

# **Análise de Circuitos**

Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

LEEC e MBioNano 2021/22

4º Trabalho de Laboratório

## **AMPLIFICADORES OPERACIONAIS**

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 3.2 - 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.

**A realização da parte experimental deste laboratório implica que a sua preparação relativamente às questões teóricas e simulações necessárias.**

### 1.1 Objectivos

Este trabalho de laboratório tem os seguintes objectivos:

1. análise teórica e experimental de uma montagem inversora com ampop
2. análise teórica e experimental de uma montagem subtractora com ampop
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  $\pm 5V$  e reguláveis até  $\pm 15V$ , 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:  $3 \times 10k\Omega$      $1 \times 22k\Omega$      $1 \times 100k\Omega$

Ampop:  $1 \times \mu A741$

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.

## 2 O Amplificador Operacional

Na figura 1 apresenta-se o símbolo eléctrico e um esquema equivalente muito simplificado, do amplificador operacional (ampop), que é um amplificador integrado monolítico.

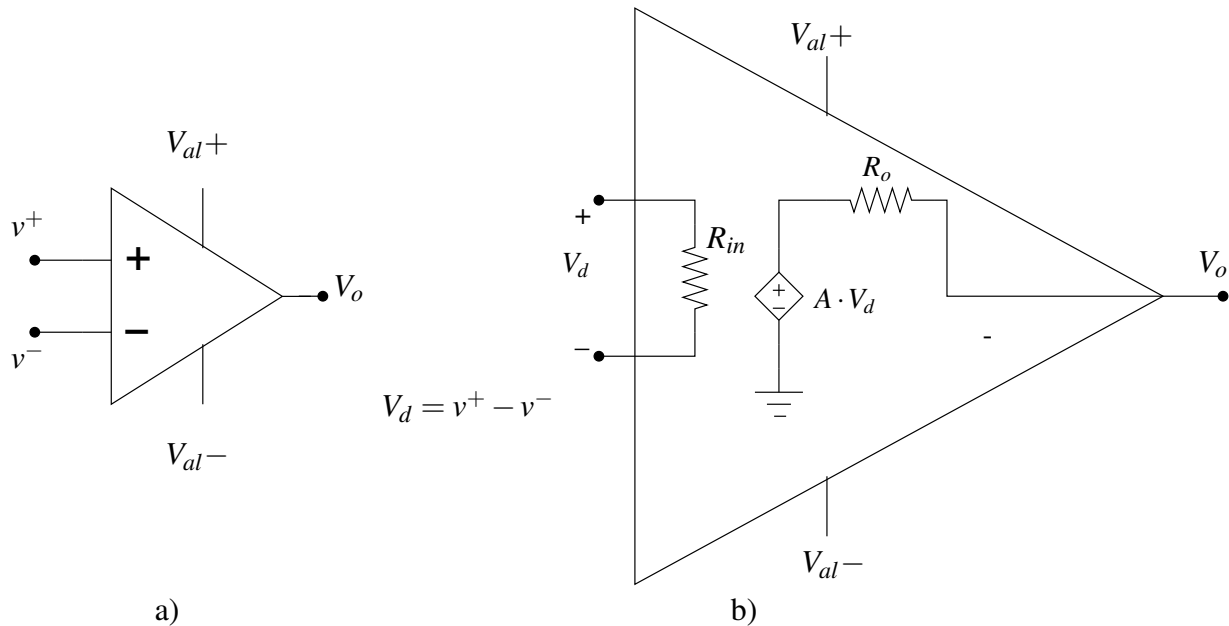


Figura 1: Amplificador operacional: a) símbolo eléctrico, b) modelo linear simplificado

Um amplificador operacional é dito ideal quando o seu funcionamento linear pode ser descrito pelo modelo simplificado da figura 1-b) com  $R_{in} = \infty$ ,  $R_o = 0$  e  $A \rightarrow \infty$ . Estas condições correspondem respectivamente a:

- i) ter as correntes nas entradas nos terminais + e - do ampop como nulas;
- ii) ter o gerador de tensão comandado ligado directamente ao nó de saída;
- iii) ter a tensão de entrada  $V_d$  com o valor nulo (ou seja, as tensões  $v^+$  e  $v^-$  são iguais), em virtude da tensão de saída ter de ser finita e o ganho tender para infinito ( $V_d = \frac{V_o}{A}$ ).

