

# Eletrônica I – PSI3321

- Turma 01: Prof. Antonio Carlos Seabra ([antonio.seabra@usp.br](mailto:antonio.seabra@usp.br))
- Roteiro de aulas, exercícios, aulas digitais, notas no eDisciplinas (2022)  
<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=95641&section=0>  
Se não estiver cadastrado envie e-mail para [antonio.seabra@usp.br](mailto:antonio.seabra@usp.br)
- Avaliação: 2 Provas somando 7 pontos e  
12 testinhos continuados somando 3 pontos
- Livro Texto: Sedra, A.S. and Smith, K.C. Microeletrônica. Pearson, 2007, (tradução da 5a. edição em inglês).
- Dúvidas prof. Seabra:  
e-mail ou 30915660, Sala A1-46
- Segunda-feira das 13h às 14h no zoom:



<https://poliuspbr.zoom.us/j/87016623064?>

[pwd=RFBMNk5RQVd1eEd4YWQzbnh5U2QzZz09](https://poliuspbr.zoom.us/j/87016623064?pwd=RFBMNk5RQVd1eEd4YWQzbnh5U2QzZz09)



## Quais os objetivos desta disciplina?

- Empregar as técnicas de circuitos elétricos em circuitos eletrônicos reais que utilizem amplificadores operacionais, diodos e transistores bipolares
- Entender o princípio de funcionamento de AOs, diodos e transistores bipolares
- Criar modelos matemáticos e circuitais para esses componentes eletrônicos não lineares
- Analisar circuitos reais com AOs, diodos e transistores bipolares
- Introduzir os alunos nas técnicas de projetos de circuitos

# Eletrônica I – PSI3321

## **Ao final deste curso você deverá estar apto a:**

- Modelar dispositivos eletrônicos lineares e não lineares para aplicar os conceitos vistos em circuitos elétricos e eletrônica
- Analisar e projetar circuitos com Amplificadores Operacionais (AOs) considerando as limitações de desempenho reais dos AOs
- Analisar e Projetar circuitos com AOs, diodos e transistores bipolares considerando os requisitos de ganho (de tensão, corrente) e impedância de entrada/saída

# Eletrônica I – PSI3321

## Onde você usa esses conhecimentos?

- Em todas as disciplinas que envolvam circuitos eletrônicos (Digitais, Potência, Comunicações, Controle, Sistemas embarcados), cerca de 30% de qualquer opção
- Em projetos de hardware discretos (Digitais, Potência, Comunicações, Controle, Sistemas embarcados) e hardware integrado (projeto de circuitos integrados)

## Ferramentas adicionais

- NI Multisim: <http://www.lsi.usp.br/labview/indexcds.html>
- Geogebra: <https://www.geogebra.org/download>
- Desmos: <https://www.desmos.com/calculator>

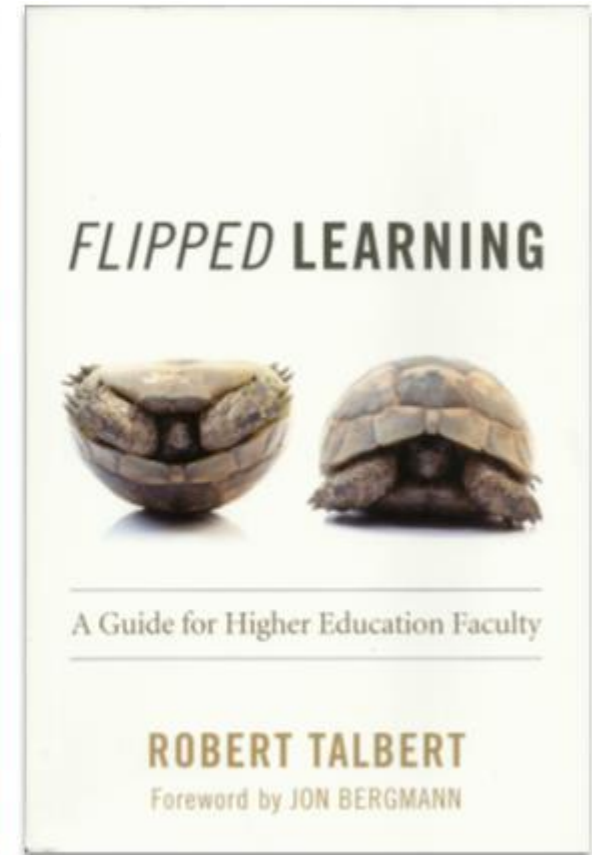
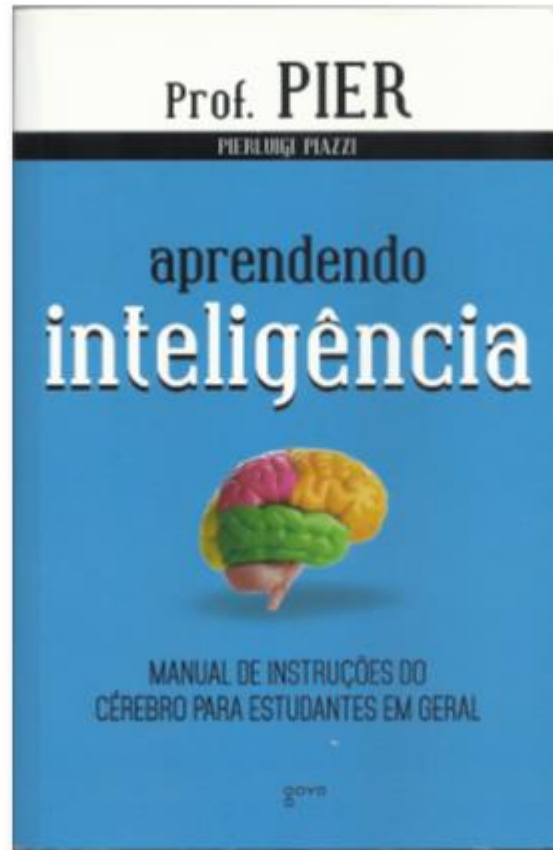
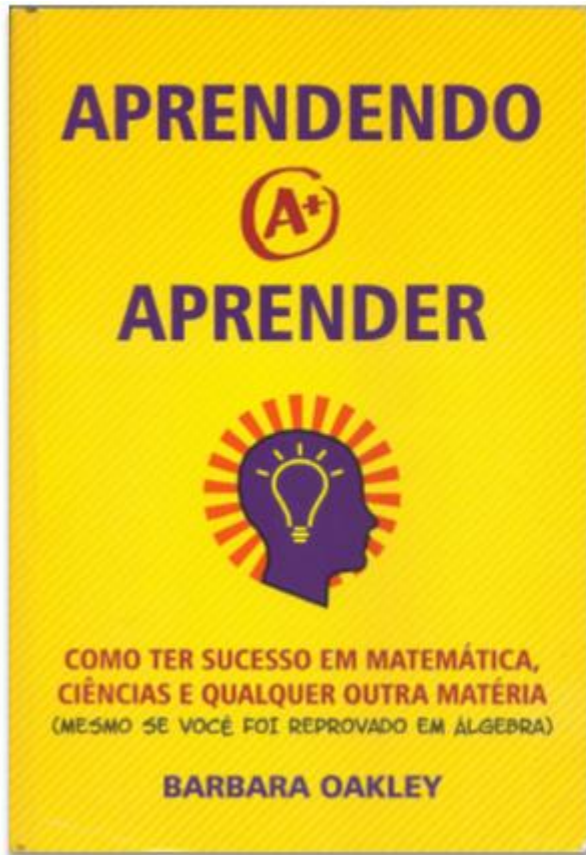
# Eletrônica I – PSI3321

## Proposta de Aprendizagem:

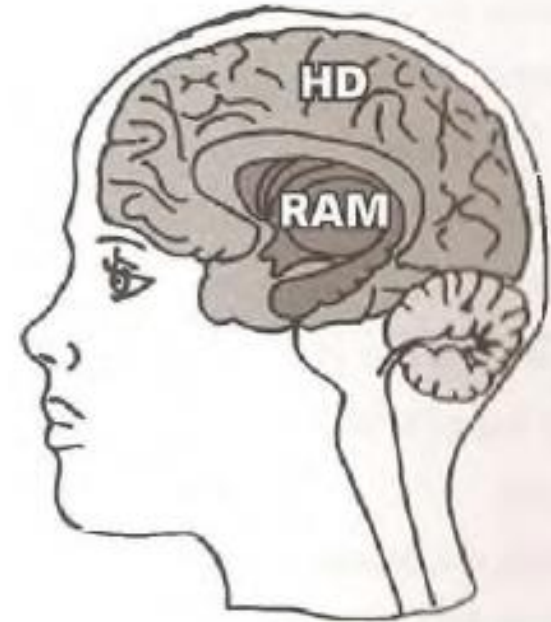
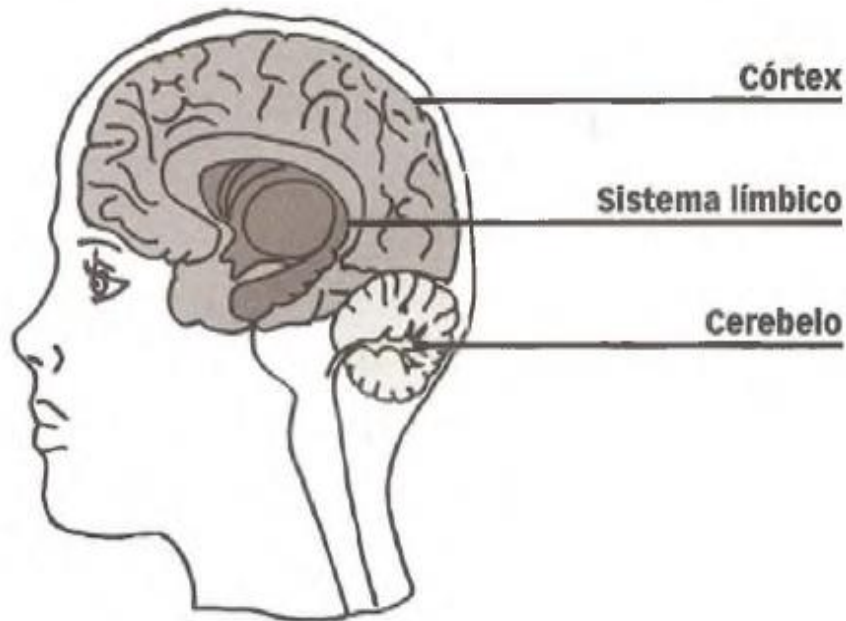
- Estudar pouco mas na hora certa...
- Aprender mais (fixar de forma permanente)
- Não requer estudo na véspera da prova
- Aumenta tempo para atividades pessoais.

**Será que isto é possível ???**

# Referências



# Cérebro humano (simplificado)

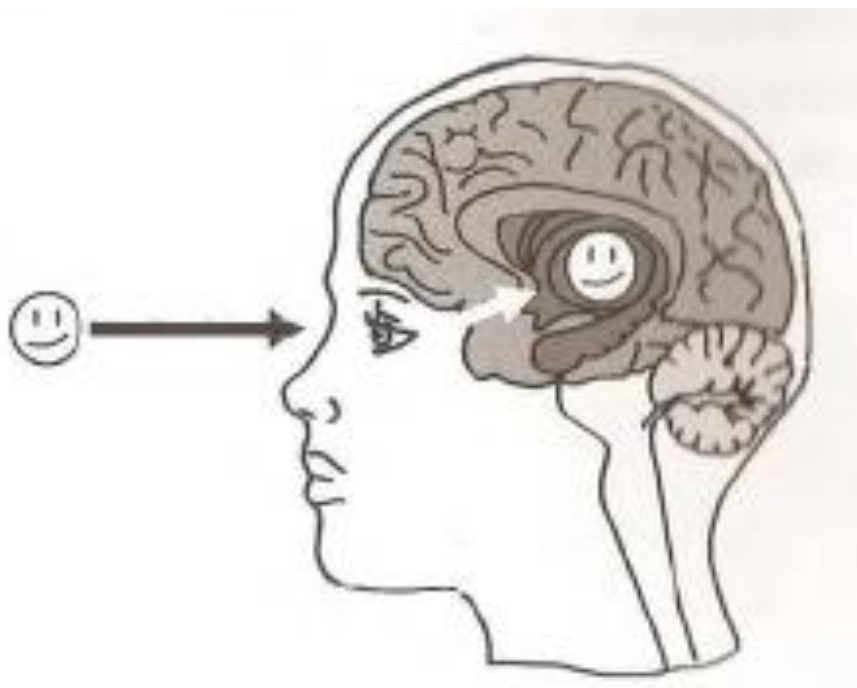


**Sistema límbico: Memória de CURTO PRAZO (RAM)**

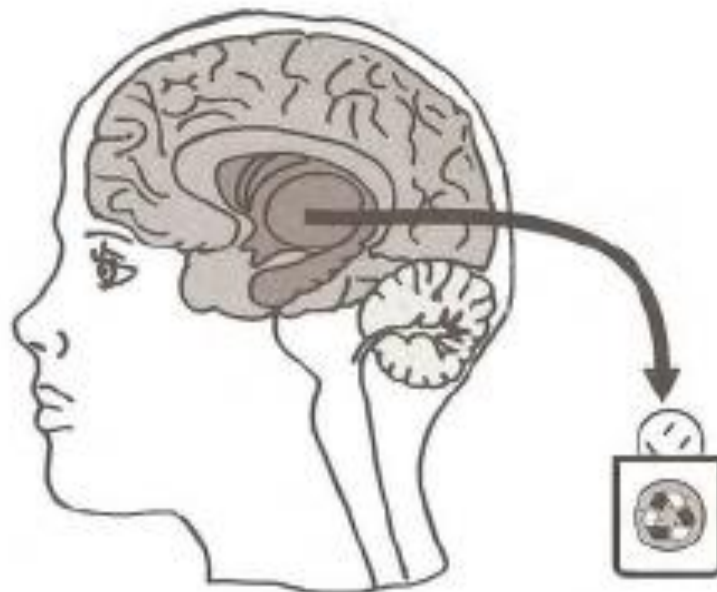
**Córtex: Memória de LONGO PRAZO (HD)**

# Cérebro humano (simplificado)

“Escrever”



