



Universidade Federal de Santa Maria

Departamento de Eletrônica e Computação

ELC1048 - PROJETO DE SISTEMAS EMBARCADOS

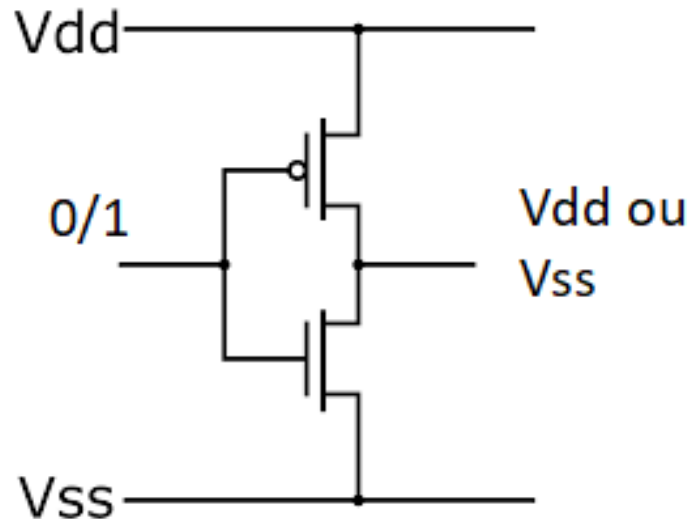
Prof. Carlos Henrique Barriquello
barriquello@gmail.com

Entradas e saídas (E/S ou I/O)

- Entradas e saídas podem ser:
 - Digitais: dois valores possíveis: ligado/desligado, on/off, 0/1. Também chamadas GPIO – general purpose input/output
 - Analógicas – valores contínuos em um intervalo (ex.: 0 a 3V) . Precisam ser digitalizadas (conjunto finito de valores).
 - Sequenciais: comunicações seriais. Sequencias de valores digitais (0/1)

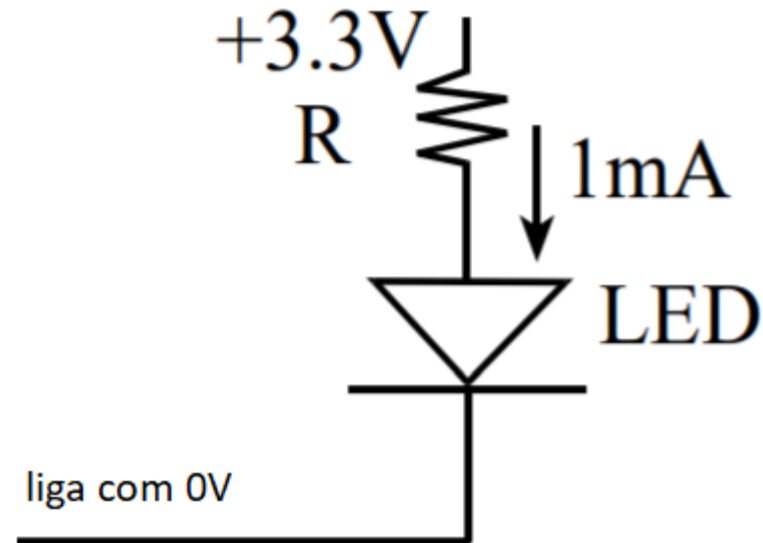
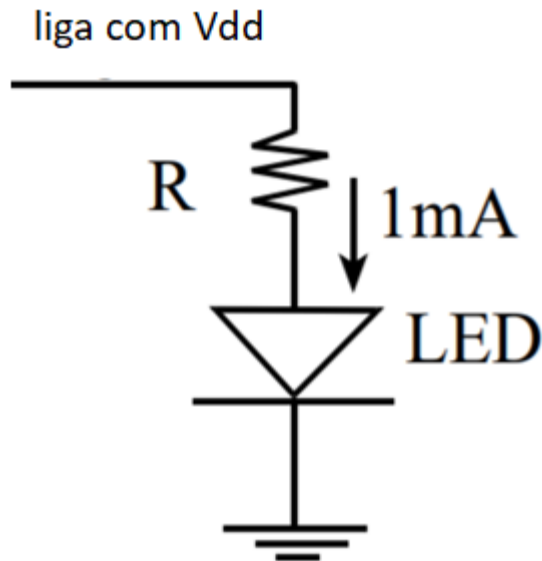
Entradas e saídas digitais

- **Saída:** permite ligar a um pino o sinal positivo de tensão (VDD ou VCC – ex. 3V) ou o sinal de referência (GND ou VSS - 0V).



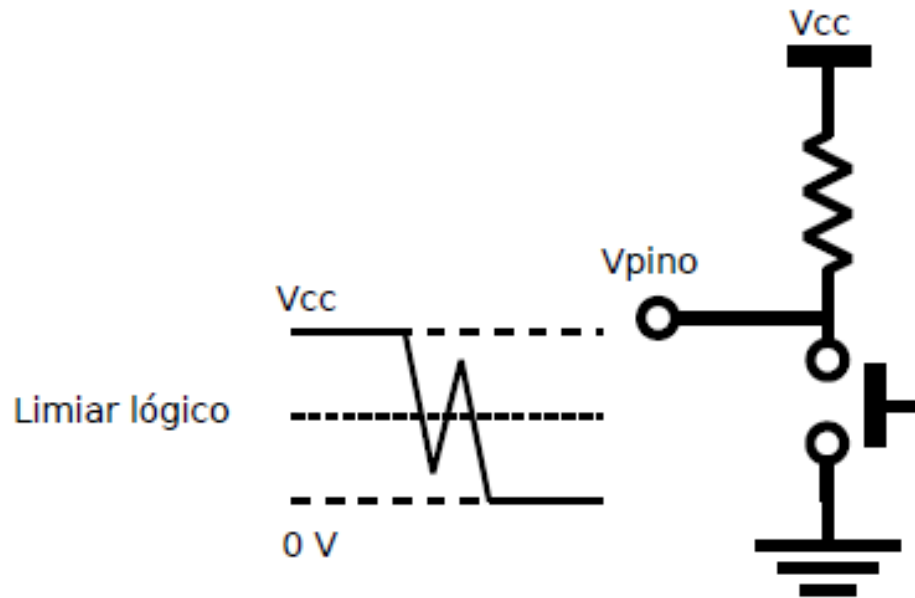
Entradas e saídas digitais

- **Exemplo de uso:** acionamento de LED (diodo emissor de luz)

