

# Processamento Digital de Sinais

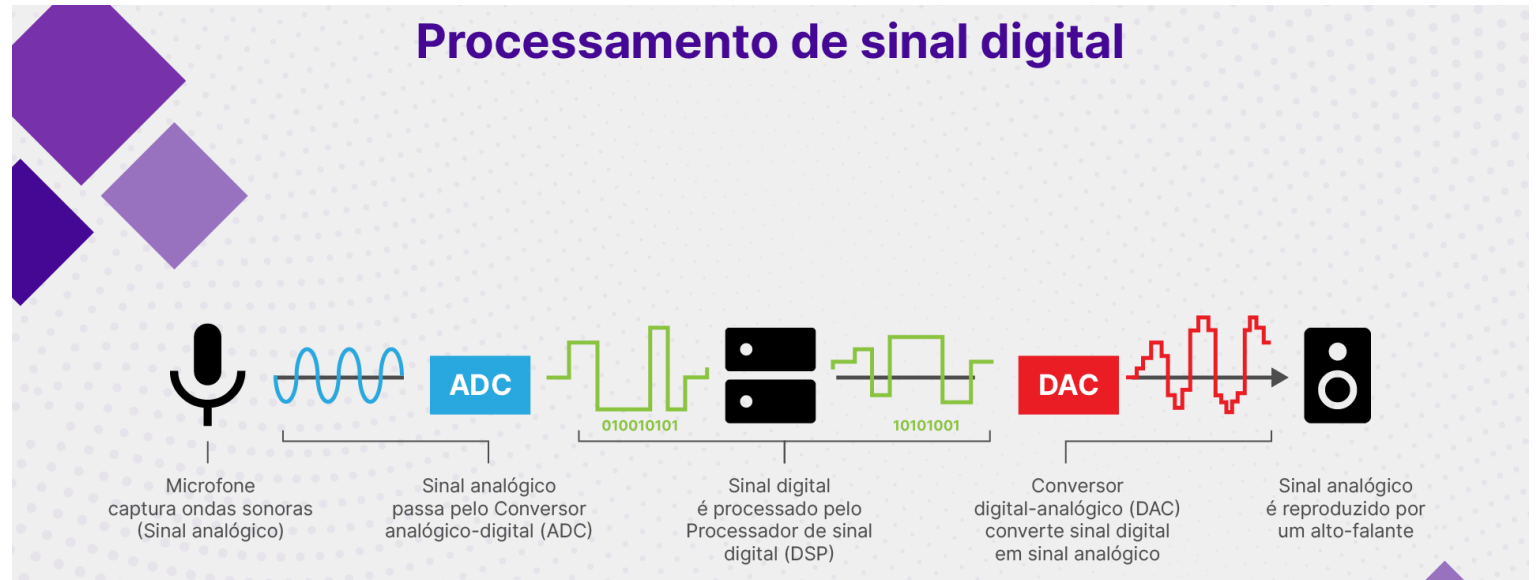
---

# Definição

O Processamento Digital de Sinais (DSP) é a técnica de manipular sinais digitais usando algoritmos matemáticos para melhorar, analisar ou extrair informações.

Em vez de trabalhar diretamente com sinais analógicos, o DSP converte sinais para o formato digital usando amostragem e quantização, e então aplica transformações e filtrações para atingir objetivos específicos.

Todo sinal carrega algum tipo de informação e o objetivo do processamento do sinal é extrair ou modificar a informação contida no sinal.



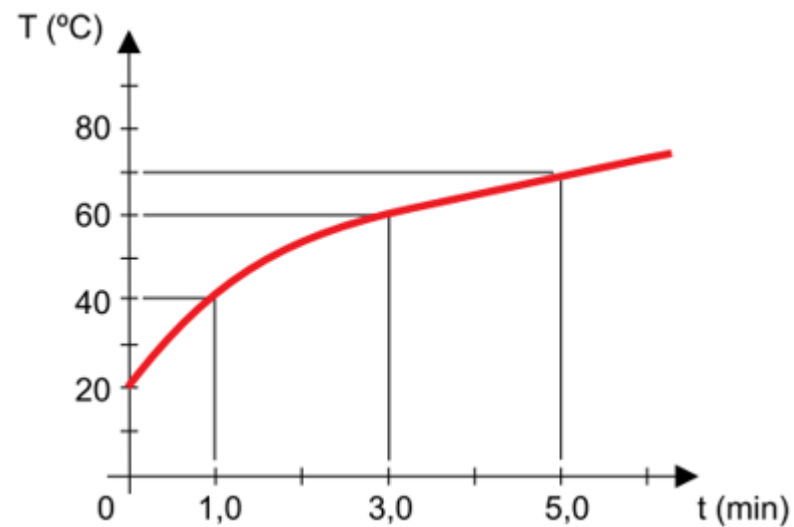
---



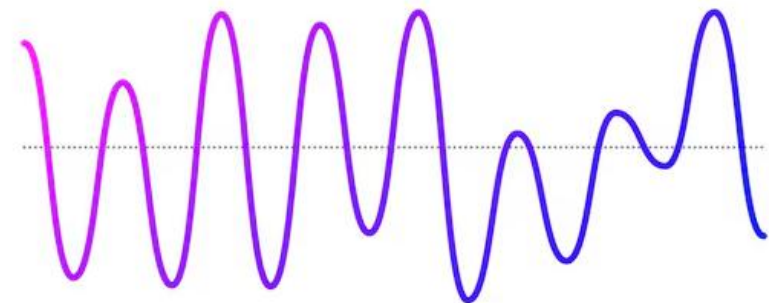
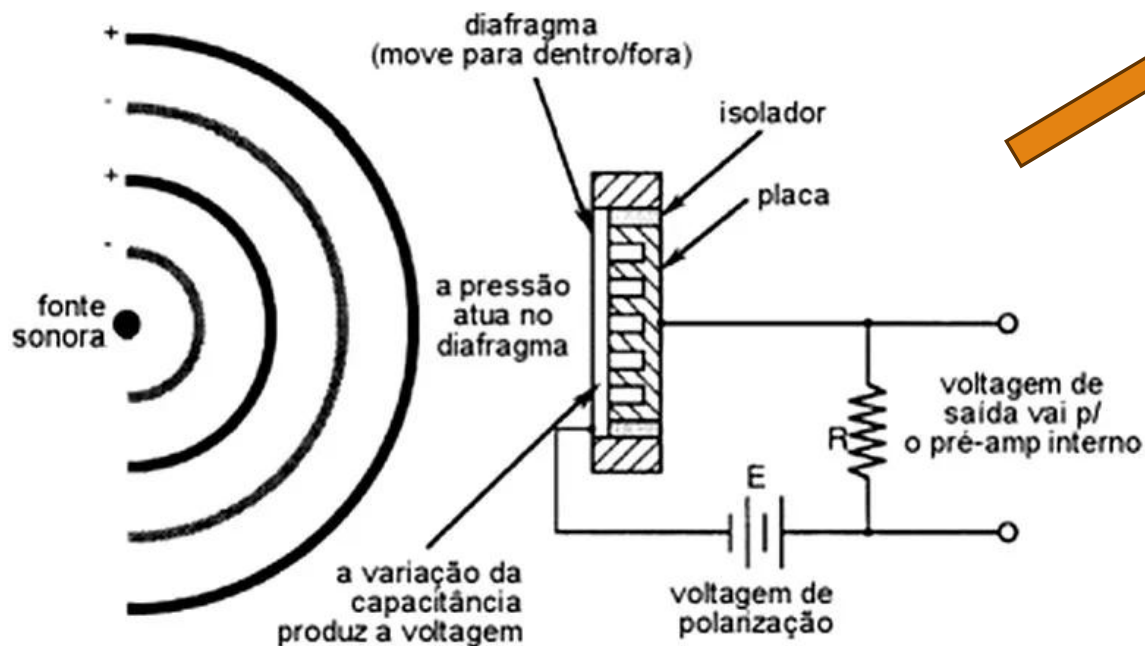
**EXAMPLE**

