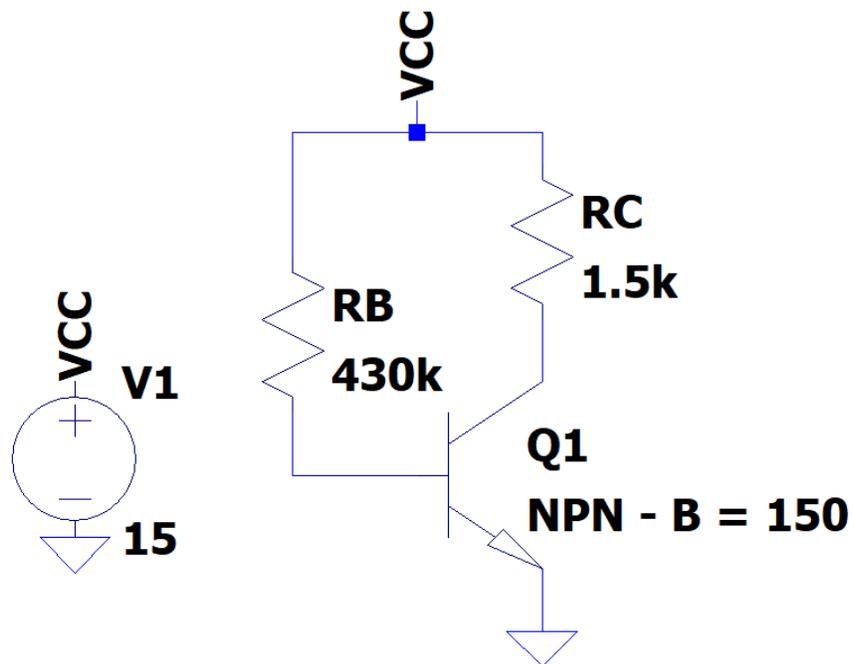


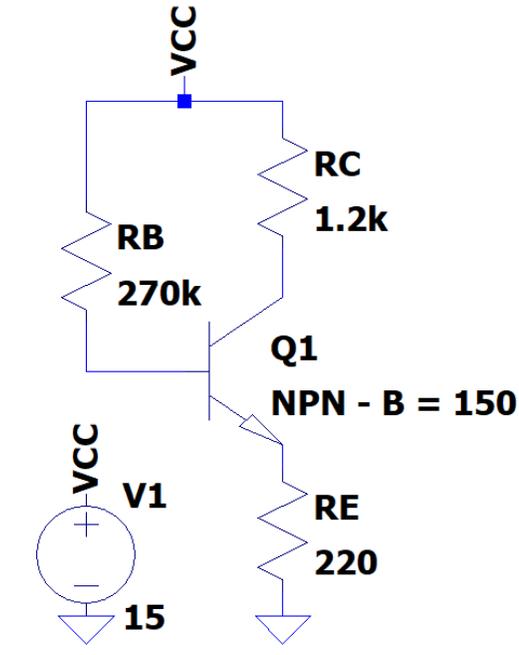
3º Lista de Exercícios – ELTA01A

Questão 1) Faça a análise CC e desenhe a reta de carga CC dos circuitos abaixo:

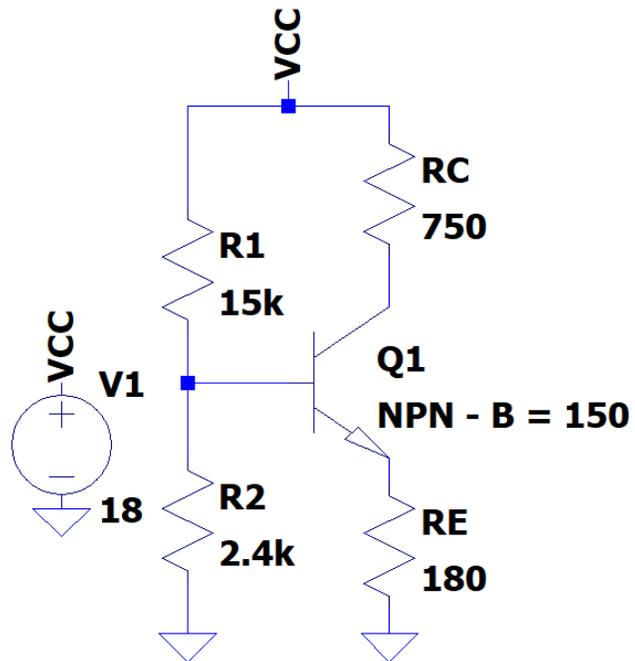
a)



