



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

PSI 3212 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

EXPERIÊNCIA 08 – CIRCUITOS COM AMPLIFICADOR OPERACIONAL

PROFS ELISABETE GALEAZZO, LEOPODO YOSHIOKA E ANTONIO C. SEABRA

Edição 2019

Bancada	No. USP	Nome	Nota	F	Nota Individual

Data:	Turma:	Professores:
-------	--------	--------------

GUIA EXPERIMENTAL E RELÁTÓRIO

Objetivos: Entender o funcionamento de um amplificador operacional a partir da caracterização de um circuito comparador e de circuitos amplificadores.

MATERIAL NECESSÁRIO PARA EXECUÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

- 1 multímetro digital portátil (TX3 -TEKTRONIX) ou equivalente;
- 1 fonte de tensão contínua, modelo E3631A Power Supply, AGILENT;
- 1 gerador de funções modelo 33500B da AGILENT;
- 1 osciloscópio digital;
- 1 protoboard;
- 1 amplificador operacional 741-C;
- 2 resistores de 10 k Ω ; 1 resistor de 47 k Ω e 1 resistor de 100 k Ω ;
- Cabos, conectores diversos e jumpers para conexão de componentes no protoboard.

1. OBSERVAÇÃO DO GANHO “A” DO AMPOP (GANHO EM MALHA ABERTA) E ANÁLISE DO CIRCUITO COMPARADOR

De maneira bem simplificada, um amplificador operacional é um circuito integrado que se aproxima de um gerador vinculado de tensão controlado por tensão, com o ganho em tensão (denominaremos este ganho de “A”) bem elevado – da ordem de 10^4 a 10^6 .

Neste item, vamos utilizar o amplificador operacional 741 em malha aberta para comprovar que o ganho em tensão (A) é elevado. Para isso, faremos a montagem e analisaremos o circuito comparador indicado na **Figura 1**.

OBSERVAÇÃO: Note que para o amplificador operacional 741, valores muito elevados de ganho estão limitados a uma faixa de frequências de uma ou algumas centenas de hertz. Consulte o datasheet deste componente e verifique como é o comportamento típico do ganho em malha aberta deste componente em função da frequência (figura 7 do “Anexo – u741 General Purpose Operational Amplifiers Datasheet”).

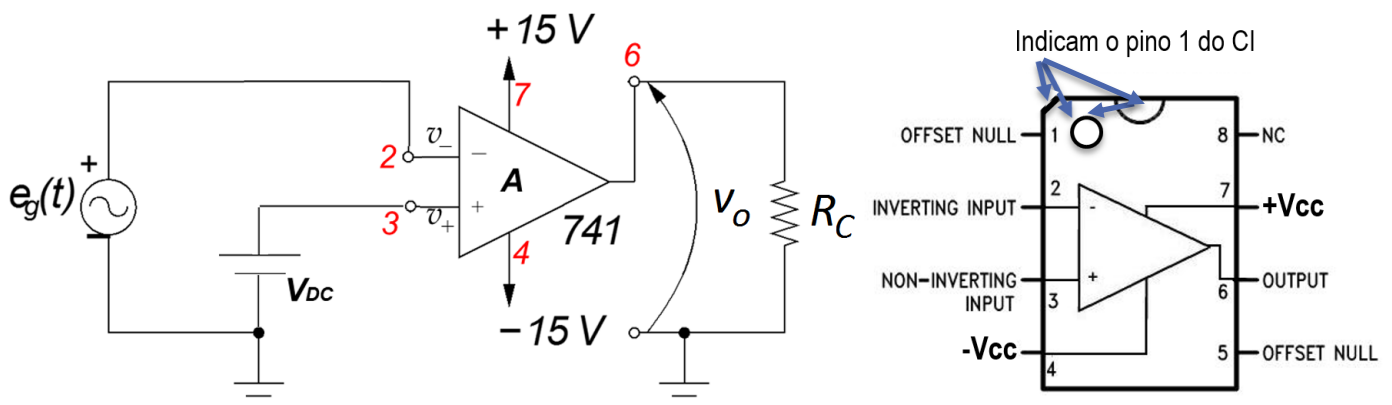


Figura 1: Circuito comparador com operacional e a pinagem do 741.