---

As grandezas físicas com que lidamos, como temperatura, pressão, velocidade, luminosidade, etc., são grandezas analógicas.



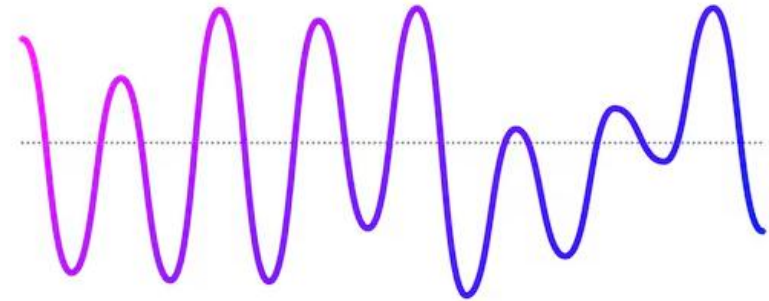
Para trabalharmos com essas grandezas nos sistemas microcontrolados esses sinais analógicos precisam ser convertidos para sinais digitais.



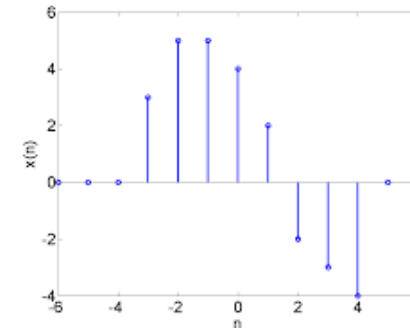
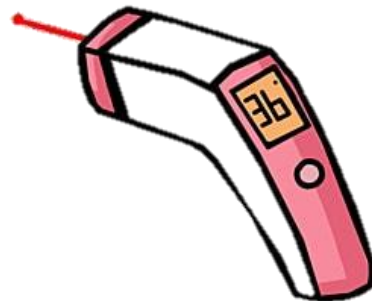
Aplicações que utilizam processamento digital de sinais, o sinal original de interesse a ser processado representa a manifestação de algum parâmetro externo (temperatura, pressão, luminosidade, etc.), que é convertido através de um transdutor (termopar, sensor de pressão, etc.) em uma tensão elétrica que varia continuamente – “sinal analógico”.

# Classificação de Sinais

- ❖ Sinais contínuos são aqueles que estão definidos para todos os valores possíveis da variável independente.



- ❖ Sinais discretos são aqueles cuja amplitude é especificada apenas para determinados valores da variável independente.



# Sinais Analógicos e Digitais

---

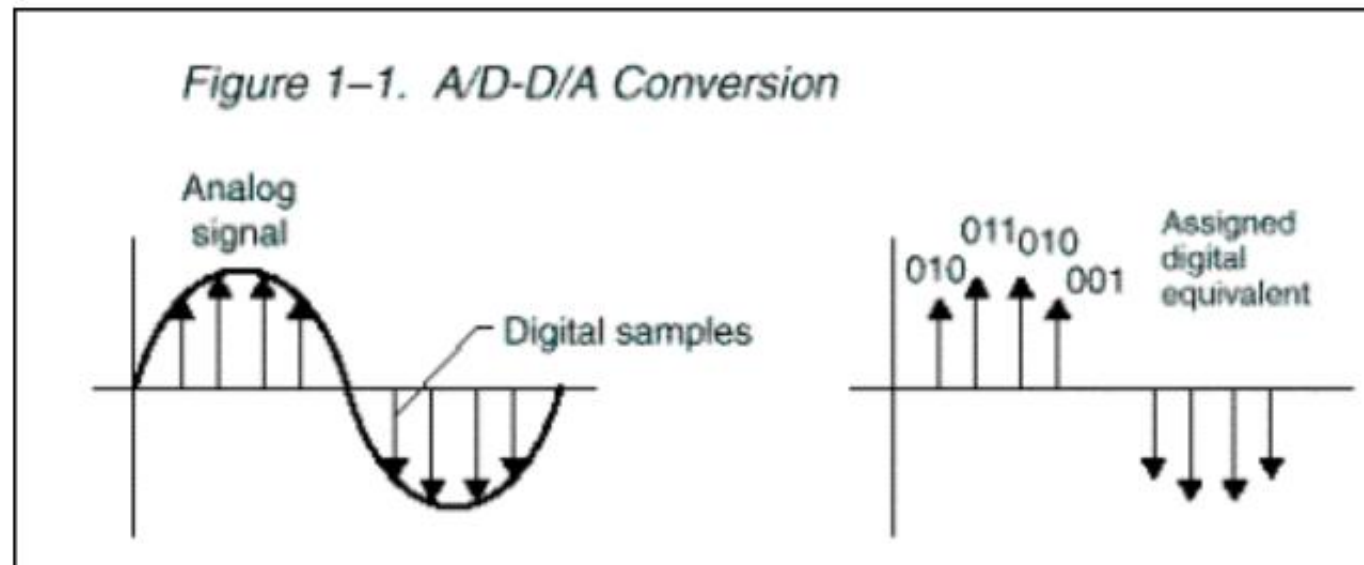
**Sinais analógicos de tempo contínuo:** são definidos ao longo de todos os instantes de tempo e podem assumir qualquer valor (variável independente).

