

Universidade Estadual de Campinas
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO

EE534 (Laboratório de Eletrônica Básica I)

Prof. Bruno Sanches Masiero , Prof. Fernando Ortolano e Monitor
João Victor Gomes Carneiro

Nome	Henrique Parede De Souza	R.A.	260497
Nome	Mateus De Lima Almeida	R.A.	242827
Nome	Victor Hoshikawa Satoh	R.A.	260711

Data da realização do experimento	09/10/2025	Turma	X	Bancada	4
-----------------------------------	------------	-------	---	---------	---

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- Apenas os locais hachurados devem ser preenchidos;
- Este relatório deve ser enviado pelo Classroom;
- Apenas um participante de cada grupo deve enviar o relatório.

Experimento V – Amplificadores Operacionais

1. OBJETIVOS

- Estudar quatro circuitos com amplificadores operacionais.

2. COMPONENTES

- 1 CI LM324;
- 1 Soquete de 14 pinos, terminal curto;
- Resistores: $1 \times 100\Omega$, $2 \times 1k\Omega$, $1 \times 2k\Omega$, $1 \times 3,9k\Omega$, $1 \times 8,2k\Omega$, $1 \times 100k\Omega$, $4 \times 4,7k\Omega$;
- 1 DIP Switch.

3. INTRODUÇÃO

O C.I. LM324 integra 4 amplificadores diferenciais independentes de alto ganho compensados internamente. Eles podem operar com uma única fonte de alimentação (*single-supply*) mas também podem operar com fonte dupla (*dual-supply*). Sua saída pode excursionar 0 V a $V^+ - 1.5$ V, sendo que V^+ é a tensão de alimentação positiva. A Figura 1 mostra a disposição da pinagem do LM324. Outras configurações de encapsulamento também são possíveis. Em nosso experimento usaremos a DIP (*Dual-In-Line*) de 14 pinos.

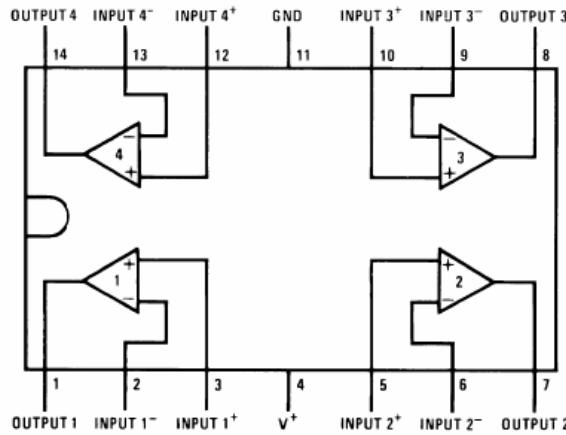


Figura 1: Disposição dos amplificadores e pinagem do LM324.

