



**TÉCNICO**  
LISBOA

# Eletrónica I

2º Semestre 2019/2020

## LAB0

### Trabalho Inicial de Laboratório

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Área Científica de Eletrónica

#### Histórico de revisões

<b>Data</b>	<b>Versão</b>	<b>Descrição</b>	<b>Autores</b>
Fevereiro 2019	1.0	Versão inicial	Pedro Vítor
Setembro 2019	1.1	Versão 2019/2020	Pedro Vítor
Fevereiro 2020	1.2	Versão 2019/2020 (2º semestre)	Pedro Vítor

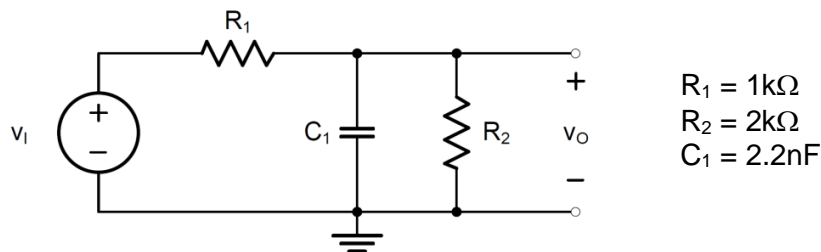
## 1. Introdução

Pretende-se com este trabalho de laboratório fazer um enquadramento aos laboratórios de Eletrónica I, com especial relevo nos cálculos teóricos, na simulação e na obtenção de resultados experimentais em laboratório.

Para o circuito da Figura 1 deverá ser feita a análise teórica, realizadas as simulações e obtidas as medidas experimentais.

Deverão ser preenchidas as tabelas seguintes e ser realizada a comparação dos resultados teóricos, das simulações e das medidas experimentais.

## 2. Circuito



$$\begin{aligned} R_1 &= 1\text{k}\Omega \\ R_2 &= 2\text{k}\Omega \\ C_1 &= 2.2\text{nF} \end{aligned}$$

Figura 1 – Circuito a estudar.

## 3. Fonte DC

Considere  $v_i$  uma fonte DC de 5V.

	Teórico	Simulação	Experimental (*)	Conclusões
$V_i$ (V)				
$V_o$ (V)				
$I_{R2}$ (mA)				

(\*) Medidas realizadas utilizando o multímetro (voltímetro para as tensões e amperímetro para as correntes)

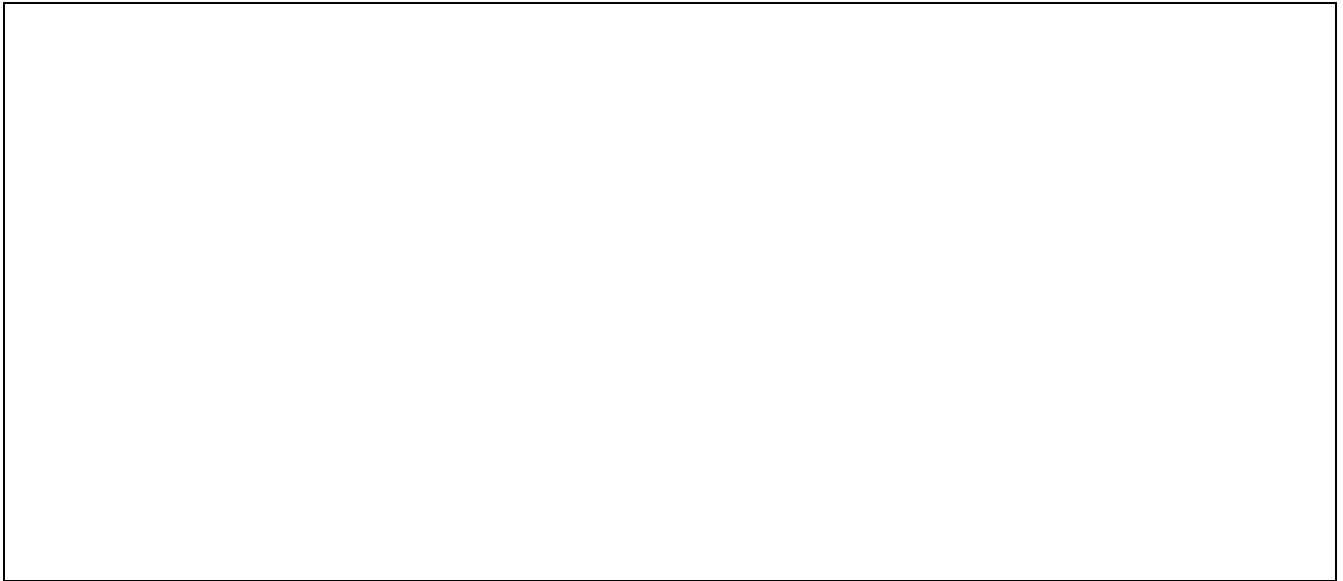
## 4. Fonte sinusoidal

Considere  $v_i$  uma fonte sinusoidal com 5V de amplitude e frequência de 50kHz.

	Teórico	Simulação	Experimental (*)	Conclusões
$ V_i $ (V)				
$ V_o $ (V)				
$\phi\{V_o/V_i\}$ ( $\mu\text{s}$ )				
$\phi\{V_o/V_i\}$ ( $^\circ$ )				

(\*) Medidas realizadas utilizando o multímetro (voltímetro para as tensões e amperímetro para as correntes)

Gráficos de  $V_i(t), V_o(t)$ :



## 5. Fonte onda quadrada

Considere  $v_i$  uma fonte com uma onda quadrada compreendida entre 0V e 5V, com frequência de 50kHz.

