

# **Análise de Circuitos**

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

LEEC e MBioNano 2021/22

2º Trabalho de Laboratório

## **CIRCUITOS RC NO DOMÍNIO DO TEMPO**

Teresa Mendes de Almeida

Paulo Flores

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área Científica de Electrónica

Setembro de 2021



# GUIA DO TRABALHO DE LABORATÓRIO

## 1 Introdução

Para a realização deste trabalho é necessário fazer uma preparação antes da aula de laboratório, que consta da leitura do guia do trabalho, da aprendizagem dos conceitos necessários, da análise teórica dos circuitos a serem testados, da resposta a todas as questões teóricas que são colocadas no guia de trabalho, da simulação dos circuitos em análise e da previsão e planeamento dos procedimentos experimentais a realizar na aula de laboratório. Durante a aula de laboratório devem ser realizadas as experiências indicadas no guia do trabalho, registados os resultados e elaborado o relatório. Este relatório consiste no correcto preenchimento da secção [2.2 - RELATÓRIO DO TRABALHO DE LABORATÓRIO](#), que faz parte deste guia e que deve ser entregue em papel no final da aula de laboratório juntamente com as simulações previamente impressas.

### 1.1 Objectivos

Este trabalho de laboratório tem os seguintes objectivos:

1. análise teórica e experimental, no domínio do tempo, de circuitos RC de primeira ordem.
2. realização de montagens simples com resistências e condensadores e sua análise em regime estacionário e em regime transitório (resposta no tempo).
3. utilização do simulador eléctrico LTspice para verificar a análise teórica e prever os resultados experimentais a obter durante a aula de laboratório.
4. desenvolvimento de competências em ambiente laboratorial e de trabalho em equipe.
5. análise dos resultados experimentais obtidos através da sua confrontação com os resultados da previsão teórica e da simulação;
6. elaboração de um relatório do trabalho experimental;

Através da realização deste trabalho, todos elementos do grupo consolidarão as suas competências em ambiente laboratorial, a sua capacidade de análise e crítica de resultados e a gestão de trabalho em equipa.

### 1.2 Equipamento e Material para Ensaio Laboratorial

Para a realização do trabalho são necessários os seguintes equipamentos: base de experimentação com fontes de tensão fixas de  $\pm 5\text{ V}$  e reguláveis até  $\pm 15\text{ V}$ , multímetro, osciloscópio, gerador de funções, cabos BNC-BNC, um adaptador T e um alicate e/ou descarnador. Para realizar as montagens precisa de uma placa de ensaio, fios e os componentes do circuito.

Os componentes a utilizar são os seguintes:

Resistências:  $1 \times 10\text{k}\Omega$   $1 \times 56\text{k}\Omega$   $1 \times 22\text{k}\Omega$

Condensador:  $1 \times 6.8\text{nF}$

No início do laboratório, deve trazer para a bancada todo o equipamento e material necessário e no fim da aula deve devolvê-lo, arrumá-lo e deixar a bancada arrumada e limpa e todos os equipamentos desligados.

### 1.3 Base de Experimentação

A montagem dos circuitos em ensaio é feita sobre a base de experimentação e interligando os respectivos componentes na placa ensaio.

A alimentação dos circuitos em ensaio é feita directamente através da base de experimentação que fornece tensões DC reguláveis entre  $-15\text{ V}$  e  $+15\text{ V}$ , e fixas de  $-5$  e de  $+5\text{ V}$ , ou pelo gerador de sinais.

## 2 Plano de Trabalho

O circuito base que iremos usar neste trabalho encontra-se representado na figura 1 tendo os componentes os seguintes valores:  $R1 = 10k\Omega$ ,  $R2 = 56k\Omega$ ,  $R3 = 22k\Omega$  e  $C1 = 6.8nF$ .

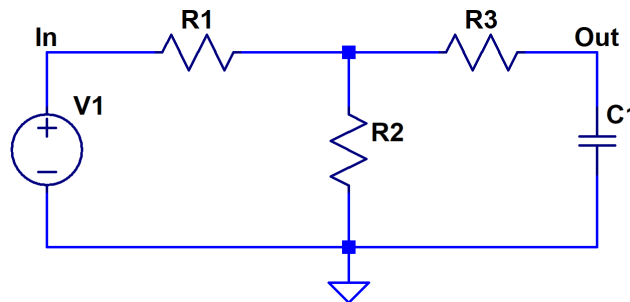


Figura 1: Circuito RC de 1º ordem.