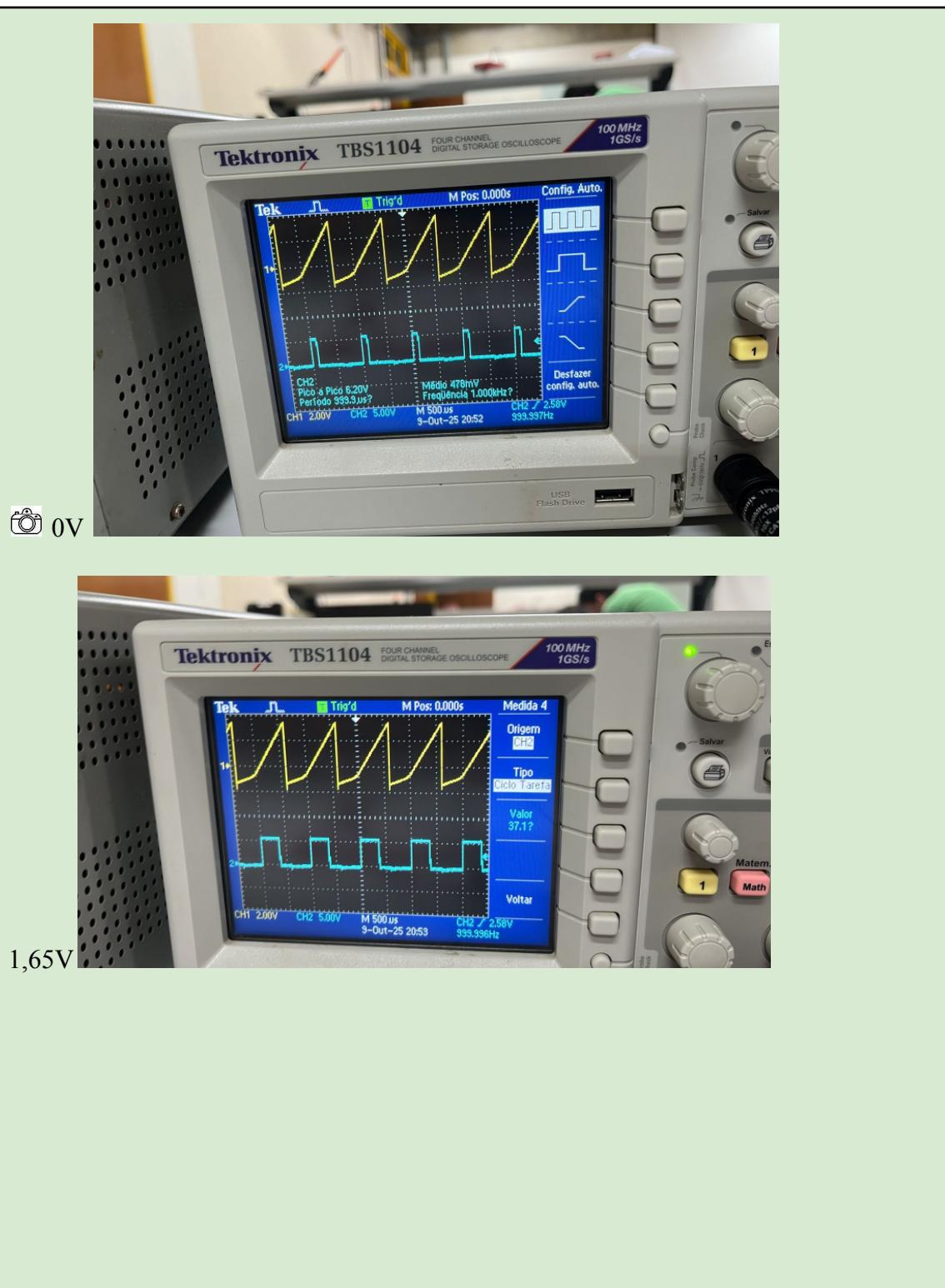
4. PARTE EXPERIMENTAL

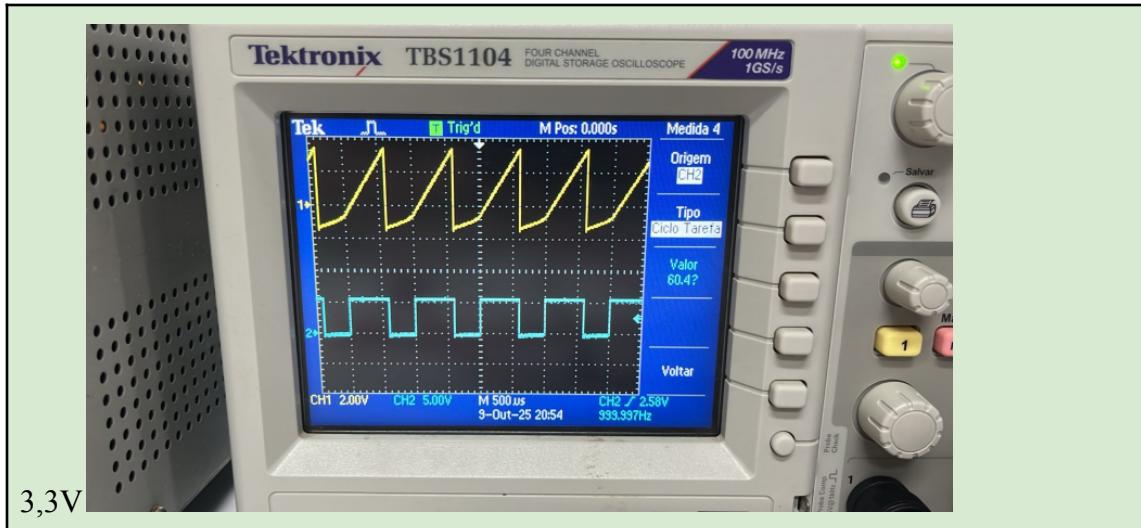
4.1. Comparador

- 4.1.1. Monte um circuito usando um amplificador em malha aberta em que na entrada não inversora é aplicado uma tensão analógica DC constante (v_a) entre 0 e 3,3 V. Na entrada inversora é aplicado um sinal de onda triangular simétrico com amplitude variando entre 0 e 3,3 V e frequência de 1 kHz. Alimente o amplificador operacional com 0 e 7 V_{DC}.
- 4.1.2. Varie a tensão (v_a) e observe o sinal correspondente na saída. Comente suas observações. **(1 ponto)**

