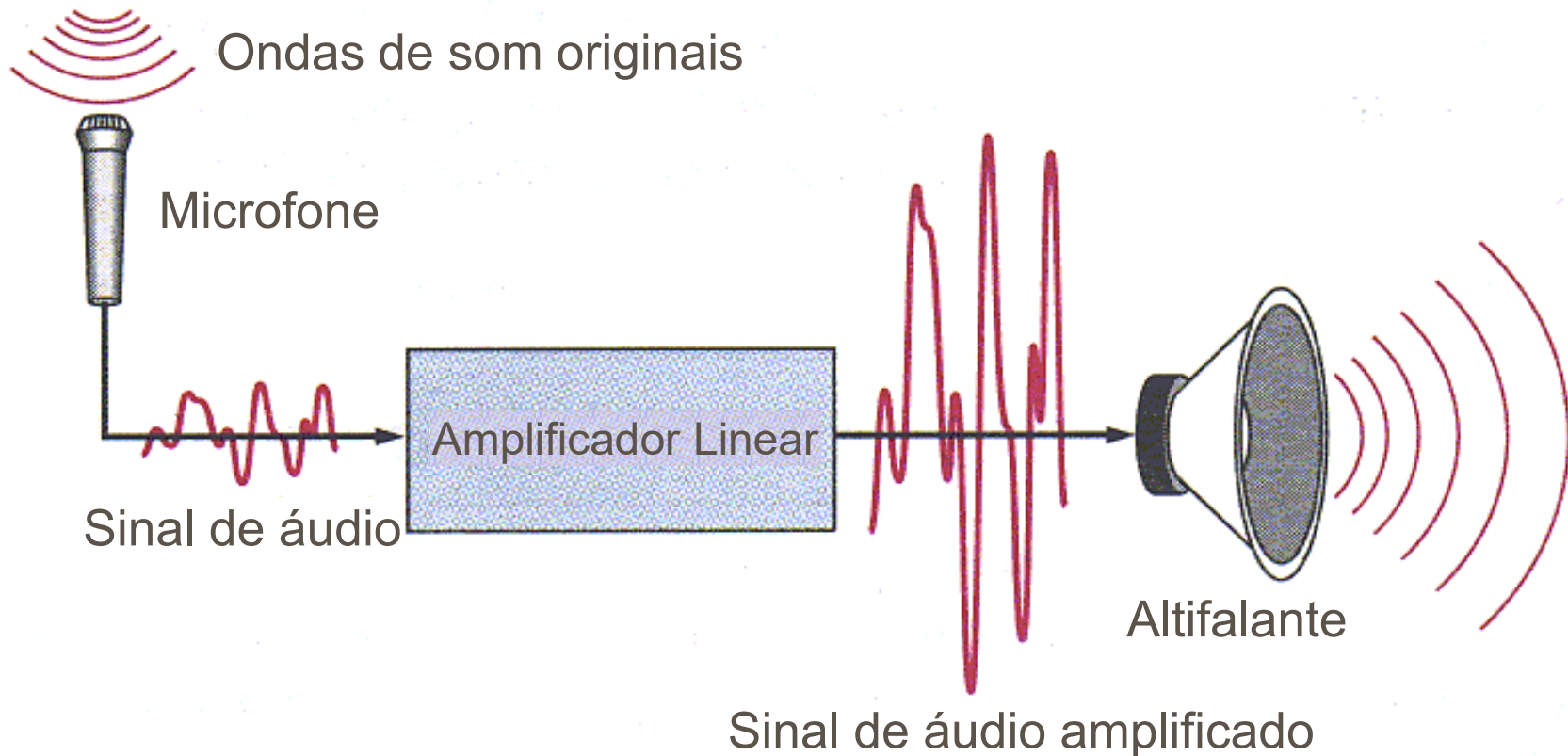
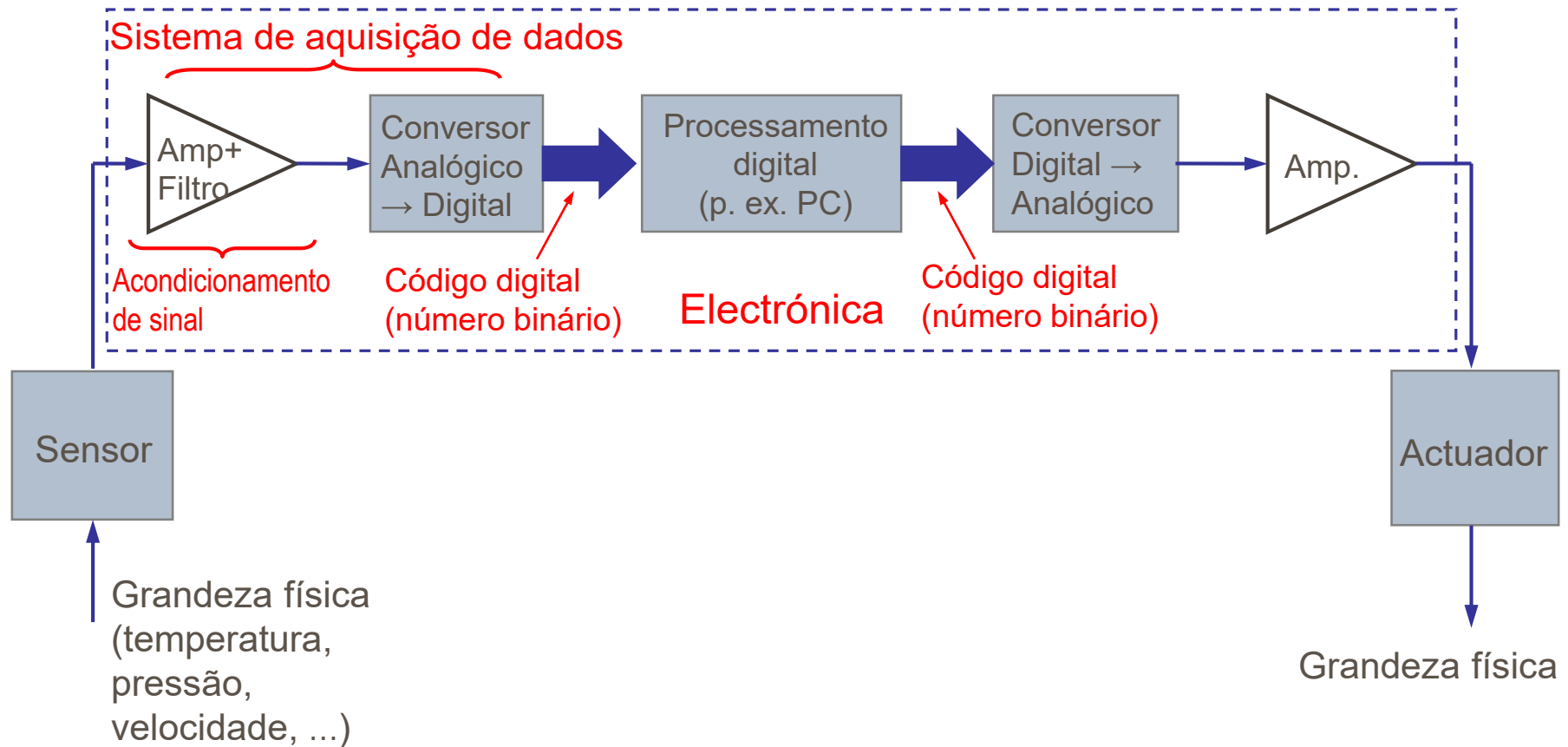


# Outros Componentes e Subsistemas

## ■ Processamento analógico vs digital de informação



## ■ Processamento digital de informação



Sistema electrónico para processamento digital de informação

## ■ Processamento digital de informação

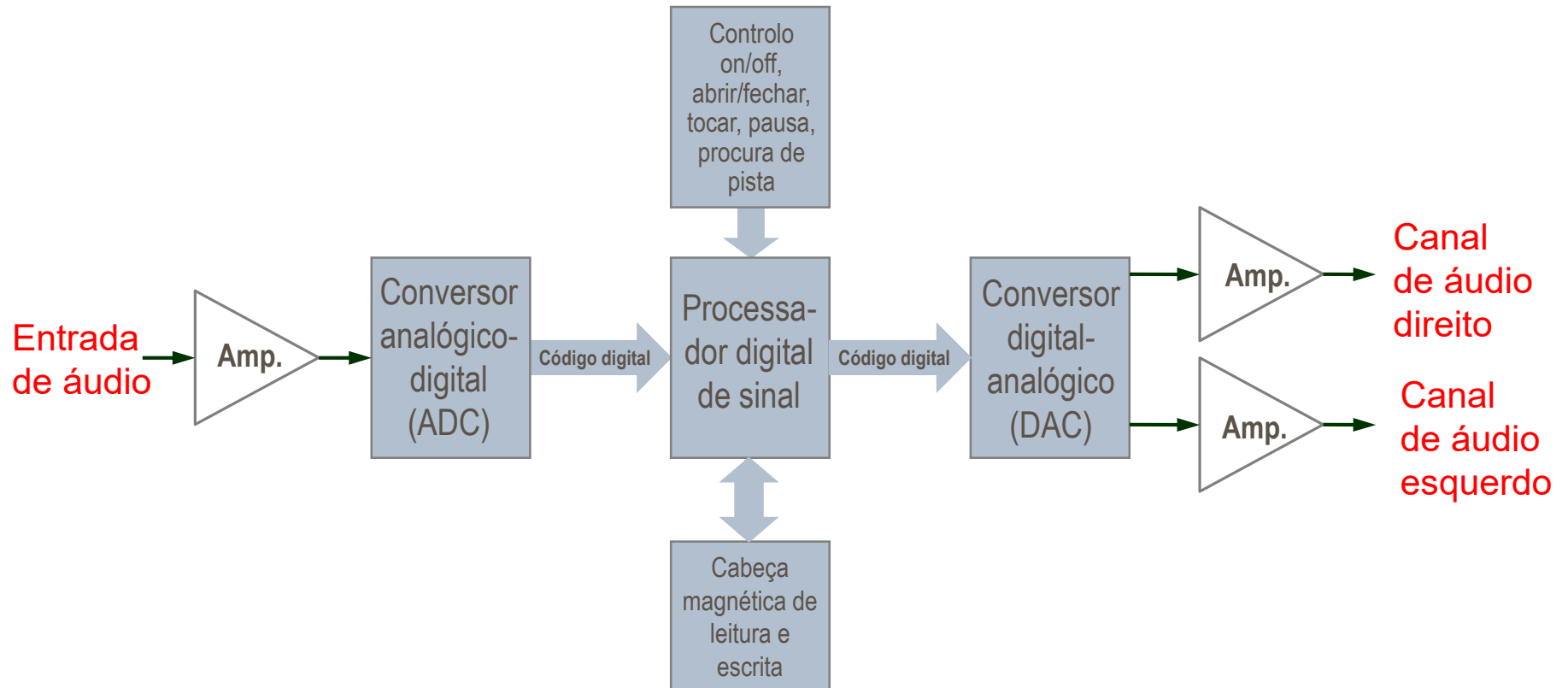


Diagrama de blocos de um sistema DAT (gravador de áudio digital)

## ■ Sinais analógicos e digitais

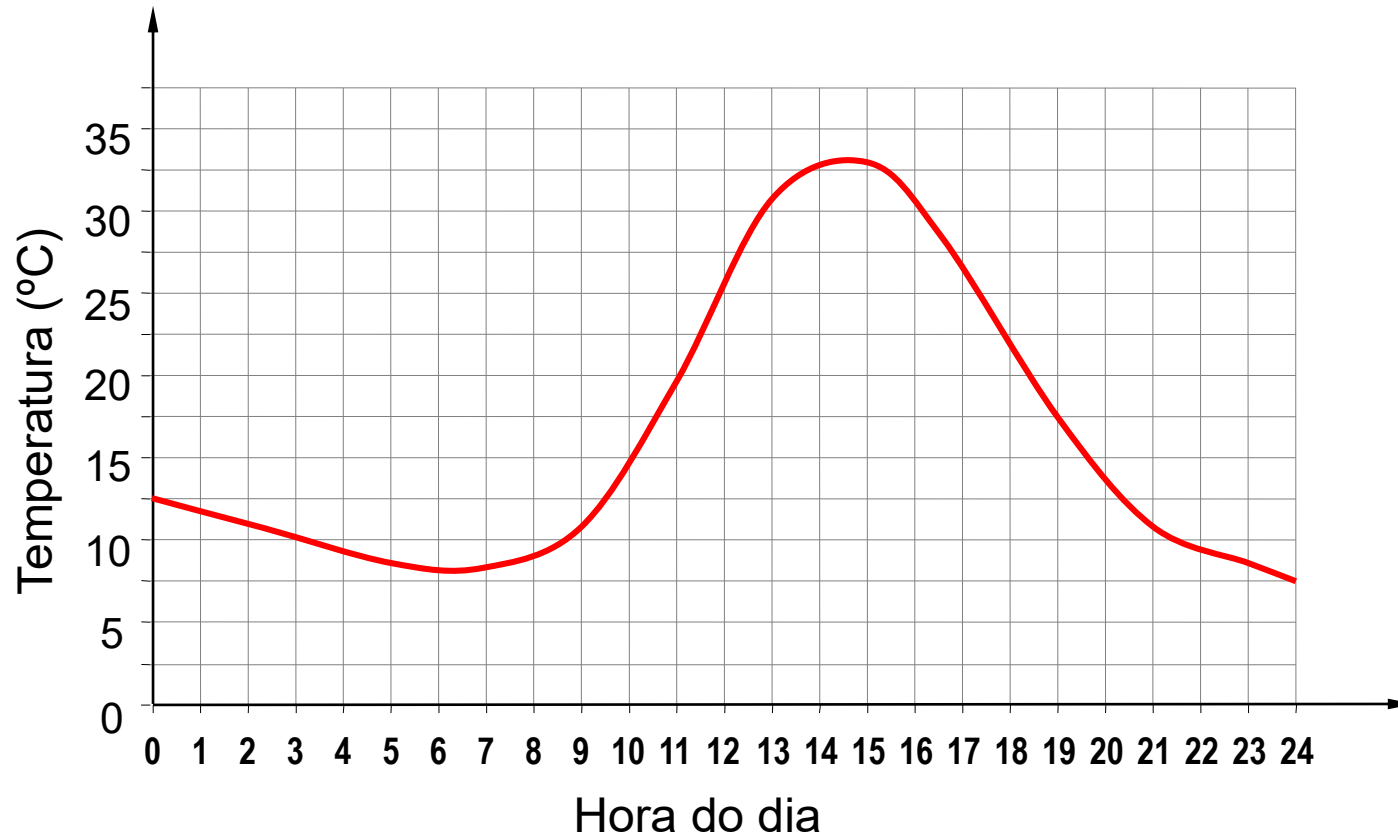
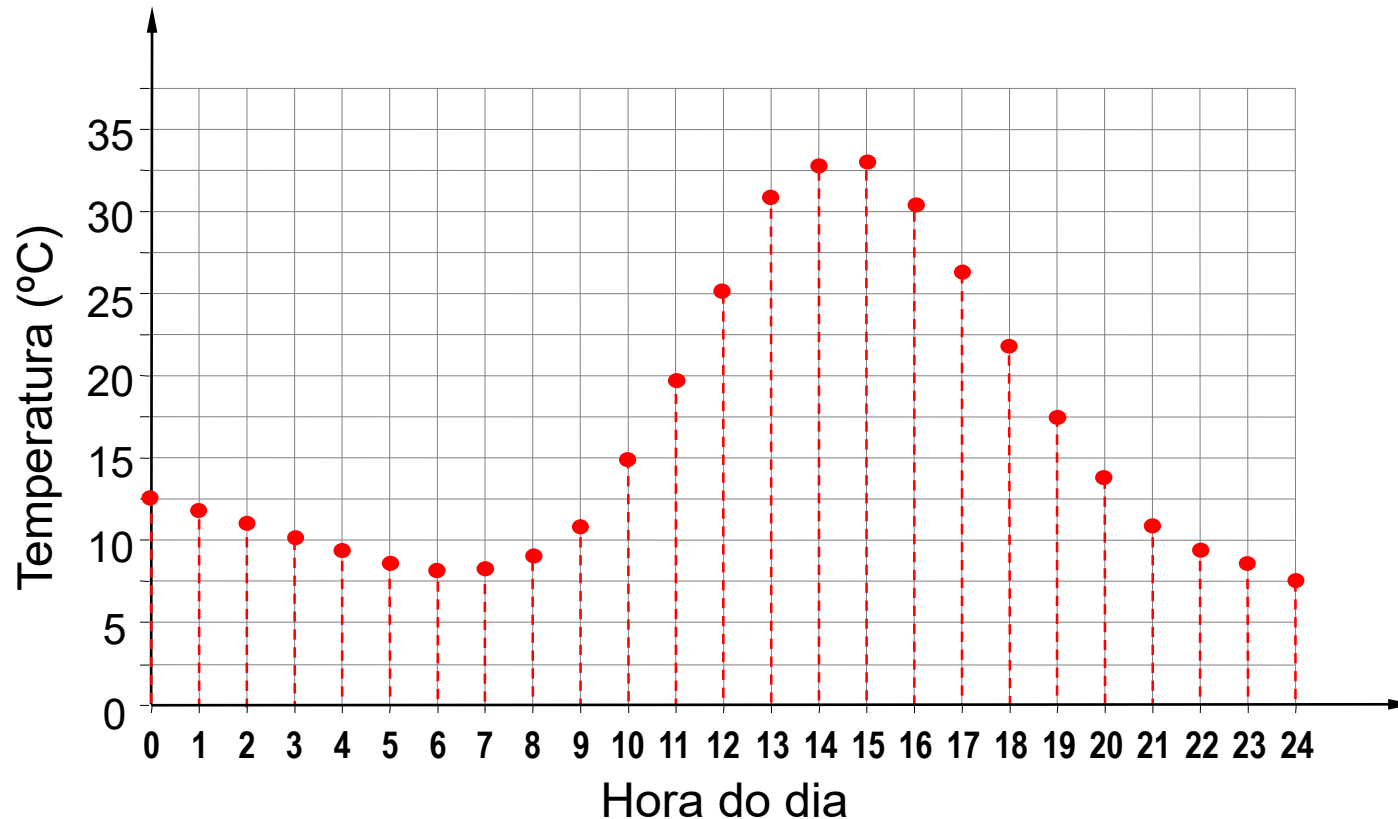