As ligações do circuito integrado  $\mu A74$  é feita de acordo com o diagrama da figura 2. As tensões de alimentação positiva e negativa ( $V_{al+}$  e  $V_{al-}$ ) devem ser de  $+15V$  e  $-15V$ , respectivamente, e provenientes das fontes DC da base de experimentação.

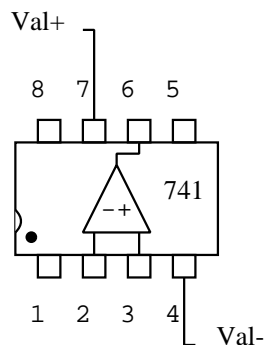


Figura 2: Diagrama de ligações do  $\mu A741$ .

Para simular o funcionamento dos circuitos deste laboratório que contenham amplificadores operacionais, como o circuito da figura 3, deve usar o programa LTspice.

Como o modelo do amplificador operacional  $\mu A741$  não faz parte da biblioteca distribuída com o LTspice, este deve ser adicionado previamente usando a seguinte sequência de operações:

1. Obtenha o modelo do ampop  $\mu A741$  descarregado os ficheiros `uA741.lib` e `uA741.asy` da página da disciplina (disponíveis na secção de Laboratórios).
2. Copie o ficheiro com o modelo do ampop, `uA741.lib`, para a sub-directoria `lib/sub` de instalação do LTspice (por exemplo, `LTspiceXVII\lib\sub\`).
3. Copie o ficheiro com o símbolo do ampop, `uA741.asy`, para a sub-directoria `lib/sym` de instalação do LTspice (por exemplo, `LTspiceXVII\lib\sym\`).
4. Inicie de novo o simulador LTspice para poder começar a usar o modelo do ampop  $\mu A741$ .

Nas ligações do esquemático que realizar tem que alimentar o amplificador operacional (para fornecer energia) através dos respectivos terminais de alimentação com duas fontes de tensão de valores  $+15V$  e  $-15V$  em relação ao GND (0V). Note-se que em geral no símbolo eléctrico do ampop não se representam as tensões de alimentação, para não sobrecarregar o esquema, mas elas têm que existir sempre para o correcto funcionamento do ampop.

### 3 Plano de Trabalho

#### 3.1 Montagem Inversora com Amplificador Operacional

Monte o circuito representado na Figura 3 utilizando os seguintes valores para as resistências:

$R_a = 10k\Omega$  e  $R_f = 100k\Omega$ .

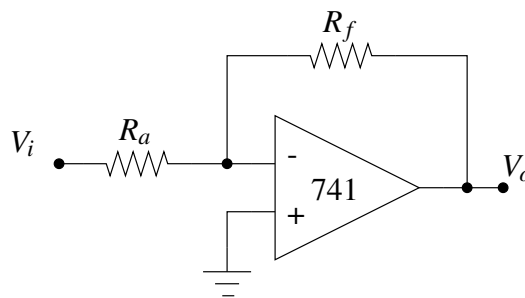


Figura 3: Amplificador operacional em montagem inversora.

Execute de seguida os seguintes passos do procedimento experimental:

1. Obtenha a expressão simbólica que permite determinar o ganho de tensão do circuito em funcionamento linear ( $G_1$ ). Determine o valor numérico desse ganho.
2. Simule o circuito da Figura 3 para uma onda de entrada sinusoidal de  $0.5V$  de amplitude e frequência de  $1kHz$  (Simulação-1). Observe os sinais na entrada e saída do circuito ( $V_i$  e  $V_o$ ) e na entrada do  $v^-$  do ampop.
3. Para as tensões de alimentação do ampop vão ser usadas as fontes de tensão DC variáveis da base de experimentação. Ajuste na base de experimentação o valor de cada uma das fontes para mais próximo de  $+15V$  e  $-15V$ . Registe os valores experimentais que obteve e que vai usar para alimentar o ampop.
4. Monte o circuito da Figura 3 sem se esquecer de ligar as fontes de alimentação que regulou anteriormente ao circuito. Tenha cuidado ao fazer as ligações sobre a base de experimentação para não alterar o valor que registou para as fontes.
5. Aplique em  $V_i$  um sinal sinusoidal com  $0.5V$  de amplitude ( $1V_{pp}$ ) e com frequência de  $1kHz$ . Observe e registe os sinais de entrada e de saída simultaneamente no osciloscópio (entrada no Canal 1 e saída no Canal 2). A escala de cada canal deve ser regulada por forma a permitir a melhor

observação possível do sinal em questão. Comente os resultados obtidos tendo em consideração os valores das resistências  $R_a$  e  $R_f$ .