**Sinais analógicos de tempo discreto:** são definidos em instantes discretos de tempo, mas as amplitudes podem assumir qualquer valor real.

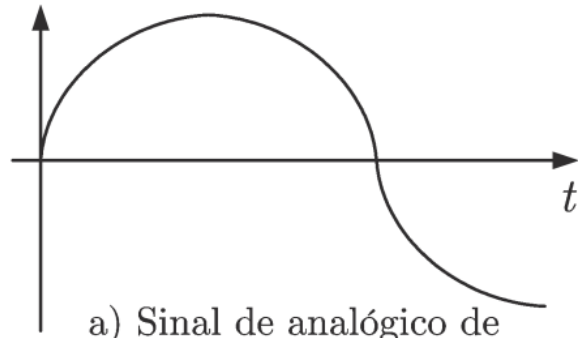
**Sinais digitais de tempo contínuo:** são definidos em todos os instantes no tempo, mas podem assumir apenas alguns valores discretos pré-definidos.

**Sinais digitais de tempo discreto:** são aqueles que tanto o tempo como a amplitude são discretos.

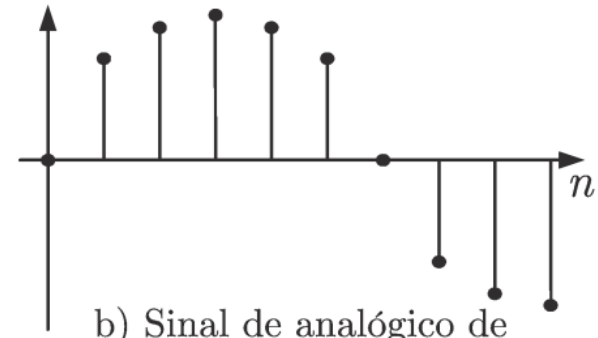
No processo para se obter um sinal digital, se aquisiata um **número finito de amostras** no tempo do sinal analógico (discretização no tempo) e efetua uma **quantização** das amplitudes dessas amostras representando elas por um número finito de bits (processo de digitalização).



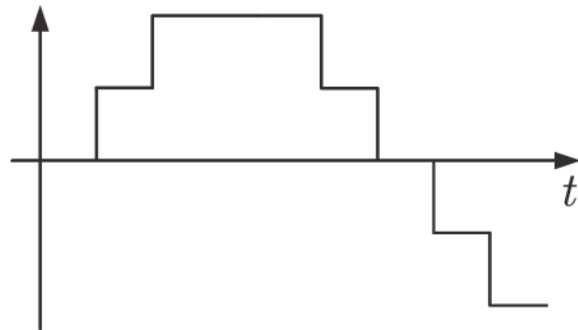




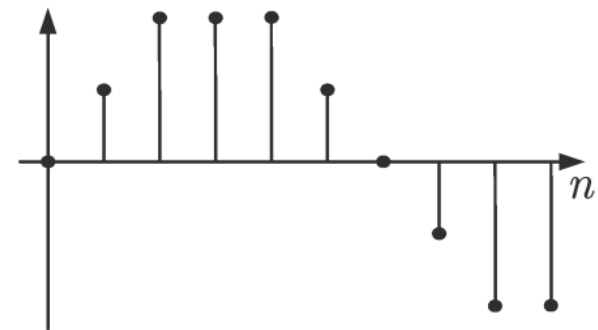
a) Sinal de analógico de tempo contínuo



b) Sinal de analógico de tempo discreto



c) Sinal digital de tempo contínuo

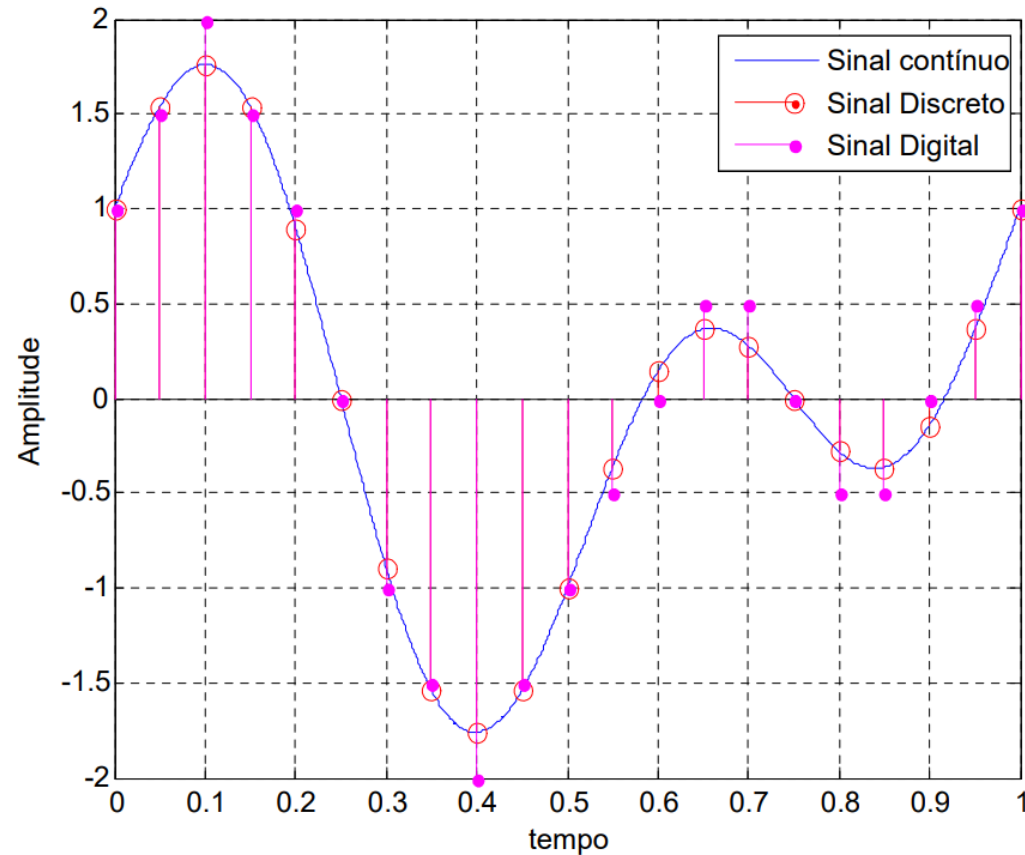


d) Sinal digital de tempo discreto

# Representação de Sinais

Normalmente os sinais unidimensionais são funções do tempo. Sua representação matemática é dada por:

- $f(t)$  para o caso contínuo.
- $f[n]$  para o caso discreto, onde  $n$  é um número inteiro.