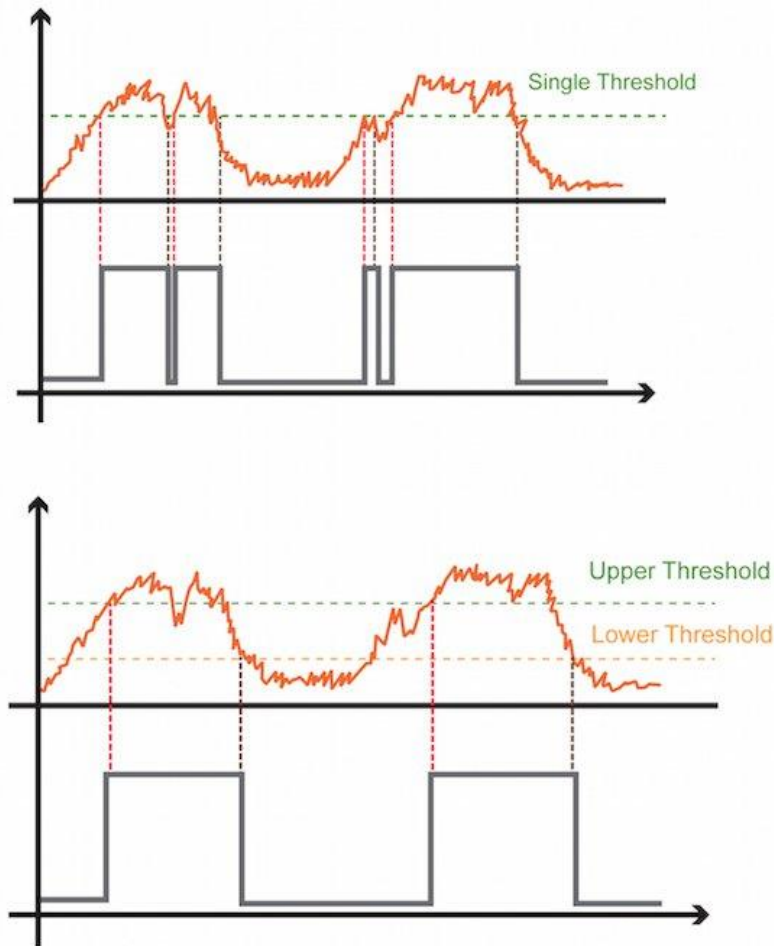


Entradas e saídas digitais

- **Entrada:** permite detectar um sinal de tensão em um pino entre duas possibilidades (valor alto - 1 ou valor baixo - 0).



Entradas digitais



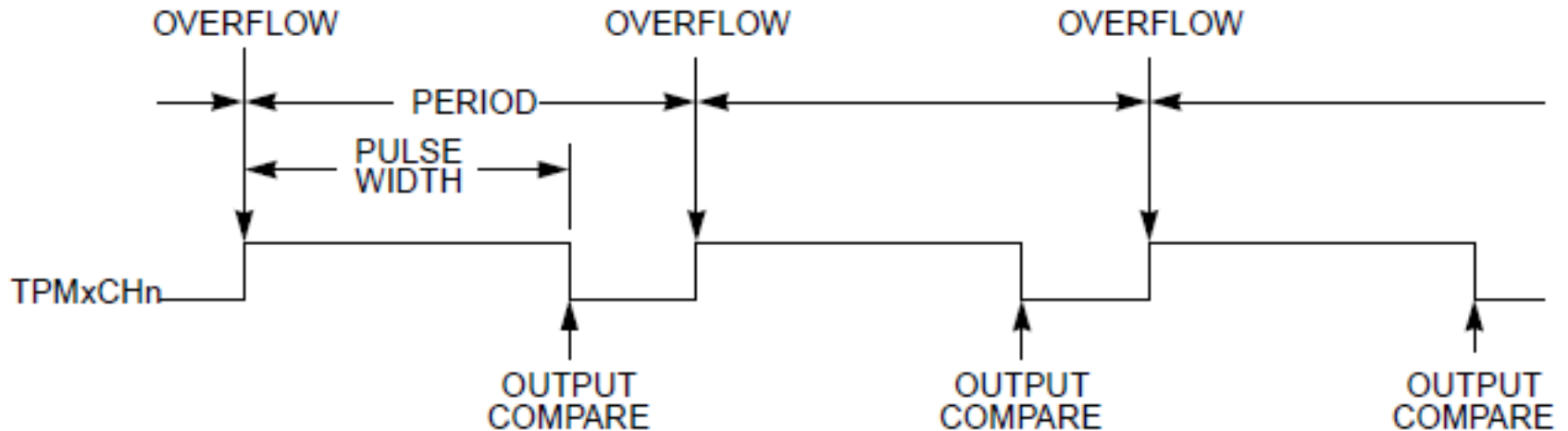
Geralmente, entradas digitais usam *schmitt trigger* (faixa de histerese para evitar oscilações causadas por ruído)

Entradas e saídas analógicas

- **Entradas analógicas** utilizam um conversor (ADC) para converter o sinal de tensão na entrada do pino em um valor numérico inteiro.
- **Saídas analógicas** utilizam um conversor (DAC) ou um temporizador para converter um valor numérico inteiro em um valor de tensão (médio) no pino.

Saída analógica com PWM

- Modulação por largura de pulso:



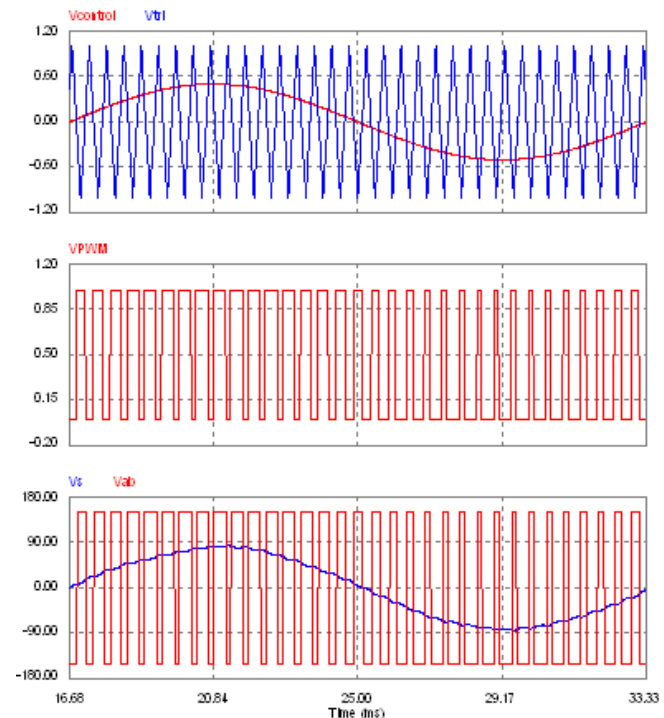
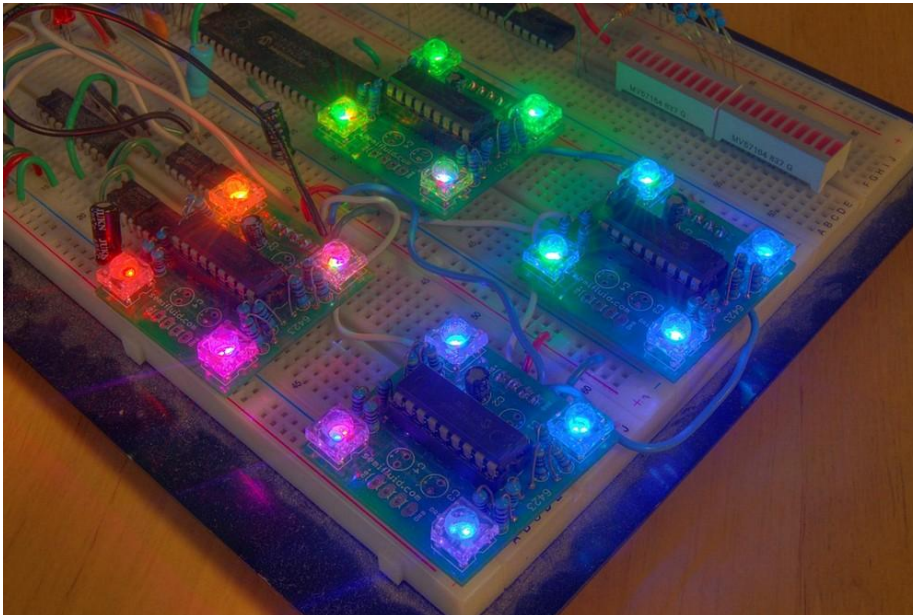
Razão cíclica:

razão entre tempo que o sinal permanece alto (lógico 1) pelo tempo total de um período

A técnica de PWM utiliza um temporizador, isto é, um contador de pulsos de relógio.