	Teórico	Simulação	Experimental (*)	Conclusões
$t_r, t_f$ ( $\mu\text{s}$ )				
$t_{pLH}, t_{pHL}$ ( $\mu\text{s}$ )				

Gráficos de  $V_i(t), V_o(t)$ :



## Anexo A. Simulador LTspice

Para utilizar o simulador LTspice pode seguir os tutoriais indicados [1]. Segue-se uma pequena introdução ao simulador utilizando como exemplo o circuito da Figura 1.

### Criação do diagrama esquemático

No LTspice crie um novo esquema (File → New Schematic). Coloque no esquema os componentes da Figura 1: uma fonte de tensão (voltage), duas resistências e um condensador. Coloque também o nó de referência GND, que é obrigatório. Na Figura 2 mostra-se o menu de componentes para edição do esquema, que contém um conjunto de componentes típicos e os comandos principais de edição. A figura representa também uma tabela com as principais teclas rápidas do programa.

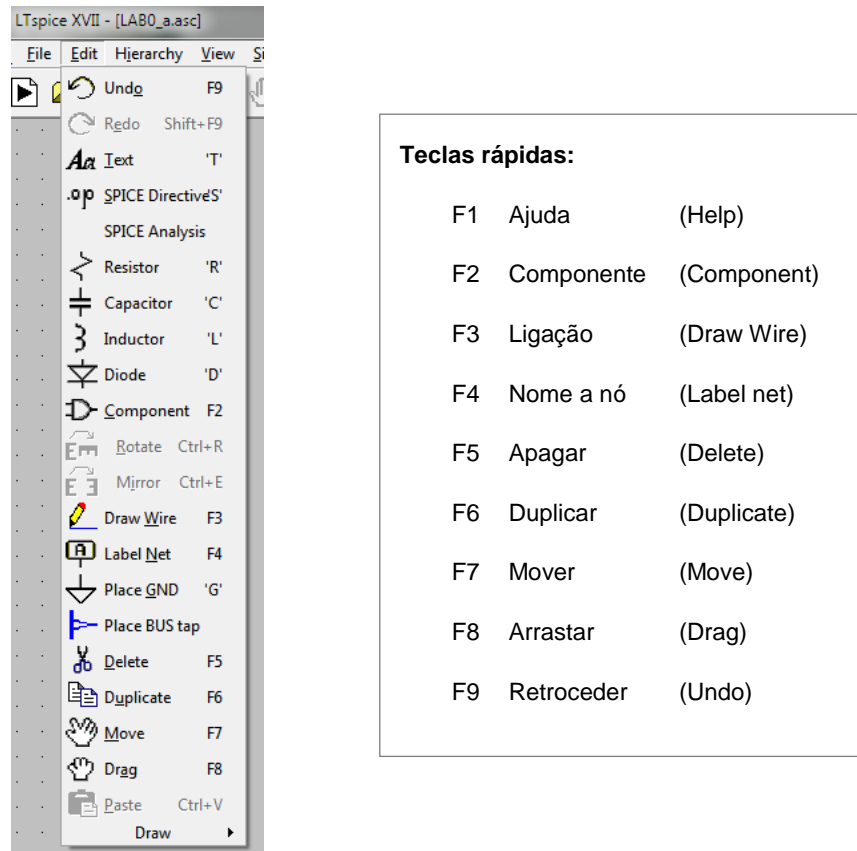




Figura 2 – Menu de componentes do LTspice para edição do esquema e teclas rápidas.



Na Figura 3 apresentam-se os botões para edição do esquema (presentes na parte superior da janela do programa) com os comandos principais de edição.



Figura 3 – Botões para edição do esquema.

Para colocar um componente selecione **Edit** → **Component** (tecla F2 ou símbolo ) e escolha um dos componentes disponíveis na lista, podendo também usar os botões referidos acima. A Figura 4 apresenta essa lista onde estão assinalados os três componentes necessários para o esquema da Figura 1: fonte de tensão (“voltage”), resistência (“res”) e condensador (“cap”).

A posição de um componente pode ser modificada com o comando **Edit** → **Move** (ou tecla F7 ou símbolo ) , selecionando o componente a ser deslocado. Através de CNTRL R e CNTRL E o componente pode ser rodado ou espelhado.

Depois de colocados os componentes e o nó de referência (Ground ou símbolo ) , que é obrigatório, complete as ligações com **Edit** → **Draw wire** (tecla F3 ou símbolo ) . Edite a tensão da fonte clicando com a tecla direita do rato sobre a letra “V” junto à fonte de tensão e colocando 5V.

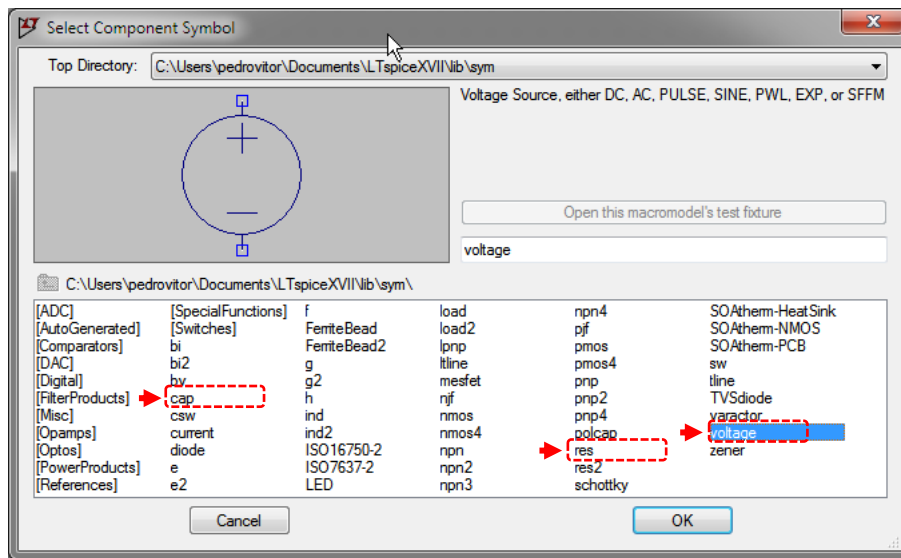


Figura 4 – Componentes da biblioteca do LTspice.

