

Aula 19

Conversores A/D e D/A

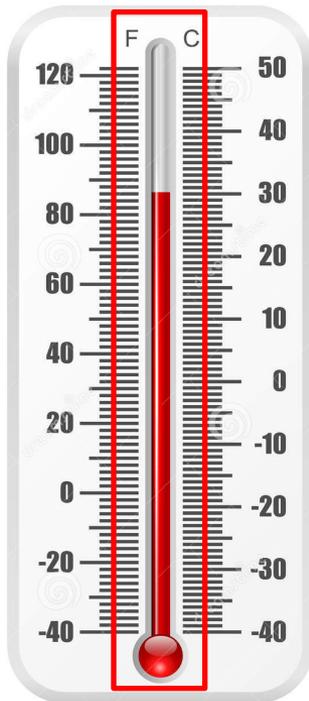
SEL 0414 – Sistemas Digitais

Prof. Dr. Marcelo Andrade da Costa Vieira

Analógico × Digital

Analógico

Variação em uma faixa contínua de valores.



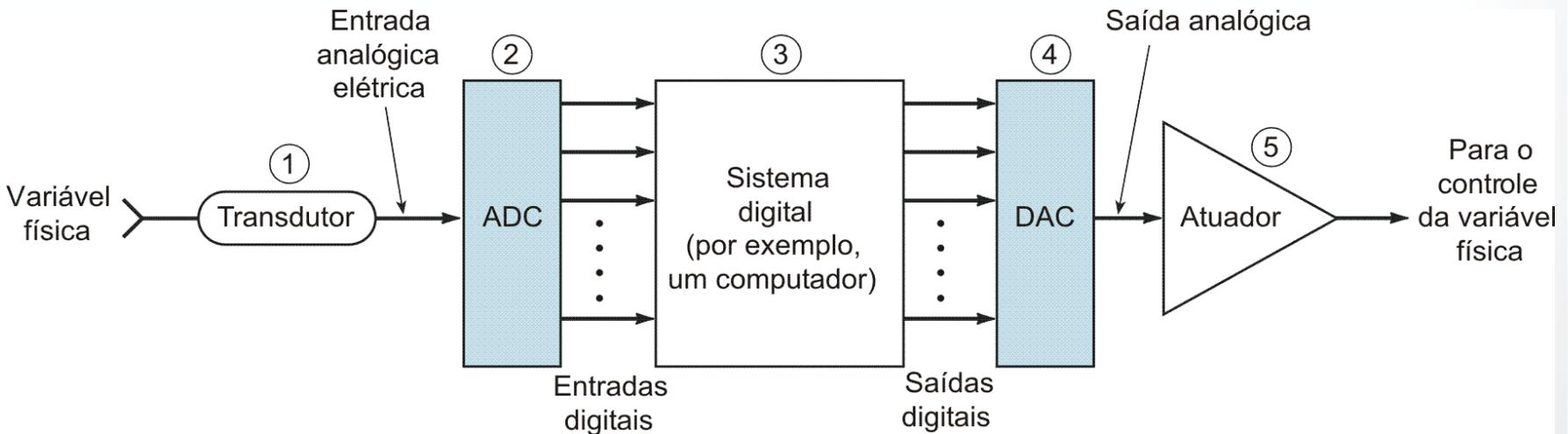
Digital

Variação discreta de valores (passos, degraus).



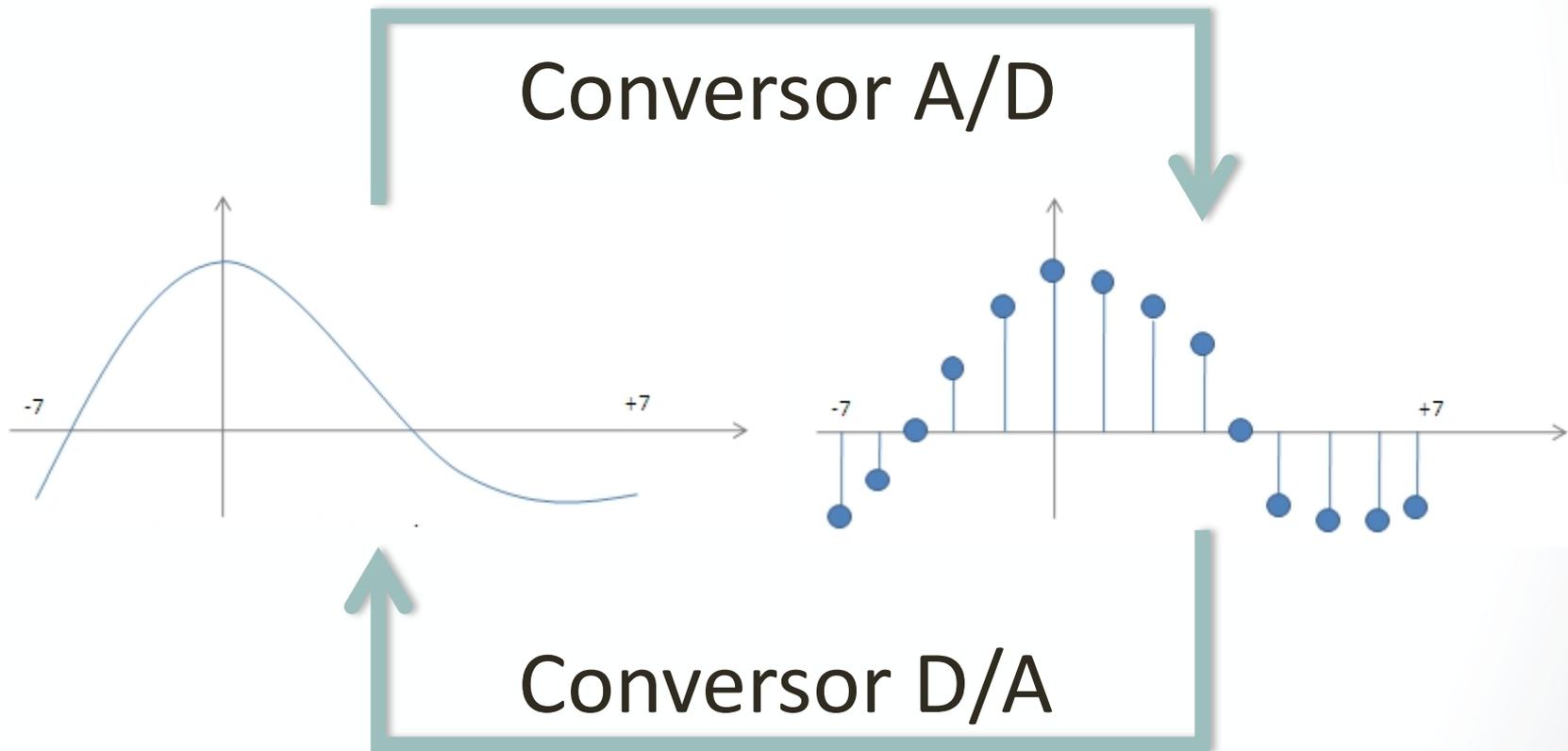
Conversores A/D e D/A

- A maioria dos sinais encontrados na natureza são analógicos
- Para processá-los em um sistema digital deve-se:

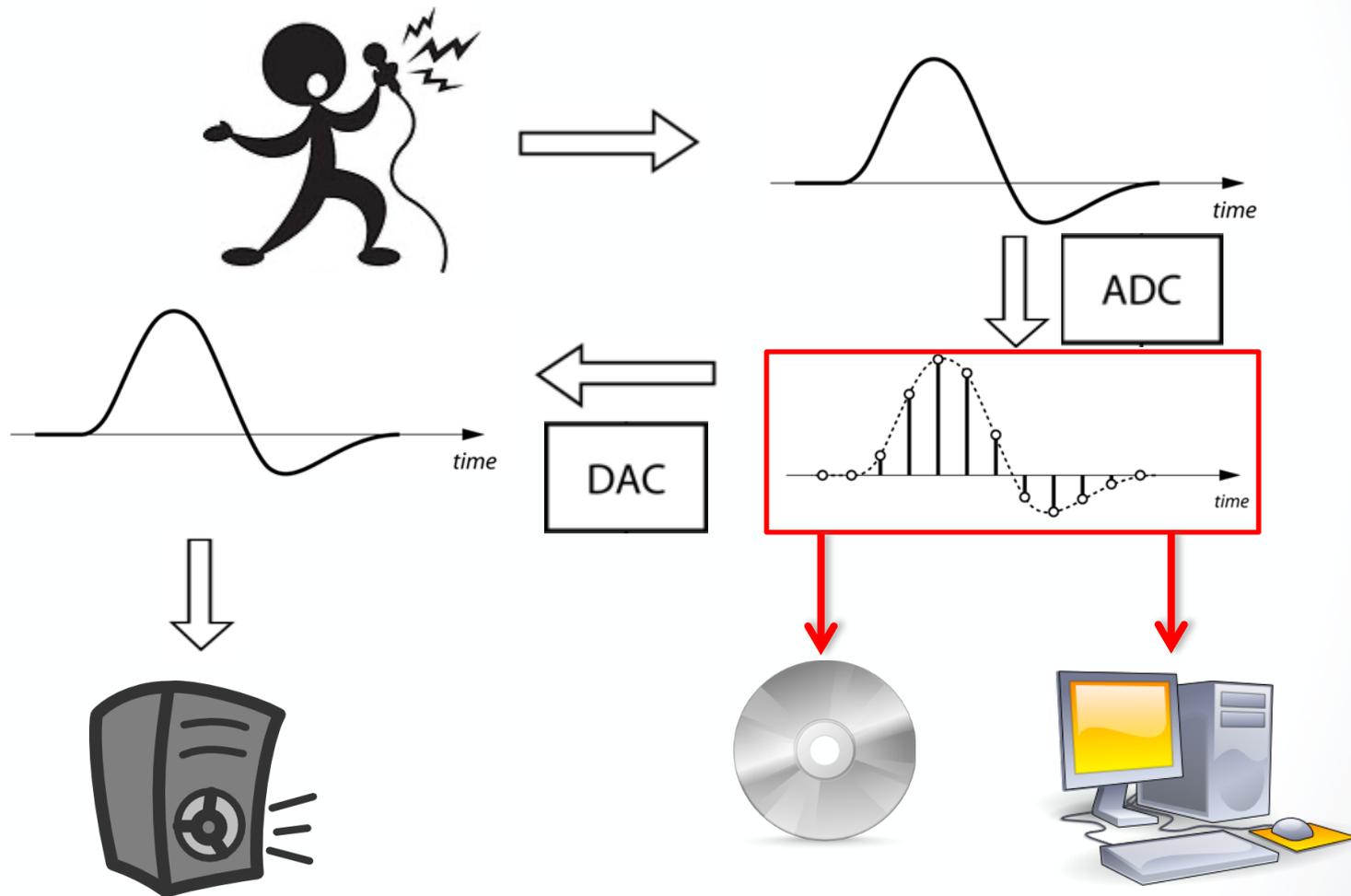


Conversores A/D e D/A

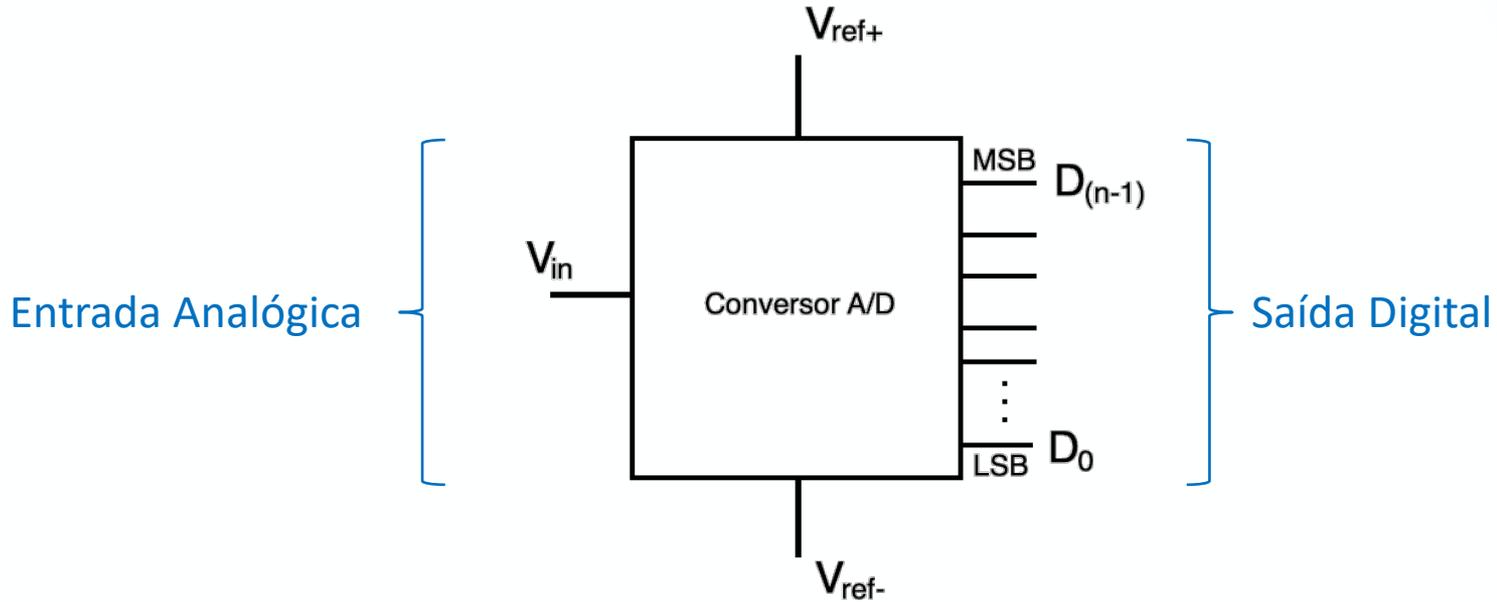
- Interface entre o mundo analógico e o digital



