



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Docente: Rildo Afonso de Almeida

Circuitos Lógicos



Conversão Digital Analógico e Analógico Digital



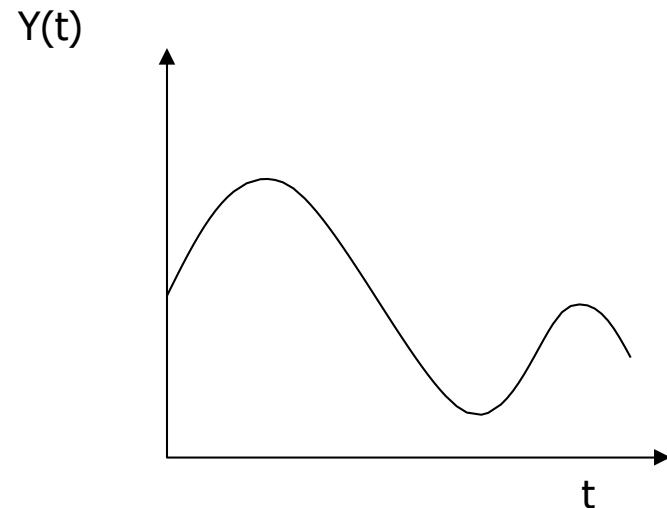
Conversão Digital Analógico e Analógico Digital

- Grandezas Digitais e Analógicas
- Por que converter?
- Diagrama básico para conversão
- Conversores D/A Malha Resistiva Ponderada
- Conversores D/A Malha Resistiva R-2R
- Conversor Flash
- Técnica de aproximação Sucessiva
- Conversor A/D de aproximação Sucessiva
- Características dos conversores

Grandezas Analógicas e Digitais

■ Grandezas Analógicas

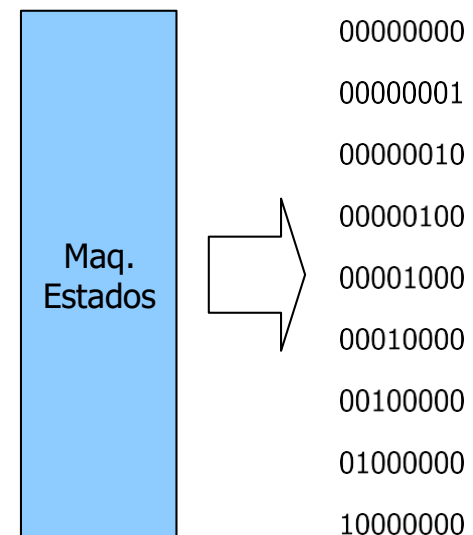
- Operam como grandezas contínuas
- Podem assumir diversos valores ao longo do tempo
 - Potencial elétrico
 - Volume
 - Pressão
 - Temperatura...



Grandezas Analógicas e Digitais

■ Grandezas Digitais

- Operam com códigos digitais discretos
- Podem assumir estados ao longo do tempo
 - Estado binário
 - Código binário

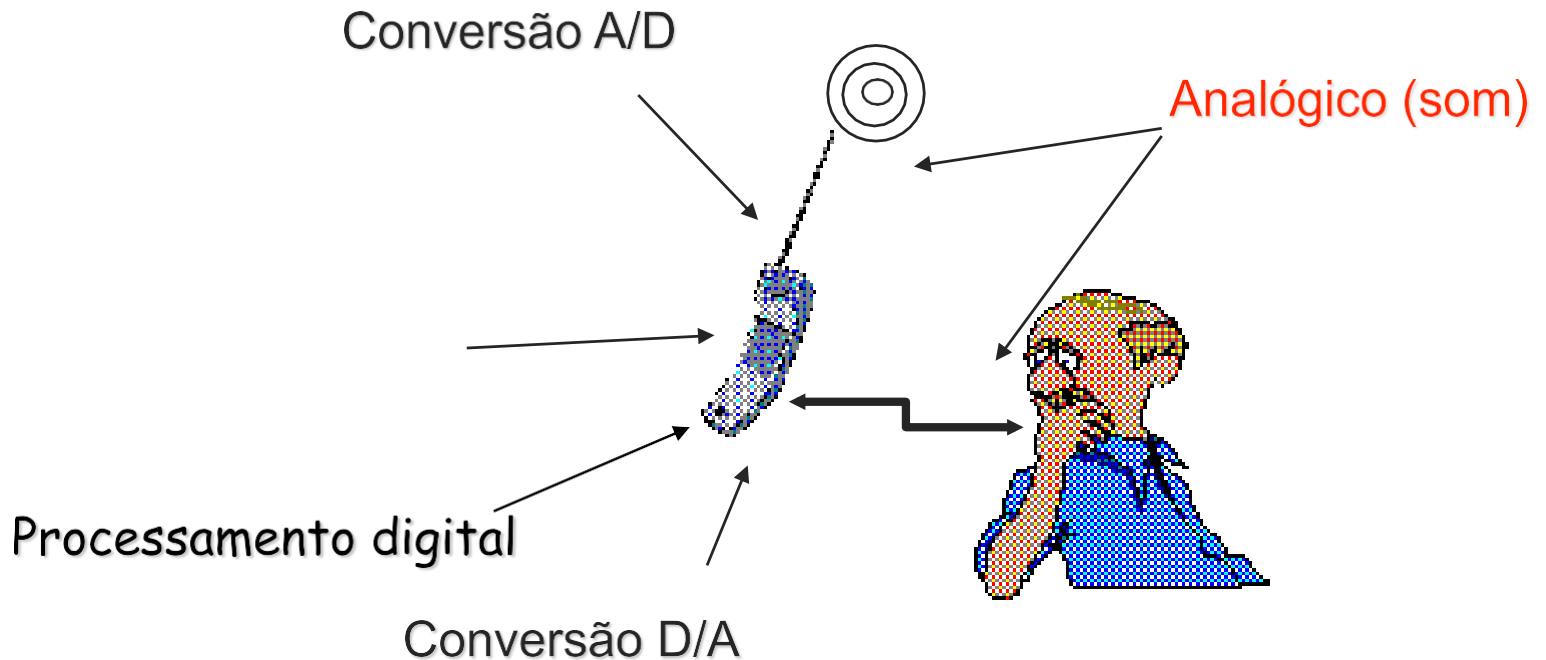


Por que Converter?