A Figura 5 ilustra o resultado final da introdução do esquema da Figura 1. A edição das características de um componente é feita premindo a tecla direita do rato sobre o componente (para editar todas as suas características através de uma janela própria) ou sobre a sua referência (por exemplo para passar de R1 a R3) ou o seu valor (por exemplo passar de 1k para 10k).

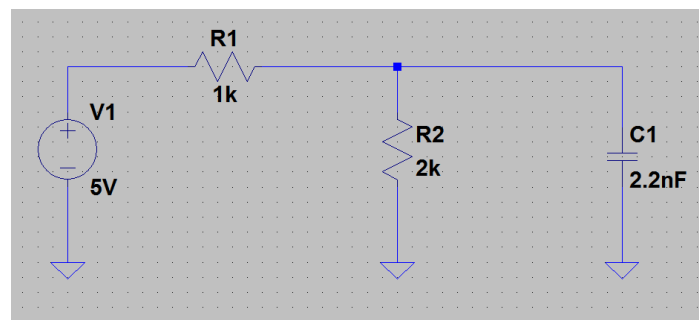


Figura 5 – Esquema final.

## Simulação

Para simular o circuito, defina o tipo de análise a efetuar, utilizando o comando **Edit** → **Spice analysis**. Na Figura 6 aparecem os tipos de análise possíveis, devendo ser escolhido aquele que se pretende:

- Para calcular os valores no ponto de funcionamento em repouso (tensões e correntes DC), selecione “*DC op pnt*”. Após dar OK na janela, colocar sobre o esquema o termo correspondente à análise “.op” (Figura 6).
- Para obter gráficos de sinais no domínio da frequência selecione “*AC Analysis*”, preenchendo os valores tal com se representa na Figura 7, correspondente a uma análise numa escala logarítmica com 1000 pontos por década, iniciando-se a 1kHz e terminando a 100kHz.
- Para obter gráficos das tensões de entrada e de saída no domínio do tempo selecione “*Transient*”, preenchendo os valores tal com se representa na Figura 8, correspondente a uma análise de um período completo ( $T=20\mu s$ ) e com um número de pontos mínimo de 100 por cada período (passo= $0.2\mu s$ ).

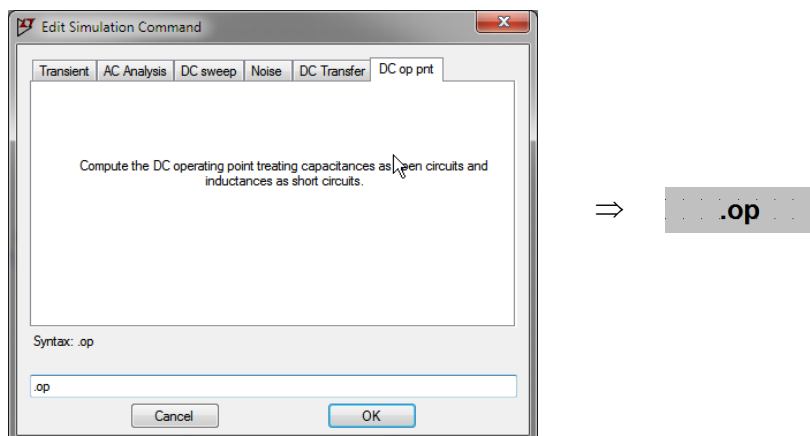


Figura 6 – Definição do tipo de simulação – “*DC op pnt*”.

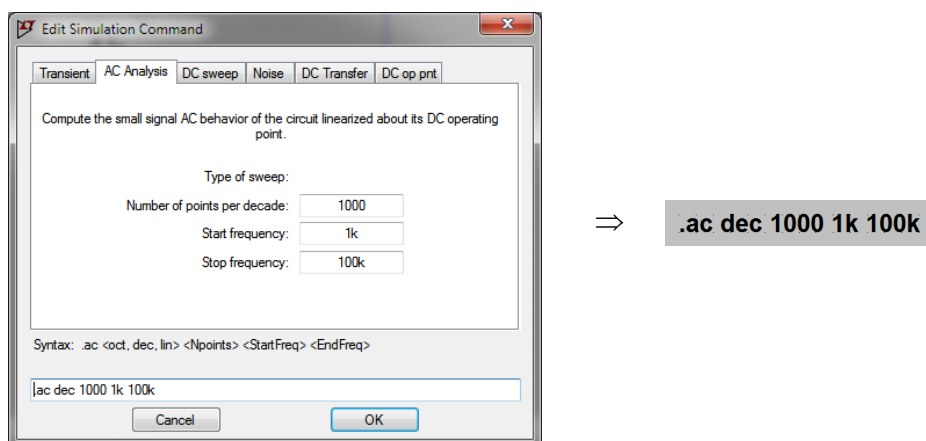
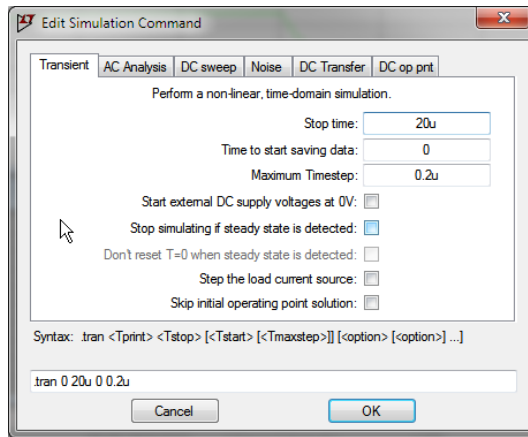


Figura 7 – Definição do tipo de simulação – “*AC Analysis*”.