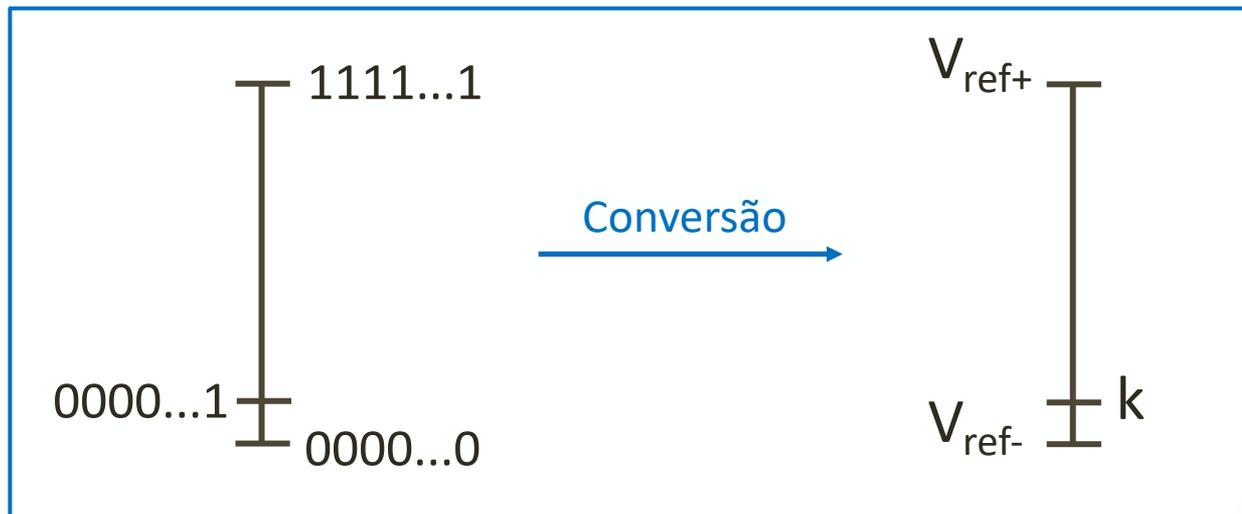
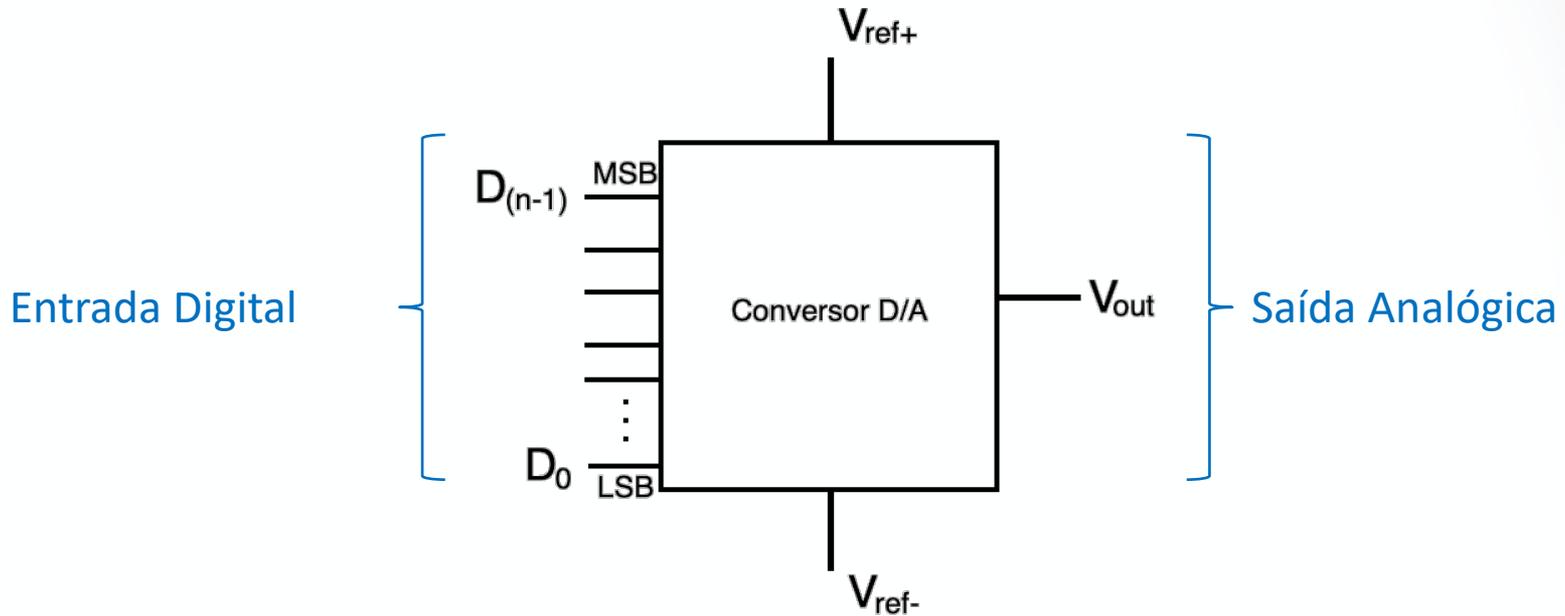
Conversores A/D e D/A