### 2.1 Análise em Regime Estacionário

Considere que o gerador é uma fonte de tensão constante,  $V1 = 10V$ , que foi ligada há muito tempo e, por isso, o circuito já atingiu o regime estacionário, estando todas as grandezas eléctricas constantes quando for feita a sua análise.

Com o auxílio da placa de ensaio e da base de experimentação monte o circuito representado na Figura 1. Como fonte de tensão constante,  $V1$ , use fonte de alimentação variável que se encontra na base de experimentação e ajuste o seu valor da tensão para 10V antes de a ligar ao circuito. Execute agora os seguintes passos do procedimento experimental, registando, comentando e procurando justificar no relatório todos os resultados obtidos.

1. Determine a expressão simbólica que permite obter a tensão ao terminais do condensador, ou seja, o valor da tensão no nó Out.
2. Simule o circuito da Figura 1 para obter as tensões e correntes do ponto de funcionamento em repouso (regime estacionário) do circuito. Obtenha os valores da tensão e corrente no condensador.
3. Determine a potência fornecida pela fonte de tensão e a energia armazenada no condensador.
4. Registe os valores experimentais para a tensão aos terminais de  $C1$  ( $V_C = V_{Out}$ ) e a corrente no condensador. Para isso meça o valor da tensão aos terminais de  $R3$  e determine o valor da corrente.
5. Compare os valores obtidos experimentalmente com os valores teóricos e justifique o valor para a corrente do condensador.

### 2.2 Análise em Regime Transitório

Para a análise do circuito em regime transitório, a fonte de tensão tem que gerar um sinal que varia no tempo. Assim, substitua a fonte de tensão constante pelo gerador de sinas que tem na bancada de trabalho.

Note que para realizar uma onda quadrada no LTspice deve utilizar um gerador do tipo PULSE na fonte de entrada. A especificação genérica da forma de onda do tipo PULSE para a geração de pulsos periódicos é:

$$\text{PULSE}(V_1 \ V_2 \ t_d \ t_r \ t_f \ p_w \ T \ N)$$

onde o significado de cada um dos parâmetros é (ver figura 2 para uma descrição visual dos parâmetros):

- $V_1$  = patamar inferior do pulso (*Vinitial*)  
 $V_2$  = patamar superior do pulso (*Von*)  
 $t_d$  = intervalo de tempo antes do início do pulso (*Tdelay*)  
 $t_r$  = tempo de subida (*Trise*)  
 $t_f$  = tempo de descida (*Tfall*)  
 $p_w$  = duração do patamar superior do pulso (*Ton*)  
 $T$  = período dos pulsos (*Tperiod*)  
 $N$  = número de pulsos (infinitos se não for especificado) (*Ncycles*)

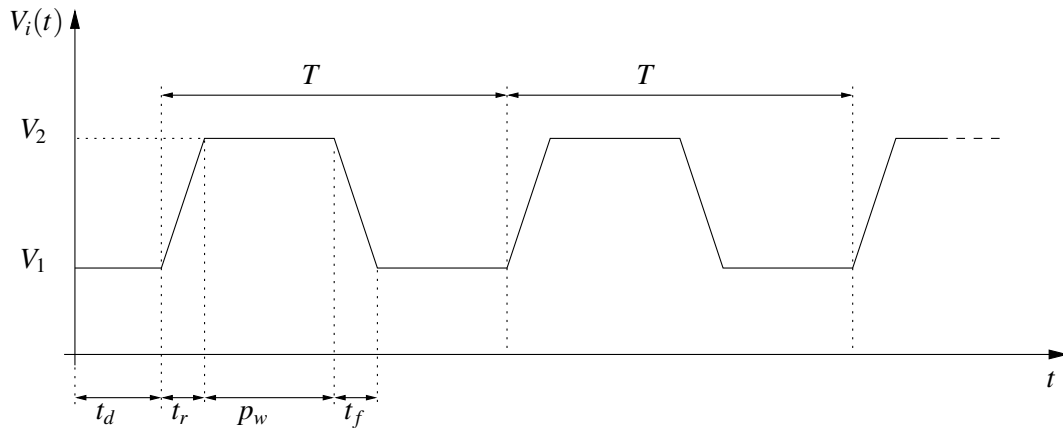


Figura 2: Parâmetros de uma fonte PULSE do programa LTspice.