Ao variarmos v_a , observa-se a modificação do tempo em que a saída permanece em nível alto, de modo que o aumento v_a resulta no aumento proporcional do duty cycle do sinal de saída.

- 4.1.3. Fotografe o sinal na saída do amplificador quando $v_a = 0; 1,65 \text{ e } 3,30 \text{ V}$. **(1 ponto)**





- 4.1.4. Meça também o Duty Cycle de cada sinal usando o osciloscópio e preencha a tabela a seguir. (1 ponto)

Va [V]	DC (%)
0	12
0,82	24,6
1,65	37,2
2,47	49,2
3,30	60,5

4.2. Circuito Buffer

- 4.2.1. Monte o circuito buffer mostrado na Figura 2. Aplique um sinal senoidal na entrada e verifique a saída. Imprima as formas de onda (entrada e saída) e a função de transferência v_{IN} versus v_{OUT} (modo XY do osciloscópio). (1 ponto)

Observação: por simplicidade, as conexões dos terminais das tensões de alimentação foram omitidas, mas você deve conectá-las também.

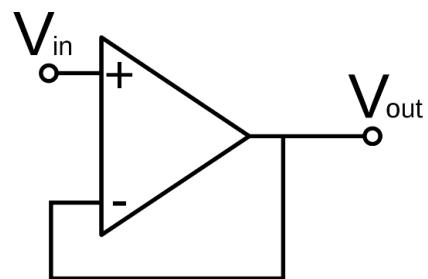
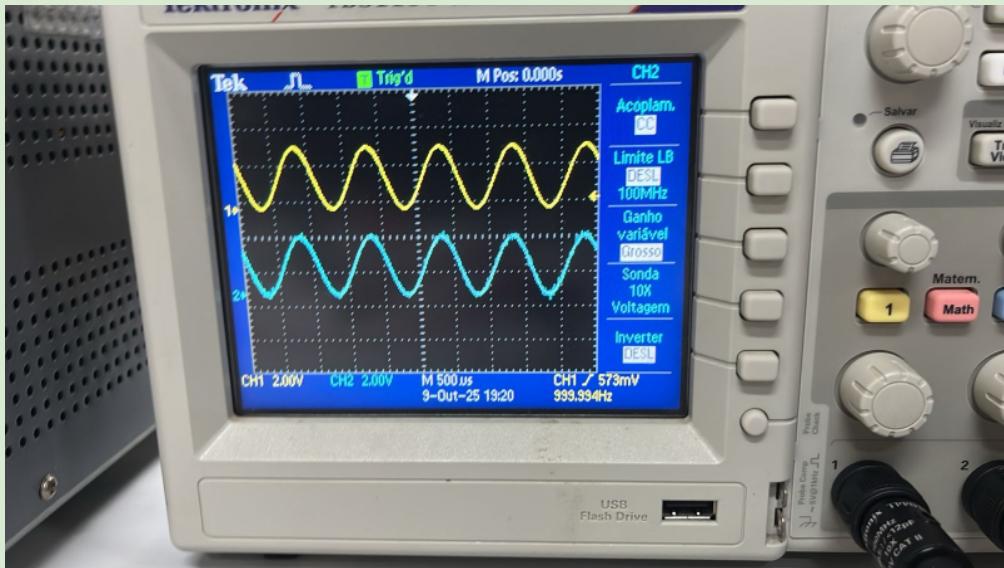
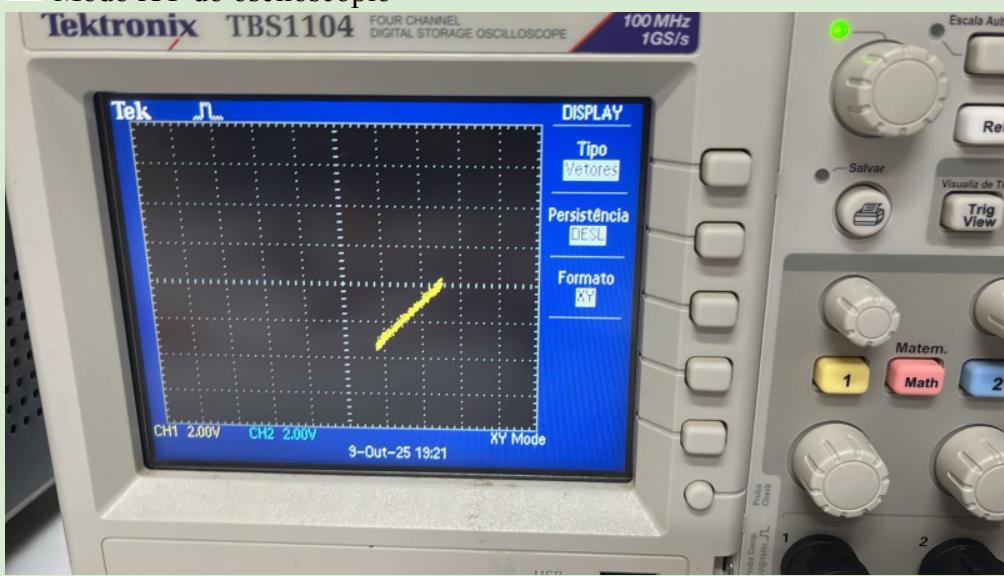


