

Manual prático do LTspice IV

Leandro do Nascimento

Manual desenvolvido em conjunto com o Projeto "Implementação de dispositivos Semicondutores com Matlab/Simulink" do Programa Unificado de Bolsas de Estudos para estudantes de graduação da Pró-Reitoria de Graduação - USP.

Orientador:

Prof. Jerson Barbosa de Vargas

2017

Sumário

	pág.
1. Abrindo ou Criando um novo arquivo esquemático.....	5
2. Inserindo componentes.....	5
2.1. Inserindo o terminal Terra	6
2.2. Inserindo um Resistor	6
2.3. Inserindo um Capacitor	7
2.4. Inserindo um Indutor.....	8
2.5. Inserindo um Diodo Retificador	8
2.6. Inserindo outros componentes	9
2.6.1. Fonte de Tensão	10
2.6.1.1. Configurando tipos de sinais em Fontes.....	11
2.6.1.1.1. Potencial DC.....	12
2.6.1.1.2. Onda senoidal	13
2.6.1.1.3. Onda quadrada.....	14
2.6.1.1.4. Onda triangular	15
2.6.1.1.5. Rampa ascendente e rampa descendente	17
2.6.1.1.6. Sinal pulsante.....	18
2.6.2. Componentes diversos	19
3. Interligando e manipulando componentes	25
3.1. Fios de interligação.....	25
3.2. Identificação do fio.....	26
3.3. Inserindo caixas de texto.....	27
3.4. Apagar e duplicar componentes	28
3.5. Mover e arrastar componentes.....	28
3.6. Rotacionar e espelhar componentes	29
3.6. Desfazer e Refazer tarefas	30
4. Realizando simulações	30
4.1. Análise do ponto de operação.....	30
4.2. Análise com varredura em corrente contínua	32
4.2.1. Medindo Tensão, Corrente e Potência com multímetro virtual	32
4.3. Análise em frequência	35
4.4. Análise no tempo	37
4.4. Aplicando um degrau	38
5. Configurando simulações com parâmetros spice	40
6. Trabalhando com gráficos	46
6.1. Mudando as cores de fundo do esquemático e do gráfico	46
6.2. Aumentando espessura das linhas das curvas	49
6.3. Alterando eixos dos gráficos	49
6.4. Medindo valores precisos sobre as curvas gráficas	52
6.5. Salvando gráficos como imagem.....	52
6.6. Exportando dados gerados na simulação.....	53

1. Abrindo ou Criando um novo arquivo esquemático

Assim que o software *LTspice* é aberto, pode-se ver a janela mostrada na Figura 1. Para abrir um arquivo esquemático já existente, basta clicar no botão **“Open”** e selecionar o arquivo desejado. Já para criar um novo arquivo, é necessário clicar no botão **“New Schematic”** para será criado um novo arquivo com a extensão **.asc**.

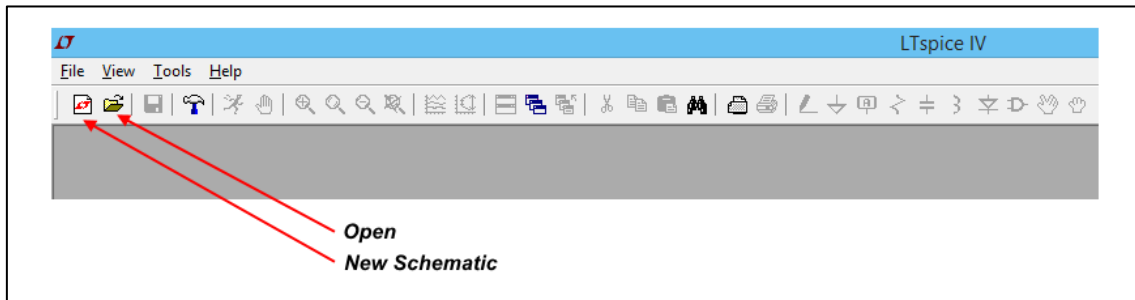


Figura 1 - Janela inicial do LTspice

Utilizando o botão **“Save”** é possível dar um nome a esse novo arquivo esquemático, que por sua vez será salvo como **“Draft1.asc”**. Também é possível alterar esse nome para um outro nome desejado, acessando o menu **“File”** da barra de menu e depois a opção **“Save As”**, como mostrado na Figura 2.

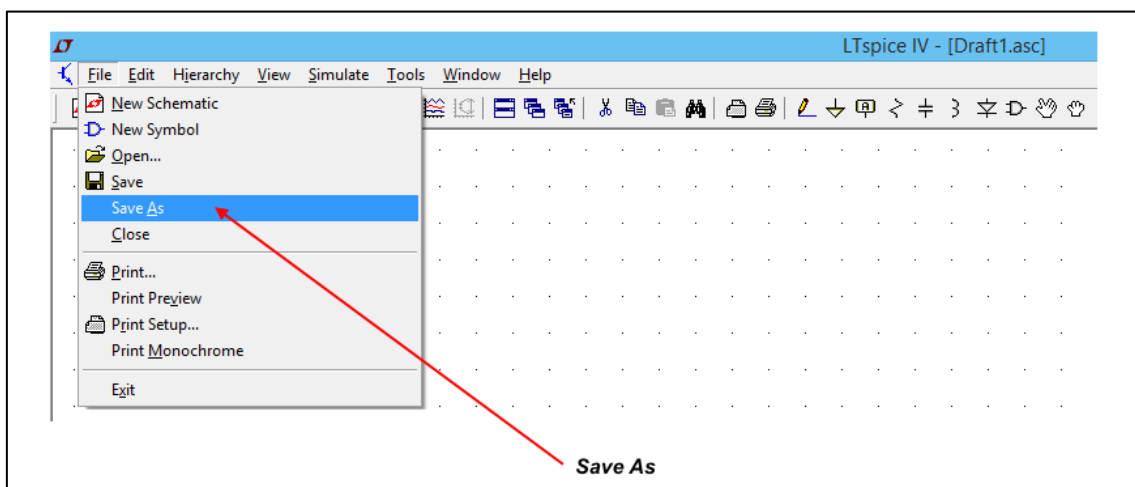


Figura 2 - Salvando o arquivo

2. Inserindo componentes

Para inserir componentes no esquemático, há disponíveis alguns botões na barra de tarefas: **“Ground”**, **“Resistor”**, **“Capacitor”**, **“Inductor”**, **“Diode”**, **“Componente”**. Esses botões seguem ilustrados na Figura 3.

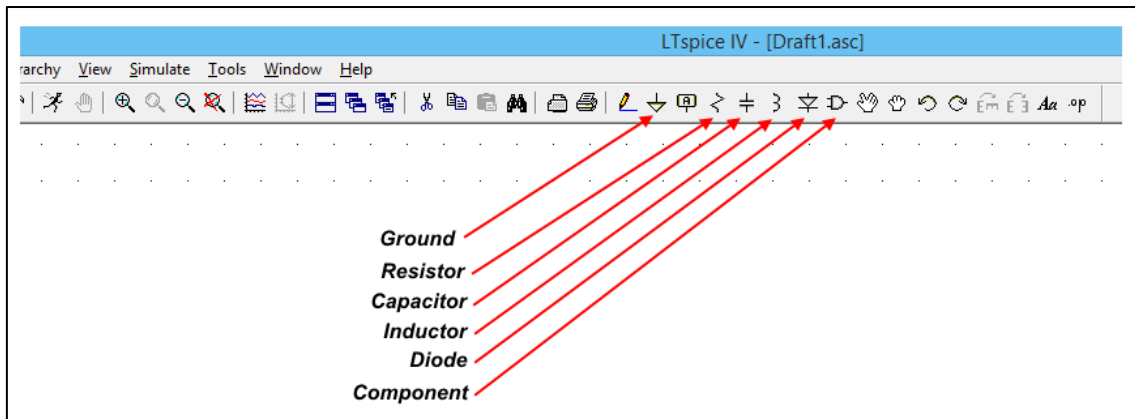


Figura 3 - Botões utilizados para inserir componentes

2.1. Inserindo o terminal Terra

Utilizando o botão **“Ground”** (vide na Figura 3), pode-se inserir o terminal Terra, ou terminal de Referência, que como o próprio nome diz, serve de referência para as medições de tensões de corrente durante a simulação do circuito. Vide o terminal de referência na Figura 4.

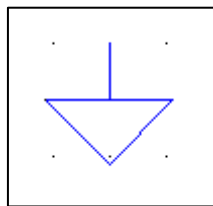


Figura 4 - Terminal de referência

2.2. Inserindo um Resistor

Utilizando o botão **“Resistor”** (vide na Figura 3), pode-se inserir um resistor no esquemático. Observando a Figura 5, pode-se ver que ao inserir um resistor tem-se dois campos de identificação. O campo escrito **“R1”** que é a identificação daquele determinado resistor dentro do esquemático, que por sua vez, é única, ou seja, apenas um resistor possui o nome de **“R1”**, e assim por diante. Clicando-se com o botão direito do mouse sobre esse texto **“R1”** é possível colocar qualquer nome que se desejar. Mais abaixo, tem-se o campo estrito **“R”** o qual se refere ao valor da resistência do resistor. Mais uma vez, clicando-se com o botão direito do mouse sobre este campo podemos alterá-lo.

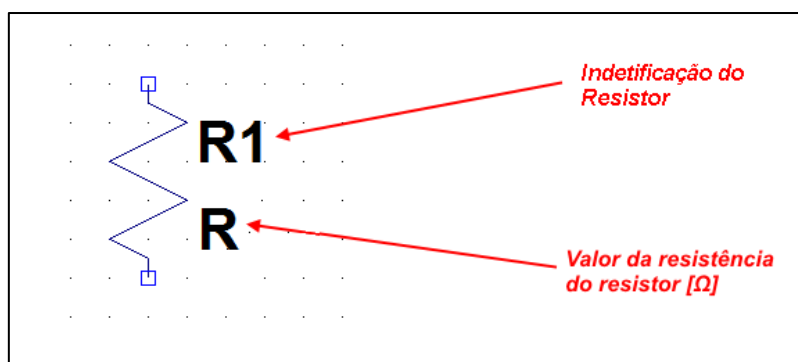


Figura 5 - Resistor inserido no esquemático

A Tabela 1 mostra exemplos de valores e ordens de grandezas na forma que devem ser escritos no *LTspice*.

Tabela 1 - Múltiplos e Submúltiplos no *LTspice*

Múltiplos	Valor da grandeza		Escrita no <i>LTspice</i>
femto	5fΩ	$5 \times 10^{-15}\Omega$	5f
pico	47pΩ	$47 \times 10^{-12}\Omega$	47p
nano	100nΩ	$100 \times 10^{-9}\Omega$	100n
micro	330μΩ	$330 \times 10^{-6}\Omega$	330u
mili	120mΩ	$120 \times 10^{-3}\Omega$	120m ou 0.120
	10Ω	10Ω	10 ou 10R
kilo	4700Ω	$4.7 \times 10^3\Omega$	4700 ou 4k7 ou 4.7k
	120kΩ	$120 \times 10^3\Omega$	120k
mega	10MΩ	$10 \times 10^6\Omega$	10mega
giga	4GΩ	$4 \times 10^9\Omega$	4giga

***Obs:** a tabela faz referência à valores de resistência elétrica, porém a mesma analogia é utilizada para as grandezas: indutância [H], capacitância [F], tensão [V], corrente [A] e frequência [Hz].

2.3. Inserindo um Capacitor

Utilizando o botão **“Capacitor”** (vide na Figura 3) pode-se inserir um capacitor no esquemático. Observando a Figura 6, pode-se ver que ao inserir um capacitor tem-se dois campos de identificação. O campo escrito **“C1”** que é a identificação daquele determinado capacitor dentro do esquemático. Clicando-se com o botão direito do mouse sobre esse texto **“C1”** é possível colocar qualquer nome que se desejar. Mais abaixo, tem-se o campo estrito **“C”** o qual se refere ao valor da capacitância do capacitor. Mais uma vez, clicando-se com o botão direito do mouse sobre este campo podemos altera-lo. O valor é configurado conforme é ilustrado na Tabela 1.

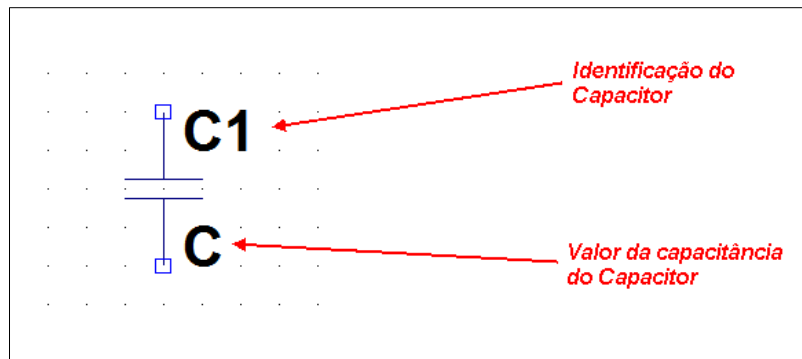


Figura 6 - Capacitor inserido no esquemático

2.4. Inserindo um Indutor

Utilizando o botão **“Inductor”** (vide na Figura 3) pode-se inserir um indutor no esquemático. Observando a Figura 7, pode-se ver que ao inserir um indutor, tem-se dois campos de identificação. O campo escrito **“L1”** que é a identificação daquele determinado indutor dentro do esquemático. Clicando-se com o botão direito do mouse sobre esse texto **“L1”** é possível colocar qualquer nome que se desejar. Mais abaixo, tem-se o campo estrito **“L”** o qual se refere ao valor da indutância do indutor. Mais uma vez, clicando-se com o botão direito do mouse sobre este campo podemos alterá-lo. O valor é configurado conforme é ilustrado na Tabela 1.

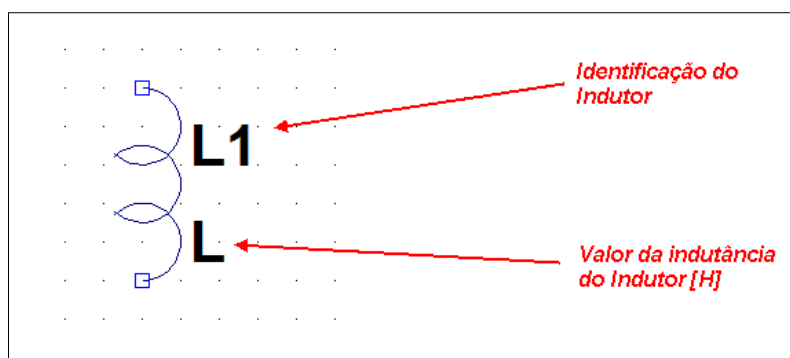


Figura 7 - Indutor inserido no esquemático

2.5. Inserindo um Diodo Retificador

Utilizando o botão **“Diode”** (vide na Figura 3) pode-se inserir um diodo no esquemático. Observando a Figura 8, pode-se ver que ao inserir um diodo, teremos dois campos de identificação. O campo escrito **“D1”** que é a identificação daquele determinado diodo dentro do esquemático. Clicando-se com o botão direito do mouse sobre esse texto **“D1”** é possível colocar qualquer nome que se desejar. Mais abaixo, tem-se o campo estrito **“D”**, que se refere a qual modelo de diodo está sendo utilizado. Caso este último campo não for alterado, o diodo retificador se comportará como um diodo ideal.

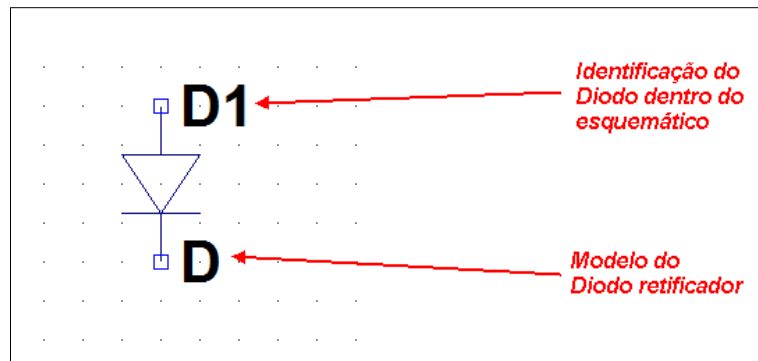


Figura 8 - Diodo inserido no esquemático

Para que se possa seleccionar um modelo de diodo dentro da biblioteca do *LTspice* deve-se clicar com o botão direito do mouse sobre o corpo do componente e então a janela “Diode - D1”, mostrada na Figura 9, se abrirá. Nesta, pressione o botão “Pick New Diode” e, na nova janela “Select Diode” que se abriu, selecione o diodo de sua preferência na lista e, por fim, pressione o botão “OK”.

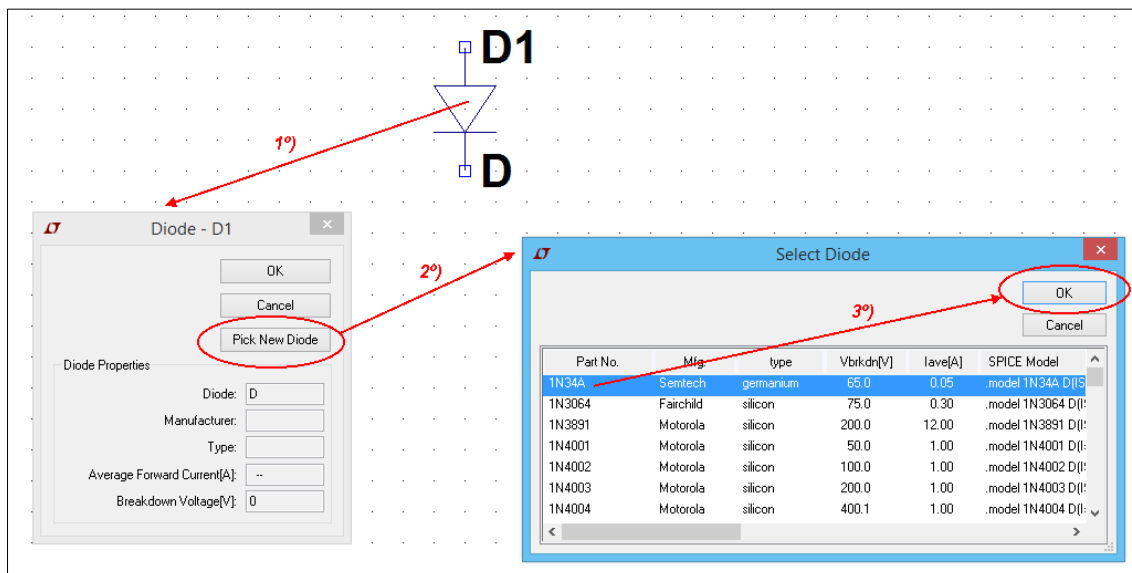


Figura 9 - Selecionando um diodo na biblioteca

2.6. Inserindo outros componentes

Utilizando o botão “**Component**” (vide na Figura 3) pode-se inserir diversas outras entidades no esquemático, fontes de tensão, fontes de corrente e até mesmo componentes semicondutores específicos utilizados na prática. Quando este botão é pressionado, a janela “*Select Component Symbol*” se abre. Pode-se seleccionar o componente ou entidade a ser inserida digitando o nome do componente no campo destacado na Figura 10 ou também pode-se buscar o item com o auxílio do mouse a partir de uma lista existente na biblioteca.

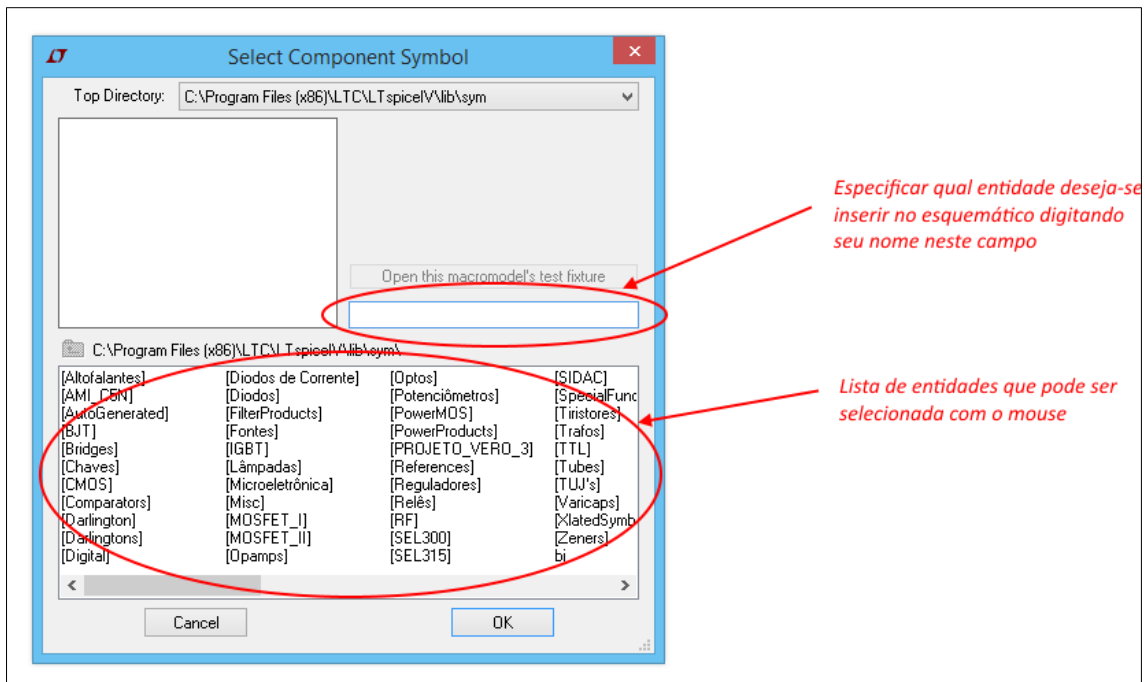


Figura 10 - Inserindo outros componentes

2.6.1. Fonte de Tensão

Apertando o botão **“Component”** a janela **“Select Component Symbol”** é aberta. Logo após, digite **“voltage”** no campo destacado no Figura 11 e em seguida pressione **“OK”**.

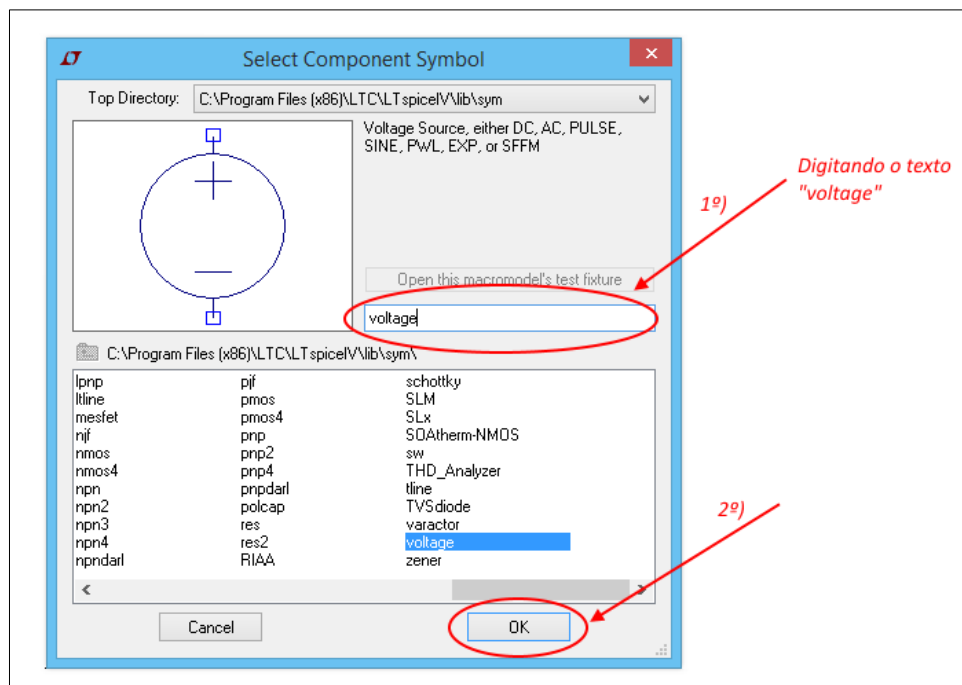


Figura 11 - Inserindo uma fonte de tensão

Este comando vai inserir no esquemático uma Fonte de tensão independente, que por sua vez, será representada como mostra a Figura 12, contendo um campo escrito “V1” que é a identificação da Fonte dentro do esquemático. Clicando-se com o botão direito do mouse sobre esse texto “V1” é possível colocar qualquer nome que se desejar. Mais abaixo, tem-se o campo escrito “V”, que se refere ao valor do potencial DC dessa Fonte. Este campo deve ser alterado antes do início da simulação, o mesmo é configurado conforme é ilustrado na Tabela 1.