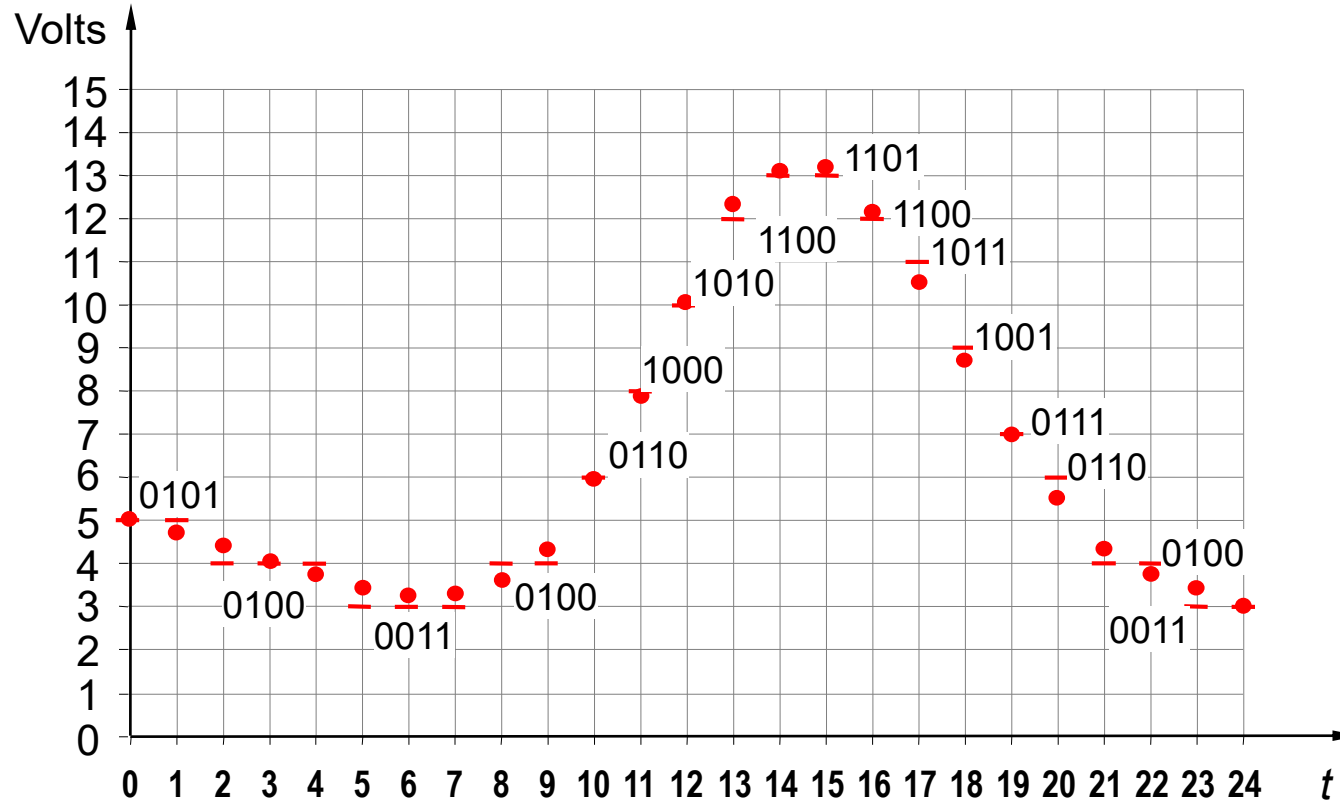
Gráfico de uma grandeza analógica (temperatura *versus* tempo)

## ■ Sinais analógicos e digitais



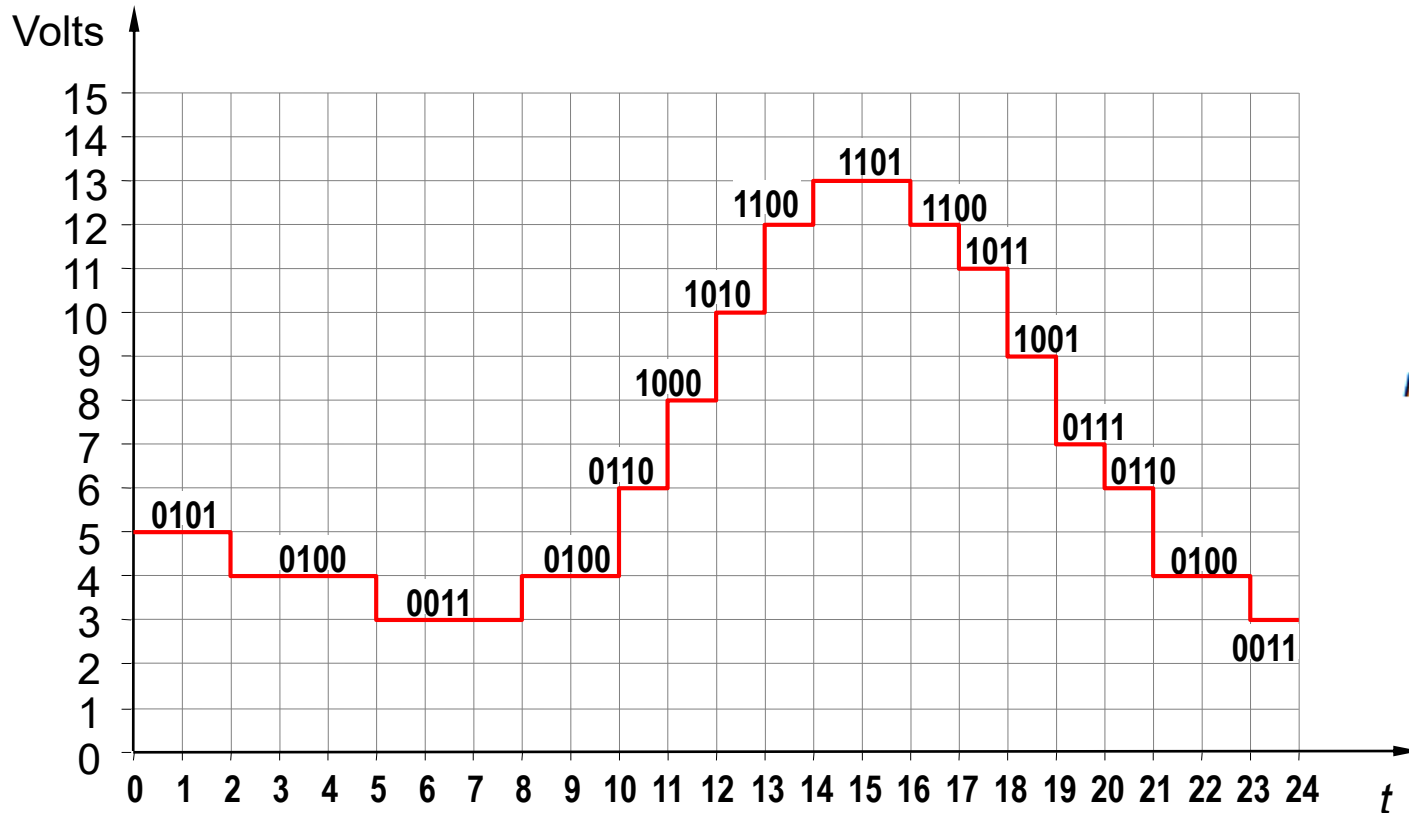
Valores amostrados da do sinal analógico. Cada ponto pode agora ser digitalizado (representado pela palavra de um código binário)

## ■ Sinais analógicos e digitais



Representação digital dos pontos resultantes da discretização de uma curva analógica

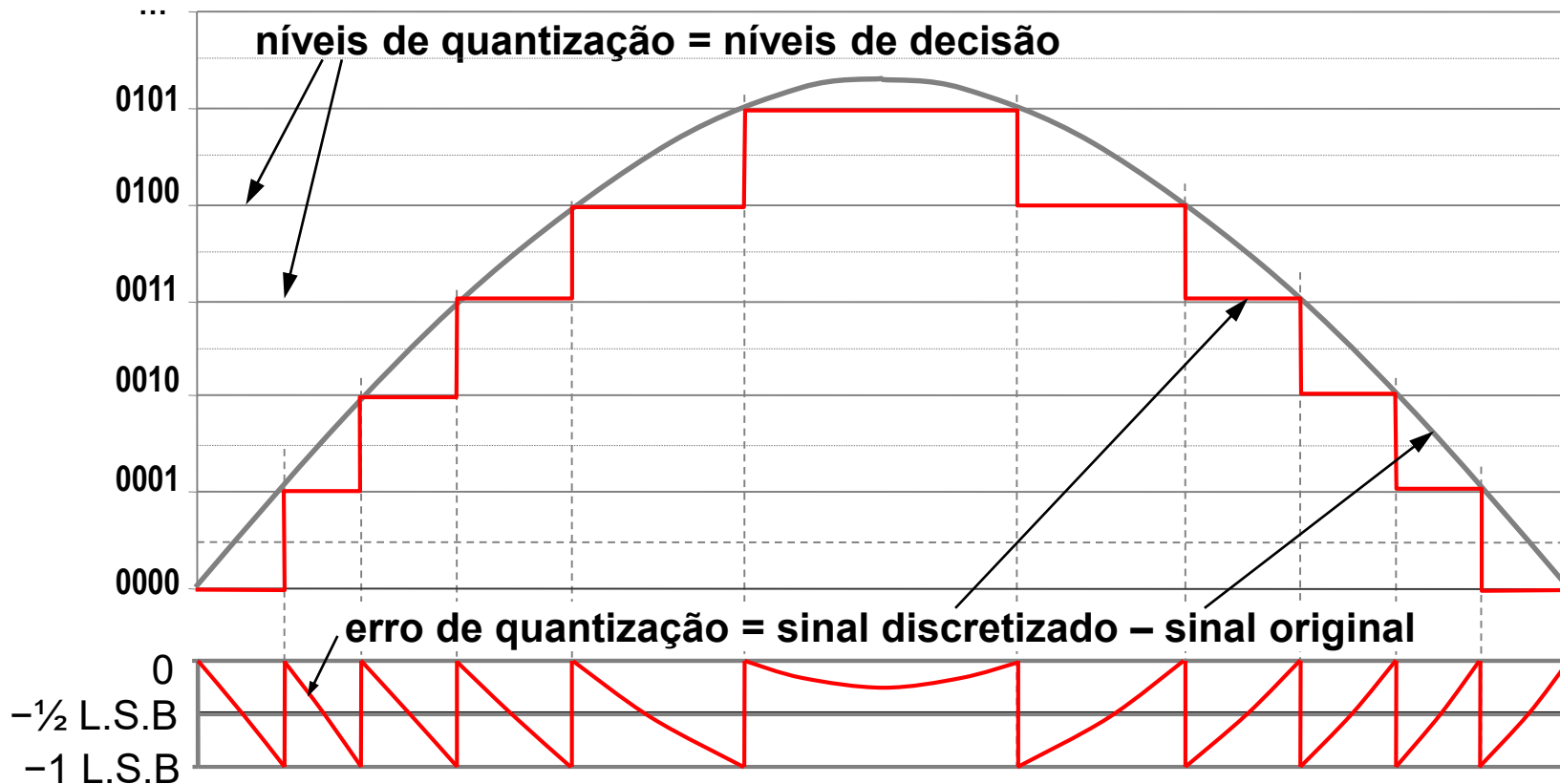
## ■ Sinais analógicos e digitais



$$resolução = \frac{V_{REF}}{2^{nbits} - 1}$$

Reprodução digital da curva analógica

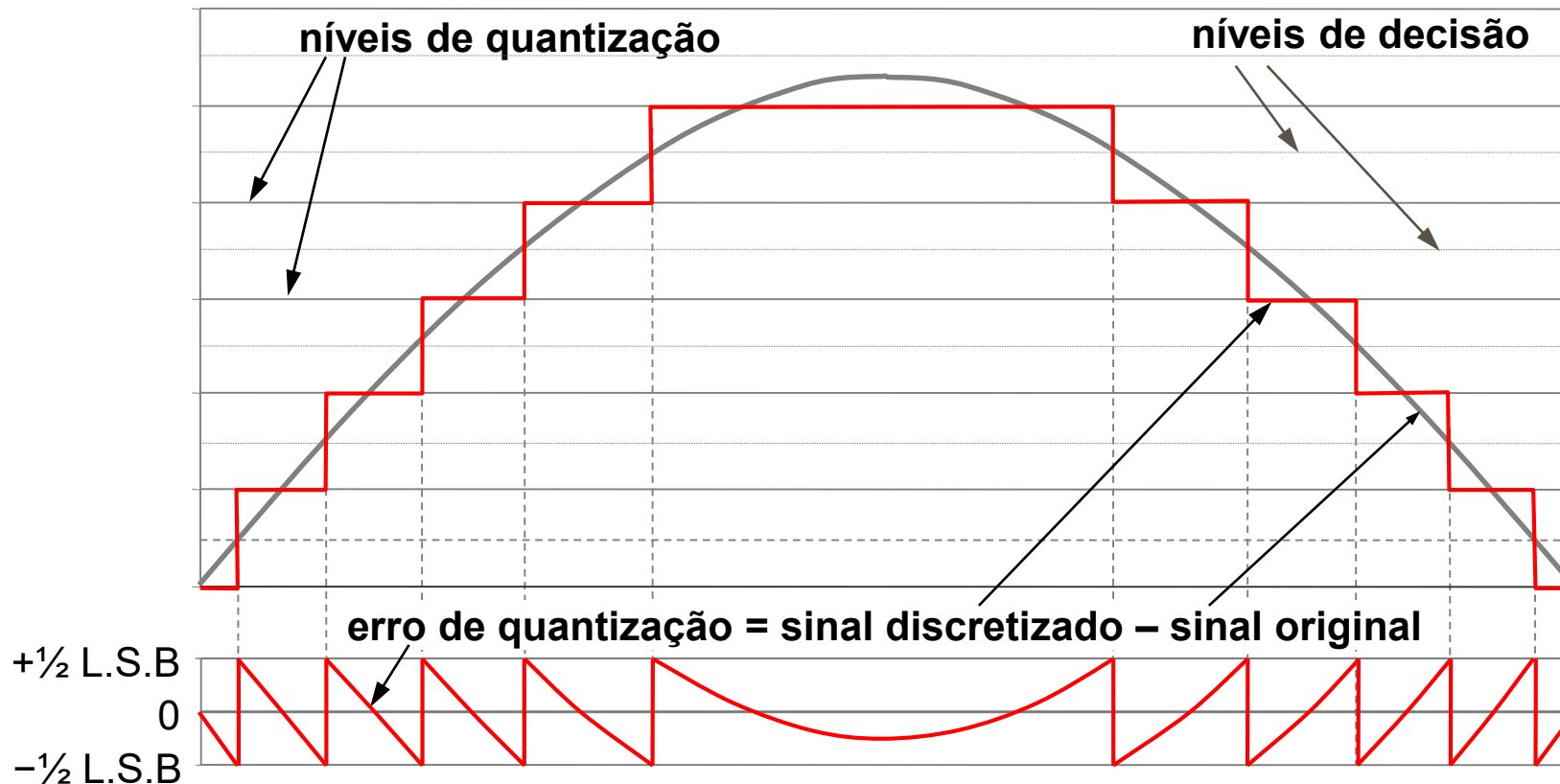
## ■ Sinais analógicos e digitais



Erro de quantização para iguais níveis de discretização e decisão

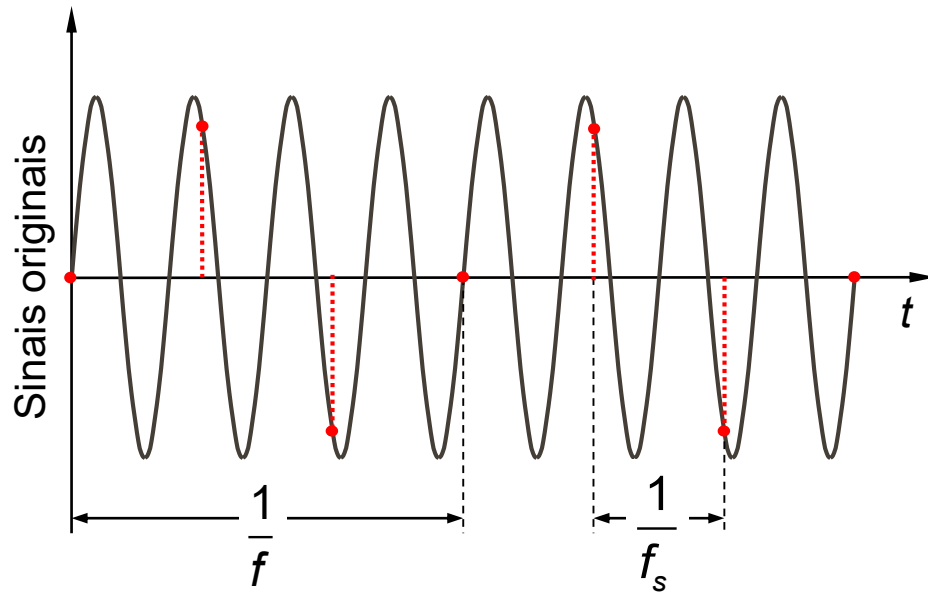


## ■ Sinais analógicos e digitais



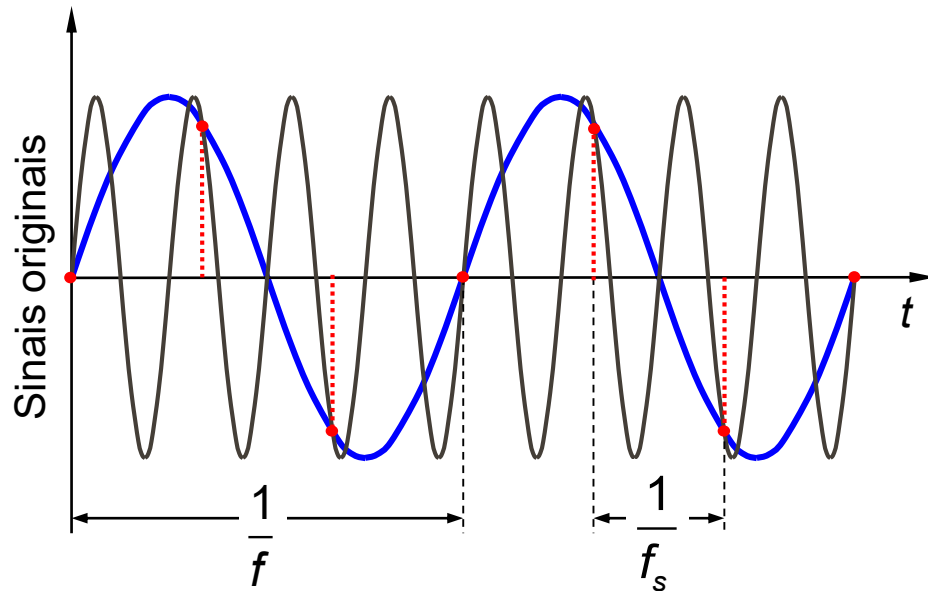
Erro de quantização para níveis de discretização e decisão distantes de  $\frac{1}{2}$  L.S.B.