“Apagar”



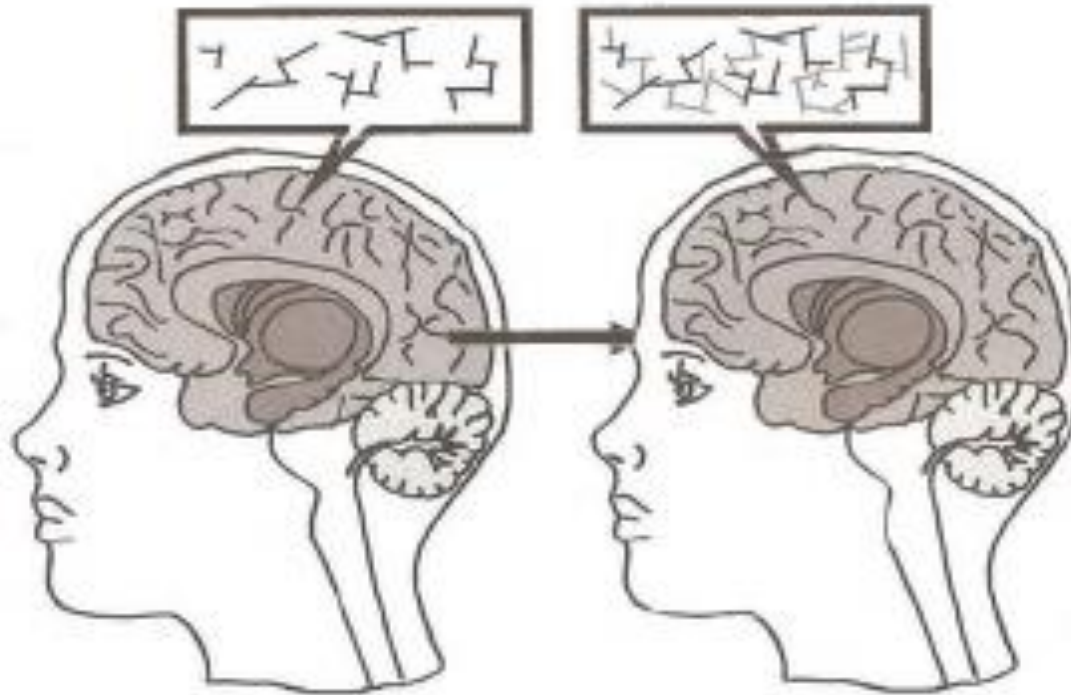
“Escrever” nesta RAM é muito fácil (visão, audição...)

“Apagar” é mais fácil ainda... (ex. número telefone...)

**(cabem apenas algumas horas de informação e as informações dificilmente sobrevivem a uma noite de sono)**



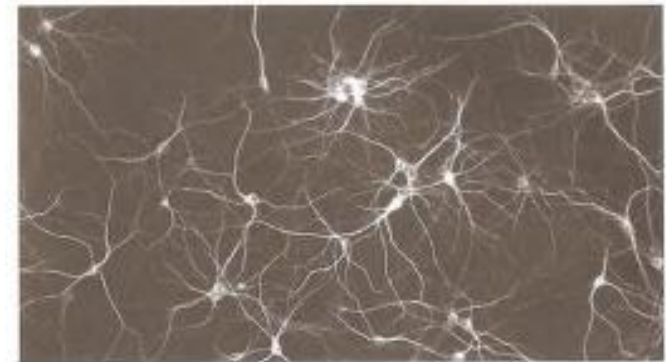
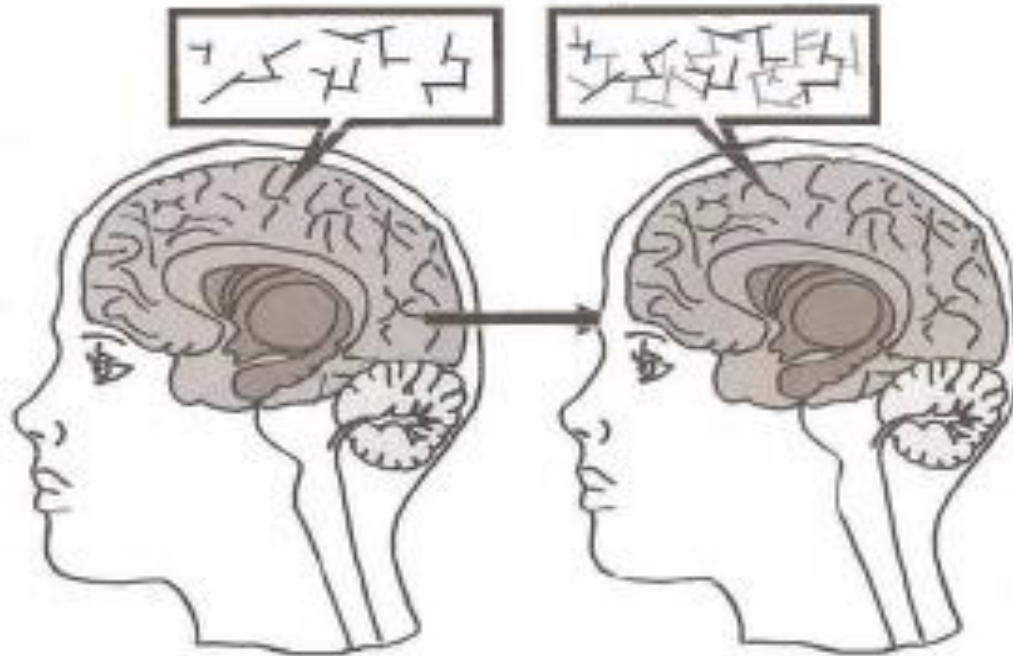
## Cérebro humano (simplificado)



**No HD (Córtex) cabe uma quantidade gigantesca de informações.**

Se alguém estudasse como louco 10 horas por dia, todos os dias da sua vida, esgotaria a capacidade de processamento e armazenamento em 400 anos...)

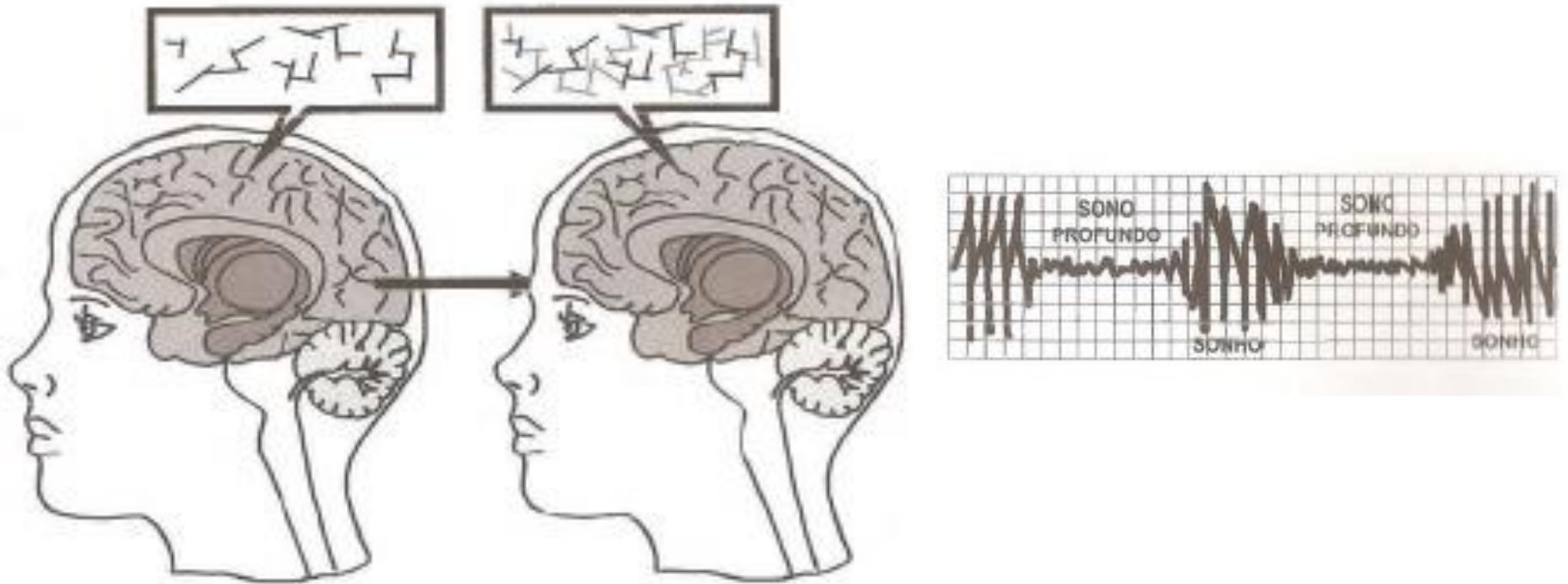
# Cérebro humano (simplificado)



**Armazenamento de dados no HD do cérebro (Córtex) requer alteração do circuito cerebral (alteração da ligação entre neurônios. Um conjunto de centenas ou milhares de neurônios forma uma rede neural)**

# Cérebro humano (simplificado)

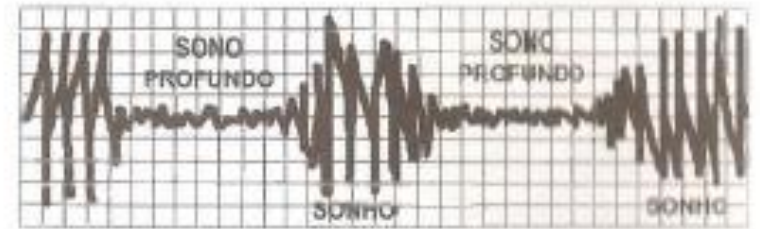
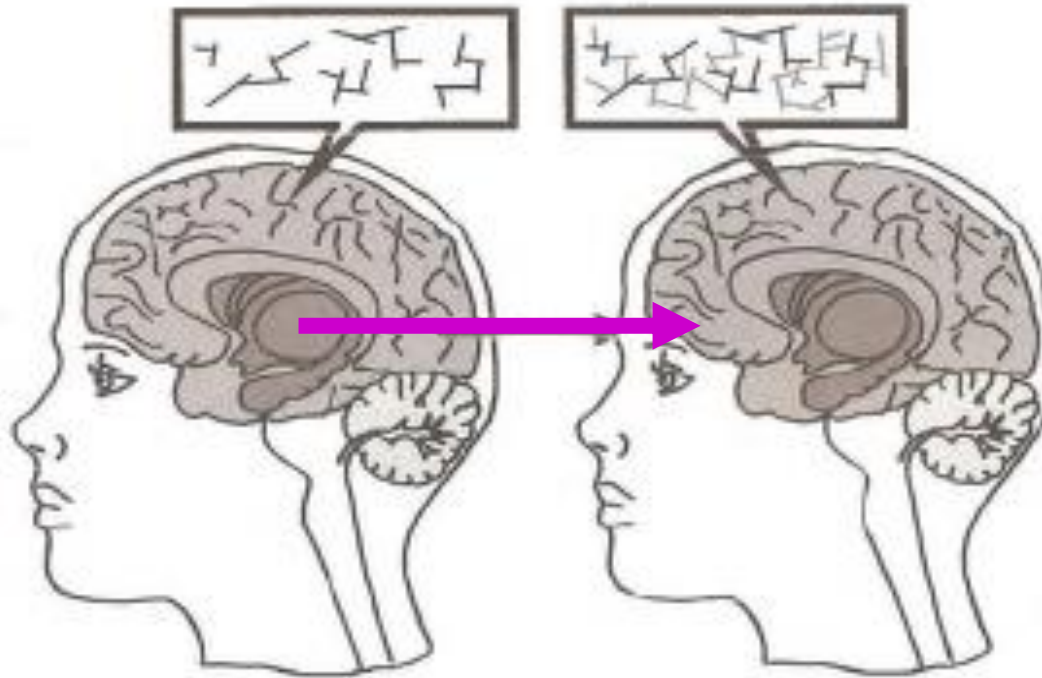
## Armazenamento de dados no HD do cérebro (Córtex)



Este armazenamento de parte dos dados da RAM para o HD do cérebro **ocorre durante o sono profundo**