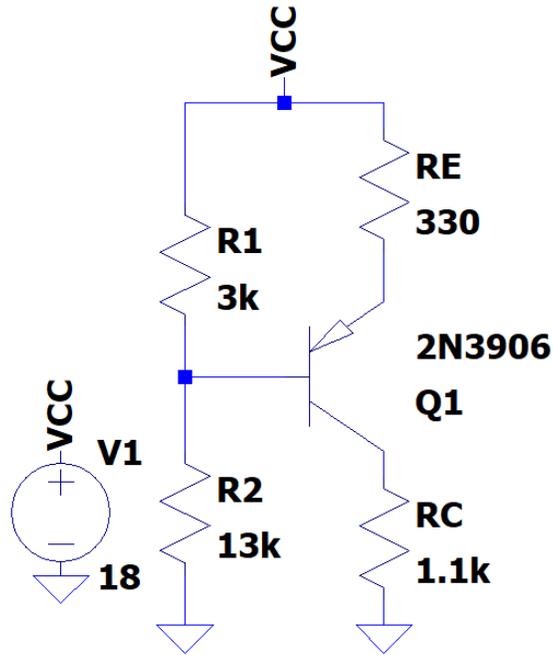
b)



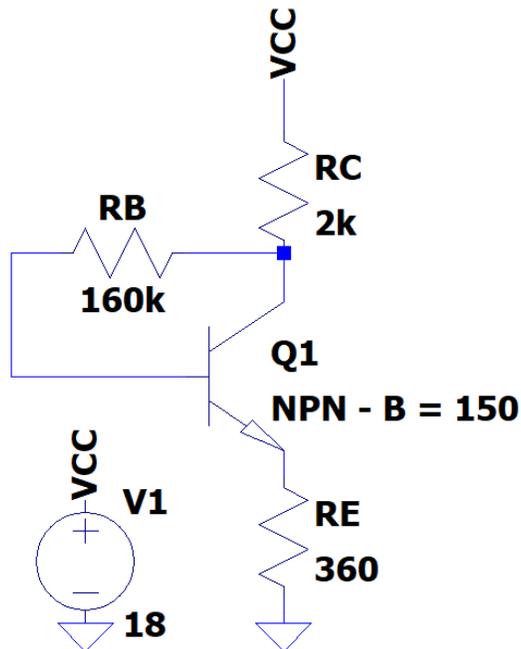
c)



d)

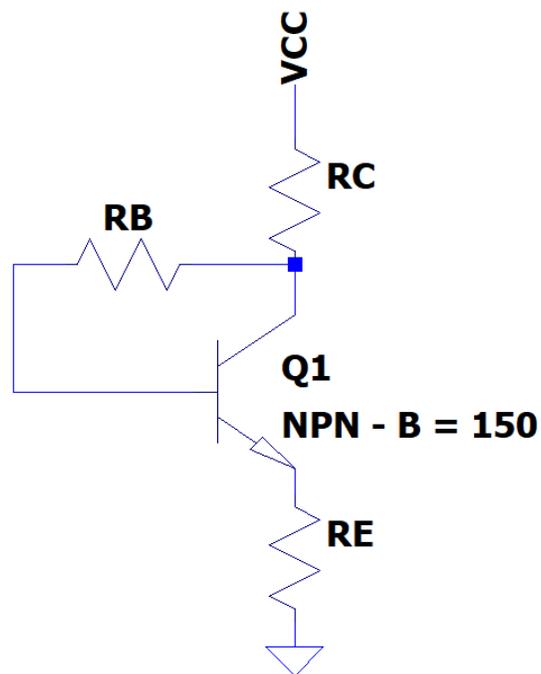


e)

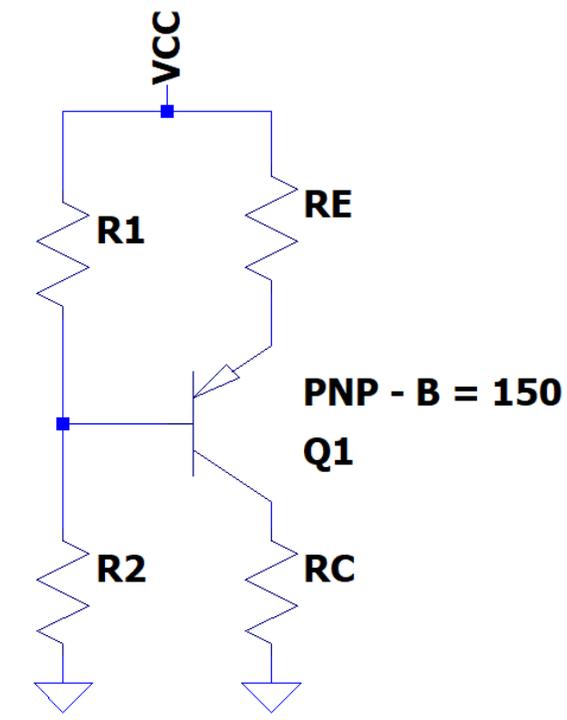


Questão 2) Utilizando as diretivas de projeto, determine os valores dos resistores de polarização para os circuitos abaixo:

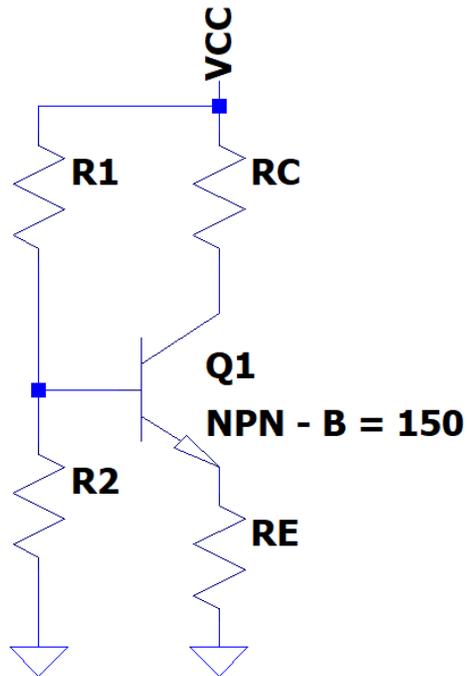
a) Considere uma alimentação de 15 V e uma corrente de 7 mA.



b) Considere uma alimentação de 18 V e uma corrente de 6 mA.



c) Considere uma alimentação de 15 V e uma corrente de 6 mA.

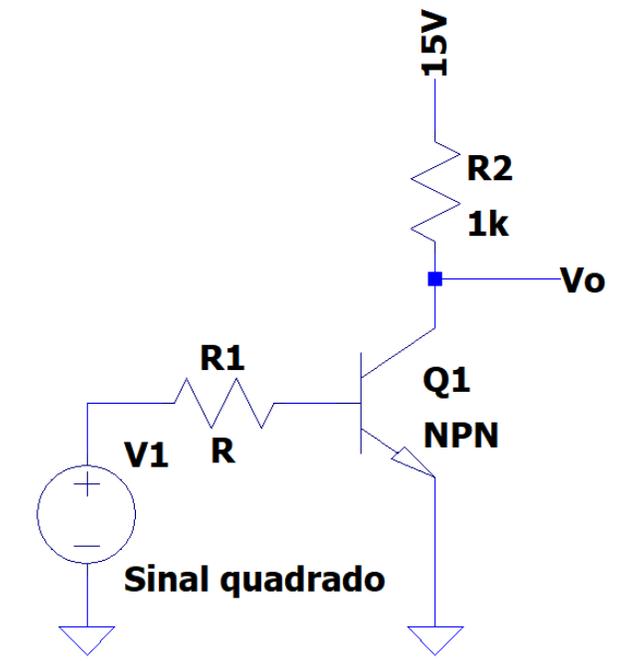


Questão 3) Projete o circuito para atuar como chave. Considere:

$$100 \leq \beta \leq 300$$

$$0,6 V \leq V_{BE} \leq 0,7 V$$

$$4,5 V \leq V_1 \leq 5,5 V$$

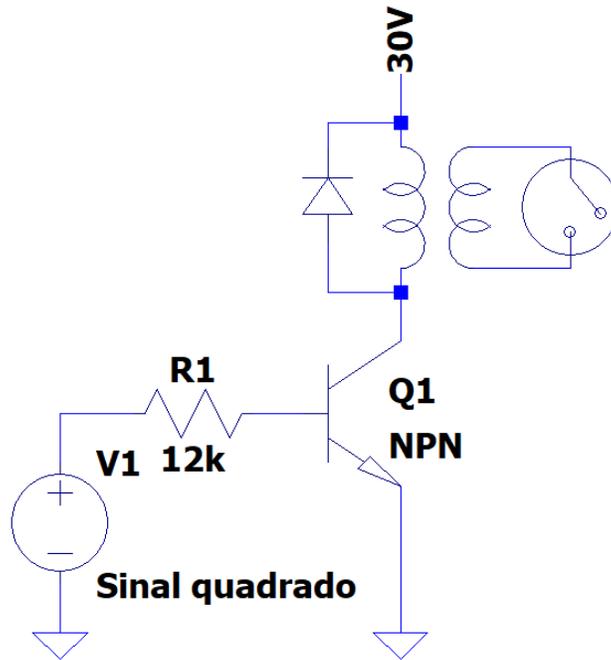


Questão 4) O circuito abaixo está atuando como chave? Se não determine o valor de RB para que ele opere como chave. O relê precisa de 30 V e 35 mA.