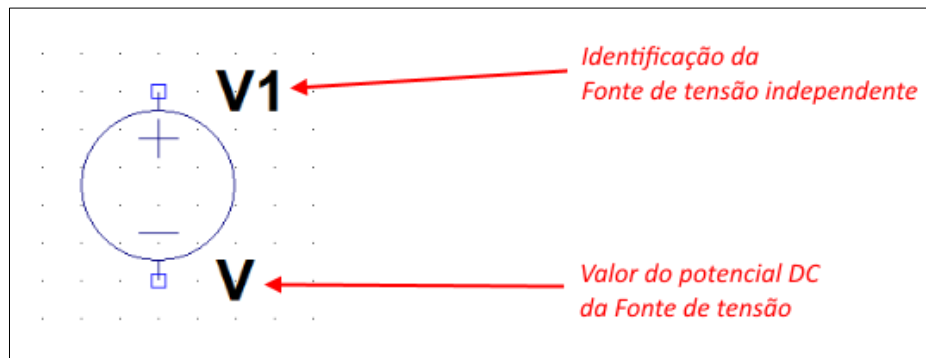


Figura 12 - Fonte de tensão inserida no esquemático

2.6.1.1. Configurando tipos de sinais em Fontes

Uma fonte de tensão ou corrente, quando inserida no simulador LTspice pode fornecer diferentes tipos de sinais, tornando assim, os recursos bem mais completos ao trabalho requerido. Estes tipos de sinais podem ser: potencial DC, potencial AC para pequenos sinais, onda senoidal, onda quadrada, onda triangular, rampa ascendente, rampa descendente, pulsos, degrau, assim como outros. Mais adiante serão citados exemplos de configuração de sinais em fontes de tensão, porém esses diferentes tipos de sinal podem ser configurados, tanto em fontes de tensão, como em fontes de corrente.

Depois de inserir uma fonte de tensão, clique com o botão direito do mouse sobre a fonte, então se abrirá a janela “Voltage Source - V1”, depois clique no botão “Advanced” para que a próxima janela “Independent Voltage Source - V1” se abra, assim como é mostrado na Figura 13.

Obs: Os valores de amplitude, tempo, etc são configurados conforme já mostrado anteriormente na Tabela 1.

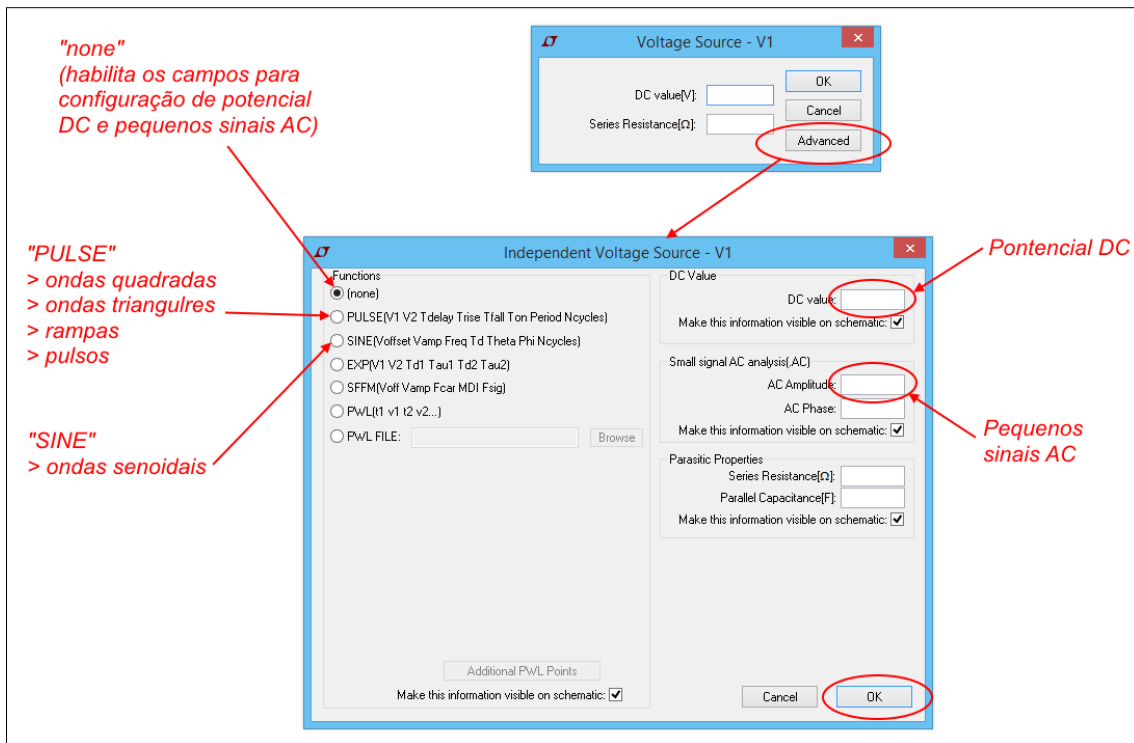


Figura 13 - Configuração dos sinais de uma fonte de tensão

2.6.1.1.1. Potencial DC

Para atribuir um potencial DC à fonte, ou seja, dizer que essa fonte fornece uma tensão contínua, basta inserir no campo “DC Value” da janela “Independent Voltage Source - V1” o valor desejado em volts, assim como destacado na Figura 13. Outra forma de apontar a tensão da fonte DC é, simplesmente, clicando-se com o botão direito do mouse sobre esse texto “V1” que aparece logo após a inserção da fonte (vide Figura 12) e alterá-lo.

Obs: quando utiliza-se um potencial DC ou pequenos sinais AC, deve-se manter a opção “(none)” habilitada.

****Exemplo 1:** a Figura 14 mostra uma fonte de tensão com **potencial 9V** e a Figura 15 ilustra esse sinal medido pelo simulador.

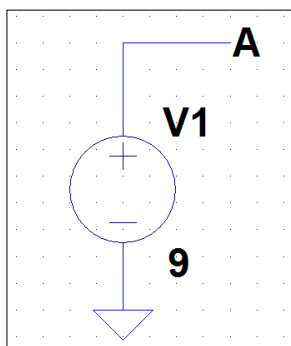


Figura 14 - fonte de tensão configurada conforme exemplo 1

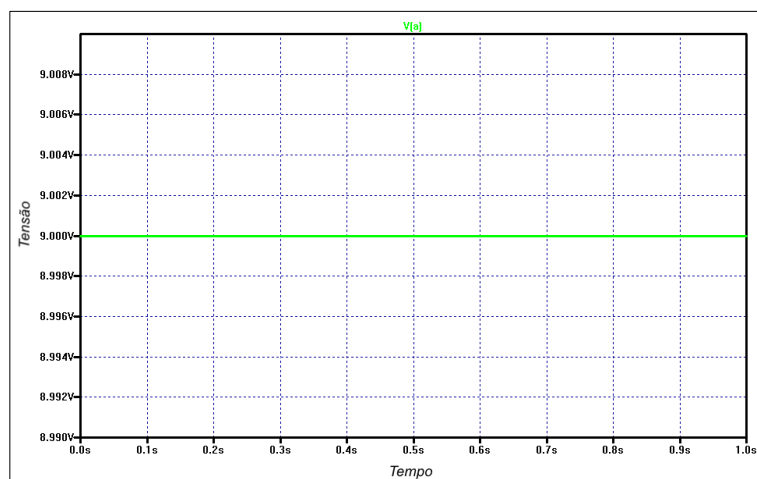


Figura 15 - Sinal da fonte do exemplo 1 medido no simulador

2.6.1.1.2. Onda senoidal

Para configurar uma fonte com um sinal senoidal selecione a opção “SINE(Voffset Vamp Freq Td Ttheta Phi Ncycles)” da janela “Independent Voltage Source - V1”, mostrada na Figura 13. Então se abrirão algumas opções de configuração das características da onda. Nesses campos, indicados na Figura 16, é possível apontar as seguintes características da onda: tensão média, amplitude, tempo de atraso, etc.

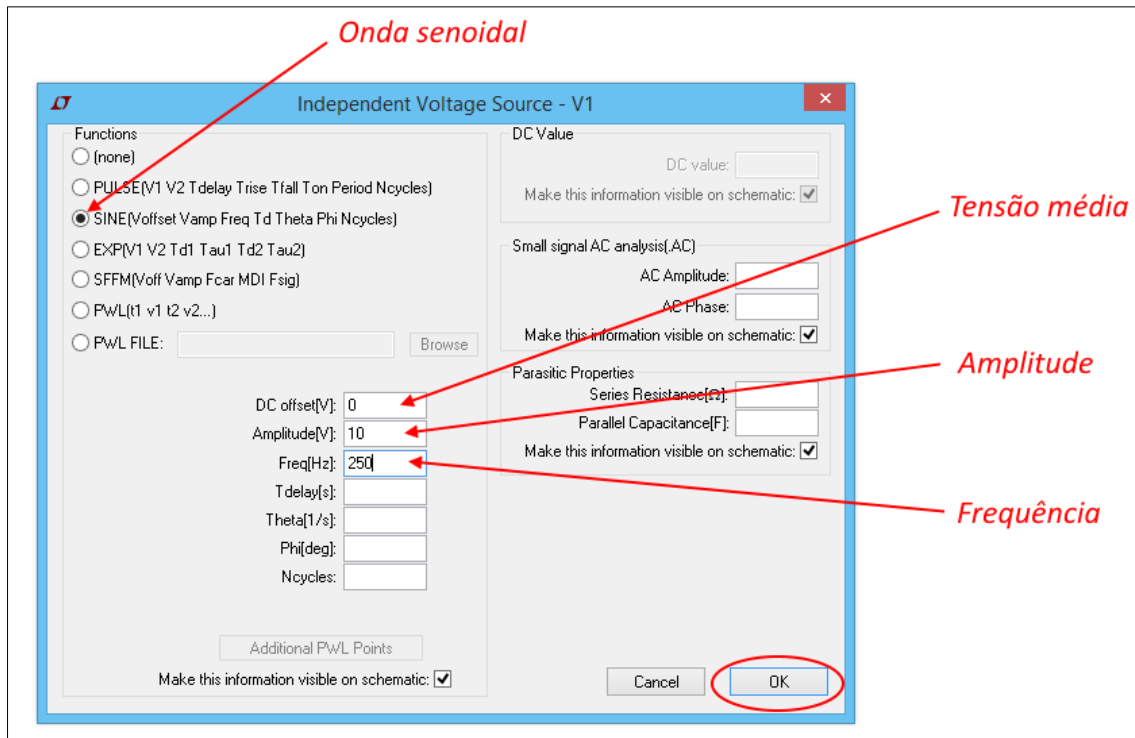


Figura 16 - Configuração de um sinal senoidal em uma fonte de tensão

****Exemplo 2:** a Figura 17 mostra uma fonte de tensão configurada com sinal senoidal de **amplitude 10V, tensão média 0V e frequência 250Hz**. Já a Figura 18 ilustra esse sinal medido pelo simulador.

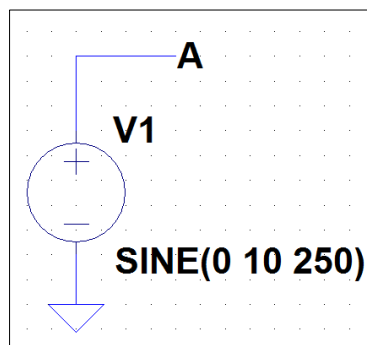


Figura 17 - Fonte de tensão configurada conforme exemplo 2

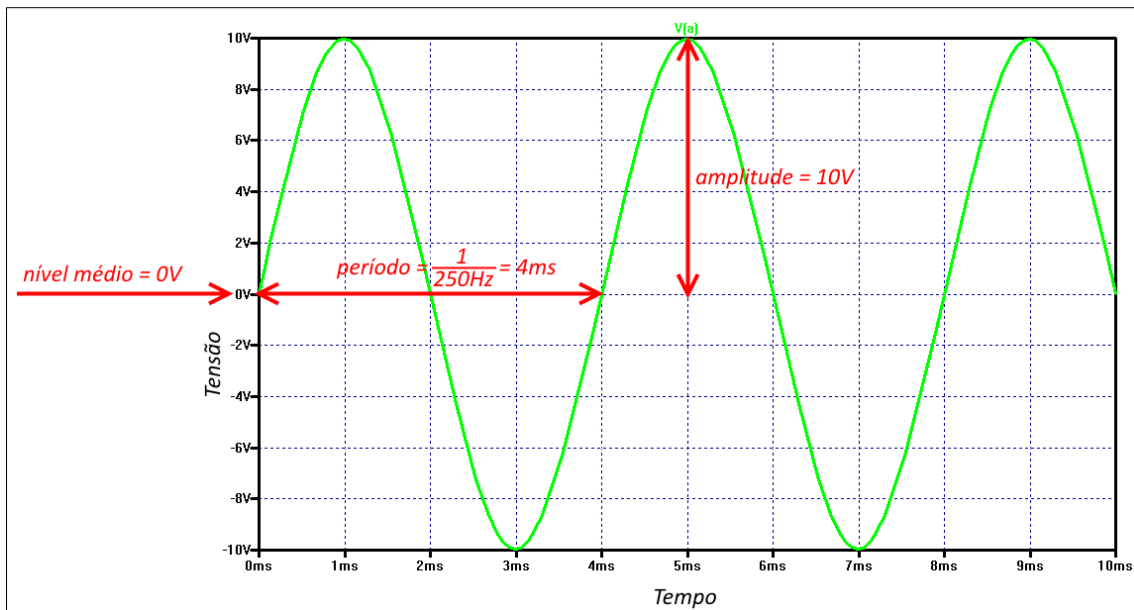


Figura 18 - Sinal da fonte do exemplo 2 medido no simulador

2.6.1.1.3. Onda quadrada

Para configurar uma fonte com um sinal de onda quadrada, selecione a opção “PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)” da janela “Independent Voltage Source - V1”, mostrada na Figura 13. Então se abrirão algumas opções de configuração das características da onda. Nesses campos, indicados na Figura 19 é possível apontar as seguintes características da onda: tensão em *off* e em *on*, tempos de atraso, subida, descida, ligado, total de período, etc.

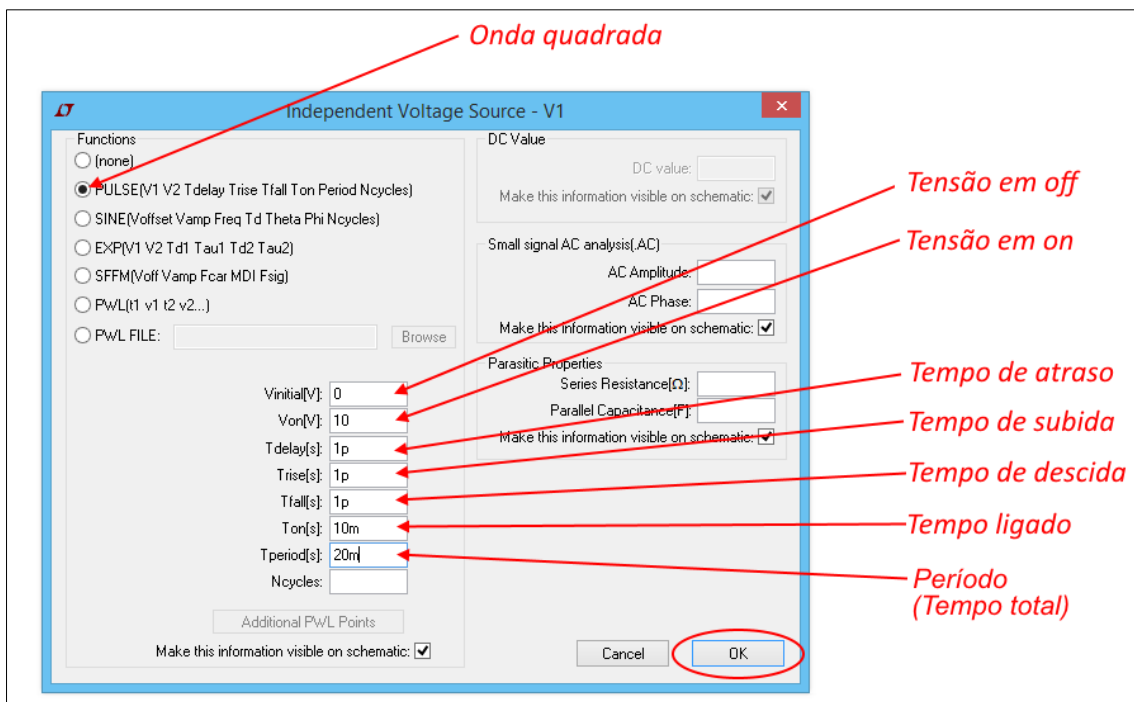


Figura 19 - Configuração de um sinal de onda quadrada em uma fonte de tensão

*Exemplo 3: a Figura 20 mostra uma fonte de tensão configurada com sinal de onda quadrada de **tensão 10V em on, 0V em off, tempo de atraso 1ps, tempo de subida 1ps, tempo de descida 1ps, tempo ligado 10ms e período de 20ms**. Já a Figura 21 ilustra esse sinal medido pelo simulador.

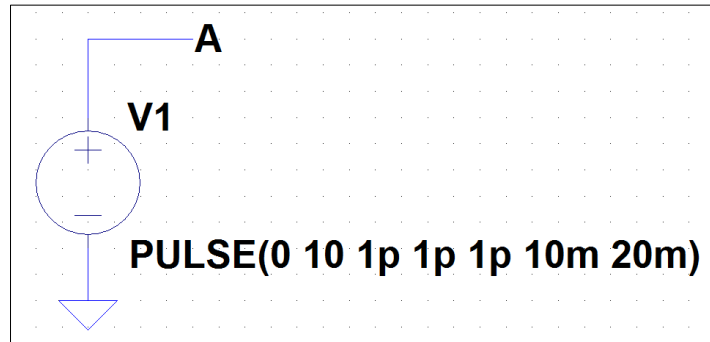


Figura 20 - Fonte de tensão configurada conforme exemplo 3

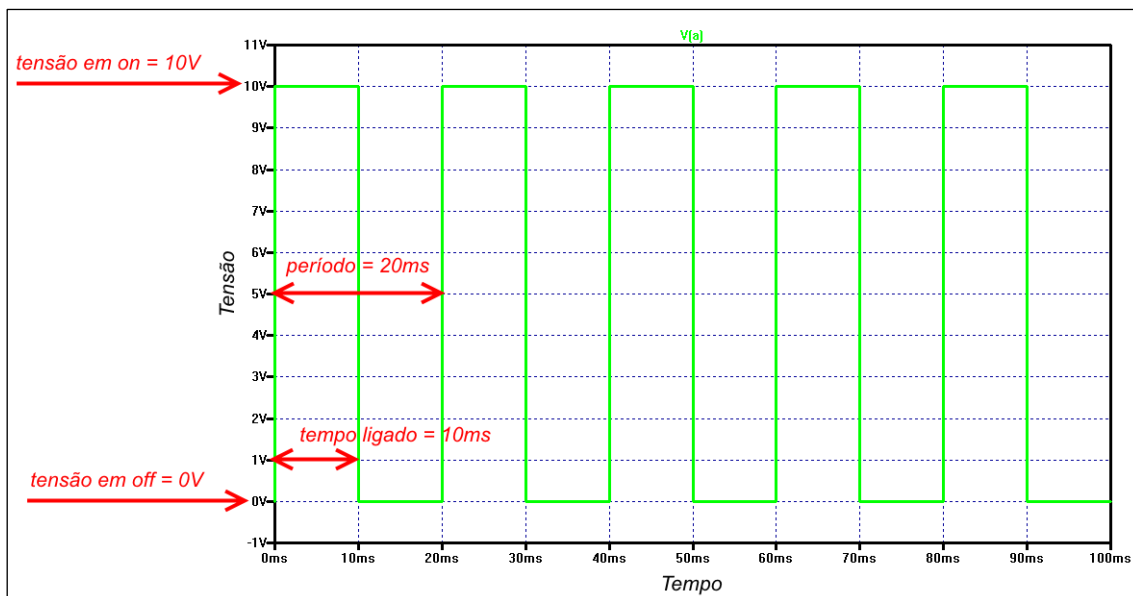


Figura 21 - Sinal da fonte do exemplo 3 medido no simulador

2.6.1.1.4. Onda triangular

Para configurar uma fonte com um sinal de onda triangular selecione a opção “*PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)*” da janela “*Independent Voltage Source - V1*”, mostrada na Figura 13. Então se abrirão algumas opções de configuração das características da onda. Nesses campos, indicados na Figura 22 é possível apontar as seguintes características da onda: tensão em *off* e em *on*, tempos de atraso, subida, descida, ligado, total de período, etc.

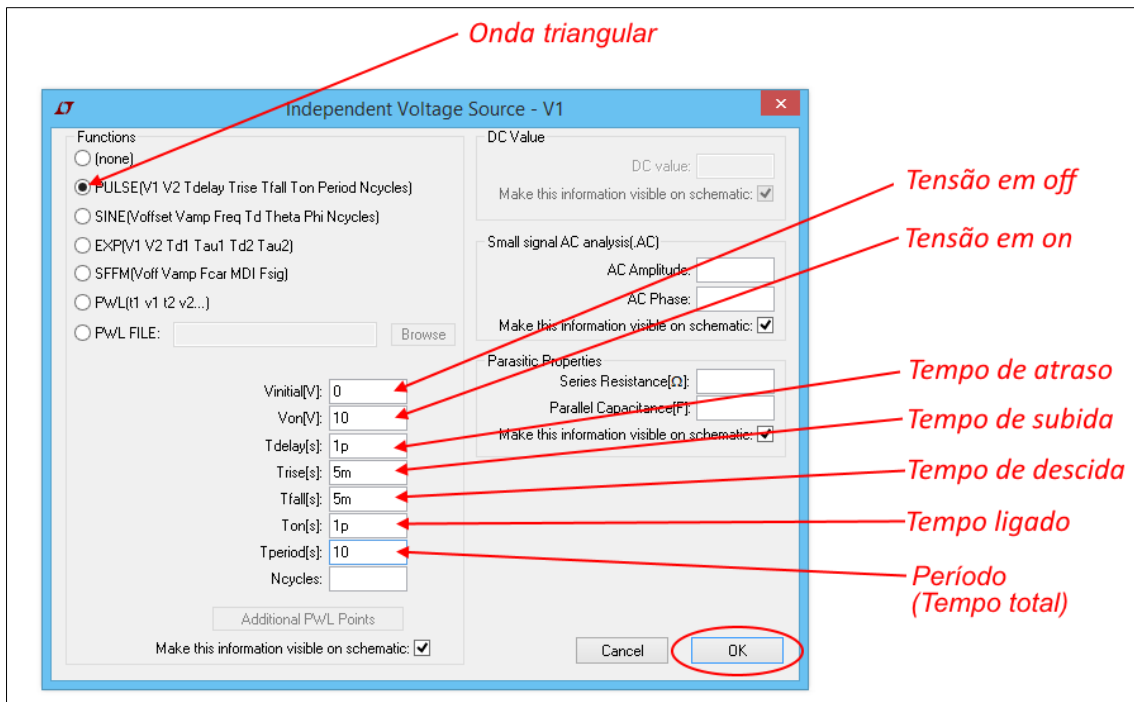


Figura 22 - Configuração de um sinal de onda triangular em uma fonte de tensão

****Exemplo 4:** a Figura 23 mostra uma fonte de tensão configurada com sinal de onda triangular de **tensão 10V em on, 0V em off, tempo de atraso 1ps, tempo de subida 5ms, tempo de descida 5ms, tempo ligado 1ps e período de 10ms**. Já a Figura 24 ilustra esse sinal medido pelo simulador.