Sinais de tempo discreto são matematicamente definidos como sequência de números.

$$x = \{x[n]\}, \quad -\infty < n < \infty \quad (1)$$

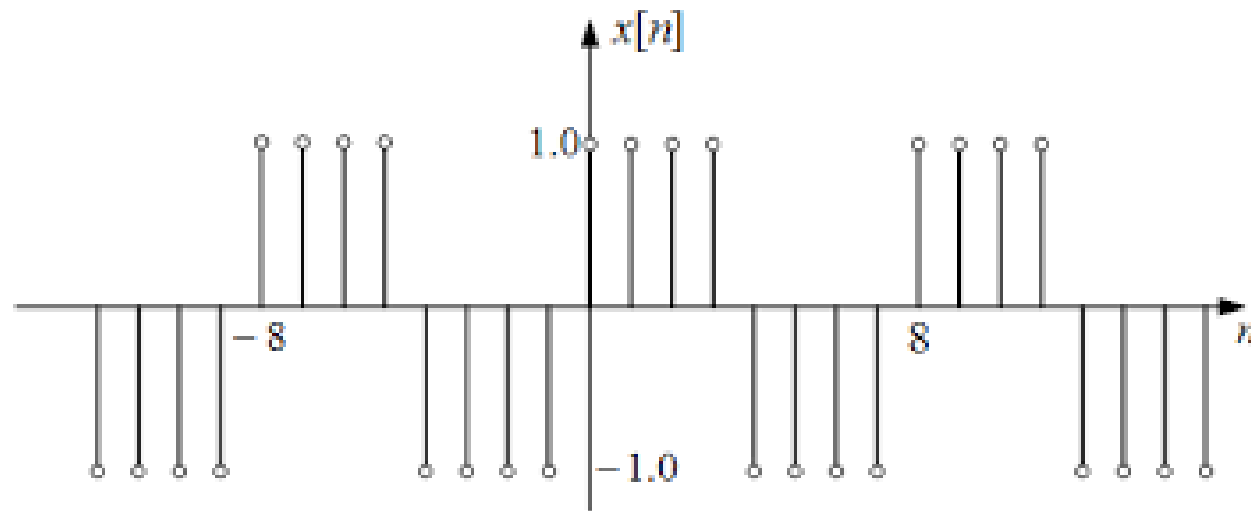
$$x[n] = [0.15, 0.20, -0.1, -0.2] \quad (2)$$

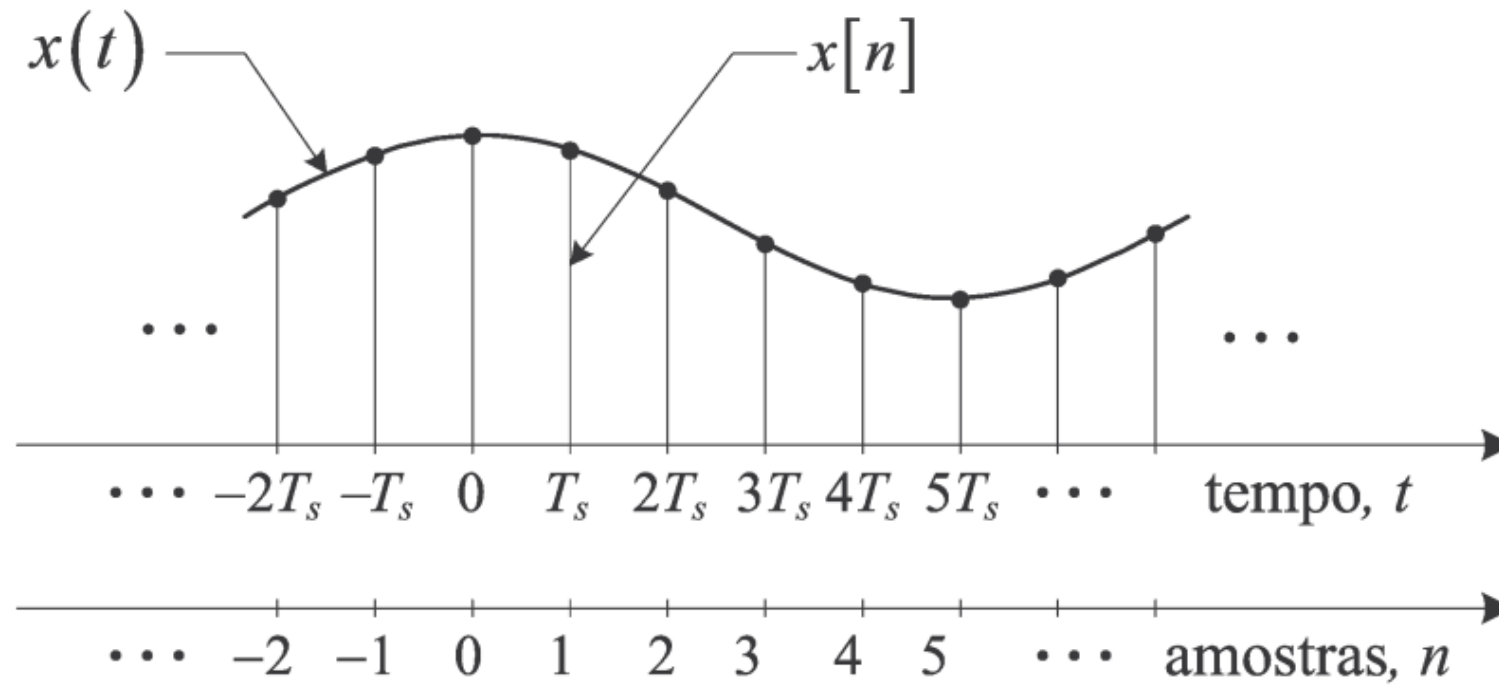
Essas sequencias podem ser obtidas pela amostragem periódica de um sinal analógico.

Sendo o valor do n-ésimo elemento da sequência igual ao valor do sinal analógico  $x(t)$  num instante  $nTs$ , sendo:

$T_s \rightarrow$  é o período de amostragem, exemplo 100ms, o que representaria coletar uma amostra a cada 100ms.