# Cérebro humano (simplificado)

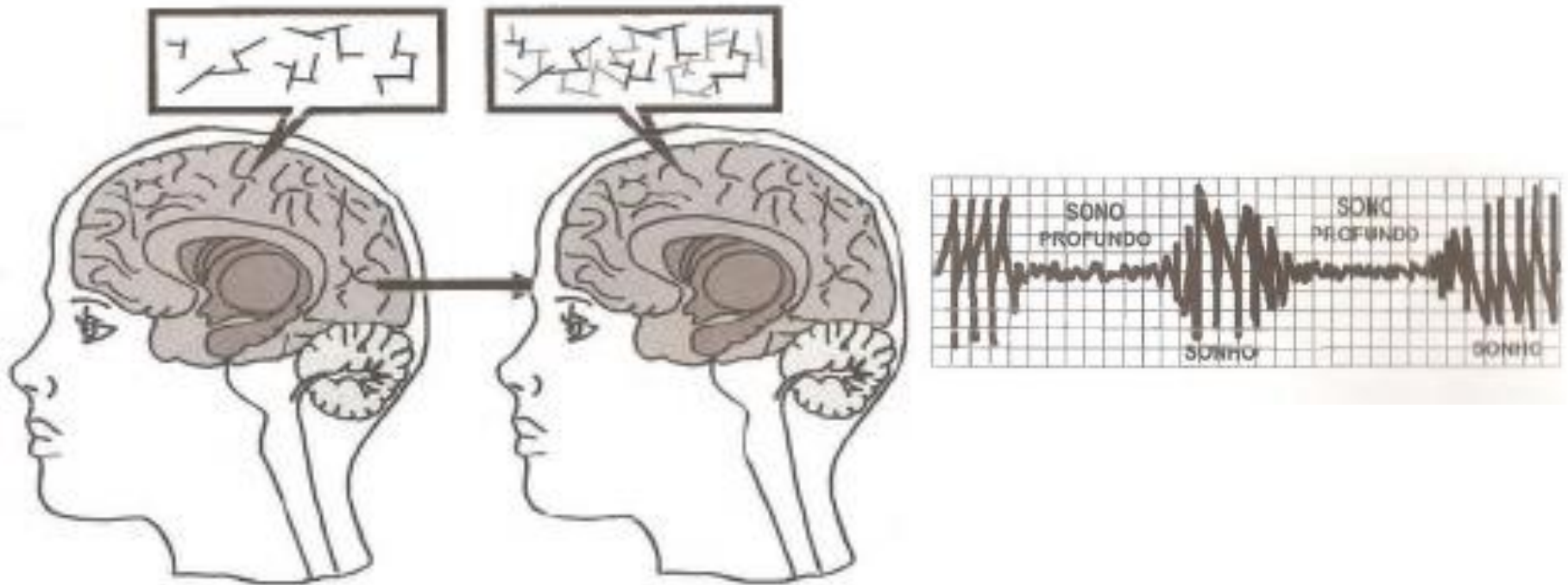
Que parte dos dados da RAM vai ser salva de forma permanente no HD do cérebro ?



Resposta: Aquela informação adquirida durante o dia, que fez de maneira alegre, prazerosa ou até muito triste, trágica. A **emoção associada** fará com que **durante o sonho noturno**, ela seja gravada de **forma permanente**.

## Cérebro humano (simplificado)

Que parte dos dados da RAM vai ser salva de forma permanente no HD do cérebro ?

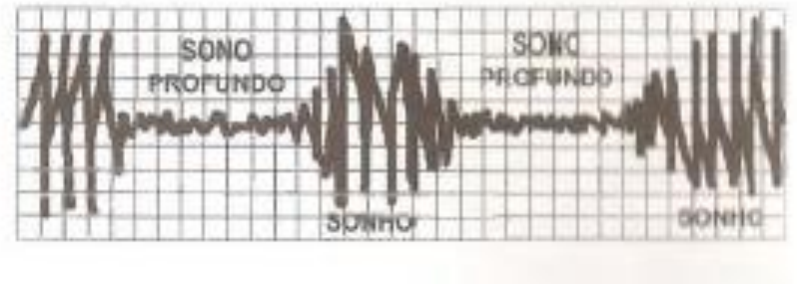
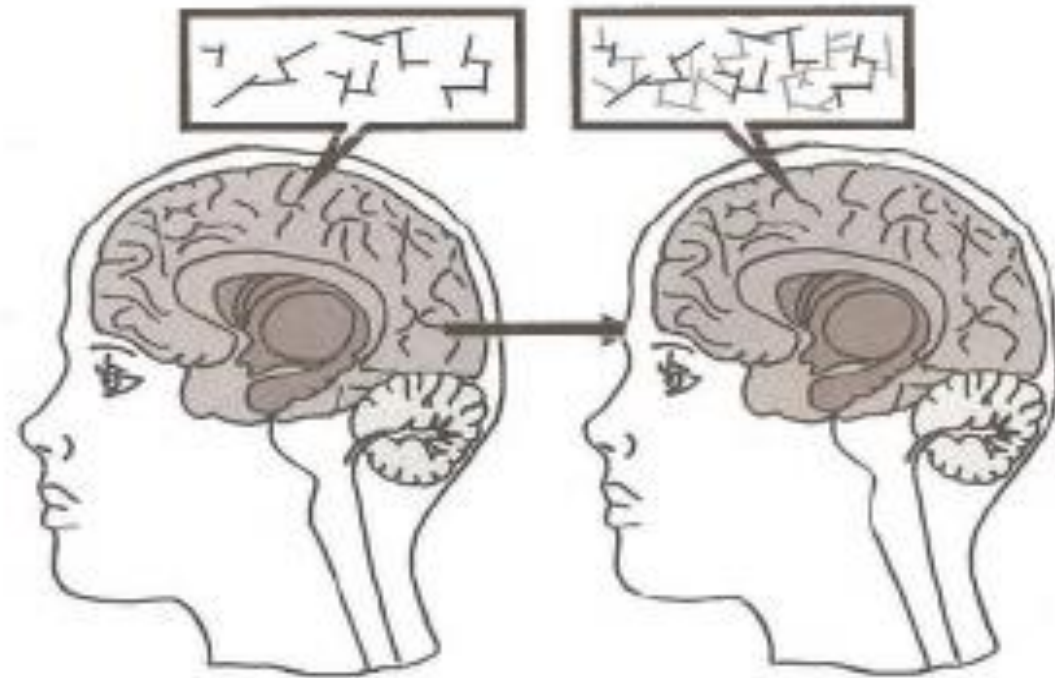


Entretanto, se a informação foi recebida **com indiferença**, tédio, de maneira a não abala-lo nem positiva e nem negativamente, com certeza a informação **será descartada** durante a noite.

# Cérebro humano (simplificado)

Que parte dos dados da RAM vai ser salva de forma permanente no HD do cérebro ?

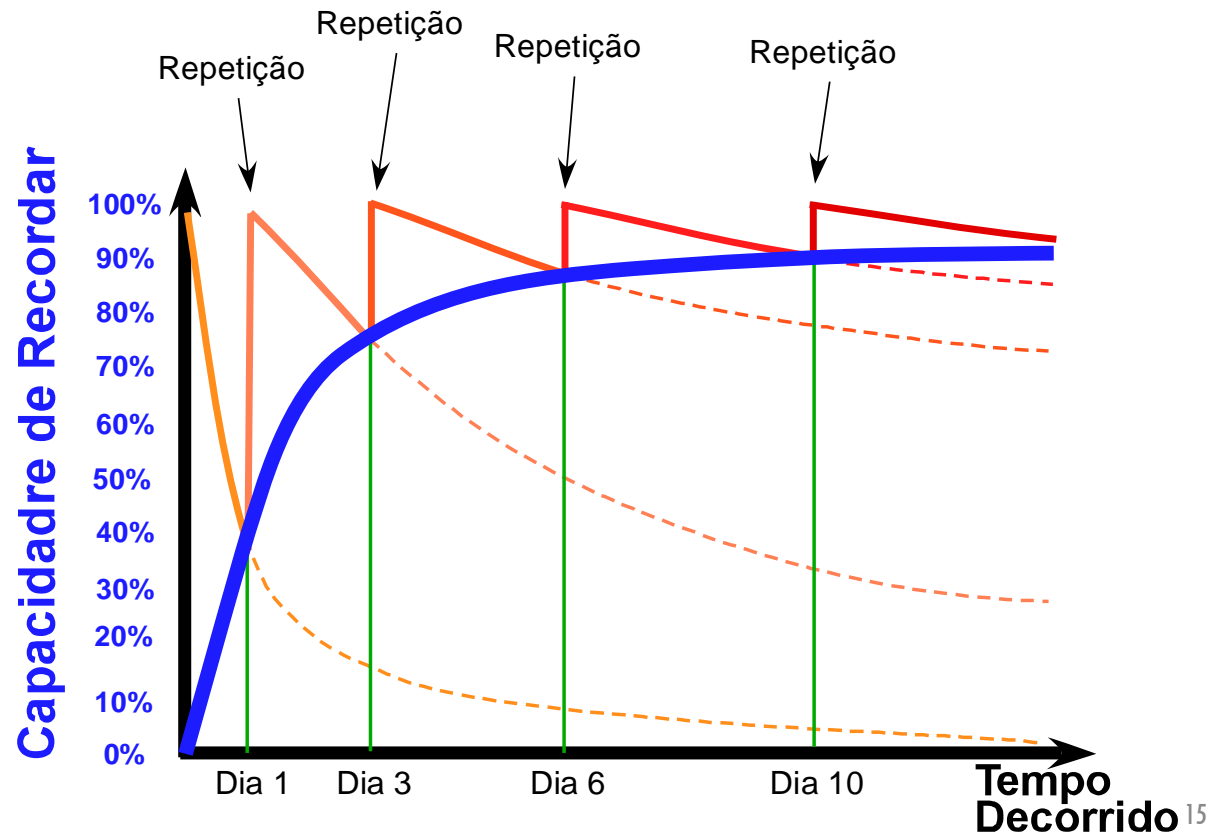
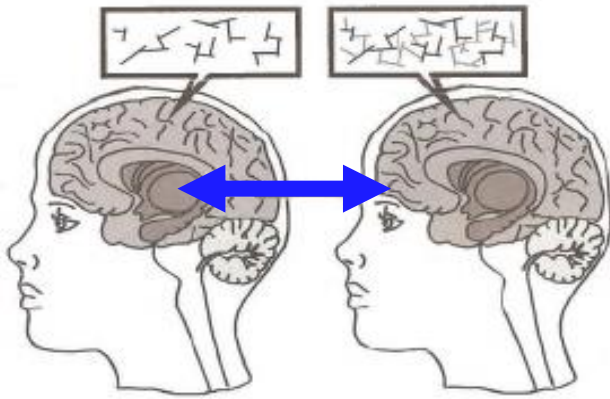
Existe alguma forma de dizermos a nossa memória que parte ela deve reter sem recorrermos diretamente às emoções?



**SIMMM!** Basta darmos **mais atenção** às informações que o nosso cérebro deve reter. De que maneira? **Repetindo-a** ao longo do dia, **estudando antes ou depois da aula!**

## Cérebro humano (simplificado)

Adicionalmente, informações e práticas repetidas em intervalos adequados, garantem que a informação fique armazenada por muito mais tempo (aprendizado).



# CAPITULO 2

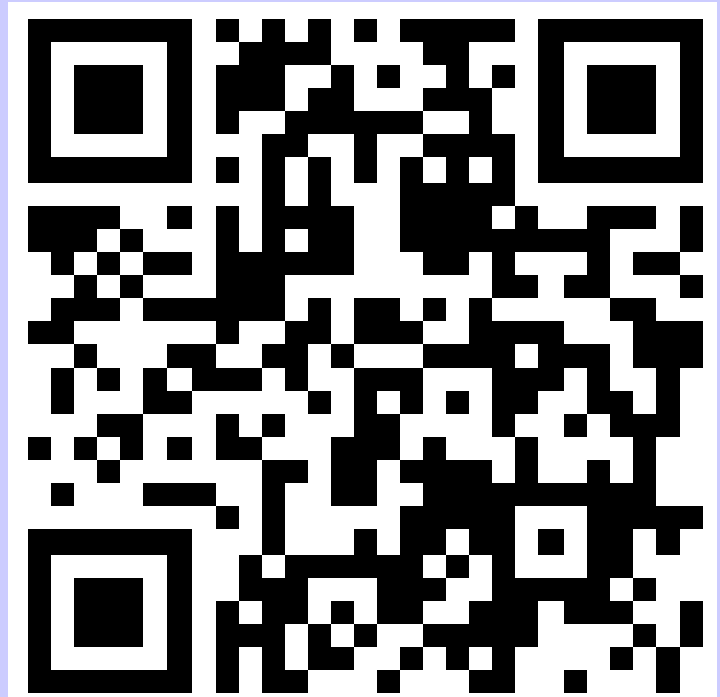


Student Login

Room Name

ACSEABRA01

JOIN





# RESUMINDO

## Proposta de Aprendizagem:

- Estudar pouco mas na hora certa...
- Aprender mais (fixar de forma permanente)
- Não requer estudo na véspera da prova
- Aumentar tempo para atividades pessoais.

**1. ENTENDER** antes da aula, no menor tempo possível, o tema da aula.

**2. APRENDER** na sala de aulas junto com o professor e colegas.

# Abordagens Tradicional e Ativas

E como fazer isso?

- Da forma tradicional, assistindo à aula e depois estudando (estudando, estudando, estudando, estudando...)
- Da forma ativa, estudando um pouco (bem pouco) antes da aula, de forma dirigida, e participando da aula em atividades não expositivas (e estudando muito menos depois).