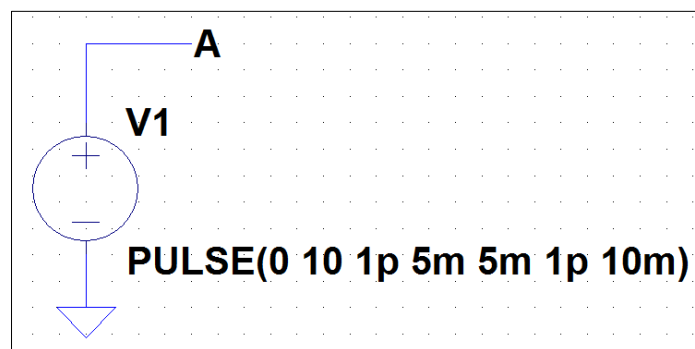


Figura 23 - Fonte de tensão configurada conforme exemplo 4

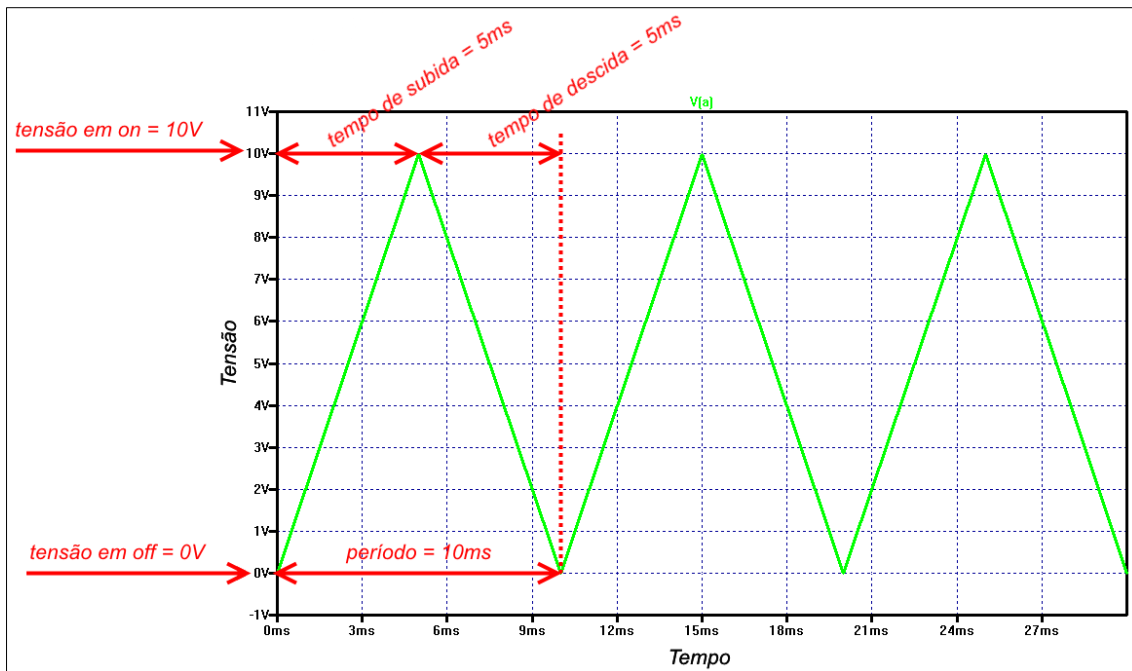


Figura 24 - Sinal da fonte do exemplo 4 medido no simulador

2.6.1.1.5. Rampa ascendente e rampa descendente

O sinal de rampa ascendente trata-se de uma onda triangular, porém com tempo de subida bem maior que o tempo de descida, que por sua vez, é praticamente nulo. Já a rampa descendente, tem o tempo de descida bem maior que o tempo de subida, que por sua vez, também é nulo.

Para configurar esses sinais de rampa os passos são idênticos. Primeiramente, selecione a opção “PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)” da janela “Independent Voltage Source - V1”, mostrada na Figura 13. Então se abrirão algumas opções de configuração das características da onda. Nesses campos, indicados na Figura 22 é possível apontar as seguintes características da onda: tensão em off e em on, tempos de atraso, subida, descida, ligado, total de período, etc.

****Exemplo 5:** a Figura 25 mostra uma fonte de tensão configurada com sinal de rampa ascendente de **tensão 10V em on, 0V em off, tempo de atraso 1ps, tempo de subida 10ms, tempo de descida 1ps, tempo ligado 1ps e período de 10ms**. Já a Figura 26 ilustra esse sinal medido pelo simulador.

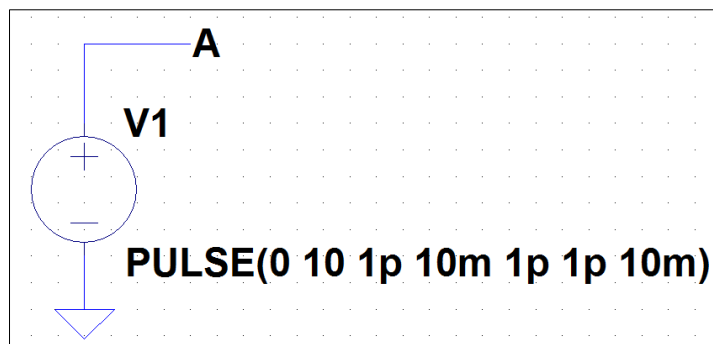


Figura 25 - Fonte de tensão configurada conforme exemplo 5

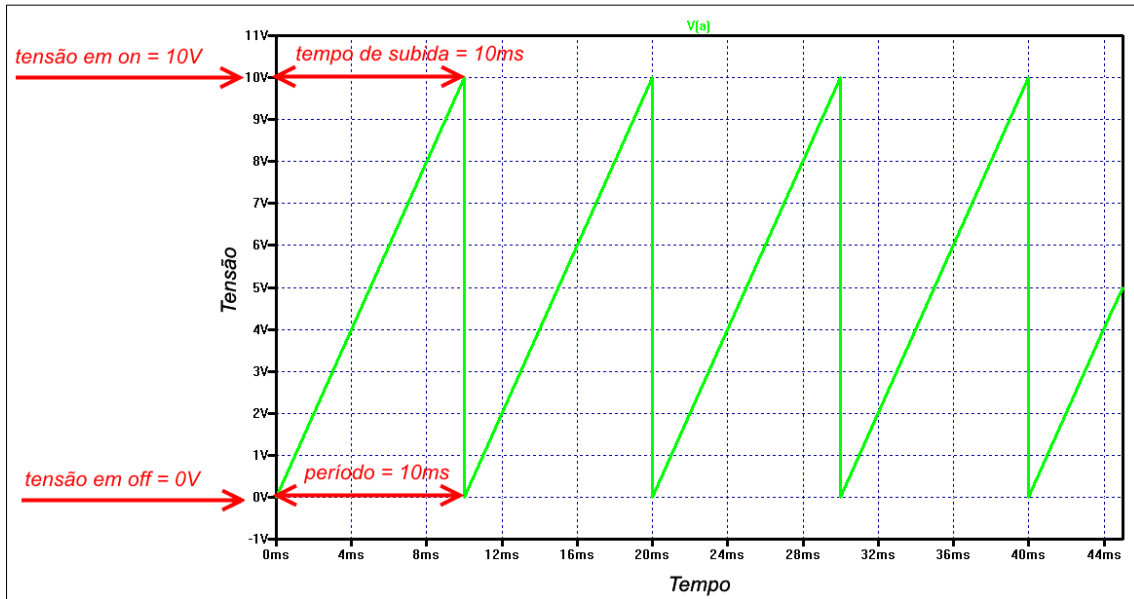


Figura 26 - Sinal da fonte do exemplo 5 medido no simulador

2.6.1.1.6. Sinal pulsante

O sinal pulsante trata-se de uma onda triangular, porém com certo tempo de atraso, um baixo tempo de subida e um também baixo tempo de descida. Para configurar esses sinais

Para configurar uma fonte com esses sinais de pulso selecione a opção "PULSE(V1 V2 Tdelay Trise Tfall Ton Period Ncycles)" da janela "Independent Voltage Source - V1", mostrada na Figura 13. Então se abrirão algumas opções de configuração das características da onda. Nesses campos, indicados na Figura 22 é possível apontar as seguintes características da onda: tensão em off e em on, tempos de atraso, subida, descida, ligado, total de período, etc.

****Exemplo 6:** a Figura 27 mostra uma fonte de tensão configurada com sinal pulsante **tensão de pico 10V em on, 0V em off, tempo de atraso 9ms, tempo de subida 0,5ms, tempo de descida 0,5s, tempo ligado 1ps e período de 10ms**. Já a Figura 28 ilustra esse sinal medido pelo simulador.

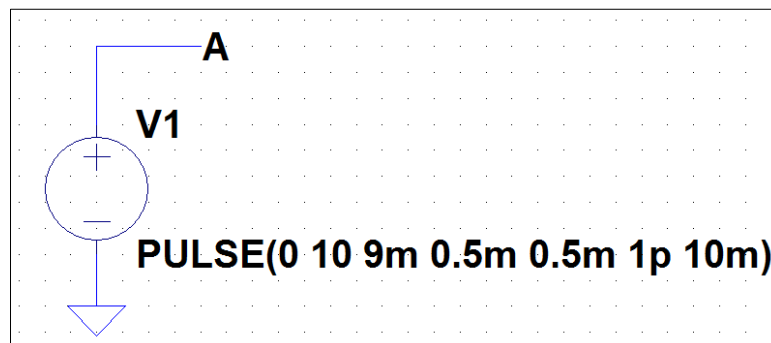


Figura 27 - Fonte de tensão configurada conforme exemplo 6

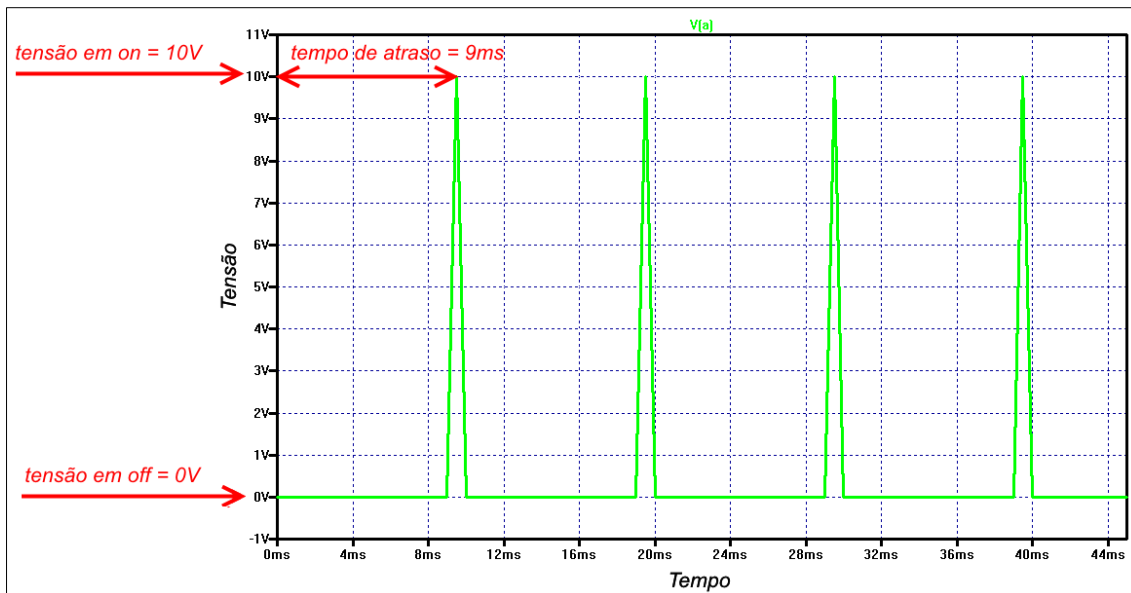


Figura 28 - Sinal da fonte do exemplo 6 medido no simulador

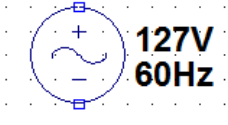
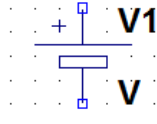
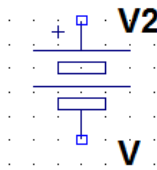
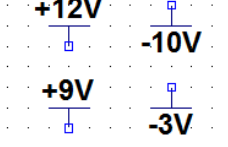
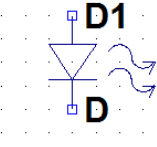
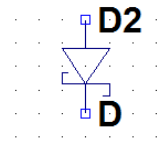
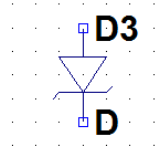
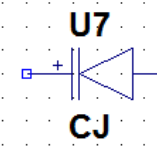
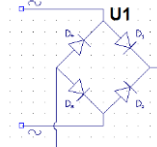
2.6.2. Componentes diversos

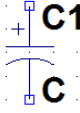
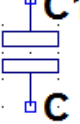
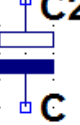

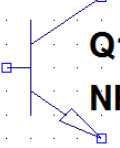
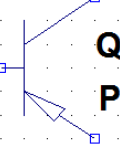
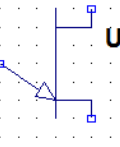
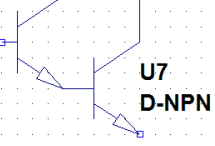
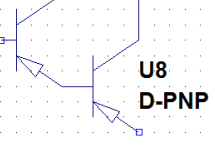
Ainda na janela “Select Component Symbol”, que é aberta apertando com o botão “**Component**”, pode-se inserir diversas outras entidades digitando-se um texto de referência. Na Tabela 2 temos diversas outras entidades/componentes que podem ser inseridos no esquemático e o respectivo texto que deve ser escrito no campo destacado no Figura 10 para busca-los.

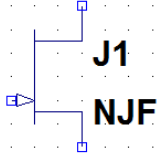
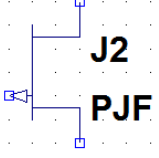
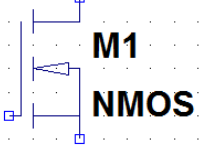
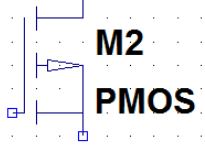
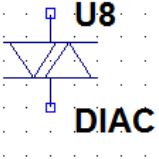
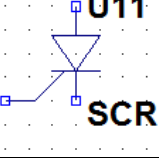
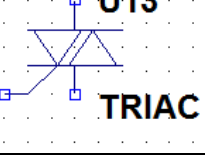
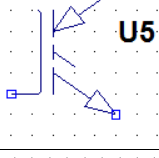
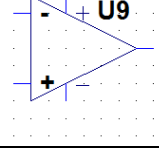
Importante: a biblioteca com os componentes citados neste trabalho, não é uma biblioteca padrão do software LTspice IV. A biblioteca utilizada aqui é a biblioteca do LTspice disponibilizada, de forma online, pelo **Professor Paulo Roberto Veronese** para os alunos do curso de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

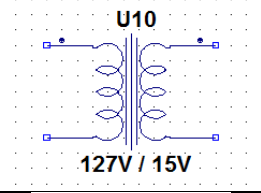
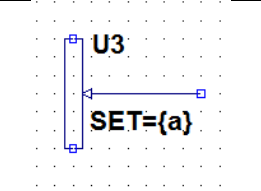
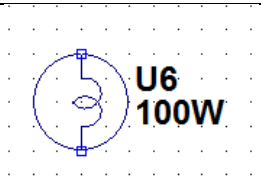
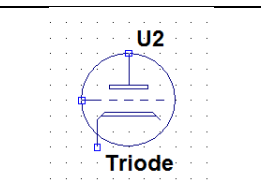
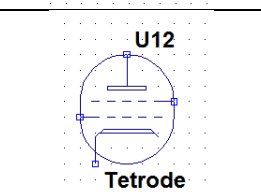
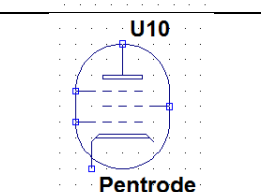
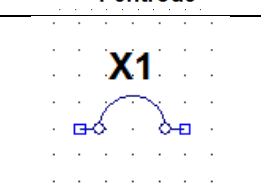
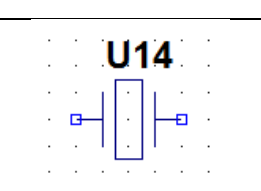
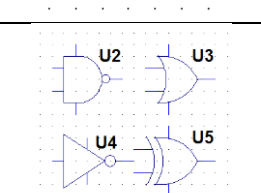
Tabela 2 - Códigos dos componentes na biblioteca do LTspice

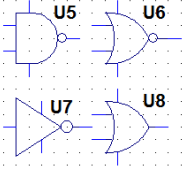
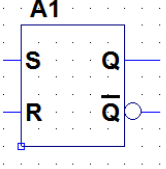
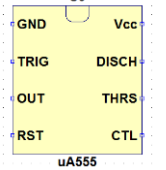
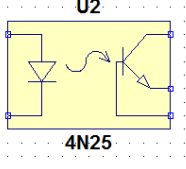
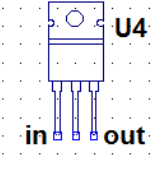
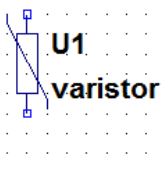
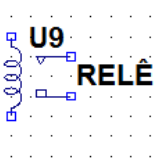
Símbolo	Componente	Texto para procura
	Fonte de tensão independente	voltage
	Fonte de corrente independente	current

	<p>Fonte de corrente alternada tensão eficaz de 127V e frequência de 60Hz</p>	<p>127v</p>
	<p>1 célula de bateria</p>	<p>cell</p>
	<p>2 células de bateria</p>	<p>battery</p>
	<p>Fontes fixas DC</p>	<p>+... -...</p>
	<p>Diodo emissor de luz (LED)</p>	<p>led</p>
	<p>Diodo schottky</p>	<p>schottky</p>
	<p>Diodo zener</p>	<p>zener</p>
	<p>Capacitor de junção</p>	<p>cj zc...</p>
	<p>Ponte retificadora de diodos</p>	<p>gb...</p>

	Capacitor polarizado	polcap
	Capacitor não-polarizado (simbologia europeia)	europeancap
	Capacitor polarizado (simbologia europeia)	europeanpolcap
	Resistor (simbologia europeia)	europeanresistor
	Transistor de junção bipolar NPN - (BJT NPN)	npn
	Transistor de junção bipolar PNP - (BJT PNP)	pnp
	Transistor unijunção (TUJ)	2n2646
	Transistor darlington NPN	npndarlington tip...
	Transistor darlington PNP	pnpdarlington tip...

	<p>Transistor de efeito de campo de junção - canal N (JFET canal N)</p>	<p>njf</p>
	<p>Transistor de efeito de campo de junção - canal P (JFET canal P)</p>	<p>pjf</p>
	<p>Transistor de efeito de campo metal-óxido-semicondutor - canal N (JFET canal N)</p>	<p>nmos</p>
	<p>Transistor de efeito de campo metal-óxido-semicondutor - canal P (JFET canal P)</p>	<p>pmos</p>
	<p>Diac</p>	<p>diac</p>
	<p>Retificador controlado de silício (SCR)</p>	<p>scr</p>
	<p>Triodo para corrente alternada</p>	<p>triac</p>
	<p>IGBT</p>	<p>ga...</p>
	<p>Amplificadores operacional</p>	<p>Im... lt...</p>

	Transformador	trafo15...
	Potenciômetro	p1...
	Lâmpada incandescente	L1...
	Válvula triodo	triode
	Válvula tetrodo	tetrode
	Válvula pentodo	pentode
	Jumper (emenda de dois fios com nomes de nó diferentes)	jumper
	Cristal de quartzo oscilador	xtal...
	Portas lógicas CMOS	cd...

	Portas lógicas TTL	74...
	Flip-flop RS	srflop
	Circuito integrado 555 (timer)	ua555
	Acoplador óptico	4n...
	Regulador de tensão	Lm78...
	Varistor	xvaristor v1...
	Relê	g5...

OBS: todas as vezes que é inserido um componente da Tabela 2 é possível especificá-lo e aponta-lo com um código existente no mercado. Para isso basta clicar em cima do corpo do componente com o botão direito do mouse, entrar no botão e *“Pick New nome do componente”*, (como exemplo, temos uma especificação de um transistor de junção bipolar na Figura 29. Depois de inserido, cicla-se com o botão direito do mouse, e na janela *“Bipolar Transistor - Q1”* entra-se no botão *“Pick New Diode”* e na nova janela *“Select Bipolar Transistor”* que se abriu, seleciona-se o transistor de sua preferência.

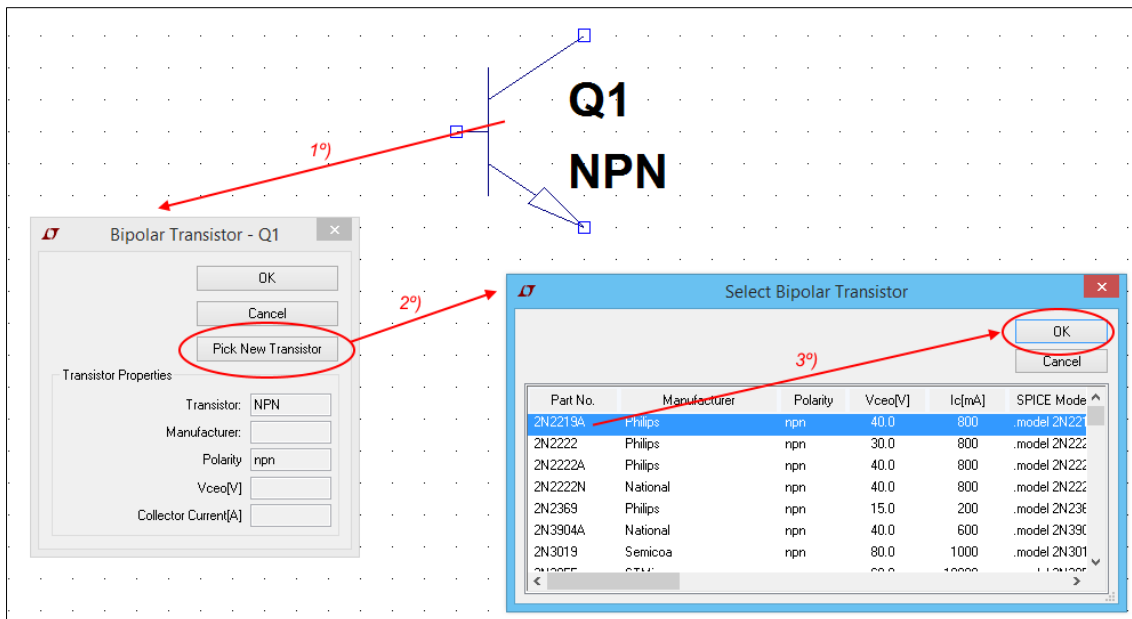


Figura 29 - Especificando um transistor da biblioteca do LTspice

3. Interligando e manipulando componentes

Além dos componentes, é possível inserir outras figuras no esquemático como fios de interligação e textos para auxiliar entendimento e simulação do circuito.

3.1. Fios de interligação

Depois que inserir-se os componentes necessários no esquemático é necessário fazer a ligação entre eles. Para tanto é utilizado o botão “Wire”, mostrado na Figura 30.

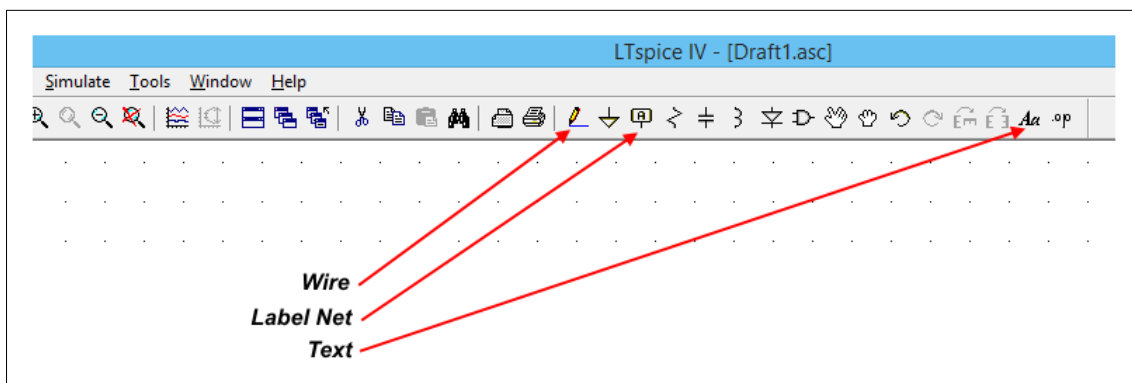


Figura 30 - Botões para inserir fios de interligação e textos

Depois disso, com o comando “Wire” ativado, basta clicar uma vez sobre o terminal do componente de onde sairá o fio e clicar outra vez sobre os terminais do componente onde chegará o fio (vide Figura 31). Para fazer um nó de ligação basta clicar no meio de um fio já desenhado que aparecerá sobre este um pequeno quadrado azul, indicando um nó.

