



**Universidade Federal da Fronteira Sul**  
**Curso de Ciência da Computação**  
**Campus Chapecó**

---

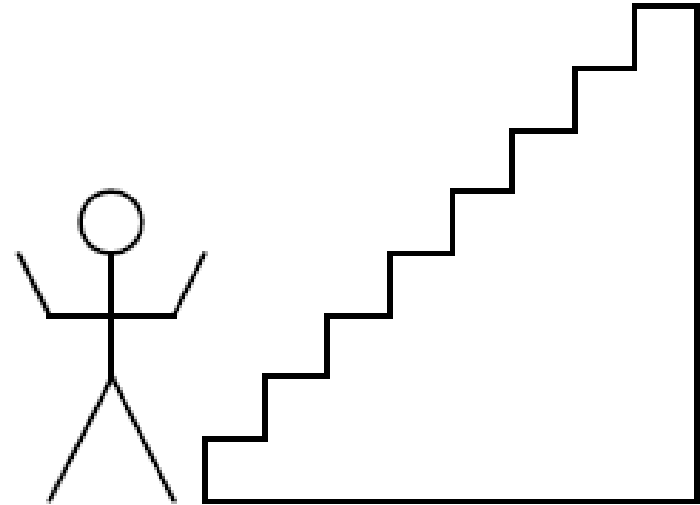
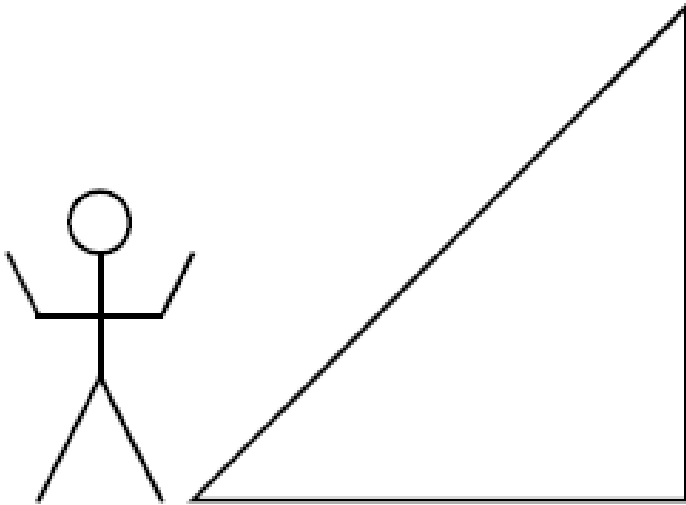
# **Circuitos Digitais: Analógico x Digital**

---

**Prof. Luciano L. Caimi**  
**lcaimi@uffs.edu.br**

- **Sistema Digital** – é formado por uma combinação de dispositivos projetados para lidar com informações lógicas ou com quantidades físicas representadas de forma digital, isto é, quantidades que só podem assumir valores discretos
- **Sistema Analógico** – contém dispositivos que podem manipular quantidades físicas que são representadas de forma analógica. Em um sistema analógico, as quantidades físicas podem variar sobre um intervalo contínuo de valores

# Introdução: analógico x digital

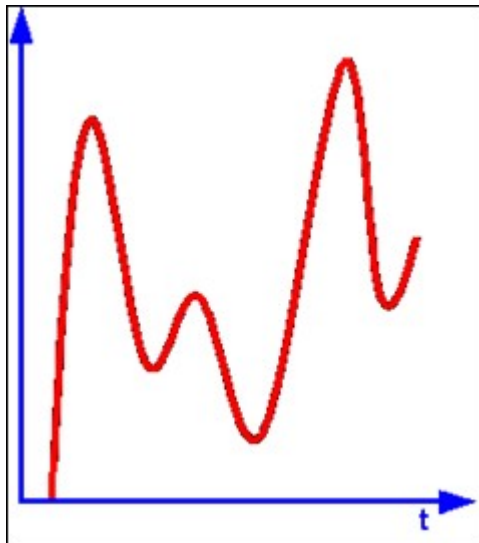


# Introdução: analógico x digital



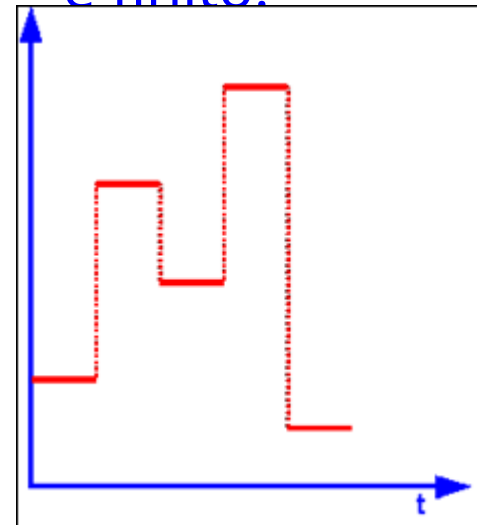
## Analógico

- Valores contínuos no tempo e na amplitude;
- Valor definido em qualquer instante de tempo;
- Amplitude pode assumir um quantidade infinita de valores;