## ■ Teorema de *Nyquist* (ou teorema da amostragem)



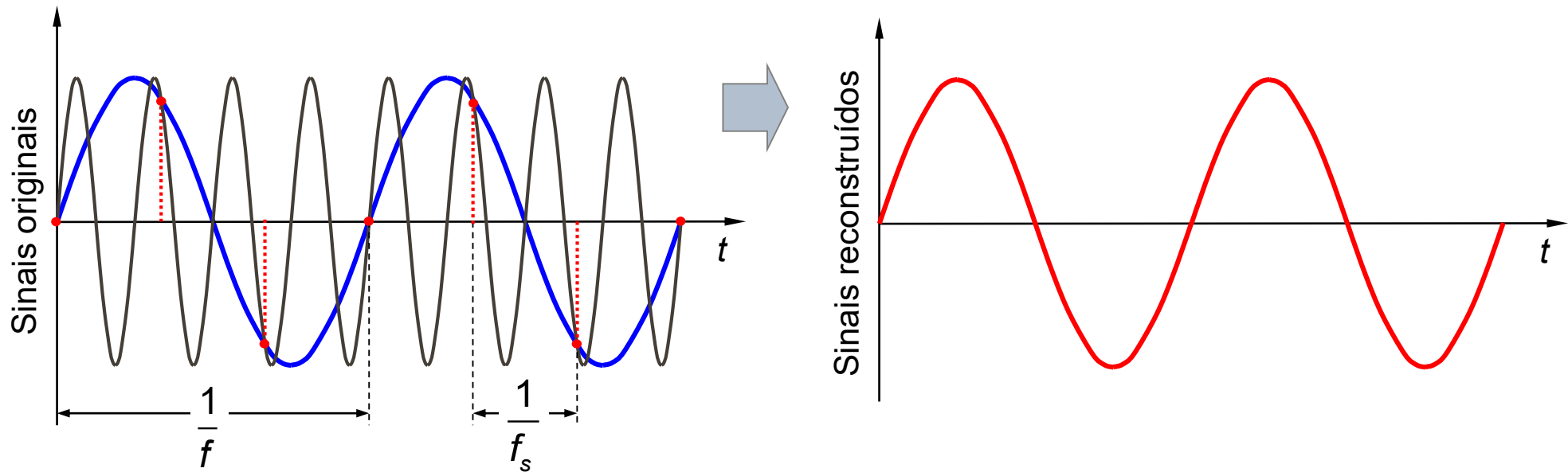
$$f_s \geq 2 \times f$$

## ■ Teorema de *Nyquist* (ou teorema da amostragem)



$$f_s \geq 2 \times f$$

## ■ Teorema de *Nyquist* (ou teorema da amostragem)

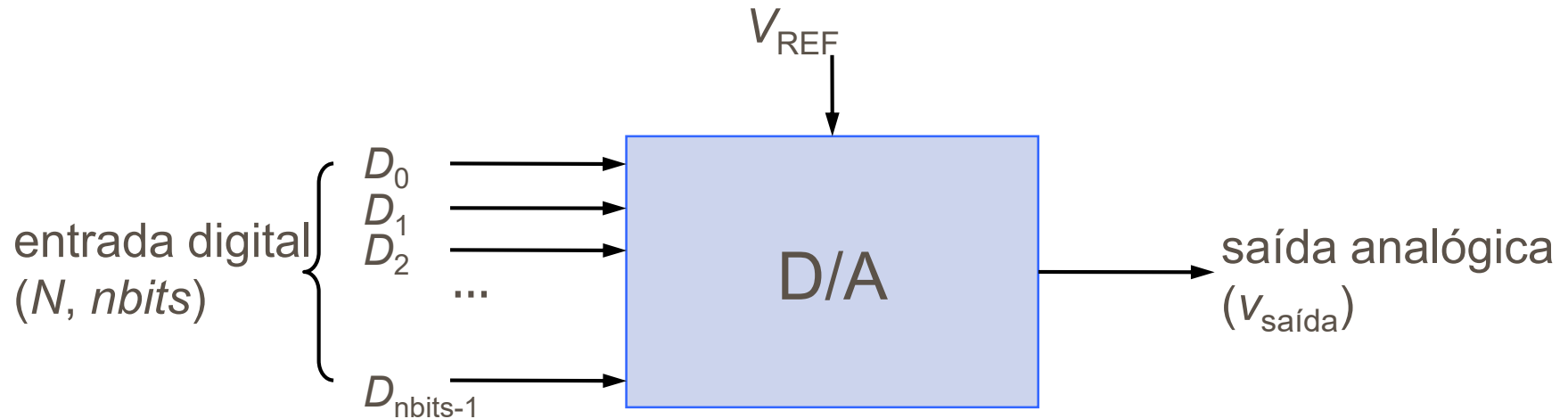


$$f_s \geq 2 \times f$$

# Outros Componentes e Subsistemas

Sinal	$f_{\max}$	$f_s$	nº de bits
Telefónico	3500 Hz	8000 Hz	8 bits
HI-FI	16000 Hz	32000 Hz	16 bits
Vídeo	2 MHz	4 MHz	16 bits

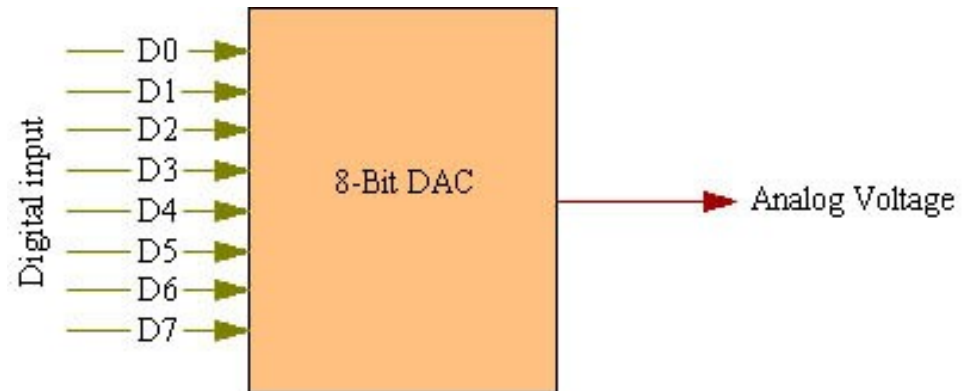
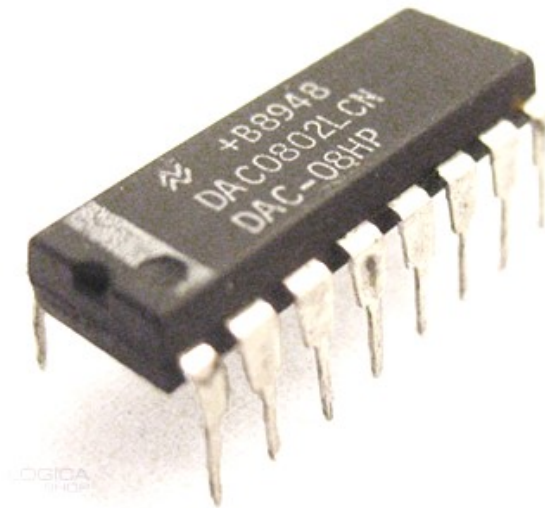
## ■ Conversão digital → analógico



Conversor digital-analógico

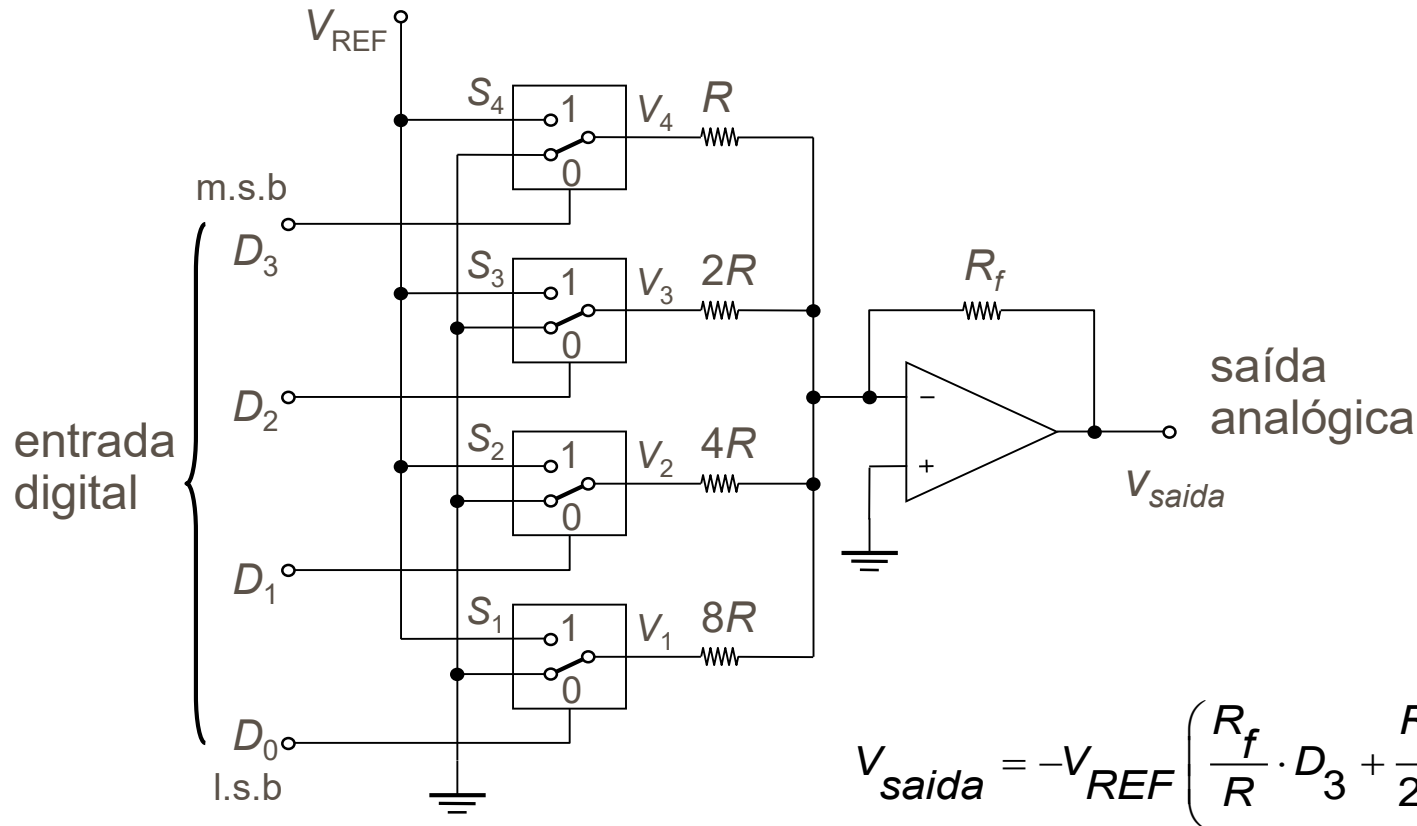
$$v_{saída} = \frac{V_{REF}}{2^{nbits} - 1} \cdot N$$

# Outros Componentes e Subsistemas



Conversor digital-analógico (DAC) de 8 bits (Wikipedia)

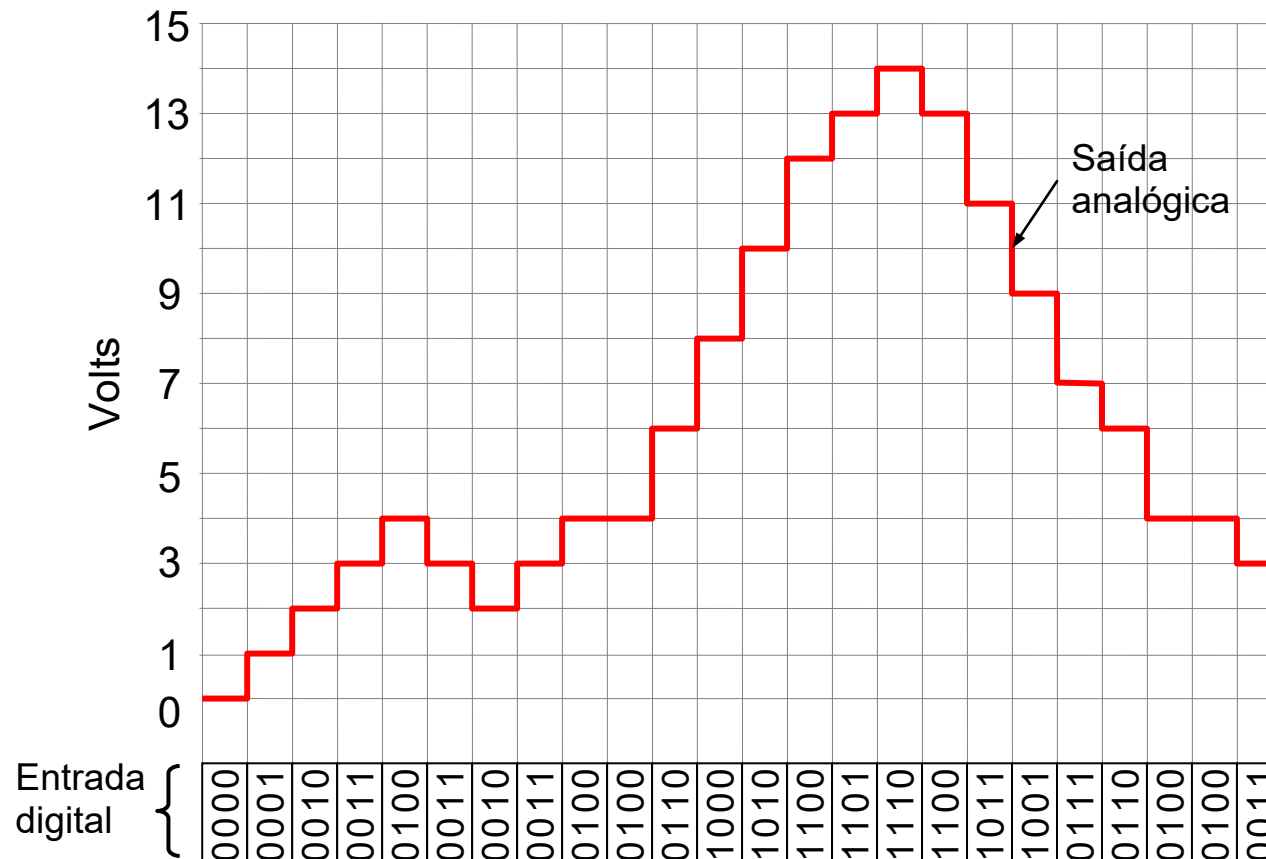
# Outros Componentes e Subsistemas



Conversor digital-analógico de 4 bits



## ■ Conversão digital → analógico



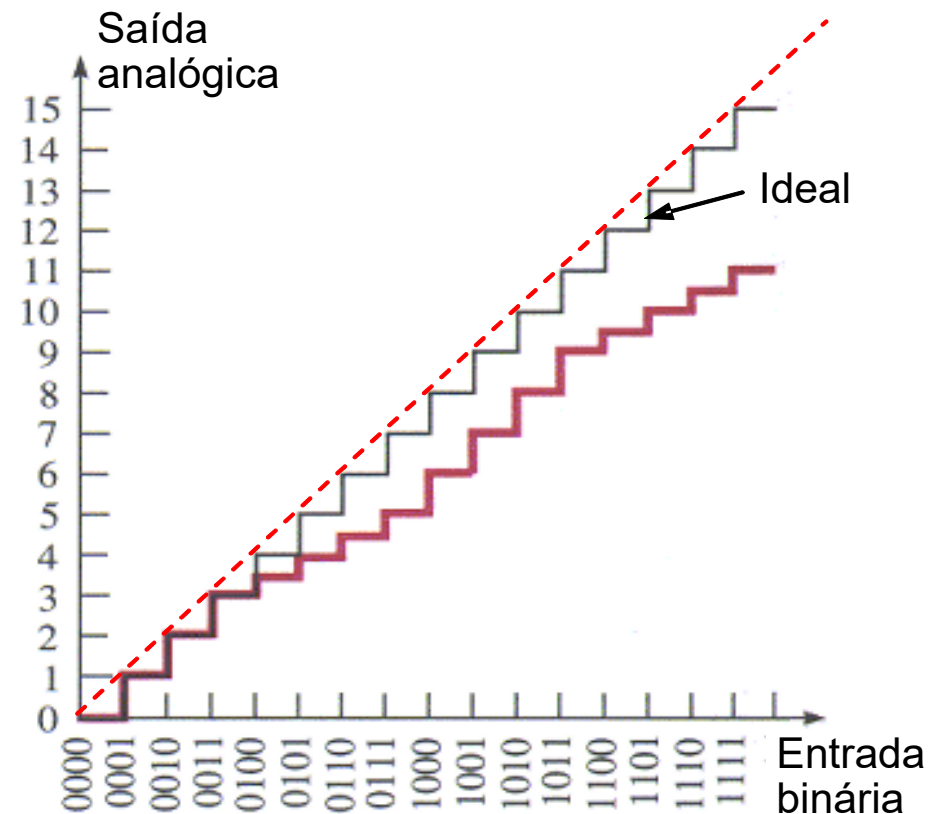
Saída de um conversor digital-analógico de 4 bits

## ■ Características de desempenho de conversores D/A

- **Resolução.** A resolução de um D/A é o inverso do número máximo de degraus da saída. Para um D/A de  $n$  bits a resolução referida à entrada é  $1/(2^n - 1)$ . Referida à saída a resolução é  $V_{REF}/(2^n - 1)$ , onde  $V_{REF}$  corresponde ao fim de escala do D/A. A resolução pode também exprimir-se através da especificação do número de bits que são convertidos (diz-se p. ex. que um D/A tem uma resolução de 8 bits significando que a resolução é  $1/255 = 0.0039$ ).
- **Precisão.** A precisão é uma medida da diferença entre a saída esperada e a saída real do D/A. Exprime-se como uma percentagem de um fim de escala (ou valor máximo). se, p. ex. um conversor possui como fim de escala uma saída de 10 V e tem uma precisão de 0.1%, então o maior erro que ocorre na saída é  $(0.001)(10 \text{ V}) = 10 \text{ mV}$ . Idealmente a precisão deve corresponder, quando muito, a  $\pm 1/2$  do LSB (bit menos significativo). Para um conversor de 8 bits, p. ex.,  $1 \text{ LSB} = 0.0039$ , pelo que a precisão deve ser melhor do que  $\pm 0.195\%$  do fim de escala.