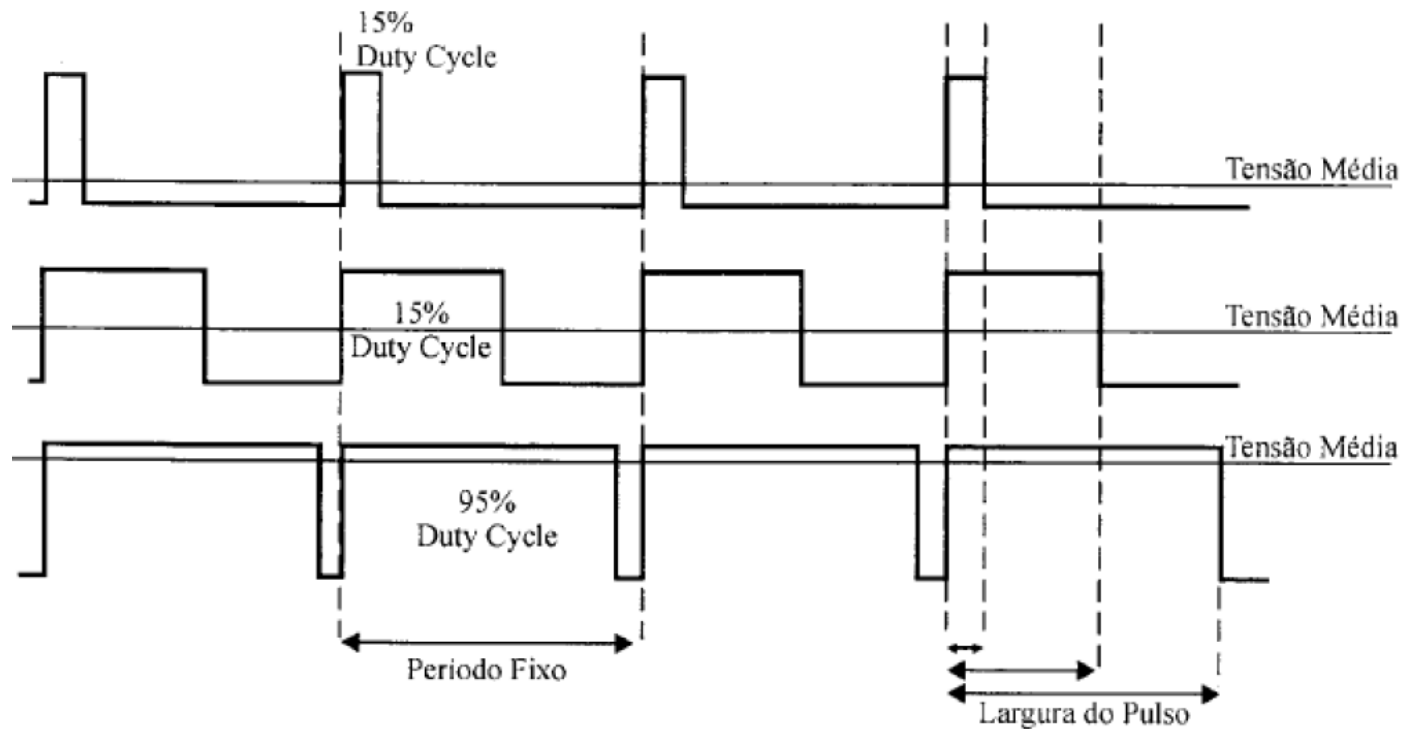
Saída analógica com PWM

- Exemplos de aplicações:
 - Controle de intensidade (ex.: brilho de um LED)
 - Sintetização de sinais analógicos (ex.: um sinal senoidal)
 - Controle de máquinas, motores, conversores, etc...