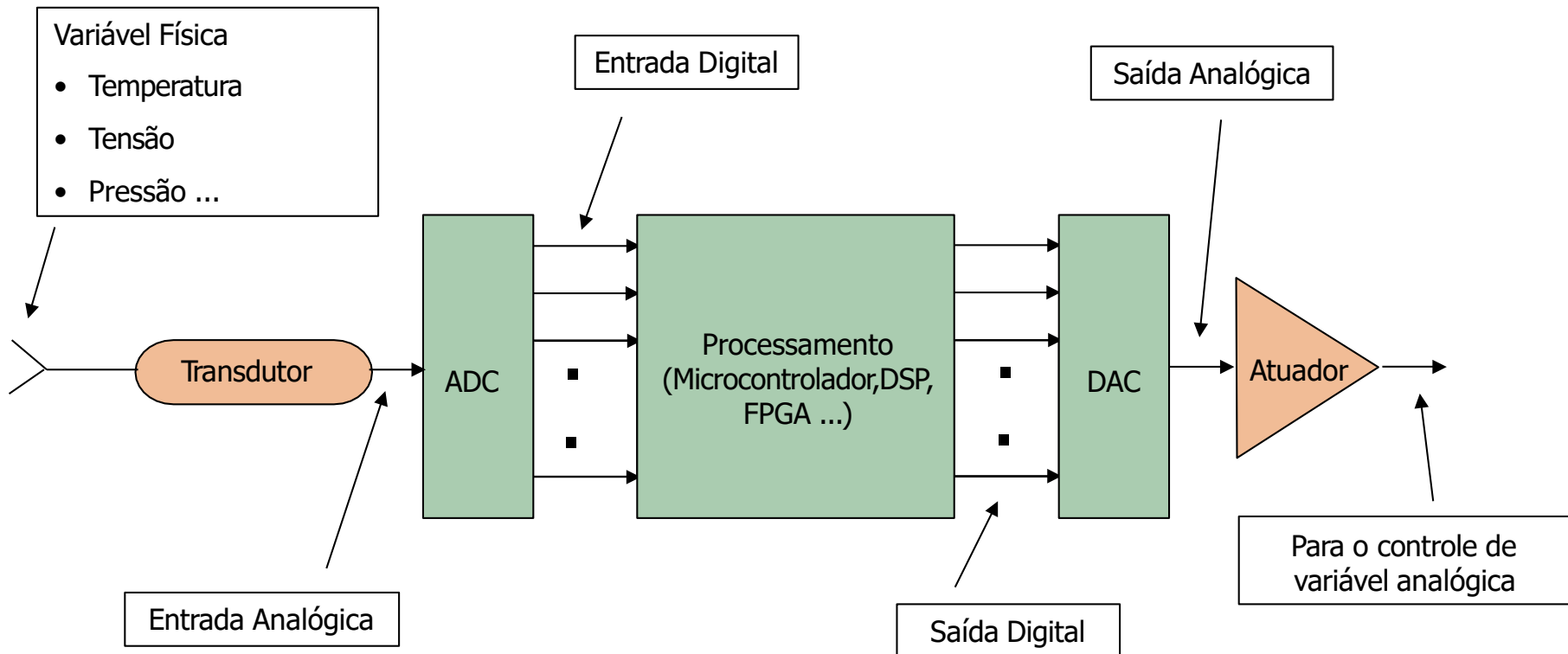
- Grandezas físicas se encontram na natureza na forma analógica
 - Difícil Processamento;
 - Difícil Armazenamento;
- Processamento digital é mais eficiente
 - Maior velocidade e precisão;
- Freqüentemente sinais processados na forma digital necessitam ser convertidos para a forma analógica
 - CD Players
 - Telefones celulares
 -

Sistemas Digitais e Analógicos

(em nosso cotidiano)



