



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos - PSI - EPUSP

PSI 3031 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

1º quadrimestre de 2018

Experiência 7 (12 e 14 de março)  
**Redes de Primeira ordem – Circuitos RC e RL**

**GUIA e ROTEIRO EXPERIMENTAL**

Walter Jaimes Salcedo / R. Onmori

Revisão: Elisabete G., Henrique E.M.P. e Leopoldo Y.

No. USP	Nome	Nota	Bancada

Data:	Turmas:	Profs:
-------	---------	--------

**I - MEDIDA DE CONSTANTE DE TEMPO ( $\tau$ ) E TEMPO DE SUBIDA ( $t_r$ ) DE CIRCUITOS RC E RL**

---

*Objetivos: avaliar a resposta transitória de circuitos RC e RL, e determinar sua constante de tempo e tempo de subida.*

---

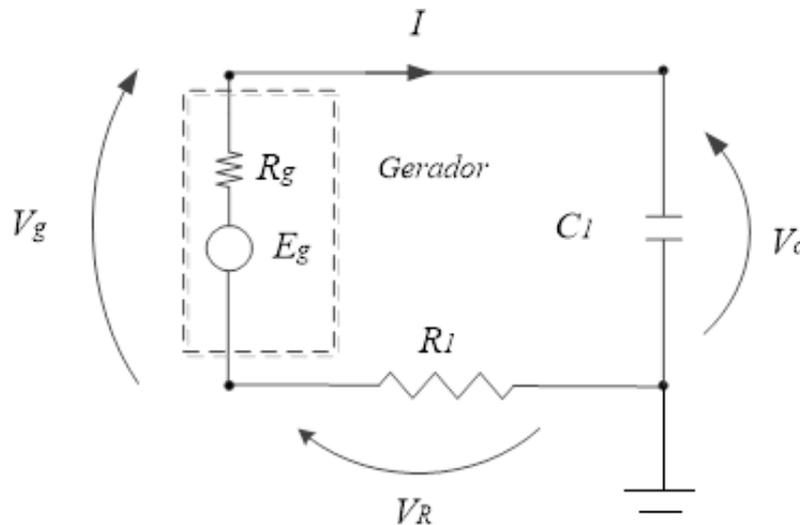
**1) Medida de componentes:** meça o valor do resistor ( $R = 1 \text{ k}\Omega$ ) e do capacitor ( $C = 100 \text{ nF}$ ) com o multímetro portátil, e meça o indutor ( $L$ ) com o medidor RLC. Anote os resultados na Tabela 1.

**TABELA 1 - Valores dos Componentes (R, C e L)**

COMPONENTE	VALOR NOMINAL	VALOR MEDIDO	
R	1 k $\Omega$		
C	100 nF		
L	3 mH	$L_S =$	$R_S =$

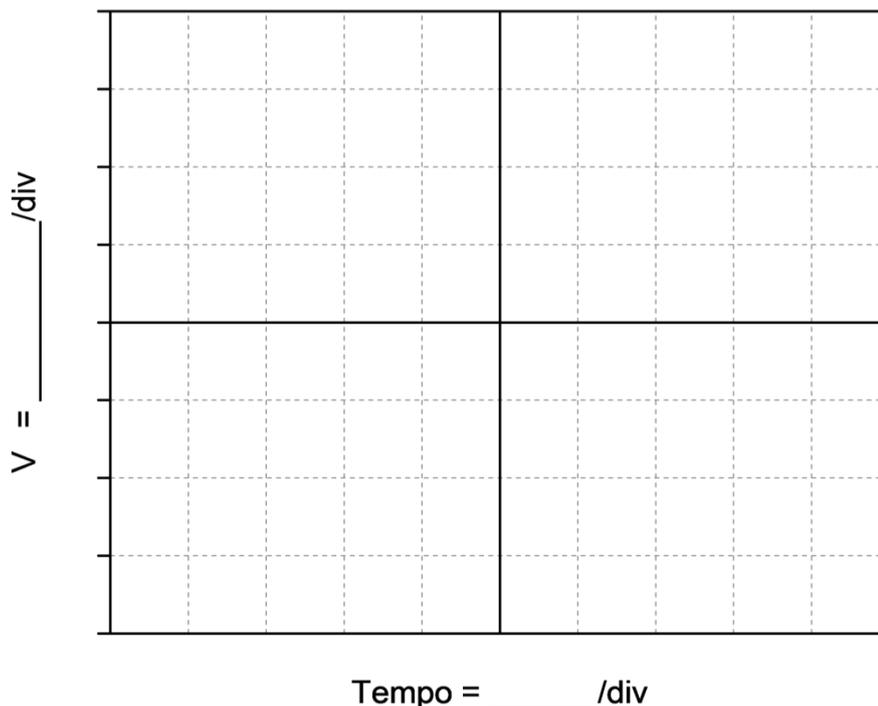
## 2) Medida da constante de tempo ( $\tau$ ) num circuito RC