6. Observe e descreva também o sinal presente na entrada inversora do ampop,  $v^-$  (pino 2). Comente e compare com os resultados obtidos na simulação.
7. Simule o circuito da Figura 3 para uma onda de entrada sinusoidal de 2V de amplitude e frequência de 1kHz (Simulação-2). Observe novamente os sinais na entrada e saída do circuito e na entrada inversora ( $v^-$ ) do ampop.
8. Altere agora no gerador de sinais a amplitude do sinal de entrada para 2V ( $4V_{pp}$ ) e registre as alterações aos sinais observados anteriormente.
9. Observe simultaneamente no osciloscópio o sinal na entrada inversora do ampop ( $v^-$ ) e na saída do circuito. Registre e comente os respectivos sinais, em particular o que ocorre na entrada inversora do ampop ( $v^-$ ).
10. Se os valores das resistências forem alterados para:  $R_a = 22k\Omega$  e  $R_f = 100k\Omega$ . Determine teoricamente a amplitude máxima que a uma onda de entrada sinusoidal ( $A_i^{max}$ ) pode ter para que o circuito mantenha um comportamento linear.

### 3.2 Montagem Subtratora com Amplificador Operacional

Monte o circuito representado na Figura 4 fazendo  $R_1 = R_2 = 10k\Omega$  e  $R_f = 10k\Omega$ .

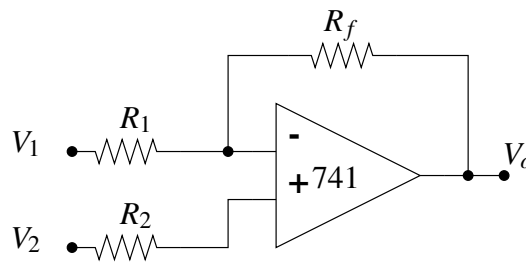


Figura 4: Amplificador operacional em montagem subtratora.

Execute os seguintes passos do procedimento experimental:

1. Obtenha a expressão simbólica que permite determinar tensão de saída do circuito em funcionamento linear em função de  $v_1(t)$  e  $v_2(t)$  (Sugestão: use o teorema da sobreposição).
2. Realize a simulação do circuito representado na Figura 4 quando na entrada  $V_2$  tem uma onda sinusoidal de 2V de amplitude e frequência de 1kHz e na entrada  $V_1$  tem uma fonte de tensão constante de 5V. Observe os sinais em  $V_1$ ,  $V_2$ , na entrada  $v^-$  do ampop e na saída do circuito,  $V_o$  (Simulação-3).
3. Aplique em  $V_2$  um sinal sinusoidal com 2V de amplitude ( $4V_{pp}$ ) e frequência de 1 kHz. Em  $V_2$  ligue a fonte de tensão de 5V da base de alimentação. Utilize o canal 1 do osciloscópio para visualizar a tensão de entrada  $V_2$  e o canal 2 para visualizar a tensão de saída  $V_o$ . Observe e registre  $V_2$ ,  $V_o$  e valor da fonte de tensão em  $V_1$ .
4. Nas condições da montagem anterior, determine a expressão simbólica e o valor máximo de amplitude ( $V_2^{max}$ ) que a onda sinusoidal  $V_2$  pode ter sem que haja distorção do sinal de saída, ou seja, a amplitude máxima de  $V_2$  para o qual o circuito tem um funcionamento linear.
5. Obtenha o valor dessa amplitude máxima da onda sinusoidal experimentalmente. Para isso aumente a amplitude da onda sinusoidal de entrada e verifique quando a saída apresenta distorção, deixando de ser uma onda sinusoidal. Compare obtido experimentalmente com o valor teórico calculado anteriormente.

# RELATÓRIO DO TRABALHO DE LABORATÓRIO

**ACir 2021/22 Lab.4**      **Data** \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_      **Turno** \_\_\_\_      **Grupo** \_\_\_\_

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.