Exemplo: Diagrama Básico Para Tratamento de Sinais





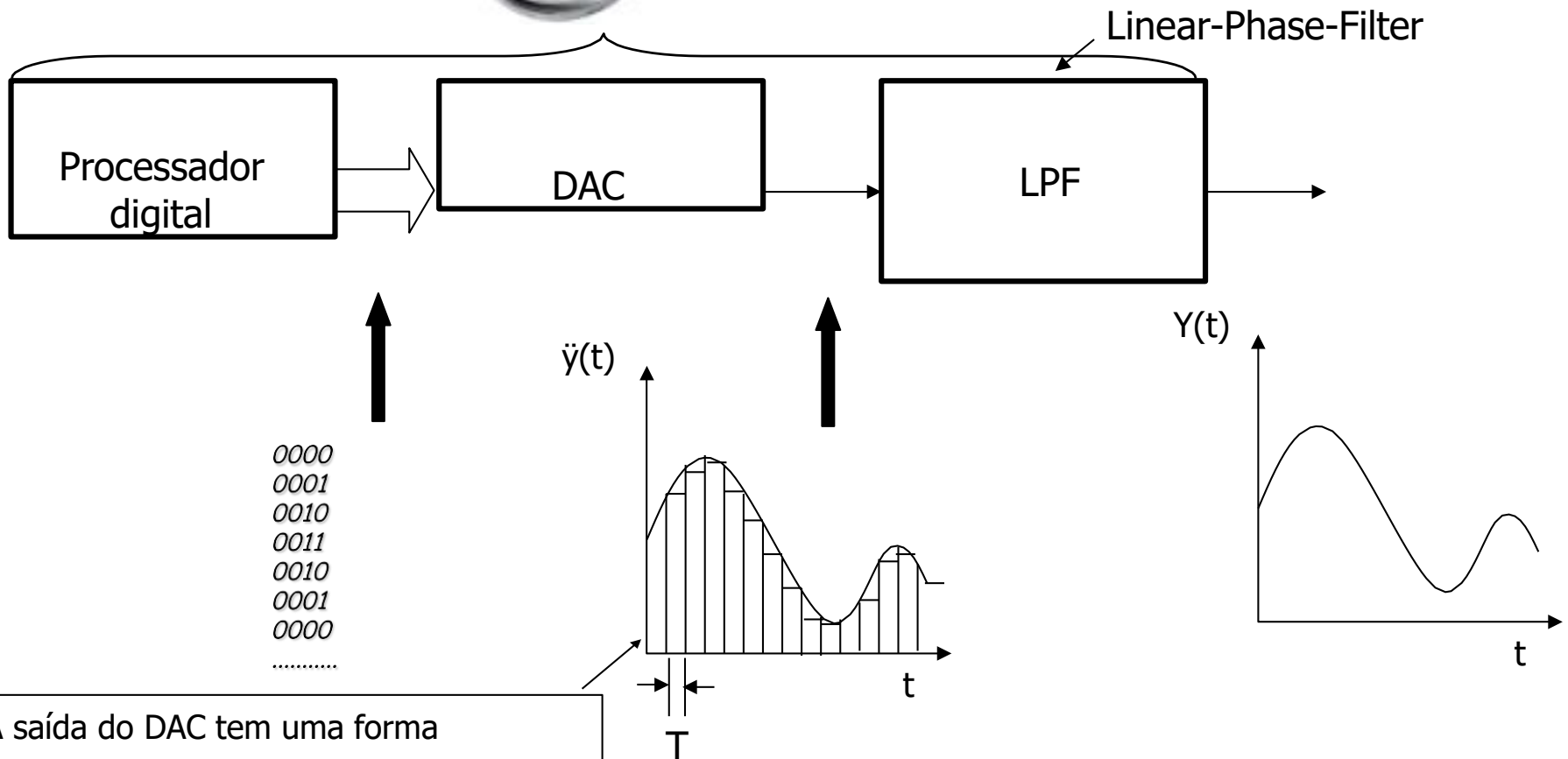
Conversão D/A

- O conversor DA (DAC) aceita como entrada dados digitais e produz uma saída analógica, a qual é relacionada com o código digital de entrada.
- Um registrador é usado para armazenar a entrada do DAC e assegurar que sua saída fique estável até que o conversor seja alimentado por uma outra entrada digital. O registrador pode ser externo ou fazer parte do DAC.
- Cada palavra digital (número de bits em paralelo) é convertida no tempo.
- Filtros podem ser usados para suavizar ou restaurar o sinal analógico em sua saída.

Conversão D/A - exemplo



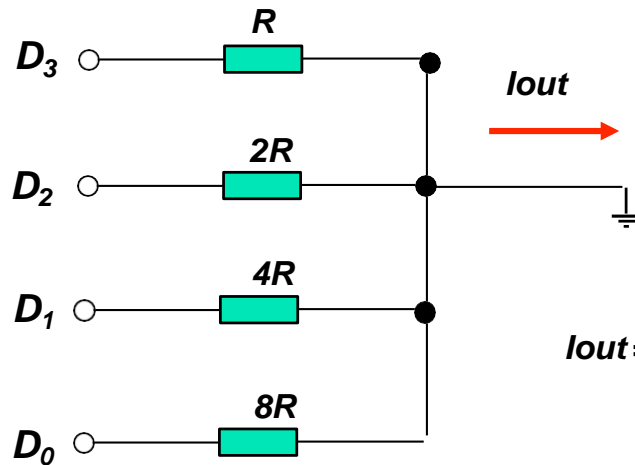
CD player portátil



0000
0001
0010
0011
0010
0001
0000
.....

A saída do DAC tem uma forma de escada desde que cada impulso é seguro (hold) por um tempo $T(s)$

Conversores D/A Malha Resistiva Ponderada*

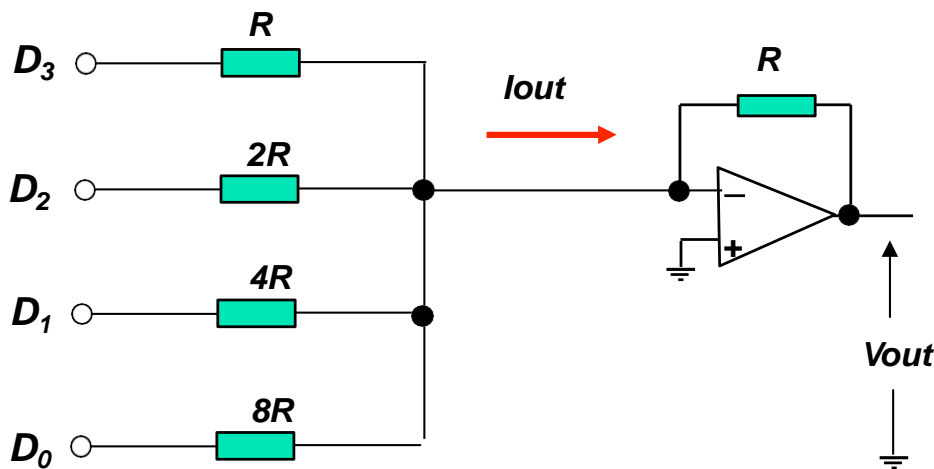


$$I_{out} = \frac{D_3}{R} + \frac{D_2}{2R} + \frac{D_1}{4R} + \frac{D_0}{8R}$$

$$I_{out} = \frac{1}{R} \left(D_3 + \frac{D_2}{2} + \frac{D_1}{4} + \frac{D_0}{8} \right)$$

$$D_i = \begin{cases} 1 = V_{cc} \\ 0 = GND \end{cases}$$

Conversores D/A Malha Resistiva Ponderada



Considerando as entradas digitais
 $D_3=D_2=D_1=D_0 = \text{tensão} = 5V$

- $V_{out} = R \cdot I_{out}$

- $V_{out} = R \cdot \frac{1}{R} \left(D_3 + \frac{D_2}{2} + \frac{D_1}{4} + \frac{D_0}{8} \right)$

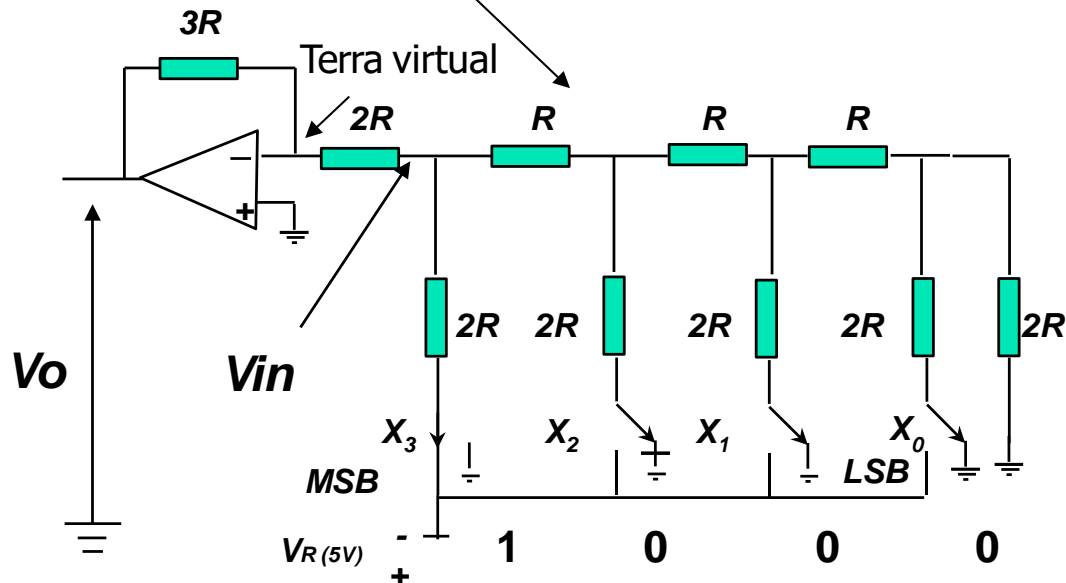
- $V_{out} = \left(D_3 + \frac{D_2}{2} + \frac{D_1}{4} + \frac{D_0}{8} \right)$