Figura 3: Circuito Buffer.

📷 Formas de onda IN e OUT



📷 Modo XY do osciloscópio



4.2.2. Comente sobre o ganho e os níveis de saturação. **(1 ponto)**

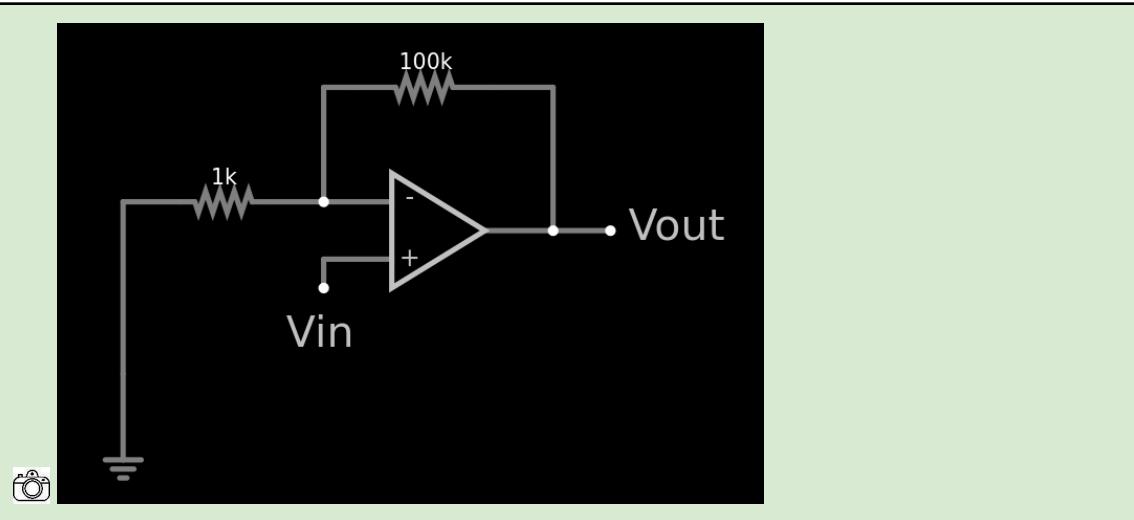
A partir das formas de onda IN e OUT mostradas na primeira figura, observa-se ganho unitário (i.e., $A_v \approx 1$), sendo condizente com a saída esperada do circuito do buffer (seguidor de tensão), no qual a saída é realimentada diretamente à entrada inversora.

Já o gráfico do modo XY na segunda figura indica uma relação linear entre V_{in} e V_{out} . Como a reta possui ângulo próximo de 45° , evidencia-se uma relação linear entre as tensões de entrada e de saída, o que é condizente com o ganho unitário esperado

Por fim, por não haver ganho no circuito, não é observada nenhuma saturação. Sendo assim o amplificador opera na região linear.