Conversor A/D



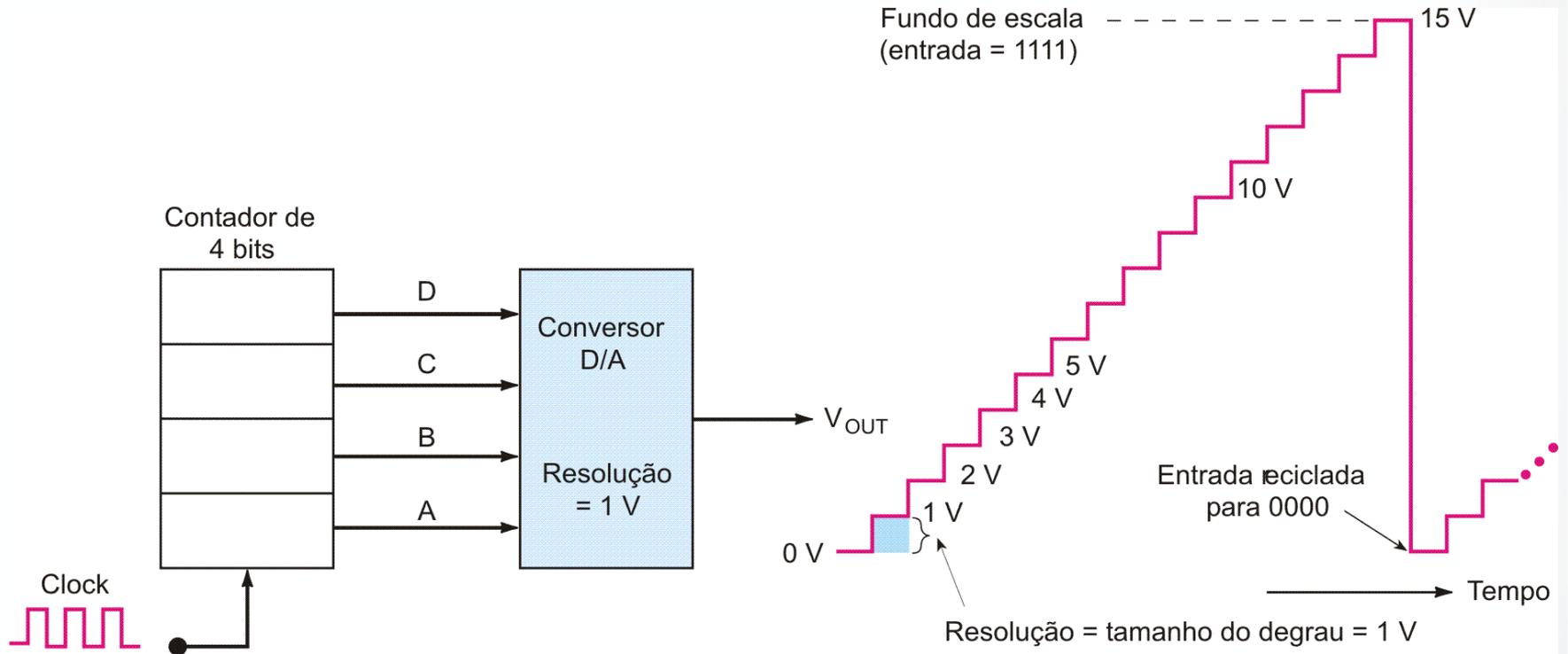
Conversor D/A



Equivalências

Valor Digital	Valor Analógico
0000...0	V_{ref-}
0000...1	$k + V_{ref-}$
1111...1	V_{ref+}

Resolução



Equações importantes!

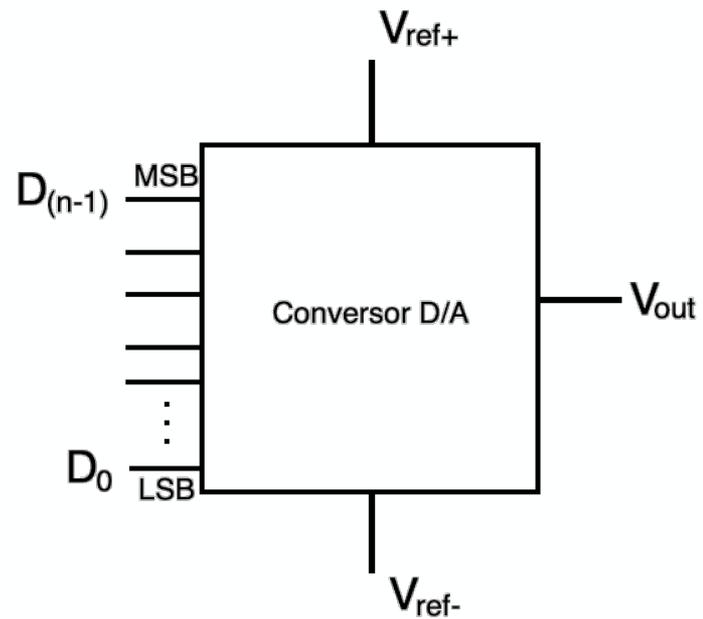
Resolução do Conversor: $k = \frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{2^n - 1}$

Resolução [%]: $k[\%] = \frac{k}{V_{ref+}}$

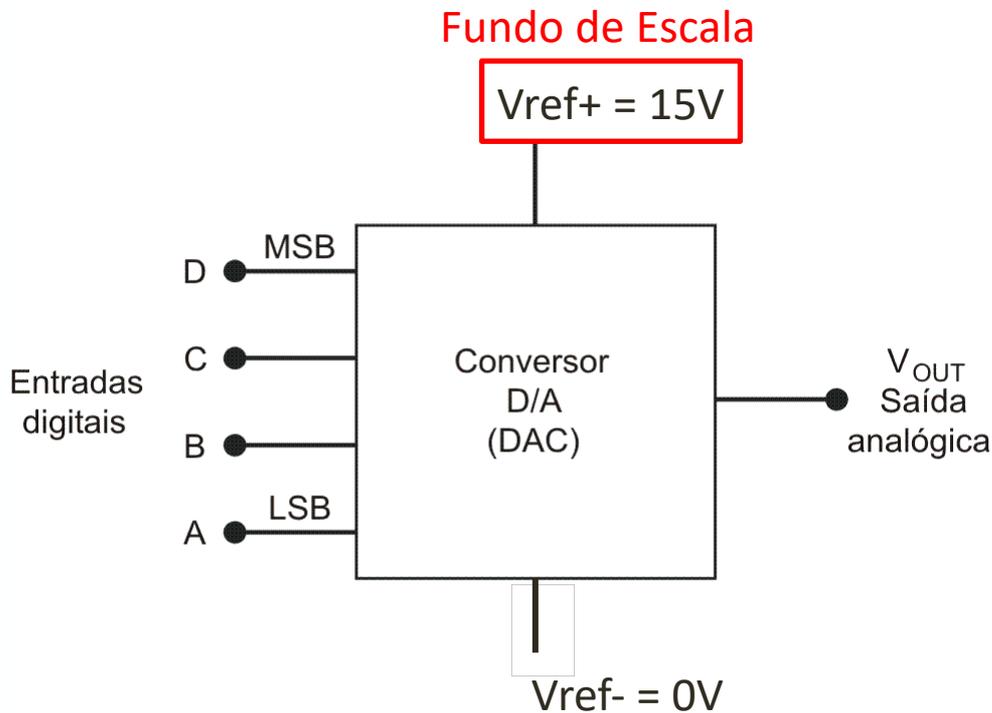
Valor da Conversão: $V_{Analógico} = k \cdot V_{Digital} + V_{ref-}$

Conversor Digital – Analógico (DAC)

Conversor D/A



DAC – 4 bits, saída em tensão



D	C	B	A	V_{OUT}	
0	0	0	0	0	volts
0	0	0	1	1	↓ volts
0	0	1	0	2	
0	0	1	1	3	
0	1	0	0	4	
0	1	0	1	5	
0	1	1	0	6	
0	1	1	1	7	
<hr/>					
1	0	0	0	8	
1	0	0	1	9	
1	0	1	0	10	
1	0	1	1	11	
1	1	0	0	12	
1	1	0	1	13	
1	1	1	0	14	
1	1	1	1	15	

(b)

DAC - Sobreposição

D_3	D_2	D_1	D_0	<i>Saída [V]</i>
0	0	0	1	1V (1K)
0	0	1	0	2V (2K)
0	1	0	0	4V (4K)
1	0	0	0	8V (8K)