⇒ `.tran 0 20u 0 0.2u`

Figura 8 – Definição do tipo de simulação – “Transient”.

Para qualquer das simulações tem que se indicar qual o tipo de sinal da fonte de tensão (V1 no caso da Figura 5) do circuito:

- Para a análise DC                    5V DC
- Para a análise AC                    1V AC
- Para a análise transitória        “SINE” (sinusoidal) ou “PULSE” (onda quadrada)

A ordem de simulação é dada através do menu **Simulate** → **Run** (ou símbolo )

Na Figura 9 apresenta-se o resultado da simulação do ponto de funcionamento em repouso para uma tensão na entrada de 5 V. Os resultados das tensões dos nós e das correntes nos ramos podem ser visualizados sobre o circuito (premindo a tecla direita do rato sobre o nó que se pretende medir e selecionando “Place .op data label” – ) ou na janela de texto que aparece após a simulação.

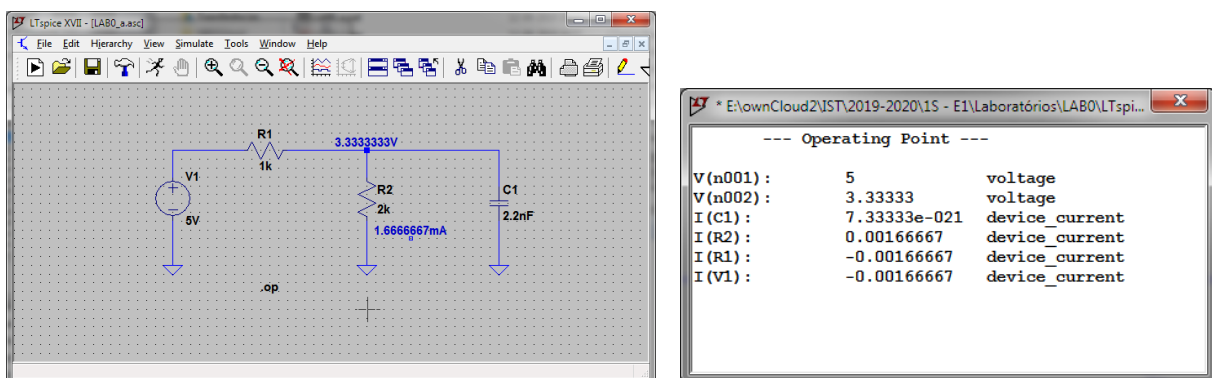


Figura 9 – Simulação do ponto de funcionamento em repouso para V1=5 V.

A Figura 10 mostra a configuração de uma fonte de tensão “voltage” com sinal sinusoidal (“SINE”), com amplitude de 5V, DC offset de 0V, frequência de 50kHz e atraso de 0s. Para obter a janela de configuração, pressione a tecla direita do rato sobre a fonte (V1 na Figura 9).

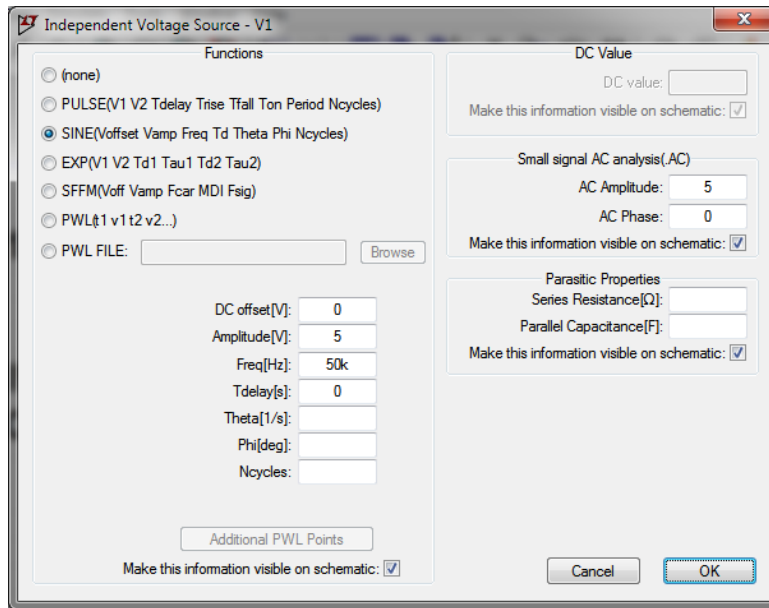


Figura 10 – Gerador de sinusoidal.

A Figura 11 mostra a configuração de uma fonte de tensão “*voltage*” como gerador de impulsos (“*PULSE*”).

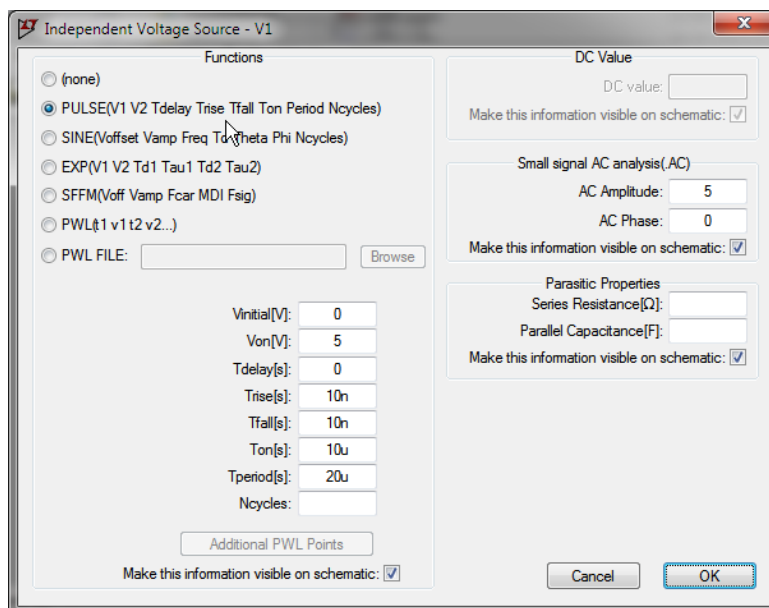


Figura 11 – Gerador de impulsos.

