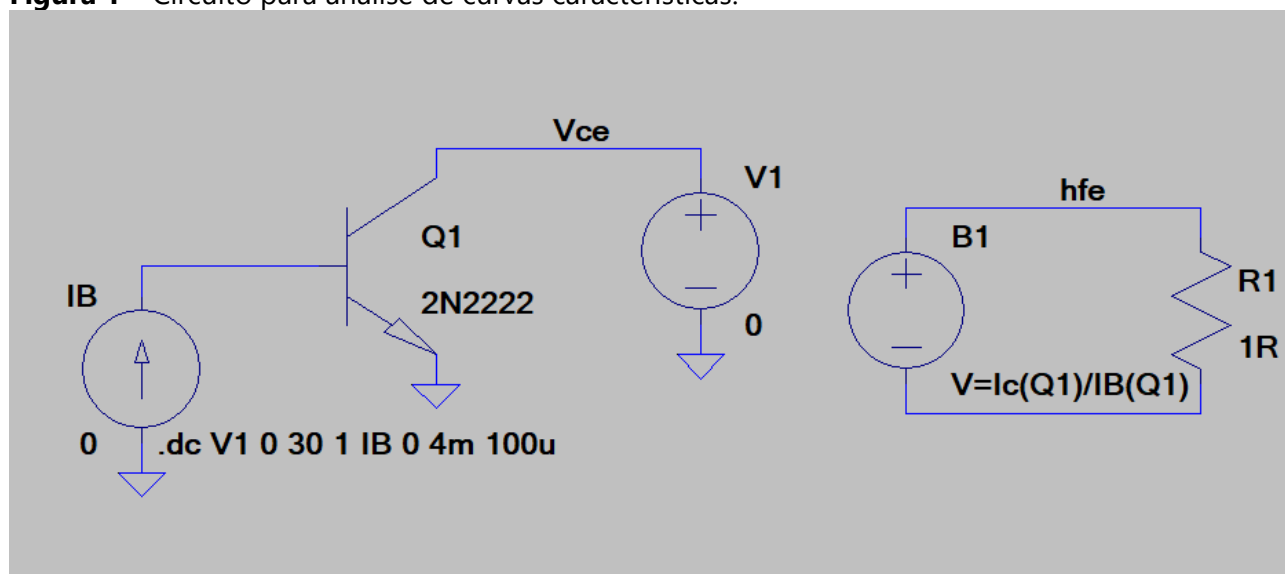


A versão que utilizo é LTspice XVII(x64), atualizada em 3/12/2019. No quinto artigo veremos alguns detalhes sobre as curvas características do Transistor de Junção Bipolar (BJT) e um novo componente do LTspice denominado Behavioral Voltage Source, que é uma fonte de tensão comportamental.