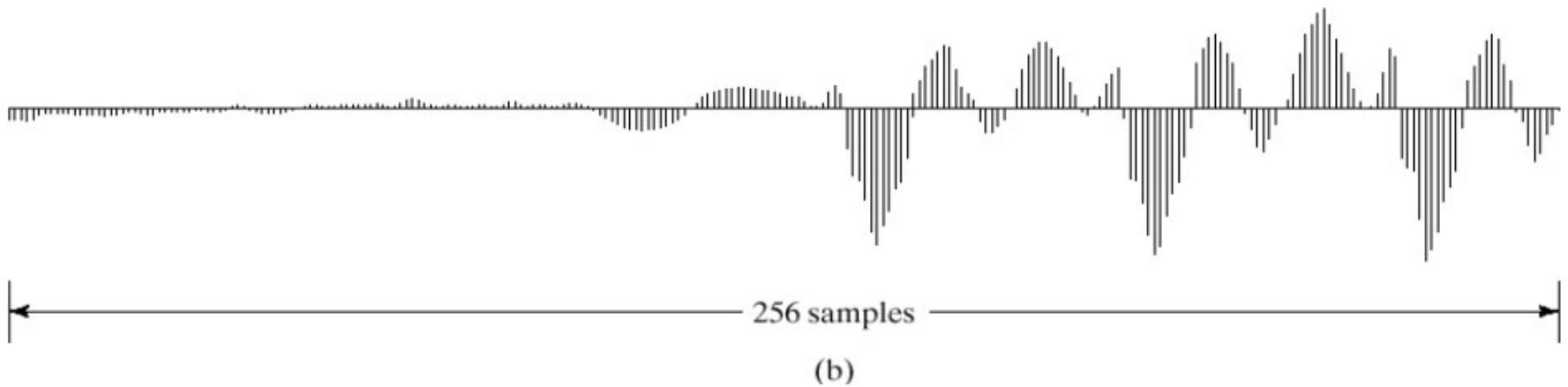
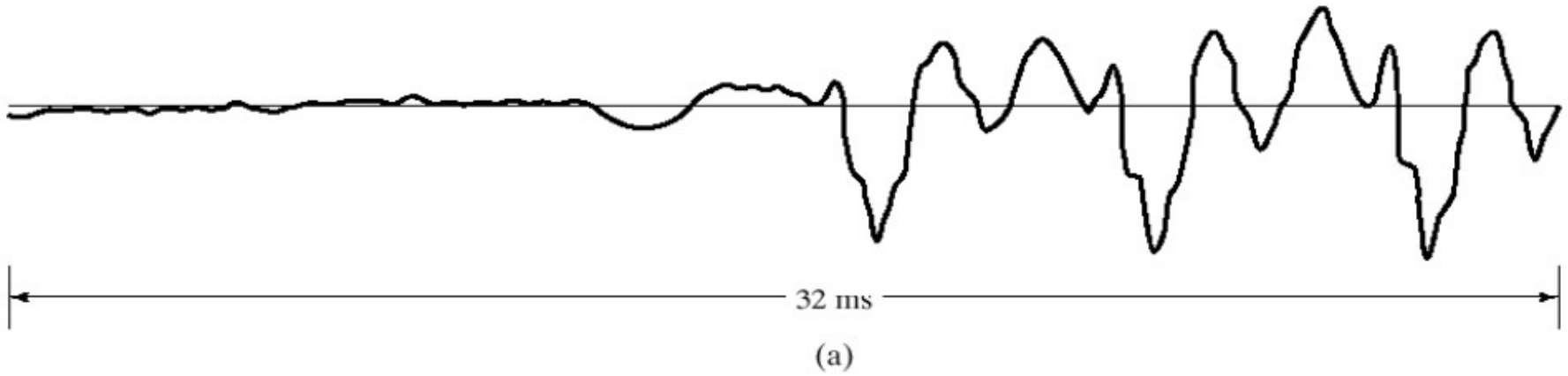


## Digital

- Valores discretos (descontínuos) no tempo amplitude;
- Definido somente p/ determinados instantes de tempo;
- Conjunto de valores possíveis é finito.



# Introdução: analógico x digital





## Vantagens

Facilidade de projeto (chaveamento de valores)

Facilidade de armazenamento (0 e 1 apenas)

Programabilidade da operação

Maior imunidade a ruídos

Mais robusto a variação da temperatura, tensão de alimentação, envelhecimento, etc

Adequação à integração eletrônica (CIs)