$$100 \leq \beta \leq 300$$

$$0,6 V \leq V_{BE} \leq 0,7 V$$

$$4,5 V \leq V_1 \leq 5,5 V$$



Resoluções

Questão 1)

a) Análise CC:

Para a corrente I_B , temos:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{15V - 0,7V}{430 k\Omega} = 33,26 \mu A$$

Assim, para V_B , temos:

$$V_B = V_{CC} - R_B I_B = 0,7V$$

Calculando a corrente I_{CQ} :

$$I_{CQ} = \beta I_B = 150 \times 33,26 \times 10^{-6} A = 4,99 mA$$

Para V_C :

$$V_C = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 7,52 V$$

Calculando a tensão V_{CEQ} :

→ Como não temos resistência no emissor, a equação de V_{CEQ} é da seguinte forma:

$$V_{CEQ} = V_C = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 15 - 4,99 \times 10^{-3} A \times 1500 = 7,52 V$$

Para a reta de carga CC, temos:

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C \rightarrow \text{já que o emissor está conectado no terra.}$$

Precisamos de 2 pontos para uma reta, portanto, utilizando a equação acima, temos os pontos:

Se $V_{CE} = 0 V$, temos a corrente de saturação, então:

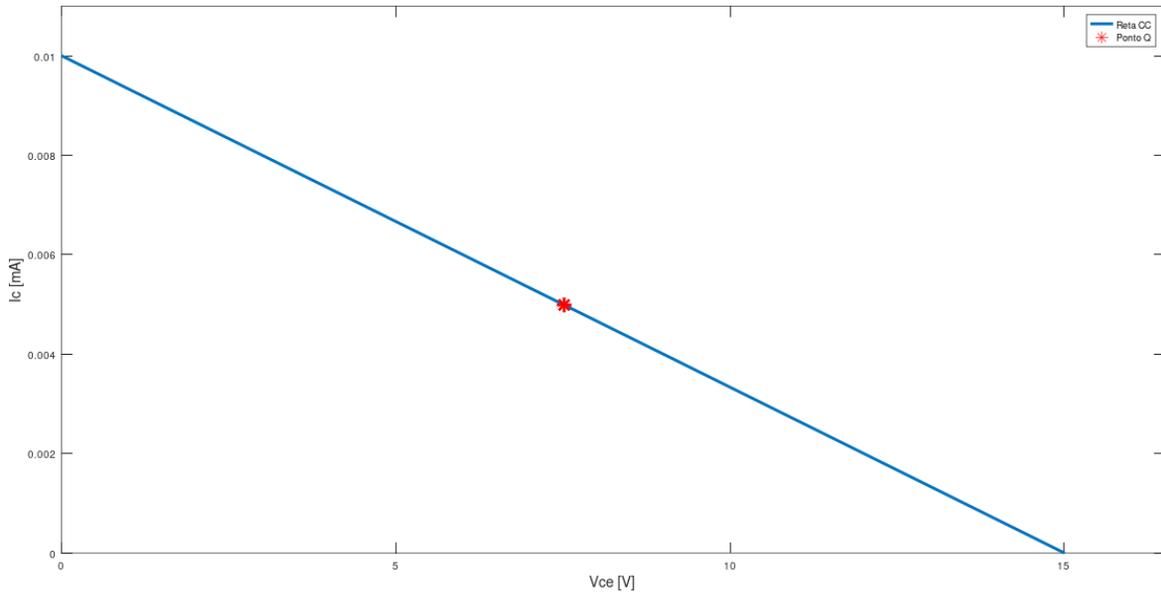
$$I_{CsatCC} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{15}{1500 \Omega} = 10 mA$$

O ponto (0,10mA), é o ponto de saturação.

Se $I_C = 0 A$, temos a tensão de corte, então:

$$V_{CEcorteCC} = V_{CC} = 15 V$$

O ponto (15,0), é o ponto de corte.



b) Análise CC:

Malha B-E:

$$V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} - I_E R_E = 0, \text{ considerando } I_{CQ} \cong I_E \cong \beta I_B$$

$$15 - 270k\Omega I_B - 0,7 - 150 \times I_B \times 220 = 0$$

$$I_B = 47,19 \mu A$$

$$V_B = V_{CC} - R_B I_B = 2,26 V$$

$$I_{CQ} = \beta I_B = 7,08 mA$$

Malha C-E:

$$V_C = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 6,5 V$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) = 4,95 V, \text{ já que temos } R_E.$$

$$V_E = V_C - V_{CEQ} = 1,55 V$$

Retas de carga CC:

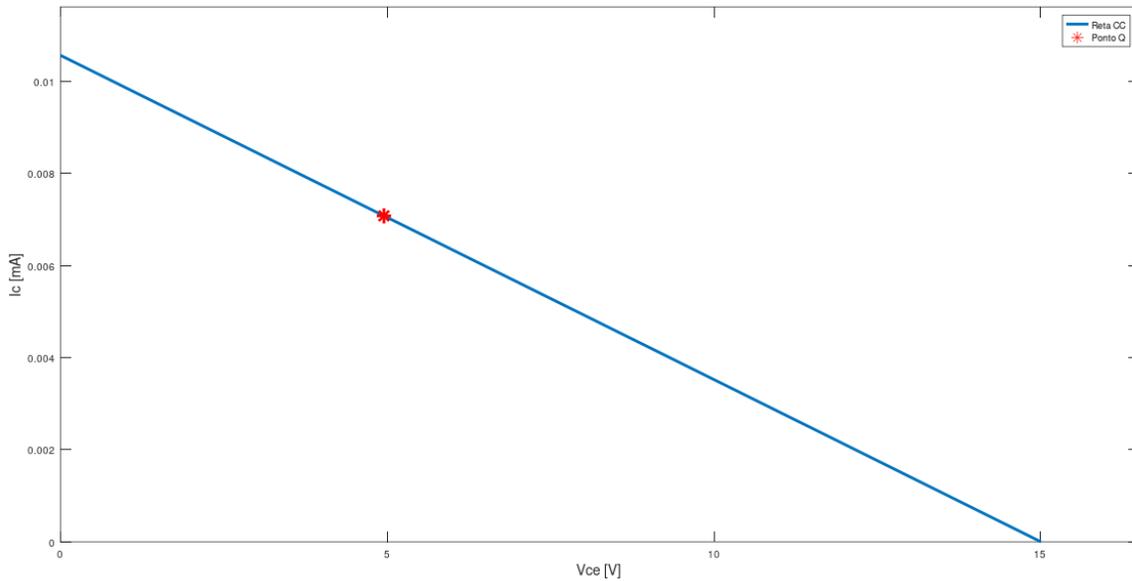
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E)$$

Se $I_C = 0$, temos:

$$V_{CEcorteCC} = V_{CC} = 15 V$$

Se $V_{CEQ} = 0$, temos:

$$I_{CsatCC} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 10,56 mA$$



c) Análise CC

Verificação se pode ser usado o método aproximado: $10R_2 \leq \beta R_E \rightarrow ok$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 2,48 V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1,78 V$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_E}{R_E} = 9,9 mA$$

$$V_C = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 10,57 V$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) = 8,79 V$$

Para a reta CC:

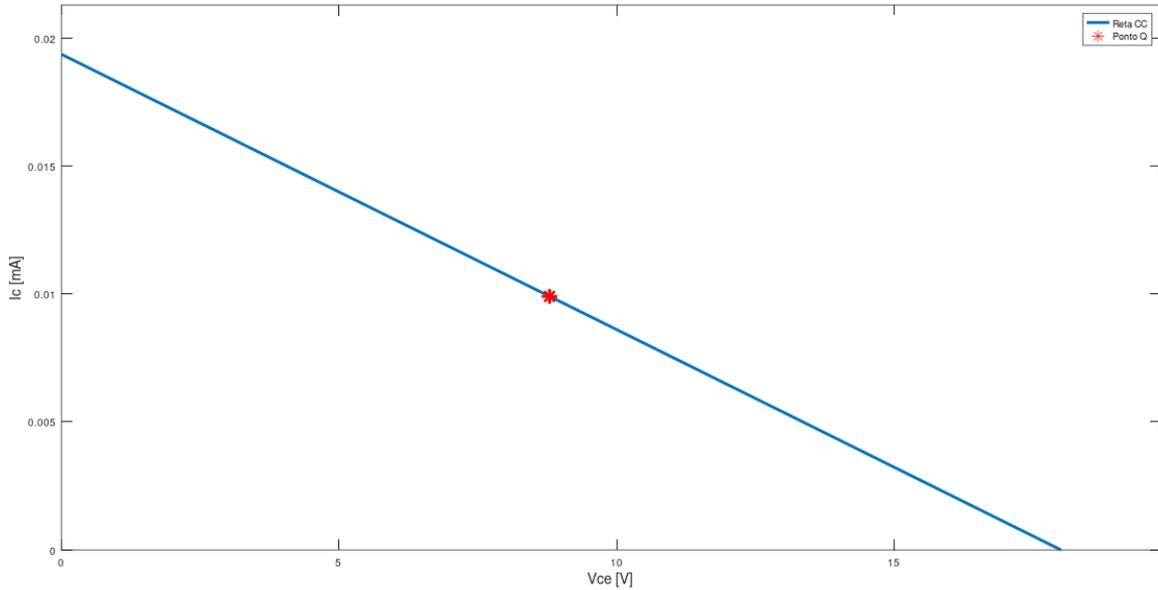
$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E)$$