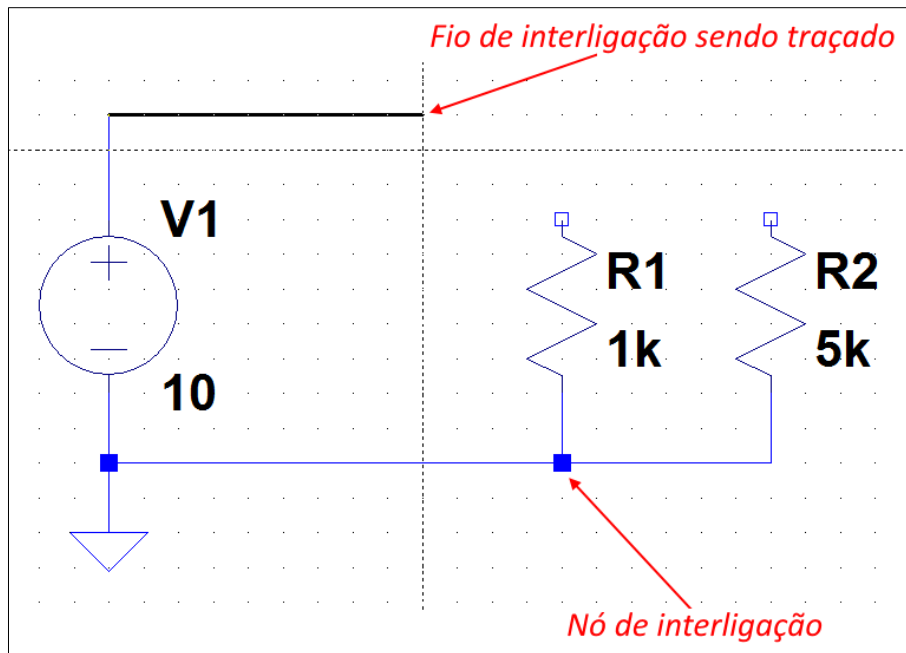


Figura 31 - Interligando componentes e criando nós

3.2. Identificação do fio

É possível atribuir uma identificação a um fio, dando qualquer nome que se queira a ele, assim em qualquer outra parte do esquemático que for inserido novamente o mesmo nome, o software *LTspice* entenderá que trata-se do mesmo ponto. Para tanto basta clicar no botão **“Label Net”** (Figura 30). Então a janela **“Net Name”**, depois basta escrever o nome do fio no campo indicado com um círculo na Figura 32, pressionar o botão **“OK”** e, com o mouse, selecionar a linha a qual deseja-se atribuir o nome no esquemático. A janela **“Net Name”** ainda tem mais duas opções: **“GND(global node 0)”**, que apresenta a mesma função do botão **“Ground”** (citado anteriormente na Figura 3) e também a opção **“COM”** que cria uma linha comum utilizando um símbolo já pré-definido pelo software. Na Figura 33 segue um exemplo de utilização do nome de fio, onde o nome atribuído ao fio foi **“exemplo”**.

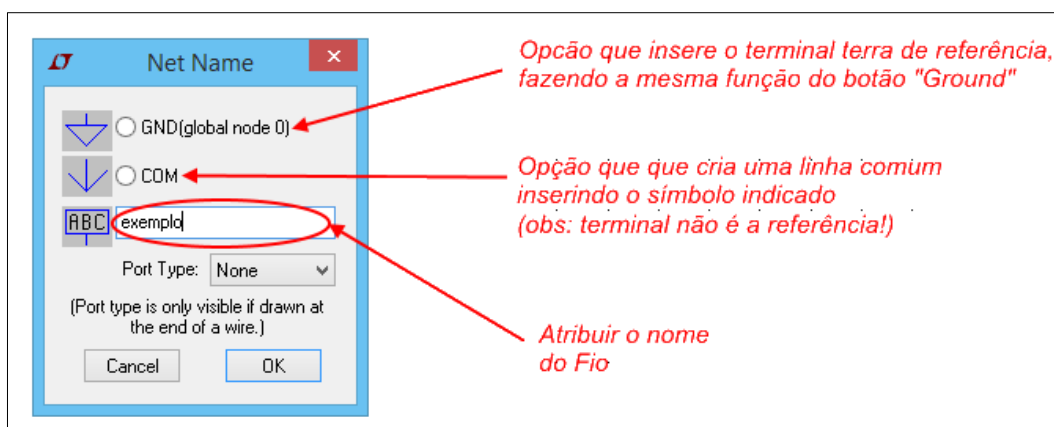


Figura 32 - Janela “Net Name” e atribuição de um nome ao fio

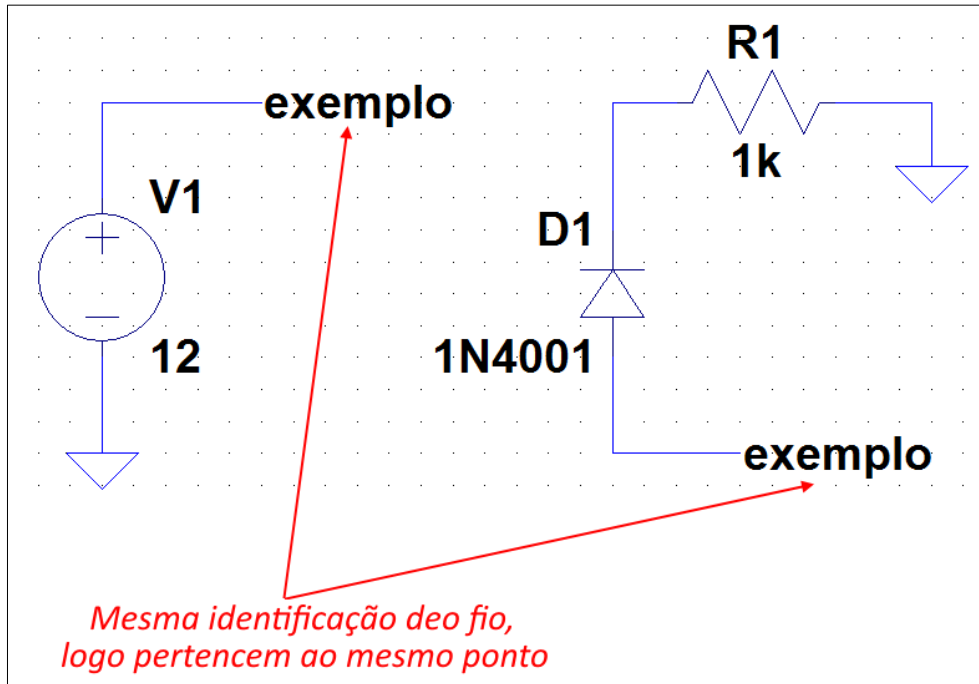


Figura 33 - Atribuindo um nome à uma fio

3.3. Inserindo caixas de texto

Para inserir caixas de texto no esquemático basta utilizar o botão **“Text”** mostrado na Figura 30. Este botão abre a janela **“Edit Text on the Eschematic”**. Nela devemos tomar o cuidado de manter a opção **“Comment”** ativada e digitar o texto a ser inserido no campo destacado na Figura 34. Também é possível configurar o tamanho da fonte da caixa de texto alterando o valor no campo **“FontSize”**.

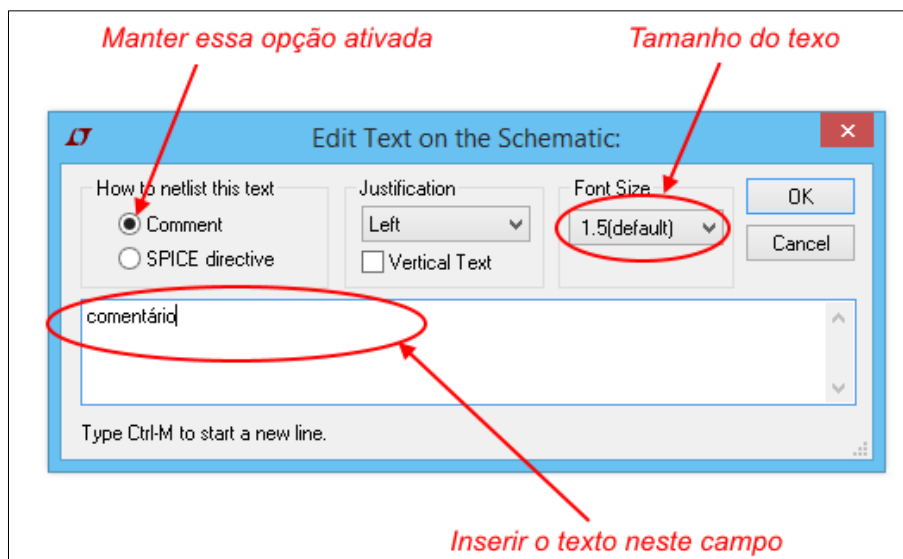


Figura 34 - inserindo um comentário no esquemático

3.4. Apagar e duplicar componentes

Para excluir um componente, basta pressionar o botão **“Cut”** localizado na Barra de tarefas e depois selecionar o que deve ser excluído com o mouse.

Para copiar componentes é usado o botão **“Copy”** da Barra de ferramentas. Uma vez pressionado, basta clicar sobre o componente que se deseja criar uma cópia e selecioná-lo, depois disso, o componente novo somente aguardará que clique no local onde será localizado.

Os botões **“Cut”** e **“Copy”** são ilustrados na Figura 35.

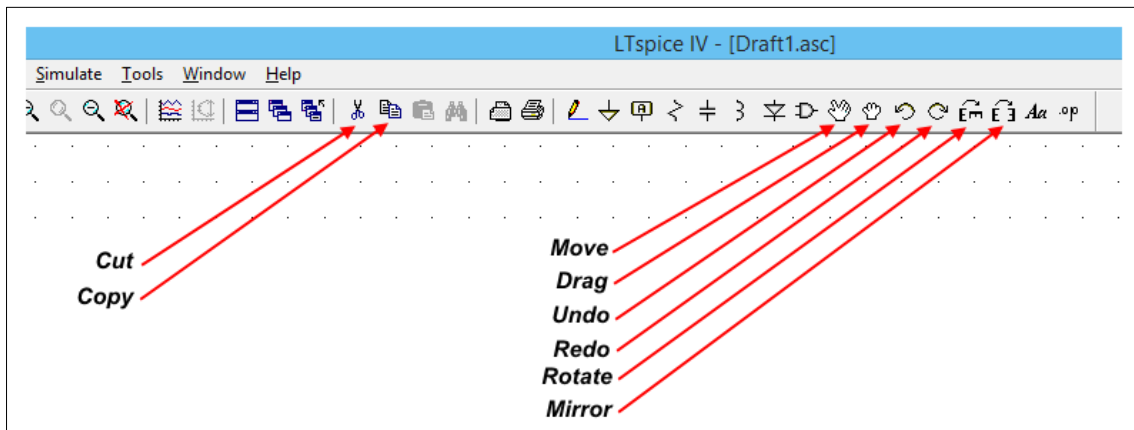


Figura 35 - Botões de manipulação de componentes dentro do esquemático

3.5. Mover e arrastar componentes

Durante ou depois da montagem do circuito eletrônico no esquemático pode ser necessário mudar componentes ou partes do circuito de lugar. Para tanto utilizamos os botões **“Move”** ou **“Drag”** (vide Figura 35). O primeiro desloca toda região selecionada até o local que se desejar, já o segundo move todos os componentes da região selecionada, porém não move os fios do circuito, do modo que os fios vão se adequando e criam novos caminhos para continuarem ligados aos componentes de origem.

Obs: somente o botão **“Drag”** é capaz de fazer com que os fios do circuito se liguem na diagonal.

O resultado da utilização dos botões **“Move”** e **“Drag”** são demonstrados nas Figura 36 e na Figura 37, respectivamente.

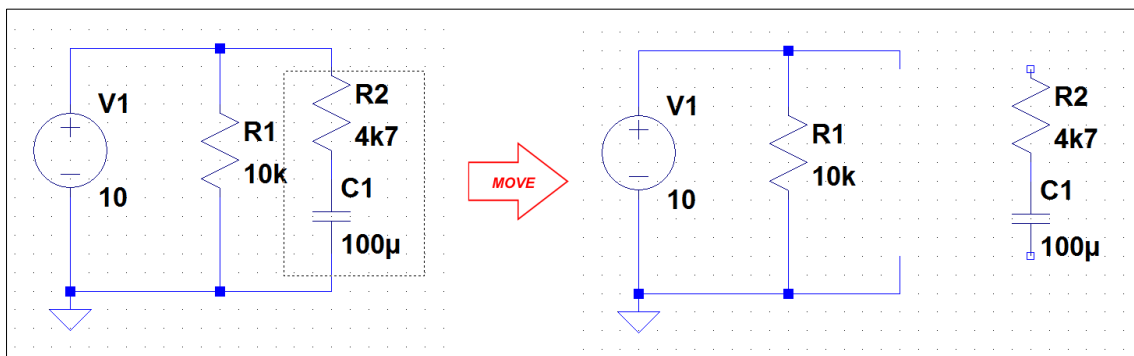


Figura 36 - Utilização do botão **“Move”**

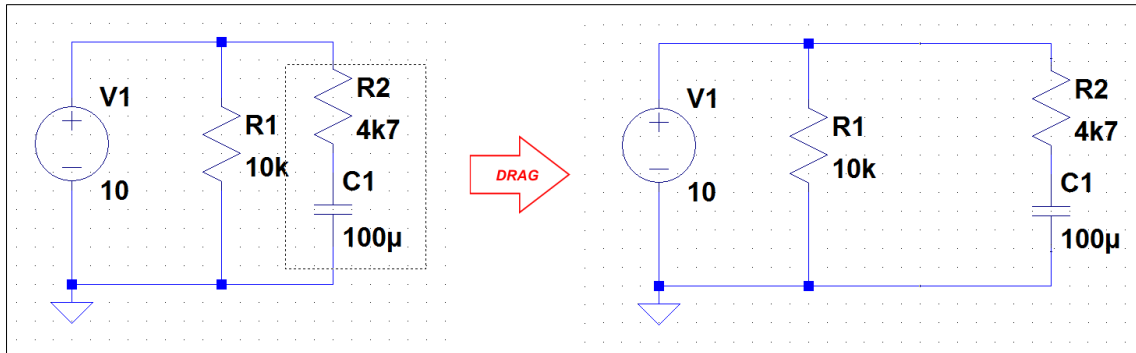


Figura 37 - Utilização do botão "Move"

3.6. Rotacionar e espelhar componentes

No instante que é inserido um componente, antes de clicar no esquemático, é possível rotacionar ou espelhar o mesmo. Estes comandos são acionados com os botões "**Rotate**" e "**Mirror**" presentes na Barra de tarefas (Figura 35), porém uma forma mais prática de utiliza-los é por meio dos atalhos do teclado: "Ctrl + R" para rotacionar o componente e "Ctrl + E" para espelhar o componente. Na Figura 38 e na Figura 39 são mostradas a utilização dos comandos *Rotate* e *Mirror*.

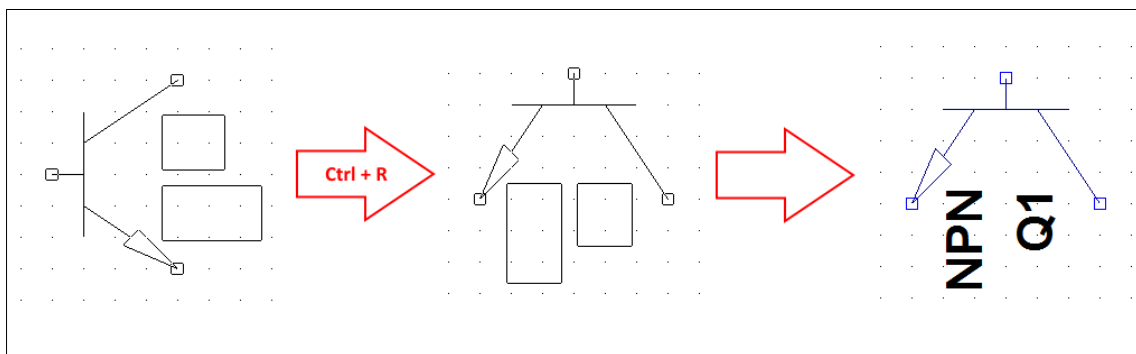


Figura 38 - Utilização do comando "Rotate" (Rotacionar)

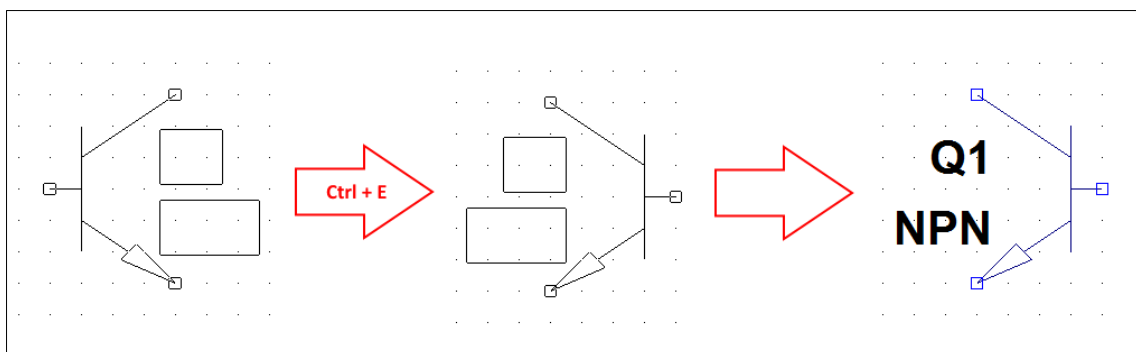


Figura 39 - Utilização do comando "Mirror" (Espelhar)

3.6. Desfazer e Refazer tarefas

Assim como em diversos outros softwares, temos as funções que desfazem e refazem a última tarefa executadas. Estas funções são muito úteis, pois, por algum descuido, é possível que possa ser movido mesmo removido algum componente sem intenção. A função de desfazer é acessada pelo botão “**Undo**” e a função de refazer é acessada pelo botão “**Redo**”, ambos localizados na Barra de Ferramentas assim como é mostrado na Figura 35.

4. Realizando simulações

É possível fazer simulações de circuitos de algumas formas diferentes, dependendo do resultado esperado. Pode-se: simular o comportamento de um circuito simplesmente analisando as tensões em cada nó e as correntes em cada malha referente; observar o comportamento do circuito em função do tempo; ou ainda, observar o comportamento do circuito diante da variação da grandeza de algum componente, como por exemplo, variação de tensão ou corrente de uma fonte, variação de resistência de um potenciômetro, variação de capacitância de um capacitor, etc.

4.1. Análise do ponto de operação

A análise do ponto de operação corresponde à medição de todas as tensões nodais e todas as correntes de malha do circuito. Para fazer esse tipo de análise no *LTspice*, depois de todo o circuito no esquemático montado e inserido o Terra de Referência (descrito no item 2.1 deste manual), deve-se configurar a simulação.

Para configurar a simulação, assim como mostra a Figura 40, entre em “*Simulate*” na Barra de menu e logo após escolha a opção “*Edit Simulation Cmd*” para que a janela “*Edit Simulation Command*” seja aberta.

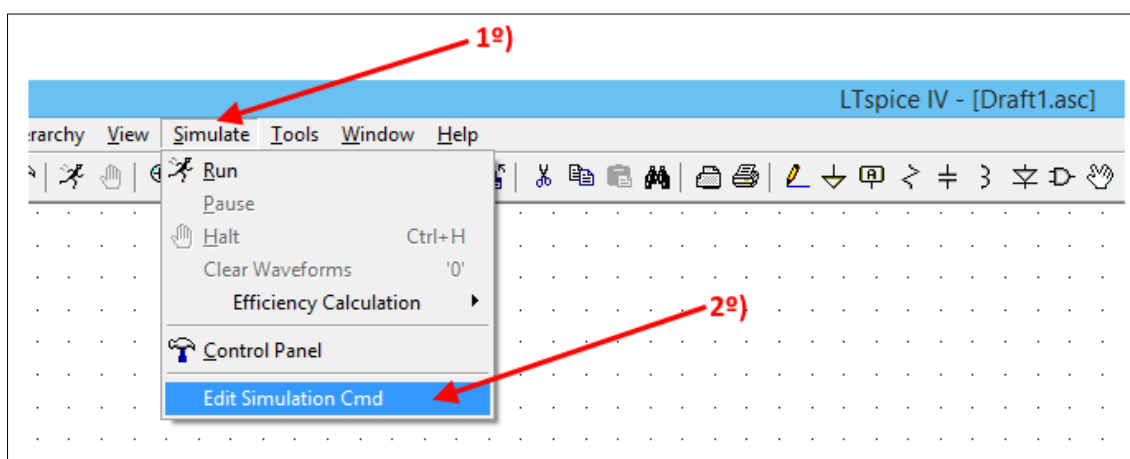


Figura 40 - Entrando no menu de configuração da simulação

Já nesta janela da Figura 41, selecione a guia “*DC op pnt*” e depois clique em “*OK*”. O parâmetro “*.op*” ficará preparado para ser inserido no esquemático, então clique e coloque-o em num ponto qualquer de sua preferência.

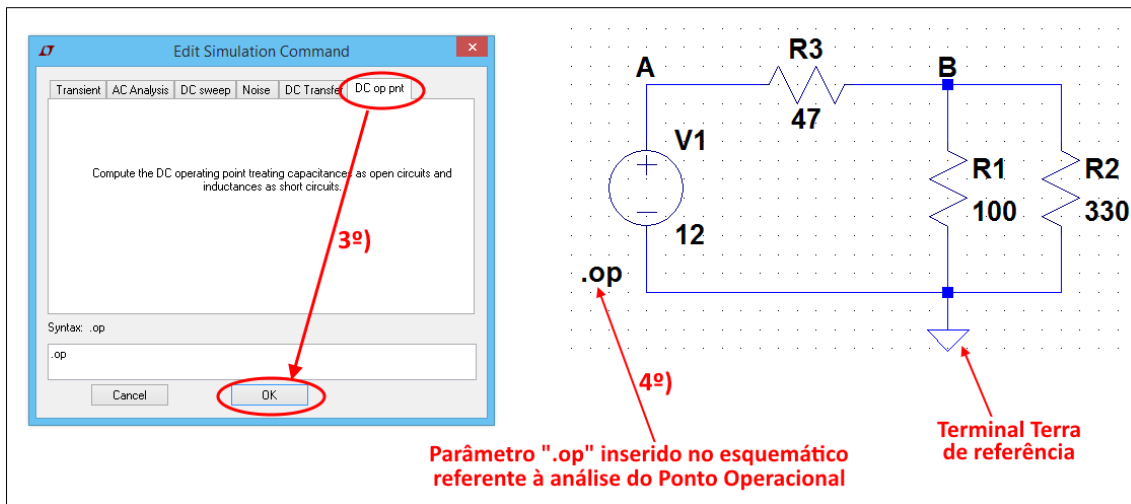


Figura 41 - Inserindo o parâmetro ".op" no esquemático

Finalmente, depois dessas etapas, pode-se realizar a simulação clicando no botão **"Run"**. Logo que clicamos no botão, o software *LTspice* calcula as tensões nos nós e as correntes nas malhas de todo circuito. Estes valores são mostrados numa janela que é aberta logo após o início da simulação, conforme pode ser visto na Figura 42.