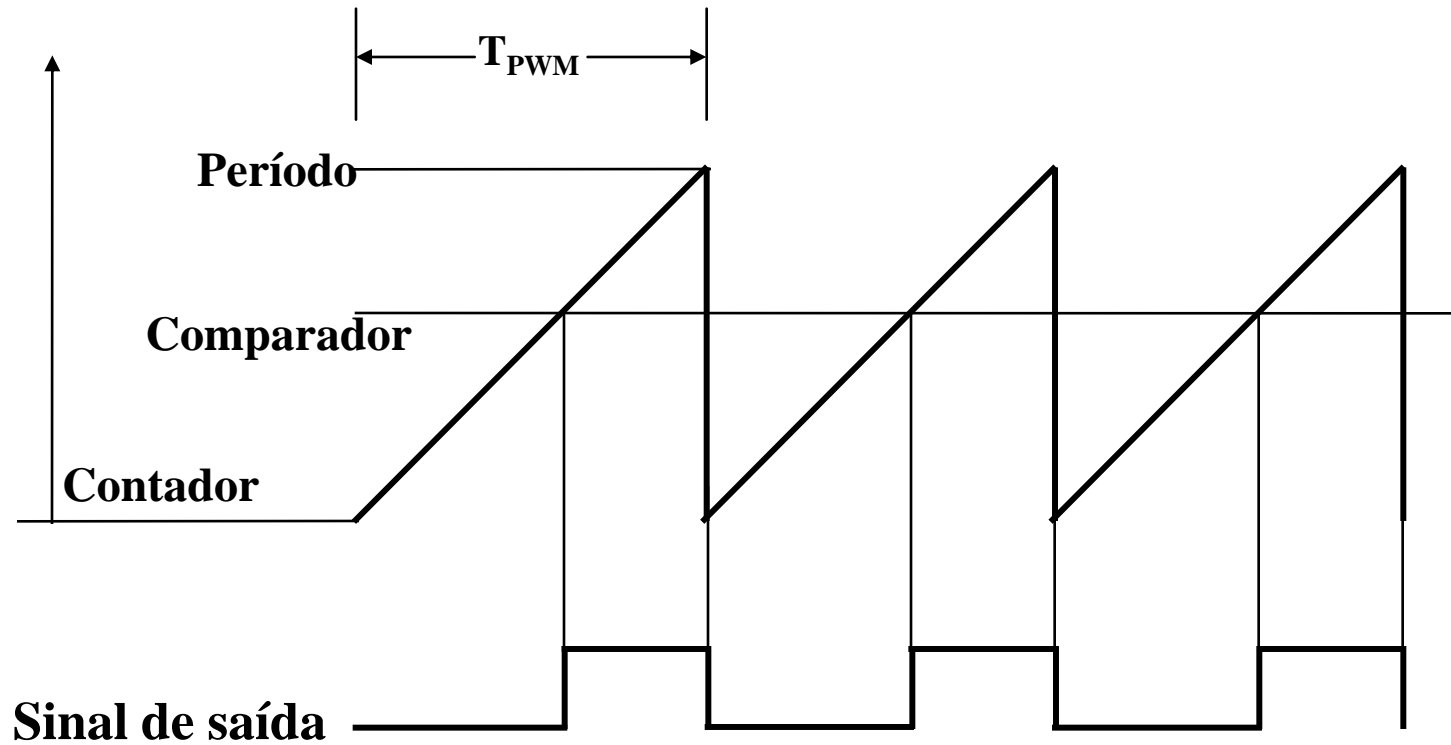


PWM

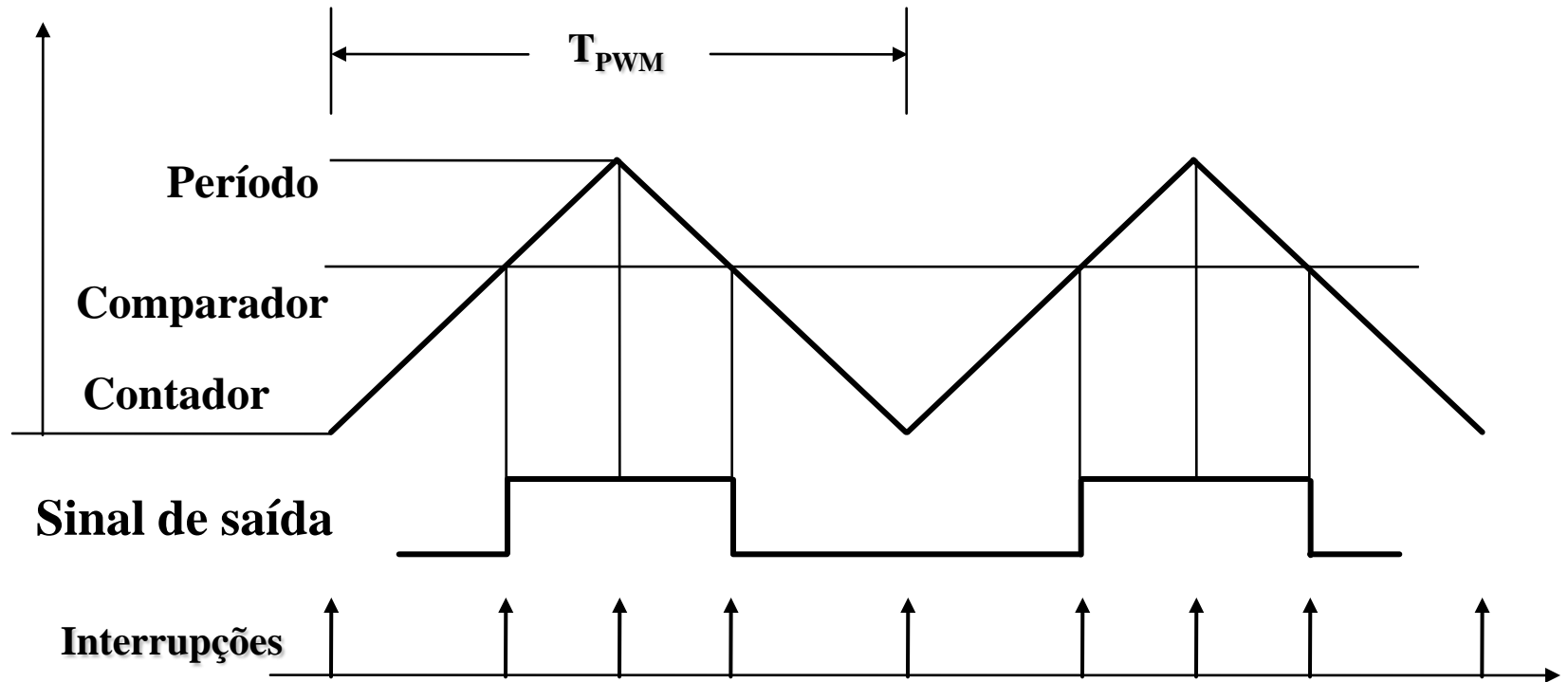
Princípio: Variação do valor médio de tensão