# Abordagens Tradicional e Ativas

## O que é melhor?

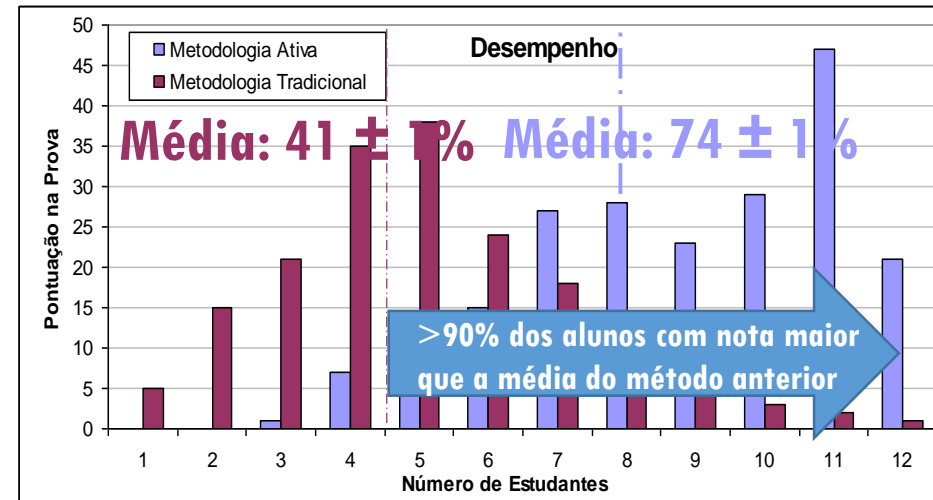
- As evidências científicas dizem o que é melhor:

### Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class

SCIENCE VOL 332 13 MAY 2011

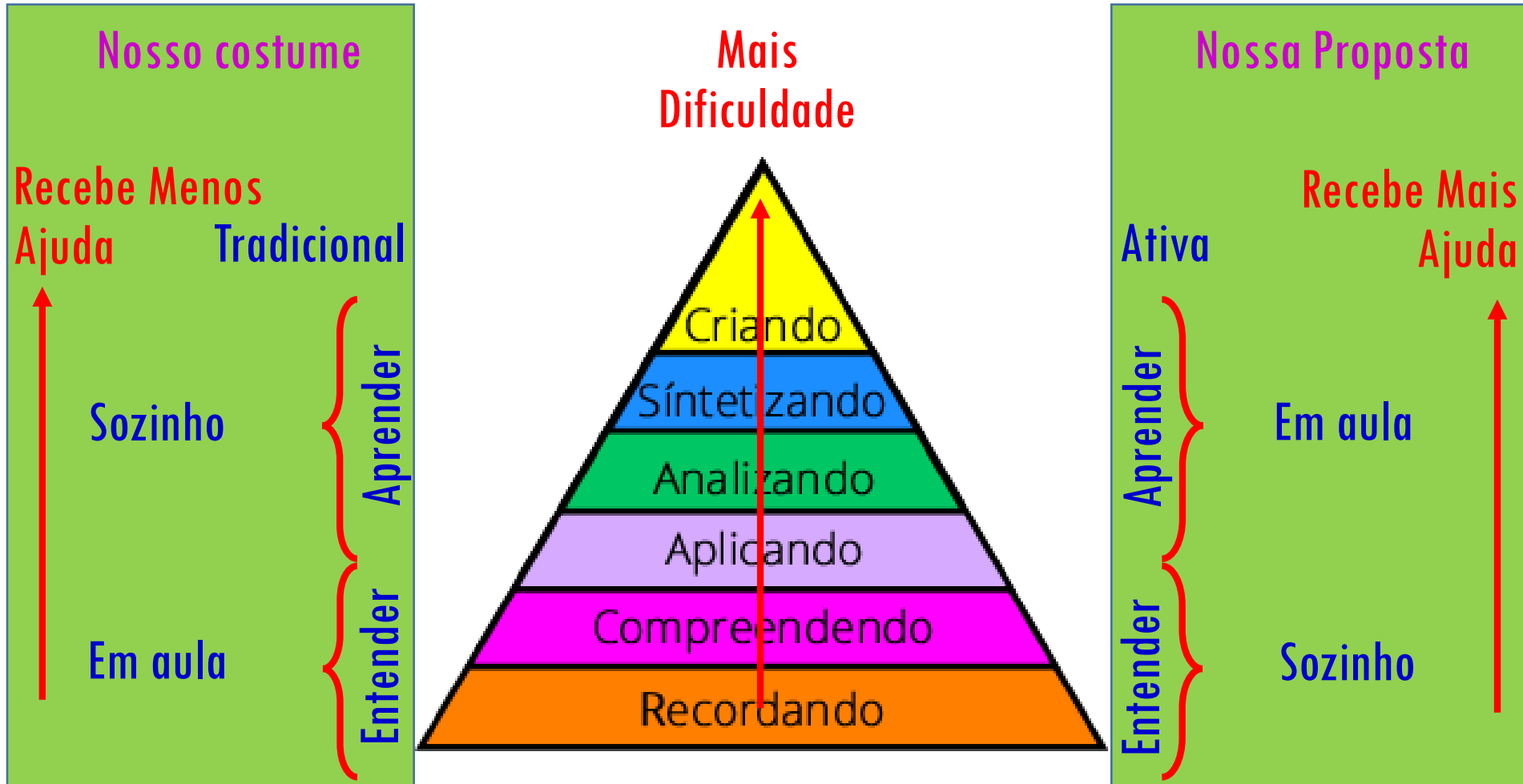
Louis Deslauriers,<sup>1,2</sup> Ellen Schelew,<sup>2</sup> Carl Wieman\*†‡

We compared the amounts of learning achieved using two different instructional approaches under controlled conditions. We measured the learning of a specific set of topics and objectives when taught by 3 hours of traditional lecture given by an experienced highly rated instructor and 3 hours of instruction given by a trained but inexperienced instructor using instruction based on research in cognitive psychology and physics education. The comparison was made between two large sections ( $N = 267$  and  $N = 271$ ) of an introductory undergraduate physics course. We found increased student attendance, higher engagement, and more than twice the learning in the section taught using research-based instruction.



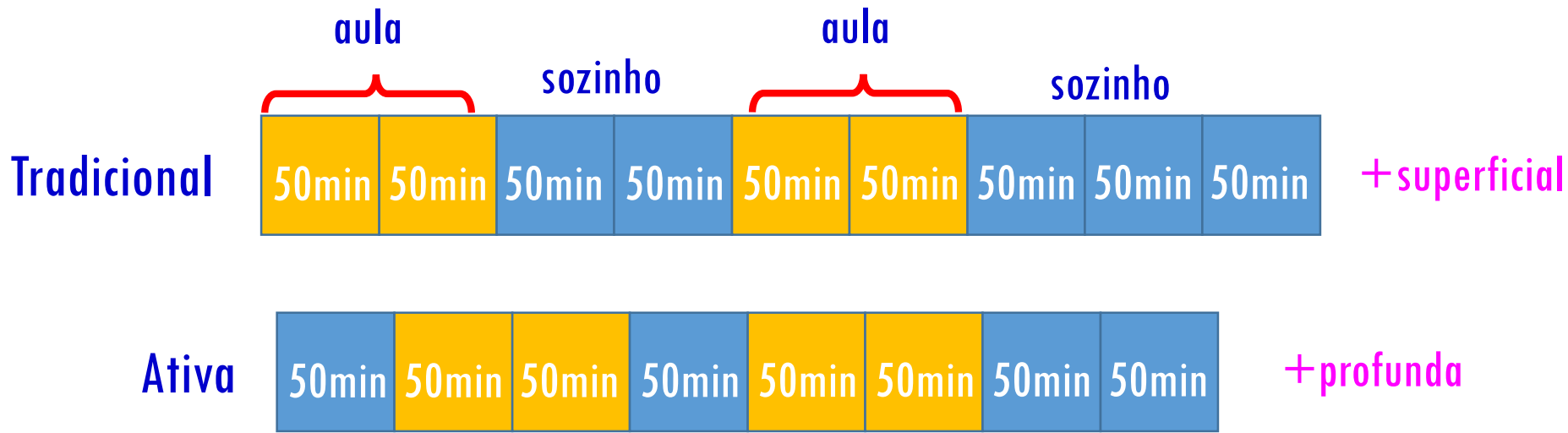
# Abordagens Tradicional e Ativas

## Objetivos Educacionais



# Abordagens Ativas

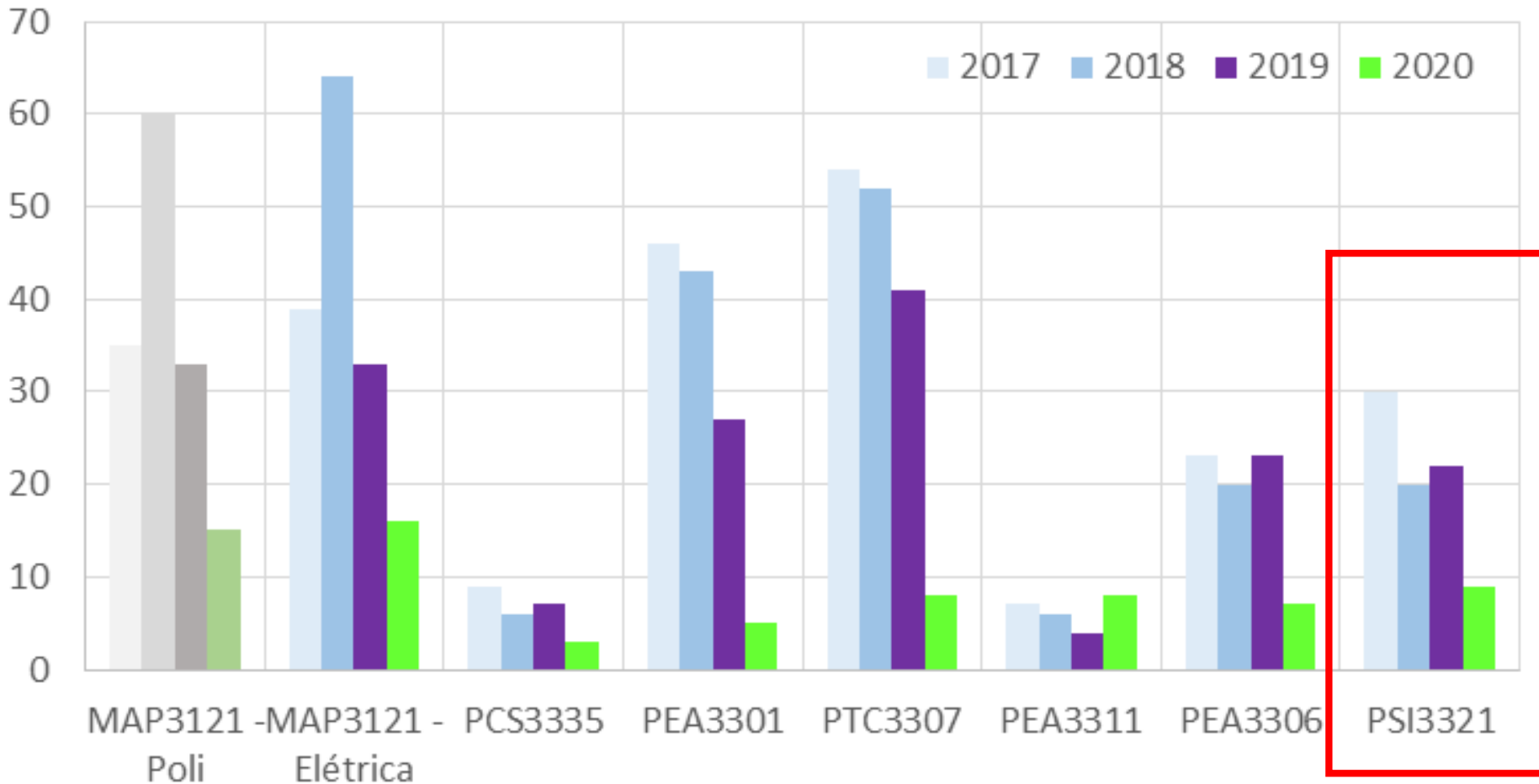
- Aproveita de forma muito mais eficiente o tempo de estudo fora e dentro da sala de aula



- Mas exige um compromisso mais forte do professor e dos alunos:
  - Professor: tem que preparar e disponibilizar o material com antecedência e tem que verificar antes da aula o que os alunos fizeram
  - Alunos: têm que se comprometer a ver o material (em média 25 minutos) antes da aula e fazer um questionário de 10 minutos

# Desempenho no 3º semestre elétrica

Porcentagem de reprovação



# Abordagem Ativa em nosso curso

- O que está feito
  - Todo material até a P1 já está disponibilizado no eDisciplinas
  - Dashboard disponível

PSI3321 · Google Chrome

Seguro | [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4201055/mod\\_resource/content/2/PSI3321-A01P1.html](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4201055/mod_resource/content/2/PSI3321-A01P1.html)

AOs ideais: As visões de Circuitos Elétricos e de Eletrônica

Aula01: Parte 1 (17')

O AO visto em Circuitos Elétricos ●

Notação de Eletrônica e de Circuitos ●

Saturação no AO real ●

Amplificadores Operacionais

Circuitos elétricos

Eletrônica

Alunos de PSI3321 entrem seu nusp@usp.br

Your email

Visitantes: entrem um e-mail de contato, por favor.