2.1 Monte o circuito da **Figura 1** com o capacitor **C** e resistor **R**. Programe o gerador de funções para fornecer uma **onda quadrada** com  $V_g = 5 \text{ Vpp}$ , offset nulo e frequência de **400 Hz**. Veja as formas de onda  $V_C$  e  $-V_R$  através dos canais 1 e 2 do osciloscópio, e esboce-as no gráfico a seguir (lembre-se que  $-V_R$  é proporcional à corrente na convenção de gerador).



**Figura 1-** Circuito RC.

Ajuste o osciloscópio para que seja observado dois a três períodos dos sinais. Indique no gráfico as formas onda correspondes a  $v_C(t)$  e a  $-v_R(t)$ .



**2.2** Analise e discuta as formas de onda dos dois sinais, principalmente seu comportamento nos transitórios:

**2.3** Com base no método descrito no item 2.4 (Figura 6) da apostila “Introdução Teórica”, meça a constante de tempo do circuito, utilizando-se os cursores do osciloscópio. Descreva como fez a medição no osciloscópio, e indique o valor do  $\tau$  medido e também o período T da onda quadrada na Tabela 2.

**2.4** Calcule a constante de tempo teórica do circuito da Figura 1. Lembre-se que a resistência total do circuito analisado é  $R_T = R_g + R$  (indique o resultado na Tabela 2).

Cálculo:

**Tabela 2** – Dados experimental e teórico sobre o circuito RC

Período do sinal (T)	$\tau$ (medido)	$\tau$ (calculado)	Erro relativo (%)

**2.5** Considerando que são necessárias 5 constantes de tempo para a tensão no capacitor atingir 99% do seu patamar, verifique se esta condição foi atingida com o período de  $v_g(t)$  adotado no gerador.

### 3) Medida do tempo de subida e da frequência de corte do circuito RC

**3.1** Com base na definição do tempo de subida ( $t_r$ ) descrita no item 2.4 da “Introdução Teórica”, meça  $t_r$  experimental ( $t_{r\_exp}$ ) com o recurso de medidas automáticas (**MEAS**) do osciloscópio. Anote o resultado obtido na Tabela 3.

**3.2** Altere a forma de onda do sinal  $v_g(t)$  para senoidal, e encontre experimentalmente a frequência de corte ( $f_{c\_exp}$ ) do circuito RC. Anote o valor obtido na Tabela 3, assim como as tensões  $V_{PP0}$ <sup>1</sup> e  $V_{PPC}$ <sup>2</sup> do sinal.

**3.3** Calcule a frequência de corte teórica ( $f_{c\_teórica}$ ) a partir dos parâmetros do circuito, e compare-a com o resultado obtido experimentalmente.

**3.4** Calcule o produto  $f_{c\_exp} \cdot t_{r\_exp}$  e o seu valor teórico apresentado na “Introdução Teórica”. Apresente os resultados na Tabela 3.