1.1 Leia atentamente as informações a seguir antes de efetuar a montagem:

- Identifique na sua bancada o CI 741, o resistor de $10\text{ k}\Omega$, a fonte de alimentação modelo E3631A e o gerador de funções 33500B.
- No encapsulamento do AmpOp 741, a bolinha ou chanfro, como mostrado na Figura 1, indica o pino 1.
- Utilizaremos a fonte de **6 V** do equipamento E3631A para gerar o sinal V_{DC} da Figura 1.
- Utilizaremos as fontes “ $\pm 25\text{ V}$ ” do mesmo equipamento para gerar a alimentação $+V_{CC}$ e $-V_{CC}$ do AmpOp. Note que não precisamos ligar o terminal “COM” dessas fontes no AmpOp. No entanto, que este terminal “COM” deve ser ligado no mesmo potencial elétrico do terminal “-” da fonte “6 V” e do potencial de referência (carcaça do BNC) do sinal $e_g(t)$ (atuarão como terra do circuito).
- Utilizaremos o gerador de funções 33500B para o sinal $e_g(t)$.

1.2 Antes de ligar a fonte de alimentação ao circuito, programe o E3631A para fornecer +15 V e -15 V nos terminais + 25 V e - 25 V, e 1 V nos terminais correspondentes à fonte de 6 V (acione OUTPUT ON para medir as tensões programadas).

1.3 Com o multímetro, certifique-se que nos terminais de saída da fonte E3631A aparecem as tensões desejadas. Indique abaixo os valores obtidos:

Fonte de 6 V:	Fonte de + 25 V:	Fonte de - 25 V:
---------------	------------------	------------------

Em seguida, coloque o equipamento em OUTPUT OFF.

1.4 Ligue o gerador de funções 33500B, coloque-o em HIGH Z e ajuste-o para obter um **sinal senoidal de 100 Hz com amplitude de 4 Vpp** e valor médio zero (sem offset DC), sem ligar o gerador de funções ao circuito. Mantenha o gerador em OUTPUT OFF.

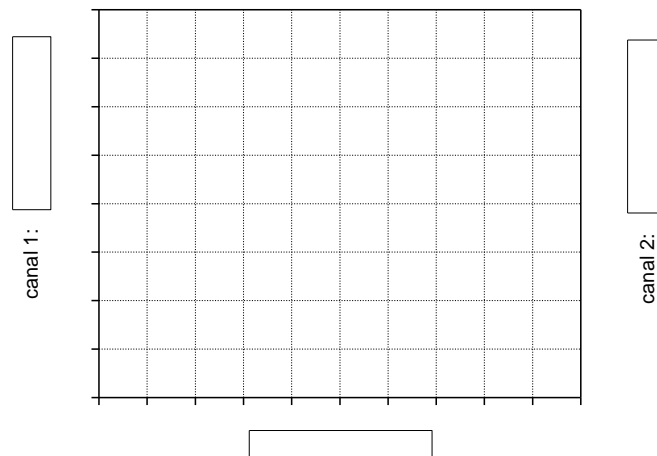
1.5 Coloque o AmpOp 741 no protoboard e faça as ligações necessárias às fontes, conforme ilustração da Figura 1, não esquecendo de colocar o resistor $R_C = 10k\Omega$.

Obs: *Faça a montagem do circuito com muita atenção, para evitar a queima do AmpOp. Redobre a atenção para não colocar em curto o pino 6 (saída (v_o)) com o 7 (alimentação positiva ($+V_{CC}$)).*

*Assim que terminar a montagem, mostre-a para o professor **SEM LIGAR NENHUM EQUIPAMENTO.***

1.6 Depois de montado o circuito, coloque a fonte de alimentação em OUTPUT ON para energizar o AmpOp. Depois, coloque o gerador de funções em OUTPUT ON para injetar o sinal senoidal no circuito.

1.7 Verifique se os 2 canais do osciloscópio estão em acoplamento CC e se não estão com a opção de inverter o sinal habilitada. Com o osciloscópio observe primeiro o sinal $e_g(t)$ aplicado ao circuito. Preste atenção em que posição você está colocando a garra jacaré da ponta de prova no seu circuito. Estabilize o sinal $e_g(t)$ na tela do osciloscópio e desenhe a forma de onda observada, indicando onde está o zero volt, qual seu valor de pico e qual a frequência (ou período) do sinal.



1.8 Com a outra ponta de prova, observe o sinal $v_O(t)$ na saída do circuito. Desenhe este sinal sobreposto ao sinal $e_g(t)$ que você desenhou anteriormente, indicando claramente o tempo do sinal em nível baixo e o tempo em nível alto.

1.9 Explique porque o sinal $v_O(t)$ tem a forma de onda observada, em especial porque ele não é um sinal senoidal e justificar os valores de patamar observados.