$$1001 = 8V + 1V = 9V$$

$$0110 = 4V + 2V = 6V$$

Exemplo

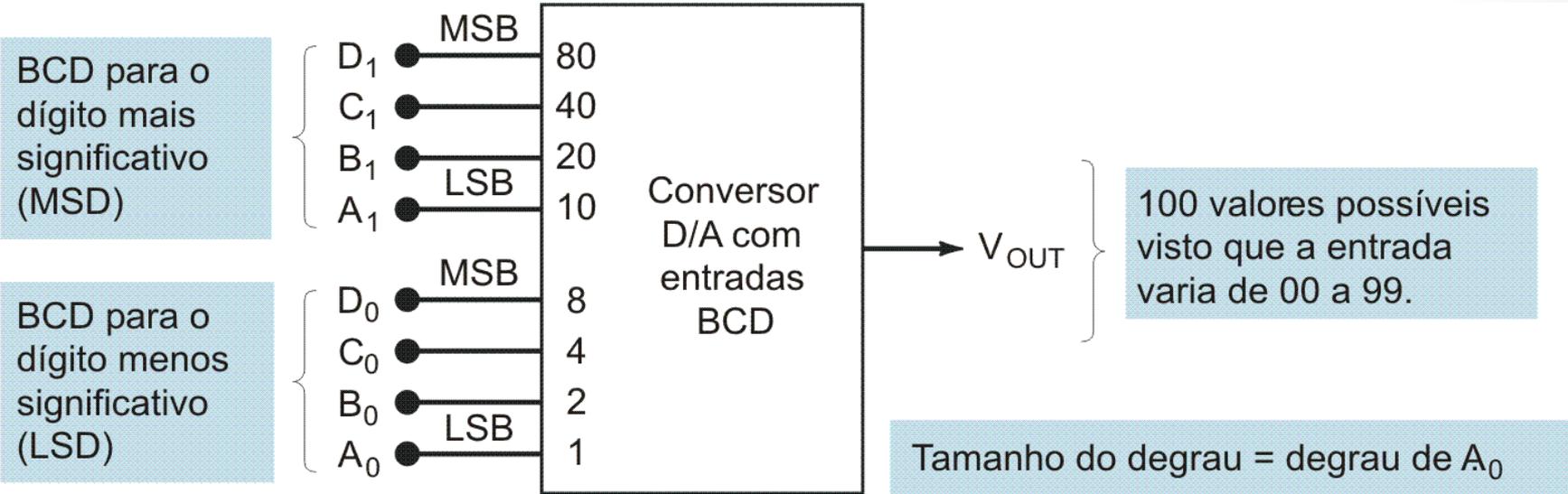
- Calcule o fundo de escala (V_{ref+}) e a resolução (k) de um conversor D/A de 8 bits com saída de 1,0V para a entrada $(00110010)_2$. Considere $V_{ref-} = 0$.

$$k = 0,02V \text{ e } V_{ref+} = 5,10V$$

- Calcule a resolução em % para este mesmo conversor.

$$k[\%] = 0,39\%$$

DAC – BCD, saída em tensão

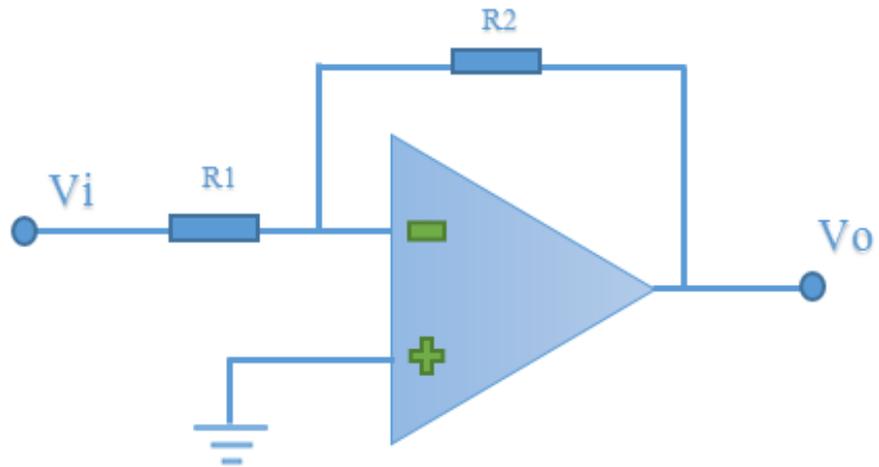


Qual o valor de k e V_{ref+} se para $(01011000)_{BCD}$ a saída é 11,6V? Considere ($V_{ref-} = 0$).

$$k = 0,2V \quad e \quad V_{ref+} = 19,8V$$

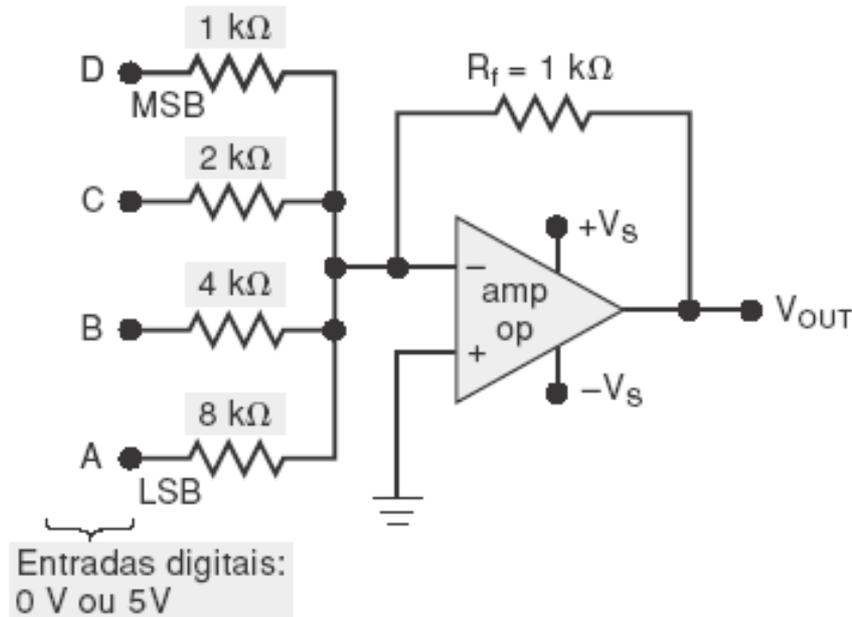
Circuitos de convertidores D/A

Amplificador Inversor



$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

DAC por rede proporcional



(a)