PWM assimétrico

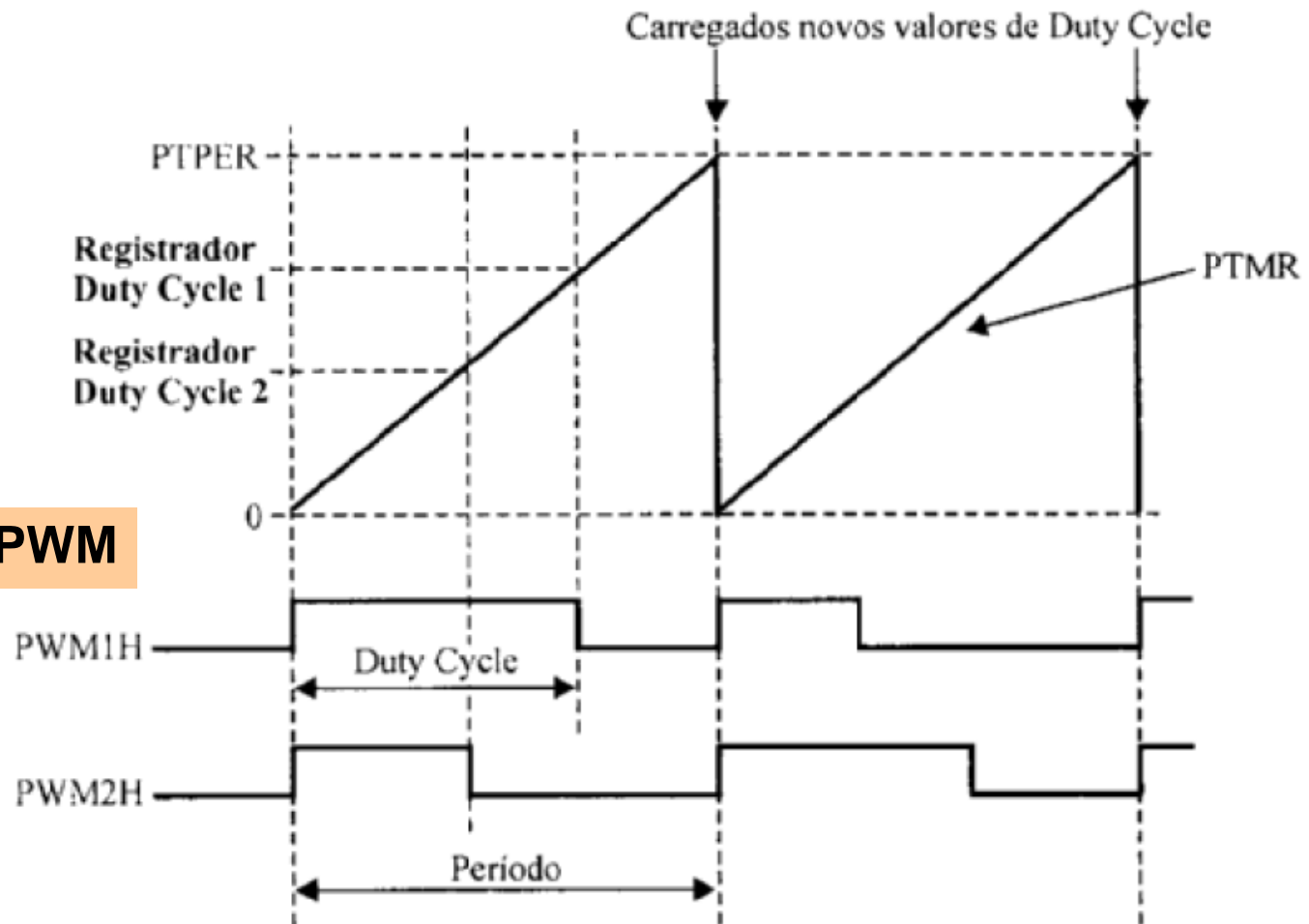


PWM simétrico



PWM

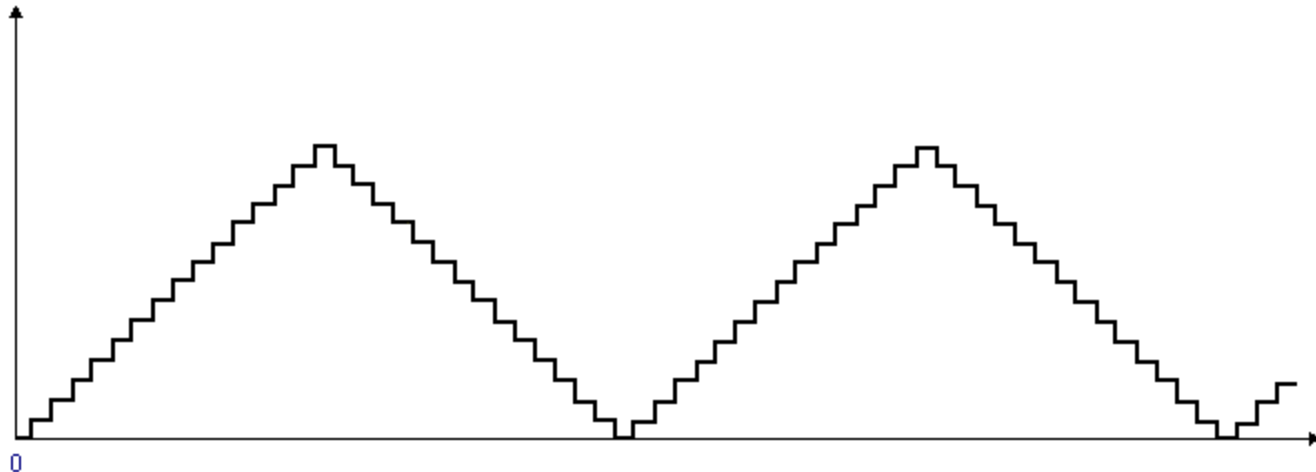
Frequência do PWM → período de contagem



Canais de PWM

Resolução do PWM

- A técnica de PWM possui uma **resolução finita** de capacidade de sintetização de um sinal “analógico”. Esta resolução depende da frequência do relógio (clock) e do número de bits do registrador de contagem.



Exercício

- 1 – Caso seja necessário gerar um sinal PWM com resolução de 0,1% e uma frequência de até 20 kHz, qual deve ser a frequência do relógio (clock) ?

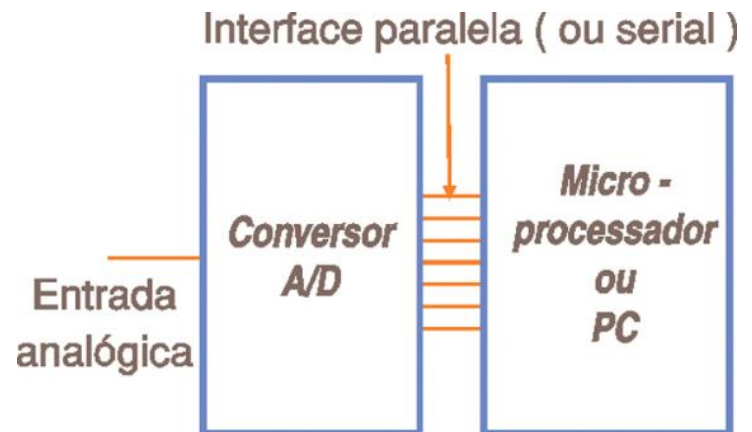
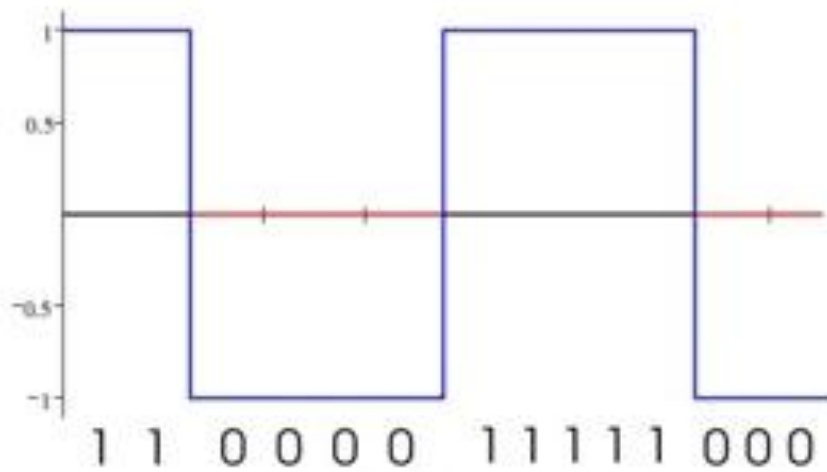
Conversor analógico-digital (ADC)

- Os sinais encontrados no mundo real são contínuos (ou analógicos, pois variam no tempo de forma contínua), como, por exemplo: a intensidade luminosa de um ambiente que se modifica com a distância, a aceleração de um carro de corrida, a temperatura em um ambiente, etc.



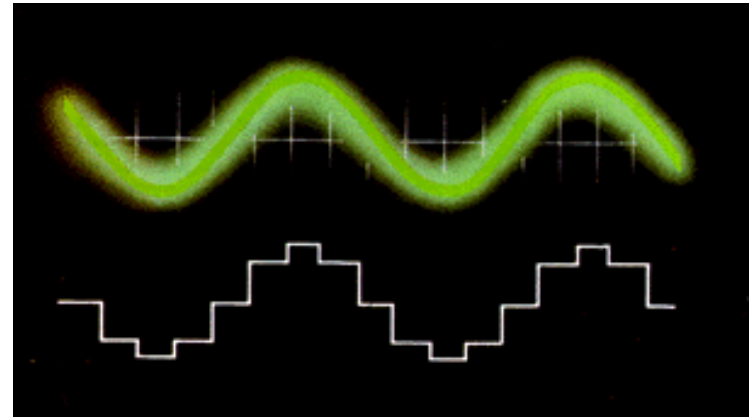
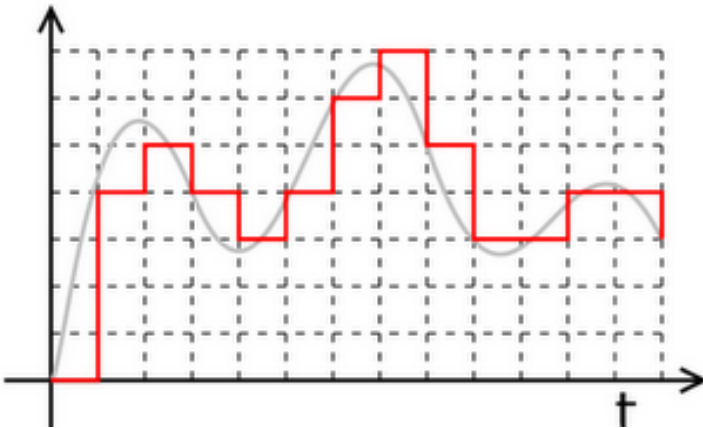
Conversor analógico-digital (A/D)

- Entretanto, os processadores manipulam dados no formato digital (numérico), os quais devem ser representados por um número finito de *bits*.