---

<sup>1</sup>  $V_{PP0}$  é a tensão pico a pico máxima do sinal (tensão se mantém constante num intervalo de frequências visto que o circuito é um passa-baixas)

<sup>2</sup>  $V_{PPC}$  é a tensão pico a pico na frequência de corte ( $V_{PPC} = V_{PP0} / \sqrt{2}$ )

**Tabela 3** – Resultados experimentais e teóricos.

Valores Experimentais					Valores teóricos	
(item 3.1)	(item 3.2)	(item 3.2)	(item 3.2)	(item 3.4)	(item 3.3)	(item 3.4)
$t_{r\_exp}$	$V_{PP0}$	$V_{PPC}$	$f_{c\_exp}$	$f_{c\_exp} \cdot t_{r\_exp}$	$f_{c\_teorica}$	$f_c \cdot t_r$

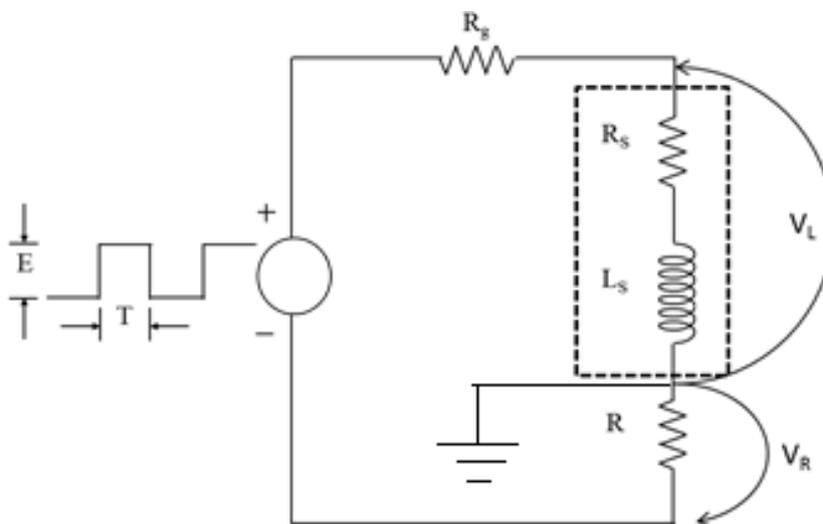
3.5 Discuta qual é o significado do produto  $f_c \cdot t_r$  ser um valor constante em circuitos RC.

#### 4) Medida da constante de tempo no circuito RL

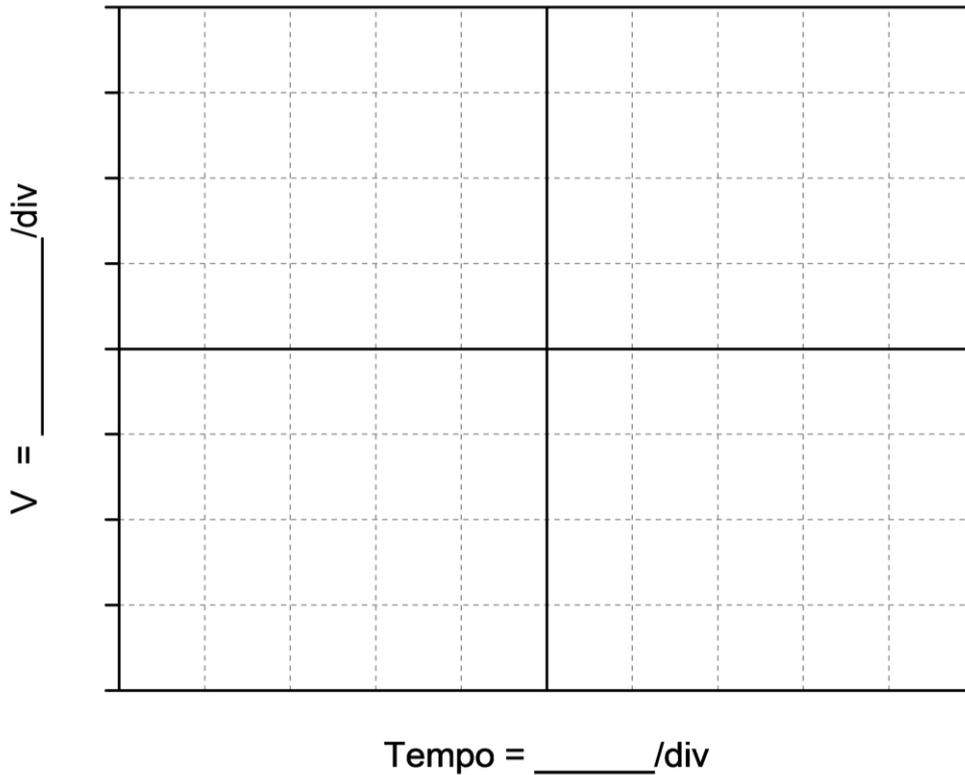
Monte o circuito conforme a Figura 2, com os componentes L e R = 1 kΩ. Programe o gerador de funções para fornecer uma **onda quadrada** com  $V_{PP} = 5\text{ V}$ , offset nulo e frequência de **10 kHz**. Obtenha as formas de onda sobre o indutor,  $v_L(t)$ , e  $-v_R(t)$  (que é proporcional à corrente do circuito), como no caso do circuito anterior.