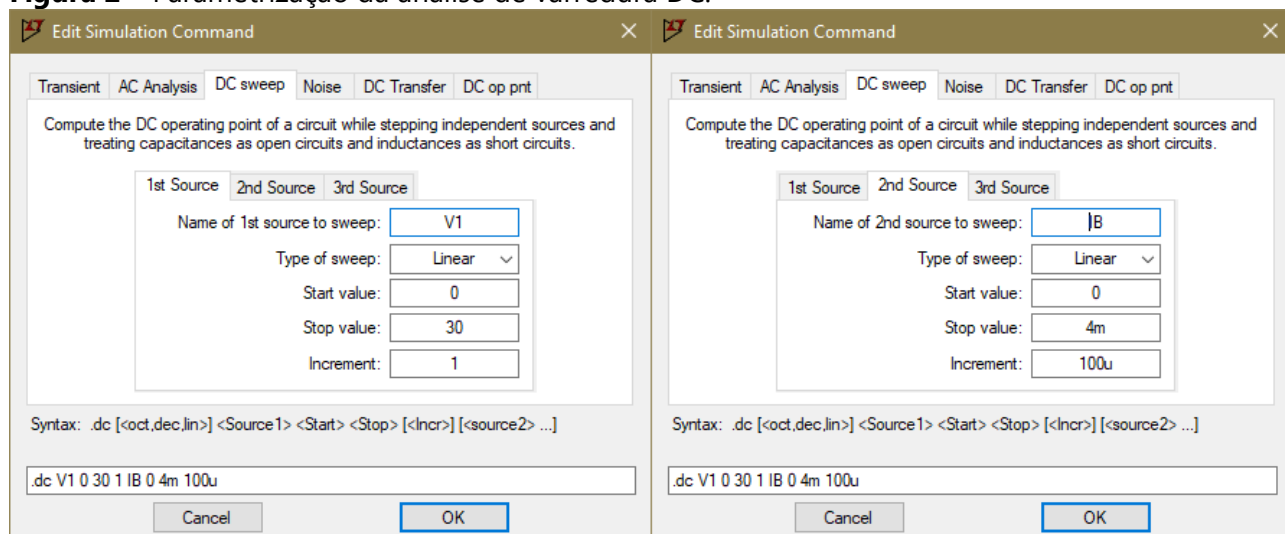
O Transistor que utilizarei é o 2N2222, fabricado pela NXP Semiconductors. No site www.nxp.com é possível fazer um download do datasheet. Nessa versão do LTspice esse Transistor já faz parte da biblioteca padrão. Monte o seguinte circuito.

Figura 1 – Circuito para análise de curvas características.



Se tiver dificuldade em montar esse circuito, leia os artigos anteriores que poderão ser úteis. Algumas dicas para auxiliar. A fonte de tensão comportamental é encontrada pesquisando por 'bv', de 'behavioral'. É importante inserir os rótulos (labels), conforme mostrado, porque são referências utilizadas na análise e na fórmula da fonte de tensão comportamental. O tipo de análise é de varredura DC, portanto, no menu 'Simulate' selecione 'Edit Simulation Cmd' e na janela 'Edit Simulation Command' vamos trabalhar com análise de varredura DC (DC sweep), portanto, na aba [DC sweep] preencha os parâmetros conforme mostrado a seguir.

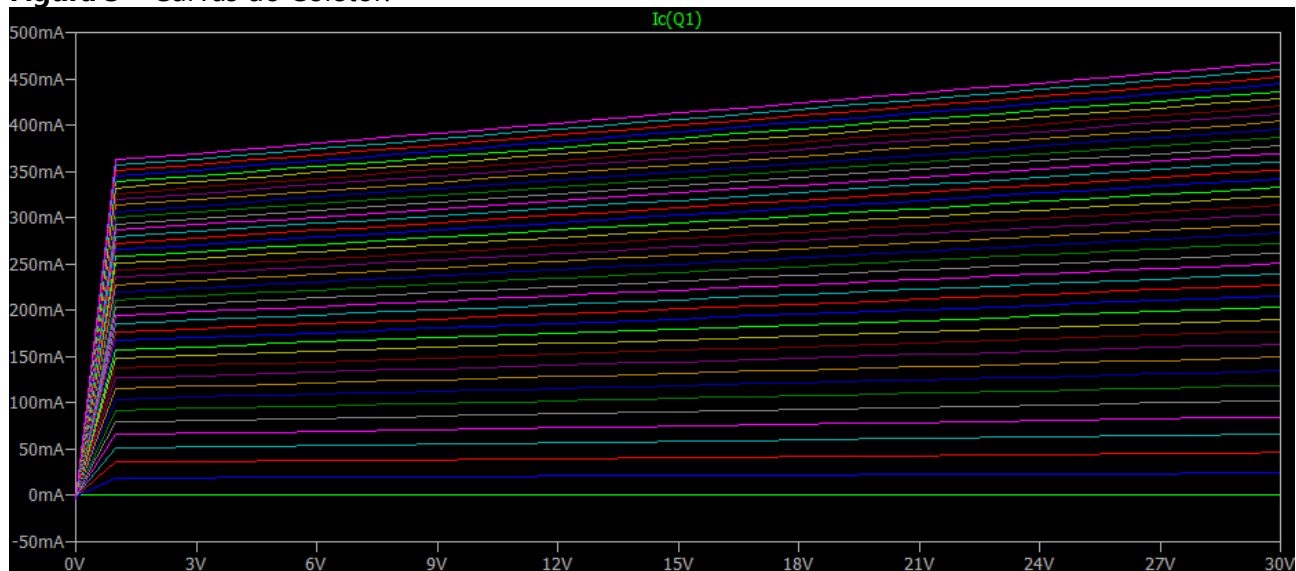
Figura 2 – Parametrização da análise de varredura DC.