Os parâmetros a preencher para “*PULSE*” são apresentados na figura Figura 12, sendo que na Figura 11 foi considerada uma fonte com valor mínimo 0V, valor máximo 5V, sem atraso, com tempos de subida e descida muito baixos (10ns), largura do impulso ( $T_{on}=10\mu s$ ) e período ( $T_{period}=20\mu s$ ), correspondente a uma onda quadrada de 50kHz com *duty-cycle* de 50%.



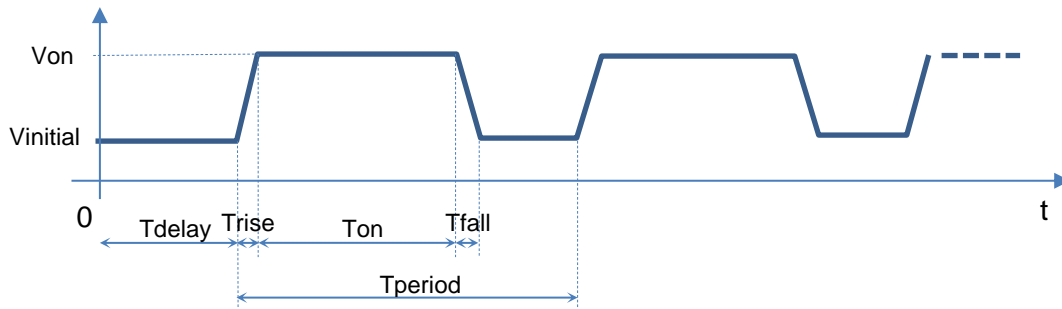


Figura 12 – Parâmetros de uma forma de onda “PULSE”.

### Visualização de formas de onda

Após ser dada a ordem de simulação o utilizador deverá indicar os sinais que pretende obter graficamente. Para tal ou clica sobre os respetivos nós do circuito ou executa os comandos **Plot Settings** → **Visible Traces** e **Plot Settings** → **Add Traces** que permitem especificar as formas de onda a visualizar. Permitem também especificar operações matemáticas que podem ser realizadas sobre os resultados de simulação. A derivada  $d(x)$  é um dos exemplos de operação que pode ser efetuada.

A Figura 13 representa um exemplo de simulação do circuito da Figura 1 no domínio do tempo (“Transient”), considerando uma onda quadrada em V1 (“PULSE”).

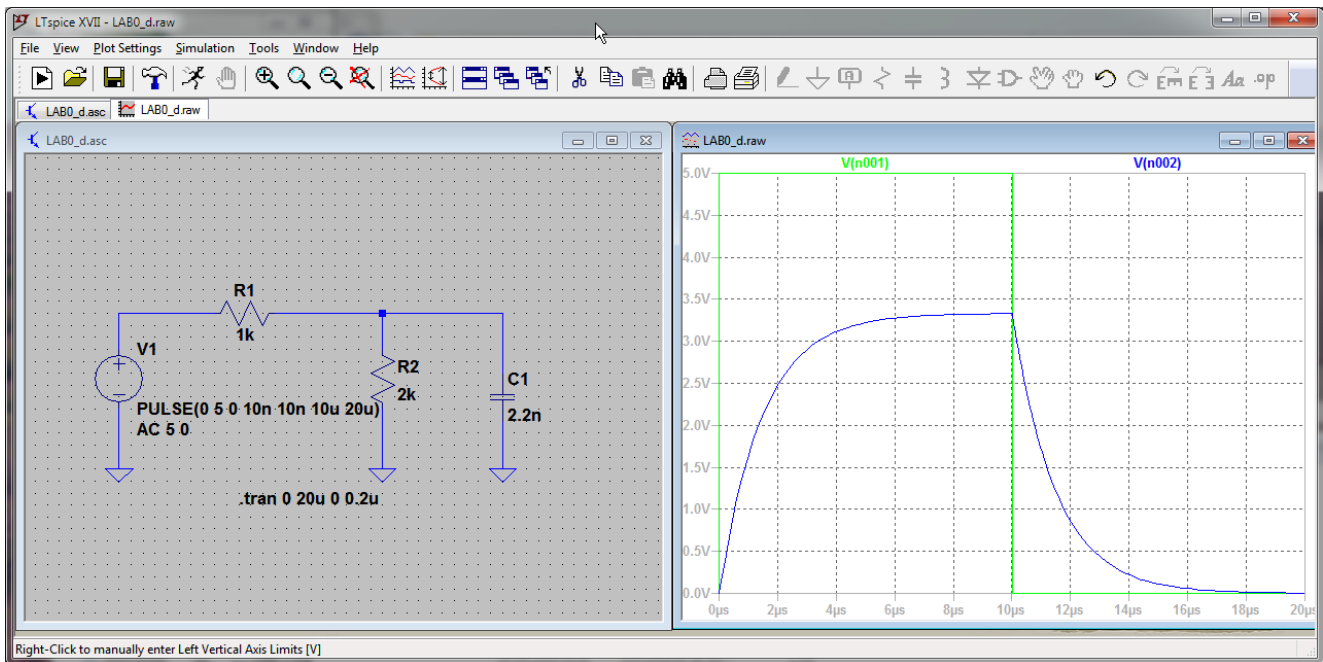


Figura 13 – Simulação do circuito da Figura 1 no domínio do tempo com uma onda quadrada em V1.

## Anexo B. Osciloscópio

Este anexo contém apenas a descrição dos comandos do osciloscópio para se obterem as medidas experimentais com fonte sinusoidal e de onda quadrada. Para utilizar o osciloscópio recomenda-se a consulta dos manuais [2] ou [3], para o osciloscópio configurado em língua portuguesa ou inglesa, respetivamente.