**Atenção:** você pode ajustar a frequência do gerador de modo que a forma de onda de  $-v_R(t)$  fique próxima à Figura 6 da “Introdução Teórica”.

No gráfico a seguir esboce os sinais  $v_L(t)$  e  $-v_R(t)$  com mais de um período. Identifique-os no gráfico.



**Figura 2.** Esquema do circuito RL.



Analise e discuta as formas de onda dos dois sinais, principalmente seu comportamento nos transitórios:

Meça a constante de tempo  $\tau$  (tempo necessário para  $v_R(t)$  atingir 0,632 do seu nível máximo) e preencha a Tabela 4.

Calcule o valor teórico de  $\tau$  e compare-o com o valor experimental.

**Tabela 4** – Constante de tempo do circuito RL.

$\tau$ experimental	$\tau$ teórico	Erro relativo (%)

## II. GERADOR DE ONDA QUADRADA COM CIRCUITO RC E AMPLIFICADOR OPERACIONAL

*Objetivos: vamos entender o funcionamento de um circuito comparador do tipo Schmitt Trigger, para depois construir um gerador de onda quadrada baseado no circuito comparador associado a num circuito de 1ª ordem.*

### 1) Circuito Comparador

Monte o circuito comparador da Figura 3. Alimente o amplificador operacional com a fonte na configuração simétrica  $\pm 15V$ . Escolha  $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$ . Configure o gerador de funções para fornecer uma tensão DC como parâmetro (frequência nula e offset ativo) na entrada  $v_{in}$ , e obtenha a curva de histerese (ver Figura 10 da apostila – “Introdução Teórica”). Anote os valores de  $V_H$ ,  $V_L$ ,  $V_{TH}$  e  $V_{TL}$ .

**Cuidados:** Altere manualmente o nível DC do gerador ( $v_{in}$ ) em passos de décimos de volts próximo aos valores esperados de  $V_{TH}$  e  $V_{TL}$ .

Certifique-se que os canais 1 e 2 do osciloscópio **não** estão invertidos.