Execute os seguintes passos do procedimento experimental:

### 1. Excitação Lenta

- Determine a expressão simbólica da constante de tempo da resposta transitória do circuito de 1ª ordem da Figura 1. Calcule o valor da constante de tempo teórica ( $\tau_{teo}$ ).
- Aplique à entrada do circuito ( $V_{In}$ ) uma onda quadrada de período  $T = 4ms$  ( $f = 250Hz$ ) com uma amplitude de 10V (ou seja, a variar entre 0V e 10V). Utilize o canal 1 do osciloscópio para visualizar a tensão de entrada  $v_{In}(t)$  e o canal 2 para visualizar a tensão de saída  $v_{Out}(t) = v_C(t)$ . Observe e registre  $v_{In}(t)$  e  $v_C(t)$ . Comente os resultados obtidos face à constante de tempo do circuito e compare com os resultados obtidos na simulação (Simulação-1). Use 1ns para tempo de subida e tempo de descida na descrição da onda PULSE para simular a onda quadrada.
- A partir da onda de saída  $v_{Out}(t) = v_C(t)$  determine experimentalmente a constante de tempo do circuito ( $\tau_{exp}$ ). Compare com o valor calculado anteriormente ( $\tau_{teo}$ ).

### 2. Excitação Rápida

- Diminua o período do sinal de entrada para  $T = 20\mu s$  ( $f = 50kHz$ ). Observe novamente a tensão de entrada  $v_{In}$  e de saída  $v_{Out} = V_C$ . Comente os resultados obtidos face à constante de tempo do circuito e compare com os resultados obtidos na simulação (Simulação-2).
- Explique porque nos primeiros 10ms na simulação (Simulação-3) inicialmente a tensão do sinal de saída vai aumentando por cada ciclo da onda de entrada até atingir um valor de oscilação estável (ou seja, entre dois valores constantes).

- (c) No caso da alínea anterior a onda de saída, após estabilizar, é triangular. Sendo a tensão de entrada uma onda quadrada, pode-se dizer que a saída é proporcional ao integral da entrada. Identifique experimentalmente as condições, em termos do valor máximo do período da onda de entrada ( $T_{max}$ ), para que se possa considerar que o circuito funciona como um integrador. Justifique.

### 3. Excitação Sinusoidal

- (a) Se na entrada, em vez de uma onda quadrada, tiver uma onda sinusoidal  $v_{In} = \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$  qual seria a forma da tensão de saída? Confirme a sua resposta aplicando em  $v_{In}$  uma tensão sinusoidal de amplitude  $5V$  ( $10V_{pp}$ ) e frequência  $f = 7kHz$ . Observe e registre as ondas de entrada e saída. Comente e compare com os resultados obtidos na simulação (Simulação-4).

# RELATÓRIO DO TRABALHO DE LABORATÓRIO

<b>ACir 2021/22 Lab.2</b>	<b>Data</b> ____ / ____ / ____	<b>Turno</b> ____	<b>Grupo</b> ____
Número ____	Nome ____		
Número ____	Nome ____		
Número ____	Nome ____		

Estas folhas servem para registo dos valores calculados teoricamente e dos resultados do laboratório. A numeração das secções corresponde à numeração das secções do Guia de Trabalho.