## 3.1 Montagem Inversora com Amplificador Operacional

1. Expressão simbólica para o ganho de tensão  $G_1$  e respectivo valor numérico:

$$G_1 = \frac{V_o}{V_i} =$$

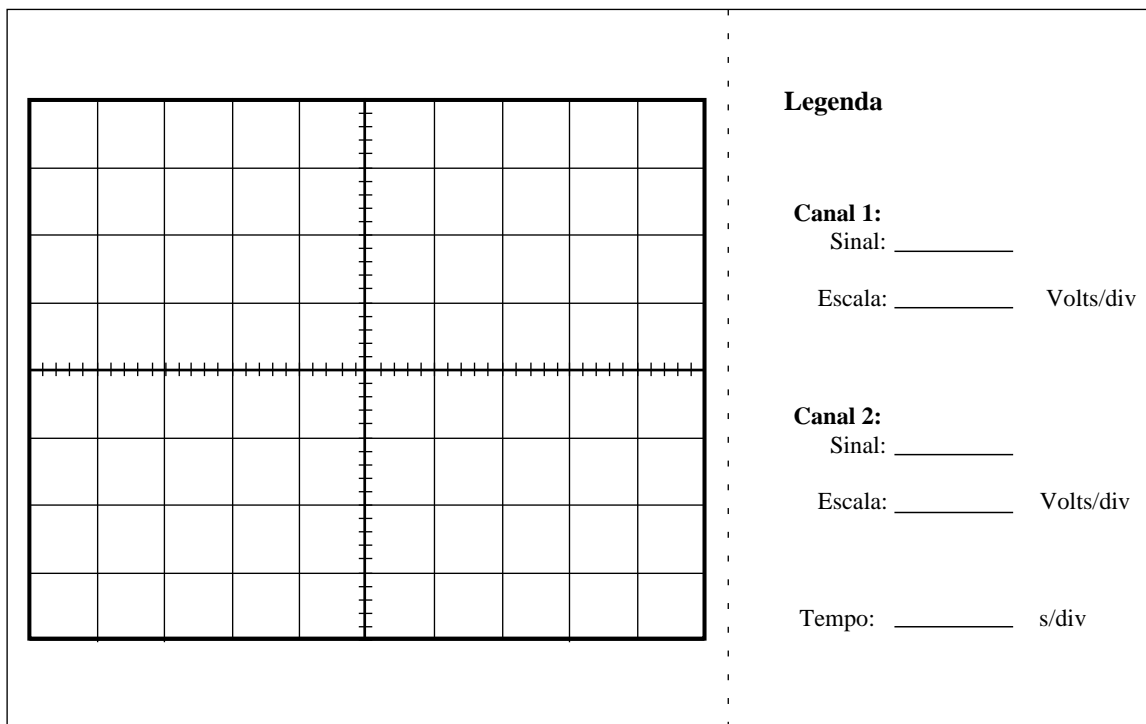
$$G_1 =$$

3. Valores das tensões de alimentação experimentais:

Val-: \_\_\_\_

Val+: \_\_\_\_

5. Registo das ondas de entrada (0.5V de amplitude) e saída:



Comentário aos sinais observados: \_\_\_\_\_

6. Descrição, comentário e comparação com a simulação do sinal em  $v^-$ :

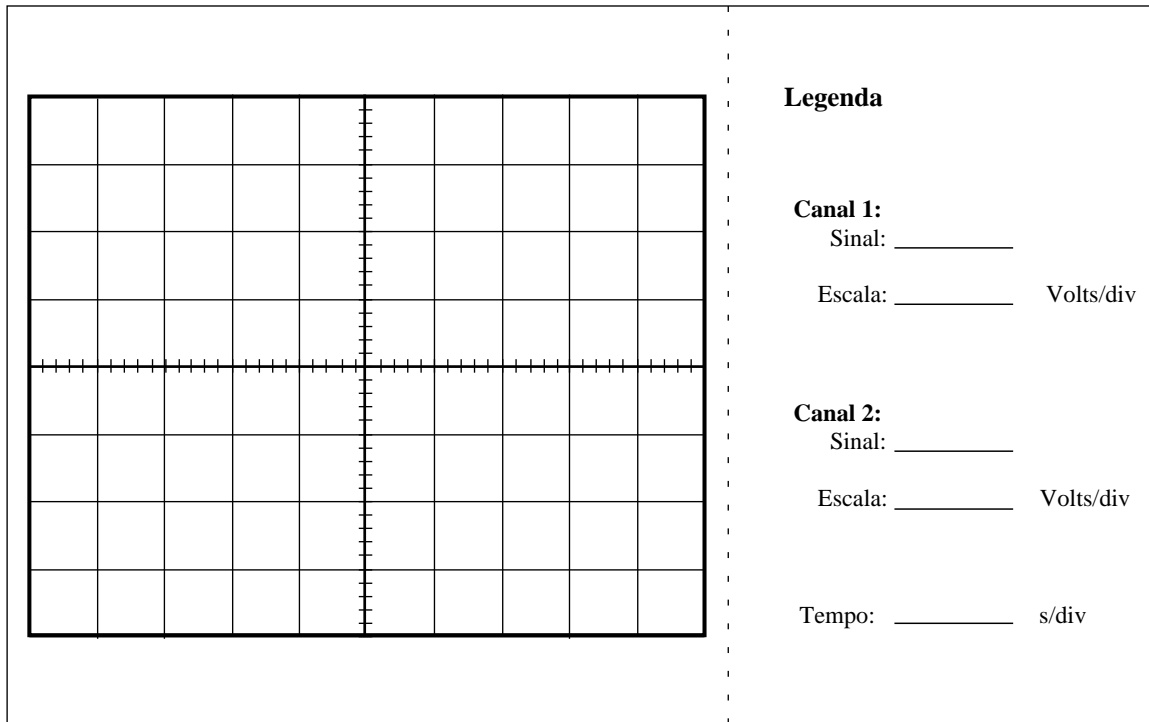
---

---

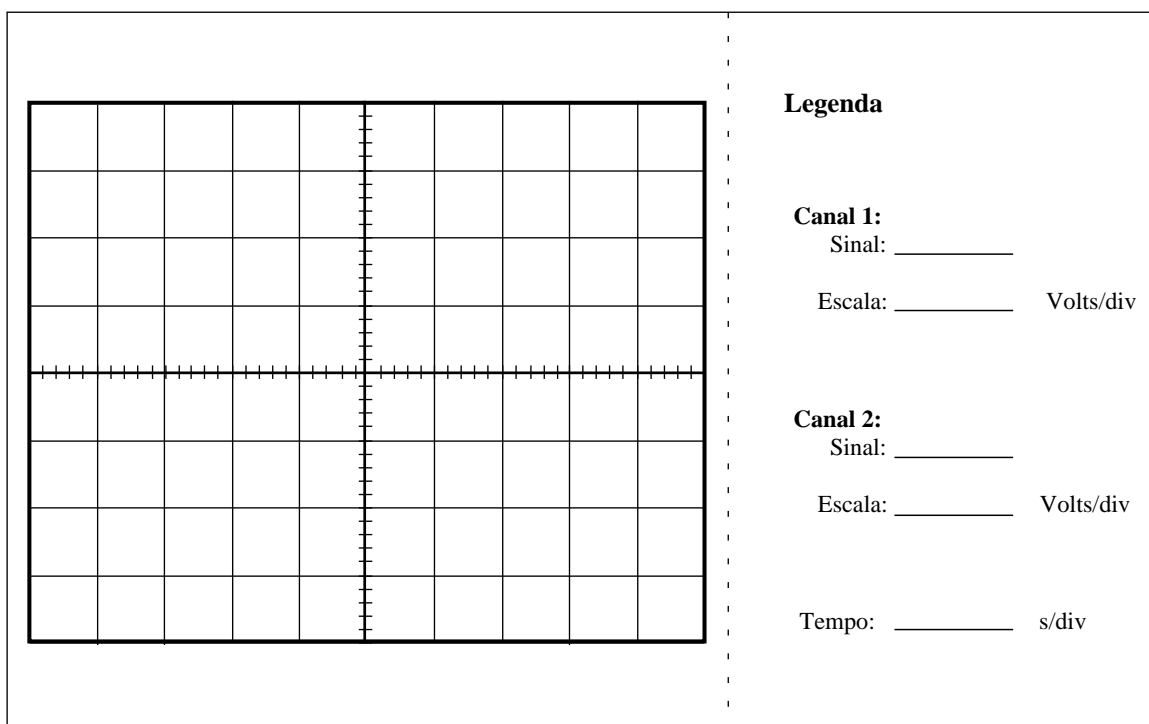
---

---

8. Registo das ondas de entrada (2V de amplitude) e saída:



9. Registo dos sinais em  $v^-$  e na saída:





Comentário ao sinal na entrada inversora do ampop ( $v^-$ ):