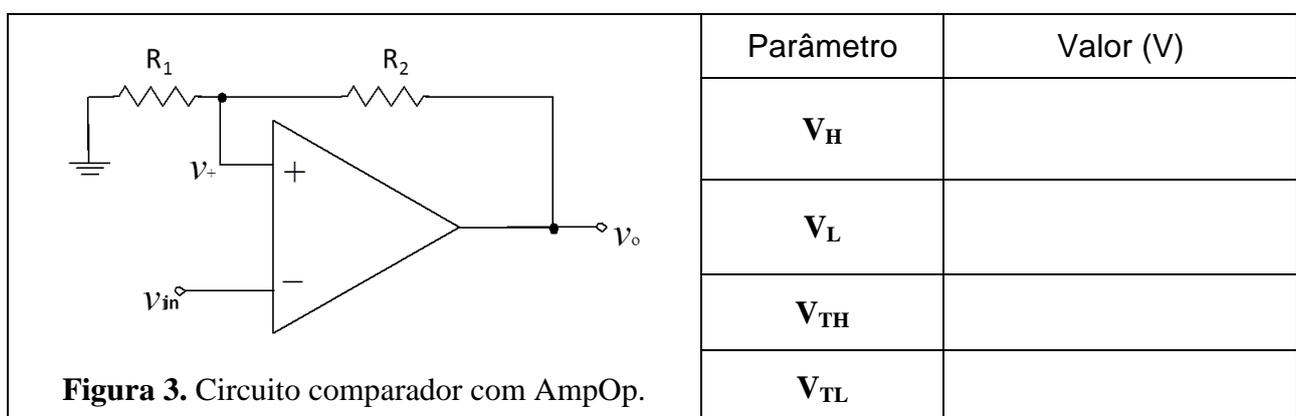
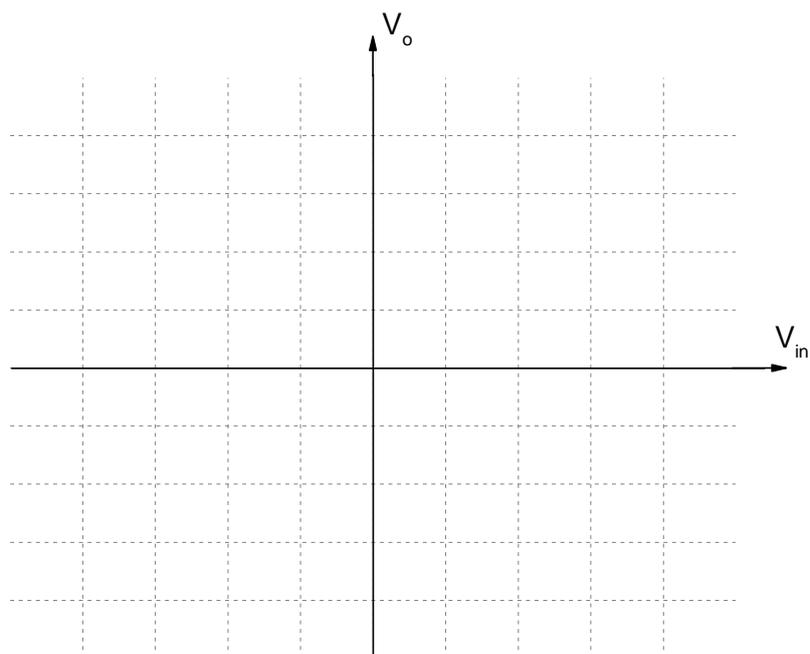
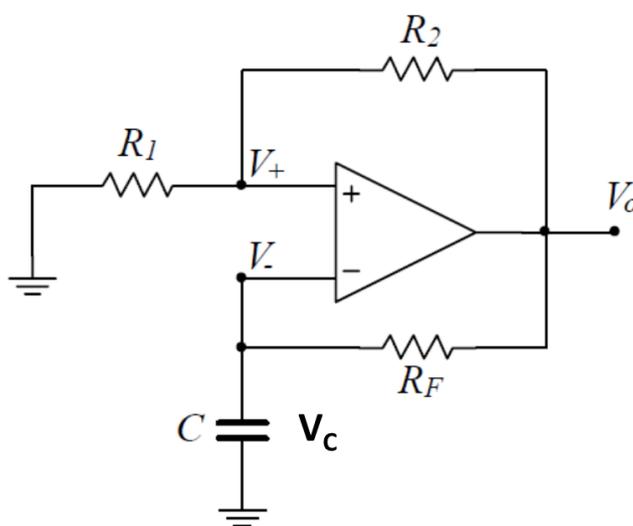


Gráfico de Resposta do circuito comparador com AmpOp (curva de histerese):



## 2) Oscilador de onda quadrada

Acrescente ao circuito anterior os elementos  $R_F$  e  $C$  como mostrado no esquema da Figura 4. Nesta parte da experiência será utilizado o capacitor de  $C = 100 \text{ nF}$  e resistência  $R_F = 56 \text{ k}\Omega$ . Após a montagem, meça com o osciloscópio os valores da tensão pico a pico da saída ( $V_{PPo}$ ) e do capacitor ( $V_{PPC}$ ), assim como os valores médios ( $V_{o\_avg}$  e  $V_{C\_avg}$ ) destas tensões e a frequência do sinal de saída, respectivamente.