A recíproca é a frequência de amostragem  $f_s$ .





Relação entre sinal de tempo contínuo e sinal de tempo discreto.

# Processo de Amostragem

---

Um processo pelo qual uma sequência discreta é gerada a partir de um sinal contínuo.

$$x[n] = x_a(t_n) \Rightarrow x_a(nT)$$

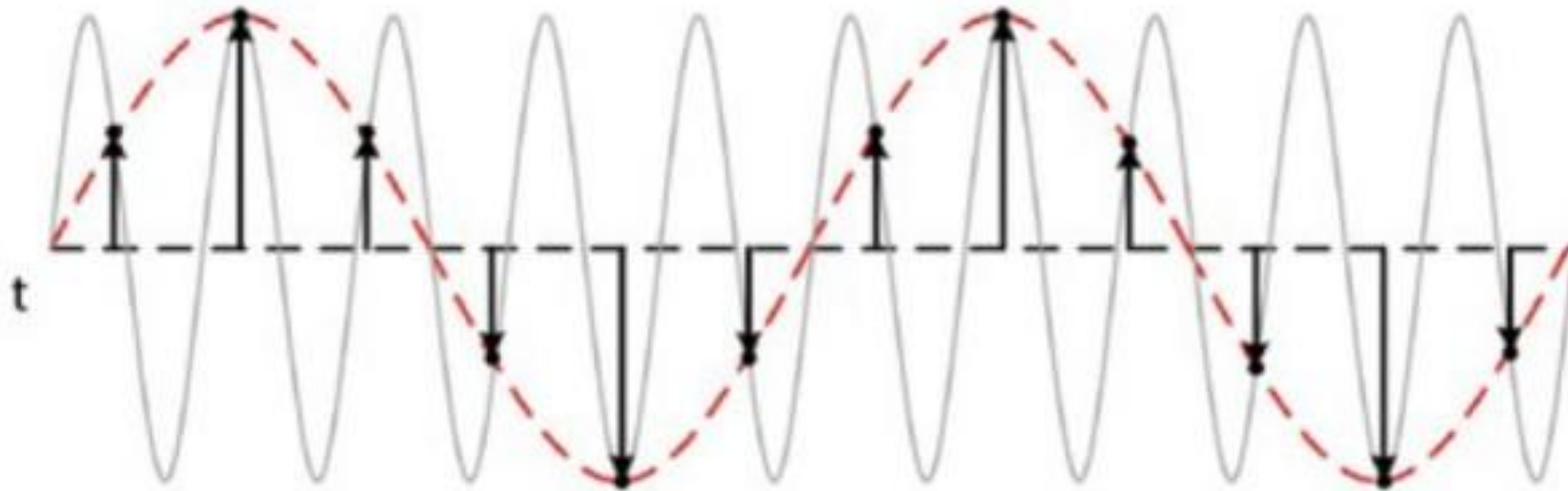
Para realizar a digitalização, é necessário medir a amplitude do sinal em intervalos de tempo determinados. Essas medições resultam em uma série de valores discretos que representam o sinal original.

A frequência das medições realizadas é denominada frequência de amostragem ( $f_s$ ), sendo expressa em Hertz (Hz). Por exemplo, ao amostrarmos um sinal a 1000 Hz, estamos obtendo 1000 pontos por segundo.

# Teorema da Amostragem

---

O Teorema da Amostragem estabelece a mínima frequência que um sinal analógico precisa ser amostrado para posteriormente ser reconstruído. Segundo esse teorema a frequência de amostragem deve ser igual ou superior a duas vezes a maior componente de frequência do sinal medido.



**Teorema de  
Nyquist**

---

A red, rectangular stamp with a distressed, ink-like texture. The word "EXAMPLE" is written in bold, uppercase letters across the center of the stamp. The stamp is tilted at an angle, with the top-left corner pointing towards the upper left and the bottom-right corner pointing towards the lower right. A faint, light gray watermark reading "designstime." is visible behind the stamp.

**EXAMPLE**

# Aliasing

---

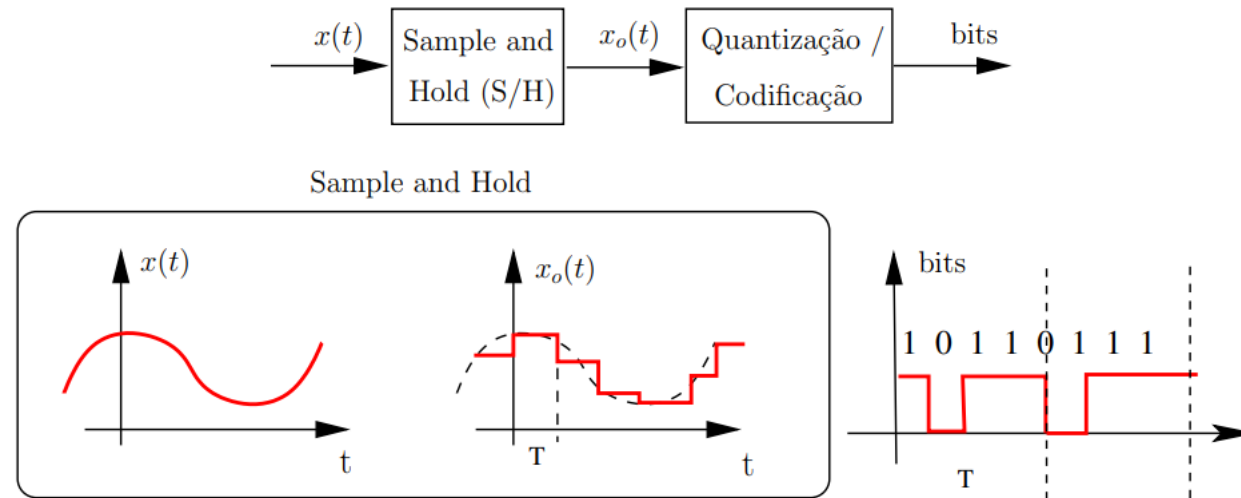
No processamento de sinais aliasing é um fenômeno em que um sinal reconstruído a partir de amostras do sinal original contém componentes de baixa frequência que não estão presentes no original. Isso é causado quando, no sinal original, há componentes em frequência que a frequência chamada **frequência de Nyquist**.