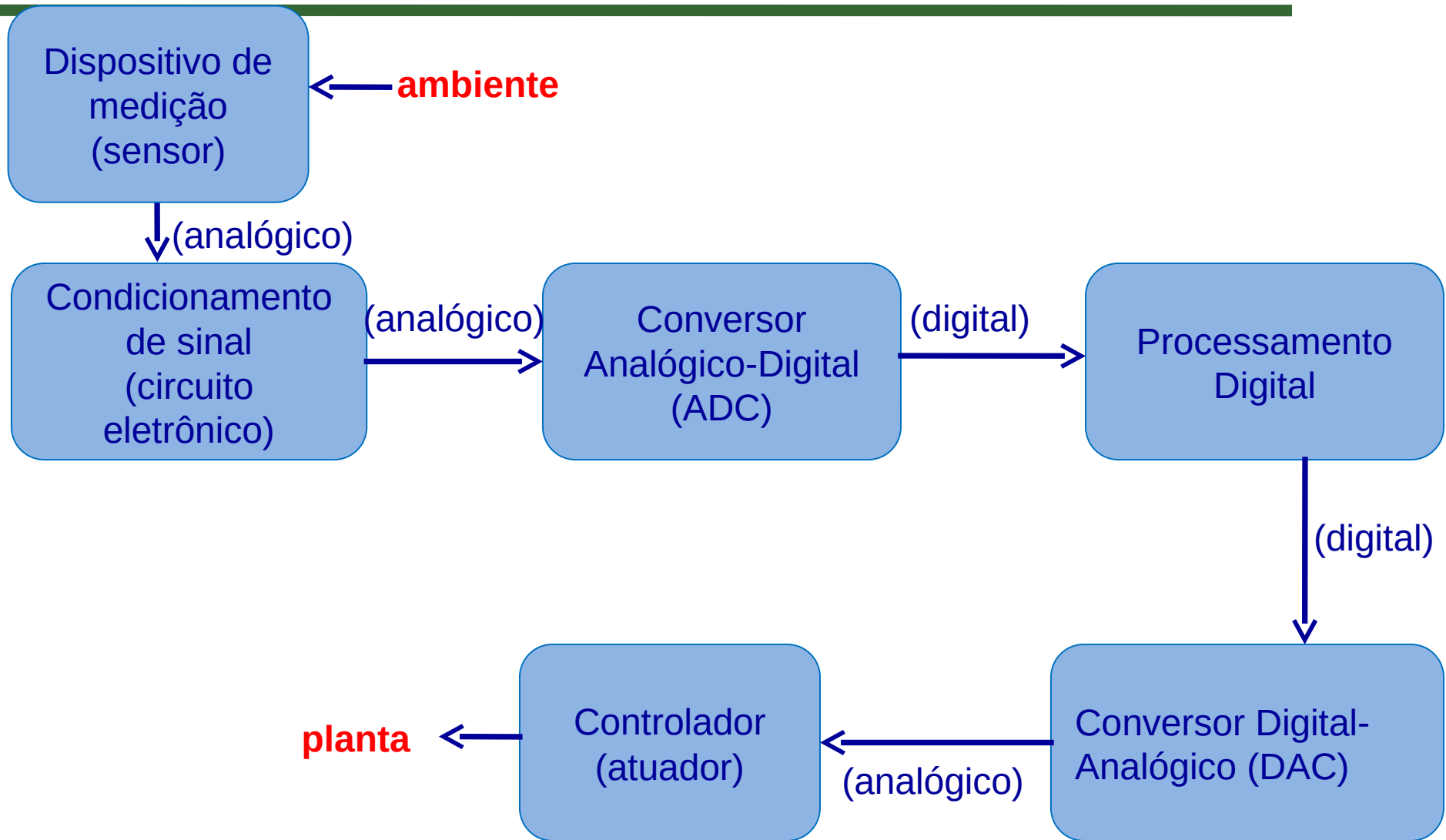
## Desvantagem

O mundo é predominantemente analógico

Perda de informação durante a conversão

Necessidade de processamento

# Introdução: analógico x digital





## Conversão AD

- Um **sensor** origina o sinal analógico
- Um **transdutor** converte esse sinal em um sinal elétrico (tensão ou corrente)
- O tratamento desse sinal (se necessário) é feito por um **condicionador de sinal**
- A conversão desse sinal elétrico é feita por um **conversor A/D**
- Técnicas digitais são utilizadas pelo **processador de sinais**

# Introdução: digitalização



A Digitalização de sinais analógicos é obtida com três processos:

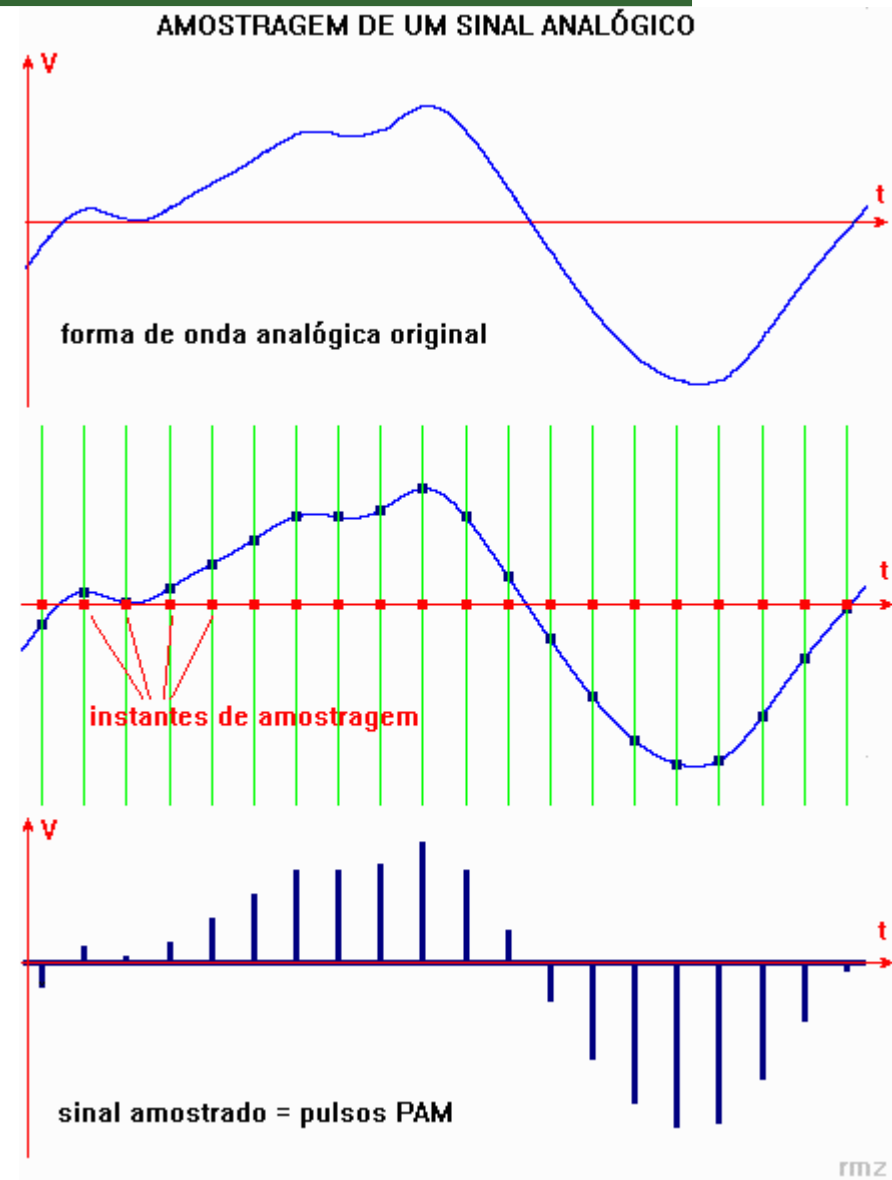
- 1. Amostragem:** Discretização do sinal analógico original no tempo. Retirar amostras do sinal em instantes específicos;
- 2. Quantização:** Discretização da amplitude do sinal amostrado. Consiste no processo de atribuição de valores discretos para um sinal cuja amplitude varia entre infinitos valores.
- 3. Codificação:** Atribuição de códigos (geralmente binários) às amplitudes do sinal quantizado (sinal/magnitude, complemento de 2, etc).