## ■ Características de desempenho de conversores D/A

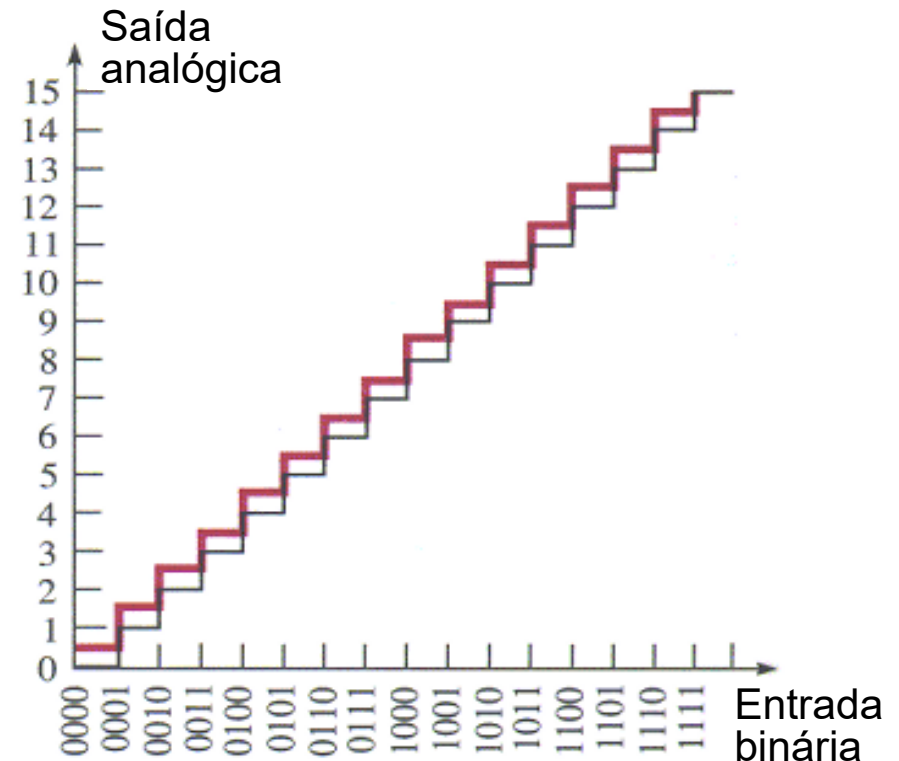
- **Linearidade.** Tem a ver com o desvio de uma recta ideal da saída do conversor D/A. Na prática alguns códigos binários não produzem na saída degraus com a amplitude esperada.



(a) Não-linearidade diferencial (a cor)

## ■ Características de desempenho de conversores D/A

- **Erro de *Offset*.** É o erro que ocorre pelo facto da tensão de saída do conversor ser diferente de zero quando todos o bits de entrada são iguais a zero. Note-se que o erro é mesmo para todos os valores convertidos.

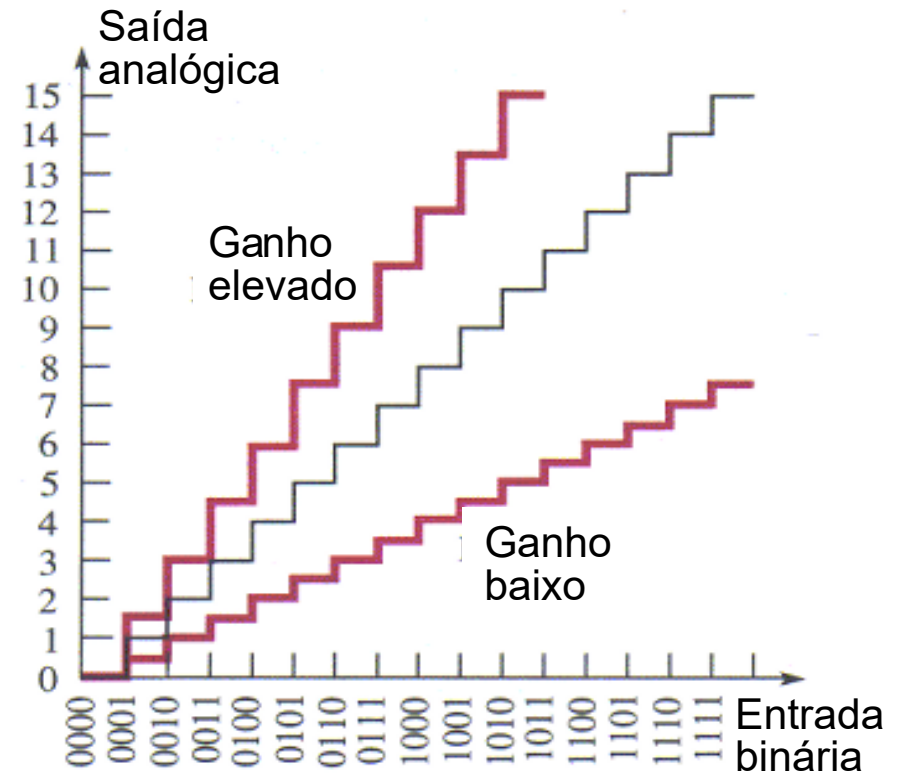


(b) Erro de *offset* (a cor)

## ■ Características de desempenho de conversores D/A

### ■ Ganho baixo ou elevado.

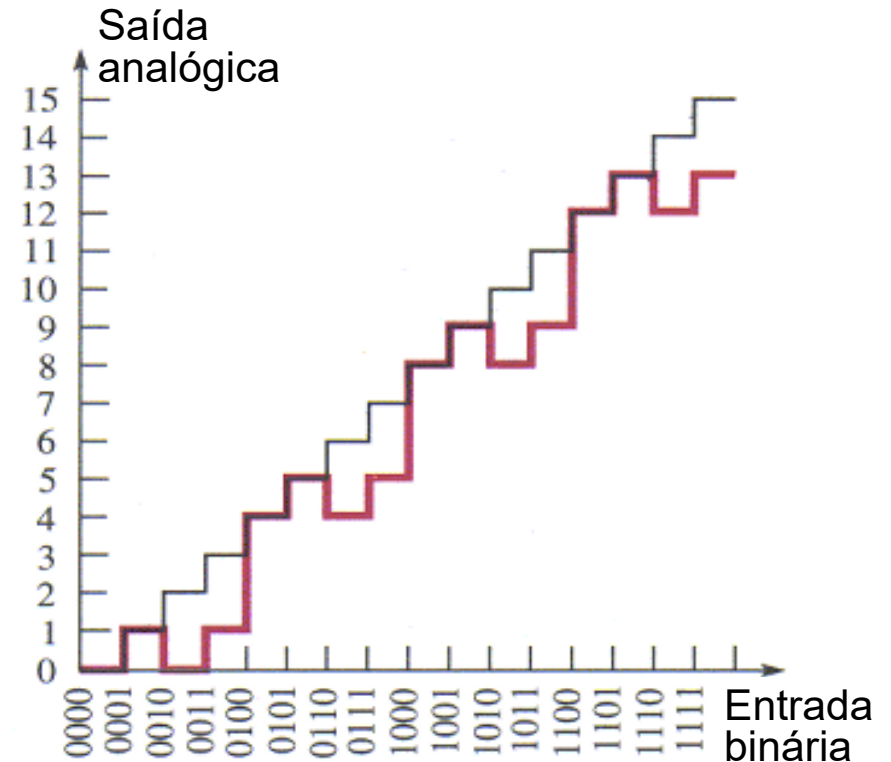
A figura ilustra os erros introduzidos na saída como resultado de um ganho desajustado. No caso de um ganho baixo a amplitude dos degraus é inferior ao ideal. No caso de um ganho elevado a amplitude dos degraus é inferior ao ideal.



(c) Ganhos elevado e baixo (a cor)

## ■ Características de desempenho de conversores D/A

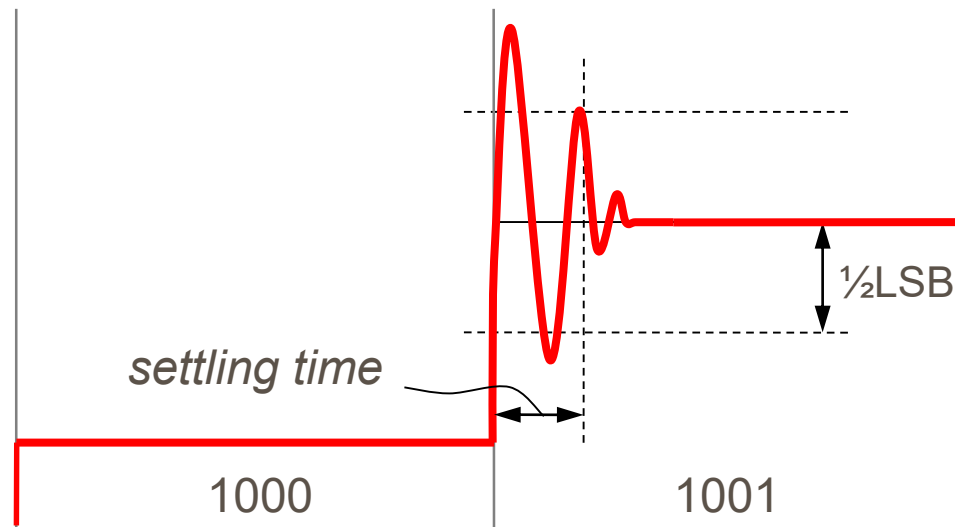
- **Monotonicidade.** Um D/A diz-se *monotónico* se, para uma sequência cobrindo toda a gama de entradas, a saída não apresenta nenhuma inversão de passos (figura 4.147 (d)).



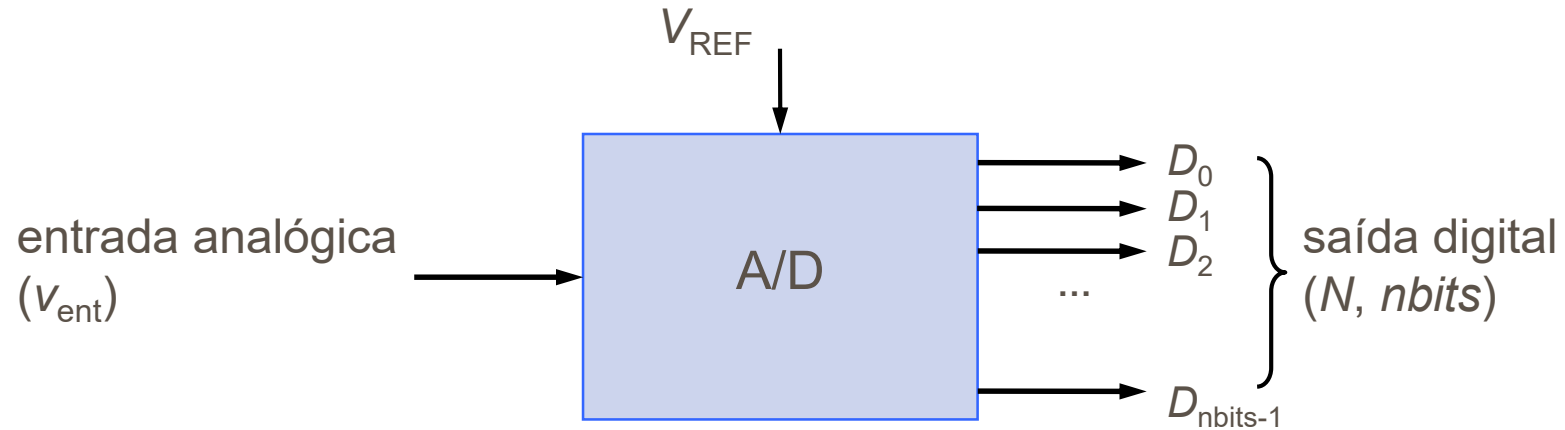
(d) Saída não-monotónica (a cor)

## ■ Características de desempenho de conversores D/A

- *Settling time*. É o tempo que a saída do D/A demora a estabilizar dentro de uma gama correspondente a  $\pm 1/2$  do LSB quando ocorre uma alteração na entrada (figura 4.148).



## ■ Conversão analógico → digital

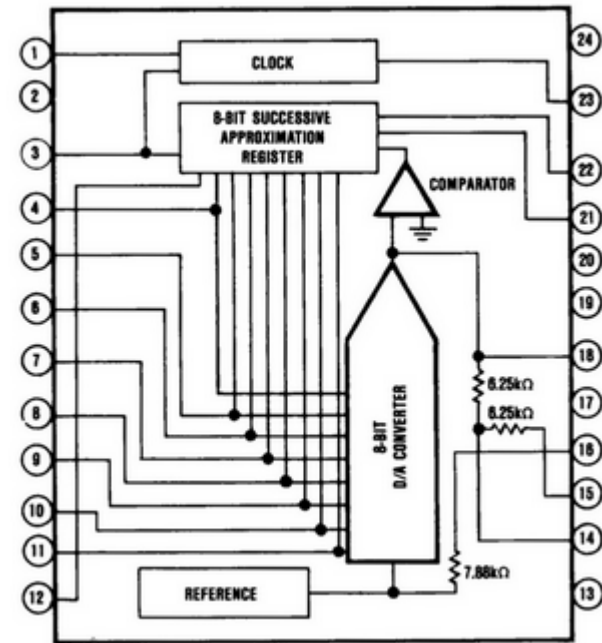


Conversor analógico-digital

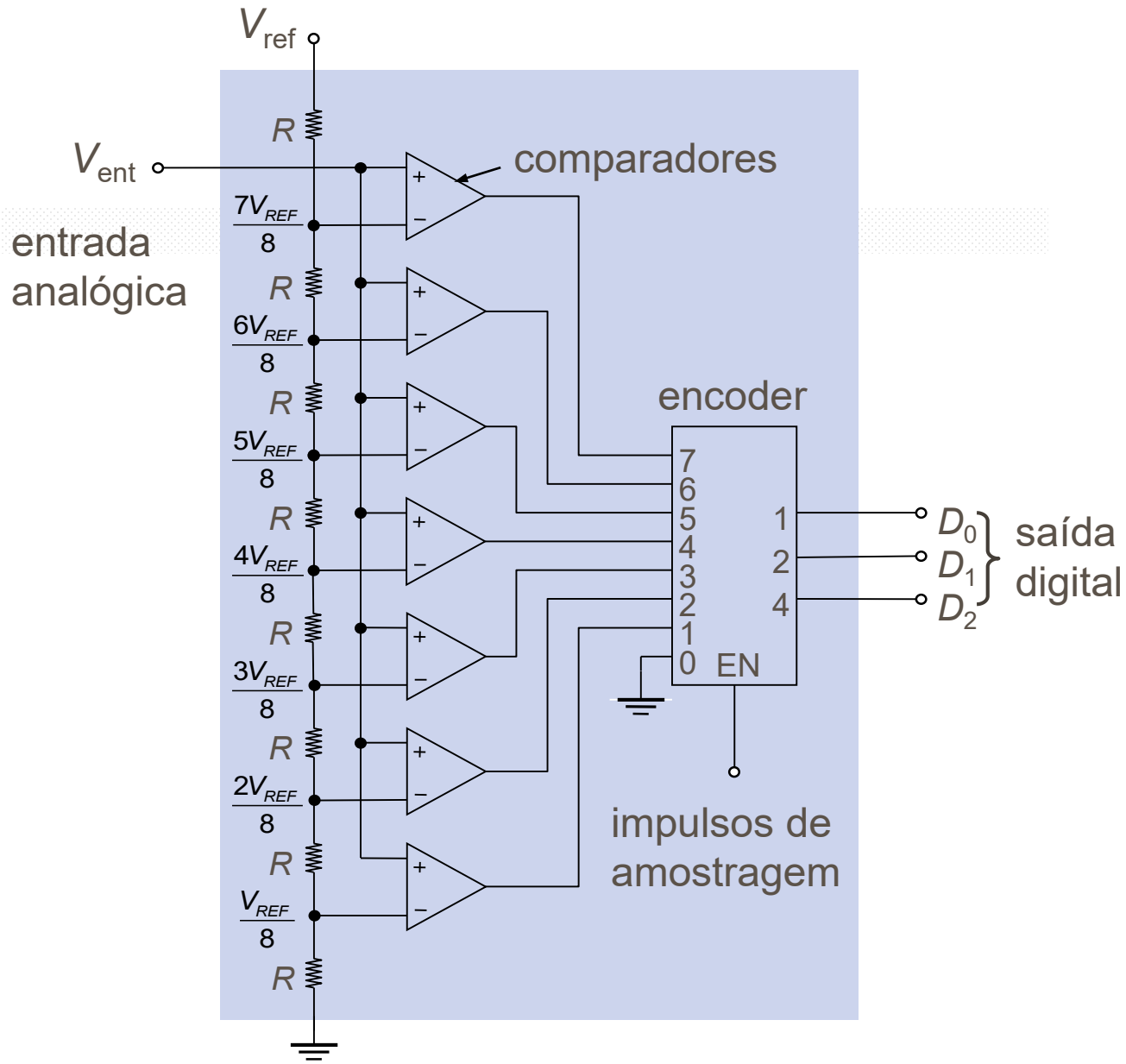
$$N = INT \left( \frac{2^{nbits} - 1}{V_{REF}} \cdot V_{ent} \right)$$