A Figura 14 mostra o painel frontal dos osciloscópios InfiniiVision 2000 X-Series da Keysight Technologies (anteriormente Agilent) com indicação da funcionalidade das várias teclas.

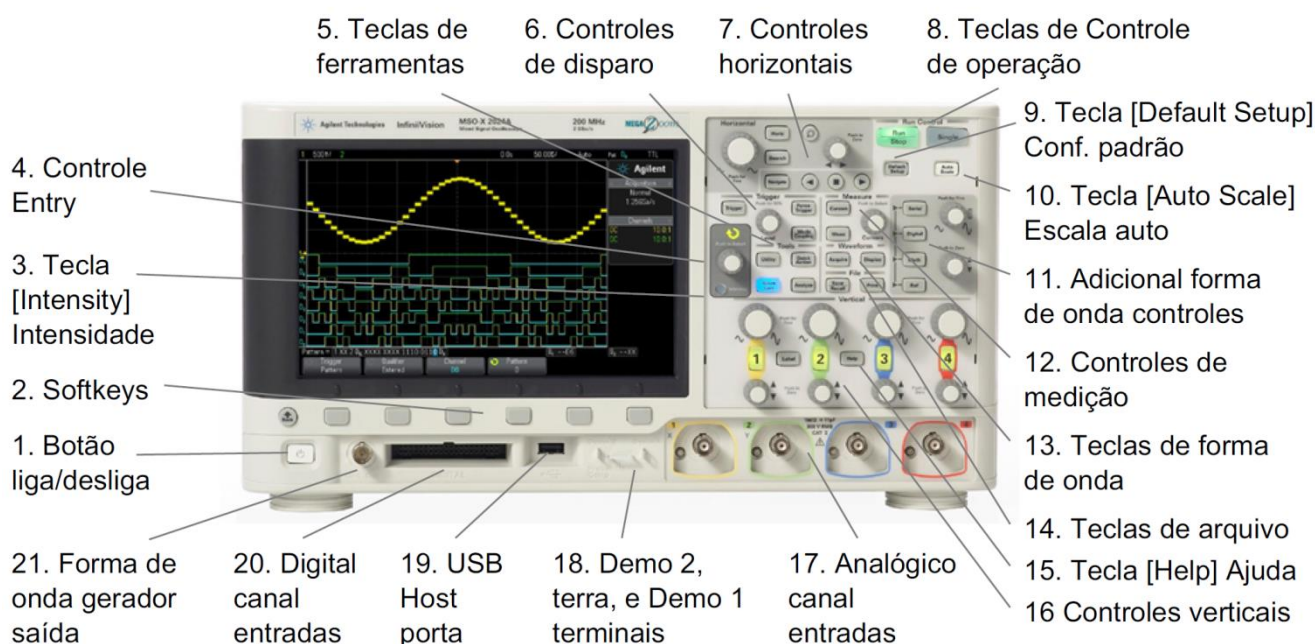


Figura 14 – Painel frontal dos osciloscópios InfiniiVision 2000 X-Series (extraído de [2]).

### Acoplamento AC e CC

Selecione o canal para o qual pretende definir o tipo de acoplamento. Na Figura 15 está indicado que o acoplamento do canal 2 é DC (CC) – mede ambas as componentes do sinal (DC+AC). Para mudar para AC (CA) – mede apenas a componente alternada (AC) – rode o botão **ENTRY** (Controle Entry) ou use a *softkey* por baixo do menu (Menu2Canal).

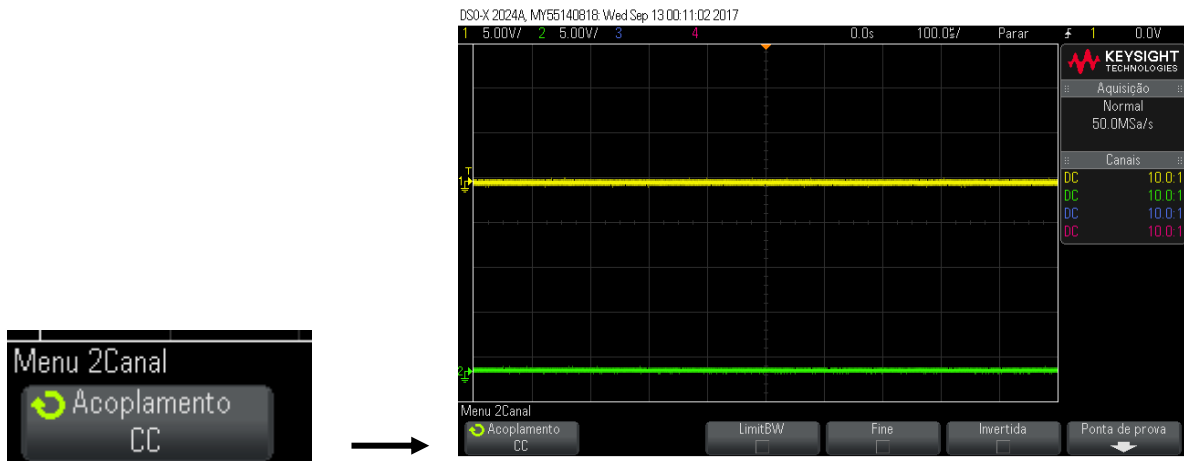


Figura 15 – Acoplamento AC e CC

### Medição de amplitudes


Para fazer medições automáticas pressione a tecla **[Meas]** do painel frontal. Rode o botão **ENTRY** ou use a *softkey* **Fonte** por baixo do menu **Medição**, para seleccionar o canal de uma das formas de onda (canal 1, 2, 3 ou 4). Pressione a *softkey* **Tipo**, e gire o botão **Entry** ou pressione a *softkey* para seleccionar o tipo de medição.