PSI3321

Aula Sínc

P1 (12')

1

E1 (15')

E2 (15')

2

Teste da Aula

Slides da Aula

Fórum da Aula

Ativ. da Aula

Créditos

Prof. Seabra  
PSI/EPUSP

18/04/2022

# Abordagem Ativa em nosso curso

- O que vocês devem fazer antes da aula
  - Assistir os vídeos Px (não precisa assistir os Ex)

	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	A13
Px	17	41	62	41	13	13	31	21	38	18	16	39	49
Q	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tot	27	51	72	51	23	23	41	31	48	28	26	49	59
Média	41 min antes de cada aula												

- E na aula o que faremos?
  - Começaremos discutindo as respostas dos questionários
  - Farei pequenas exposições dos pontos que não ficaram claros
  - Faremos os exercícios das aulas semanais e outras atividades





# Abordagem Ativa em nosso curso

- Fazer os testinhos (3 exercícios – 10 minutos)



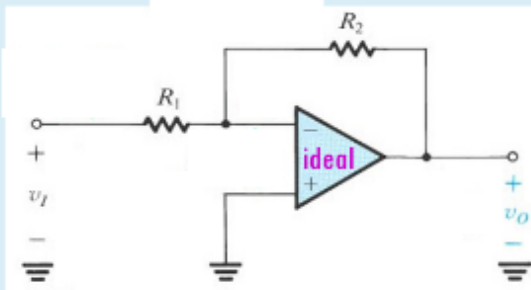
Qual o valor de  $\mu$  ( $m_i$ ) em um amplificador operacional (AO) ideal? E de  $A$ ?

Escolha uma:

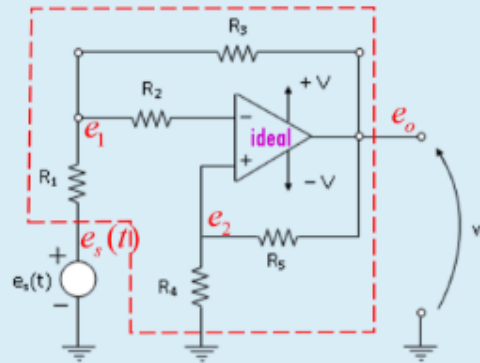
- a. -100 e +100
- b. +100 e -100
- c.  $\rightarrow -\infty$  e  $\rightarrow -\infty$
- d.  $\rightarrow +\infty$  e  $\rightarrow +\infty$

Verificar

Questão twitter (280 caracteres): O que podemos dizer a respeito da corrente no terminal de saída de um AO no circuito inversor abaixo? Ela é zero? Infinita? Se não, como calcular?



No caso deste exercício da figura abaixo pudemos usar a "lei" do divisor de tensão entre  $e_o$  e  $e_2$ . Porquê?



Escolha uma ou mais:

- a. Porque temos dois resistores ( $R_4$  e  $R_5$ ) em série
- b. Porque o ramo  $V+$  não é uma carga para o divisor resistivo  $R_4$ ,  $R_5$
- c. Porque a corrente  $i+$  (ou  $iV+$ ) é zero

Verificar

## O velho ditado chinês

Para saber o que fazer, basta lembrar um antigo provérbio chinês:



Se eu escuto...  
esqueço!



Se eu vejo...  
entendo!



Se eu FAÇO...  
aprendo!

### Proposta de Aprendizagem:

- Estudar pouco mas na hora certa...
- Aprender mais (fixar de forma permanente)
- Não requer estudo na véspera da prova
- Aumentar tempo para atividades pessoais.

## CAPITULO 2

Um break (2 minutos)  
Converse com seu colega do  
lado o que ele acha desta  
proposta



CAPITULO 2

Vamos rever circuitos elétricos?

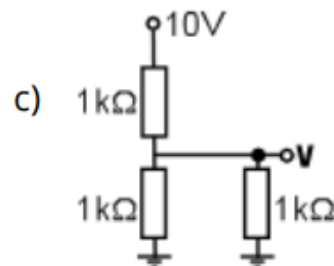
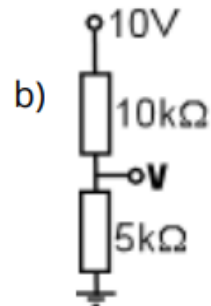
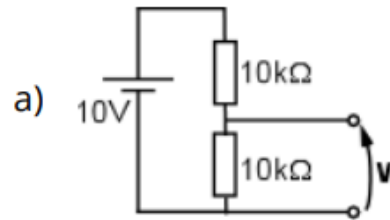
# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

### Aquecimento 1

1) Alguns conceitos apresentados em Circuitos Elétricos são fundamentais para o seu sucesso no curso de Eletrônica. Ao longo do semestre apresentaremos algumas listas de “Recordando” para que você possa avaliar se está dominando as ferramentas (básicas, fique tranquil@) necessárias para o seu sucesso. Comecemos então:

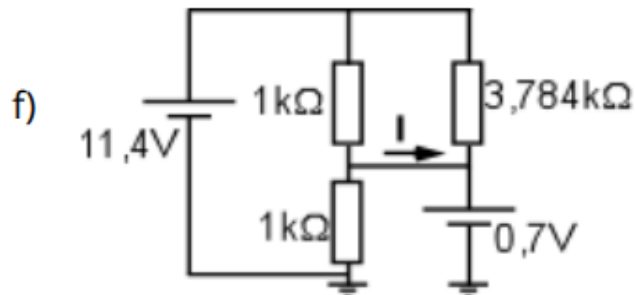
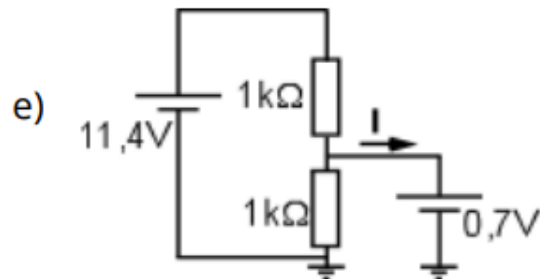
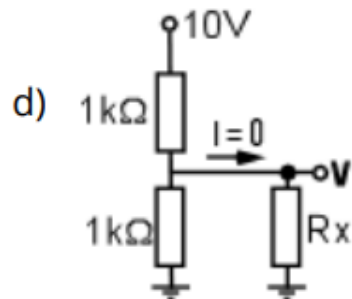
Para cada um dos circuitos abaixo determine o valor numérico das grandezas solicitadas. Escreva, junto com a solução, que técnica você considerou mais importante para resolver cada circuito específico.



# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

Para cada um dos circuitos abaixo determine o valor numérico das grandezas solicitadas. Escreva, junto com a solução, que técnica você considerou mais importante para resolver cada circuito específico.



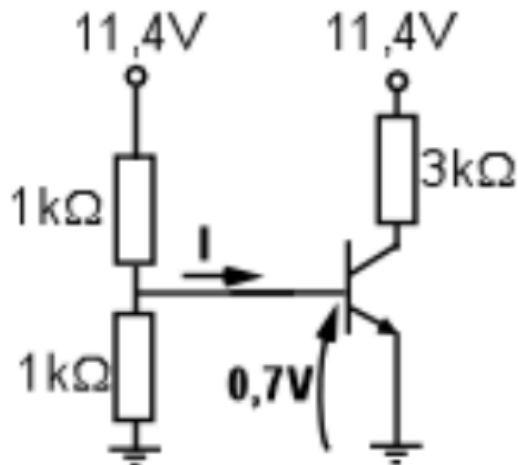
# Amplificadores Operacionais

## Sem medo de usar Circuitos Elétricos I

2) Um problema real. Qual o valor de  $I$ ?:



3) Um problema real, desafiador, mas inteiramente ao seu alcance. Qual o valor de  $I$ ?:





CAPITULO 2

# Amplificadores Operacionais

## Aula 1



# Eletrônica I – PSI3321

Aula	Matéria	Cap./pág.	Testes agendados
1ª 22/03	Introdução, O primeiro Amp Op Comercial. Encapsulamento do Amp Op, O Amp Op ideal, Análise de circuitos com Amp Ops ideais. Exemplo 2.2	Cap. 2 p. 38-46	
2ª 25/03	Somador, Configuração não inversora, seguidor, amplificador de diferenças. Exercício 2.15	Sedra, Cap. 2 p. 46-53	
3ª 29/03	Amplificador de instrumentação, Funcionamento dos Amp Ops Não- Ideais. Exemplo 2.3 e 2.4	Sedra, Cap. 2 p. 53-59	<b>Teste 01</b> 9h20-9h40
4ª 01/04	Operação dos Amp Ops em grande excursão de sinal, imperfeições cc, circuitos integrador e diferenciador. Exemplo 2.6.	Sedra, Cap. 2 p. 59-73	
5ª 05/04	Diodo ideal, características do diodo real, equação de corrente do diodo, exercícios.	Sedra, Cap. 3 p. 89-96	<b>Teste 02</b> 9h20-9h40
6ª 08/04	Análise gráfica (reta de carga), modelos simplificados de diodos, exercícios	Sedra, Cap. 3 p. 96-99	
<b>Semana Santa (11/04 a 16/04/2022)</b>			
7ª 19/04	Modelo para pequenos sinais, modelos de circuitos equivalentes para pequenas variações (próximas do ponto quiescente), exercícios (exemplos 3.6 e 3.7)	Sedra, Cap. 3 p. 100-103	<b>Teste 03</b> 9h20-9h40
8ª 26/04	Operação na região de ruptura reversa, diodo zener, Projeto de um regulador Zener, exercícios (exemplo 3.8)	Sedra, Cap. 3 p. 104-106	<b>Teste 04</b> 9h20-9h40
9ª 29/04	Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação c.c., circuito retificador de meia onda, circuito retificador de onda completa com enrolamento secundário com tomada central, exercícios: 3.22.	Sedra, Cap. 3 p. 106-109	
10ª 03/05	Circuito retificador em ponte. Circuito retificador de meia onda com o capacitor de filtro.	Sedra, Cap. 3 p. 109-111	<b>Teste 05</b> 9h20-9h40
11ª 06/05	Retificador de onda completa com capacitor de filtro, superdiodo. Exercícios (exemplo 3.9).	Sedra, Cap. 3 p. 112-115	
12ª 10/05	Circuitos limitadores, circuitos grampeadores, dobrador de tensão, exercícios: 3.27, 3.28.	Sedra, Cap. 3 p. 115-118	<b>Teste 06</b> 9h20-9h40
13ª 13/05	Conceitos básicos de dispositivos semicondutores: silício dopado, mecanismos de condução (difusão e deriva), exercícios.	Aula avulsa + Sedra, Cap. 3 p. 117-121	
<b>1ª. Semana de Provas (16/05 a 20/05/2022)</b>			
Data: xx/xx/2022 (xxxx-feira) – Horário: xx:xxh			

# 1ª Aula:

## Estudo de Amplificadores Operacionais Encapsulamento e Amp Ops Ideais

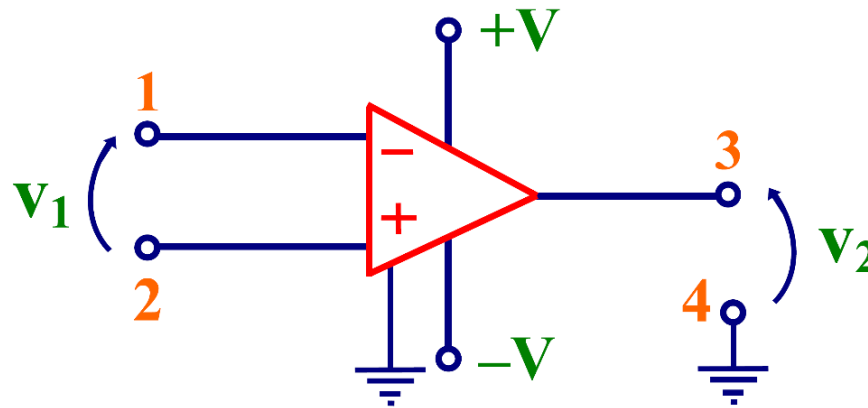
**Ao final desta aula você deverá estar apto a:**

- Diferenciar o Amp Op ideal de um Amp Op real
- Explicar o princípio de funcionamento do Amp Op do ponto de vista conceitual
- Identificar os terminais do Amp Op em encapsulamentos
- Explicar os procedimentos para análise de circuitos empregando Amp Ops ideais e resistores

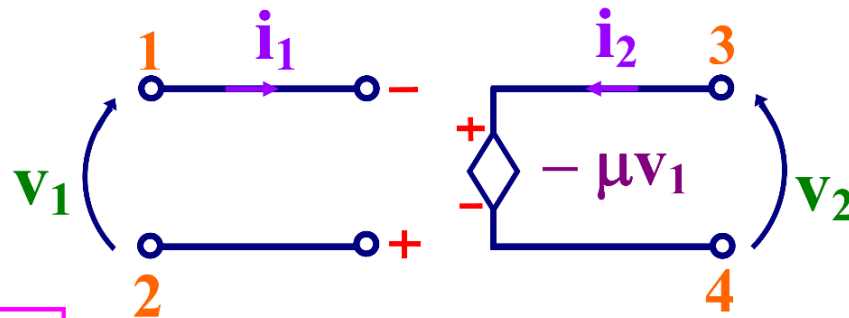
# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

### *Amplificador Operacional*



Modelo :