<https://www.youtube.com/watch?v=yr3ngmRuGUc>



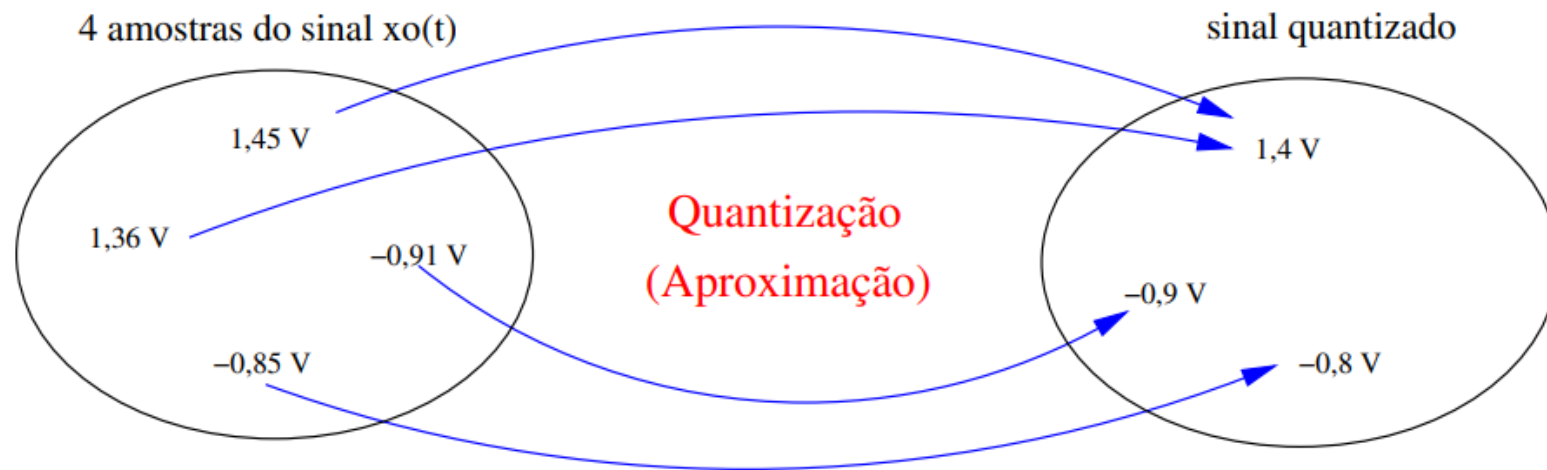
# Conversão Analógico-Digital



- Um conversor A/D mede o sinal analógico em intervalos de tempo regulares e o converte para um formato binário.
- A **taxa de amostragem** é a frequência na qual as medições são feitas e geralmente é medida em hertz (Hz).
- Já a precisão dessas medições, também chamada de **resolução**, é medida em bits.
- Um A/D com maior **taxa de amostragem** e **resolução** gera um sinal digital mais fiel ao original.

# Quantização

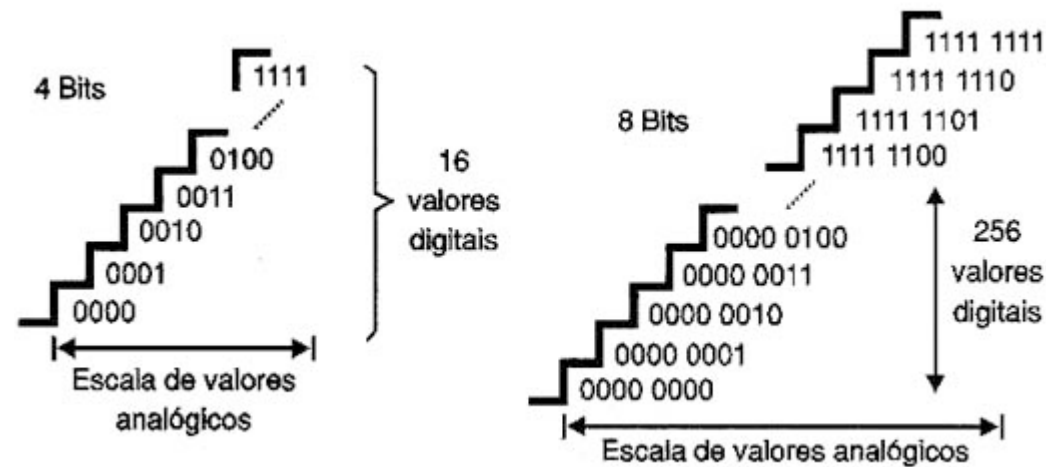
O valor das amostras de sinal na saída do circuito Sample and Hold são aproximadas para um conjunto finito de valores, chamados de níveis de quantização.



# Conversor A/D

A resolução de um conversor A/D, quando expressa em bits é igual ao número de bits do conversor. Quando expressa em tensão é a menor variação que pode ser lida numa escala analógica.

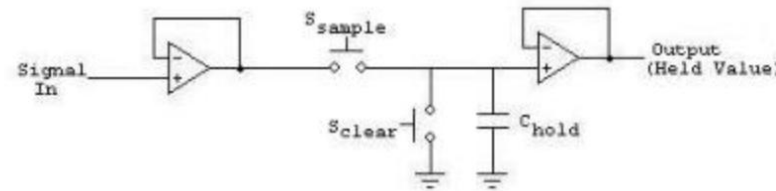
Para alguns microcontroladores como o PIC16F877A a melhor resolução são 10bits. Ou seja pode assumir valores de 0 a 1023. Sendo que a resolução em volts é representada pelo valor de referência de tensão (5V) dividido por 1024, ou 0,0048V.



# Conversor A/D

---

**Tempo de aquisição:** é o tempo necessário pra que o circuito amostrador (SH) permaneça no modo de amostragem de forma que o capacitor atinja a tensão de entrada.