Para medida da amplitude de um sinal poderá utilizar a medição **Amplitude** (ou **Pico a pico**), em que ambas as medições apresentam o valor pico a pico, pelo que dividindo o valor medido por 2 obtém-se o valor da amplitude pretendida.

Outra forma que se pode utilizar, quando os sinais não têm componente DC é a medida **Topo** (ou **Máximo**), que apresenta logo o valor da amplitude pretendida.


### Medição de atraso de tempo

Para medição do atraso de tempo (em segundos) de um sinal deverá utilizar a medição **Retardo** (Figura 16) de  $V_o$  relativamente a  $V_i$ , sendo necessário indicar a forma do osciloscópio realizar essa medida pressionando a *softkey* **Definições**, indicando a Fonte 1 ( $V_o$  – canal 1, 2, 3 ou 4) e a Fonte 2 ( $V_i$  – canal 1, 2, 3 ou 4), para que seja medida, como se pretende, a diferença de fase entre a saída  $V_o$  e a entrada  $V_i$  (Figura 17). O valor considerado para a transição deverá ser igual para ambas as fontes para a medição pretendida nos pontos 4 e 5 (Fonte sinusoidal e Fonte onda quadrada), por exemplo Fonte 1 (0→1) e Fonte 2 (0→1).

Após configuração das **Definições** o utilizador deverá premir a tecla *Voltar/subir* (**Back**) com o símbolo  para retornar ao menu anterior (**Medições**) para então premir a tecla **Adicionar Medição**.

### Medição atraso de fase

Para medição do atraso de fase (em graus) de um sinal deverá utilizar a medição **Fase** (Figura 16) de  $V_o$  relativamente a  $V_i$ , sendo necessário indicar a forma do osciloscópio realizar essa medida pressionando a *softkey* **Definições**, indicando a Fonte 1 ( $V_o$  – canal 1, 2, 3 ou 4) e a Fonte 2 ( $V_i$  – canal 1, 2, 3 ou 4), para que seja medida, como se pretende, a diferença de fase entre a saída e a entrada (Figura 17). O valor considerado para a transição deverá ser igual para ambas as fontes para a medição pretendida no ponto 4 (Fonte sinusoidal), por exemplo Fonte 1 (0→1) e Fonte 2 (0→1).

Após configuração das **Definições** o utilizador deverá utilizar a tecla *Voltar/subir* (*Back*) com o símbolo  para retornar ao menu anterior (**Medições**) para então premir a tecla **Adicionar Medição**.

Valores de atraso negativo indicam que a transição selecionada para a Fonte 1 ( $V_o$ ) ocorreu após a transição selecionada da Fonte 2 ( $V_i$ ).

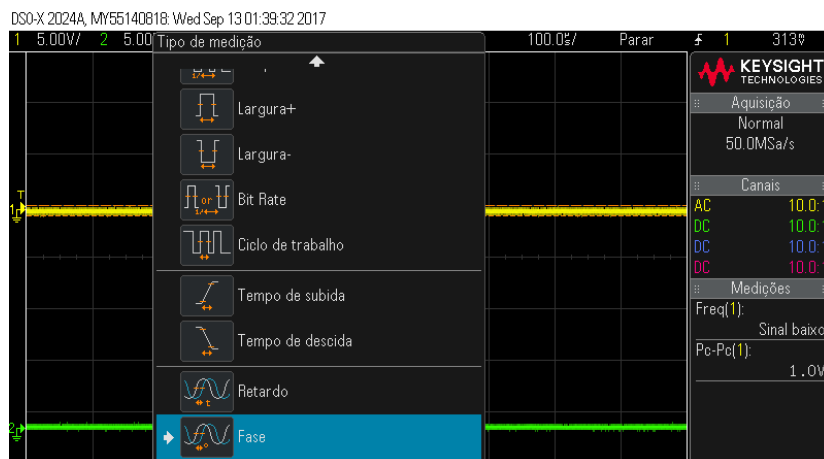


Figura 16 – Medições automáticas.



Figura 17 – Medição do atraso.

### Medição dos tempos de subida e de descida

Para medição dos tempos de subida e de descida (em segundos) de um sinal deverá utilizar as medições **Subida** (*Rise*) e **Descida** (*Fall*), respetivamente (Figura 16), tendo que se indicar qual o canal onde se pretende realizar a medida (canal 1, 2, 3 ou 4).

## Modo de Aquisição



Os modos de aquisição de **Alta Resolução** e de **Média** reduzem o ruído aleatório e melhoram a resolução vertical. Para usar estes modos, pressione a tecla **[Acquire]** do painel frontal e gire o botão **Entry** ou pressione a *softkey* para selecionar o modo **Alta Resolução** ou de **Médias** no Menu aquisição. Se o sinal for repetitivo e muito estável o modo de médias resulta muito bem, particularmente melhor que o da alta resolução, particularmente para um número de médias de 128 ou superior, devendo ter-se em atenção que para um número de médias muito elevado o osciloscópio demora mais tempo a estabilizar as medições.

## Guardar imagens e formas de onda visualizadas

Para guardar as formas de onda visualizadas ou os dados das medições, utilize o osciloscópio em modo de aquisição de médias (**Média**), porque reduz o ruído, ficando o gráfico com melhor definição. As formas de onda visualizadas podem ser armazenados num dispositivo de armazenamento USB ou obtidas no PC da bancada que está ligado ao osciloscópio.

Para transferir a informação para um dispositivo de armazenamento USB, após colocar a PEN USB no osciloscópio prima a tecla **[Save/Recall]**, de seguida deve selecionar o tipo de ficheiro através da *softkey* **Formato** (PNG ou BMP para imagem e CSV para dados, que podem depois ser trabalhados no Excel) e finalmente premir a *softkey* **Salvar** para guardar a informação na PEN.