1.10 Altere o valor de V_{DC} para 1,8 V e explique o que você observa no sinal $v_O(t)$, indicando numericamente o valor do tempo em nível baixo e o tempo em nível alto.

1.11 Porque este circuito é chamado de circuito comparador?

2. LEVANTAMENTO DA CURVA DE TRANSFERÊNCIA DO CIRCUITO AMPLIFICADOR

Neste item iremos efetuar a curva de transferência de um circuito amplificador na configuração inversora, esboçado na Figura 2. Os resistores deste circuito amplificador possuem os seguintes valores nominais:

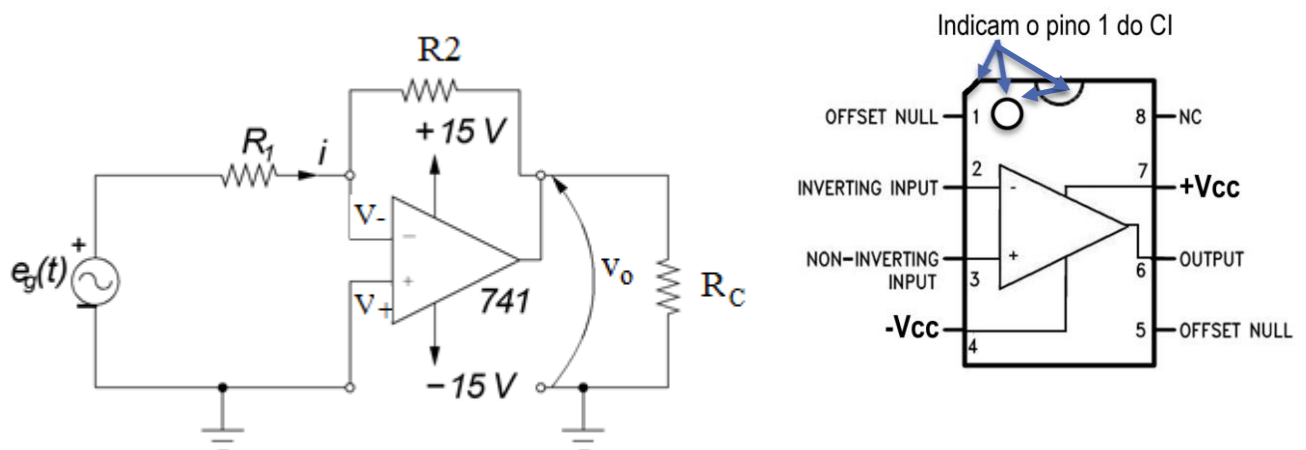
$R_1 = R_C = 10 \text{ k}\Omega$, e $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$.

2.1 Meça os valores dos resistores:

R_1	R_2	R_C

2.2 Deixe as fontes de tensão e o gerador de funções em output off para efetuar a nova montagem. Monte o circuito*, lembrando que o amplificador operacional requer alimentações simétricas. Consulte a pinagem do AmpOp e identifique seus terminais.

*Note que a montagem do circuito anterior pode ser aproveitada em grande parte.



(a) Circuito amplificador inversor com operacional

(b) pinagem do 741

Figura 2

- Utilize a fonte de tensão simétrica Agilent E3631A (terminais $\pm 25 \text{ V}$) para alimentar o AmpOp, como no item anterior. (Note que a fonte de 6 V não será utilizada nesta etapa!)
Ajuste a fonte de alimentação simétrica para fornecer $\pm 15 \text{ V}$.
Limite a corrente máxima da fonte de alimentação em 0,1 A.
- Note que no “terra” do circuito deverão estar conectados: terminal “-” do gerador de funções (modelo 33500B, da Agilent), pino 3 do AmpOp (741), terminal comum (COM) da fonte de tensão simétrica E3631A e o terminal do resistor R_C .

Assim que terminar a montagem, confira as ligações:

- Saída + do gerador: terminal do resistor R1;
- Saída – do gerador: terra do circuito;
- Pino 2 do 741 (V-): terminal do resistor R₁ e terminal do resistor R₂;
- Pino 3 do 741 (V+): terra do circuito;
- Pino 4 do 741 (-Vcc): terminal – da fonte (25 V);
- Pino 6 do 741 (Vo): terminal do resistor R₂ e terminal do resistor R_C.
- Pino 7 do 741 (+Vcc): terminal + da fonte (25 V);
- pino 4 do 741(-Vcc);
- Terminal COM da fonte (25 V): terra do circuito;
- Terminal do R_C: terra do circuito.