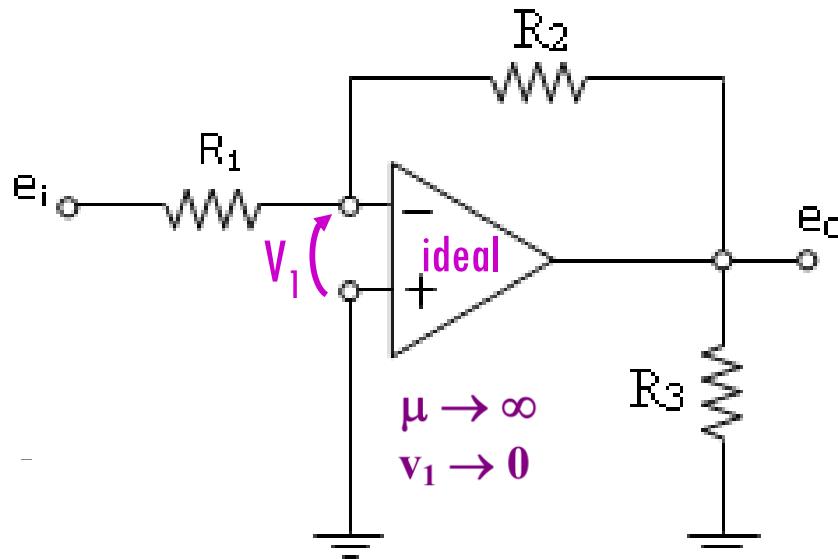
$$\begin{cases} v_2 = -\mu v_1 \\ i_1 = 0 \end{cases}$$

Amp-op ideal :  
 $\mu \rightarrow \infty$     $v_1 \rightarrow 0$

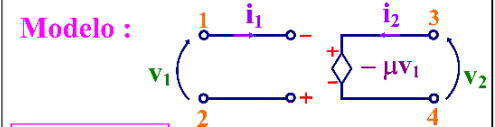
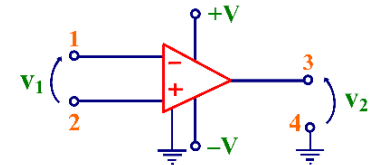
# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

**Exercício 1:** (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação  $e_0/e_i$  no circuito da Figura abaixo?



### Amplificador Operacional

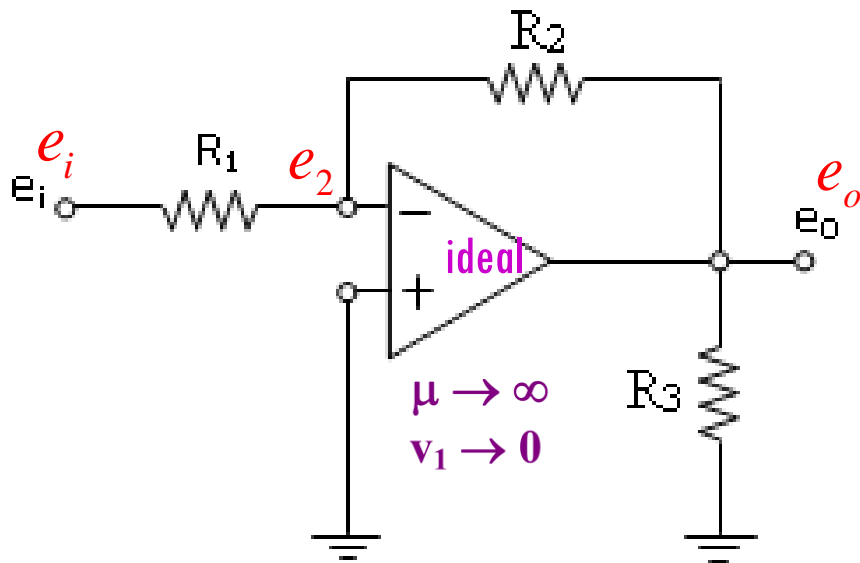


$$\begin{cases} v_2 = -\mu v_1 \\ i_1 = 0 \end{cases}$$

Amp-op ideal :  
 $\mu \rightarrow \infty$   $v_1 \rightarrow 0$

# Amplificadores Operacionais

**Exercício 1:** (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação  $e_o/e_i$  no circuito da Figura abaixo?



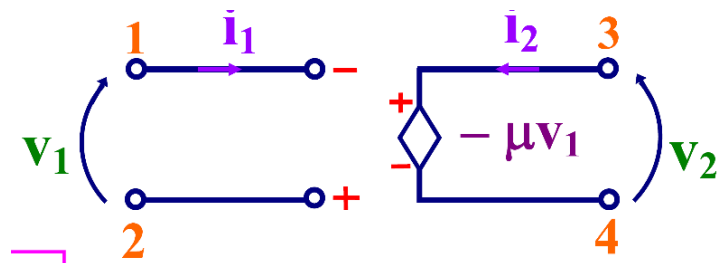
Análise nodal:

1ª LK:

$$\text{Nó } e_2: \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) e_2 - \frac{1}{R_1} e_i - \frac{1}{R_2} e_o = 0$$

$$\text{Nó } e_3: \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + ? \right) e_s - \frac{1}{R_2} e_2 - ? = 0$$

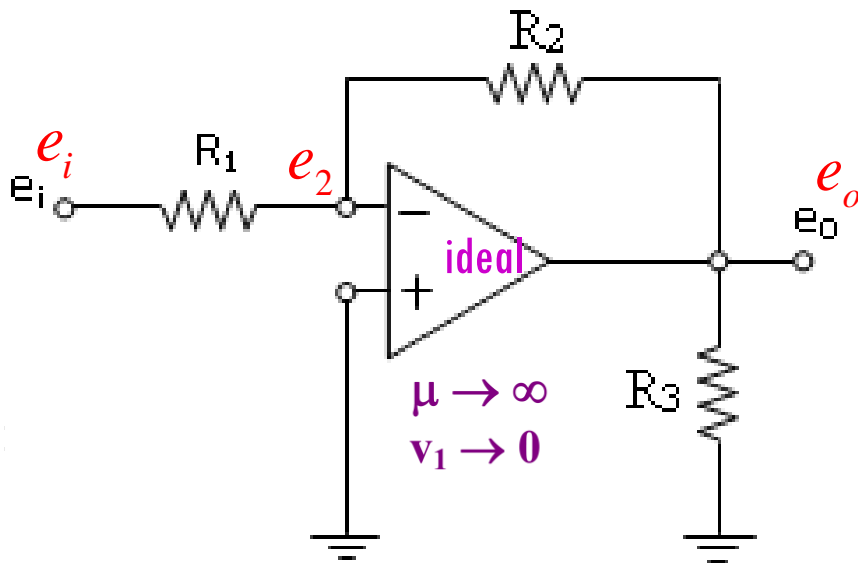
$$e_o = -\mu e_2 \quad (\mu \rightarrow \infty)$$



Como  $e_o$  é finito  $e_2$  é zero!

# Amplificadores Operacionais

**Exercício 1:** (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação  $e_o/e_i$  no circuito da Figura abaixo?



Assim, 1ª LK:

$$\text{Nó } e_2: \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) e_2 - \frac{1}{R_1} e_i - \frac{1}{R_2} e_o = 0$$

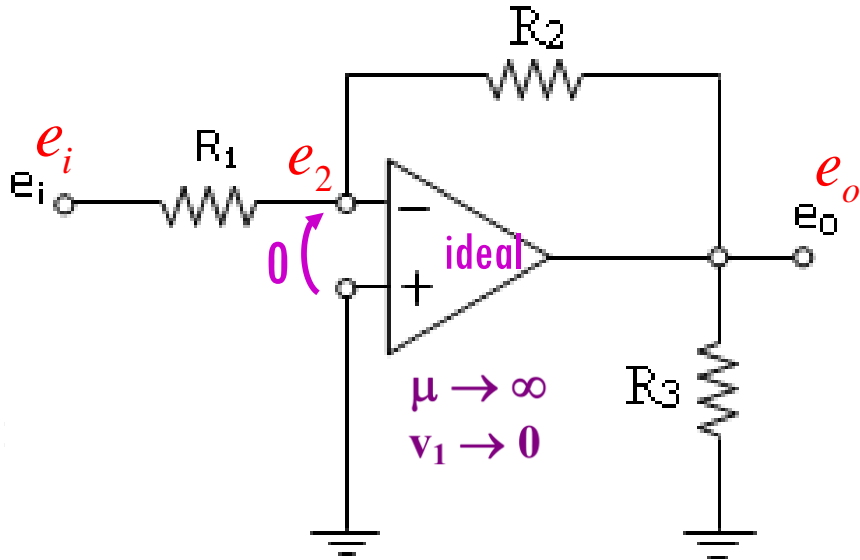
$$\text{E portanto: } -\frac{1}{R_1} e_i - \frac{1}{R_2} e_o = 0$$

$$\text{Ou: } -\frac{1}{R_1} e_i = \frac{1}{R_2} e_o$$

$$\boxed{\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1}}$$

# Amplificadores Operacionais

**Exercício 1:** (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação  $e_o/e_i$  no circuito Figura abaixo?



# Amplificadores Operacionais

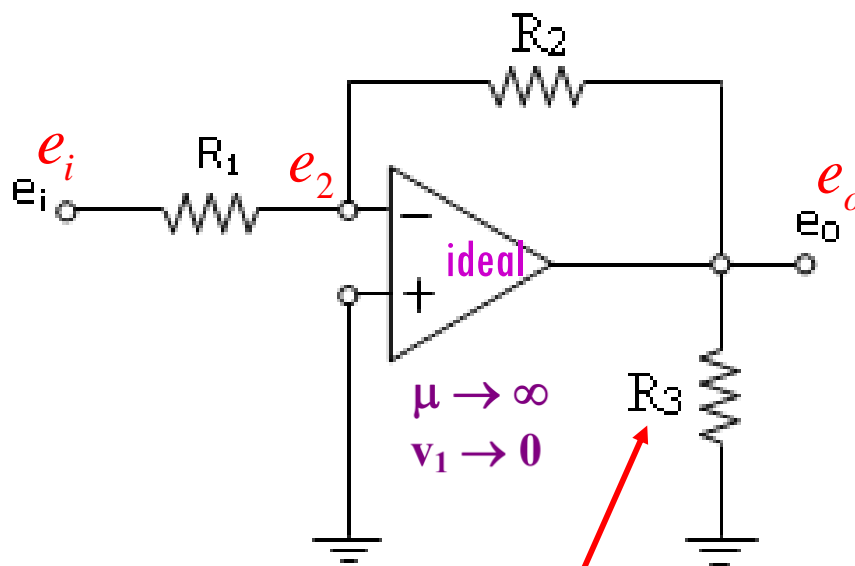
**Exercício 1:** (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação  $e_o/e_i$  no circuito da Figura abaixo?

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

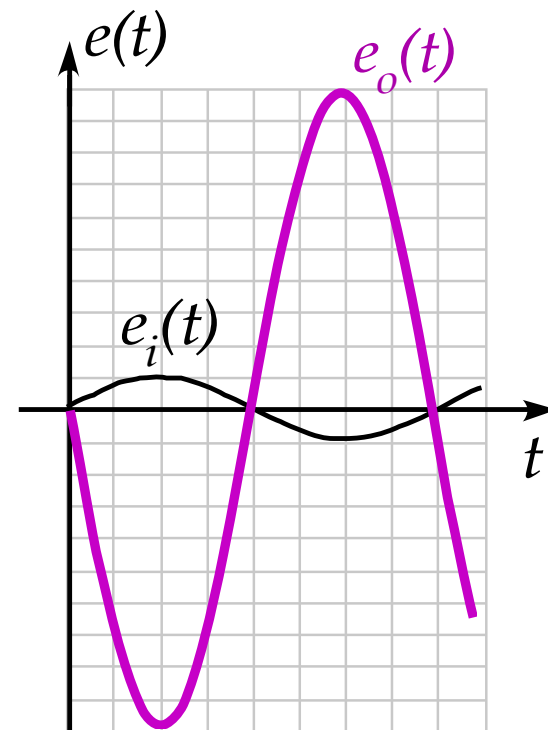
O que isso quer dizer?

Imagine  $R_1 = 1\text{k}\Omega$  e  $R_2 = 10\text{k}\Omega$

$$e_o = -\frac{R_2}{R_1} e_i = -10 e_i$$



Depende do valor de  $R_3$  ?