Código	Vout (Volts)
0000	0
0001	0.625
0010	1.250
0011	1.875
0100	2.500
0101	3.125
0110	3.750
0111	4.375
1000	5.000
1001
.....
1111	9.375

Conversão Digital/Analógica (R-2R)



Em qualquer nó da escada, olhando para direita, para a esquerda ou abaixo (chave), a resistência é de $2R$. Portanto, a corrente se divide igualmente para esquerda, direita e para a direção das chaves.



$$V_o = 2,5 V$$

Conversão Digital/Analógica (R-2R)



Ganho do AMP-OP = $(-3R/2R)$
 $V_o = V_{in} \cdot (-3R/2R)$

Exemplo:

Considerando $V_R = +5\text{ V}$

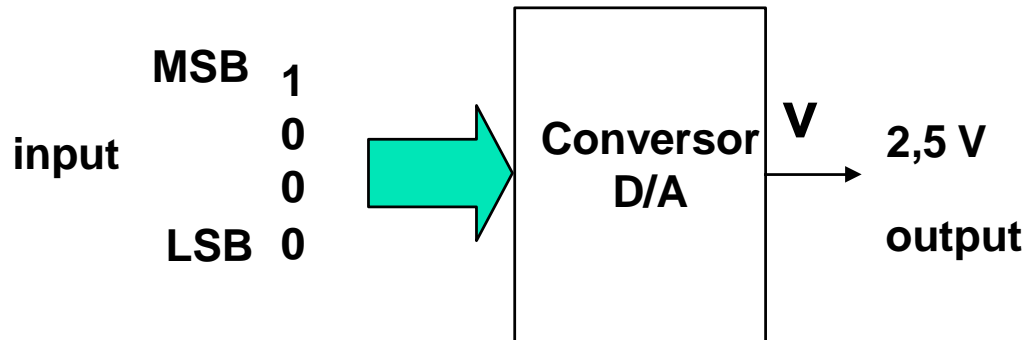
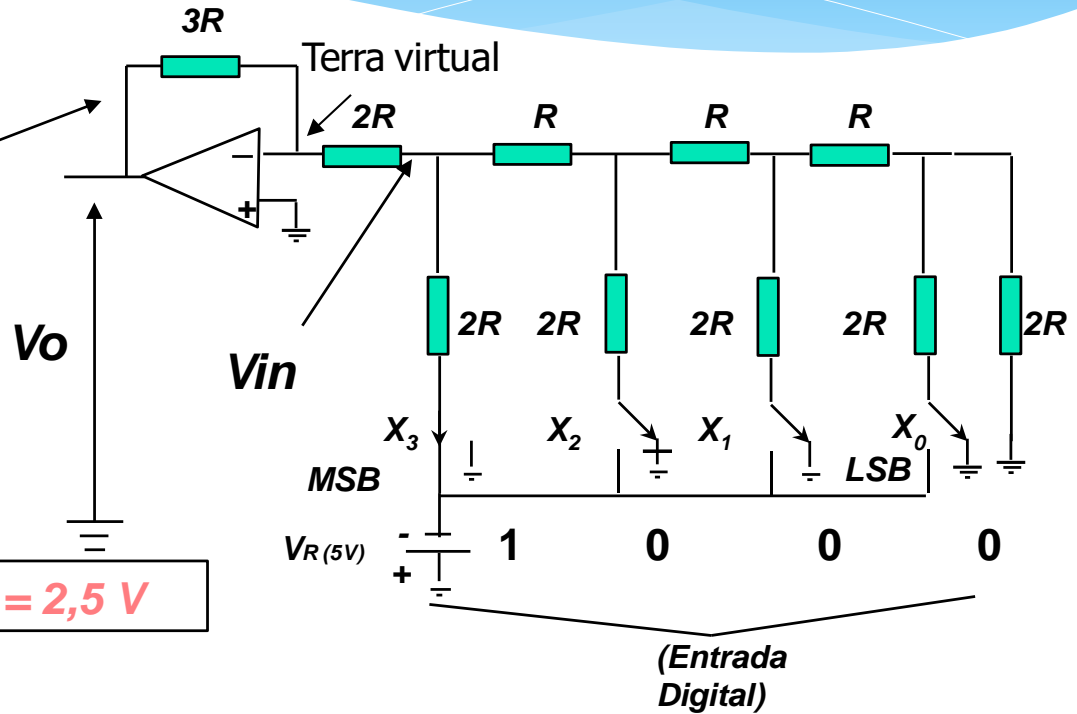
Para $X = [1000]$ (entrada)

$V_{in} = -V_R/3$

Como $V_o = V_{in} \cdot (-3R/2R)$

$V_o = (-V_R/3) \cdot (-3R/2R) = V_R/2 \Rightarrow$

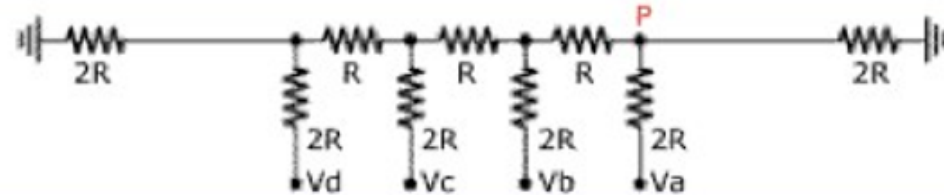
$V_o = 2,5\text{ V}$



De maneira geral:

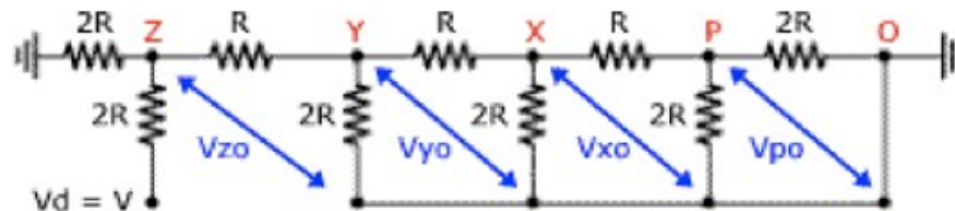
X_3	X_2	X_1	X_0	v_{in}	$V_0\text{ (V)}$
1	0	0	0	$-V_R/3$	$+V_R/2$
0	1	0	0	$-V_R/6$	$+V_R/4$
0	0	1	0	$-V_R/12$	$+V_R/8$
0	0	0	1	$-V_R/24$	$+V_R/1$

Conversão Digital/Analógica (R-2R)



Exemplo:

Considerando que V_d é o bit mais significativo (MSB), e que a tensão de referência está aplicada neste bit e os demais são 0V, teríamos uma malha resistiva equivalente dada abaixo:



Simplificando o circuito por associações sucessivas de resistências em paralelo e em série, deduz-se que a resistência entre o ponto Z e a massa (ponto O) é R . Assim, a tensão $V_{zo} = V/3$.