# Outros Componentes e Subsistemas



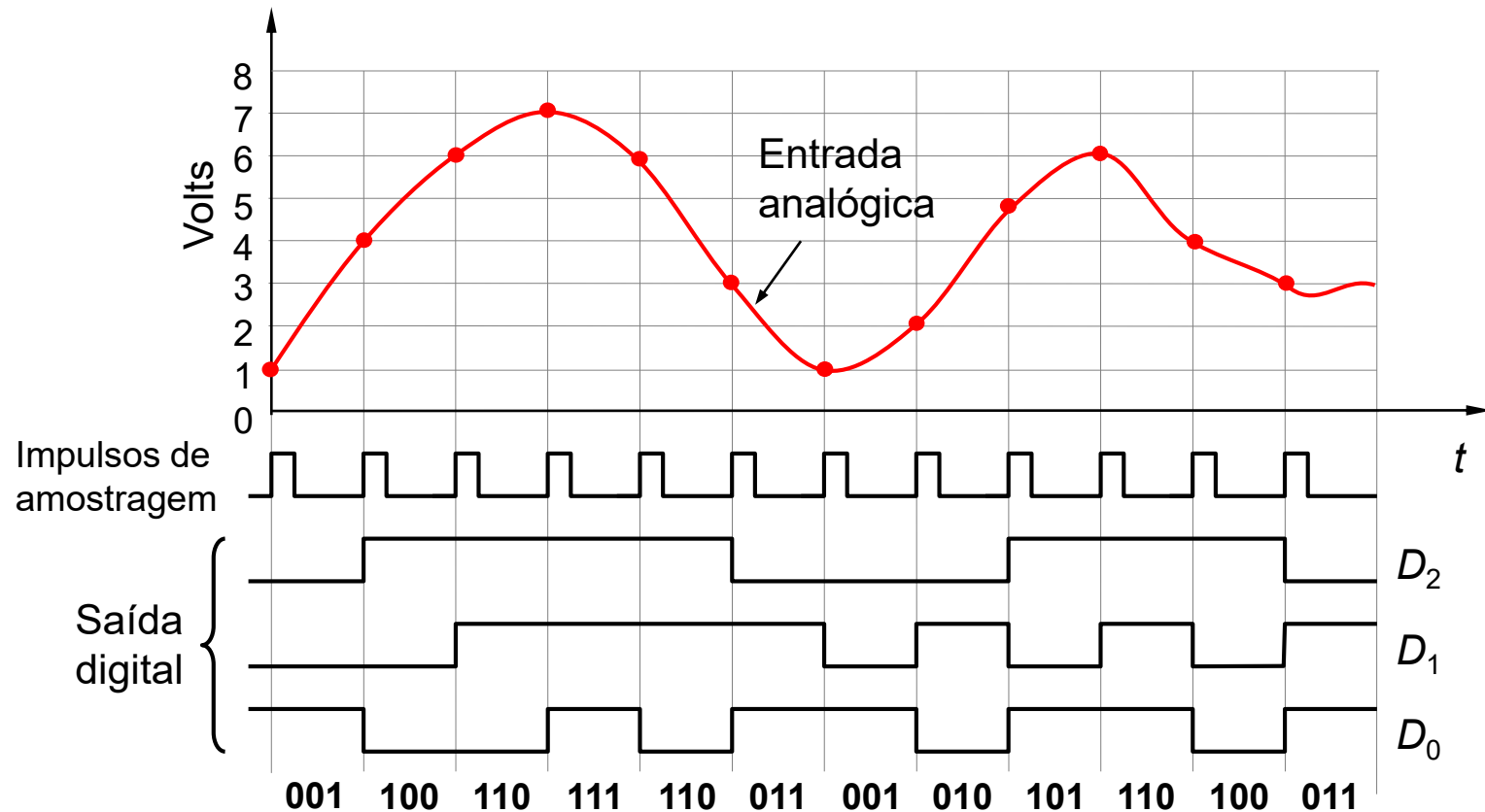
Conversor analógico-digital (ADC) de 8 bits



Conversor analógico-digital “flash” de 3 bits

# Outros Componentes e Subsistemas

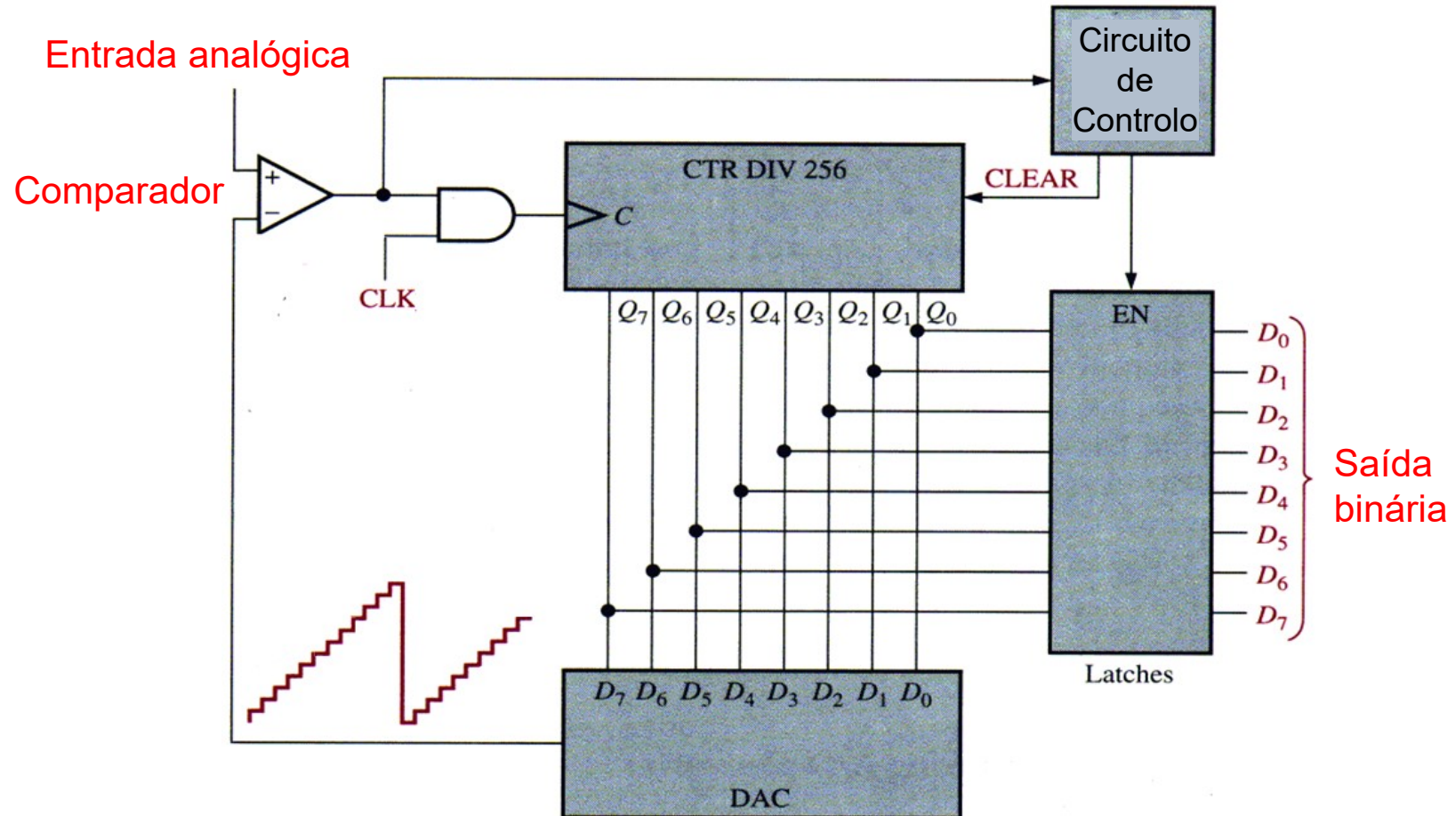
## ■ Conversão analógico → digital



Conversor analógico-digital “flash” – formas de onda

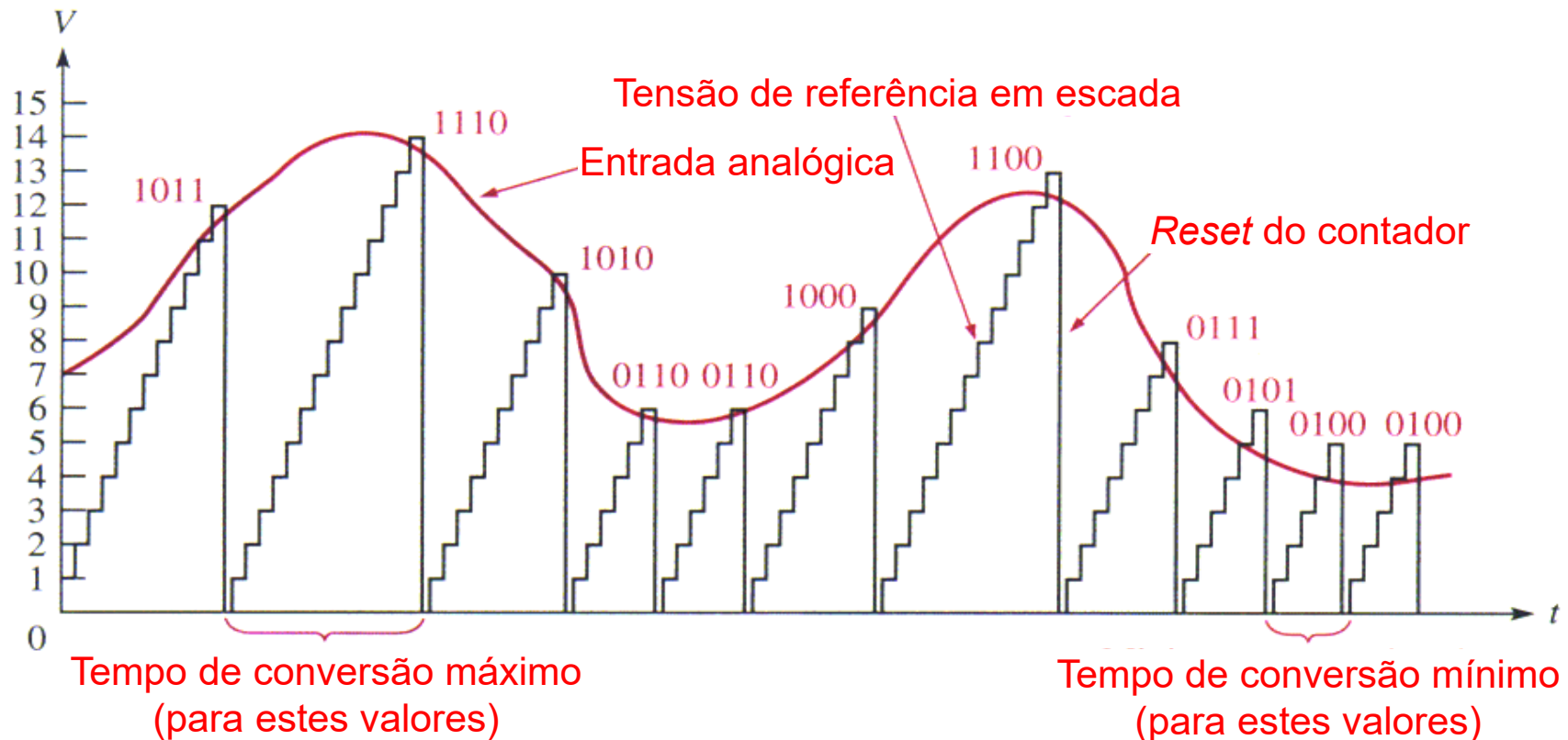
# Outros Componentes e Subsistemas

## ■ Conversão analógico → digital



Conversor A/D de rampa digital

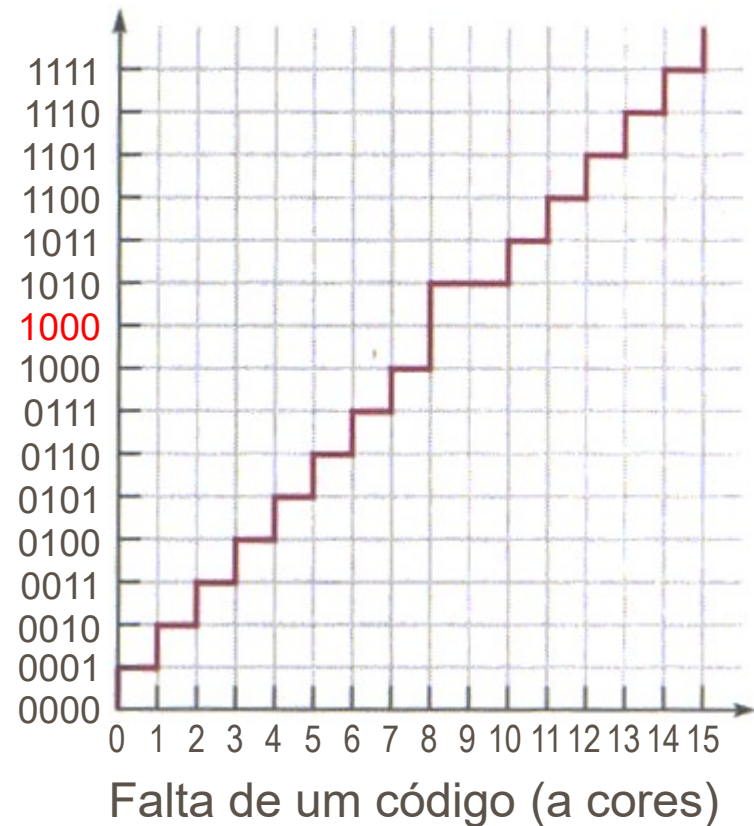
## ■ Conversão analógico → digital



Conversor A/D de rampa digital – formas de onda

## ■ Características de desempenho de conversores A/D

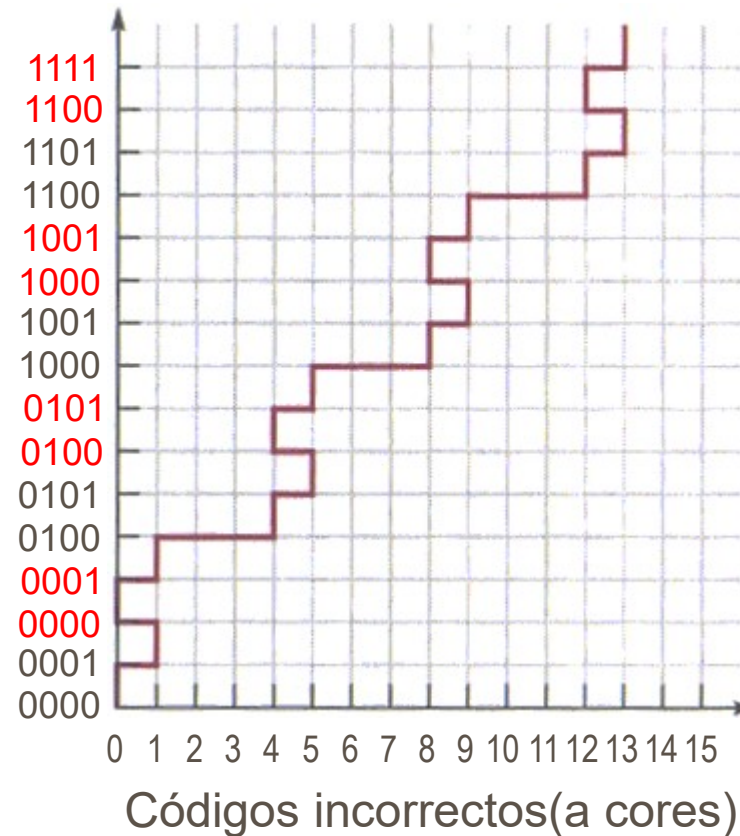
- Muitas das características de desempenho dos conversores A/D (resolução, precisão, linearidade, ...) são especificadas de forma idêntica às dos conversores D/A (basta inverter as referências às entradas e saídas)
- **Falta de um código**