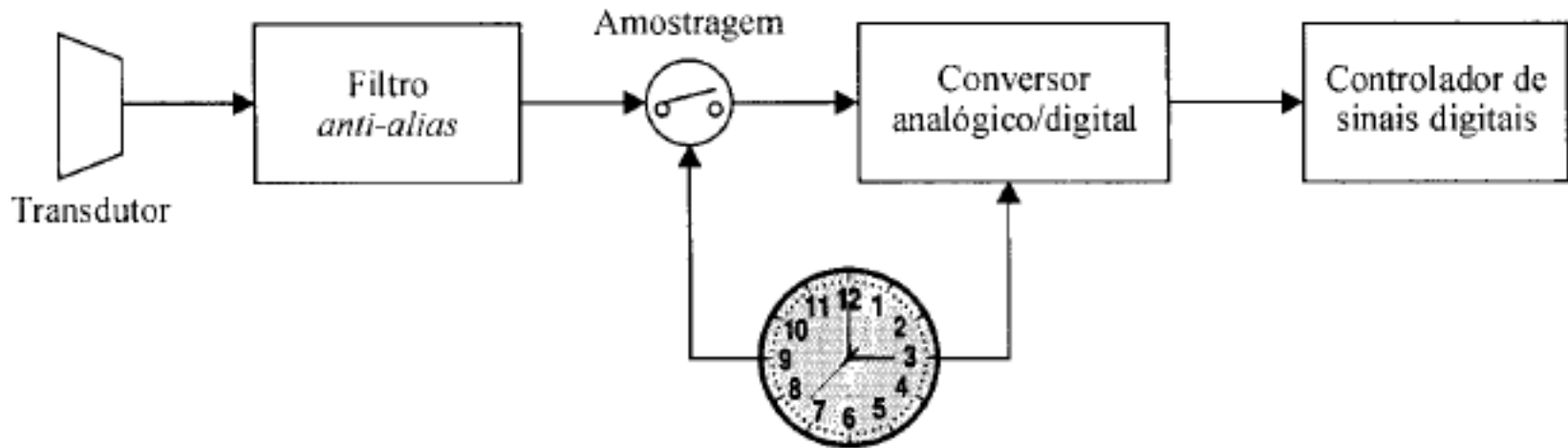


Conversor analógico-digital (A/D)

- A conversão analógico-digital (A/D) é o processo que possibilita a representação de sinais analógicos no mundo digital. Desta forma é possível utilizar os dados extraídos do mundo real para cálculos ou operar seus valores.



Conversor analógico-digital (A/D)



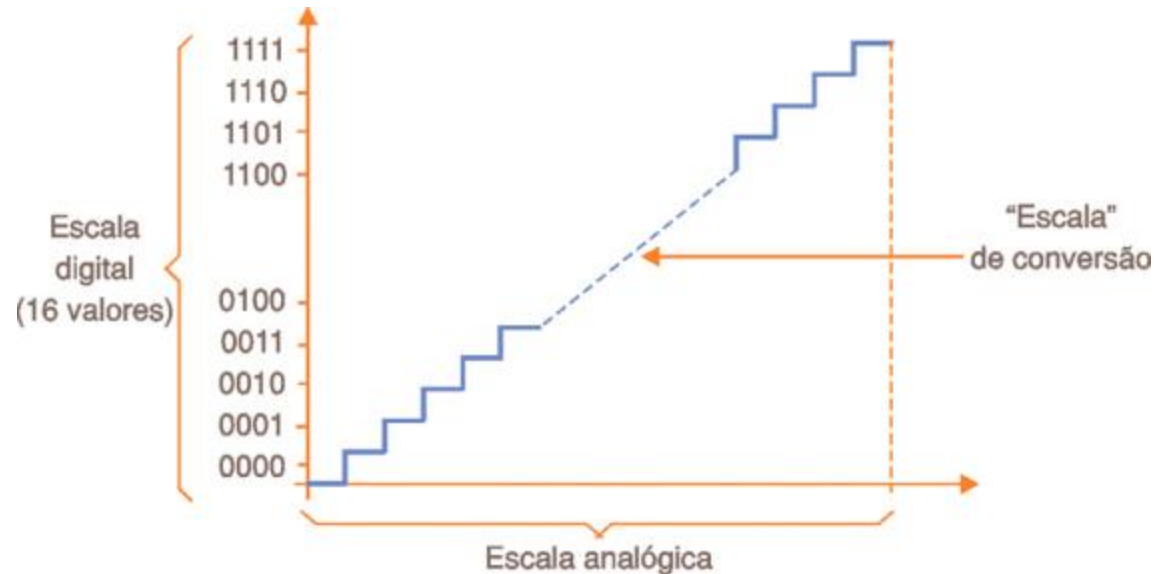
- Em um conversor A/D, entra um sinal analógico e sai um sinal digital, a cada intervalo fixo de tempo.

Conversor analógico-digital (A/D)

A informação digital é diferente de sua forma original contínua em dois aspectos fundamentais:

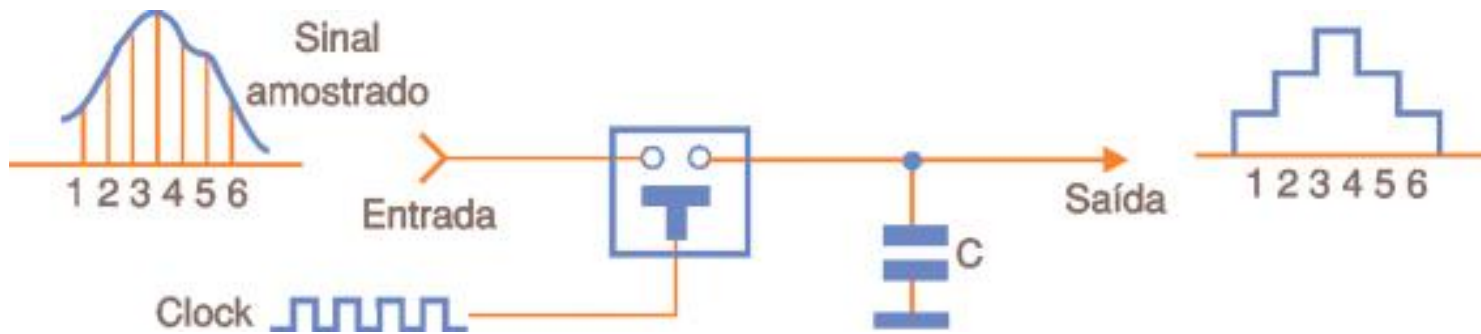
- É amostrada porque é baseada em amostragens, ou seja, são realizadas leituras em um intervalo fixo de tempo no sinal contínuo;
- É quantizada porque é atribuído um valor proporcional a cada amostra com base em um **conjunto finito** de valores possíveis.

Conversor analógico-digital (A/D)



Para cada faixa de valores do sinal analógico corresponde um valor digital

Conversor analógico-digital (A/D)