A resistência entre o ponto Y e o ponto O é R e, portanto, a tensão $V_{yo} = V_{zo}/2 = V/6$.

Assim de forma análoga pode-se concluir que $V_{xo} = V_{yo}/2 = V/12$ e $V_{po} = V_{xo}/2 = V/24$.

Conversão Digital/Analógica

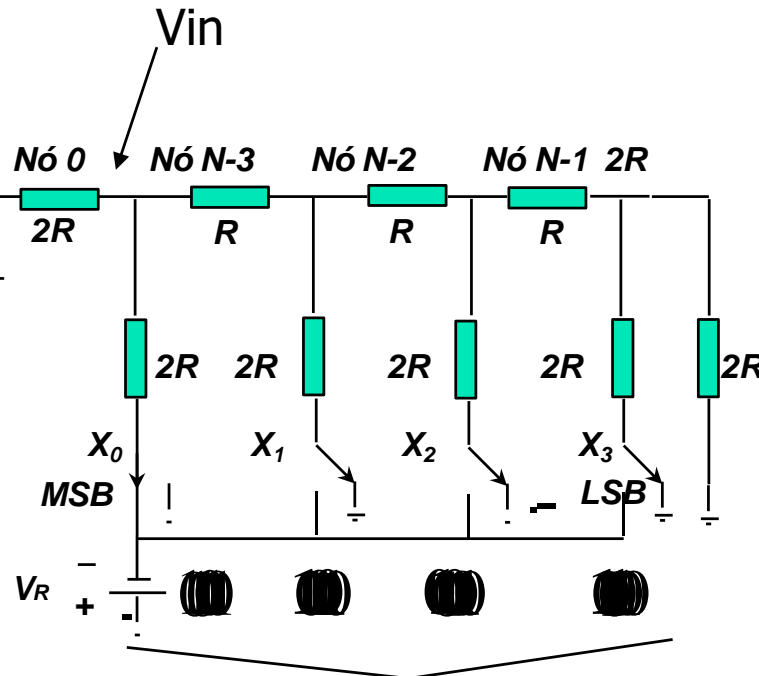


Saída analógica

Resolução do conversor Digital/Analógico = $5/16 \text{ V} = 0,3125 \text{ V}$

$$V_o = V_{in} \cdot (-3R/2R)$$

$V_o = V_{in} \cdot (-3R/2R)$
Saída analógica



Entrada Digital

V_o

0,0000
0,3125
0,6250
0,9375
1,2500
1,5625
1,8750
2,1875
2,5000
2,8125
3,1250
3,4375
3,7500
4,0625
4,3750
4,6875

Conversão Digital/Analógica



Valor Digital MSB ↙ ↘ LSB	Valor analógico V_R (Tensão de referência)	Valor da tensão de saída (V_o)
0000	0	0,0000
0001	$V_R / 16$	0,3125
0010	$V_R / 8$	0,6250
0011	$V_R / 16 + V_R / 8$	0,9375
0100	$V_R / 4$	1,2500
0101	$V_R / 4 + V_R / 16$	1,5625
0110	$V_R / 4 + V_R / 8$	1,8750
0111	$V_R / 4 + V_R / 8 + V_R / 16$	2,1875
1000	$V_R / 2$	2,5000
1001	$V_R / 2 + V_R / 16$	2,8125
1010	$V_R / 2 + V_R / 8$	3,1250
1011	$V_R / 2 + V_R / 8 + V_R / 16$	3,4375
1100	$V_R / 2 + V_R / 4$	3,7500
1101	$V_R / 2 + V_R / 4 + V_R / 16$	4,0625
1110	$V_R / 2 + V_R / 4 + V_R / 8$	4,3750
1111	$V_R / 2 + V_R / 4 + V_R / 8 + V_R / 16$	4,6875



■ Resolução

- Resolução de um conversor Digital/Analógico refere-se a diferença entre dois valores consecutivos da saída do conversor D/A.

- Exemplo:

- Considerando o exemplo em evidência a resolução do conversor seria de 0,3125
- Percebe-se que quanto mais bits, maior a qualidade da resolução do conversor

- $R = V_{ref} * [1/(2^n)]$

■ Range ou faixa de atuação

- Distância entre o valor mais positivo e o valor mais negativo.

- Exemplo:

- Considerando conversor do exemplo anterior teríamos um faixa de atuação de

$$(4,6875) - 0 = 4,6875 \text{ de faixa de atuação}$$



Conversão AD

- A conversão AD é o processo no qual um sinal analógico (mundo contínuo) é transformado para um sinal discreto no tempo (representação simbólica).
- A conversão se processa através do que chamamos amostragem do sinal de entrada (limitado em banda), convertendo o sinal analógico em um sinal discreto no tempo.
- A amplitude de cada sinal amostrado é quantizado dentro de um dos 2^n níveis possíveis, onde n é o número de bits usados para representar uma amostra no conversor AD (ADC).
- Os níveis de amplitude discretos são representados ou codificados em palavras binárias distintas, cada uma de tamanho de b bits.
- Tempo de conversão: é o tempo necessário para se obter o valor na saída (digital para o A/D; analógico para o D/A) a partir do momento em que o sinal de entrada foi aplicado e iniciado o processo de conversão. Depende da estrutura do circuito utilizado e da sua resolução. De modo geral, quanto maior a resolução, maior o tempo de conversão.

Amostragem Para Conversão Analógica / Digital



■ Amostragem

- Em aplicações de conversores A/D pode ser interessante ler o valor do sinal a cada t segundos (tempo de amostragem). A saída será uma série de valores referentes a amostragem do sinal de entrada.

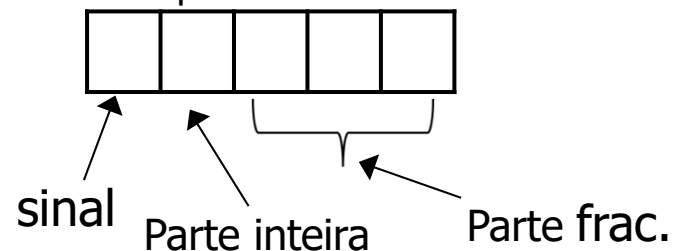
■ Exemplo:

- $s(t) = \text{sen } \omega t$, onde $\omega = 12 \text{ rad/seg}$
- Amostre 11 vezes no intervalo de 0 a 20 segundos.
- Período de uma amostragem será de 2 segundos, $t = nt$, $n = 0, 1, \dots, 10$.