## 2.1 Análise em Regime Estacionário

1. Expressão simbólica para  $V_C$ :

$V_C =$

2. Val. Simulação:  $V_{C1} =$  \_\_\_\_\_  $I_{C1} =$  \_\_\_\_\_

3. Potência Fornecida: \_\_\_\_\_ Energia Armazenada em C: \_\_\_\_\_

4. Val. Medidos:  $V_{C1} =$  \_\_\_\_\_  $I_{C1} =$  \_\_\_\_\_

5. Comentário aos resultados obtidos:

---

---

---

---

---

## 2.2 Análise em Regime Transitório

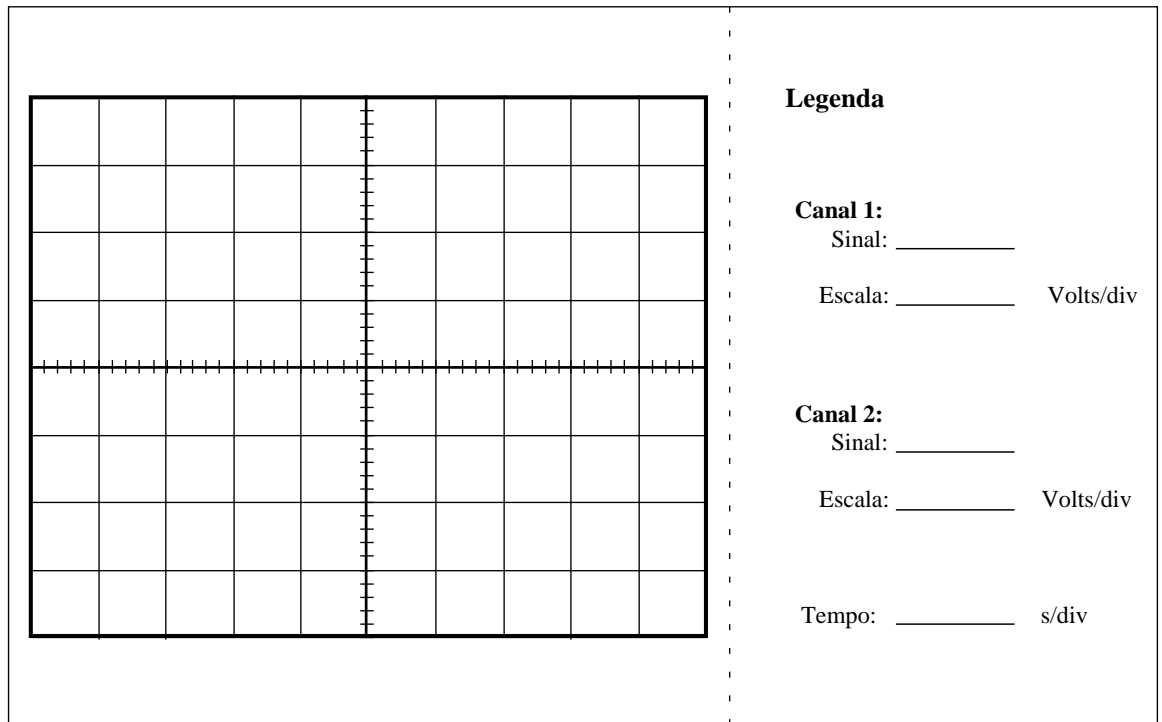
### 1. Excitação Lenta

(a) Expressão simbólica para o cálculo de  $\tau_{teo}$  e respectivo valor:

$\tau_{teo} =$	$\tau_{teo} =$ _____
----------------	----------------------

(b) Registo de  $v_{In}(t)$  e  $v_C(t)$

(com  $T = 4ms$ ,  $f = 250Hz$ )



Comentário dos resultados face à constante de tempo do circuito:

---

---

---

---

---

Comparação com o resultado da simulação (Simulação-1):

---

---

---

---

---

(c) Constante de tempo experimental:

$v_C(\text{_____}) = \text{_____} \quad \tau_{exp} = \text{_____}$

Comparação  $\tau_{teo}$  e  $\tau_{exp}$ :