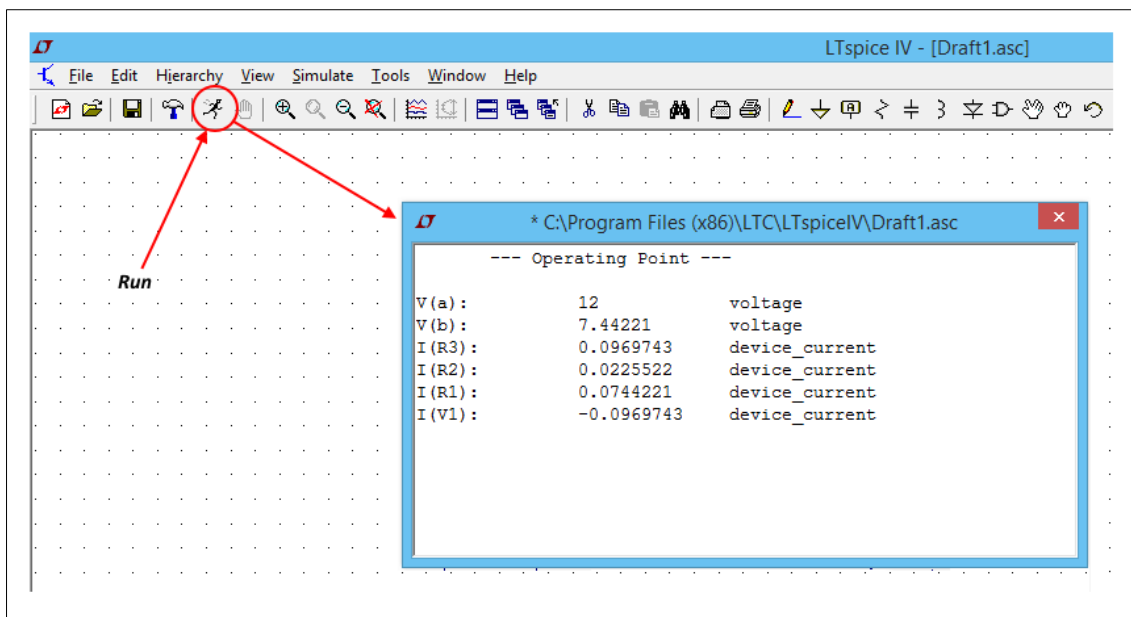


Figura 42 - Janela com tensões nodais e correntes em cada componente sendo mostrada

Obs: Vê-se no exemplo da Figura 42 que a tensão nos nós A e B são: $V_A = 12V$ e $V_B = 7,44V$. A corrente que passa pela fonte V1 é $I_{V1} = 96,97mA$ e as correntes nos resistores R1, R2 e R3 são $I_{R1} = 74,42mA$, $I_{R2} = 22,55mA$ e $I_{R3} = 96,97mA$, respectivamente.

4.2. Análise com varredura em corrente contínua

Na análise com varredura em corrente contínua é possível fazer com que uma tensão ou uma corrente de uma fonte variem em um determinado intervalo de valores, observando o comportamento de outros pontos do circuito em relação à essa variação.

Depois de todo o circuito no esquemático montado e inserido o Terra de Referência (descrito no item 2.1 deste manual), entre em “*Simulate*” (conforme Figura 40) na Barra de menu e logo após, escolha a opção “*Edit Simulation Cmd*” para que a janela “*Edit Simulation Command*” seja aberta. Já nesta janela (vide Figura 43), selecione a guia “*DC sweep*” e indique qual fonte que sofrerá a varredura. Selecione também o tipo de varredura: linear, octave, decade ou list (nesta última, você opta por valores discretos). Selecione também o valor inicial e o final da verredura, bem como o passo da mesma. Por fim, clique em “*OK*” e os parâmetros referentes a essa configuração estarão disponíveis para se inserir no esquemático com um simples clique do mouse no lugar desejado.

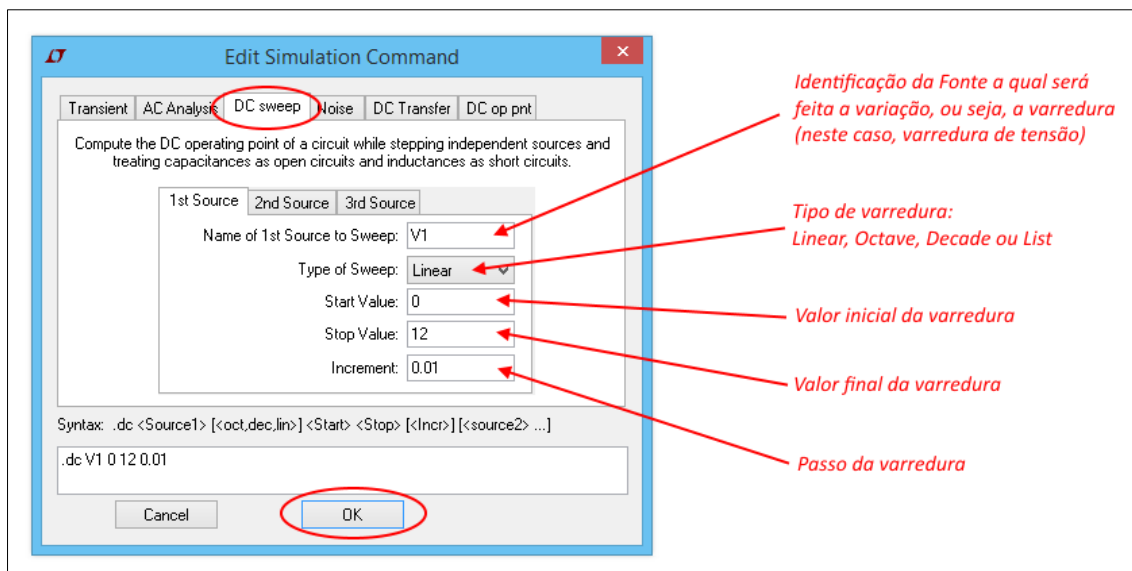


Figura 43 - Configurando simulação como Análise com varredura em corrente contínua

4.2.1. Medindo Tensão, Corrente e Potência com multímetro virtual

Para simular o funcionamento do circuito clique no botão “*Run*”, ilustrado na Figura 42 e uma nova janela com o título “*Draft1.raw*” se abrirá (Vide na Figura 44). Trata-se de uma janela a qual serão mostrados os resultados da simulação.

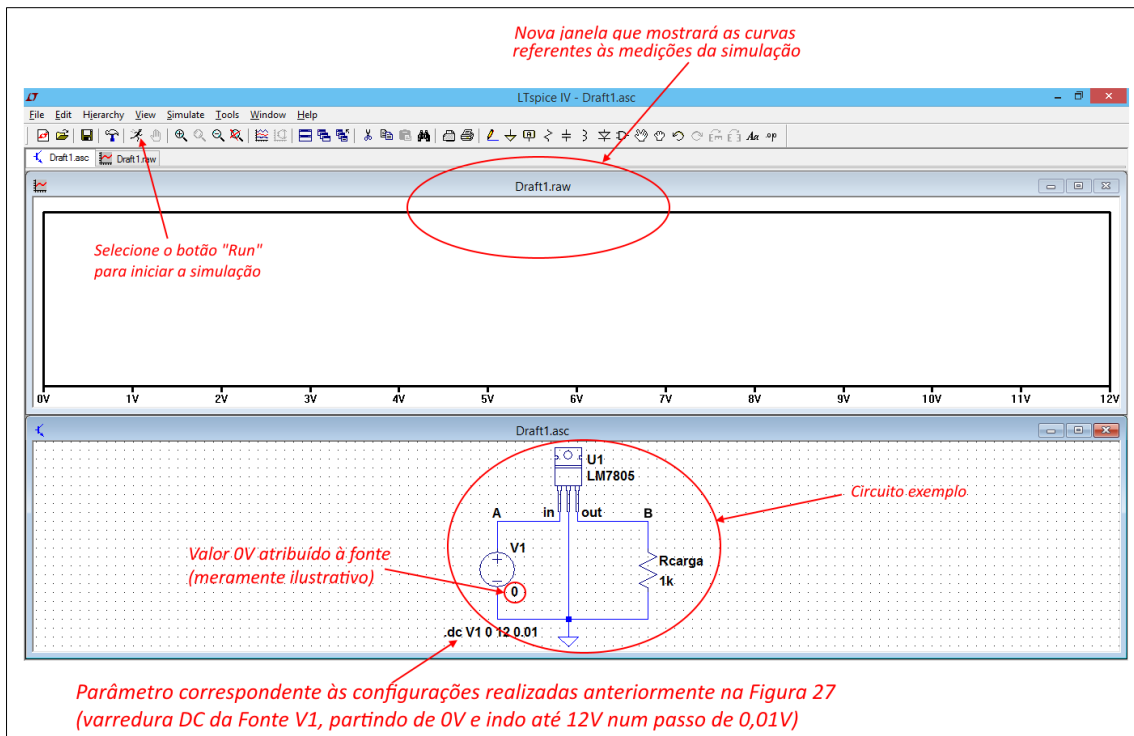


Figura 44 - Iniciando simulação com varredura em corrente contínua

Agora, quando o cursor do mouse passar sobre o nó B do exemplo aparecerá o símbolo de uma ponta de prova de um voltímetro como destacado na Figura 45. Se neste momento clicarmos com o botão esquerdo do mouse, então a janela gráfica mostrará a curva correspondente à tensão do nó B em função da tensão da varredura configurada anteriormente.

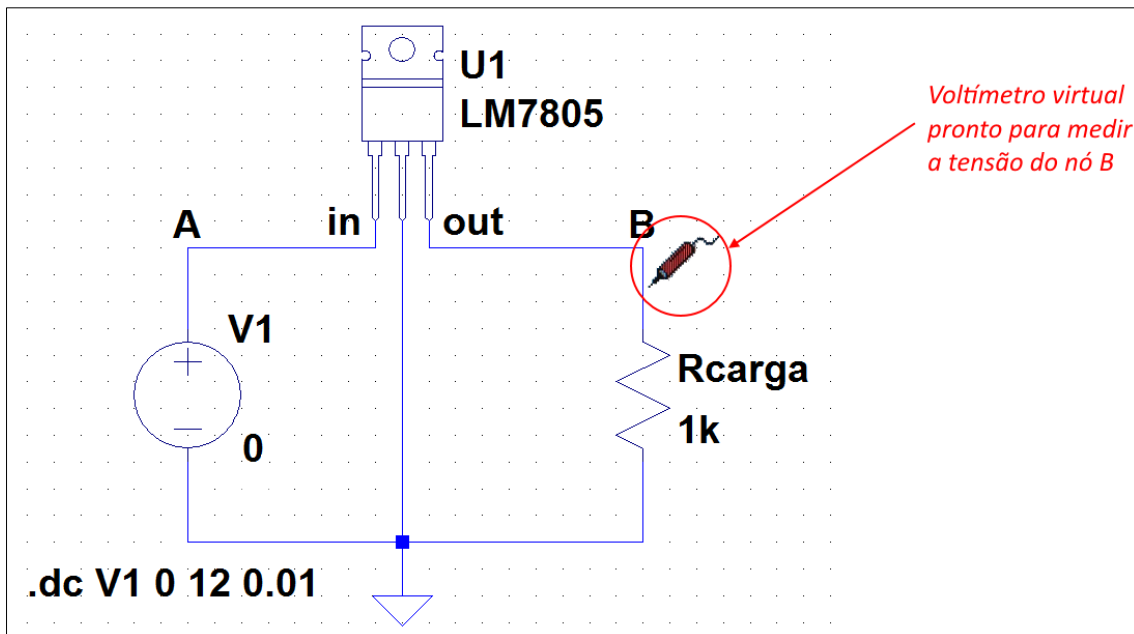


Figura 45 - Medindo a tensão sobre o ponto B em relação à referência

Obs: Também é possível medir a corrente que passa no resistor R_{carga} clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o componente assim que aparecer o símbolo de um alicate amperímetro como ilustrado na Figura 46. Também é possível medir a potência dissipada pelo resistor R_{carga} fazendo o seguinte procedimento: manter pressionada a tecla “Alt” do teclado e passar com o cursor do mouse sobre o componente até que apareça o símbolo de um termômetro (mostrado em destaque na Figura 47) e depois clicar com o botão esquerdo do mouse.

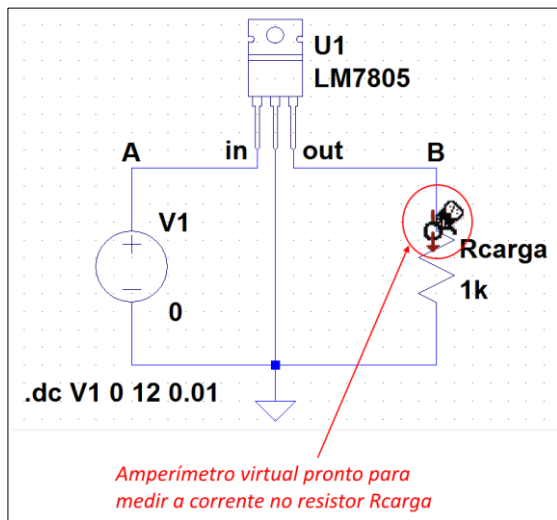


Figura 46 - Medindo corrente que circula no resistor R1

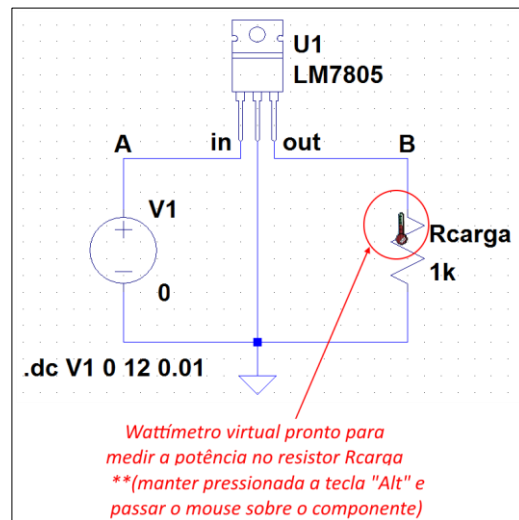


Figura 47 - Medindo potência dissipada pelo resistor R1

A Figura 48 mostra a curva correspondente à tensão no nó B em função da tensão de varredura da fonte V1.

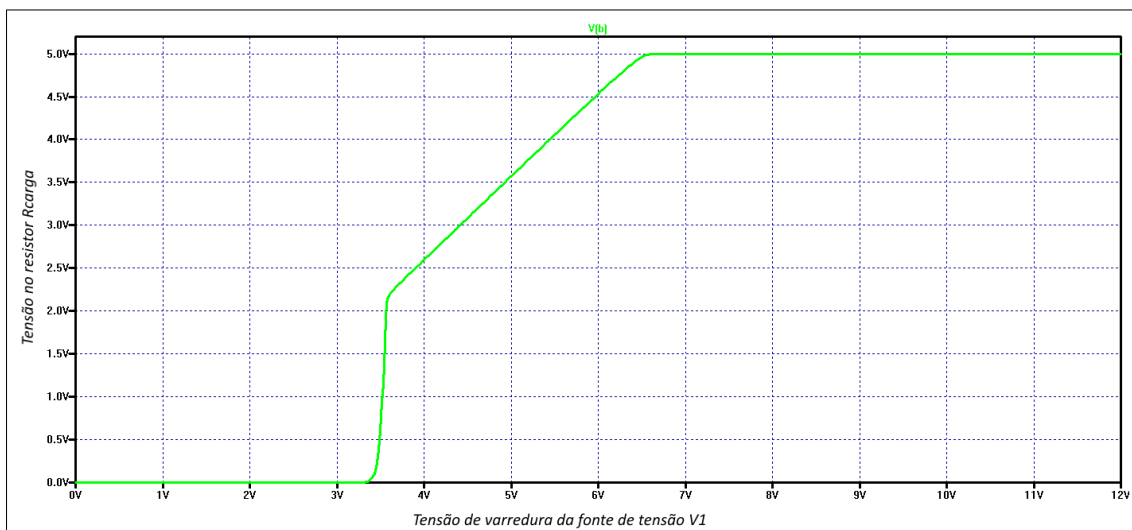


Figura 48 - tensão no ponto B em relação à tensão de varredura na fonte de tensão V1

4.3. Análise em frequência

Na análise com corrente alternada é possível obtermos a resposta em frequência de um circuito. Para tanto, será utilizada a simulação com pequenos sinais em AC e o circuito da Figura 49, que trata-se de um filtro passa baixas, será tomado de exemplo.

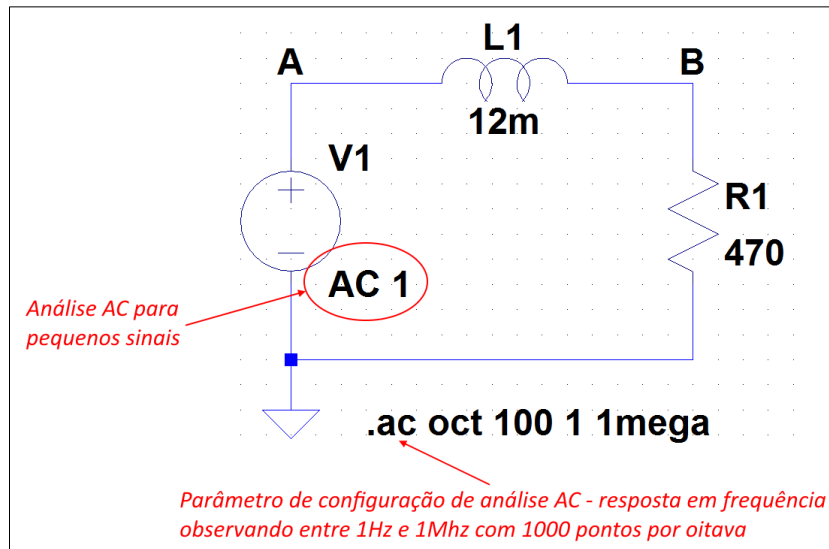


Figura 49 - Circuito passa baixas tomado como exemplo para simulações

Depois de todo o circuito no esquemático montado e inserido o Terra de Referência (descrito no item 2.1 deste manual), clique com o botão direito do mouse sobre a fonte de tensão para que se abra a janela “Voltage Source - V1”. Logo após, clique no botão “Advanced” para que a próxima janela “Independent Voltage Source - V1” se abra, assim como é mostrado na Figura 50. Nesta última janela, digite o número “1” no campo localizado na frente do texto “AC Amplitude” em “Small signal AC Analysis(.AC)”, indicando assim que a fonte trata-se de uma fonte de pequenos sinais. Por fim, clique em “OK”.

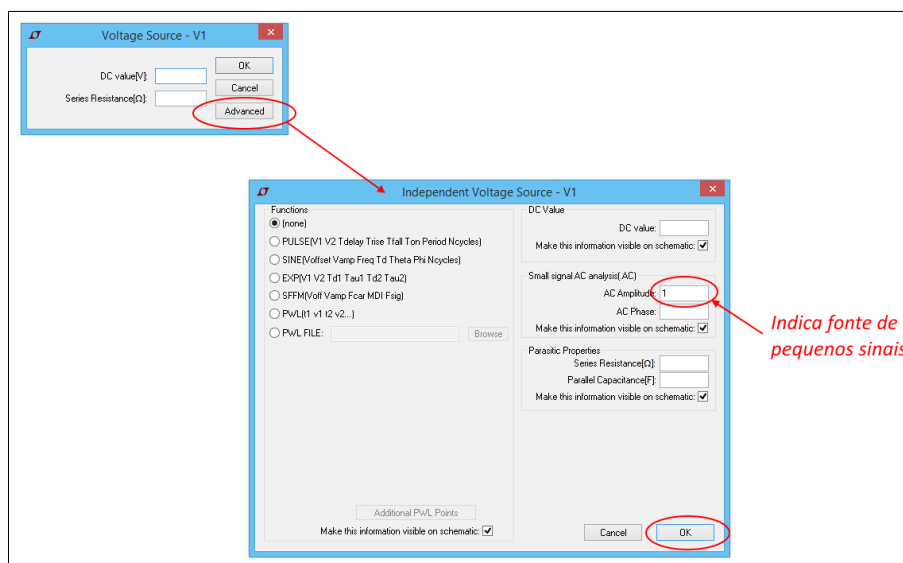


Figura 50 - Selecionando simulação com pequenos sinais em AC

Agora entre na opção “*Simulate*” na Barra de menu e logo após, escolha a opção “*Edit Simulation Cmd*” (vide Figura 40).

A janela “*Edit Simulation Command*” seja aberta, como mostra a Figura 51, selecione a guia “*AC Analysis*”. Nesta guia é possível, assim como na análise DC, escolher o tipo de varredura em frequência: *linear*, *octave*, *decade* ou *list*, o valor inicial e o final da varredura, bem como o número de pontos por década. Por fim, clique em “*OK*” e os parâmetros referentes a essa configuração estarão disponíveis para se inserir no esquemático.

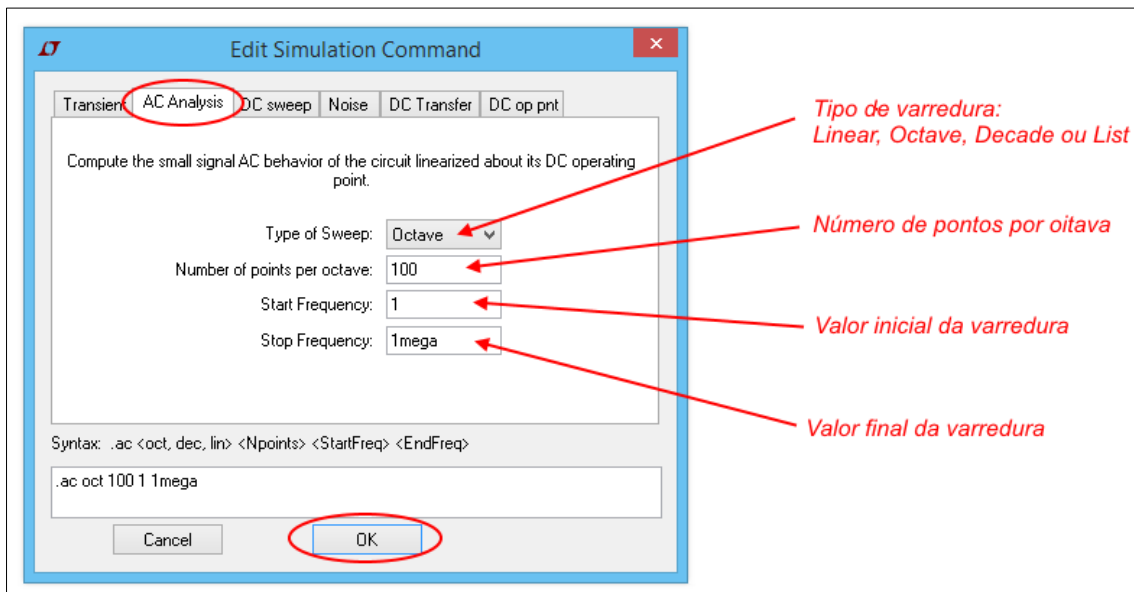


Figura 51 - Configurando simulação como Análise em corrente alternada

Para simular o funcionamento do circuito clique no botão “*Run*”, da Barra de ferramentas. Uma nova janela com o título “*Draft1.raw*” se abrirá para mostrar o gráfico. Depois disso, meça a tensão com o voltímetro virtual sobre o nó B para que seja gerado o gráfico da Figura 52, correspondente a resposta em frequência do circuito simulado.

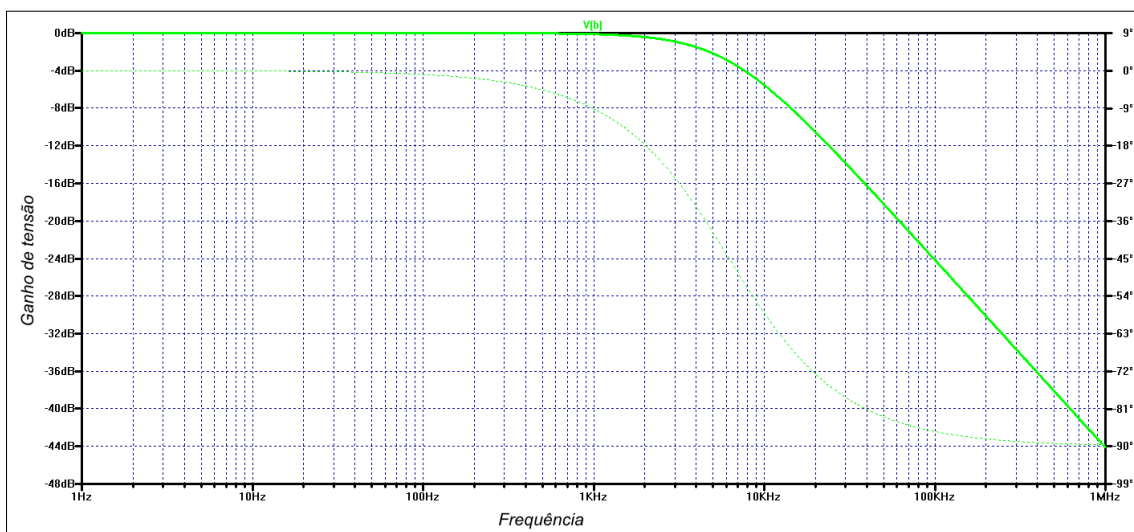


Figura 52 - Curva da resposta em frequência do circuito passa baixas

4.4. Análise no tempo

Também é possível fazermos uma análise de um circuito eletrônico em função do tempo. Como exemplo utilizaremos o circuito da figura 53. Este trata-se de um retificador de meia onda em que é aplicada uma tensão de amplitude 9V e frequência de 15Hz. (*obs: a configuração de uma fonte para diferentes tipos de sinais já foi abordada no item 2.6.1.1 deste manual*).