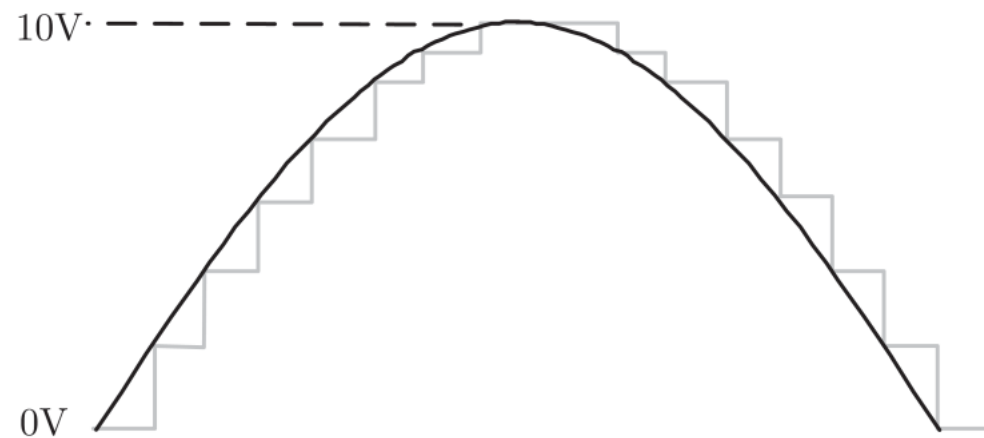
**Tempo de conversão:** é o tempo necessário para obter o valor digital na saída do conversor A/D

**Erro de quantização:** é o desvio do resultado da conversão em relação ao valor real medido.

# Conversor A/D

---

A primeira etapa de uma conversão A/D é a discretização no tempo. O circuito amostrador adquire o sinal de entrada numa taxa de amostragem determinada por um clock e segura o nível de sinal em um capacitor até o próximo pulso de clock.

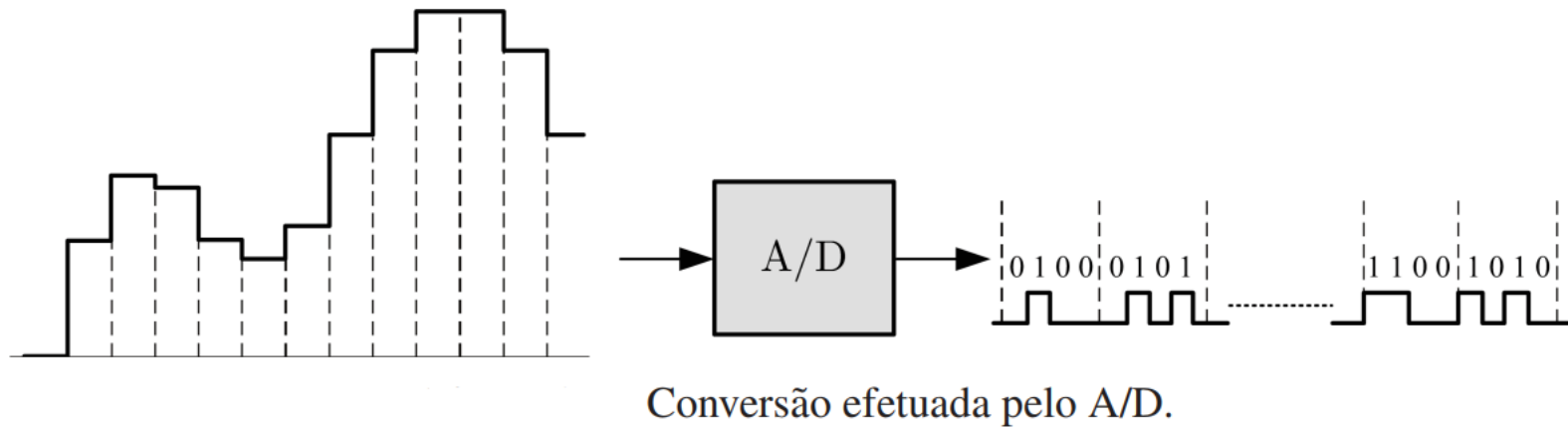


Entrada e saída típica de um circuito S-H.

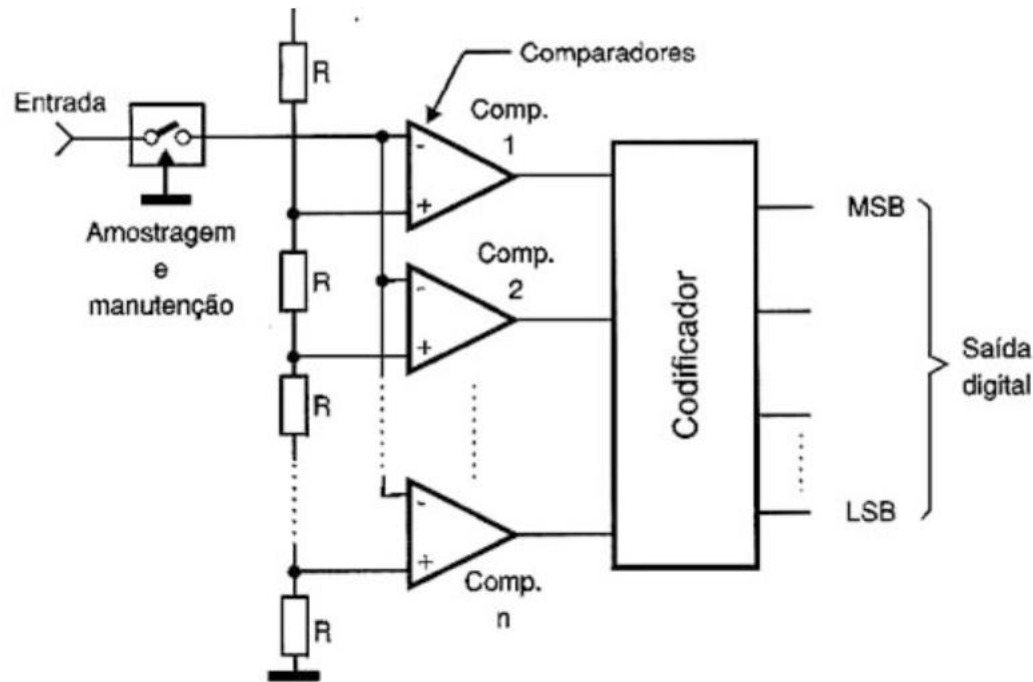
# Conversor A/D

---

A segunda parte da conversão A/D consiste na quantização dos níveis de sinal do circuito amostrador em valores digitais pelo conversor A/D.