Amostragem	tempo(seg)		
n	nt	$\text{sen } 12nt$	$X(nt)$
0	0	0,000	00000
1	2	0,500	00100
2	4	0,866	00111
3	6	1,000	01000
4	8	0,866	00111
5	10	0,500	00100
6	12	0,000	00000
7	14	-0,500	10100
8	16	-0,866	10111
9	18	-1,000	11000
10	20	-0,866	10111

5 bits são usados para amostrar o valor digital

- 3 bits p/parte fracionária
- 1 bit p/parte inteira
- 1 bit para o sinal

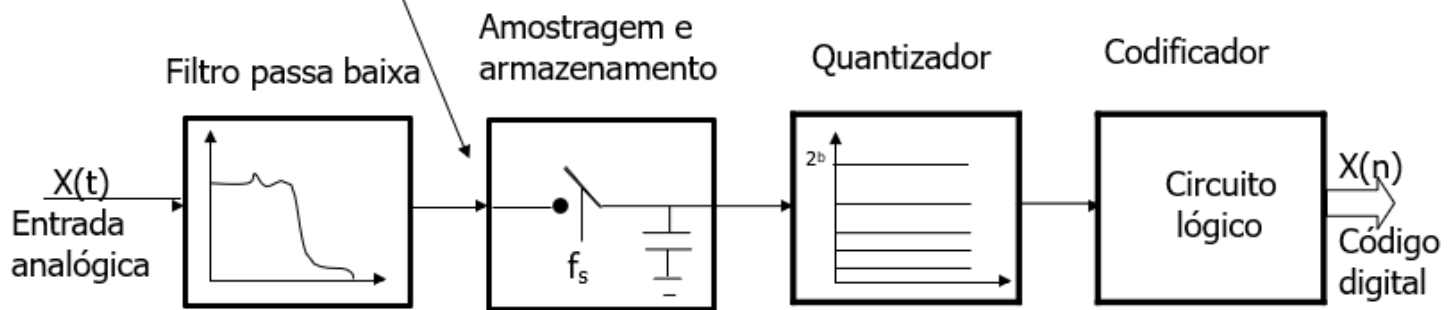


Processo de conversão AD



- Durante a aquisição o sinal analógico deve permanecer estático na entrada do conversor A/D.
- Enquanto a chave está fechada o sinal de entrada é amostrado e seu valor armazenado em um capacitor.
- A conversão A/D é efetuada em seguida durante o tempo em que a chave está aberta.
- A chave abre e fecha em sincronia com o conversor A/D e a cada nova aquisição.

A frequência de amostragem deve ser pelo menos duas vezes a frequência do sinal



Sinal é contínuo em tempo e amplitude

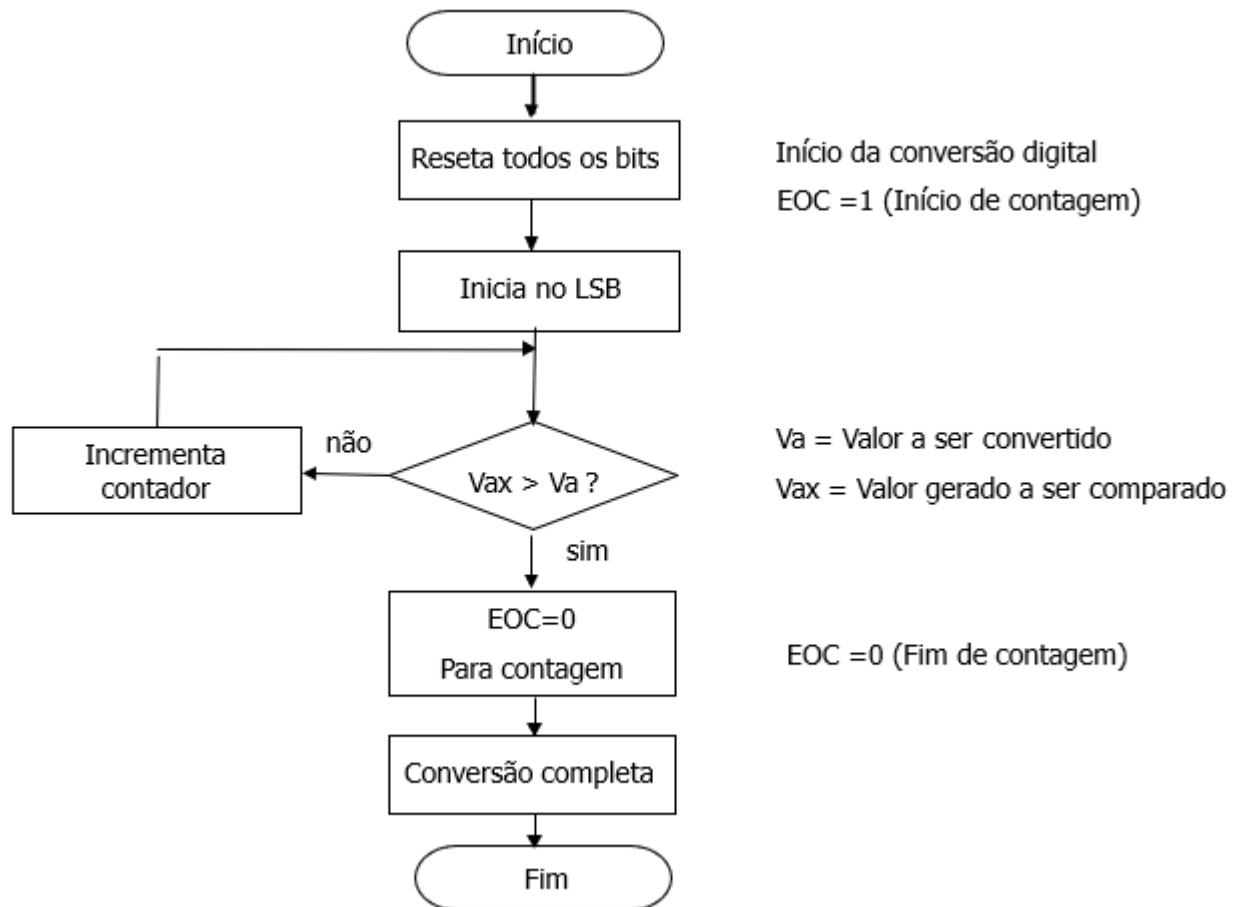
O sinal é contínuo em amplitude, mas definido apenas em pontos discretos de tempo. Assim, o sinal é zero, exceto no tempo $t=nT$ (instantes de amostragem)

O sinal digital $x(n)$ ($n=0,1,..n$). Este sinal existe apenas em pontos discretos no tempo e em cada ponto do tempo pode haver um dos 2^n valores (valor discreto em tempo discreto)