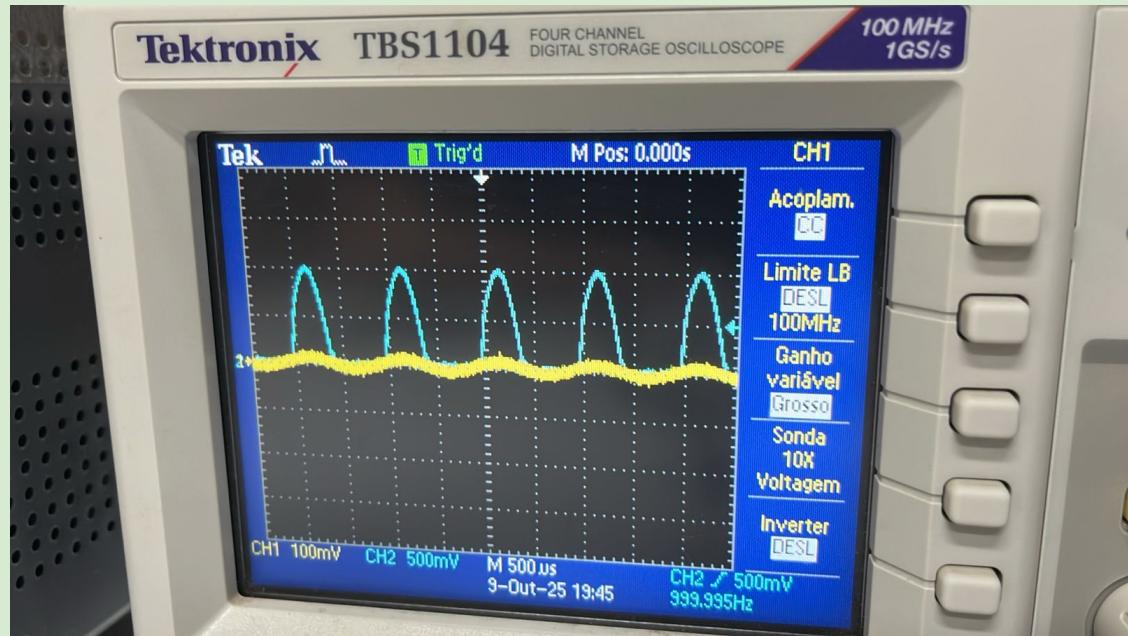
4.3. Amplificador de tensão

4.3.1. Projete e monte um circuito não-inversor com ganho +101. Apresente o esquemático do seu projeto abaixo. **(1,0 ponto)**