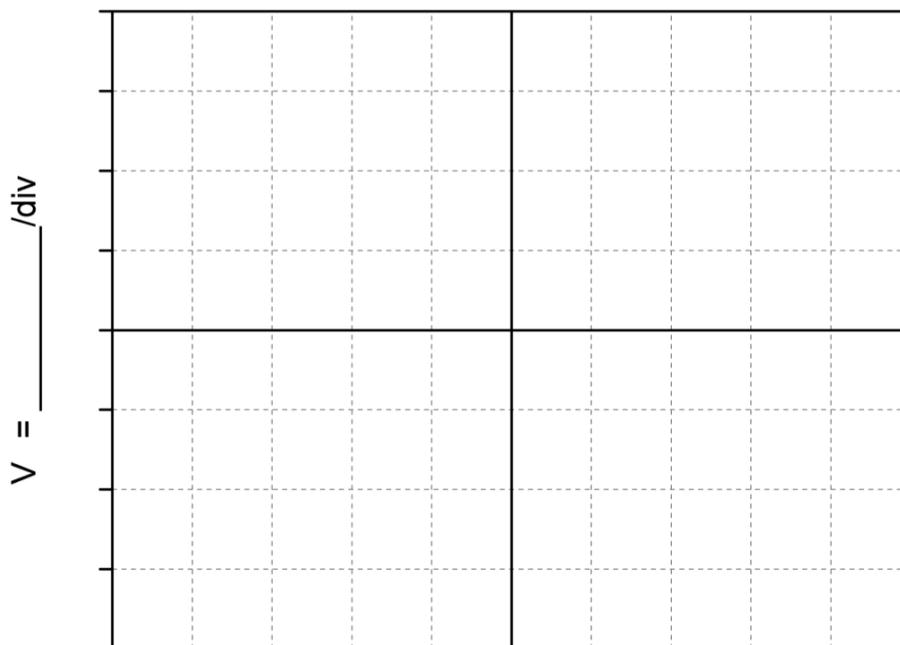
**Figura 4.** Gerador de onda quadrada ( $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ).

**Tabela 5** –Dados experimentais do circuito Oscilador.

$R_F$	C	$V_{PPC}$	$V_{C\_avg}$	$V_{PPo}$	$V_{o\_avg}$	f
56 k $\Omega$	100 nF					

2.1 A partir dos valores de  $V_{PPo}$  e  $V_{o\_avg}$  (Tabela 5), identifique o tipo de sinal gerado (AC ou não AC(?)) e discuta que componente do sistema origina este comportamento.

2.2 Faça os gráficos de tensão do oscilador e do capacitor ( $v_o(t)$  e  $v_C(t)$ ) para  $R_F$  e C utilizados. Siga o modelo da apostila “Introdução Teórica”, Fig. 12 ( $V_o$  e  $V_C$  superpostos).



Tempo = \_\_\_\_ /div

2.3 Meça o tempo de subida da onda quadrada para o par RC – 56 k $\Omega$ -100nF ( $t_r$ ),

$t_r = \dots\dots\dots$

2.4 Compare os valores  $V_{TH}$  e  $V_{TL}$  do comparador (circuito da fig.4) com os valores  $V_{PPC}$  no oscilador (circuito da fig.5) e discuta o resultado explicando o mecanismo de funcionamento do oscilador.

2.5 Compare os valores teóricos da frequência com os valores medidos e discuta seus resultados.

f (teórico)	f (medido)

2.6 Analise os gráficos de  $v_o(t)$  e  $v_C(t)$  em função do tempo e discuta a qualidade da forma de onda em relação ao valor da constante de tempo do circuito  $R_fC$ .

2.7 A partir da medida do tempo de subida,  $t_r$ , discuta a sua dependência em relação aos outros parâmetros de resposta do oscilador. Por exemplo, o que ocorre se a resistência for trocada por outra de valor muito menor?

2.8 Que alterações poderiam ser feitas no circuito da Figura 4 para obter onda quadrada com frequência de 10 kHz? Explique sua solução.

## LISTA DE EQUIPAMENTOS E MATERIAIS

- Osciloscópio
- Gerador de funções
- Multímetro Tektronix TX3 (C1-06)/ ou DMM830 (C1-01)
- 1 resistor de  $1\text{k}\Omega$ , 2 resistores de  $10\text{k}\Omega$  e um resistor de  $56\text{k}\Omega$
- 1 capacitor de  $100\text{ nF}$
- 1 indutor encapsulado de  $L = 3\text{ mH}$  e  $R_s \approx 10\ \Omega$
- 1 amplificador operacional LM741
- Fonte simétrica CC  $\pm 15\text{V}$
- RLC-meter