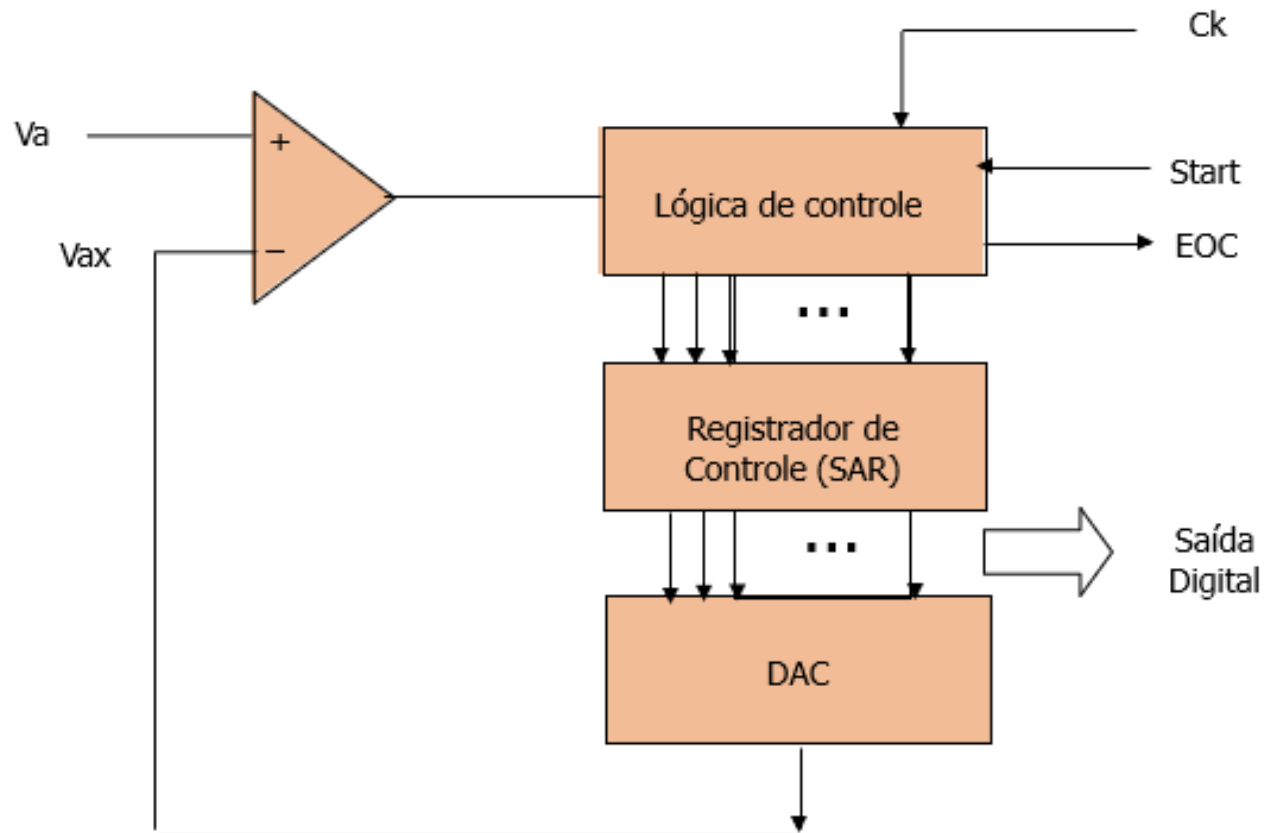
Conversor A/D



Algoritmo de aproximação Sucessiva (baseado em um contador)