# Introdução: digitalização

Sinal analógico original

Amostras realizadas em  
frequência definida pelo  
teorema de Nyquist-Shannon

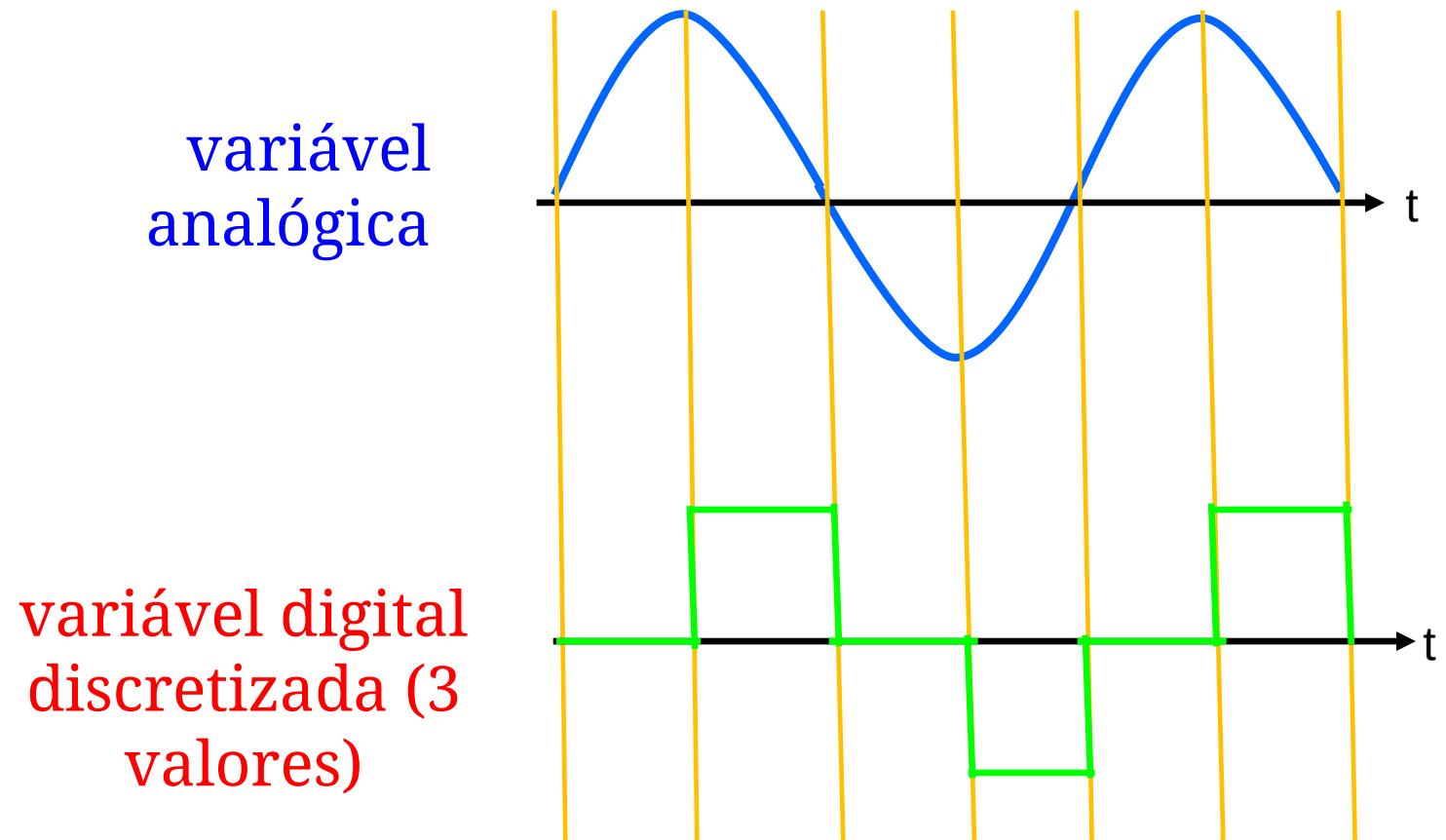
Sinal amostrado quantizado,  
por exemplo, mínimo -10,  
máximo +10