# Outros Componentes e Subsistemas

## ■ Características de desempenho de conversores A/D

### ■ Códigos incorrectos



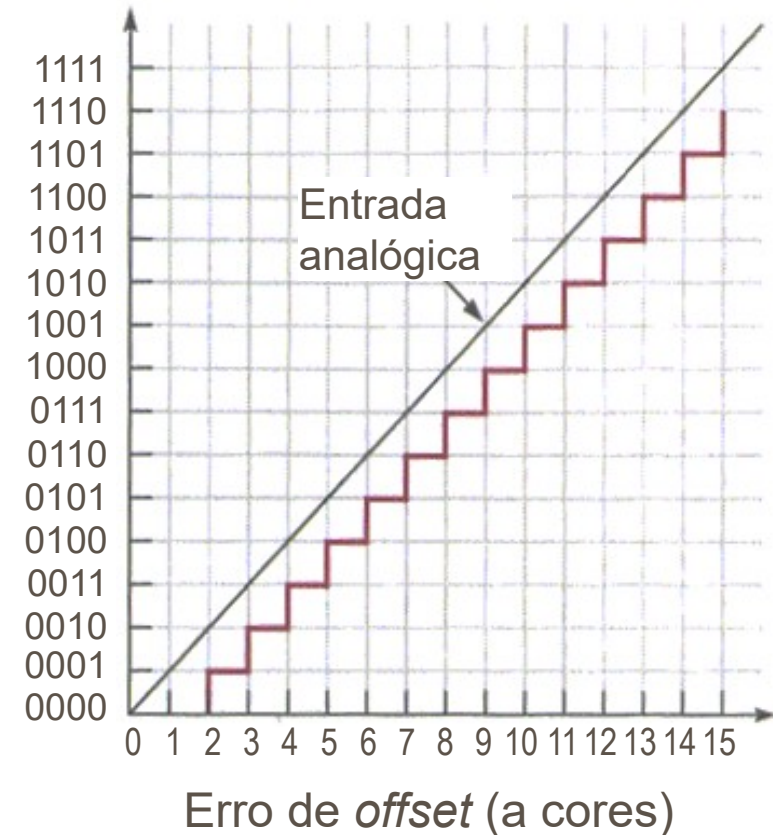


## ■ Características de desempenho de conversores A/D

### ■ Erro de *offset*

- **Tempo de conversão.** É o tempo ( $t_c$ ) necessário para converter para binário uma amostra do sinal de entrada. Note-se que a frequência de amostragem ( $f_s$ ) deverá ser sempre,

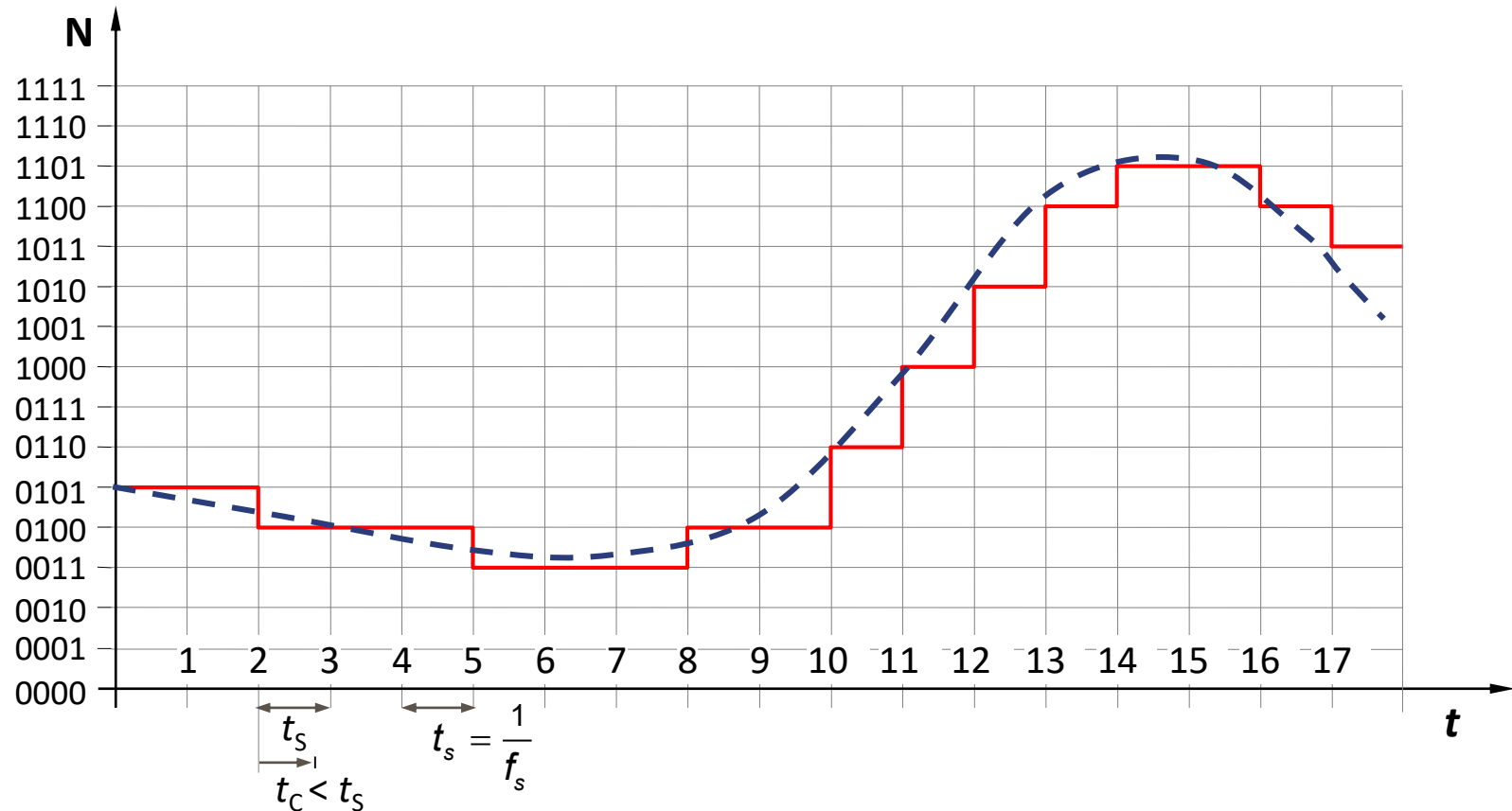
$$f_s \leq \frac{1}{t_c}$$





## ■ Características de desempenho de conversores A/D

### ■ *Tempo de conversão.*



40 MS/s

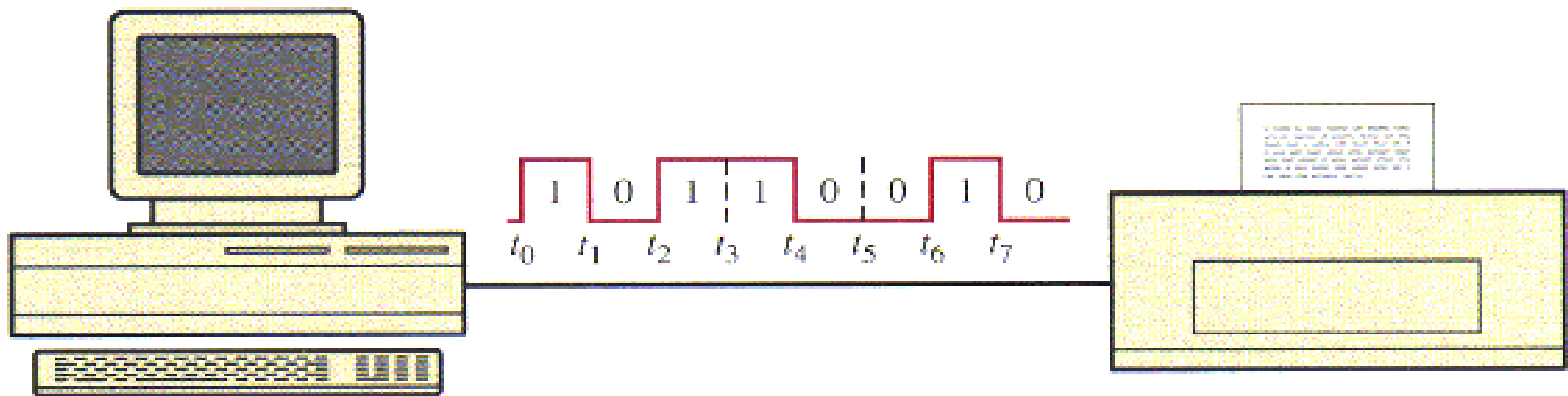


Placa de aquisição de dados (DAQ)  
de 4 canais (A/D) para barramento PCI Express



Placa de aquisição de dados para ligação  
à porta USB do PC

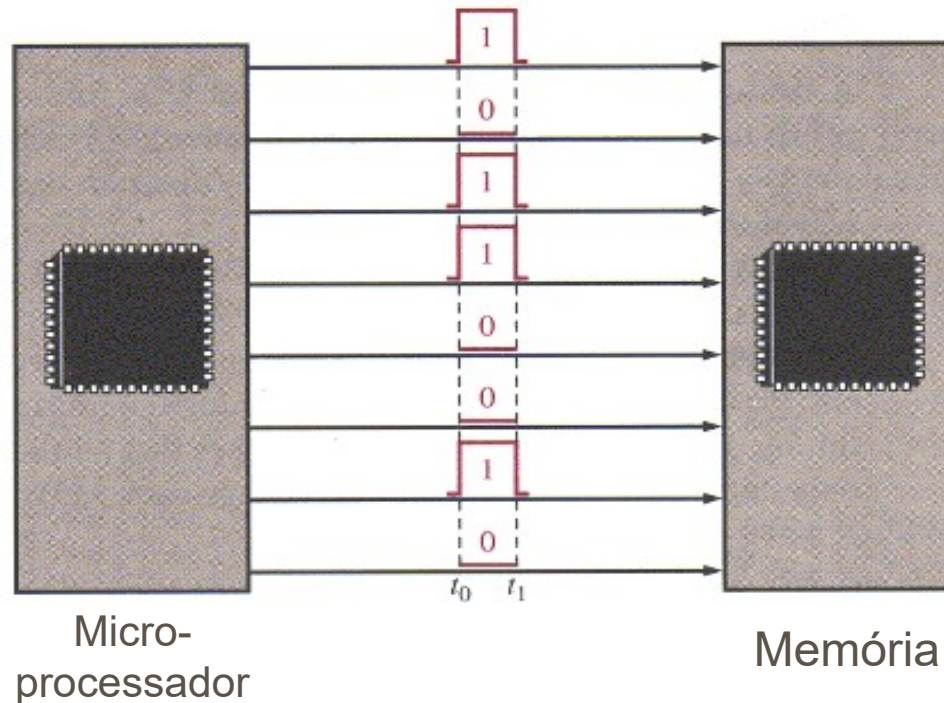
## ■ Conversão série $\leftrightarrow$ paralelo



(Transferência de dados binários em série do computador para a impressora)