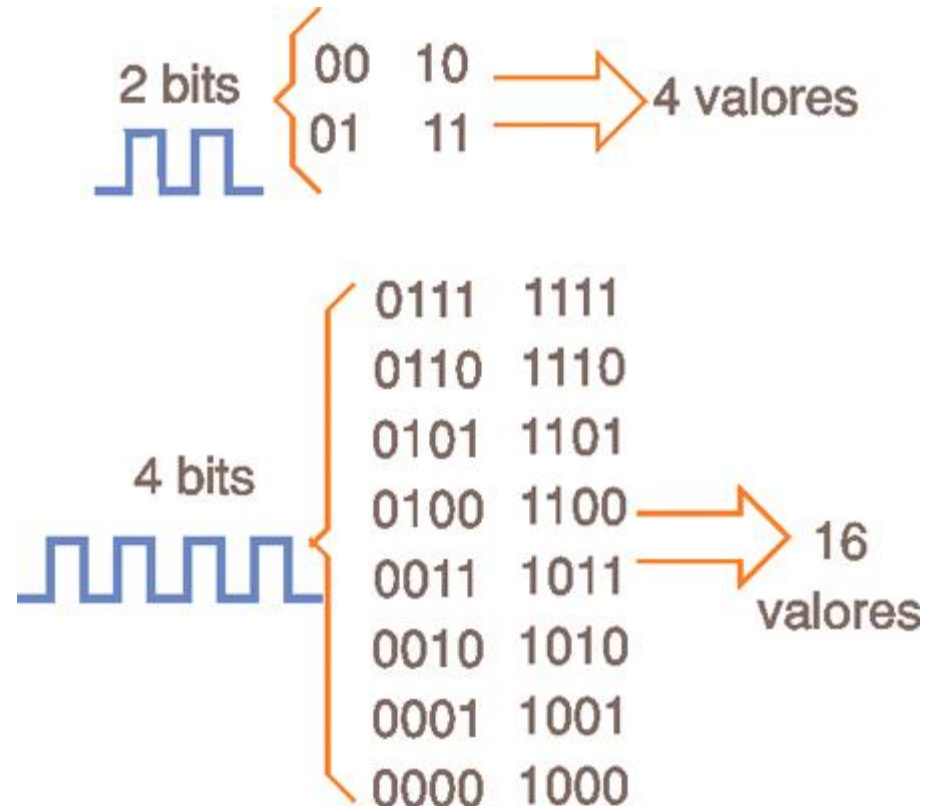


A um intervalo fixo “mede-se” o valor do sinal analógico.

Conversor analógico-digital (A/D)

- Características importantes de um conversor A/D:
 - Frequência de amostragem (*Hertz - Hz*)
 - Define o intervalo de tempo entre amostras consecutivas
 - Resolução (número de *bits*)
 - Define a capacidade de representação do valor quantizado em um valor numérico.

Conversor analógico-digital (A/D)

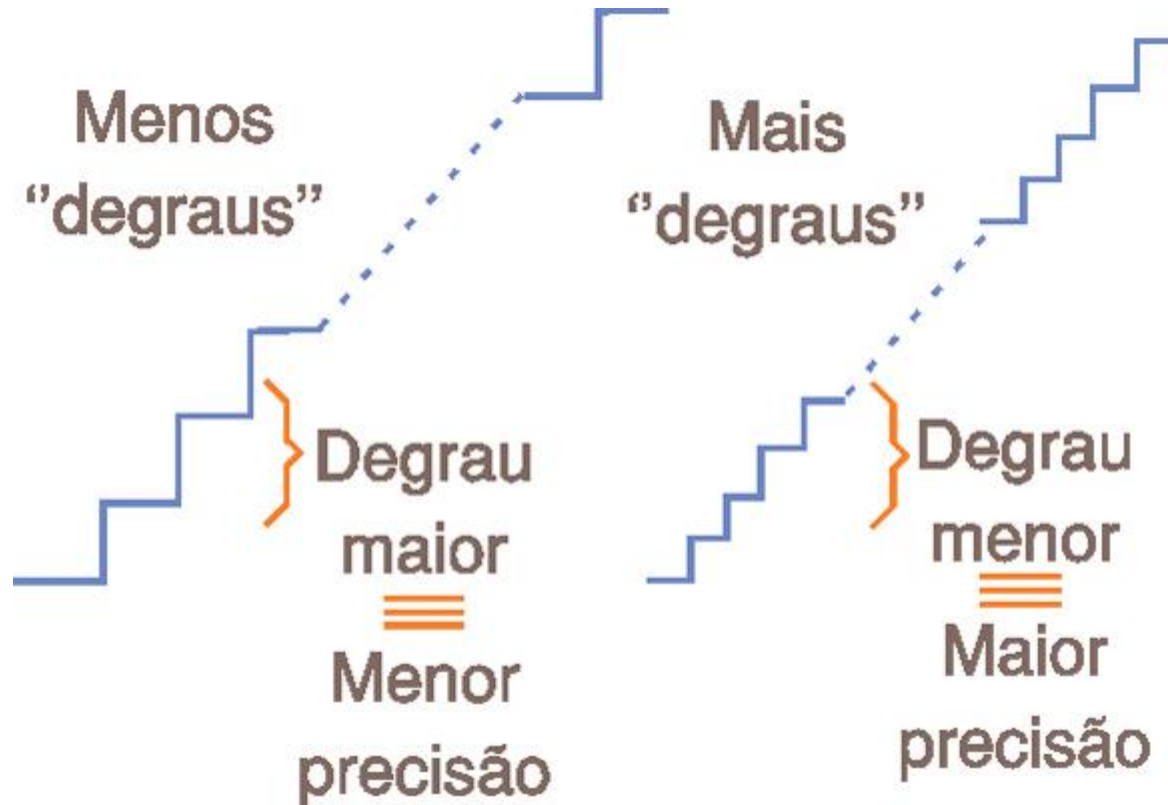


Conversor analógico-digital (A/D)

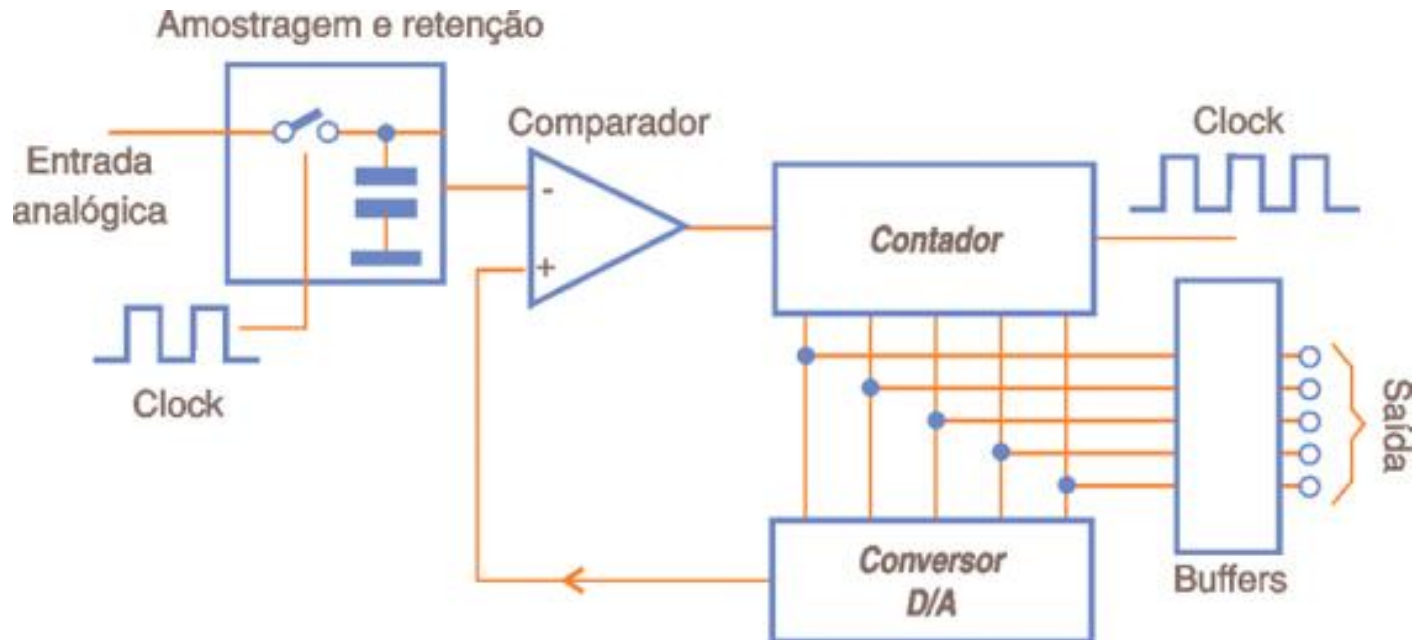
11
10 } 25% de
01 } erro
00

1111
..... } 6,3% de
0000 } erro

Conversor analógico-digital (A/D)