Antes de prosseguir, mostre ao professor sua montagem **SEM LIGAR NENHUM EQUIPAMENTO**.

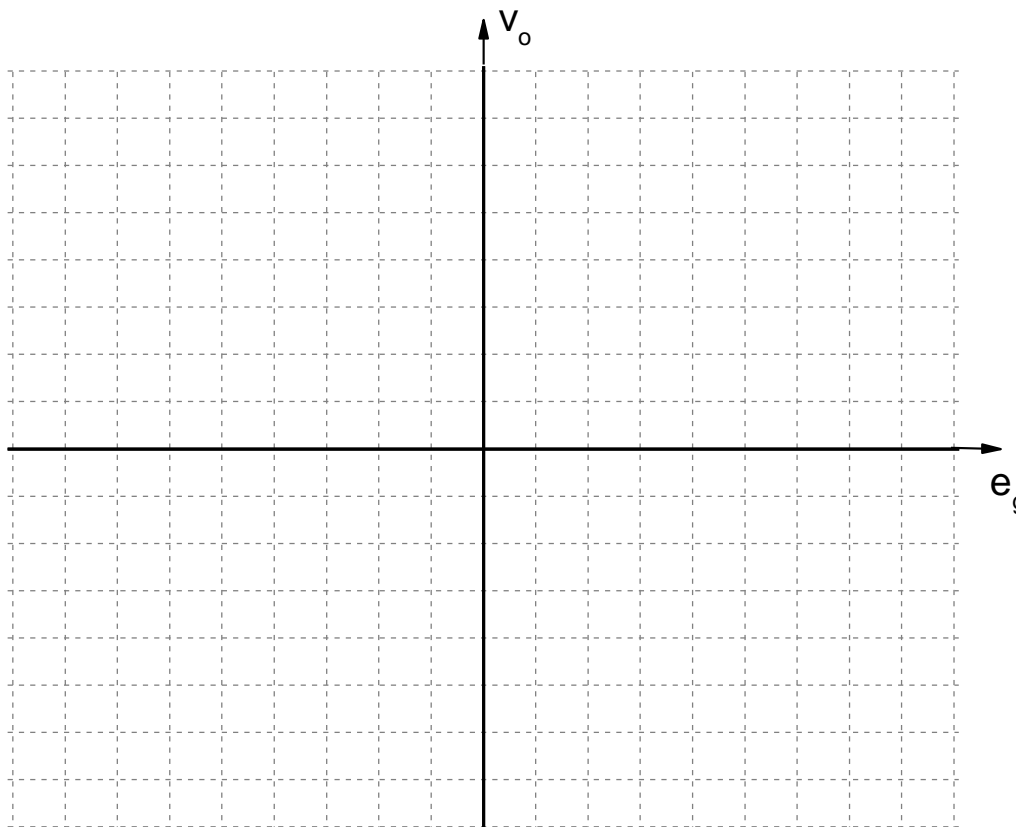
Na sequência, execute:

2.3 Levantamento da curva de transferência **Saída em função da Entrada** (v_o em função de e_g)

- Coloque o gerador de funções no modo de fornecimento de tensão DC: (**Waveform** → **More** → **DC** → **offset**);
- Preencha a tabela a seguir, variando a tensão do gerador (e_g) e medindo a tensão de saída (v_o) correspondente com multímetro digital de bancada.

Entrada (e_g) [V]	Saída (v_o) [V]
-1,8	
-1,6	
-1,4	
-1,2	
-1,0	
-0,8	
-0,6	
-0,4	
-0,2	
0,0	
0,2	
0,4	
0,6	
0,8	
1,0	
1,2	
1,4	
1,6	
1,8	

Desenhe a curva de transferência do circuito: **saída em função da entrada** (v_o em função de e_g).

