><math>f_{CA}</math>- Teórico (kHz)</b>	<b><math>R_I</math> – Teórico (k<math>\Omega</math>)</b>	<b><math>R_o</math> - Teórico (<math>\Omega</math>)</b>	<b><math>A_{vg}</math> – Teórico (dB)</b>
45,95	19,15	21,19	43,13	51,98	32.19
<b><math>A_v</math> - Simulação (dB)</b>	<b><math>f_{CB}</math> - Simulação (Hz)</b>	<b><math>f_{CA}</math> - Simulação (Hz)</b>	<b><math>R_I</math> - Simulação (<math>\Omega</math>)</b>	<b><math>R_o</math> - Simulação (<math>\Omega</math>)</b>	<b><math>A_{vg}</math> - Simulação (dB)</b>
45,92	19,56	20,97	43,19	52,03	32,17