.dc V1 0 30 1 IB 0 4m 100u

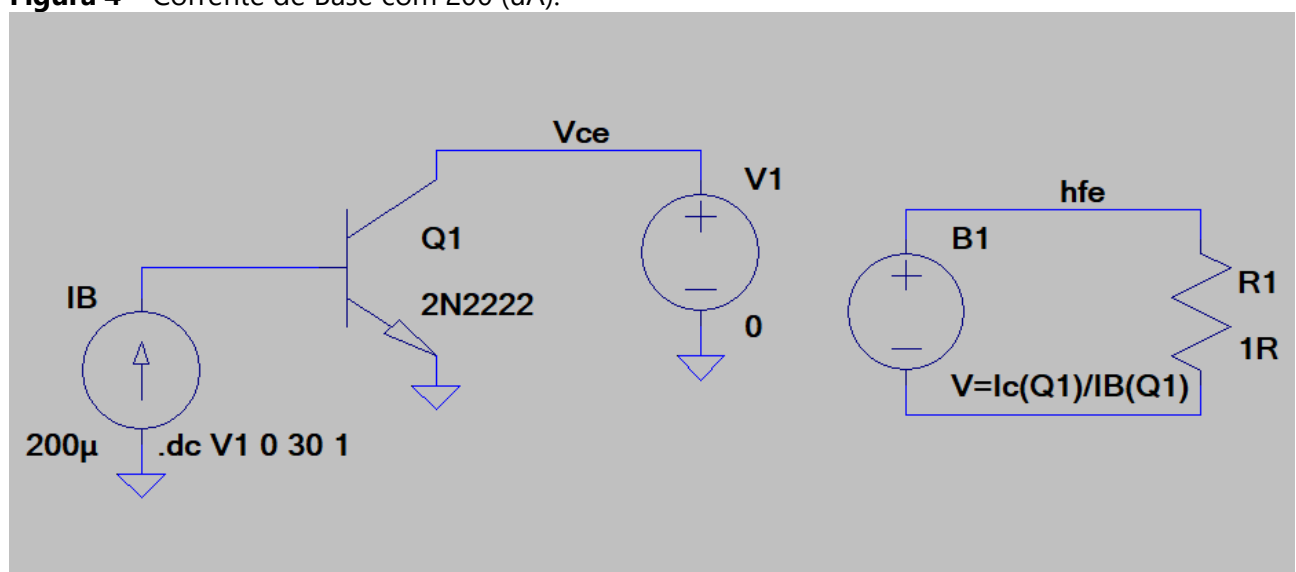
Na fonte de tensão comportamental entre com a seguinte fórmula no campo valor $V=I_c(Q1)/I_B(Q1)$. Na primeira análise somente veremos as curvas do Coletor, mas, no final desse artigo explicarei a fonte de tensão comportamental. Depois de montar e parametrizar o circuito, vamos rodar o simulador clicando no botão [Run]. Para obter as curvas de Coletor, selecione a janela do gráfico e aproxime o ponteiro do mouse sobre o terminal Coletor do 2N2222. Ele se torna um alicate amperímetro, então, basta clicar nesse ponto para obter as seguintes curvas.