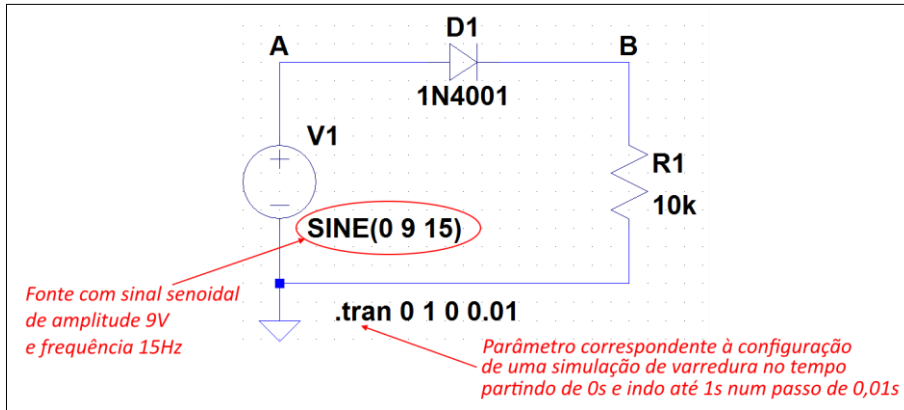


Figura 53 - Circuito retificador de meia onda tomado como exemplo para simulações

Depois de todo o circuito no esquemático montado, entre em “*Simulate*” na Barra de menu e logo após, escolha a opção “*Edit Simulation Cmd*” para que a janela “*Edit Simulation Command*” seja aberta. Já nesta janela (vide Figura 54), selecione a guia “*Transient*”, escolha o valor inicial e final da varredura no tempo, bem como o passo da mesma. Por fim, clique em “*OK*” e os parâmetros referentes a essa configuração estarão disponíveis para se inserir no esquemático.

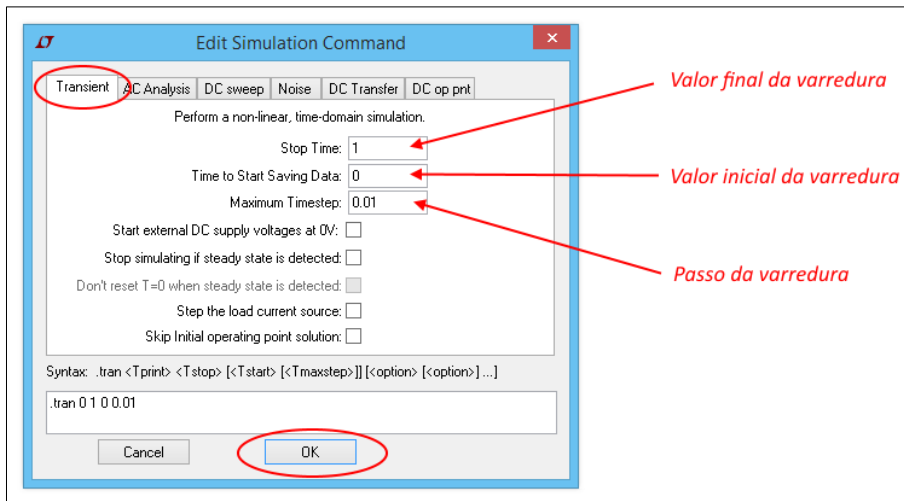


Figura 54 - Configurando simulação como Análise no tempo

Para simular o funcionamento do circuito clique no botão “*Run*”, da Barra de ferramentas. Uma nova janela com o título “*Draft1.raw*” se abrirá para mostrar o gráfico. Depois disso, meça a tensão com o voltímetro virtual sobre o A e sobre o nó B para que seja gerado o gráfico da Figura 55, correspondente a análise no tempo circuito simulado.

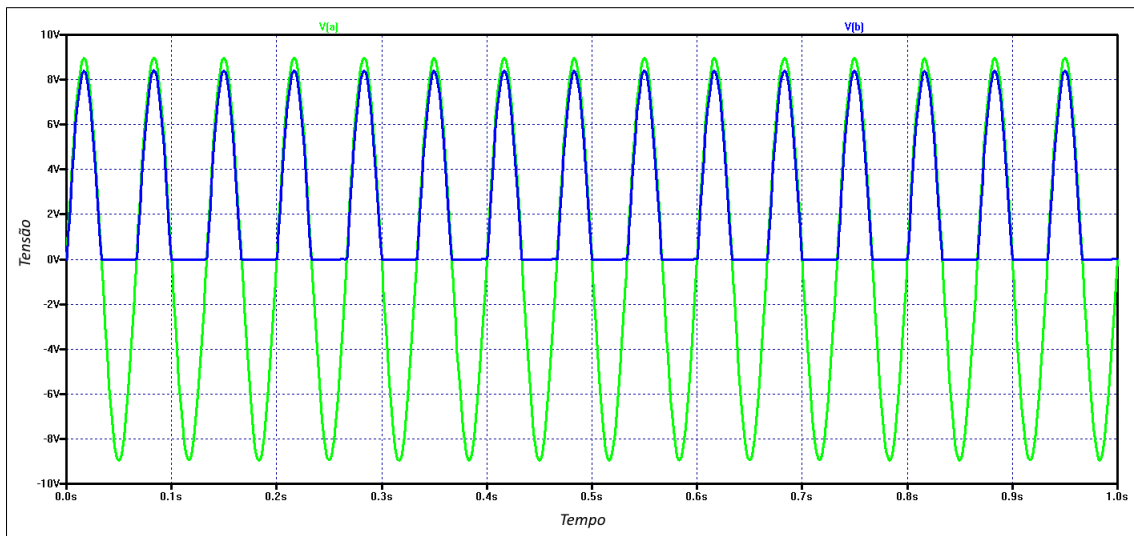


Figura 55 - Curva da tensão no ponto B (saída retificada) plotado sobreposto à tensão no ponto A (entrada de tensão)

4.4. Aplicando um degrau

Para investigar a resposta em frequência de alguns circuitos, é possível aplicar um degrau neles. Para exemplificar, será utilizado o circuito filtro passa baixas da Figura 56 e lhe será aplicado um degrau de 12V.

Depois do circuito montado no esquemático, entre em “*Simulate*” na Barra de menu e logo após, escolha a opção “*Edit Simulation Cmd*” para que a janela “*Edit Simulation Command*” seja aberta. Já nesta janela (vide Figura 57), selecione a guia “*Transient*”, digite um valor máximo para a análise no tempo e logo abaixo assinale com o mouse a opção “*start external DC supply voltages at 0V*”, para que a fonte DC seja iniciada em 0V (neste caso, utilizaremos um tempo máximo de 500ms para observar a resposta do circuito). Por fim, clique em “*OK*” e os parâmetros referentes a essa configuração estarão disponíveis para se inserir no esquemático.

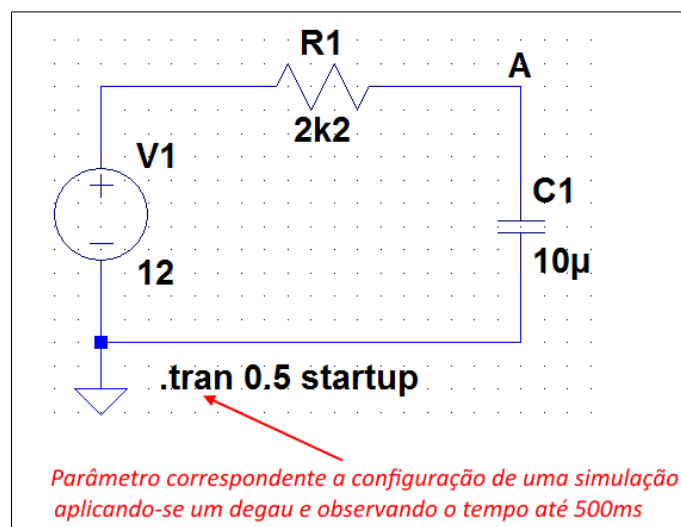


Figura 56 - Circuito passa baixas tomado como exemplo para simulações

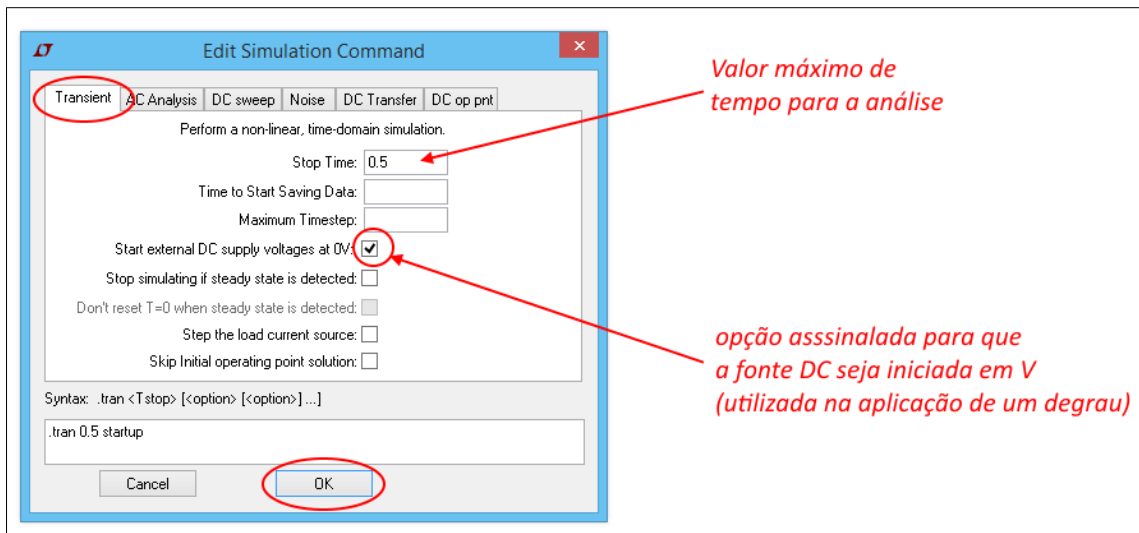


Figura 57 - Configurando simulação para aplicação de um degrau

Depois de iniciada a simulação, basta medir a tensão com o voltímetro virtual sobre o nó A para que seja gerado o gráfico da Figura 58, correspondente a resposta no tempo depois de aplicado o degrau no circuito.

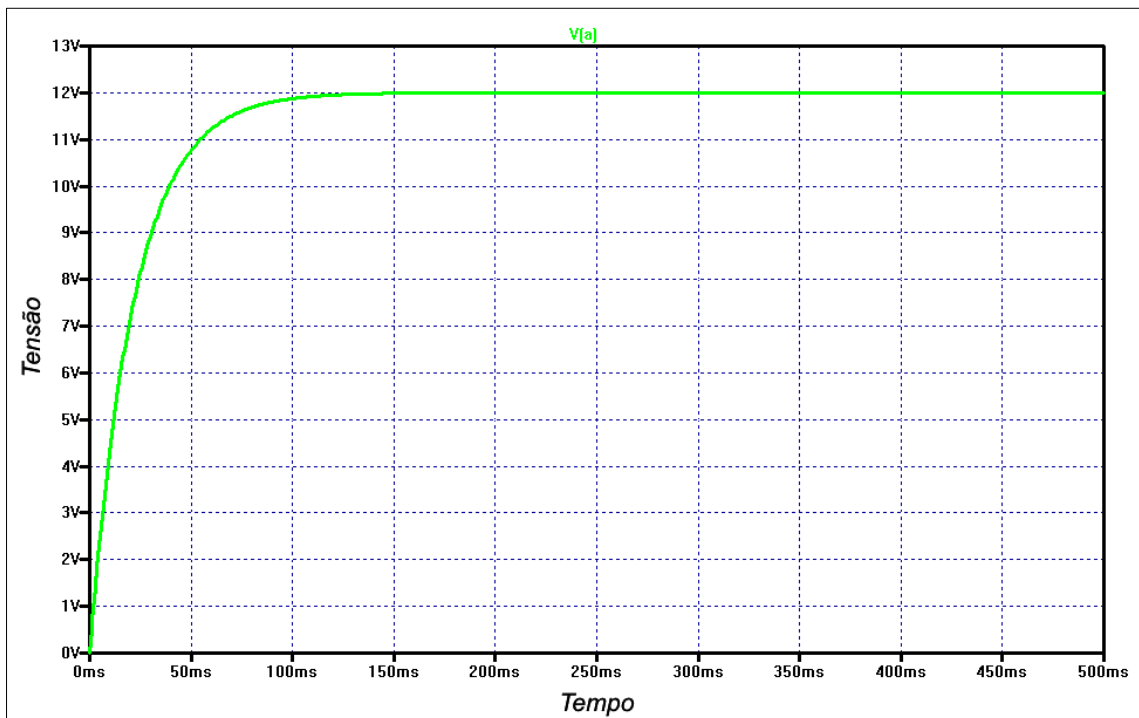


Figura 58 - Resposta no tempo do circuito passa baixas depois de aplicado um degrau

5. Configurando simulações com parâmetros spice

Quando são configuradas as simulações no software *LTspice*, para que essa possa funcionar corretamente, é necessário que seja inserido no esquemático uma pequena linha de parâmetros codificados de acordo com o tipo de simulação ou varredura de nosso interesse.

Esses parâmetros são inseridos no esquemático sempre na cor preta e são sempre antecidos de um ponto(.). A Figura 59 mostra um exemplo de parâmetro spice.

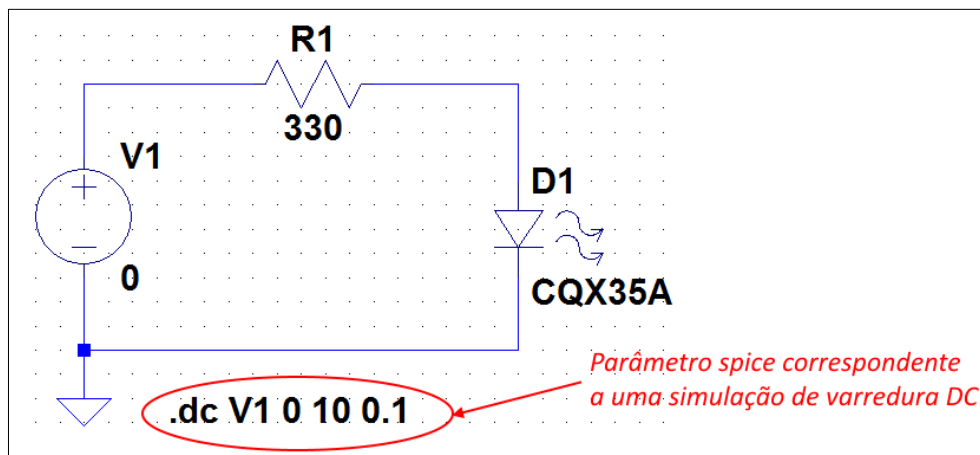


Figura 59 - Exemplo de um parâmetro spice

Um atalho para configurar simulações é inserir os parâmetros spice diretamente no esquemático por meio do botão "**SPICE directive**" localizado na Barra de ferramentas como ilustrado na Figura 60. Depois de apertado esse botão, a janela "*Edit Text on the Schematic*" se abrirá, então basta inserir o parâmetro spice no campo indicado, apertar o botão "OK" e, com o mouse, inserir o parâmetro em qualquer local do esquemático.

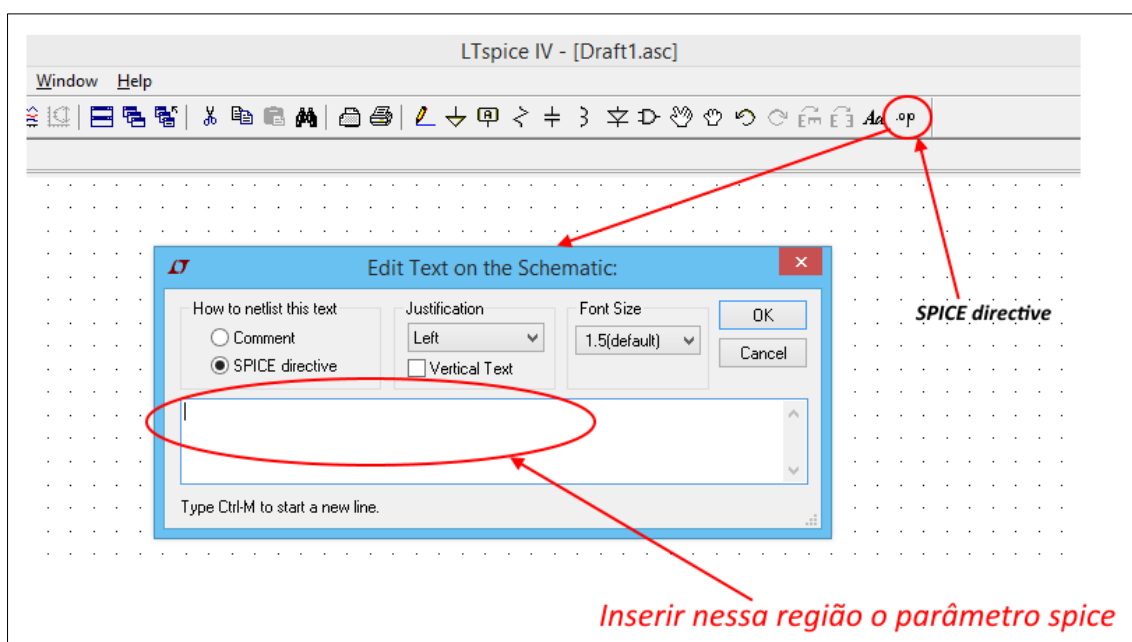


Figura 60 - Inserindo um parâmetro spice

A seguir, são apresentados texto nos formatos que devem ser digitados para configuração da simulação via parâmetros spice:

A Figura 61 mostra uma configuração de uma simulação de Análise do ponto de operação.

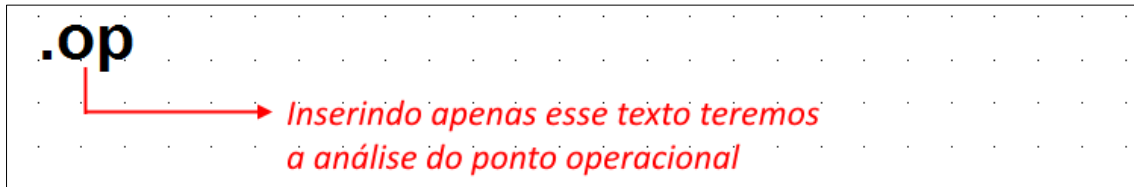


Figura 61 - Configuração de uma simulação de Análise do ponto de operação

A Figura 62 mostra uma configuração de uma simulação de Análise com varredura em corrente contínua.

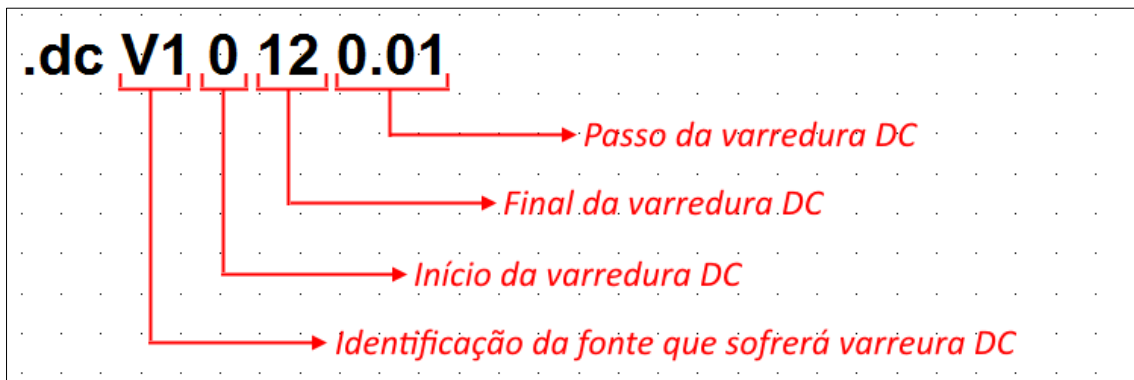


Figura 62 - Configuração de uma simulação de Análise com varredura em corrente contínua

Já a Figura 63 mostra uma configuração de uma simulação de Análise em frequência.

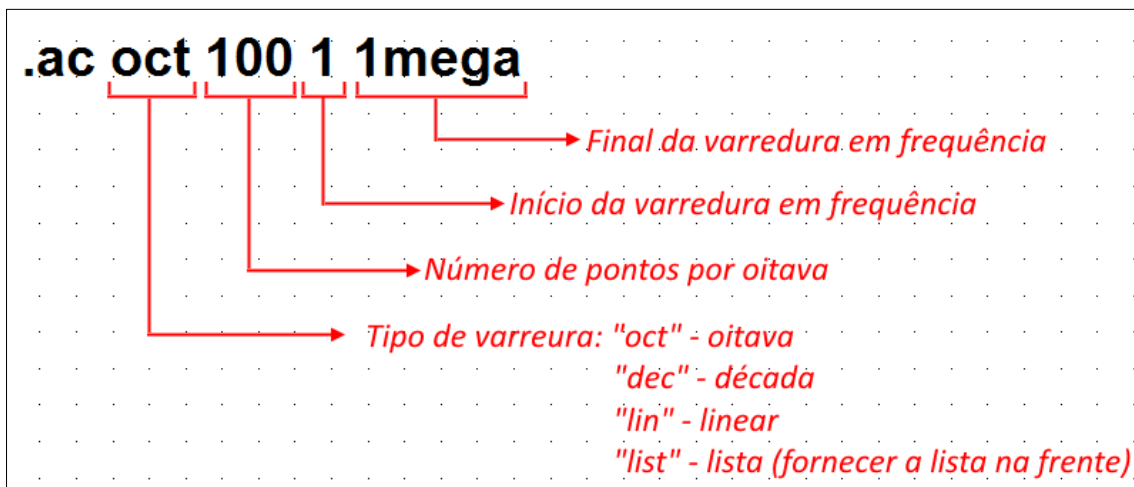


Figura 63 - Configuração de uma simulação de Análise em frequência

Na Figura 64 tem-se uma configuração de uma simulação de Análise no tempo.

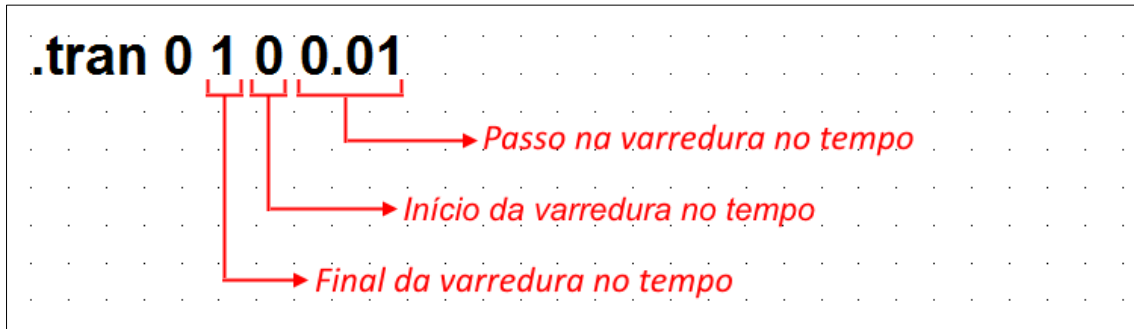


Figura 64 - Configuração de uma simulação de Análise em frequência

Outras funções muito importantes durante uma simulação é a varredura no tempo de outras grandezas, como a resistência, a capacitância, etc. de componentes no circuito. Nesse comando de varredura, é possível, tanto apresentar um intervalo pra varredura, quanto apresentar um lista de valores a serem simulados. A estrutura dos parâmetros de variação dentro de um intervalo é mostrado na Figura 65 e a estrutura para a atribuição de uma lista para simulação é mostrado na Figura 66.