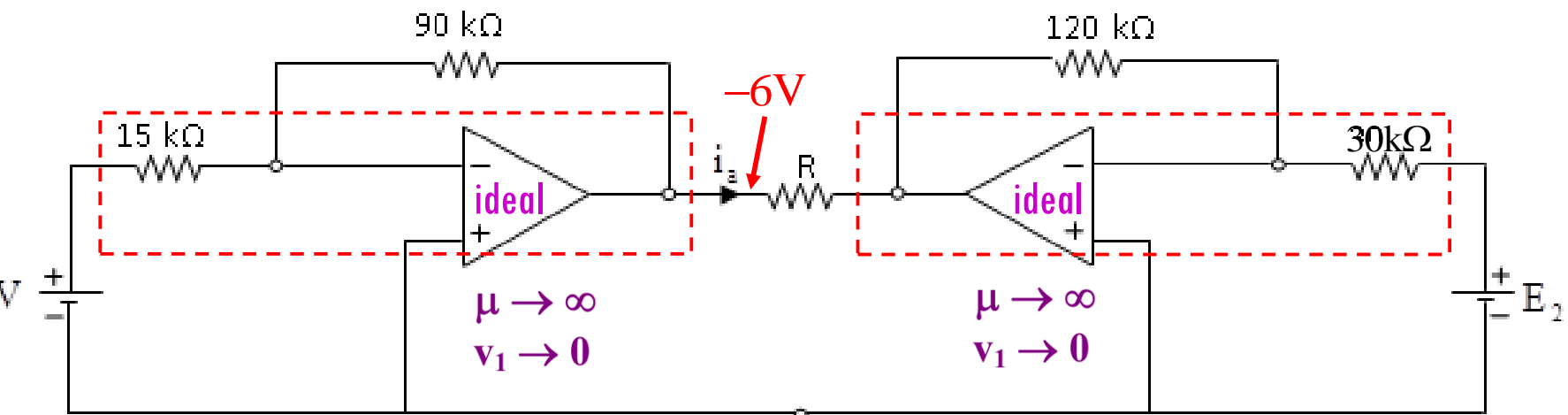
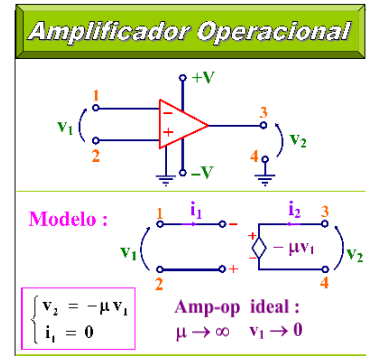




# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

**Exercício 2:** Qual o valor de  $E_2$  para  $i_3 = 0$ ?



$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{90k}{15k} = -6$$

$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{120k}{30k} = -4$$

$$e_o = -6e_i = -6 \times 1V = -6V$$

$$e_o = -4e_i = -4E_2$$

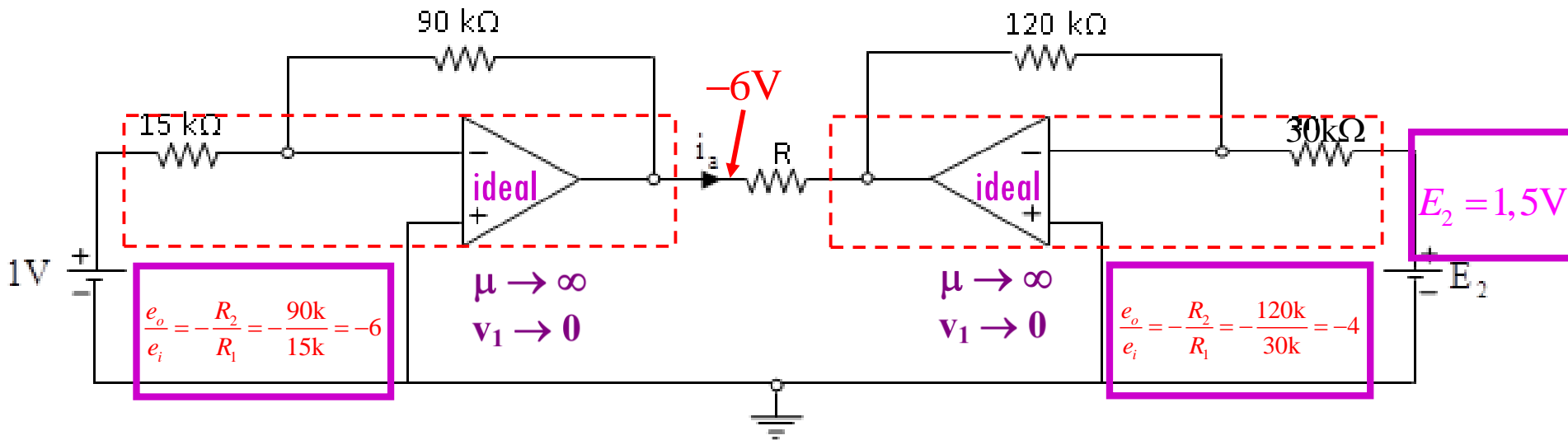
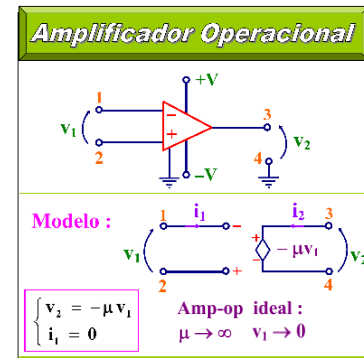
$$i_3 = 0 \rightarrow (e_3 - e_4) / R = 0 \rightarrow (-6 - (-4E_2)) = 0$$

$$6 = 4E_2 \rightarrow E_2 = 1,5V$$

# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

**Exercício 2:** Qual o valor de  $E_2$  para  $i_3 = 0$ ?

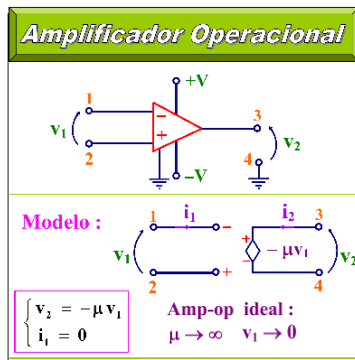


**O que aprendemos neste exercício:**

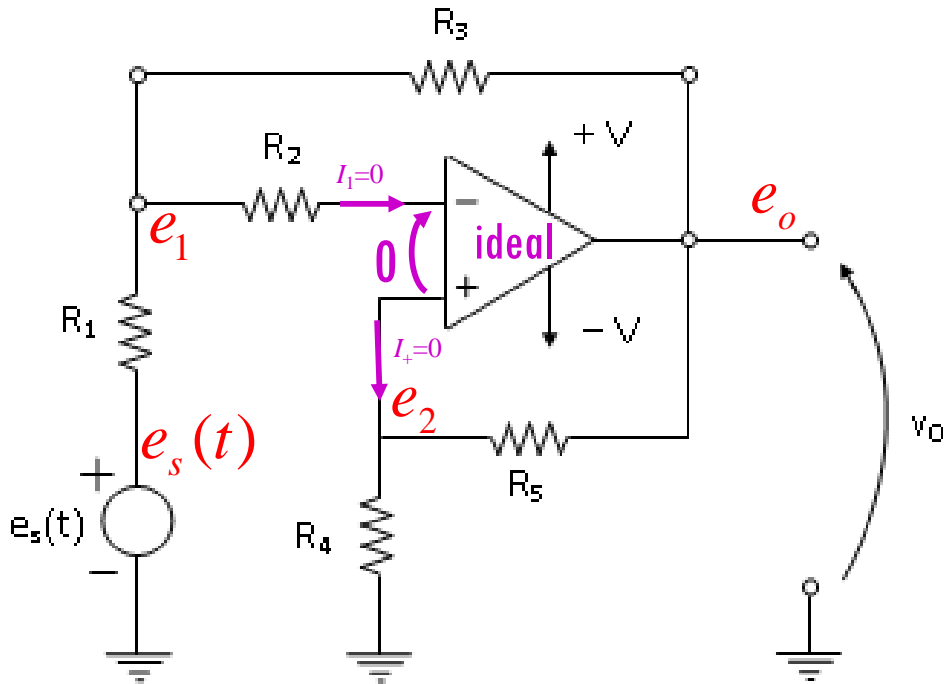
- Que não precisamos aplicar diretamente a análise nodal
- Que podemos identificar relações entre grandezas (“entradas” e “saídas”) e aplicar diretamente essas relações.
- Em circuitos com AOs IDEAIS podemos partir das relações p/ os AOs e aplicar análise nodal de maneira simplificada

# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)



**Exercício 3:** A tensão de saída  $v_0$  pode ser escrita como  $v_0 = B e_s$  onde  $B$  é uma constante, cujo valor depende dos  $R_s$ . Para  $R_1 = 500 \Omega$ ,  $R_2 = 200 \Omega$ ,  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$  e  $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$ , determine o valor de  $B$ .



Um possível caminho de análise:

- Usando as propriedades do AO IDEAL

$$I_+ = 0$$

- Relação entre  $e_0$  e  $e_2$  ?

- Divisor resistivo pois  $I_+ = 0$  !!!!

$$e_2 = e_0 \frac{R_4}{R_4 + R_5}$$

- 1ª LK em  $e_1$ :

$$\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) e_1 - \frac{1}{R_1} e_s(t) - \frac{1}{R_2} e_2 - \frac{1}{R_3} e_0 = 0$$

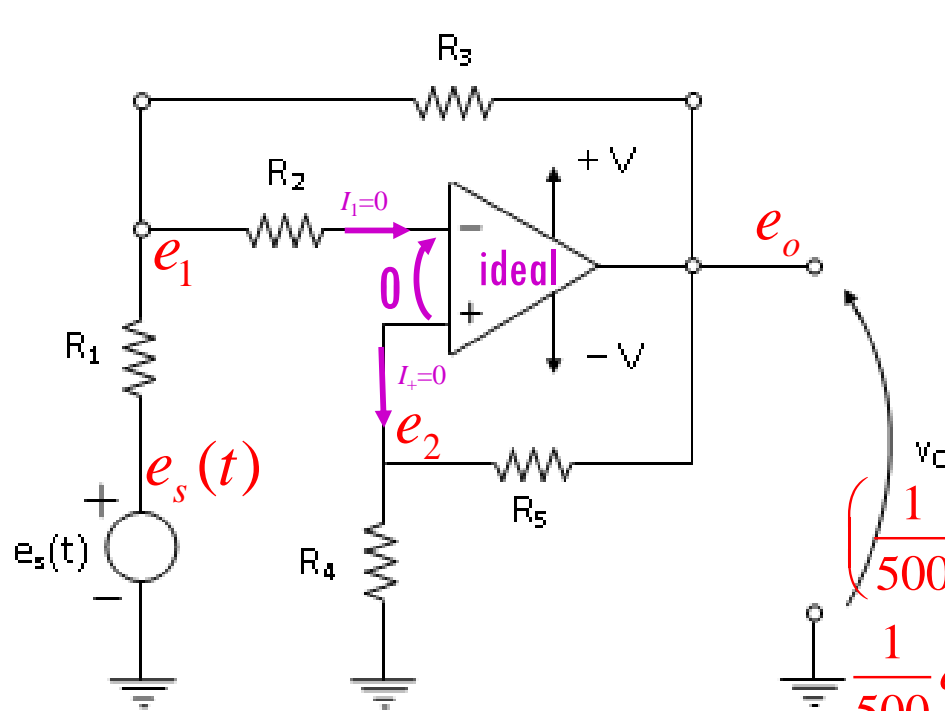
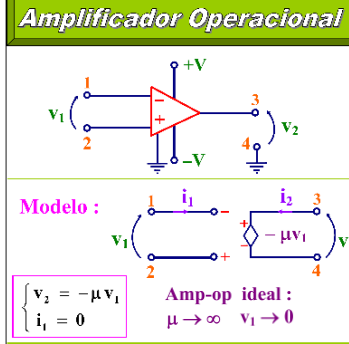
- Inspeccionando,  $e_1 = e_2$  !!!!!

$$\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) e_2 - \frac{1}{R_1} e_s(t) - \frac{1}{R_3} e_0 = 0$$

# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

**Exercício 3:** A tensão de saída  $v_0$  pode ser escrita como  $v_0 = B e_s$  onde  $B$  é uma constante, cujo valor depende dos Rs. Para  $R_1 = 500 \Omega$ ,  $R_2 = 200 \Omega$ ,  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$  e  $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$ , determine o valor de  $B$ .



$$e_2 = e_o \frac{R_4}{R_4 + R_5}$$

$$\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) e_2 - \frac{1}{R_1} e_s(t) - \frac{1}{R_3} e_o = 0$$

- Logo,

$$\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) e_o \frac{R_4}{R_4 + R_5} - \frac{1}{R_1} e_s(t) - \frac{1}{R_3} e_o = 0$$

$$\left( \frac{1}{500} + \frac{1}{1000} \right) e_o \frac{2000}{2000 + 1000} - \frac{1}{500} e_s(t) - \frac{1}{1000} e_o = 0$$

$$\frac{1}{500} e_o - \frac{1}{500} e_s(t) - \frac{1}{1000} e_o = 0$$

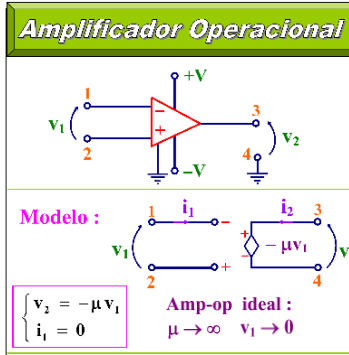
$$\frac{1}{1000} e_o - \frac{1}{500} e_s(t) = 0$$

$$\frac{e_o}{e_s(t)} = 2$$

# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

**Exercício 3b:** Se  $B = 3$  e  $V = 10V$ , qual o valor máximo de  $e_s(t)$  antes da saída  $e_o$  saturar?



$$B = 3!!! \quad \frac{e_o}{e_s(t)} = 3$$

$$e_{o\max} = +V = +10V$$

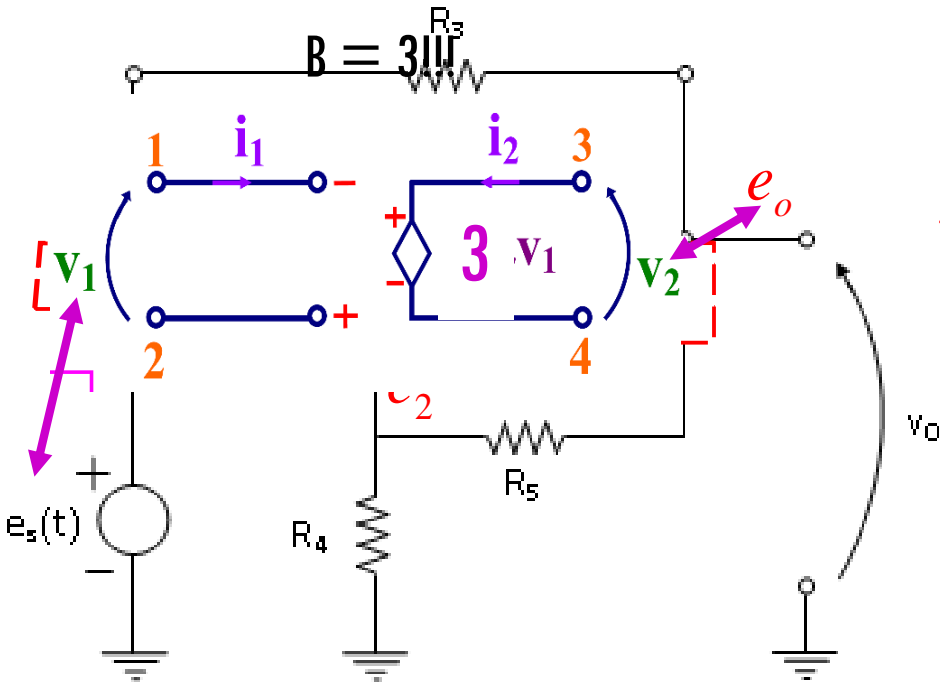
$$\frac{e_o}{e_s(t)} = 3 \rightarrow e_s(t) = \frac{e_{o\max}}{3} = \frac{10}{3} = +3,33V$$

$$e_{o\min} = -V = -10V$$

$$\frac{e_o}{e_s(t)} = 3 \rightarrow e_s(t) = \frac{e_{o\min}}{3} = \frac{-10}{3} = -3,33V$$