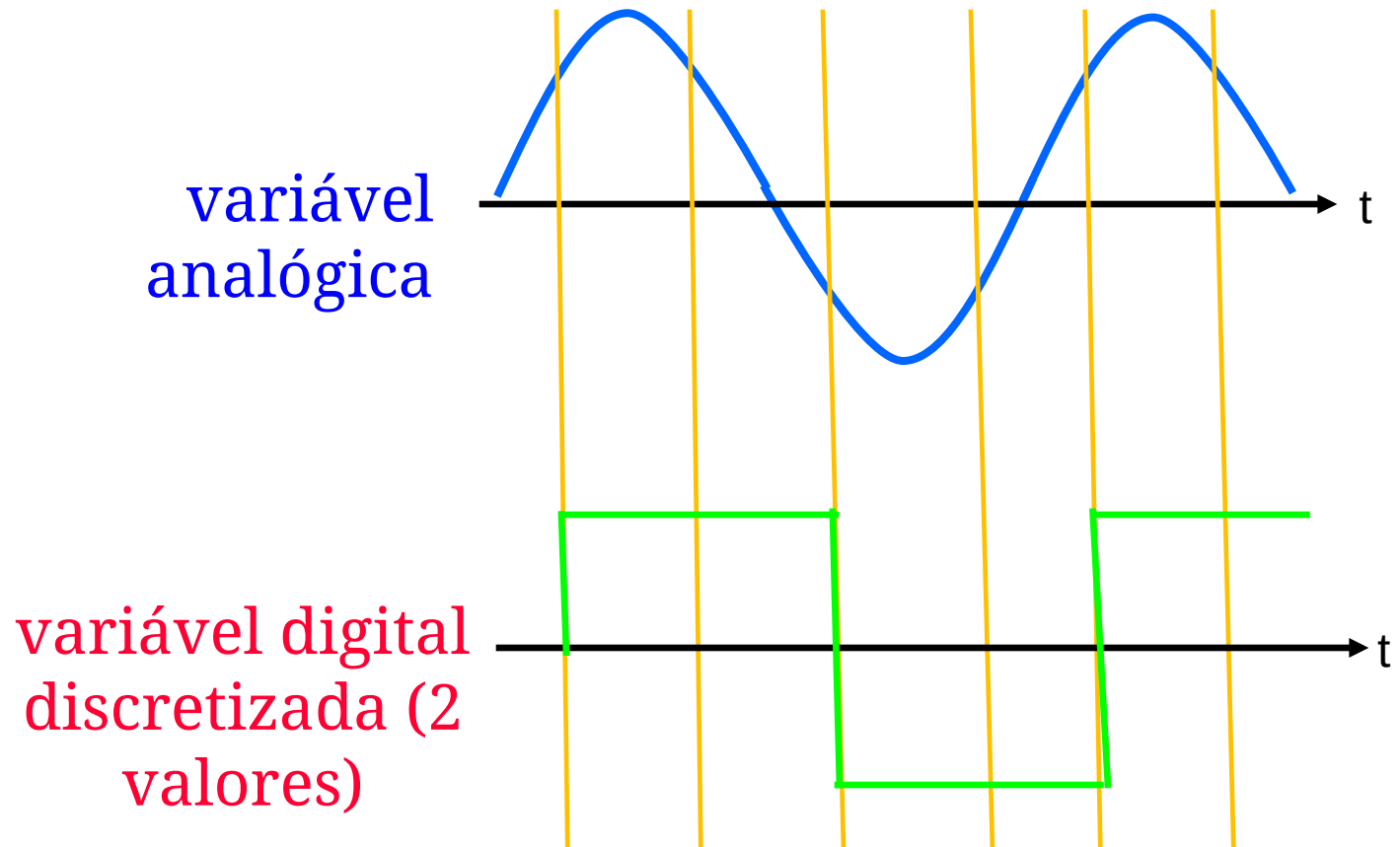
# Introdução: digitalização

Discretizando uma variável no tempo com três valores



# Introdução: digitalização

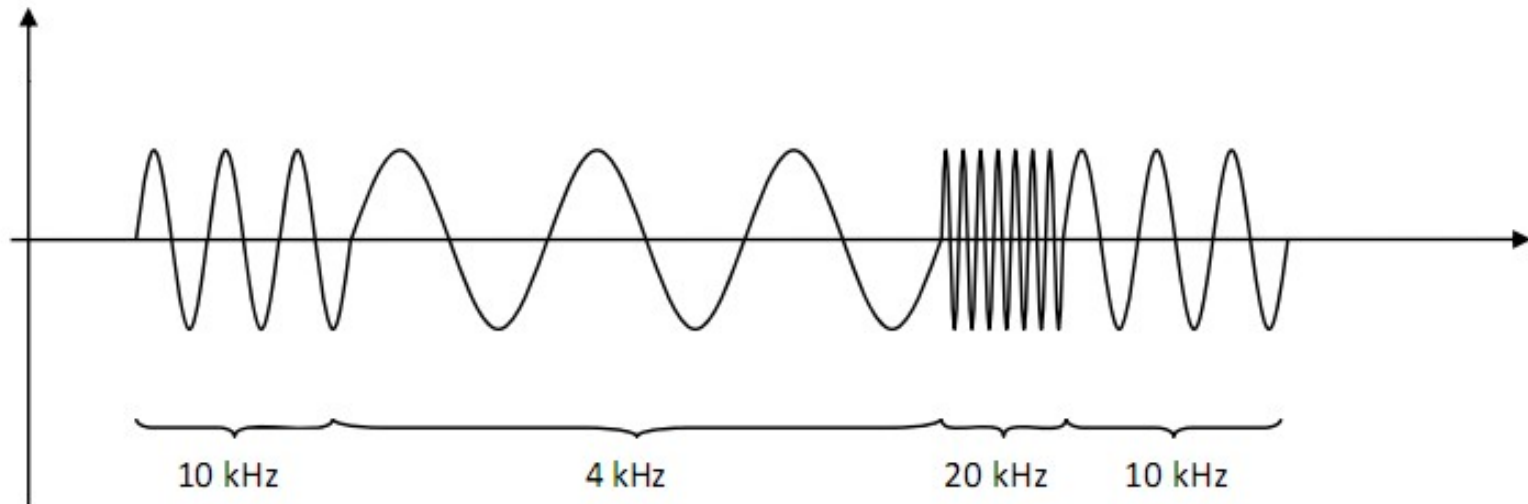
Discretizando uma variável no tempo com dois valores



## Teorema de Nyquist-Shannon

Um sinal pode ser reconstituído desde que sejam extraídas amostras com no mínimo o dobro da frequência deste sinal.