Para obter as formas de onda no PC:

- Abra o programa Excel e selecione o menu **Add-Ins** (Figura 18), ficando com acesso às opções indicadas na Figura 19.
- Se seleccionar a opção  (Get Waveform Data), obtém os valores das formas de onda em colunas do ficheiro em função do tempo e a respetiva representação gráfica como se vê Figura 19 (a).
- Se seleccionar a opção  (Get Screen Image), obtém a imagem do osciloscópio como se vê Figura 19 (b). Nesta opção, pode ainda escolher armazenar o ficheiro com a imagem num diretório do PC.

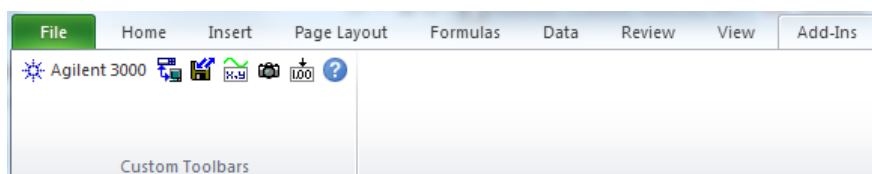


Figura 18 – Opções de aquisição das formas de onda visíveis no osciloscópio.

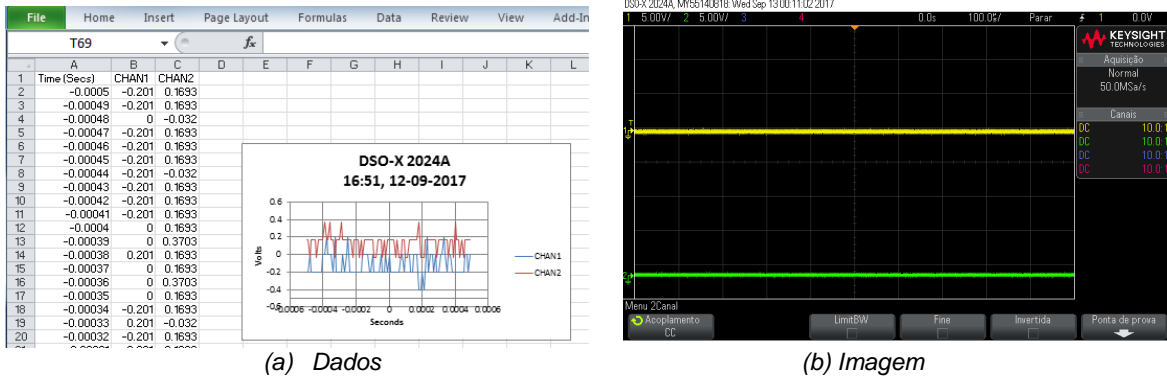


Figura 19 – Formas de onda visíveis no osciloscópio.

**Exemplos de imagens obtidas**

A Figura 20 mostra dois exemplos de imagens obtidas nos pontos 3 (Fonte sinusoidal) e 4 (Fonte onda quadrada) deste guia.

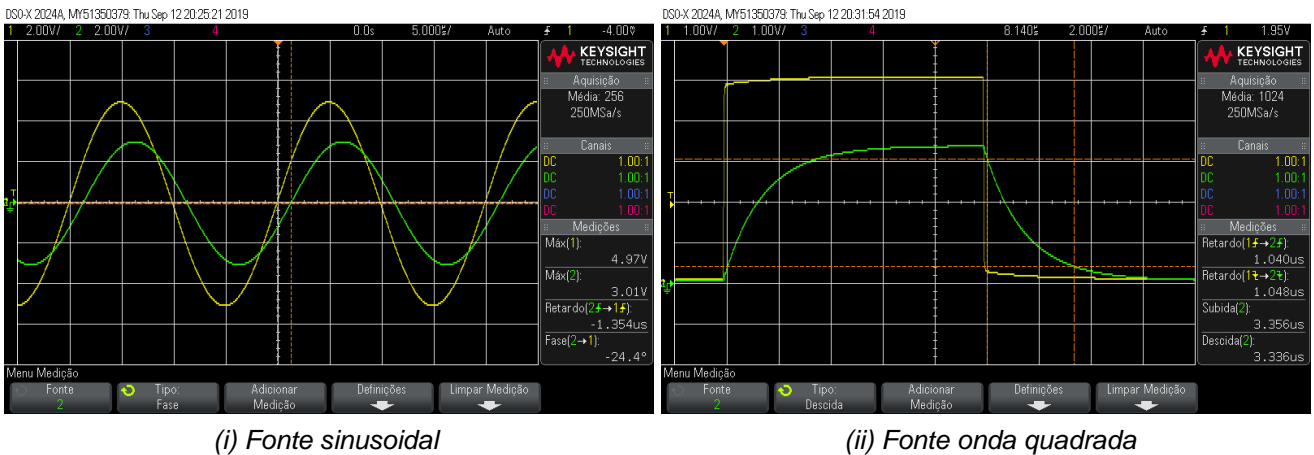


Figura 20 – Medições obtidas no osciloscópio para (i) Fonte sinusoidal e (ii) Fonte onda quadrada

**Referências**

[1] Simonbramble.co.uk, “LTspice Tutorials,” [Online]. Available: [http://www.simonbramble.co.uk/lt\\_spice/ltspice\\_lt\\_spice.htm](http://www.simonbramble.co.uk/lt_spice/ltspice_lt_spice.htm). [Acedido em 26 7 2017].  
 [2] Agilent, “Guia do usuário Osciloscópios Agilent InfiniiVision 2000 série-X,” 2013.  
 [3] Keysight Technologies, “InfiniiVision 2000 X-Series Oscilloscopes, User’s Guide,” 2013.  
 [4] Texas Instrument, “CMOS Dual Complementary Pair Plus Inverter,” 2003.  
 [5] Linear Technology, “LTSpice IV,” 2017.