Conversor analógico-digital (A/D)



Método de aproximação sucessiva

Modelo matemático do ADC

O ADC pode ser interpretado como um divisor, que retorna a fração inteira entre o valor analógico na entrada (V_{in}) pela diferença entre os valores máximo (V_{refH}) e mínimo (V_{refL}).

$$\text{Valor digital (n bits)} = \frac{V_{in} - V_{refL}}{V_{refH} - V_{refL}}$$

Se $V_{refL} = 0 \text{ V} \dots$

$$\text{Valor digital (n bits)} = \frac{V_{in}}{V_{refH}}$$

Resolução do ADC e ruído de quantização

- Devido à resolução limitada do ADC, o erro de quantização equivale a um ruído aditivo na medição do sinal desejado. Isto é, o sinal $x(t)$ é medido como o sinal $f(x(t))$, onde o ruído $n(t)$ é a diferença $(f(x(t)) - x(t))$

$$f(x(t)) = x(t) + n(t)$$

Razão sinal/ruído de quantização (SNR)

- A potência de um sinal pode ser calculada pelo seu valor RMS (*root mean square*). Assim, se X for o valor RMS do sinal $x(t)$ e N for o valor RMS do ruído, a razão sinal/ruído (SNR), em decibéis (dB), é dada por:

$$SNR_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{X}{N} \right)$$

O valor RMS do ruído é calculado por:

$$N = \lim_{T \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{1}{2T} \int_{-T}^T (n(\tau))^2 d\tau}$$

Razão sinal/ruído de quantização (SNR)

- Exemplo para um sinal senoidal de amplitude A , o valor RMS é $A/\sqrt{2}$. E o valor RMS de ruído de quantização para n bits é $A/\sqrt{3} 2^n$

Neste caso, a SNR é dada por:

$$\text{SNR (dB)} = 1,76 + 6n \text{ dB}$$

Cada bit de resolução do ADC acrescenta 6 dB !

Taxa de amostragem do ADC

Deve ser escolhida conforme o **teorema de amostragem de Nyquist-Shannon**.

Informalmente, o teorema afirma que se as amostras forem coletadas a uma taxa $R = 1/T$, o sinal original pode ser *unicamente* reconstruído a partir destas amostras se o mesmo for composto pelo somatório de componentes senoidais com frequências inferiores a $R/2$ Hz!

Taxa de amostragem do ADC

De forma simples, se um sinal pode variar com frequência menor que $R/2$, a taxa de amostragem deve ser R . Caso contrário, ocorre o efeito chamado **aliasing**.

Aliasing significa que não é possível identificar unicamente o sinal amostrado.

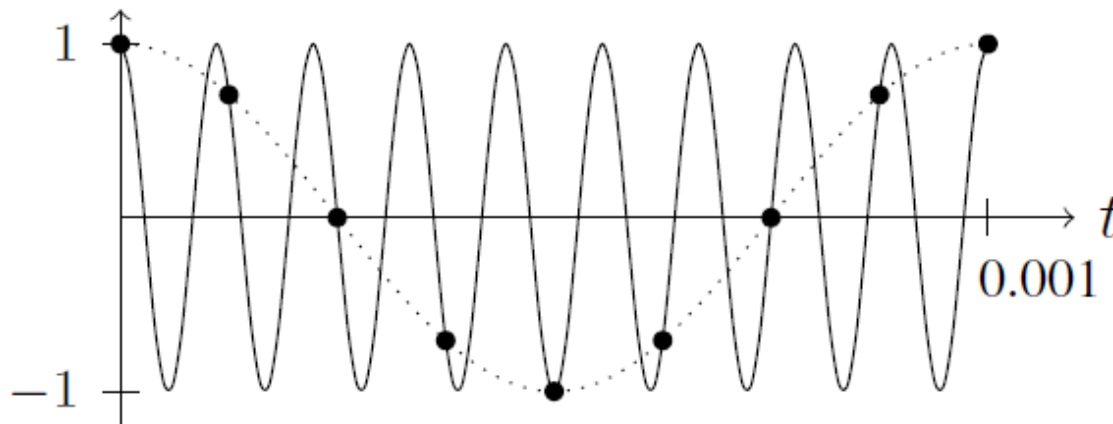
Taxa de amostragem do ADC

Por exemplo, se um sinal senoidal de **1kHz** é amostrado a uma taxa de **8000** amostras por segundo, o sinal amostrado $s(n)$ é dado por:

$$s(n) = \sin(2\pi 1000n/8000) = \sin(\pi n/4)$$

Mas, se o sinal original for de **9kHz**, o sinal amostrado será:

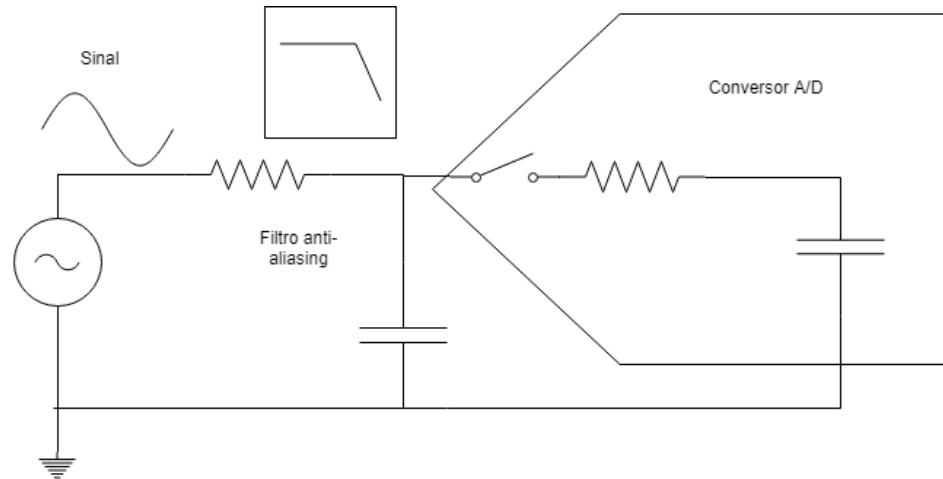
$$s(n) = \sin(2\pi 9000n/8000) = \sin(\pi n/4 + 2\pi n) = \sin(\pi n/4)$$



Aliasing: amostras de um sinal de 9kHz amostrado a 8000 amostras por segundo são as mesmas de um sinal de 1kHz amostrado a 8000 amostras por segundo!

Taxa de amostragem do ADC

Para evitar o **aliasing**, o sinal de interesse deve ser filtrado previamente usando-se um filtro ***anti-aliasing***! Isto é, um **filtro passa-baixas** que atenua as componentes com frequência acima da metade da taxa de amostragem utilizada!



Exercício

2- Qual é o menor de tensão necessário para alterar um bit o valor amostrado por um ADC de 12 bits, se os pinos VrefL e VrefH estiverem conectados ao terra (0V) e em 3,3V, respectivamente?

Exercício

- 3- Um sinal de áudio (voz) possui componentes de frequência de até 4kHz. Determine a quantidade de memória necessária para armazenar 1 segundo de áudio digitalizado por um ADC com resolução de 12 bits. Para este caso, determine ainda a razão sinal-ruído obtida.