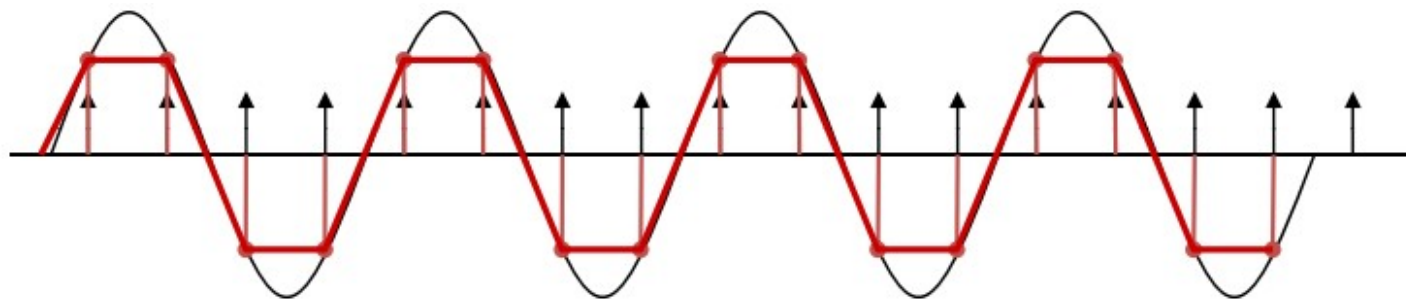
$$F_a > 2F_N$$



# Introdução: teorema da amostragem

## Teorema da Amostragem (Teorema de Nyquist)

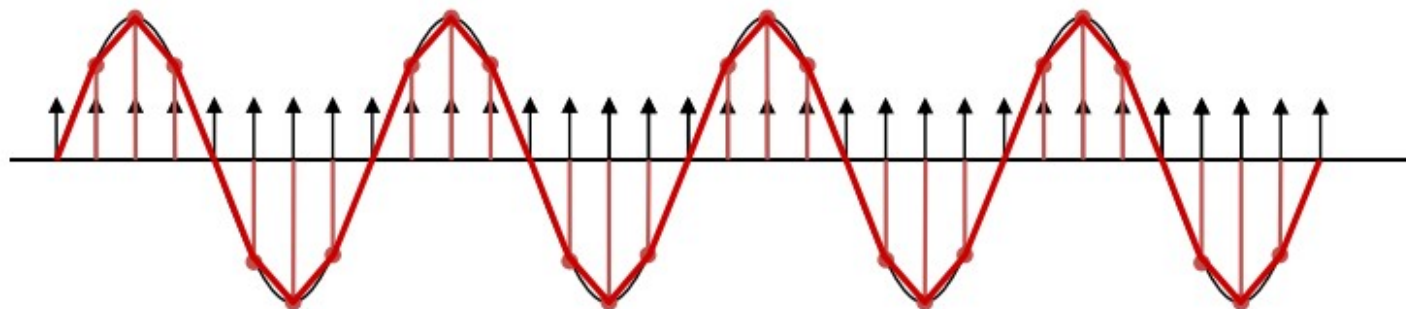
$$f_A = 4 \times f_S$$



$f_A$  = frequência de amostragem

$f_S$  = frequência do sinal

$$f_A = 8 \times f_S$$



Quanto maior a frequência de amostragem, maior a fidelidade da discretização e maior o volume de dados armazenado.





# Introdução: Quantização



Consiste na **discretização da amplitude do sinal** amostrado, ou seja, consiste no processo de atribuição de valores discretos para um sinal cuja amplitude varia entre infinitos valores.

Considerando uma base decimal implica a quantidade de casas utilizadas para representar os valores.

Ex: 2 casas (100 valores)  $\rightarrow 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;      precisão  $\rightarrow 1\text{ }^{\circ}\text{C}$

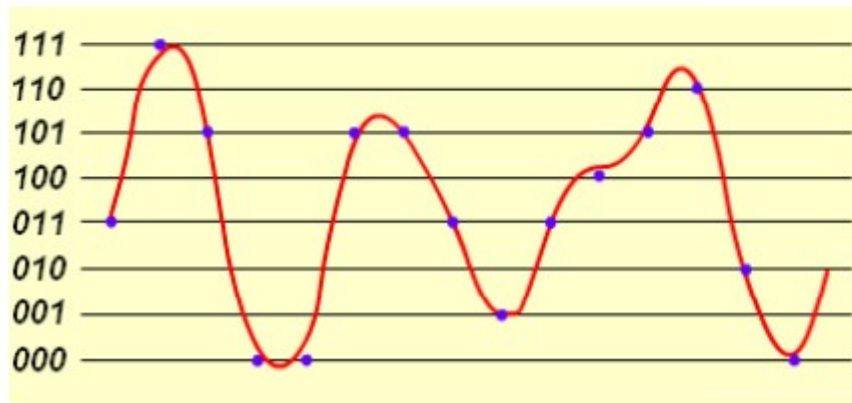
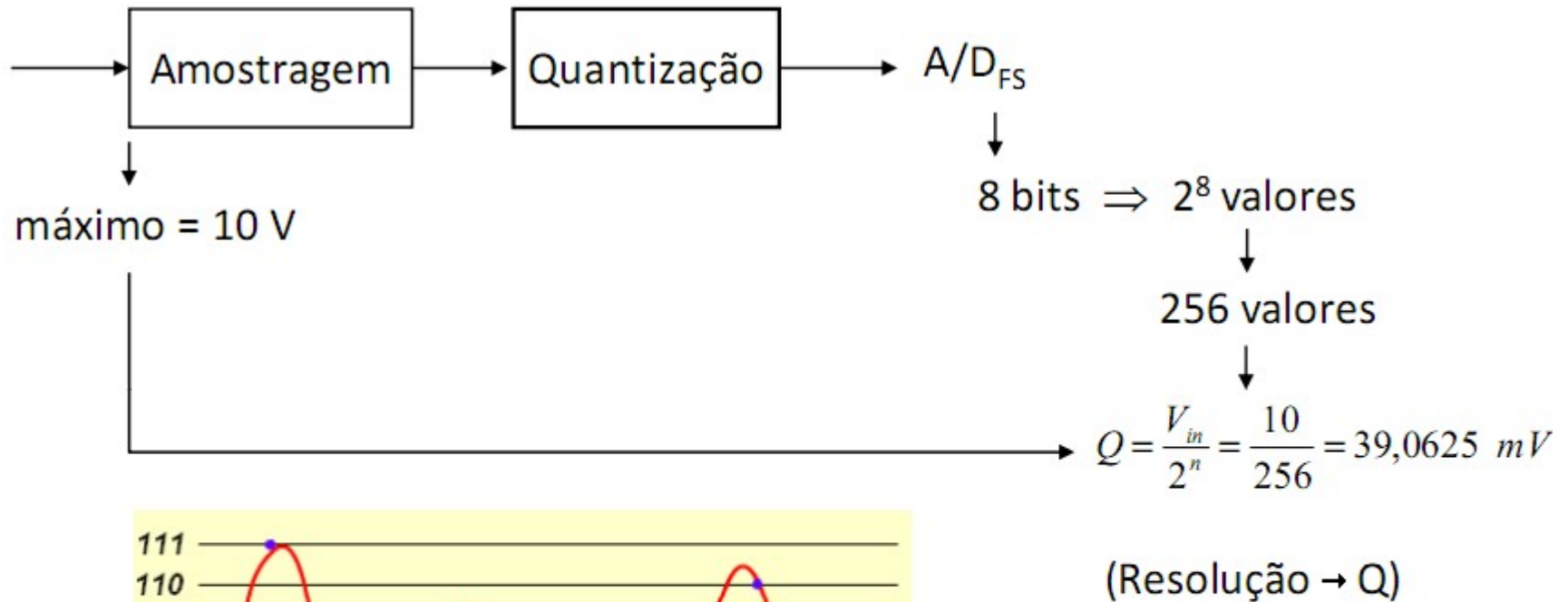
3 casas (1000 valores)  $\rightarrow 23.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;      precisão  $\rightarrow 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Considerando uma base binária implica a quantidade de bits utilizadas para representar os valores.