Figura 3 – Curvas do Coletor.



Muitas curvas foram plotadas, devido os passos de 100 (uA) parametrizados na varredura DC da corrente de Base (IB). Não se importe com a poluição desse gráfico porque vamos analisar uma corrente de Base específica. Para isso vamos reconfigurar a análise de varredura DC, deixando apenas a fonte de tensão V1, que representa Vce, e estabelecer uma corrente constante de 200 (uA) na Base do Transistor. Simule novamente o circuito.

Figura 4 – Corrente de Base com 200 (uA).



Estamos com uma corrente de Base contante, de 200 (μA), análise de varredura DC, a tensão entre Coletor e Emissor variará de 0 (V) à 30 (V), portanto, temos a seguinte curva de corrente no Coletor versus tensão V_{ce} .

Figura 5 – Curva de Coletor com corrente de Base com 200 (μA).

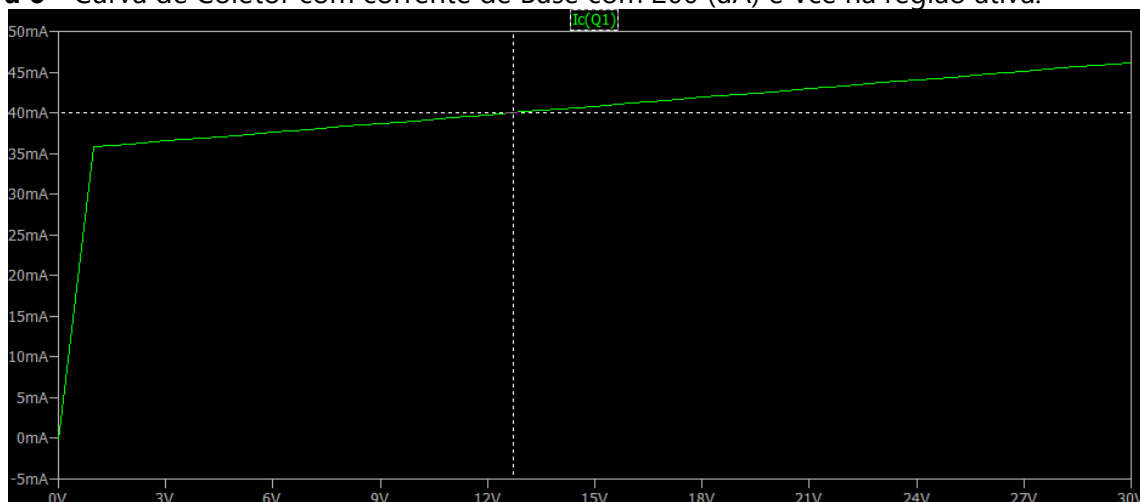


Inseri duas linhas tracejadas na vertical, uma próxima de 1(V) de V_{ce} e a outra no final do gráfico, V_{ce} de 30 (V). A região entre essas duas linhas verticais é a região ativa. A região a esquerda da primeira linha vertical é a região de saturação.

A região de saturação é utilizada quando queremos que o Transistor trabalhe como uma chave, então, quando estiver conduzindo a tensão V_{ce} deve ficar o mais próximo de zero Volts. Quando estiver cortado, seria uma chave aberta, portanto, V_{ce} próximo da tensão da fonte. Observe que no início da região de saturação temos uma corrente de Coletor de 35 (mA) e um V_{ce} de 1 (Volts). Por exemplo, se a carga que desejo chavear tem uma resistência que limitaria uma corrente de Coletor em 18 (mA), então, se aplicarmos uma corrente de Base de 200 (μA), como nesse exemplo, teremos uma saturação de 500 (mV) de V_{ce} , conforme pode ser visto no gráfico anterior.