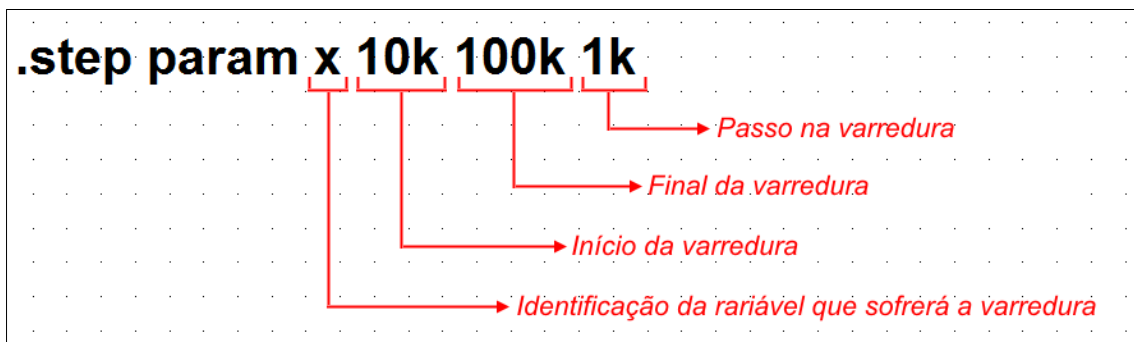


Figura 65 - Configuração de variação de parâmetros dentro de um intervalo

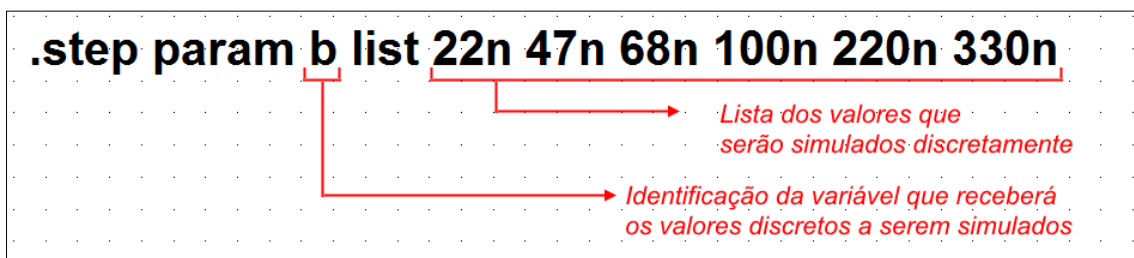


Figura 66 - Configuração de atribuição de valores de uma lista

Para fazer esse tipo de simulação, primeiramente o campo onde é apontado o valor do componente deve ser substituído por uma identificação colocada entre chaves “{ }”.

Como exemplo, vamos fazer a varredura da resistência de um resistor de um determinado circuito ilustrado na Figura 67 e obter sinal de saída de tensão no nó A em função da resistência do resistor R3. O gráfico referente a essa simulação encontra-se na Figura 68.

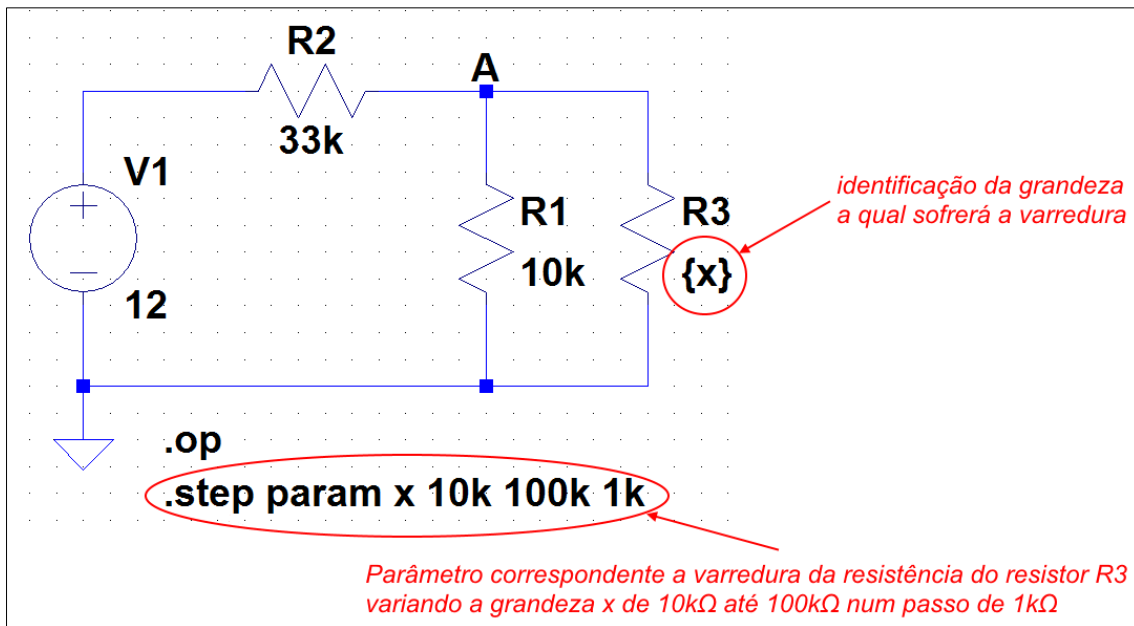


Figura 67 - Circuito que sofrerá a varredura de resistência do resistor R3

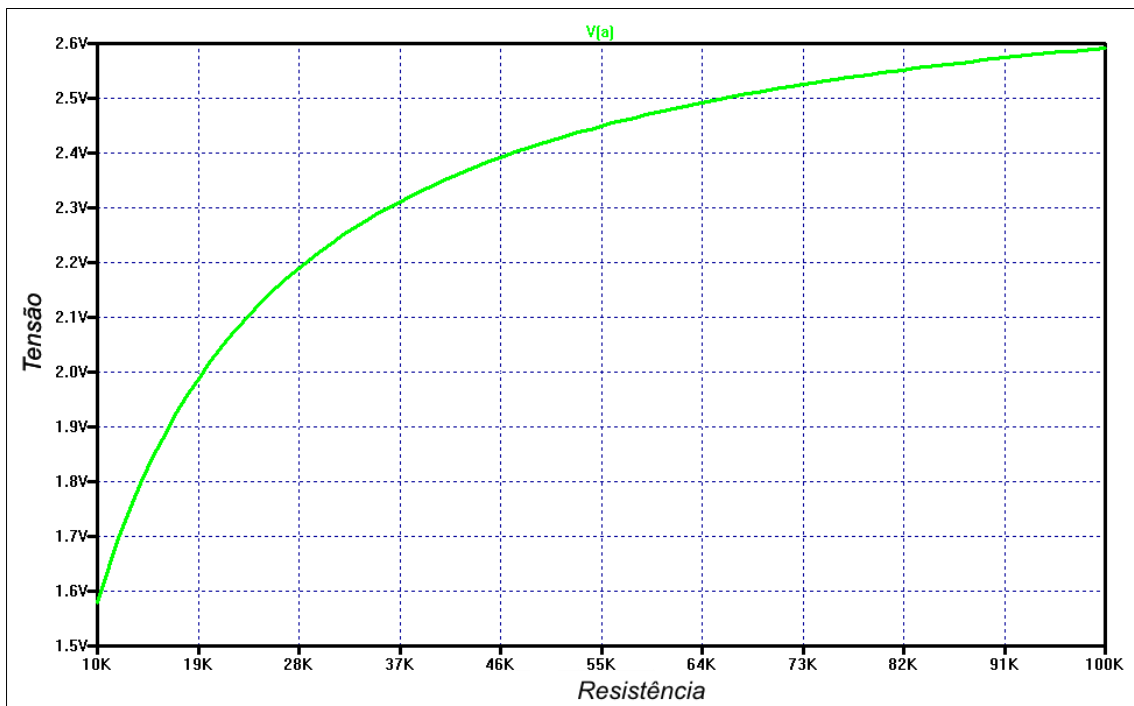


Figura 68 - Tensão sobre o nó A em função da variação da resistência do resistor R3

Também como exemplo, será atribuída uma lista de valores de capacitores comerciais ao circuito da Figura 69. Neste circuito foi aplicado um degrau de 15V na entrada e medida a tensão na saída no nó B. Como pode ser observado na Figura 70, o gráfico da simulação fornece uma curva de cor diferente para cada valor de capacitância configurada anteriormente.

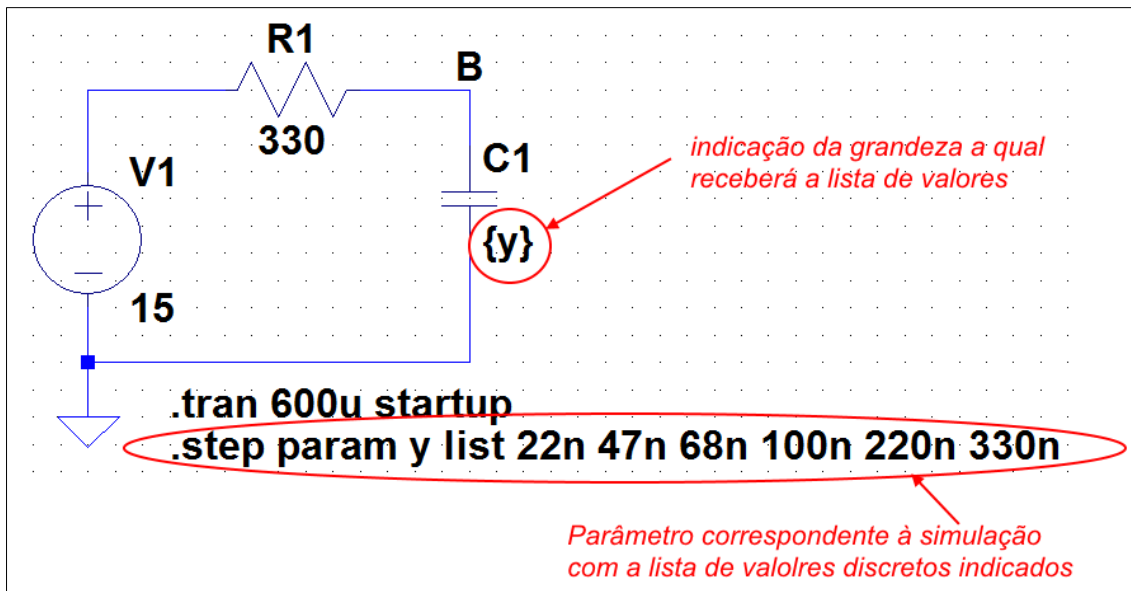


Figura 69 - Circuito o qual será atribuído uma lista de valores diferentes de capacitância para o capacitor C3

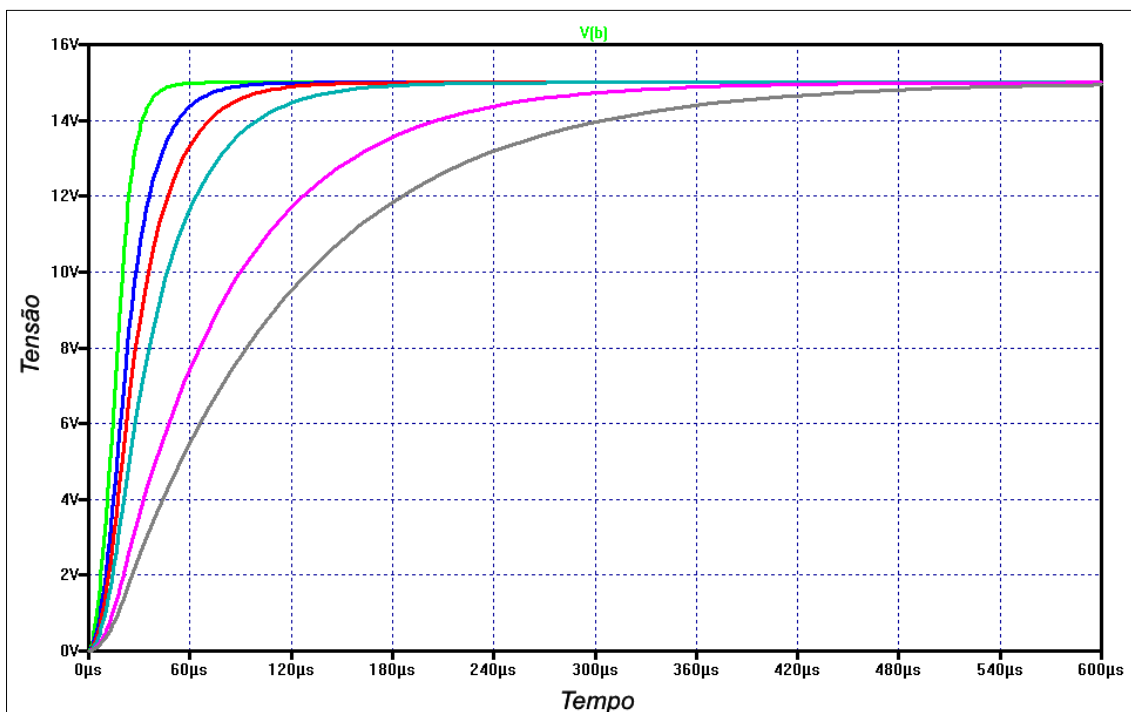


Figura 70 - Curvas de tensão no ponto B referentes aos diferentes valores de capacitâncias

Obs: como é possível observar, para cada valor de capacitor simulado da lista parametrizado, temos uma cor referente. Essas cores seguem um padrão caso não tenham sido reconfigurados pelo usuário, ou seja, o primeiro valor da lista corresponde à curva verde, o segundo valor corresponde à cor azul e assim por diante, como é possível observarmos na Tabela 3.

Tabela 3 - Sequência das cores plotadas nos gráficos do LTspice

Sequência da lista	Cor da curva plotada
1º valor	verde claro
2º valor	azul claro
3º valor	vermelha
4º valor	cian
5º valor	magenta
6º valor	cinza
7º valor	verde escuro
8º valor	azul escuro
9º valor	Amarelo escuro
10º valor	Roxo
11º valor	marrom
12º valor	Amarelo claro

Por fim, ainda é possível atribuir valores à diversos componentes de uma vez só, ou seja, configurar o valor da grandeza de um componente com uma variável e, assim, todas as vezes em que for alterar os valores desses componentes, basta alterar o valor da variável. Vide exemplo na Figura 71.

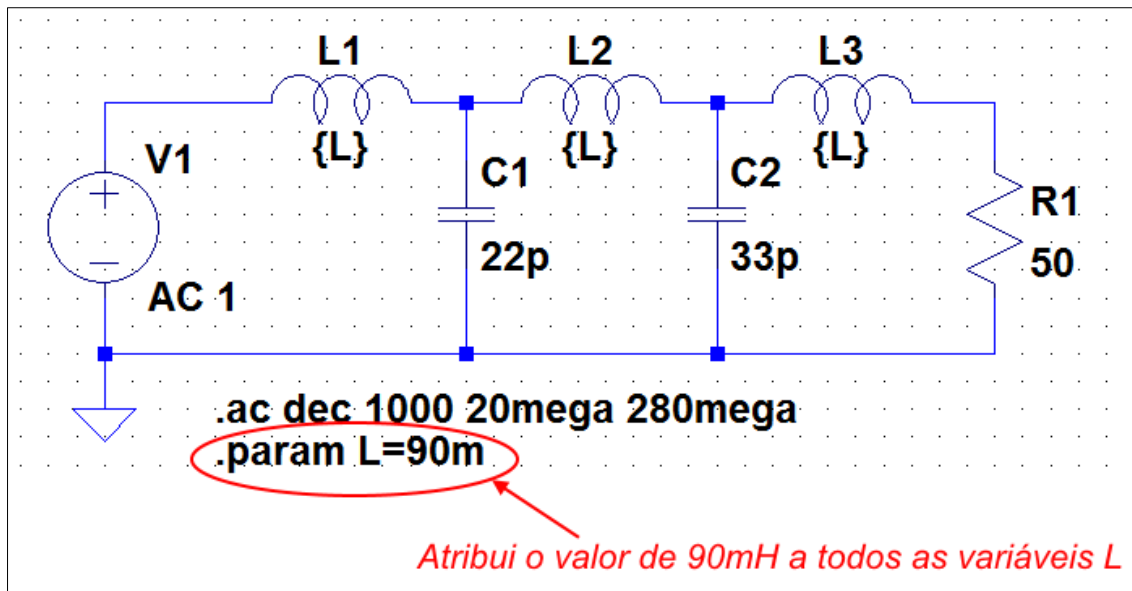


Figura 71 - Indutores recebendo o valor de "L" de indutância

6. Trabalhando com gráficos

É possível que sejam personalizadas as curvas gráficas fornecidas pelo *LTspice*: mudando suas cores, espessura, alterando os eixos x e y, salvando esses gráficos como imagem ou até mesmos salvando os dados do gráfico como vetores no formato “.txt”. O circuito da Figura 72 será utilizado como exemplo. Este trata-se de um retificador de meia onda.

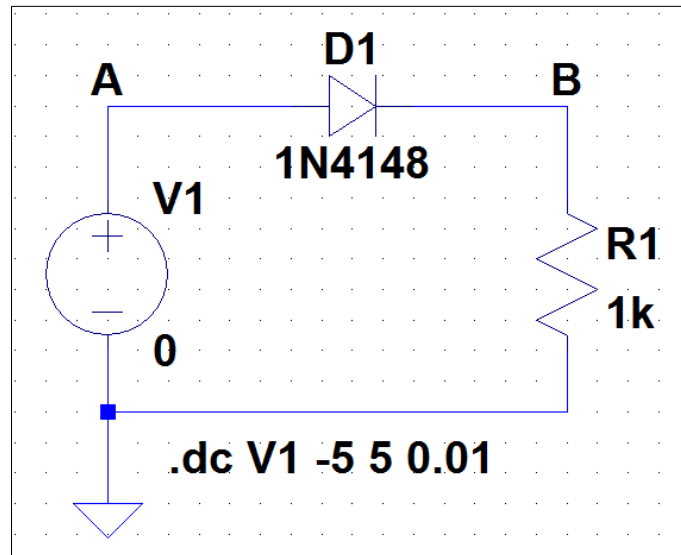


Figura 72 - Retificador de meia onda tomado como exemplo

6.1. Mudando as cores de fundo do esquemático e do gráfico

Acessando o menu “Tools” da barra de menu (Figura 73) e depois entrando na opção “Color Preferences”, é possível abrir a janela “Color Palett Editor”, como mostrado na Figura 74.

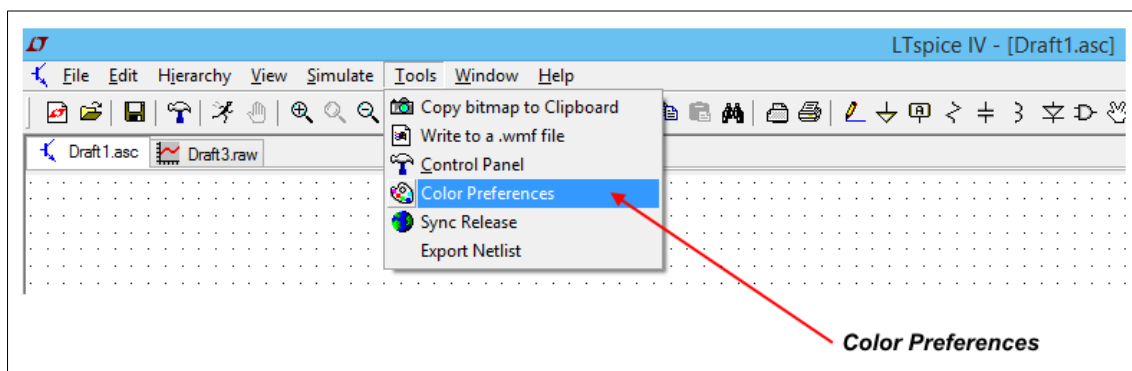


Figura 73 - Acessando menu de configuração de cores

Na janela "Color Palett Editor", na guia "WaveForm" é possível de sejam alterados: as cores das curvas; as cores dos eixos; as cores do grid e até mesmo as cores no fundo da tela gráfica, assim como mostrado detalhadamente na Figura 74.

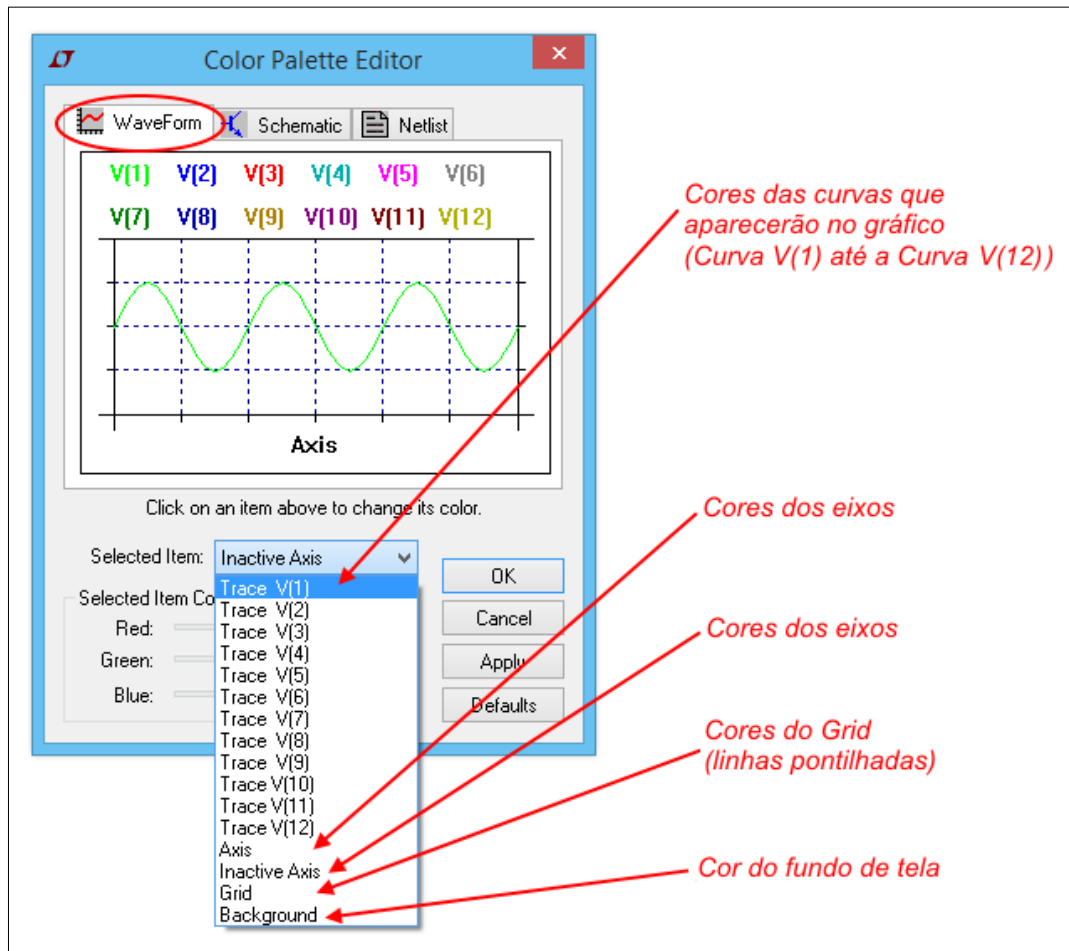


Figura 74 - Configurando cores referentes às curvas gráficas

Já na guia, "Schematic" da janela "Color Palett Editor" é possível na guia "WaveForm" é possível de sejam alterados: as cores dos fios de interligação, nós, corpo do componente, terra de referência, componente integrado, texto do componente, texto de identificação de linhas, texto de parâmetros spice, texto de comentários, pino de componente integrado, realces, grade e plano de fundo. O acesso à essas configurações citadas, encontram-se ilustradas na Figura 75.