Se $I_C = 0$, temos:

$$V_{CEcorteCC} = V_{CC} = 18 V$$

Se $V_{CEQ} = 0$, temos:

$$I_{CsatCA} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 19,35 mA$$



d) Análise CC:

Verificação para usar o método aproximado: $10R_1 \leq \beta R_E \rightarrow ok$

Para V_B :

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 14,625V$$

$$V_E = V_B + V_{EB} = 15,325 V$$

Determinando I_E :

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} = 8,11 mA$$

$$I_{CQ} \cong I_E = 8,11 mA$$

$$V_C = R_C I_{CQ} = 8,92 V$$

$$V_{ECQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 6,41 V$$

Para a reta CC:

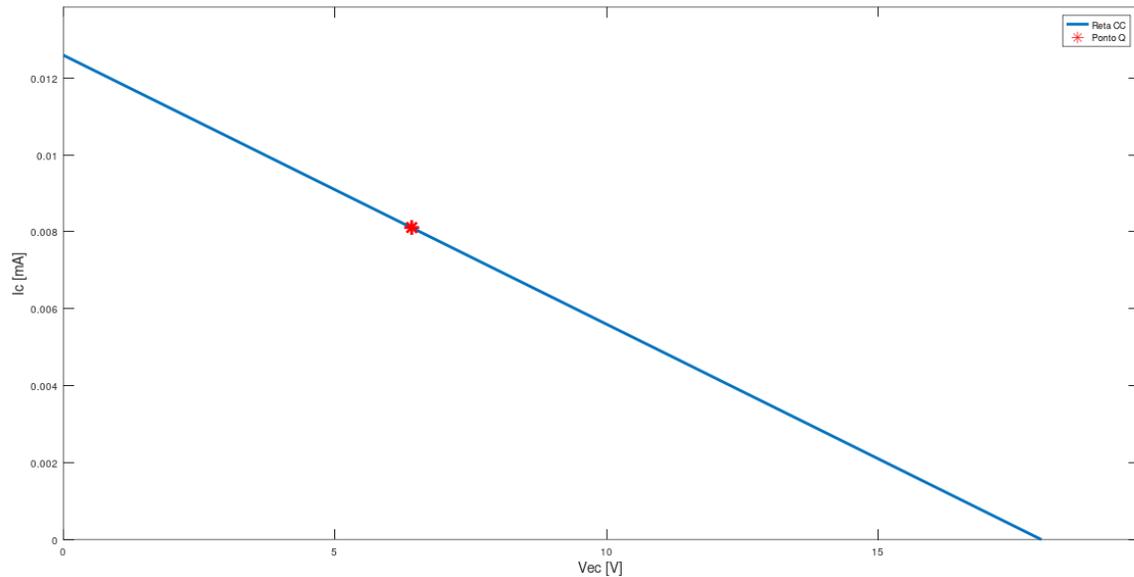
$$V_{ECQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

Se $I_C = 0$, temos:

$$V_{ECorteCC} = V_{CC} = 18 V$$

Se $V_{ECQ} = 0$, temos:

$$I_{CsatCA} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 12,59 \text{ mA}$$



e) Análise DC:

Análise da malha B-E:

Considerando a corrente que percorre o RC igual à corrente de coletor.

$$V_{CC} - R_C I_{CQ} - R_B I_B - V_{BE} - R_E I_E = 0$$

$$\text{Com } I_{CQ} \cong I_E = \beta I_B$$

$$V_{CC} - R_C \beta I_B - R_B I_B - V_{BE} - R_E \beta I_B = 0$$

Para I_B :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} = 33,66 \mu A$$

Então:

$$I_{CQ} \cong I_E = \beta I_B = 5,05 \text{ mA}$$

$$V_C = V_{CC} - R_C I_{CQ} = 7,90 \text{ V}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 6,09 \text{ V}$$

$$V_E = V_C - V_{CEQ} = 1,81 \text{ V}$$

Para a reta CC:

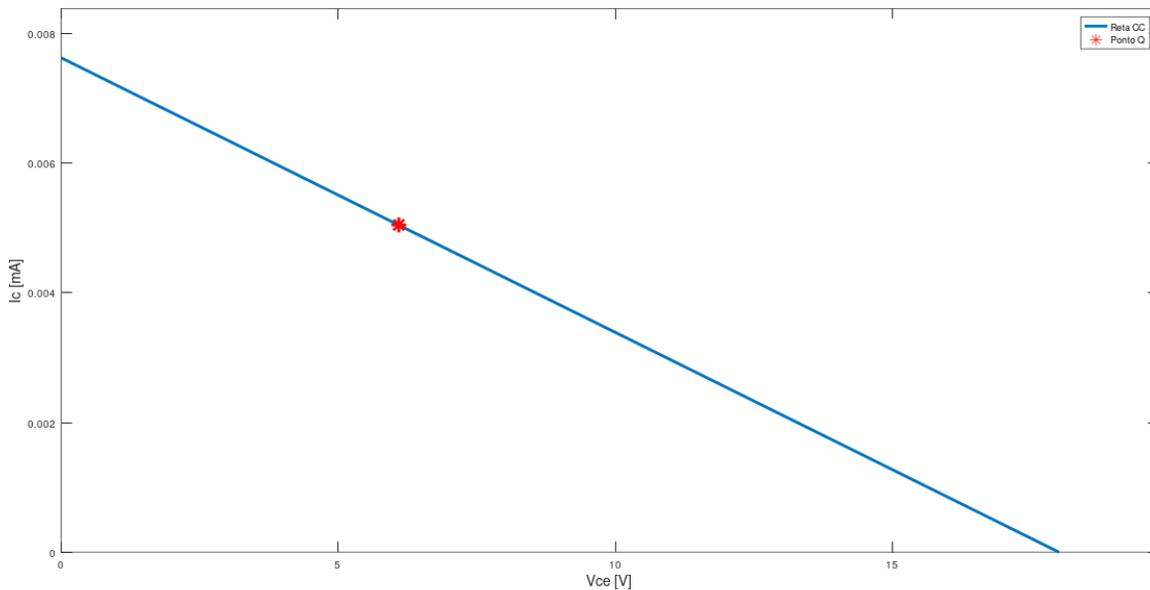
$$V_{ECQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E)$$

Se $I_C = 0$, temos:

$$V_{ECorteCC} = V_{CC} = 18 V$$

Se $V_{ECQ} = 0$, temos:

$$I_{CsatCA} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = 7,63 mA$$



Questão 2)

a) Para $V_{CC} = 15 V$ e $I_{CQ} = 7 mA$

Utilizando as diretivas:

$$V_E = 0,1V_{CC}$$

$$V_C = 0,55V_{CC}$$

$$V_{CE} = 0,35V_{CC}$$

Geralmente utiliza-se esses valores, visando o centro da reta de carga CA, a qual será vista posteriormente. As diretivas para V_C e V_E podem ser levemente alteradas a depender do projetista.

Determinando R_E :

$$I_E \cong I_{CQ} = 7 mA$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_{CQ}} = \frac{0,1V_{CC}}{I_{CQ}} = 214,28 \Omega$$

$$R_{Eescolhido} = 220 \Omega$$

Para R_C :

$$R_C = \frac{V_C}{I_{CQ}} = \frac{0,55V_{CC}}{I_{CQ}} = 1178,57 \Omega$$

$$R_{C\text{escolhido}} = 1,2 \text{ k}\Omega$$

Determinado R_B :

$$I_B = \frac{I_{CQ}}{\beta} = 46,67 \mu A$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} - \beta(R_C + R_E) = 93428,57 \Omega$$

$$R_{B\text{escolhido}} = 91 \text{ k}\Omega$$

Testando:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} = 47,04 \mu A$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \beta I_B = 7,06 \text{ mA}$$

$$V_{RC} = R_C I_{CQ} = 8,47 \text{ V} \rightarrow \text{próximo a } 0,55V_{CC} (8,25 \text{ V})$$

$$V_C = V_{CC} - R_C I_{CQ} = 6,53 \text{ V}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_C + R_E) = 4,98 \text{ V} \rightarrow \text{próximo a } 0,35V_{CC} (5,25 \text{ V})$$

$$V_E = V_C - V_{CEQ} = 1,55 \text{ V} \rightarrow \text{próximo a } 0,1V_{CC} (1,5 \text{ V})$$

b) $V_{CC} = 18 \text{ V}$ e $I_{CQ} = 6 \text{ mA}$

Determinando R_E :

$$I_E \cong I_{CQ} = 6 \text{ mA}$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_{CQ}} = \frac{0,1V_{CC}}{I_{CQ}} = 300 \Omega$$

$$R_{E\text{escolhido}} = 300 \Omega$$

Para R_C :

$$R_C = \frac{V_C}{I_{CQ}} = \frac{0,55V_{CC}}{I_{CQ}} = 1650 \Omega$$

$$R_{C\text{escolhido}} = 1,6 \text{ k}\Omega$$

Como temos um PNP:

$$10R_1 \leq \beta R_E$$

$$R_1 \leq \frac{\beta R_E}{10}$$

$$R_1 \leq 4500 \Omega$$

$$R_{1\text{escolhido}} = 4,3 \text{ k}\Omega$$

Para determinar a tensão de base:

$$V_B = V_{CC} - V_E - V_{EB}$$

$$V_B = 18 - 1,8 - 0,7 = 15,5 \text{ V}$$

Para determinar R_2 , da fórmula do divisor de tensão, temos:

$$R_2 = \frac{R_1}{\frac{V_{CC}}{V_B} - 1} = 26660 \Omega$$

$$R_{2\text{escolhido}} = 27 \text{ k}\Omega$$

Testando:

$$10R_1 \leq \beta R_E \rightarrow ok$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 15,53 \text{ V}$$

$$V_E = V_B + V_{EB} = 16,23 \text{ V}$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_{CC} - V_E}{R_E} = 5,91 \text{ mA}$$

$$V_{RE} = I_{CQ} R_E = 1,77 \text{ V} \rightarrow \text{próximo de } 0,1V_{CC} (1,8 \text{ V})$$

$$V_{RC} = V_C = I_{CQ} R_C = 9,45 \text{ V} \rightarrow \text{próximo de } 0,55V_{CC} (9,9 \text{ V})$$

$$V_{ECQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) = 6,77 \text{ V} \rightarrow \text{próximo de } 0,35V_{CC} (6,3 \text{ V})$$

c) $V_{CC} = 15 \text{ V}$ e $I_{CQ} = 6 \text{ mA}$

Determinando R_E :

$$I_E \cong I_{CQ} = 6 \text{ mA}$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_{CQ}} = \frac{0,1V_{CC}}{I_{CQ}} = 250 \Omega$$

$$R_{E\text{escolhido}} = 240 \Omega$$

Para R_C :

$$R_C = \frac{V_C}{I_{CQ}} = \frac{0,55V_{CC}}{I_{CQ}} = 1375 \Omega$$

$$R_{C\text{escolhido}} = 1,3 \text{ k}\Omega$$

Utilizando $10R_2 \leq \beta R_E$:

$$R_2 \leq \frac{\beta R_E}{10}$$

$$R_2 \leq 3600 \Omega$$

$$R_{2\text{escolhido}} = 3,3 \text{ k}\Omega$$

Determinando V_B :

$$V_B = V_E + V_{BE} = 2,2 \text{ V}$$

Pela fórmula do divisor de tensão:

$$R_1 = \left(\frac{V_{CC}}{V_B} - 1 \right) R_2 = 19200 \Omega$$

$$R_{1\text{escolhido}} = 20 \text{ k}\Omega$$

Testando:

$$10R_2 \leq \beta R_E \rightarrow ok$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 2,12 \text{ V}$$

$$V_E = V_{RE} = V_B - V_{BE} = 1,42 \text{ V}$$

$$I_{CQ} \cong I_E = \frac{V_E}{R_E} = 5,93 \text{ mA}$$

$$V_{RC} = I_{CQ} R_C = 7,71 \text{ V}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_C + R_E) = 5,86 \text{ V}$$

Questão 3)

Para o circuito temos a seguinte equação resultando da malha C-E:

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0$$

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

Como queremos que o mesmo trabalhe como chave:

$$V_{CE} = 0$$

Assim:

$$V_{CC} - I_C R_C = 0$$
$$I_{Csat} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{15 V}{1 k\Omega} = 15 mA$$

De posse de I_{Csat} , podemos determinar R_B para que o TBJ trabalhe como uma chave:

$$R_B \leq \frac{\beta \min(V_{Imin} - V_{BEmax})}{I_{Csat}}$$

$$R_B \leq \frac{100(4,5 - 0,7)}{15 mA}$$

$$R_B \leq 25333,34 \Omega$$

$$R_{Beschlido} \leq 24 k\Omega$$

Questão 4)

Utilizando a equação:

$$R_B \leq \frac{\beta \min(V_{Imin} - V_{BEmax})}{I_{Csat}}$$

$$12 k\Omega \leq \frac{100(4,5 - 0,7)}{35 mA}$$

$$12 k\Omega \leq 10857,14 \Omega \rightarrow \text{n\~{a}o atua como chave}$$

O valor de $12 k\Omega$ n\~{a}o atende, j\~{a} que para o valor m\~{i}nimo de β e o valor m\~{i}nimo de V_I o circuito n\~{a}o chega \~{a} corrente de satura\~{c}o. Assim, o circuito necessita de um resistor de base menor que $10857,14 \Omega$. Ent\~{a}o escolhendo um resistor de $9,1 k\Omega$, garantimos que o circuito opere como chave.

Teste:

$$9,1 k\Omega \leq \frac{100(4,5 - 0,7)}{35 mA}$$

$$9,1 k\Omega \leq 10857,14 \Omega \rightarrow \text{atende}$$