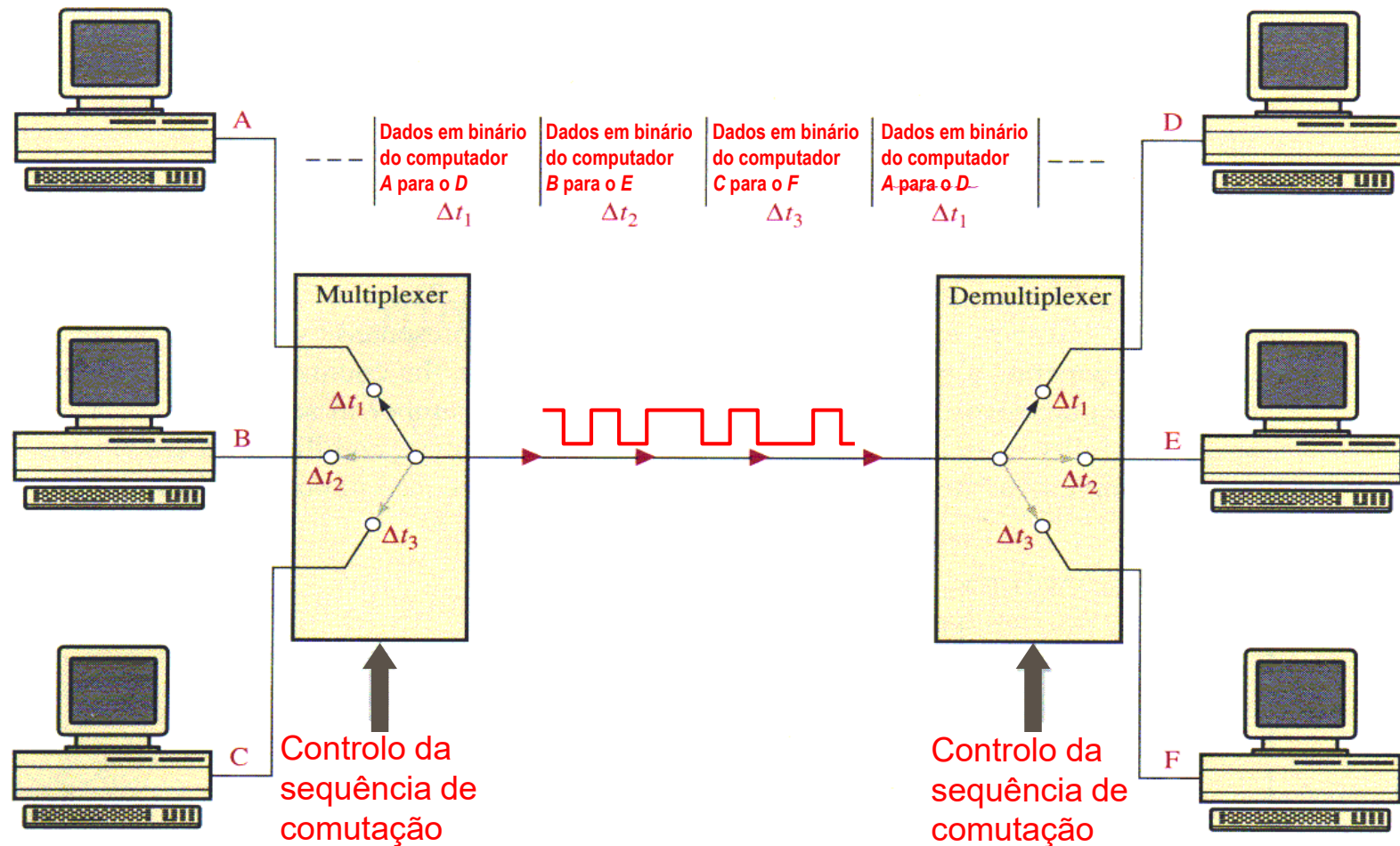
# Outros Componentes e Subsistemas

## ■ Transmissão de dados em paralelo

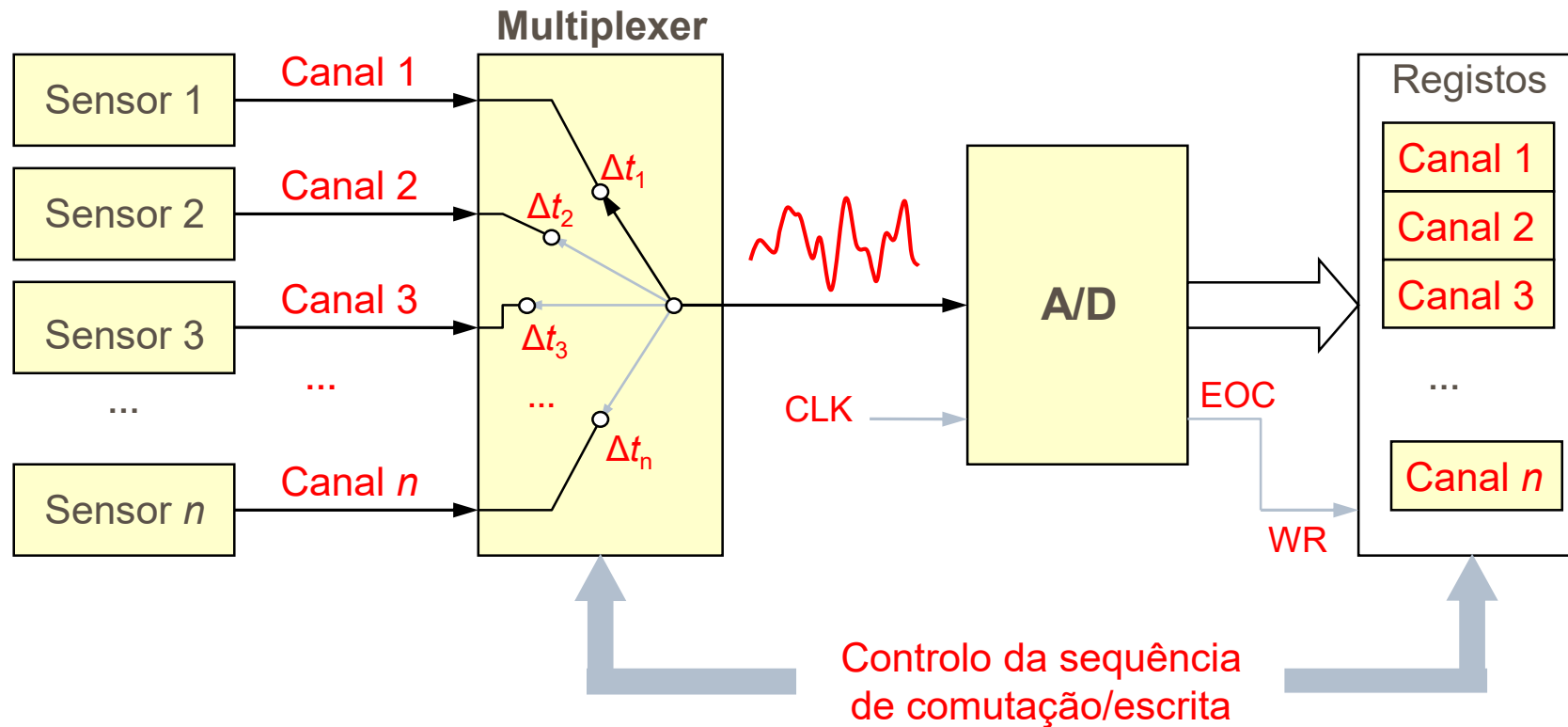


Transferência de dados binários em paralelo do microprocessador para a memória

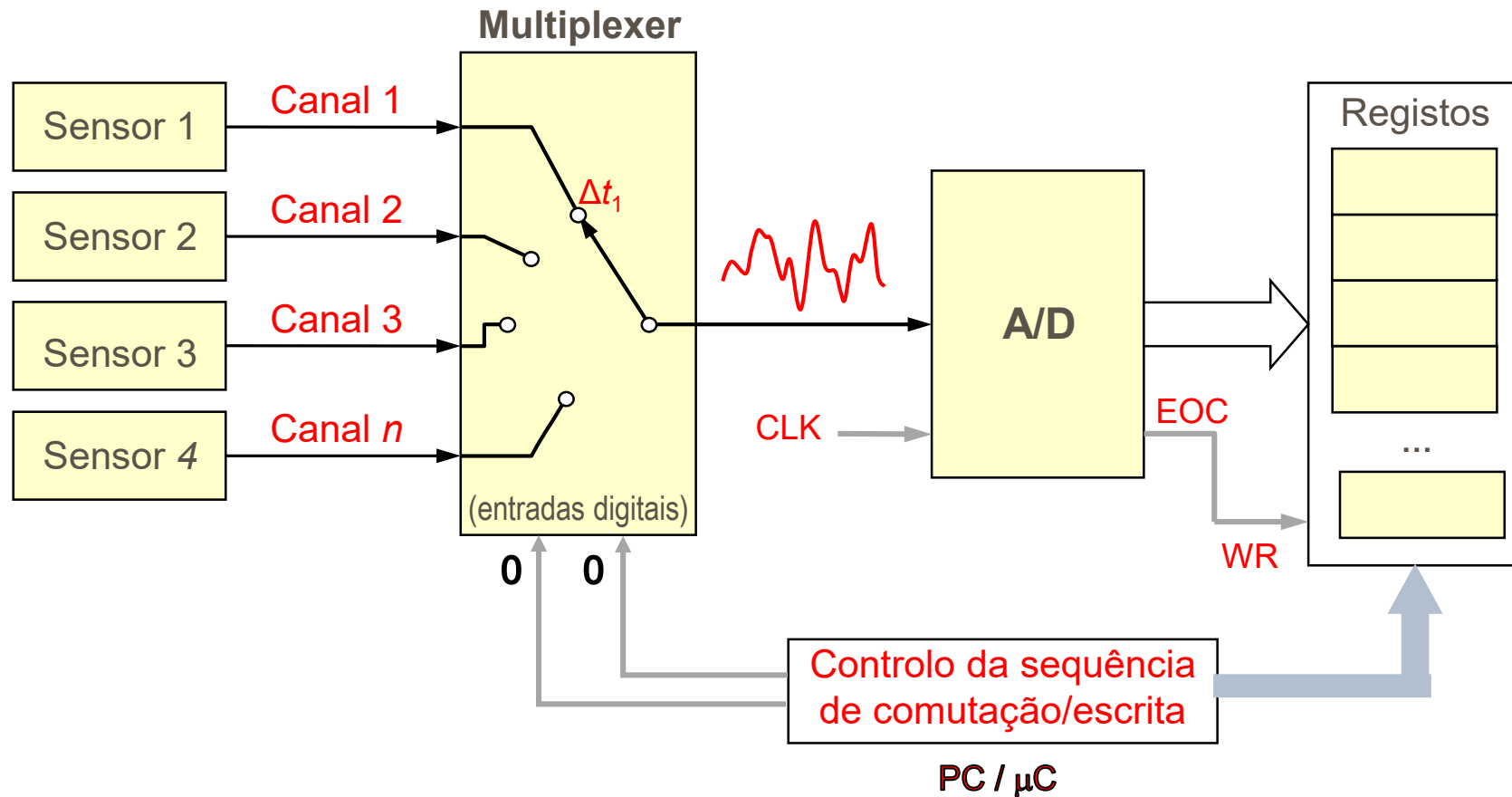
## ■ Multiplexers digitais



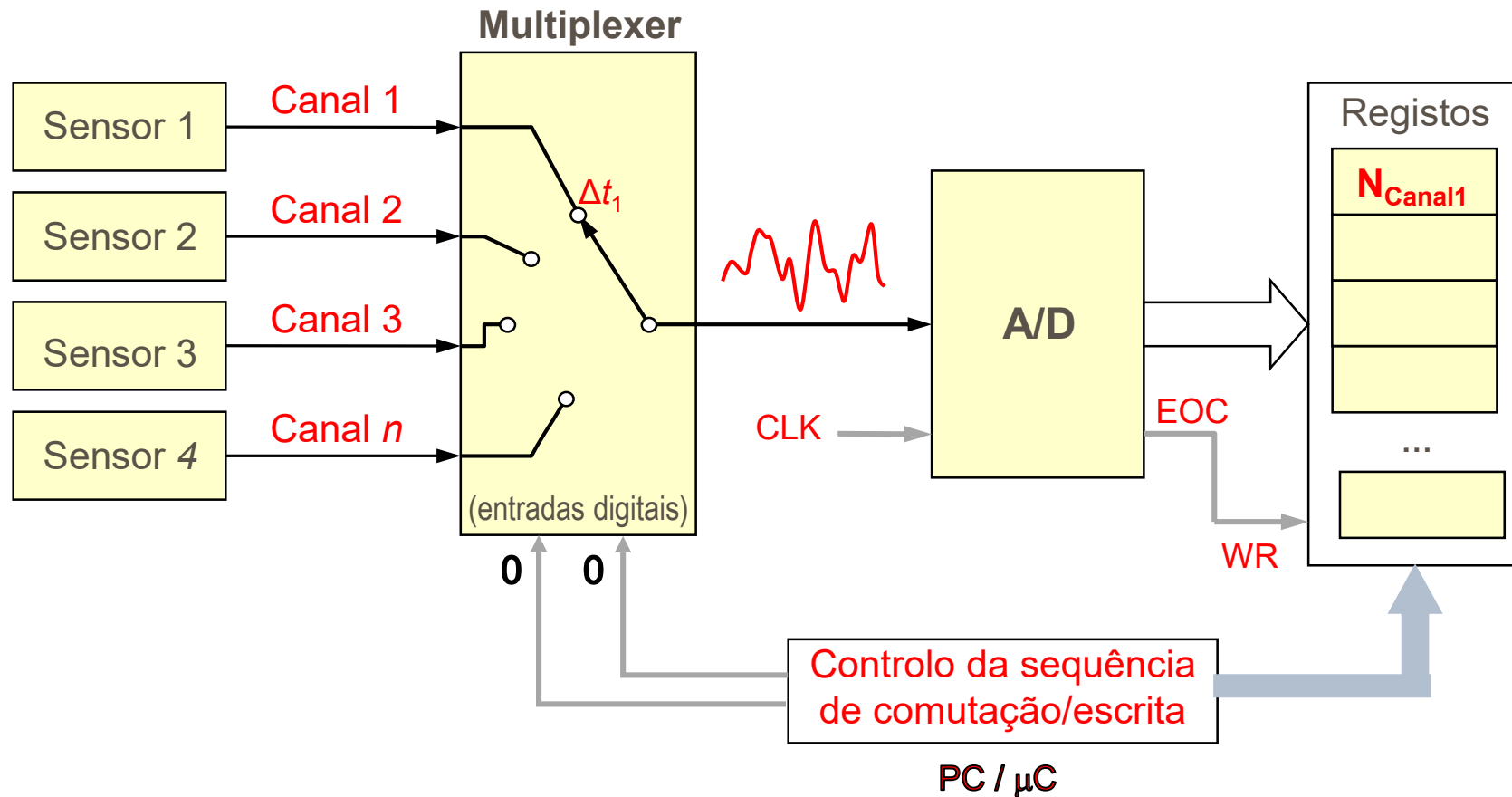
## ■ Multiplexers analógicos



## ■ Multiplexers analógicos

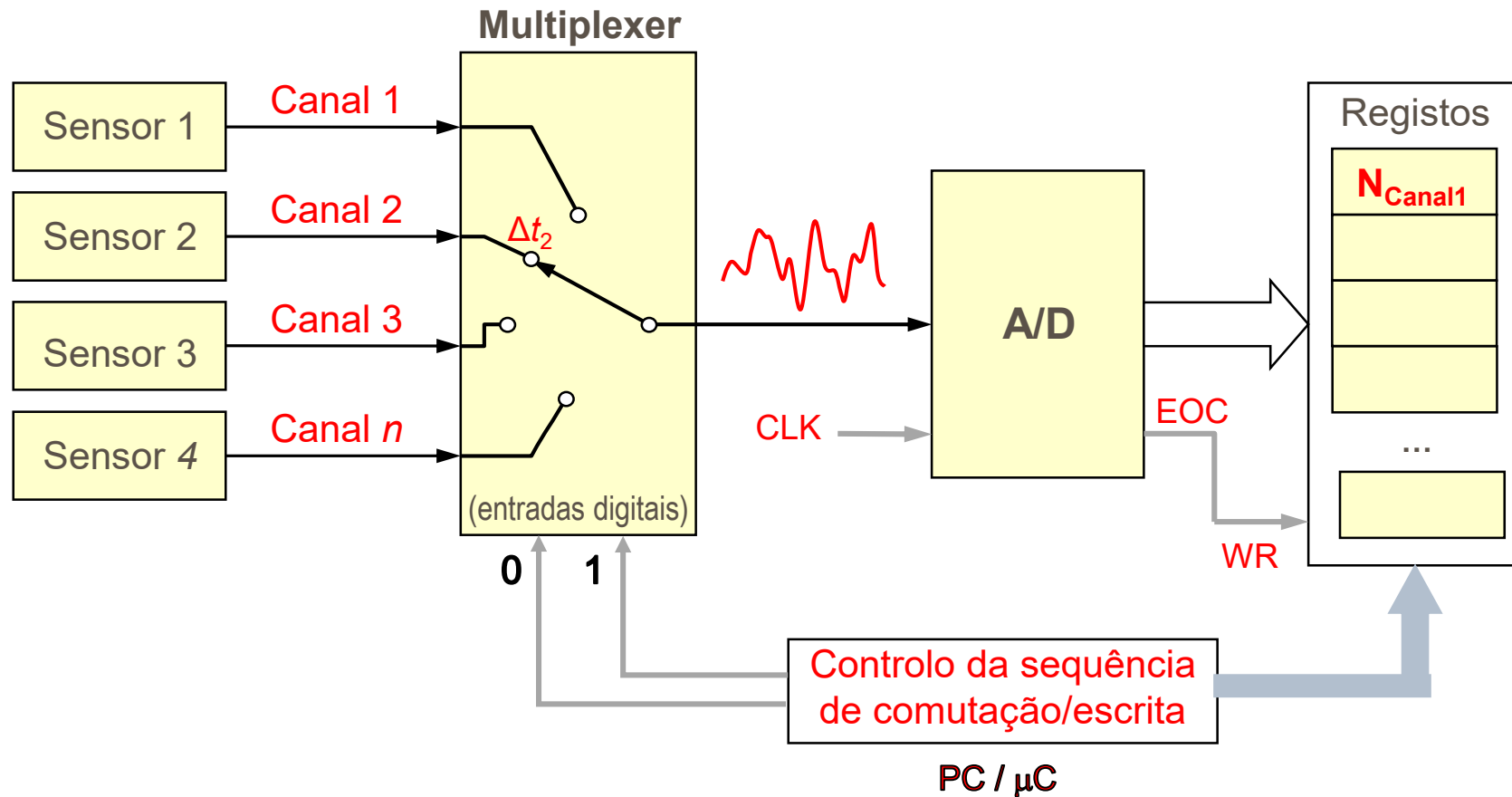


## ■ Multiplexers analógicos

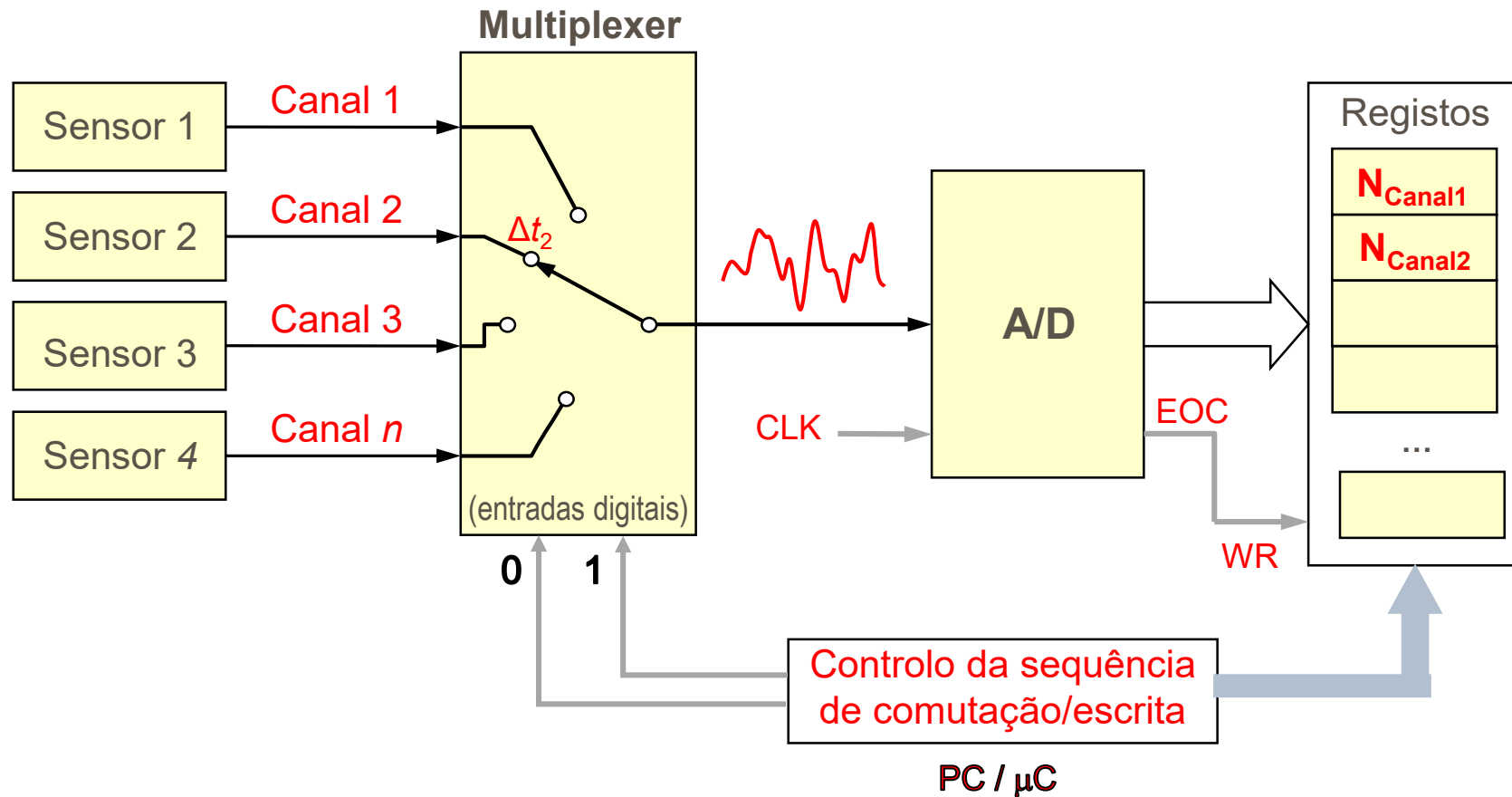




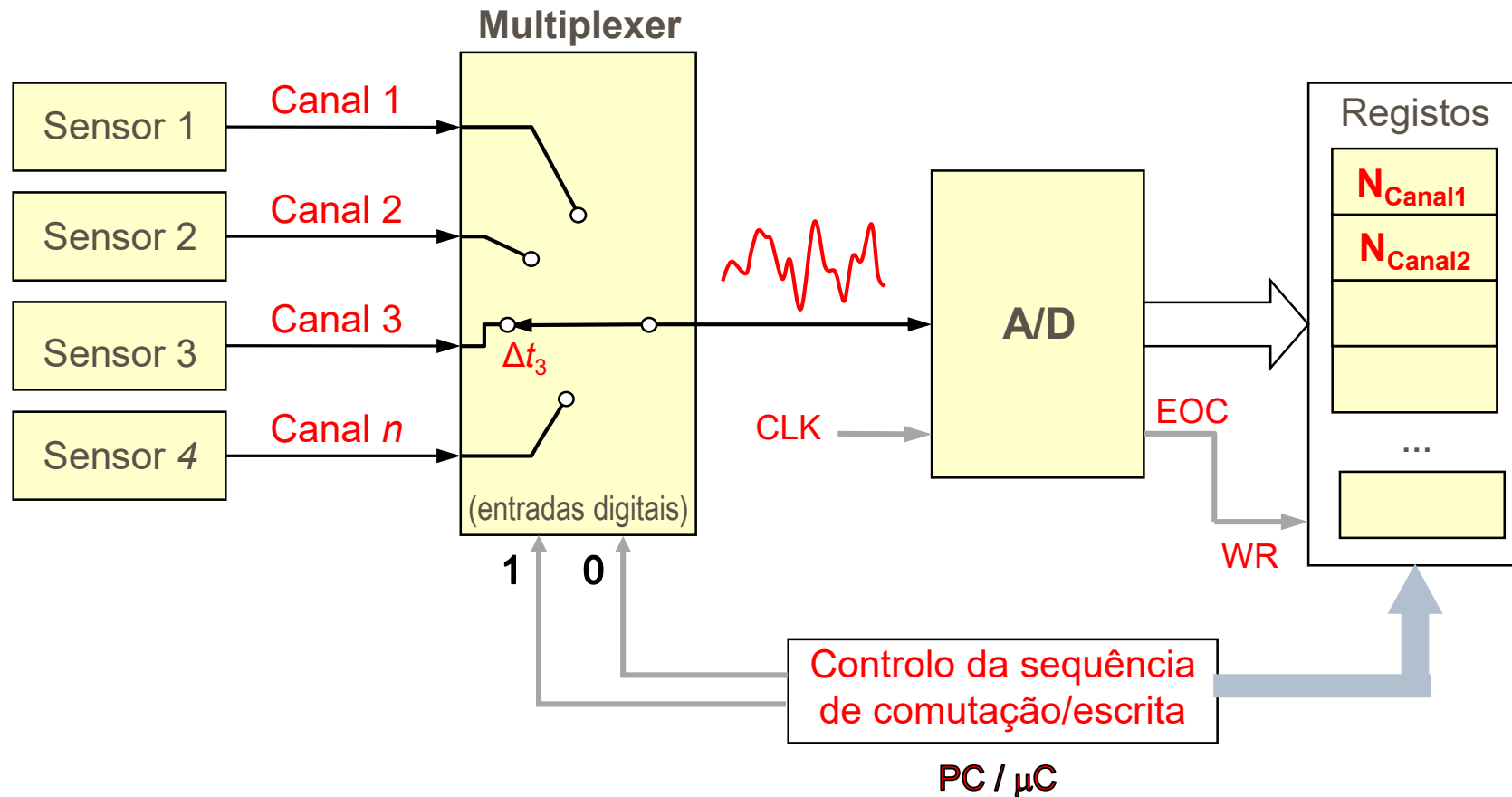
## ■ Multiplexers analógicos



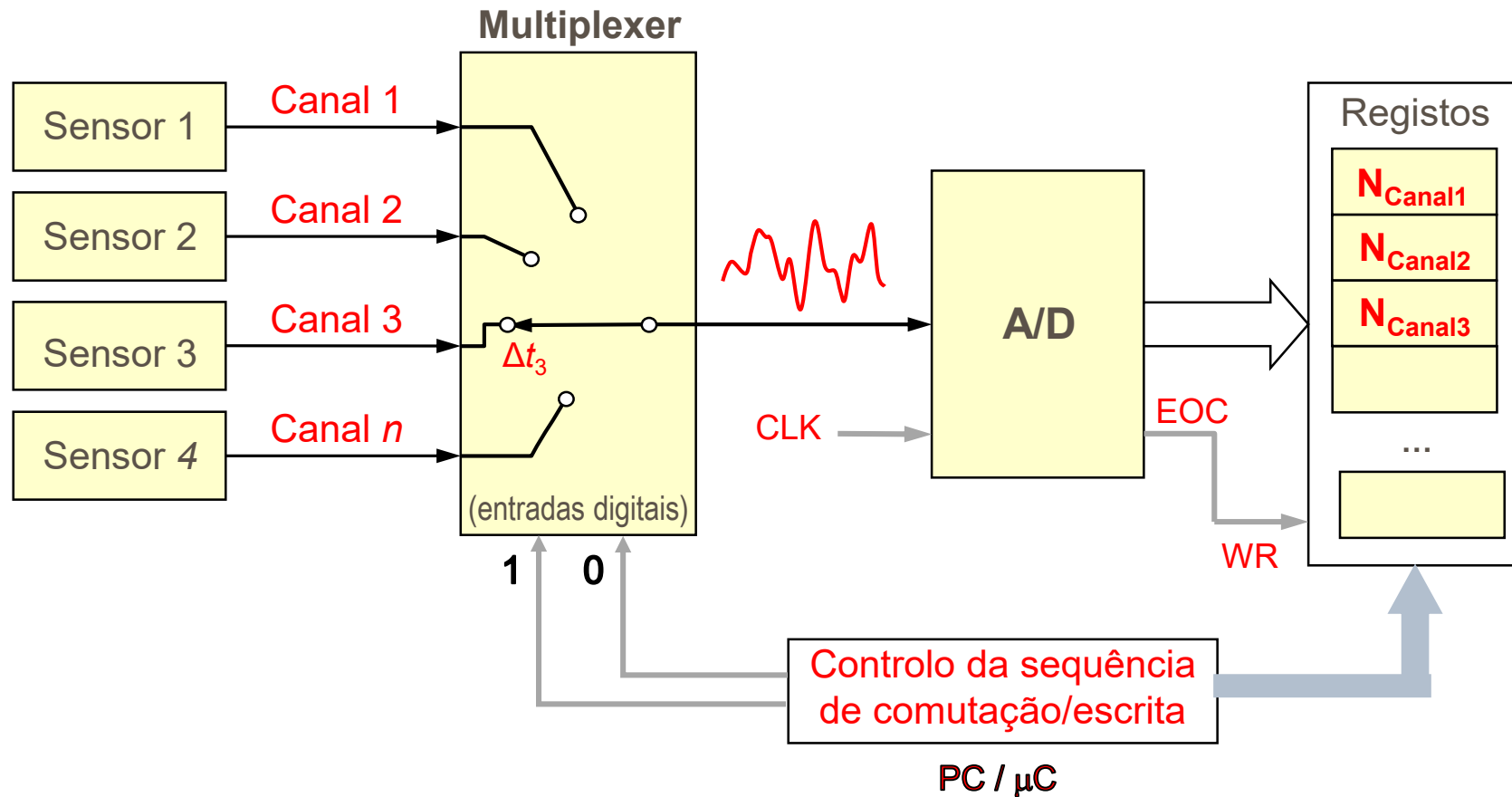
## ■ Multiplexers analógicos



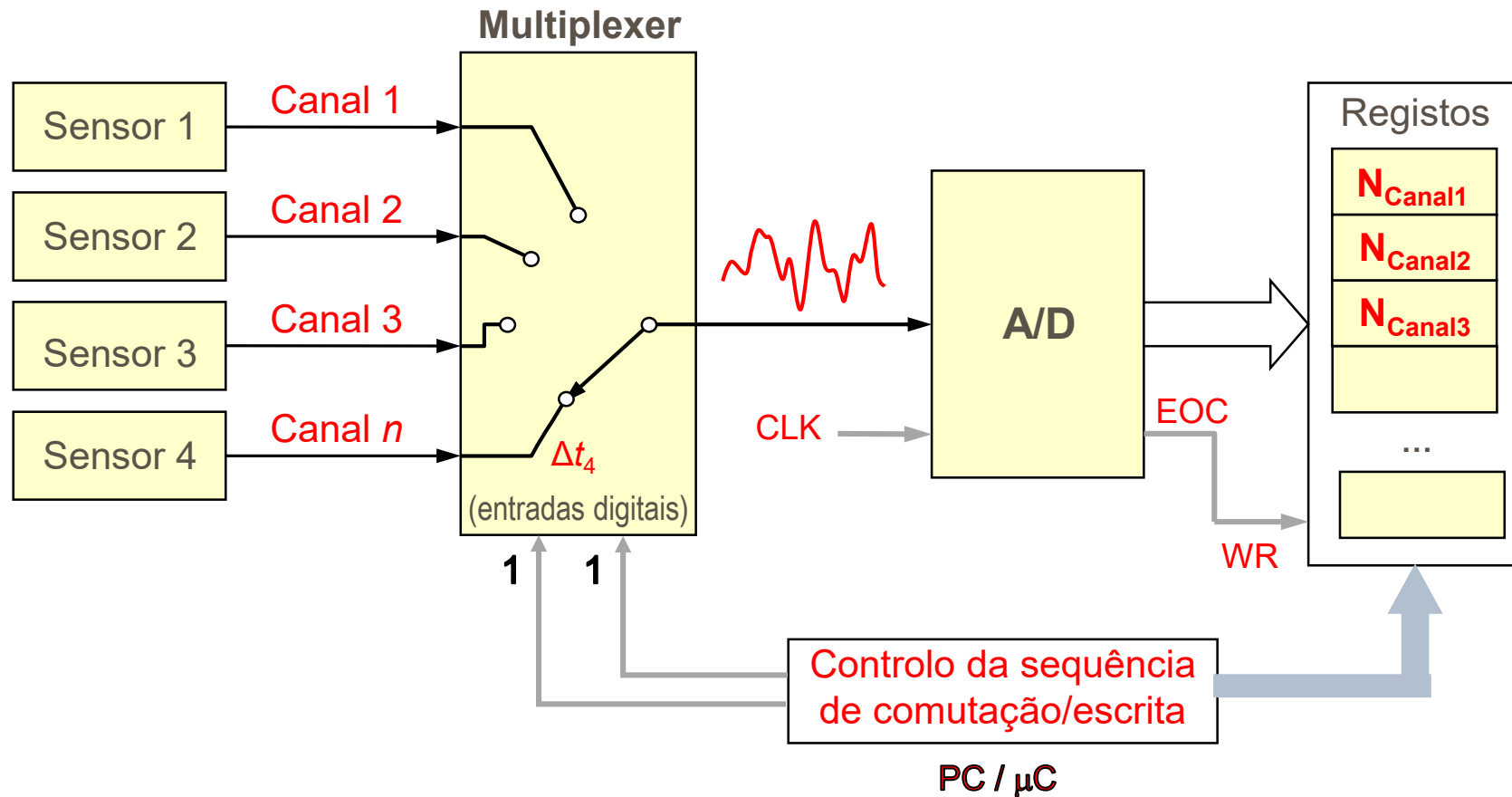
## ■ Multiplexers analógicos



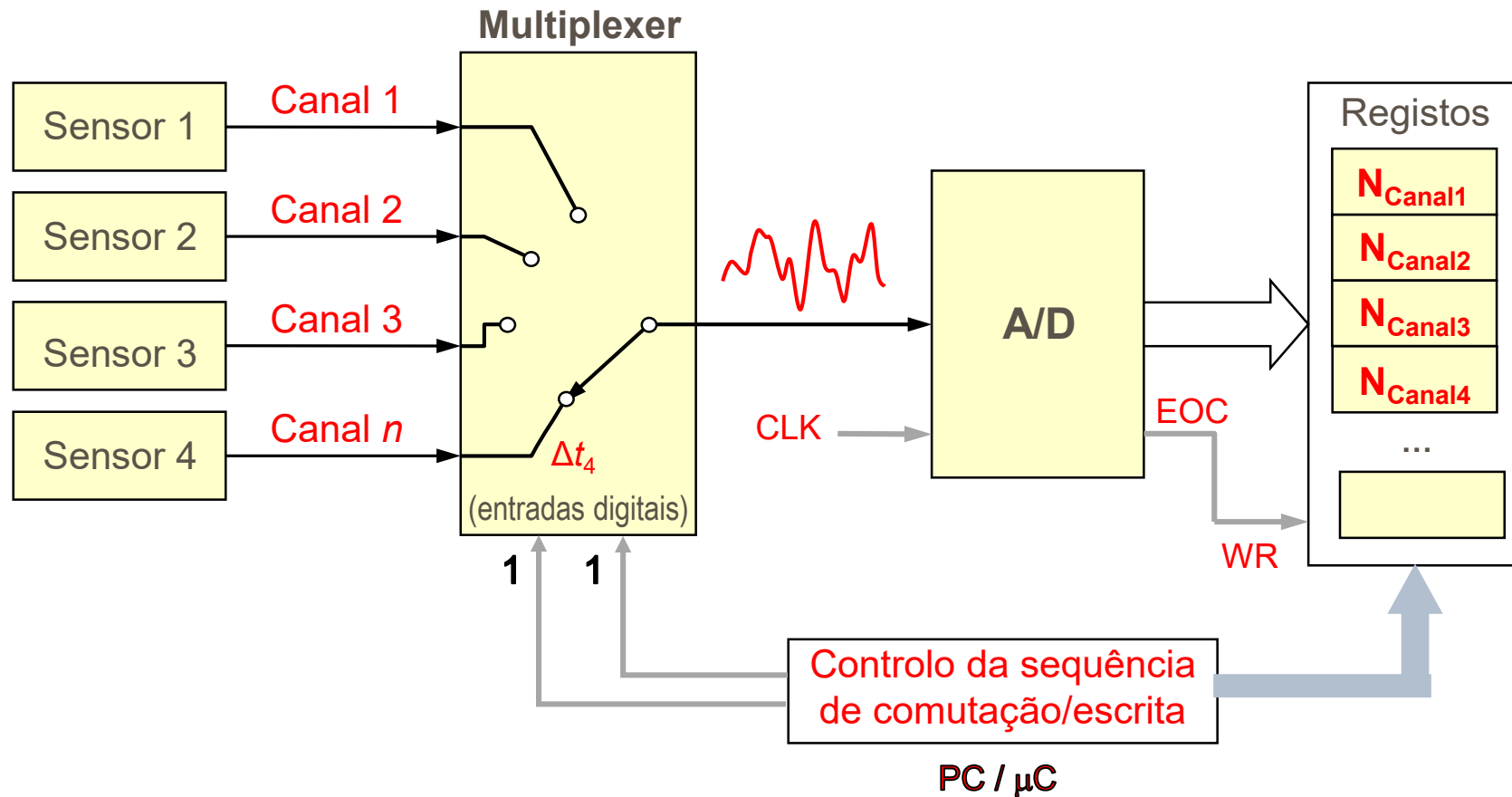