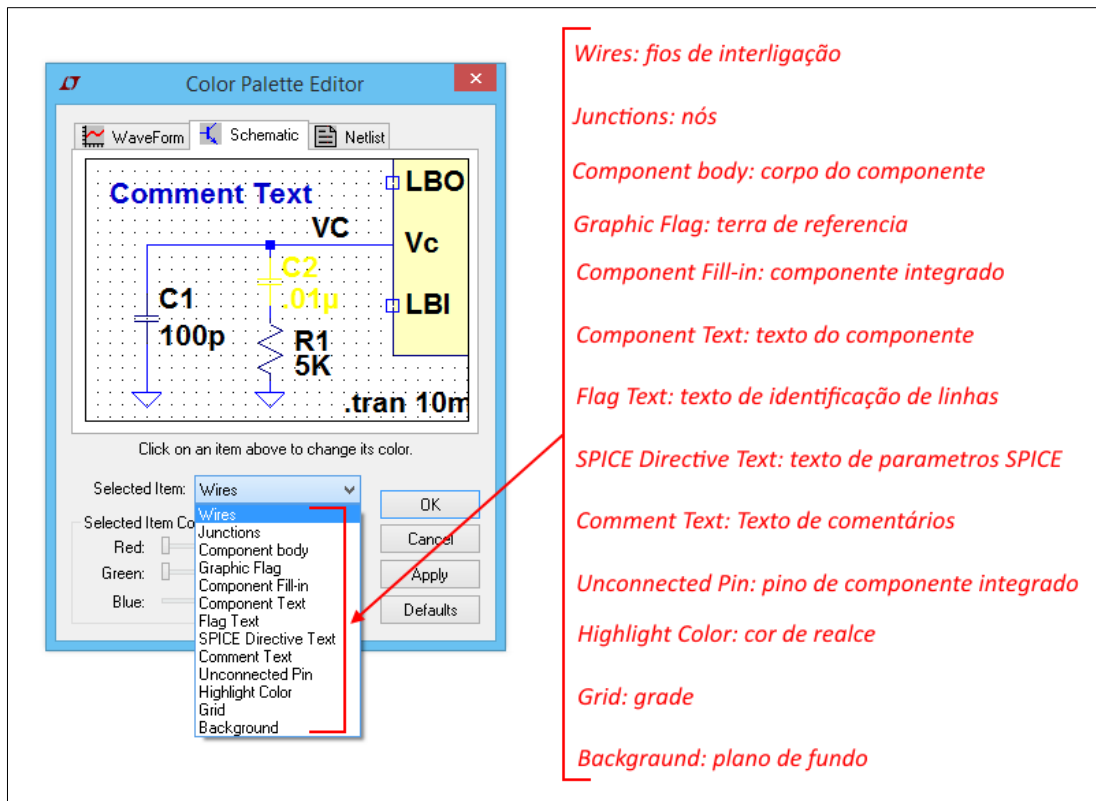


Figura 75 - Configurando cores referentes ao esquemático

Ainda é possível alterar as cores de outros tipos de textos presentes no esquemático, acessando a guia, "Netlist" da janela "Color Palett Editor", escolhendo o tipo de texto e logo após alterando a cor por meio de uma configuração RGB, assim como mostra a Figura 76.

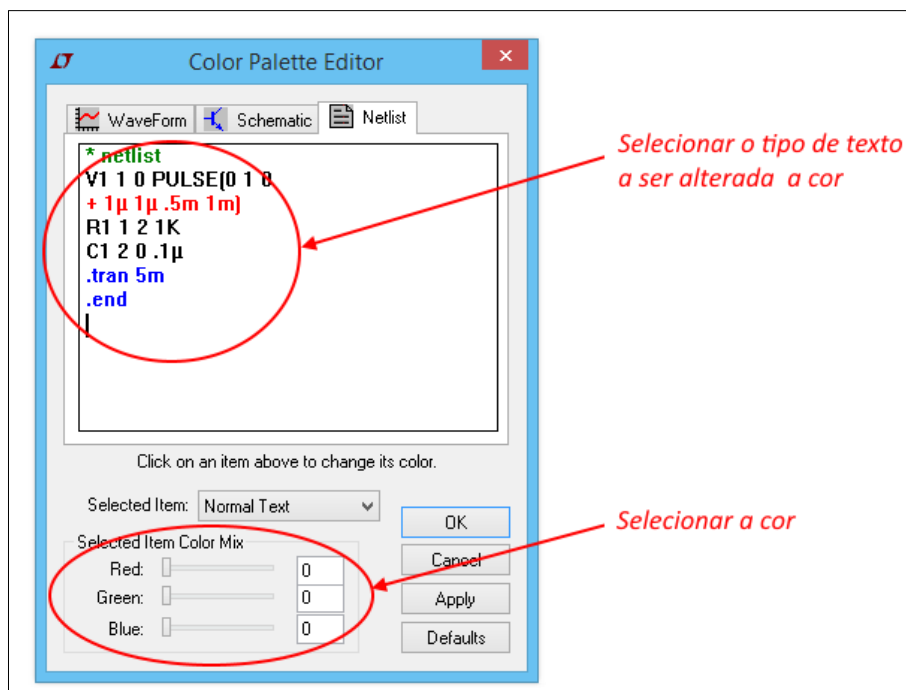


Figura 76 - Configurando cores referentes aos textos presentes no esquemático

6.2. Aumentando espessura das linhas das curvas

Se for acessado a opção “Control Panel” do menu “Tools”, serão encontradas diversas opções de configurações de operação, salvamento, layouts, recursos gráficos, entre outros. Uma opção bastante útil é aumentar a espessura das curvas geradas nos gráficos das simulações, uma vez que, na configuração padrão estas são bem finas, o que não facilita uma boa leitura e salvamento.

Para aumentar a espessura das linhas das curvas gráficas, basta selecionar a opção “Plot data with thick lines”, encontrada na guia “Waveforms” da janela “Control Panel” do menu “Tools” como ilustrado na Figura 77.

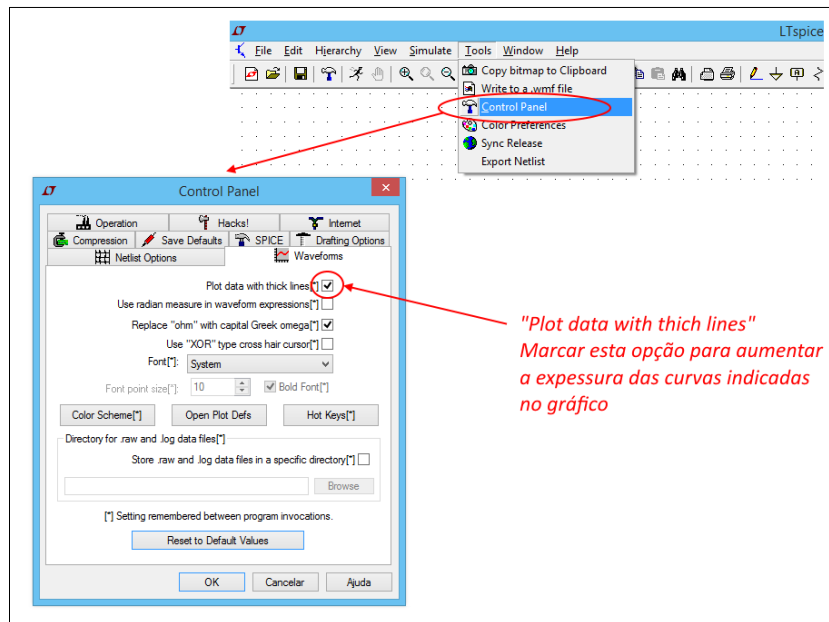


Figura 77 - Selecionando a espessura de linha mais grossa

6.3. Alterando eixos dos gráficos

Primeiramente vamos fazer a simulação do circuito da Figura 72, acessando o botão “Run” da barra de tarefas conforme ilustrado na Figura 78.

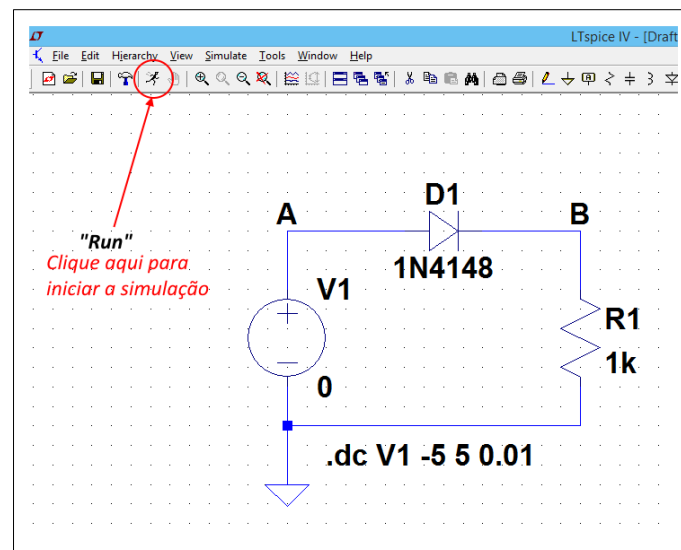


Figura 78 - Iniciando a simulação do circuito exemplo

Depois de simulado o circuito se abrirá uma nova guia (posicionada horizontalmente à guia do esquemático. A medição da corrente sobre o diodo foi feita, e pode-se ver que a Figura 79 que o gráfico traz em seu seu eixo “x” a tensão da fonte de tensão V1 e no eixo “y” a corrente medida no diodo. As próximas leituras, caso sejam feitas com multímetro virtual do simulador, irão sempre aparecer no eixo “y” do gráfico e sempre serão realizadas, de forma padrão, tomando-se a mesma referência.

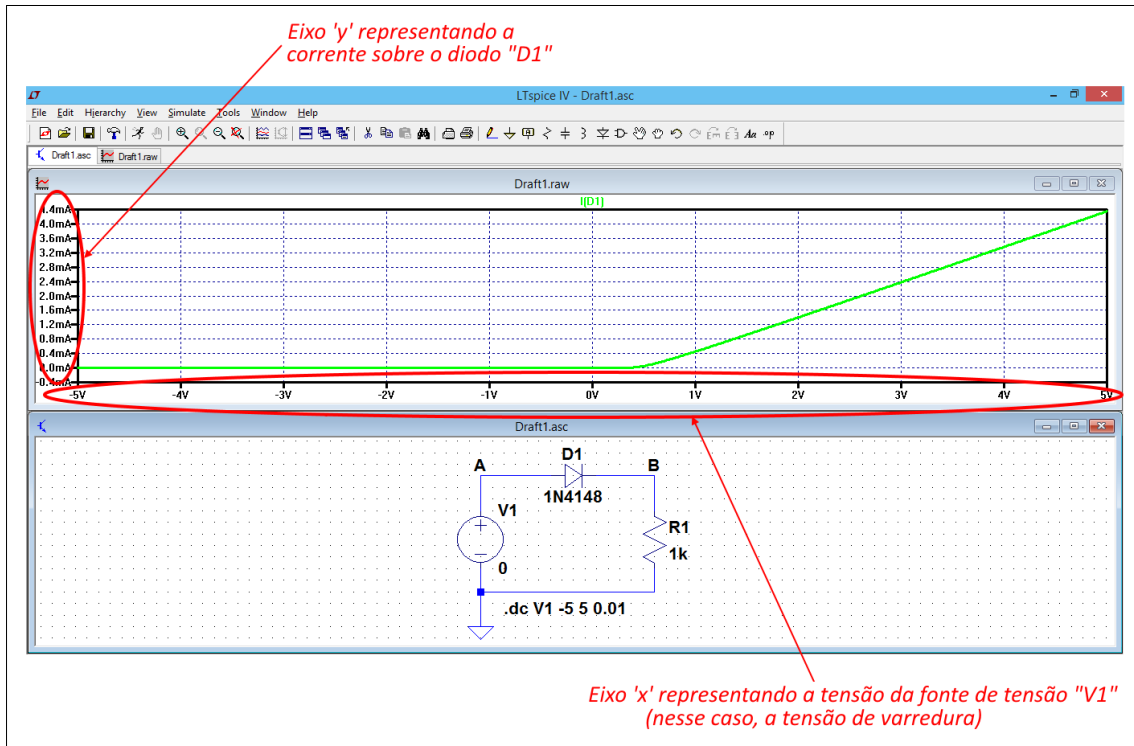


Figura 79 - Valores apontados no eixo “x” e eixo “y” do gráfico

Para que possam ser alterarmos os valores a serem medidos no eixo “x”, basta clicar com o botão direito do mouse sobre a escala de medidas para que se abra a janela “Horizontal Axis”, assim como é mostrado na Figura 80. Nessa janela, é possível alterar a grandeza a ser medida no eixo em questão. Também pode alterados os valores mínimos e máximos a serem indicados no gráfico, assim como o passo da escala visível no gráfico.

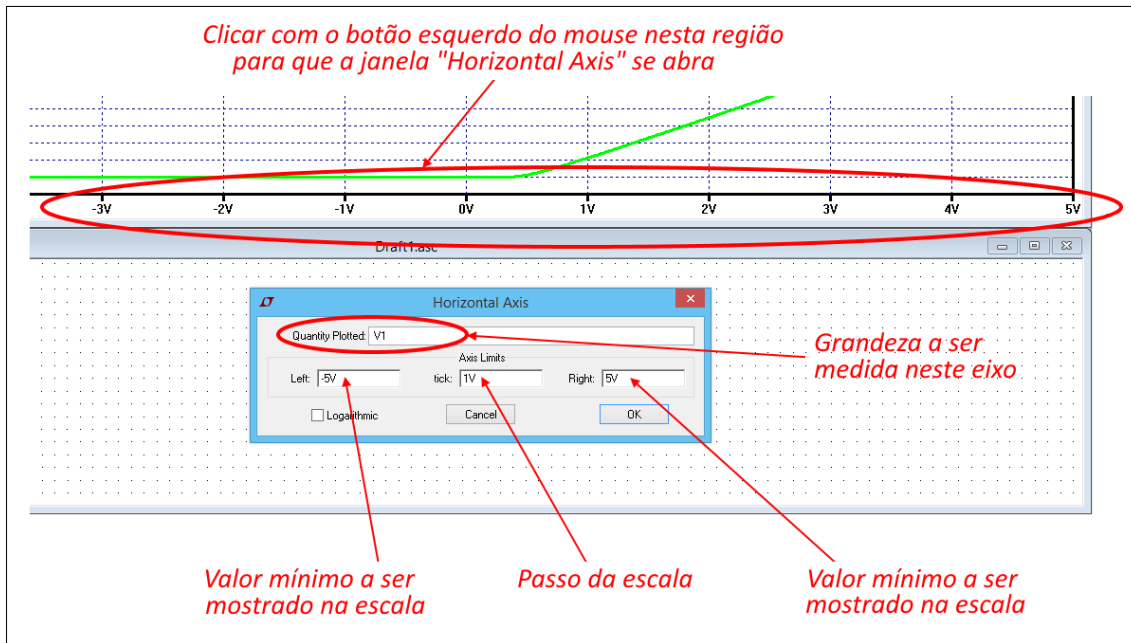


Figura 80 - Janela apontando a variável que está sendo medida no eixo “x”

Como é possível ver na Figura 80, no campo “Quantity Plotted” da janela “Horizontal Axis”, tem-se o texto “V1”, indicando a variável medida no eixo. Para trocar a variável que seja mostrada nesse eixo do gráfico, basta trocarmos esse texto por outro correspondente à grandeza desejada, como segue mostrado nos exemplos da Tabela 4.

Tabela 4

Escrita no LTspice	Variável a ser mostrada no eixo do gráfico
V1	Tensão sobre a fonte V1
V(A,B)	Tensão entre os pontos A e B (tensão sobre o diodo D1)
V(b)	Tensão entre o ponto B e a referência (tensão sobre o resistor R1)
I(V1)	Corrente que que circula na fonte V1
I(D1)	Corrente que que circula no diodo D1
I(R1)	Corrente que que circula no resistor R1
V(A)*I(V1)	Potência sobre a fonte V1
V(A,B)*I(D1)	Potência sobre o diodo D1
V(B)*I(R1)	Potência sobre o resistor R1
d(I(D1))	Derivada da corrente que circula no diodo D1
d(V(D1))	Derivada da tensão sobre o diodo D1
V(B)/V(A)	Tensão sobre o ponto B e referência dividida pela tensão no ponto A e referência (ganho entre tensão de entrada e tensão no resistor R1)

***Obs:** Notações particulares correspondentes ao circuito da Figura 72

6.4. Medindo valores precisos sobre as curvas gráficas

Depois de gerado um gráfico correspondente ao comportamento do circuito, é possível medir de forma precisa os valores encontrados sobre a curva gerada. Para tanto basta clicar com o botão esquerdo do mouse sobre o texto que indica o nome de cada curva a ser observada. A janela “Draft1.raw” se abrirá e, por meio dos cursores do teclado ou mesmo do mouse, é possível observar com precisão a coordenada correspondente ao ponto observado em “x” e em “y”. Tudo isso encontra-se ilustrado na Figura 81.

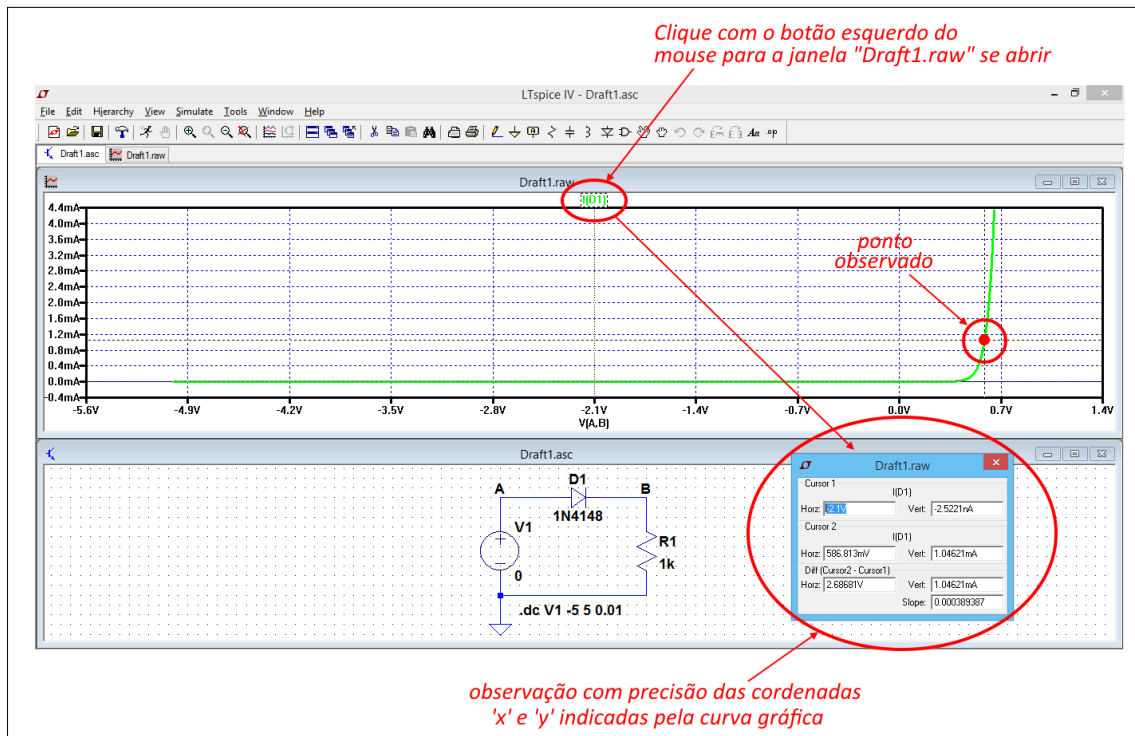


Figura 81 - Fazendo leitura precisa das coordenadas da curva gerada

6.5. Salvando gráficos como imagem

Para salvar em formato **.bmp**, um gráfico gerado na simulação do *LTspice* basta maximizar o gráfico. Depois disso entre na opção “Copy bitmap to Clipboard” do menu “Tools” da barra de menu (vide na Figura 82). A imagem será guardada na memória do PC, logo após, basta colar no local de sua preferência.

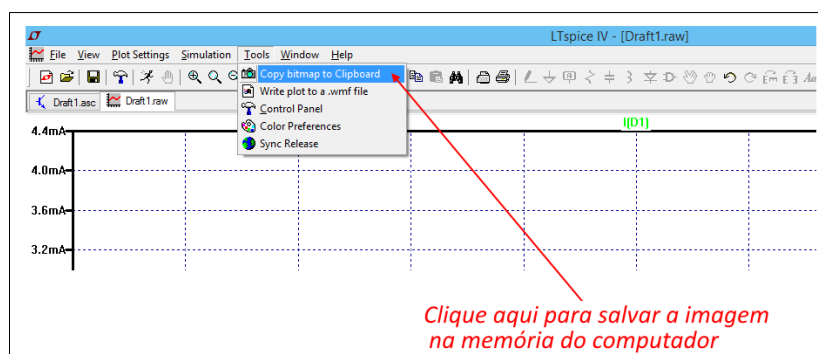


Figura 82 - Salvando o gráfico gerado como imagem

6.6. Exportando dados gerados na simulação

Uma aplicação comum é utilizar os dados simulados no *LTspice* para manipulação destes em outros softwares, como, por exemplo, o *MATLAB*.

O *LTspice* grava em um arquivo *.txt* os dados ponto a ponto das curvas geradas na simulação. Para exportar esses dados, primeiramente selecione a guia do gráfico, depois selecione a opção “*Export*” do menu “*File*” para que a janela “*Select traces to Export*” se abra. Nesta janela, ilustrada na Figura 33, selecione o local onde será gravado o arquivo de *.txt* e quais vetores com os dados serão exportados.

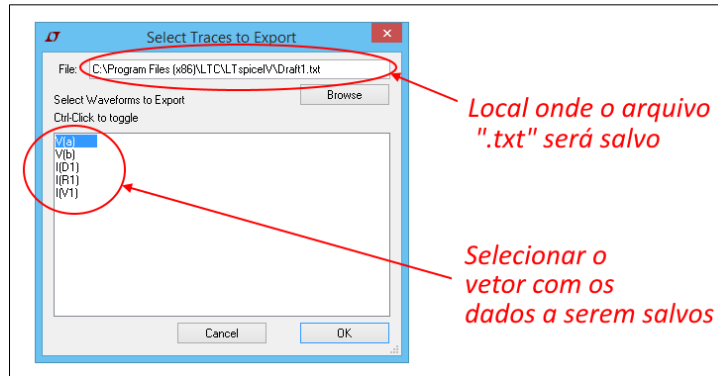


Figura 83 - Selecionando as curvas a terem seus dados exportados

Para exemplificar foram selecionados os vetores “*V(a)*” e “*I(b)*” correspondentes à tensão na fonte *V1* e corrente que circula no diodo *D1*, respectivamente. Depois de ativado o botão “*OK*” e gerado o arquivo, temos o arquivo *.txt* gerado apresentado na Figura 84

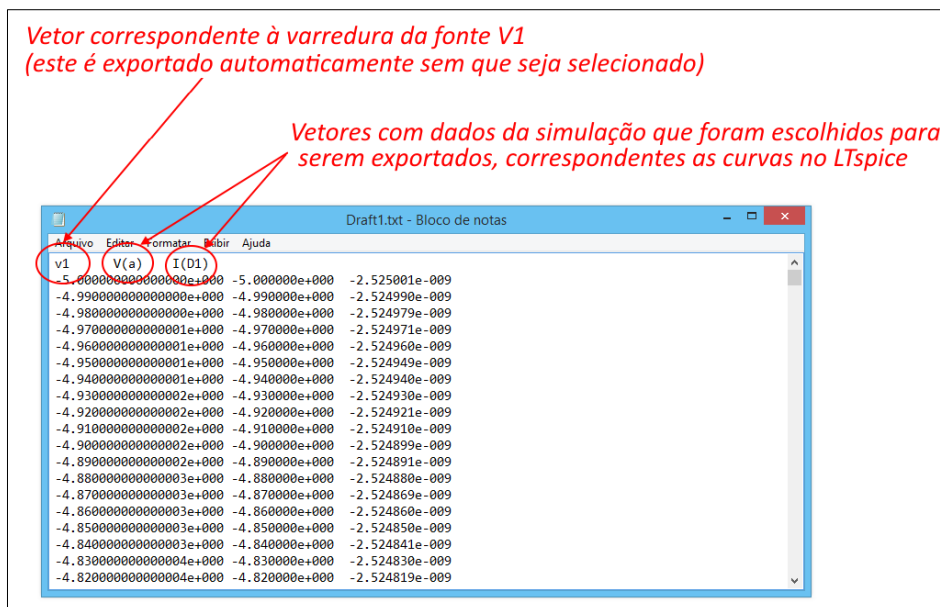


Figura 84 – Arquivo “.txt” gerado depois de exportados os dados

De posse desses dados da Figura 84, é possível utilizar outros softwares para manipulá-los de forma adequada, para os fins desejados.