Ex: 8 bits (256 valores)  $\rightarrow 00010111$       precisão =  $1/256$

10 bits (1024 valores)      precisão =  $1/1024$

# Introdução: Quantização



Quanto maior o número de bits, melhor a resolução, menor o erro de quantização

# Introdução: Quantização

Erro na passagem de **Analógico** (contínuo –  $\infty$ 's valores)  
para **Digital** (discreto – valores finitos)

Valor mínimo: 0V

Valor máximo: 5V

Nro de bits: 2  $\rightarrow 2^2 = 4$

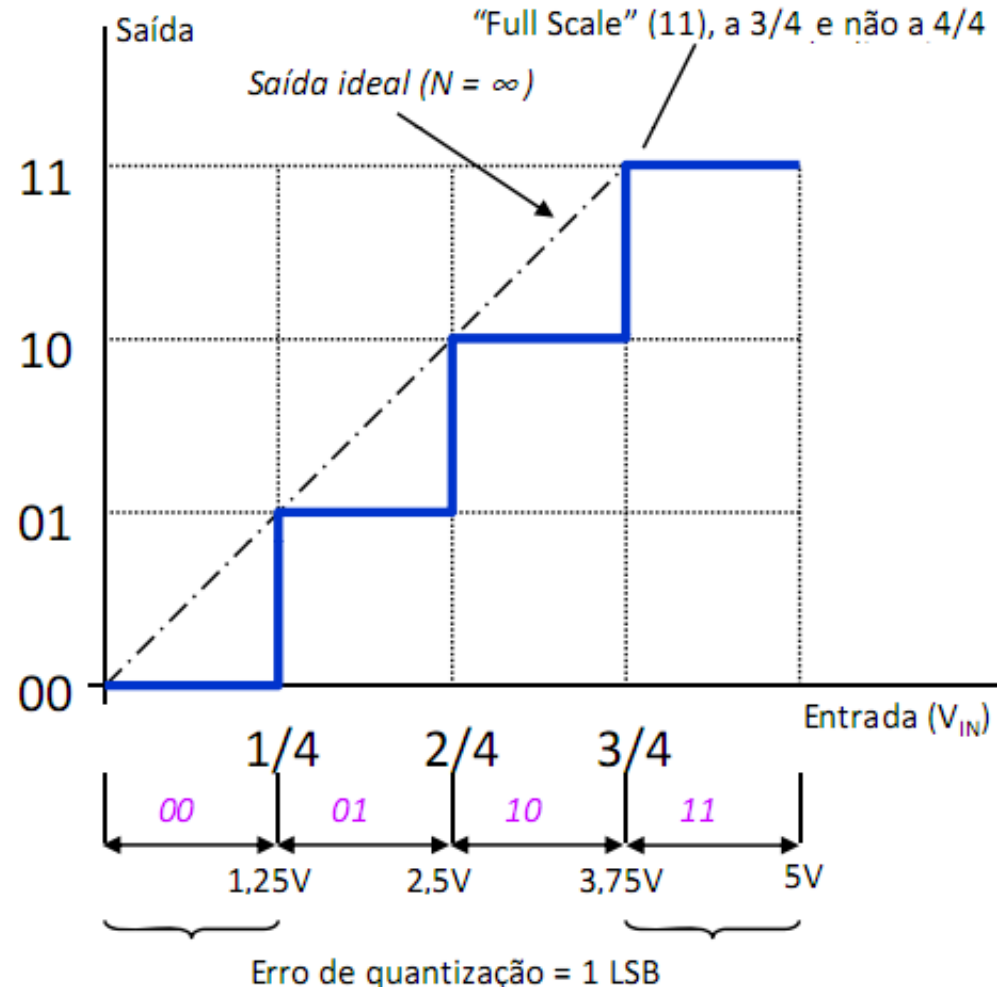
Resolução =  $5 / 4 = 1,25V$



ERRO:

- 11 representa 3,75V

- Erro de 1,25V ou 1 LSB





# Introdução: Quantização

Erro na passagem de **Analógico** (contínuo –  $\infty$ 's valores)  
para **Digital** (discreto – valores finitos)