Por exemplo, na região ativa, entre V_{ce} de 1 (V) à 30 (V), se através do Coletor fluir uma corrente de 40 (mA) e na Base estou aplicando 200 (μA), como nesse caso, então, tenho certeza que a tensão V_{ce} será 12,7 (V), conforme mostrado a seguir.

Figura 6 - Curva de Coletor com corrente de Base com 200 (μA) e V_{ce} na região ativa.

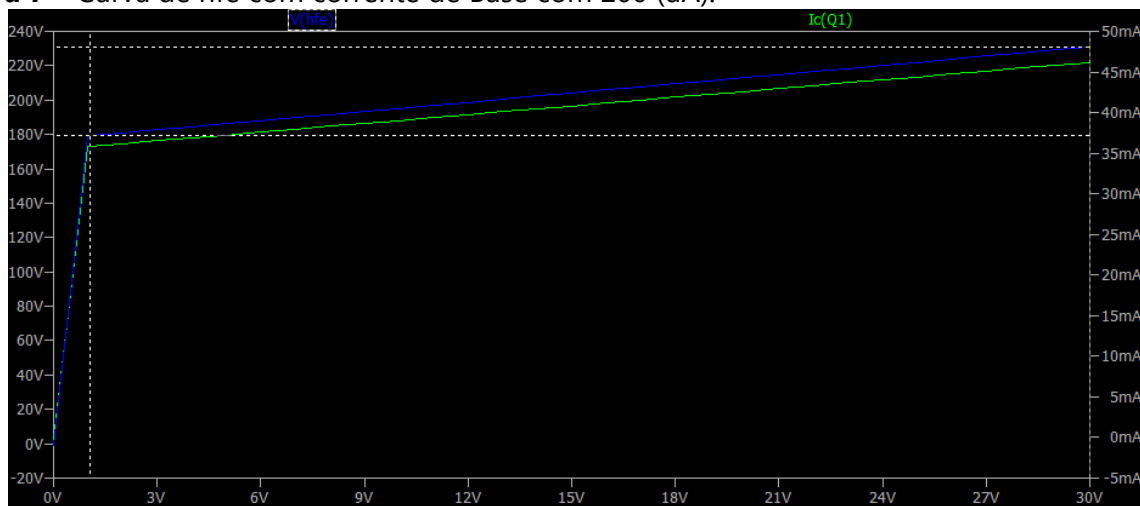


Se pegarmos os dados de início e fim da região ativa, podemos calcular a variação do beta (h_{fe}), quando aplicamos 200 (μA) na Base. O h_{fe} no início será $36(mA)/200(\mu A) = 180$. O h_{fe} no final será $46(mA)/200(\mu A) = 230$. Para uma corrente de Base de 200 (μA), na região ativa o beta varia de 180 à 230.

Agora chegou o momento de entender a fonte de tensão comportamental. Selecione a janela do circuito e aproxime o cursor do mouse sobre a linha do circuito rotulada ' h_{fe} ', quando o cursor de se tornar uma ponta de prova, então, clique sobre essa linha. Observe que no gráfico foi adicionado mais uma curva $V(h_{fe})$.

O lance é observar que a fórmula da fonte B1 é a equação para calcular o beta ($I_{coletor}/I_{base}$) e uma carga R1 de um Ohms, então, os valores dessa tensão na verdade representam o beta em cada ponto da curva de coletor. Verifique que estou selecionando o início da região ativa, e a escala vertical da esquerda indica uma tensão de 180V, que corresponde a um beta de 180, portanto, essa é a utilização da fonte de tensão comportamental.

Figura 7 – Curva de h_{fe} com corrente de Base com 200 (μA).



Aplicando uma corrente constante de 400 (μA) na Base, o h_{fe} varia de 164 à 211, conforme mostrado a seguir. A fonte de tensão comportamental auxilia na análise e evita ficar calculando alguns dados.

Figura 8 – Curva de h_{fe} com corrente de Base com 400 (μA).