---

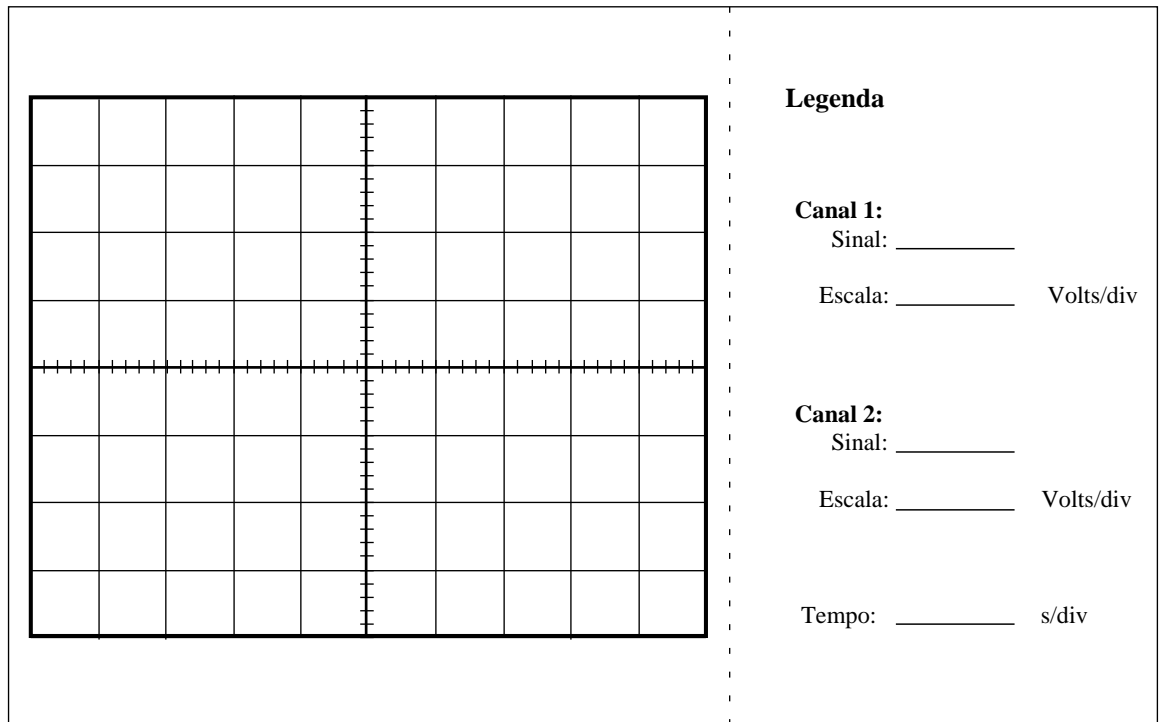
---



## 2. Excitação Rápida

(a) Registo de  $v_{In}(t)$  e  $v_C(t)$

(com  $T = 20\mu s$ ,  $f = 50kHz$ )



Comentário dos resultados face à constante de tempo do circuito:

---

---

---

---

---

Comparação com o resultado da simulação (Simulação-2):

---

---

---

---

---

(b) Justificação da variação inicial de  $v_C(t)$  na simulação (Simulação-3):

---

---

---

---

---

(c) Condições para o circuito funcionar como integrador e justificação:

Funcionamento como integrador,  $T_{max} =$  \_\_\_\_\_

---



---



---



---

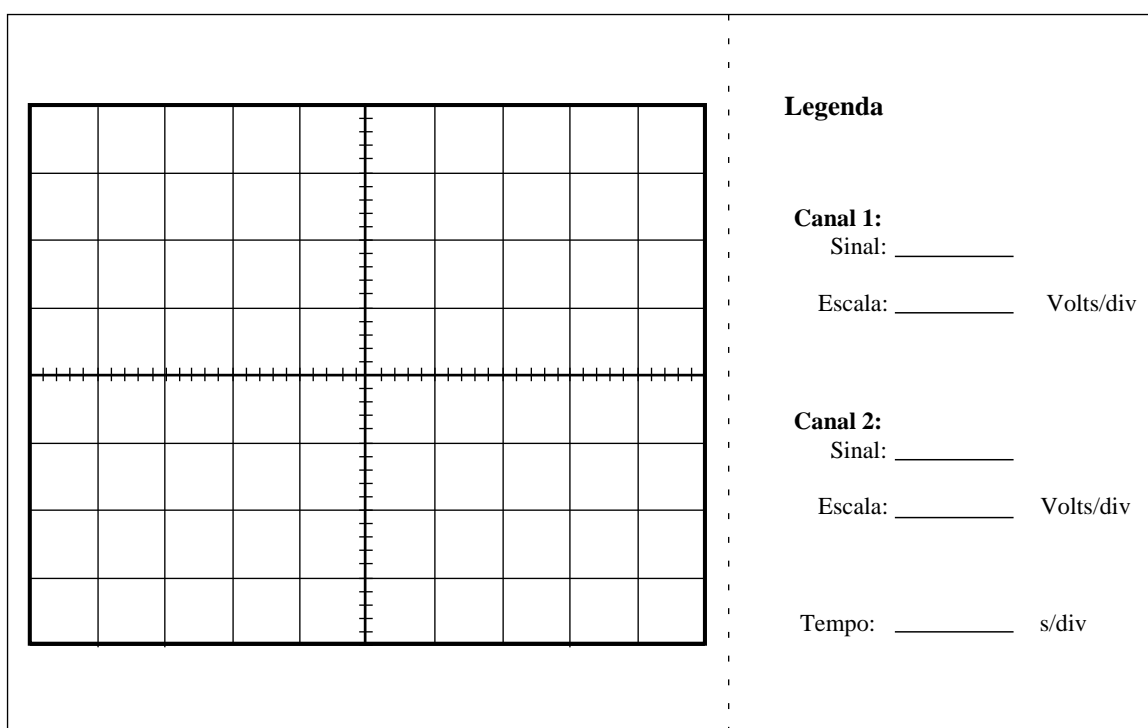


---

### 3. Excitação Sinusoidal

(a) Registo de  $v_{In}(t)$  e  $v_C(t)$

(com  $v_{In} = 5 \cdot \sin(2\pi \cdot 25 \times 10^3 \cdot t)$ )



Justificação da forma de onda obtida:

---



---



---



---



---

(b) Comparação com o resultado da simulação (Simulação-4):

---



---



---



---

## Conclusões Gerais

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---