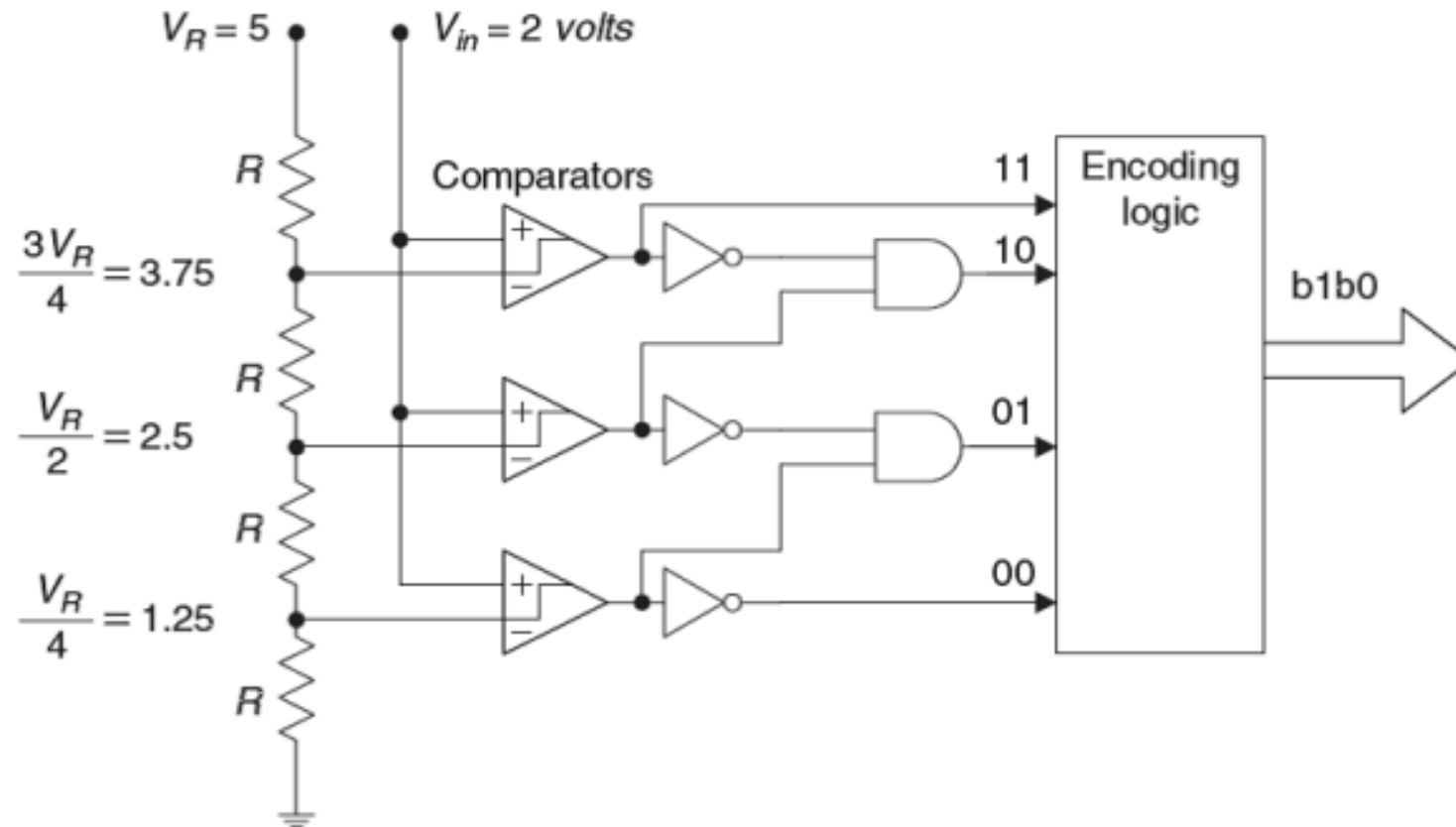
# Conversor A/D com comparador em paralelo



Um conjunto de comparadores de tensão é ligado em paralelo tendo na entrada de referência uma "escala de resistores" que determina a tensão com que cada um deve comutar.

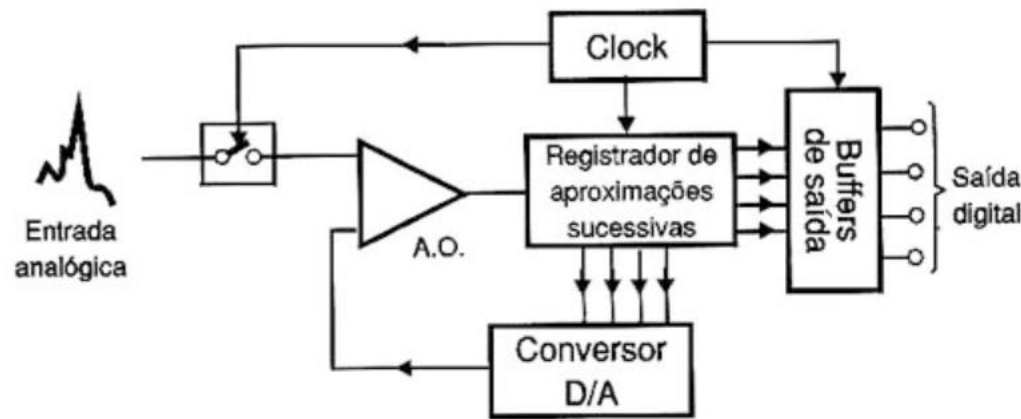
Na saída dos comparadores temos um codificador que transforma as informações para um formato que possa ser processado por circuitos digitais, ou seja, níveis lógicos 1 e 0 de valores correspondentes à combinação de comparadores que comuta.

# Conversor ADC tipo Flash





# CONVERSOR DE APROXIMAÇÕES SUCESSIVAS



**Inicialização:** O valor de saída digital é inicialmente definido como zero.

**Comparação e Aproximação:** O ADC começa a ajustar bit por bit o valor digital. A cada passo, ele ajusta um bit começando pelo mais significativo (MSB) e compara o valor convertido de volta (digital para analógico) com a entrada analógica.

**Ajuste:** Se o valor convertido for menor que a entrada, o bit é mantido; se for maior, o bit é revertido.

**Iteração:** Esse processo se repete para cada bit, desde o mais significativo até o menos significativo, refinando o valor a cada passo.

**Resultado Final:** Após completar todos os bits, o valor digital correspondente ao sinal analógico é obtido.

---

**Inicialização:** O valor de saída digital é inicialmente definido como zero.

**Comparação e Aproximação:** O ADC começa a ajustar bit por bit o valor digital. A cada passo, ele ajusta um bit começando pelo mais significativo (MSB) e compara o valor convertido de volta (digital para analógico) com a entrada analógica.

**Ajuste:** Se o valor convertido for menor que a entrada, o bit é mantido; se for maior, o bit é revertido.

**Iteração:** Esse processo se repete para cada bit, desde o mais significativo até o menos significativo, refinando o valor a cada passo.

**Resultado Final:** Após completar todos os bits, o valor digital correspondente ao sinal analógico é obtido.