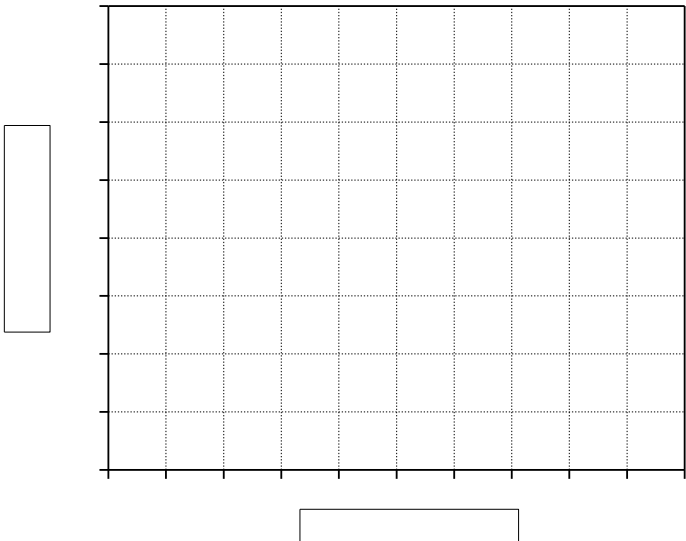


2.4 Descreva o comportamento da curva obtida e interprete o resultado.

A large empty rectangular box provided for the student to describe the behavior of the curve and interpret the result.

3. COMPORTAMENTO DO CIRCUITO AMPLIFICADOR INVERSOR EM AC

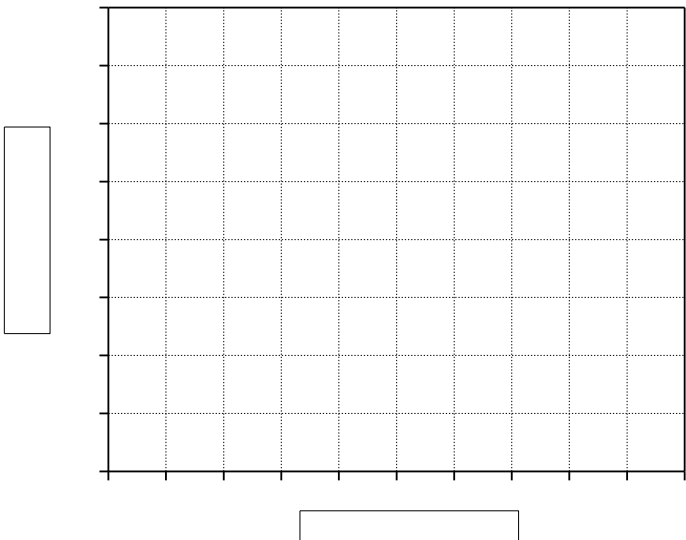
3.1 Altere o sinal do gerador ($e_g(t)$) para um sinal senoidal de **0,5 Vpp e 1 kHz**. Esboce o sinal de saída ($v_o(t)$) e interprete o resultado.

	Interpretação:
---	----------------

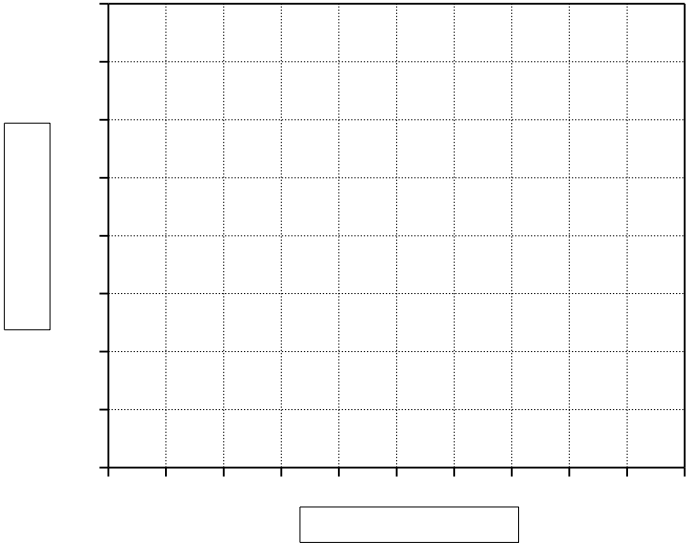
4. COMPORTAMENTO DE UM CIRCUITO SOMADOR INVERSOR EM AC

Vamos analisar agora a resposta de um circuito somador inversor (vide “*exemplo 2*” na apostila de Introdução teórica). Cuidado: durante a modificação do circuito, mantenha todas as fontes em OUTPUT OFF.

4.1 Acrescente na entrada inversora do circuito amplificador inversor do exercício anterior um resistor R_2 de 47 k Ω , alimentado com sinal DC de 2 V. Esboce o sinal obtido, desenhe o novo circuito e interprete o resultado obtido.

	Esboço do circuito e Interpretação:
---	-------------------------------------

4.2 Altere o sinal DC do item anterior para 5,5 V. Esboce o sinal de saída do circuito e discuta a resposta obtida nesta nova condição.

	<p>Interpretação:</p>
---	-----------------------