Valor mínimo: 0V

Valor máximo: 5V

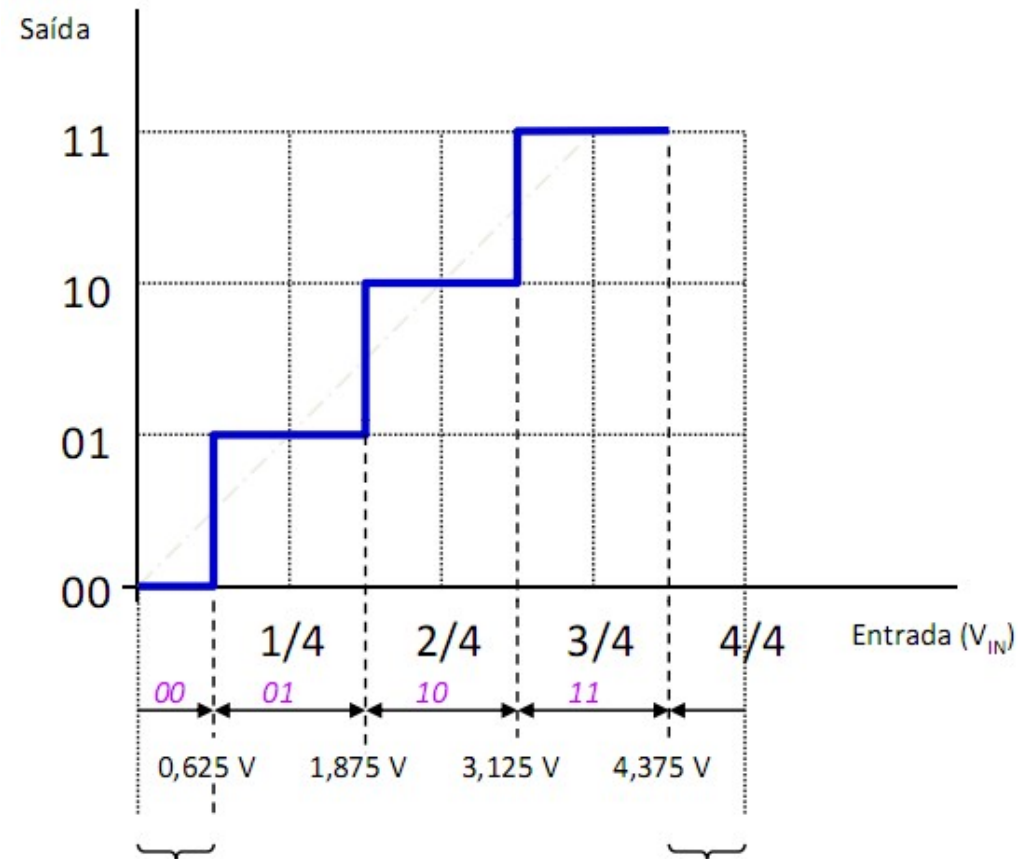
Nro de bits: 2

Aplicando deslocamento de  
 $\frac{1}{2}$  LSB ou 0,625V

ERRO:

- 11 representa 4,375V

- Erro de 0,625V ou  $\frac{1}{2}$  LSB



Erro de quantização =  $\frac{1}{2}$  LSB

# Introdução: exemplo

Um sistema de medição temperatura com faixa de 0 °C a 100 °C realiza 10 amostras por segundo com resolução de 12 bits cada amostra.

- a) Qual a quantidade de Bytes (ou KB, ou MB) produzidos a cada 30 dias neste sistema?
- b) Considerando a leitura em binário (000100000001), qual a temperatura correspondente em °C ?

a -> 
$$\text{QTD dados} = \frac{\text{quantidade de amostras}}{\text{período da amostra}} * \frac{\text{bits}}{\text{amostra}} * \text{período desejado}$$

O período desejado deve ser inserido na mesma unidade de medida do período da amostra

$$\text{QTD dados} = \frac{10 \text{ amostras}}{\text{segundo}} * \frac{12 \text{ bits}}{\text{amostra}} * \frac{60 \text{ segundos}}{\text{minuto}} * \frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} * \frac{24 \text{ horas}}{\text{dia}} * 30 \text{ dias}$$

$$\text{QTD dados} = \frac{10 \cancel{\text{ amostras}}}{\cancel{\text{segundo}}} * \frac{12 \text{ bits}}{\cancel{\text{ amostra}}} * \frac{60 \cancel{\text{ segundos}}}{\cancel{\text{minuto}}} * \frac{60 \cancel{\text{ minutos}}}{\cancel{\text{hora}}} * \frac{24 \cancel{\text{ horas}}}{\cancel{\text{dia}}} * 30 \cancel{\text{ dias}}$$

$$\text{QTD dados} = 311040000 \text{ bits} \quad \text{QTD dados} = \frac{311040000}{8} = 38880000 \text{ bytes}$$

$$\text{QTD dados} = \frac{38880000}{1024} = 37968,75 \text{ Kbytes}$$





# Introdução: exemplo



Um sistema de medição temperatura com faixa de 0 °C a 100 °C realiza 10 amostras por segundo com resolução de 12 bits cada amostra.

- a) Qual a quantidade de Bytes (ou KB, ou MB) produzidos a cada 30 dias neste sistema?
- b) Considerando a leitura em binário (000100000001), qual a temperatura correspondente em °C ?

b ->

$$\text{valor medido} = \text{offset} + (\text{valor decimal} * \text{precisão})$$

$$\frac{\text{faixa de valores da grandeza medida}}{\text{quantidade de valores da medida binária}}$$

$$\text{quantidade de valores da medida binária} = 2^{\text{número de bits de cada amostra}}$$

$$\text{quantidade de valores da medida binária} = 2^{12} = 4096$$

$$\text{precisão} = \frac{100}{4096} = 0,024414....$$

$$000100000001_2 = 257_{10}$$

$$\text{valor medido} = 0 + (257 * 0,024414....)$$

$$\text{valor medido} = 6,27\text{ °C}$$