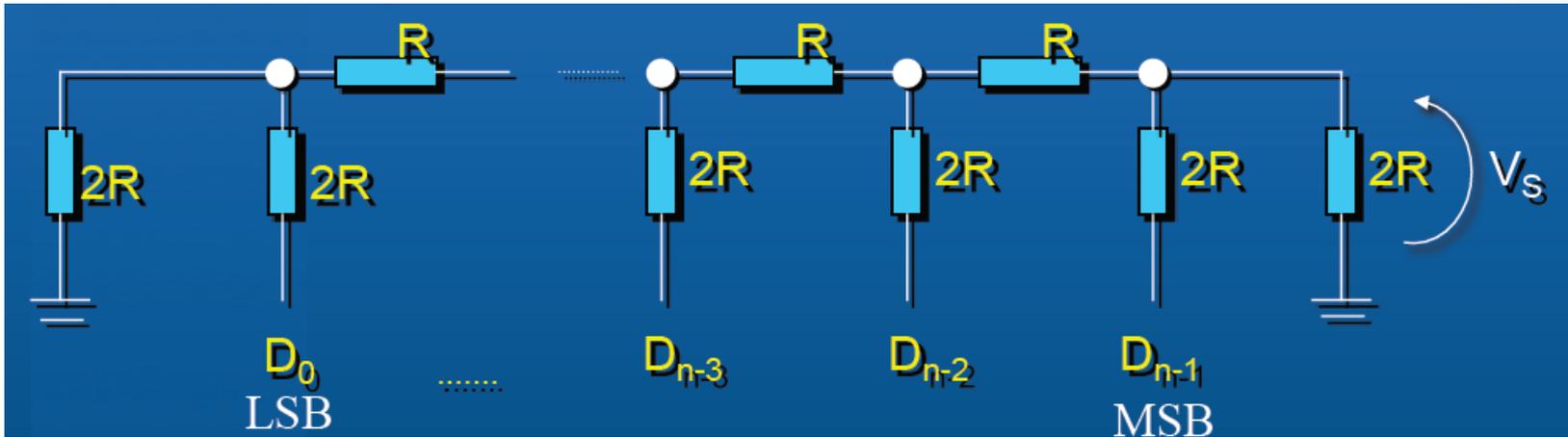
Código de entrada

D	C	B	A	V_{OUT} (volts)
0	0	0	0	0
0	0	0	1	-0,625 ← LSB
0	0	1	0	-1,250
0	0	1	1	-1,875
0	1	0	0	-2,500
0	1	0	1	-3,125
0	1	1	0	-3,750
0	1	1	1	-4,375
1	0	0	0	-5,000
1	0	0	1	-5,625
1	0	1	0	-6,250
1	0	1	1	-6,875
1	1	0	0	-7,500
1	1	0	1	-8,125
1	1	1	0	-8,750
1	1	1	1	-9,375 ← Fundo de escala

DAC por rede proporcional

- Problemas:
 - Conversores com muitos bits exigem valores $\propto R$ elevados de R ;
 - Correntes reduzidas para os LSB (ruído);
 - Necessidade de precisão nos valores de resistência.

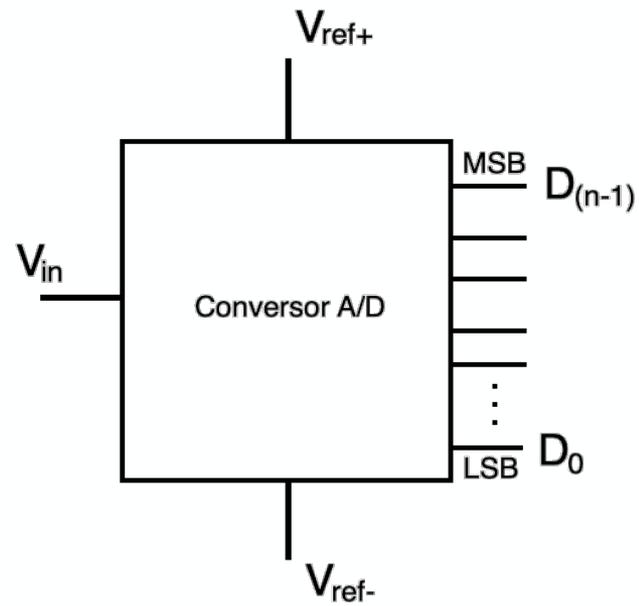
Conversor por rede R-2R



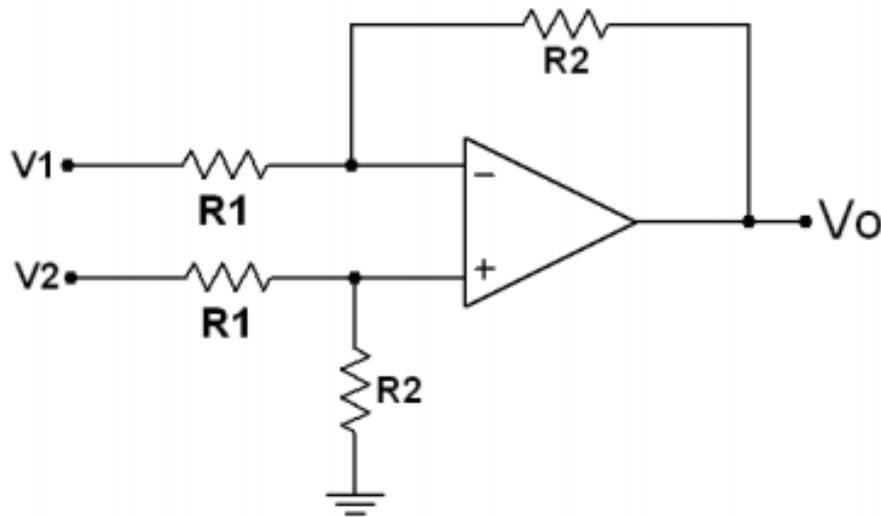
- $V_s(D_{n-1}) = \frac{V_{cc}}{3}$
- $V_s(D_{n-2}) = \frac{V_{cc}}{6}$
- $V_s(D_{n-3}) = \frac{V_{cc}}{12}$
- ...
- $V_s(D_0) = \frac{V_{cc}}{(2^{n-1}) * 3}$
- Elimina a variação de valores de resistência do conversor de rampa proporcional;
- Somente 2 valores de resistores.

Conversor Analógico – Digital (ADC)