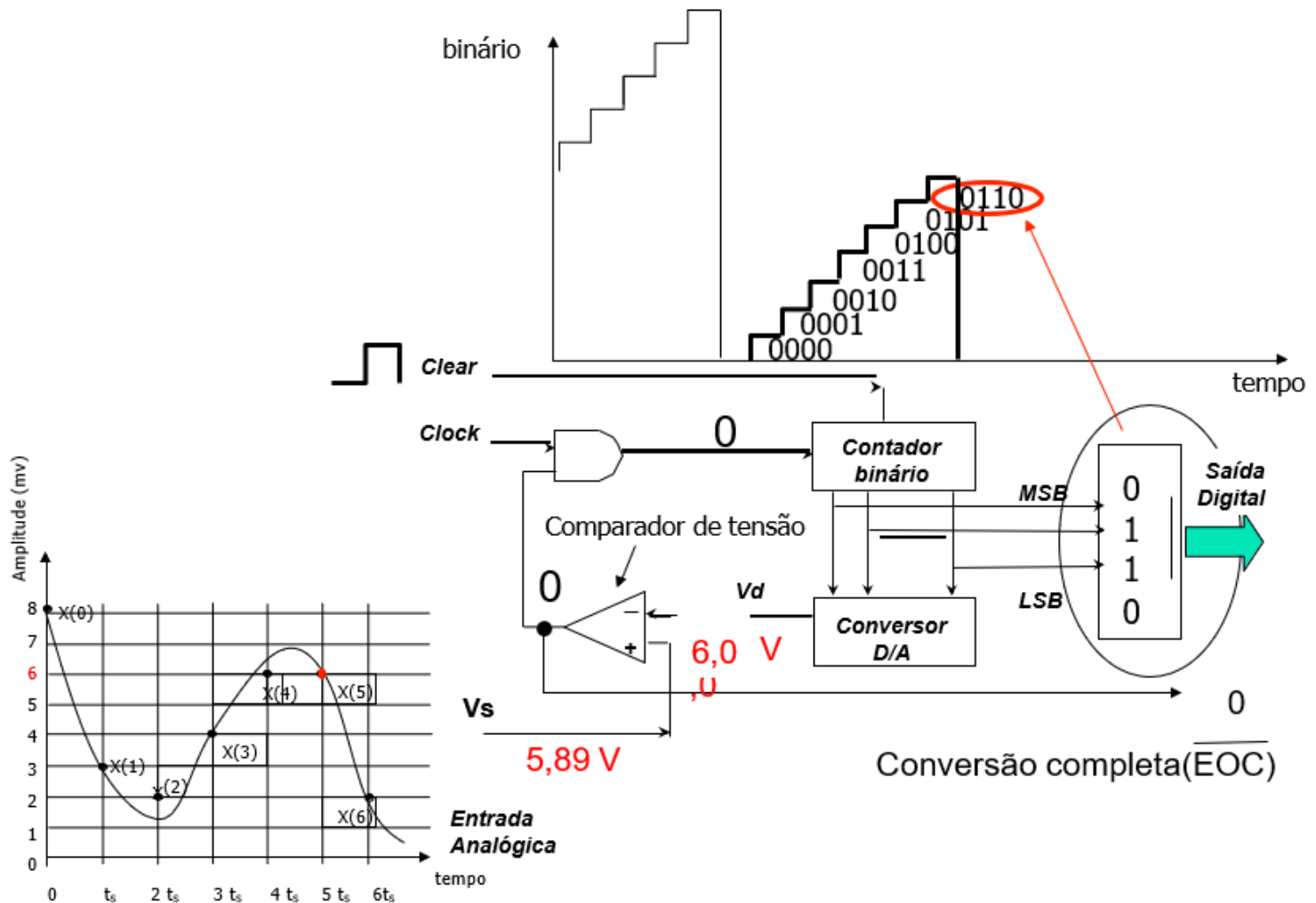
Conversor A/D



Conversor A/D



Conversão A/D Escada



Quantificação de erros na conversão A/D

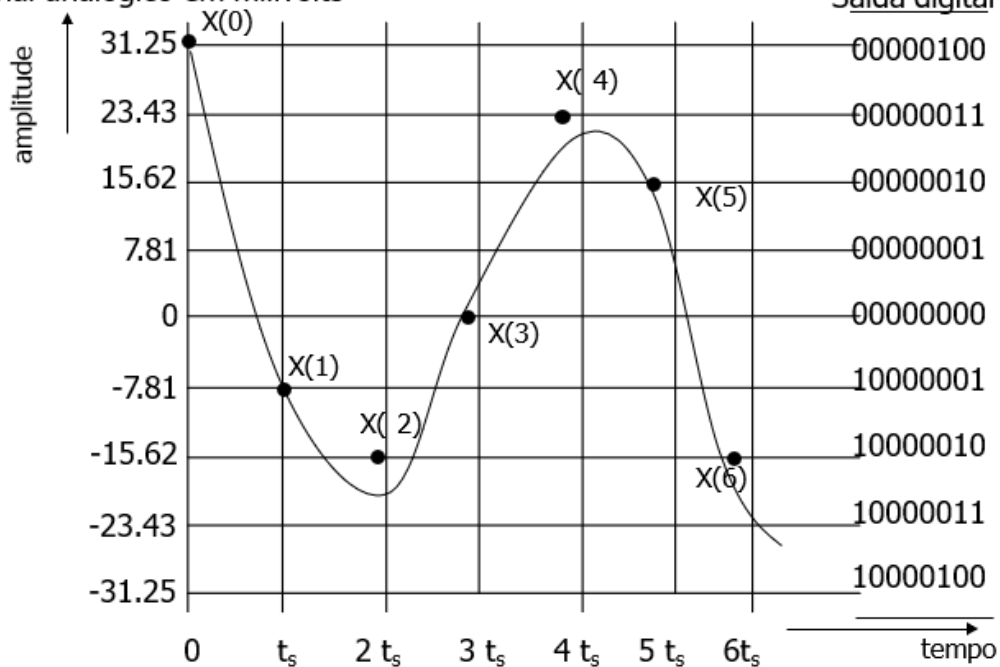
- Conversores AD, em geral, geram palavras binárias de tamanho fixo, 8, 16, 24 bits,
- Conversores comerciais são categorizados pelo tamanho das palavras binárias que podem gerar, 8, 16, 24 bits,
- Uma entrada típica analógica de entrada de um conversor AD é de -1 a $+1$ volt.
- O bit menos significativo da palavra de conversão (*Least Significant bit - lsb*) quantifica o menor valor a ser codificado pelo conversor.
 - Exemplo:
 - Conversor de 8 bits, entrada analógica de -1 a $+1$ V.
 - **lsb(valor)** = $\frac{\text{faixa de tensão na entrada}}{2^{\text{tamanho da palavra}}} = \frac{2V}{2^8} = 7.81\text{mV}$
 - Isto significa dizer que podemos representar tensões contínuas (analógicas) perfeitamente, desde que elas sejam múltiplas de 7.81 mV.

Conversor A/D

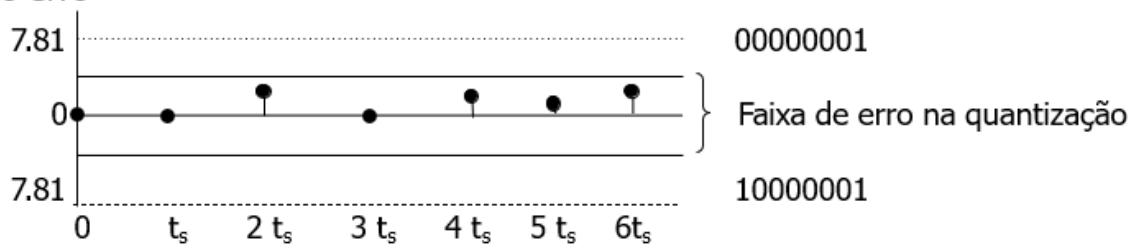


Conversão AD

Sinal analógico em milivolts



Quantização do erro



Conversor Analógica/Digital



■ Taxa de conversão

- Freqüência com a qual o sinal analógico é digitalizado (Hz ou medidas/segundo)
 - Exemplo: um conversor de 100 KHz efetua um máximo de 100.000 medidas/s ou um medida a cada 10 μ s

- O maior erro ocorre quando a entrada está a mesma distância de 2 valores adjacentes.

■ Exemplo:

- No meio entre 7.81mV e 15.62mV
- $$\begin{array}{ccc} 7.81 & \otimes / 2 & 15.62 \end{array}$$

■ Erro de quantificação

- Este erro é introduzido pela aproximação digital de um sinal contínuo.
 - **Como reduzir este erro?**
Aumentando o número de bits usados para armazenar o sinal digital.



Bibliografia Básica

1-TOCCI, R. J.; Widmer, N. S.; Moss, G. L. **Sistemas digitais: princípios e aplicações**. 12ª ed. Pearson, São Paulo, 2019.

2-HAUPT, A.; Dachi, E. **Eletrônica digital**. Editora Blucher, São Paulo, 2016.

3-IDOETA, I. V.; CAPUANO, F. G. **Elementos de eletrônica digital**. 34ª Ed. Érica, São Paulo, 2002.



Bibliografia Complementar

1-TAUB, H. **Circuitos digitais e microprocessadores**. McGraw Hill do Brasil, São Paulo, 1984.

2-BIGNEEL, J. W.;DONOVAN, R. L. **Eletrônica digital**. Makron Books, 2 V, São Paulo, 1988.

3-MALVINO, A. P.;LEACH, D. P. **Eletrônica digital – princípio e aplicações**. McGraw Hill, 1 V, São Paulo, 1988.

4-MELO, M. **Eletrônica digital**. São Paulo: Makron Books, 1993.

5-MENDONCA, A. **Eletrônica digital: curso prático e exercícios**. Rio de Janeiro: MZ, 2004.