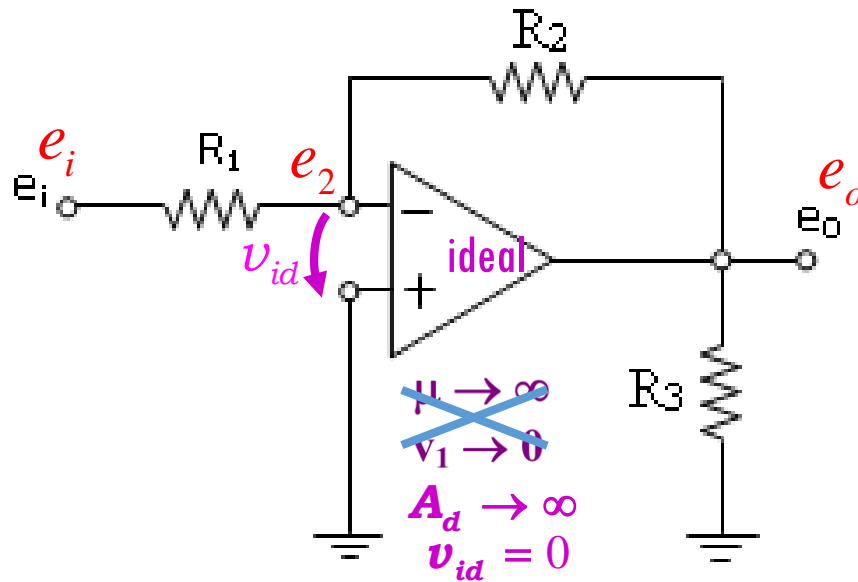
- Logo,

$$-3,33V < e_s(t) < +3,33V$$



# O Amplificador Inversor (A.O. Ideal)

Vimos que:

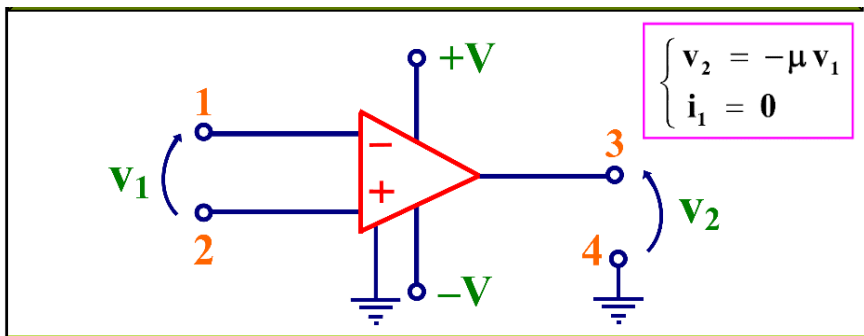


$$\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

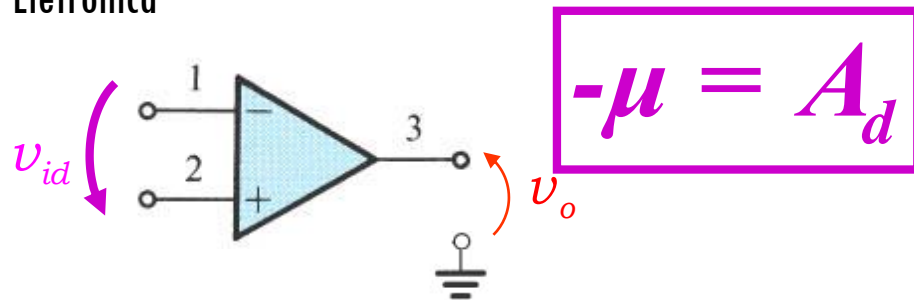
Podemos extrapolar!

# Amplificadores Operacionais

## Circuitos elétricos

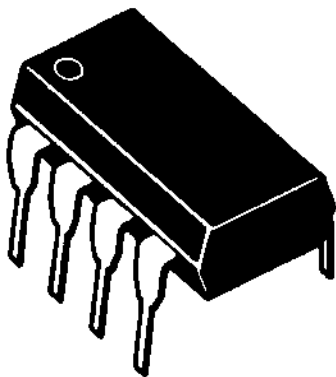


## Eletrônica

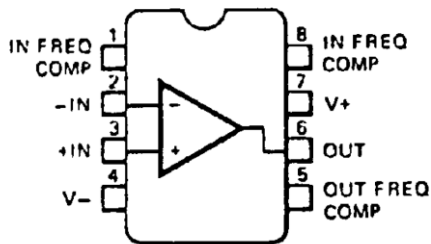


$$v_{id} = v_+ - v_- = v_2 - v_1$$

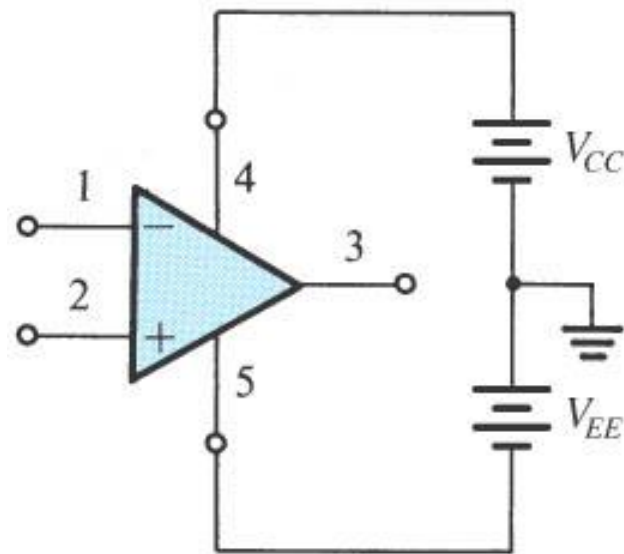
$$v_o = A_d \cdot v_{id} = A_d (v_2 - v_1)$$



8-PIN MINI DIP  
 (TOP VIEW)  
 PACKAGE OUTLINE 9T  
 PACKAGE CODE T



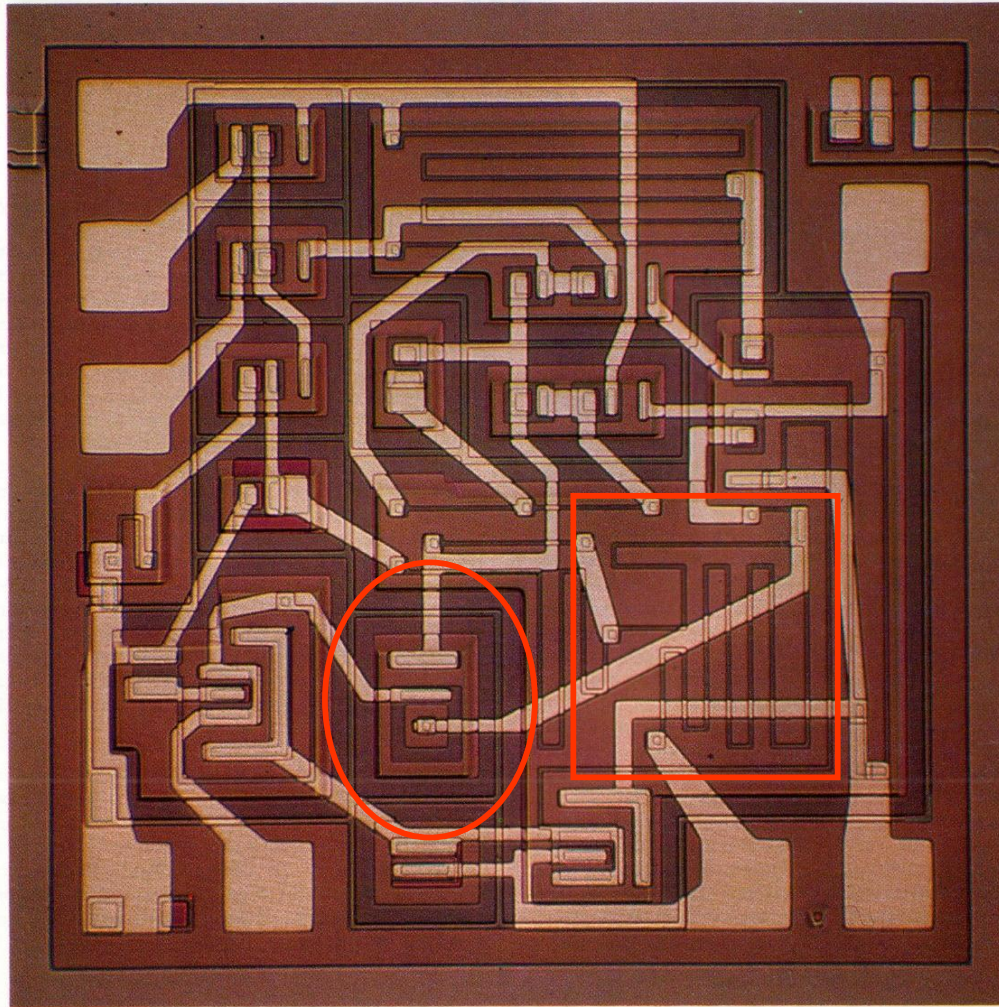
ORDER INFORMATION  
 TYPE PART NO.  
 $\mu$ A709C  $\mu$ A709TC



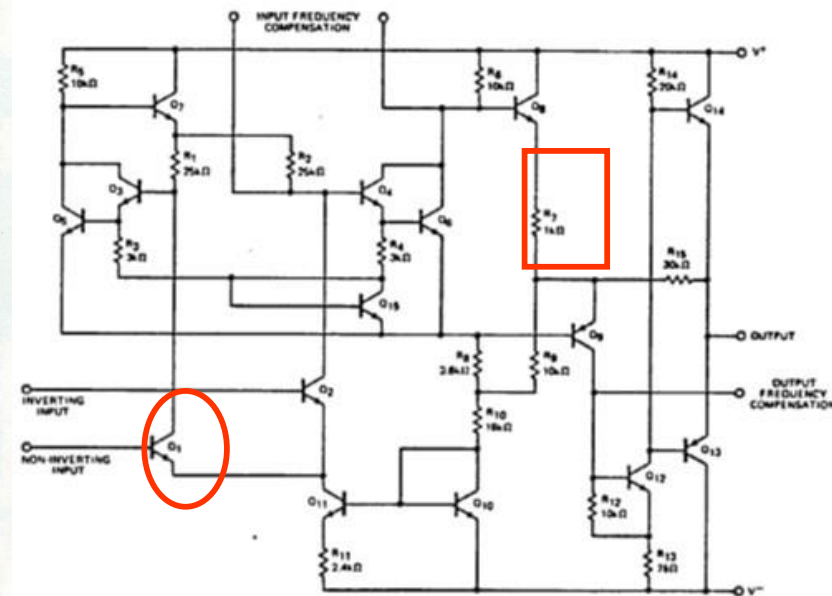
(b)

# Amplificadores Operacionais ( $\mu A$ 709)

3mm x 3mm

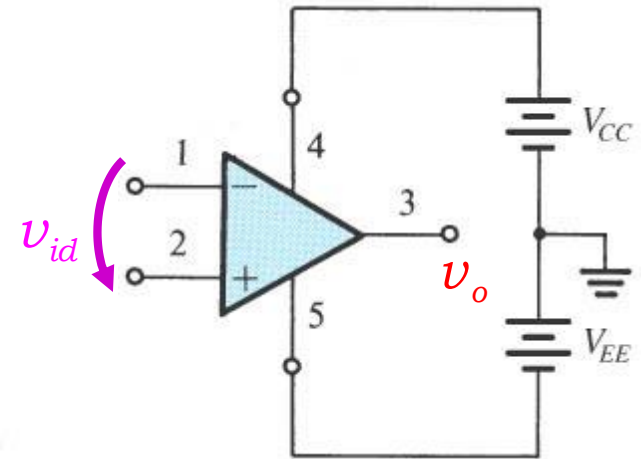


EQUIVALENT CIRCUIT





# Amplificadores Operacionais ( $\mu A 709$ )



EQUIVALENT CIRCUIT