Conversor A/D

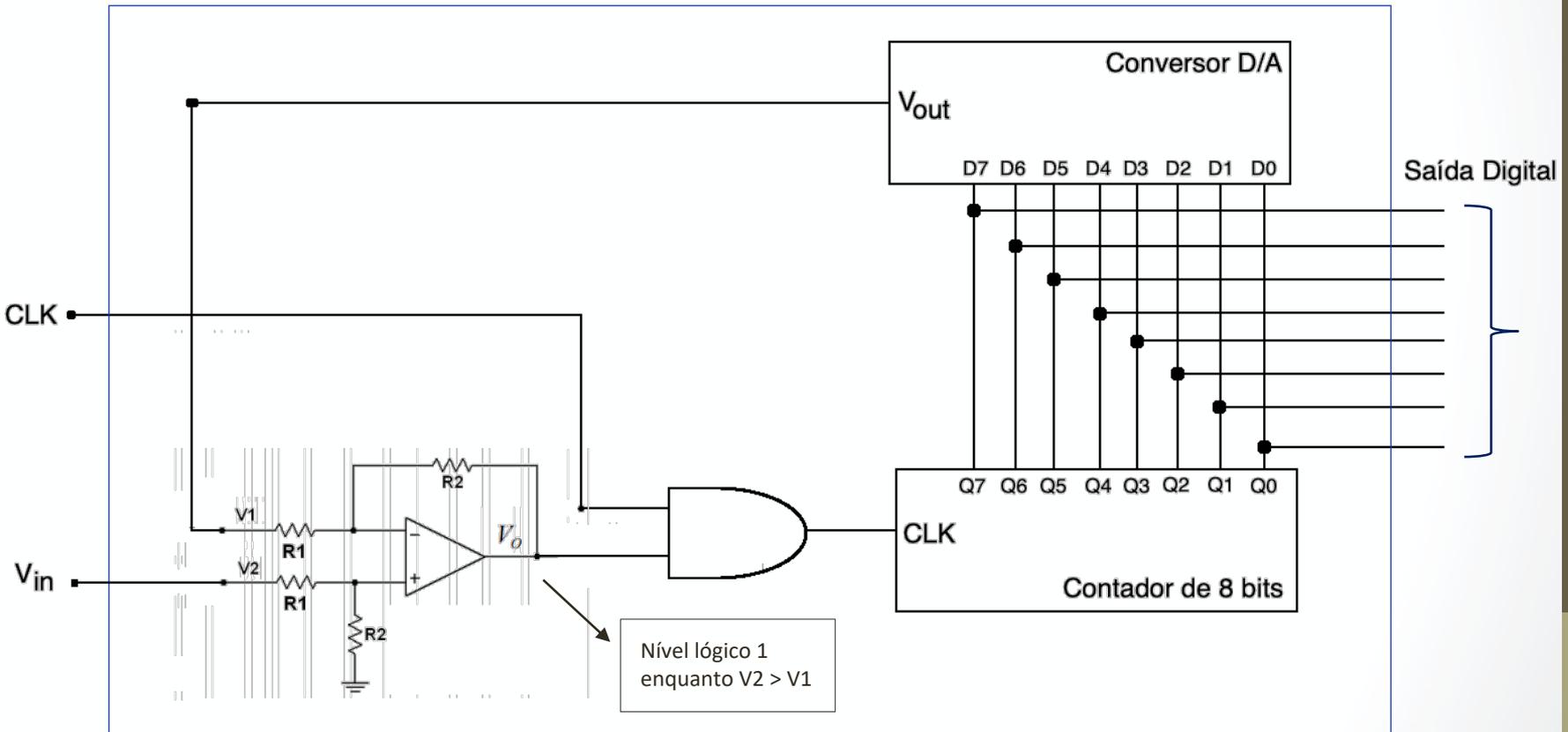


Comparador de Tensão



$$V_O = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1)$$

Conversor ADC contador (rampa simples)



Conversor ADC contador (rampa simples)

- Realiza a comparação a cada iteração (2^n interações);
- Valor da conversão é alcançado quando o valor do contador torna-se maior do que o valor da entrada (V_{in});
- No caso de arredondamento, o valor binário da saída é arredondado sempre para um valor maior do que V_{in} ;
- $V_{out} \geq V_{in}$
- Problemas:
 - Tempo de conversão variável;
 - Tempo de conversão elevado = 2^n interações.

Exemplo:

- Considere um conversor A/D de rampa simples de 10 bits com CLK de 1,0 kHz e fundo de escala de 10,23V e ($V_{ref-} = 0$).

- Calcule:

a) resolução do conversor

$$k = 0,01V = 10mV$$

b) valor digital para $V = 3,728V$

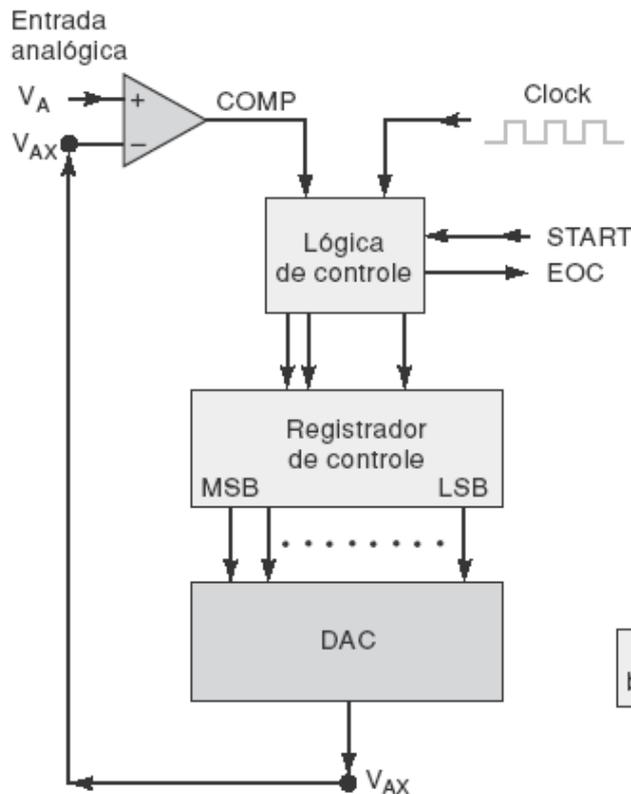
$$3,728 = V_{Digital} * 0,01 \Rightarrow$$