---



---



---



---

10. Amplitude máxima da onda sinusoidal de entrada ( $A_{max}$ ) para comportamento linear do circuito (valor teórico e valor experimental):

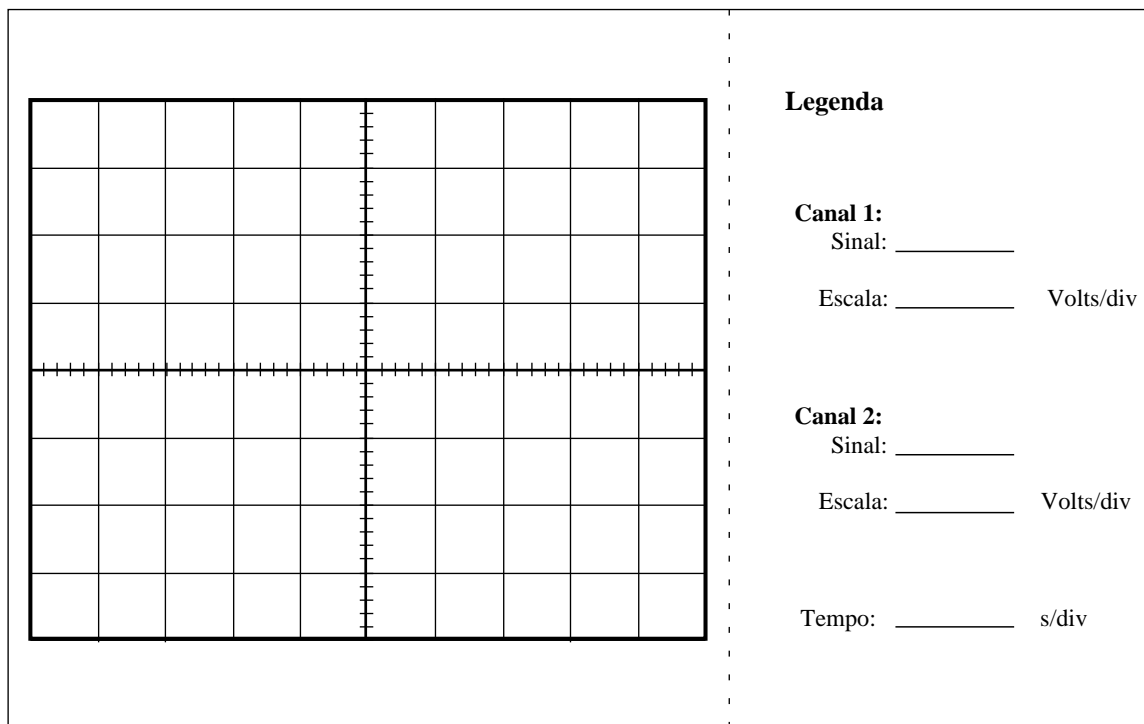
Val. Teo. $A_i^{max} \leq$ _____	Val. Exp. $A_i^{max} \leq$ _____
----------------------------------	----------------------------------

### 3.2 Montagem Subtratora com Amplificador Operacional

1. Expressão simbólica a tensão de saída  $v_o(t)$  em função de  $v_1(t)$  e  $v_2(t)$  :

$v_o(t) =$
------------

3. Registo das ondas de entrada ( $V_2$ ) e de saída ( $V_o$ ):



Valor da fonte de tensão  $V_1$ : \_\_\_\_\_

4. Expressão simbólica e valor da amplitude máxima de  $V_2$  em função de  $V_1$  e dos elementos do circuito:

$V_2^{max} \leq$	$V_2^{max} \leq$ _____
------------------	------------------------

5. Amplitude máxima de  $V_2$  obtida experimentalmente: \_\_\_\_\_

Comparação e comentário:

---

---

---

---

---

---

---

### Conclusões Gerais

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---