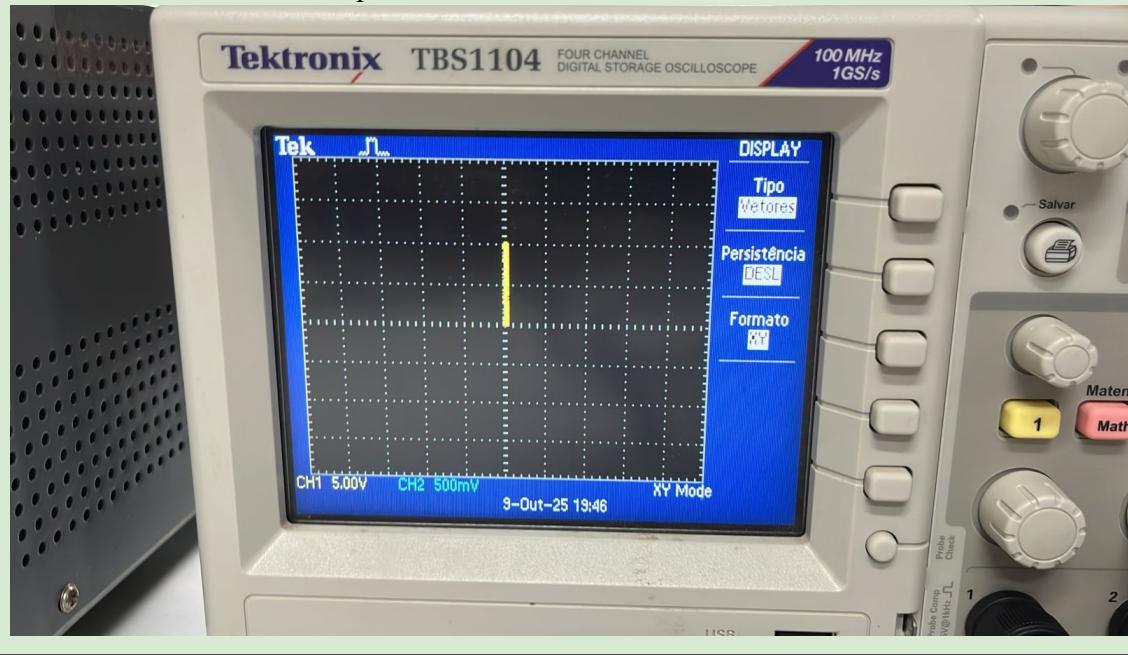


4.3.2. Verifique o funcionamento deste circuito experimentalmente. Imprima as formas de onda usando o acoplamento CC do osciloscópio. Observe a função de transferência v_{IN} versus v_{OUT} identificando os níveis de saturação. **(1,0 ponto)**

📷 Formas de onda IN e OUT



📷 Modo XY do osciloscópio



4.4. Conversor DA

4.4.1. Projete R_F no circuito da Figura 4 para que o conversor digital-analógico (DAC) de 4 bits apresentado excursionne uma saída analógica entre 0 V (quando a entrada estiver em 0000_2) e $|3,3\text{ V}|$ (quando a entrada estiver em

1111_2). Utilize uma tensão de entrada de 5V (nos bits B_1, B_2, B_3, B_4). (0,5 ponto)

$$R_F = 352\Omega$$

- 4.4.2. Monte o conversor DA de 4 bits mostrado na Figura 4. Utilize um R_F de valor comercial e, caso necessário, ajuste a tensão DC nos bits para que a saída excursione entre 0 e 3,3 V em módulo. (0,5 ponto)

Sugestão: Alimente o amplificador operacional com fonte simétrica (ijkl,m. +V e -V) pois a sua saída pode ser negativa se o seu nível lógico for positivo.

Observação: Use uma chave *dip switch* com resistores de *pull-up* ou *pull-down*.

$$R_F = 360\Omega$$

$$V_B = (\text{tensão aplicada nos bits digitais})$$

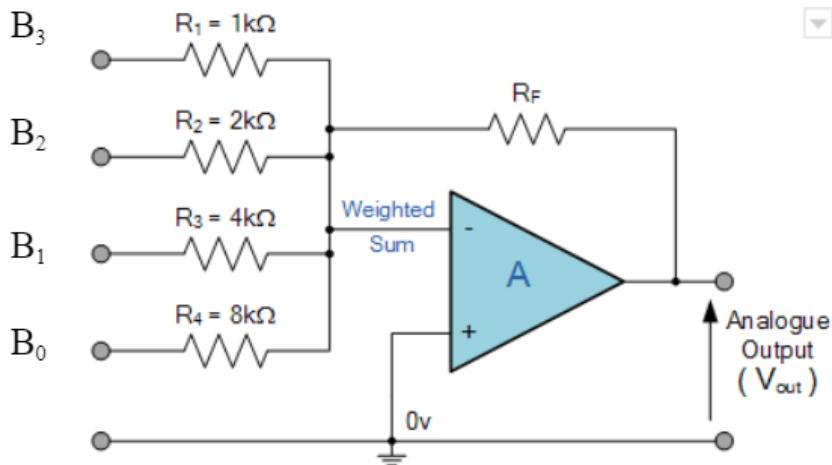


Figura 4: Conversor digital analógico de 4 bits.

- 4.4.3. Varie a palavra digital da entrada e meça a tensão de saída. O bit 0 equivale a 0V e 1 equivale a +5 V (ou a tensão ajustada caso necessário). (2,0 pontos)

B_3 (MSB)	B_2	B_1	B_0 (LSB)	V_{OUT}
0	0	0	0	-0.01V
0	0	0	1	-0.20V
0	0	1	0	-0.35V
0	0	1	1	-0.56V

0	1	0	0	-0.89V
0	1	0	1	-1.12V
0	1	1	0	-1.28V
0	1	1	1	-1.53V
1	0	0	0	-1.82V
1	0	0	1	-2.02V
1	0	1	0	-2.22V
1	0	1	1	-2.42V
1	1	0	0	-2.67V
1	1	0	1	-2.96V
1	1	1	0	-3.13V
1	1	1	1	-3.36V

5. BIBLIOGRAFIA

- A. S. Sedra, K.C.Smith, Microeletrônica, Makron Books Ltda.
- B. R. Boylestad e L. Nashelsky, Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos, Prentice-Hall.