$$V_{Digital} = 372,8 \sim 373 = 0101110101$$

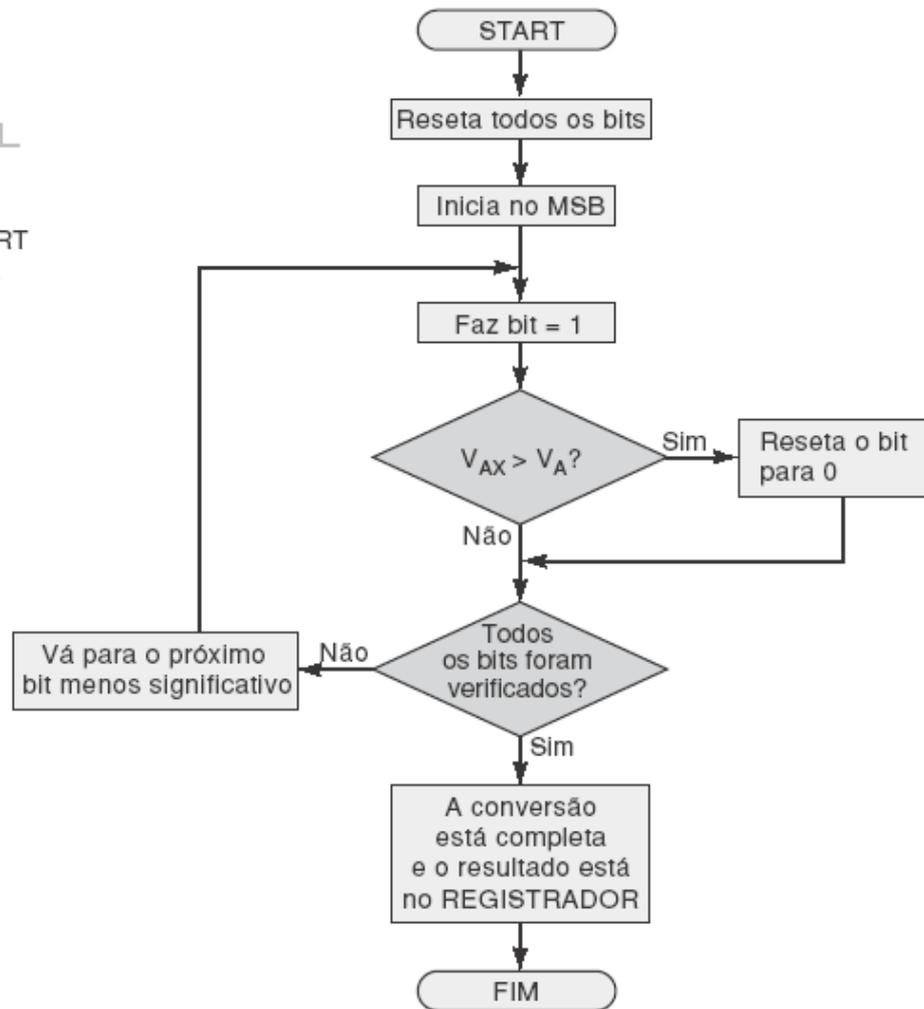
c) tempo de conversão

$$t = 2^{10} * 10^{-3} = 1024 \text{ ms}$$

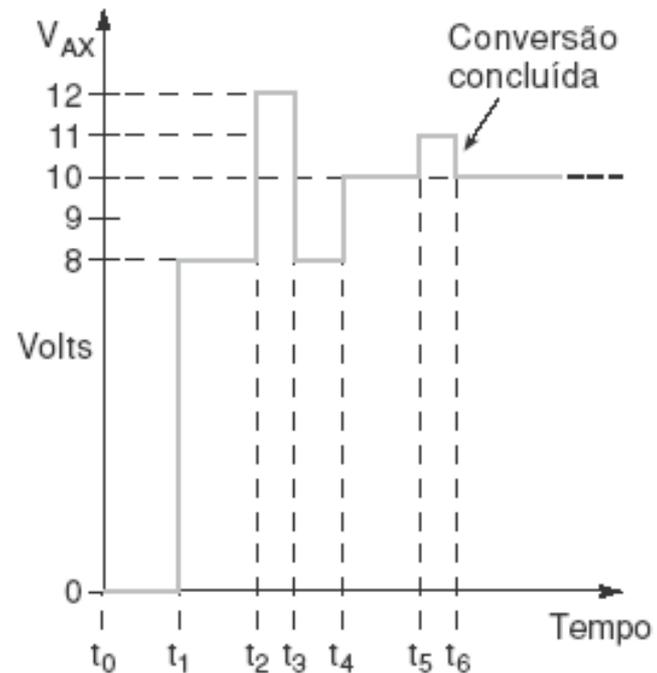
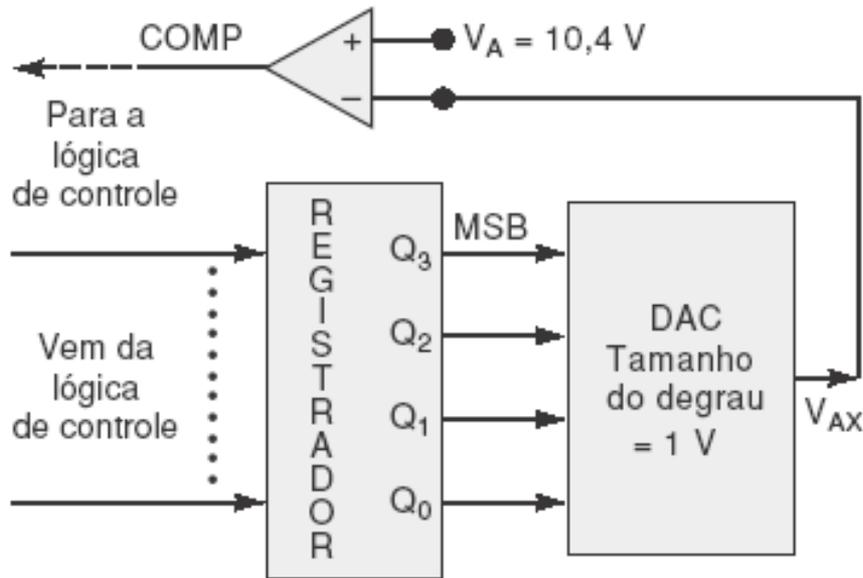
Conversor de Aproximação Sucessiva



(a)



Conversor de Aproximação Sucessiva



Conversor de Aproximação Sucessiva

- Mais eficiente do que o conversor A/D de de rampa simples;
- Redução no tempo de conversão de 2^n interações para n interações;
- Tempo de conversão é fixo = n interações;
- No caso de arredondamento, o valor binário da saída é arredondado sempre para um valor menor do que V_{in} ;
- $V_{out} \leq V_{in}$

Exemplo:

- Considere um conversor A/D de aproximação sucessiva de 8 bits, CLK = 1,0 kHz, resolução 20mV e $V_{ref-} = 0$.

a) Qual o valor binário de saída para $V_{in} = 2,17V$?

$$2,17 = V_{Digital} * 0,02 \Rightarrow$$

$$V_{Digital} = 2,17/0,02 = 108,5 \sim 108 = 01101100$$

b) Qual o tempo de conversão

$$t = 8 * 10^{-3} = 8 \text{ ms}$$

Tempo de Conversão

- Compare o tempo de conversão de um conversor A/D de 10 bits de rampa simples e de aproximação sucessiva se ambos usam um CLK de 500kHz.

a) Rampa Simples:

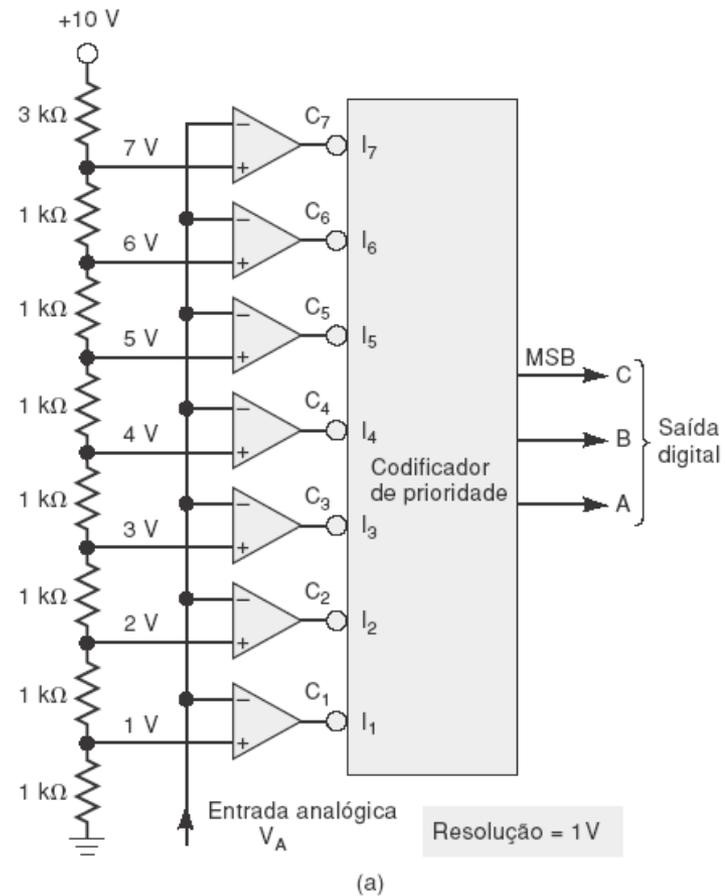
$$t = 2^{10} * 0,002 * 10^{-3} = 2,048 \text{ ms}$$

b) Aproximação Sucessiva

$$t = 10 * 0,002 * 10^{-3} = 0,02 \text{ ms}$$

Conversor Paralelo (“Flash”)

FIGURA 11.22
(a) ADC flash de três bits;
(b) Tabela-verdade.



- Rápido;
- Muitos comparadores
 - 3 bits = 7 comp.;
 - 10 bits = 1023 comp.;

Entrada analógica V_A	Saídas dos comparadores							Saídas digitais		
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C	B	A
0–1 V	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1–2 V	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2–3 V	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
3–4 V	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
4–5 V	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
5–6 V	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
6–7 V	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
> 7 V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

(b)

FIM