## ■ Multiplexers analógicos



## ■ Multiplexers analógicos



## ■ Multiplexers analógicos



# Outros Componentes e Subsistemas

## ■ Sistemas de aquisição de dados



<https://www.medicaexpo.com/pt/prod/adinstruments/product-115176-768691.html>



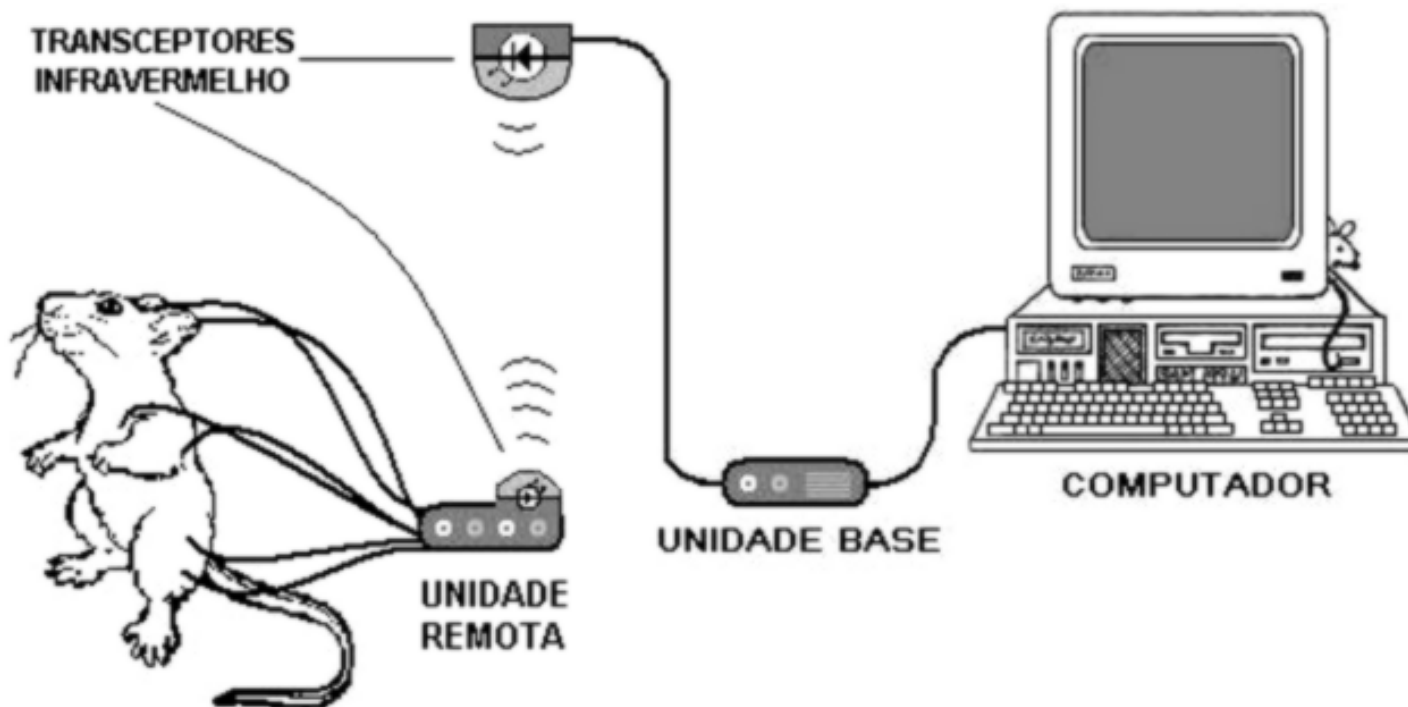
<https://www.hbm.com/pt/2261/mgcplus-sistema-de-aquisicao-de-dados-daq/>



<https://www.hbm.com/pt/5502/sistemas-de-aquisicao-de-dados-instrumentos/>

# Outros Componentes e Subsistemas

## ■ Sistemas de aquisição de dados



Giassi-Junior, P. & Leite, J. & Pederiva, C. & Sovierzoski, M. & Hoeller, Alexandre & Santos, F. & Schwarz, Leandro & Marino-Neto, José. (2020). Etofisiógrafo: Um Sistema Telemétrico para o Registro Sincronizado de Variáveis Fisiológicas e Comportamentais.



## ■ Sistemas de aquisição de dados



<https://portuguese.alibaba.com/product-detail/gsm-modem-rs485-modbus-i-o-module-bts-data-acquisition-system-s273-60501416858.html>

