

Comunicação de Dados

Técnicas de Comunicação Digital



TÓPICOS ABORDADOS

- Transmissão Digital de Dados;
- Transmissão em Paralelo e em Série;
- Conversão de Dados;
- Modulação de Pulso;
- Processamento de Sinais Digitais.



TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

- Desde a meados dos anos 70, os métodos digitais de transmissão de dados vêm substituindo gradativamente os métodos analógicos.
 - A comunicação de rádio permanece primariamente analógica porque o tipo de informação a ser transmitida é analógica e por causa das altas frequências envolvidas.
 - Hoje, circuitos digitais são rápidos o bastante para lidar com o processamento de sinais de rádio.
 - O processamento digital é mais rentável e prático.
-

TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

- **Dados** se referem à informação a ser comunicada.
- Se são analógicos (por exemplo, voz), normalmente são convertidos para digital antes de serem transmitidos.
- A comunicação digital era, inicialmente, limitada à transmissão de dados entre computadores.



TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

- Há três motivos principais para o crescimento dos sistemas de comunicação digitais:
 - 1º)** O aumento do uso de computadores tornou necessário encontrar-se uma maneira destes comunicarem-se e trocarem dados;
 - 2º)** Os métodos de transmissão digital fornecem benefícios importantes em relação às técnicas de comunicação analógica;
 - 3º)** O sistema de telefonia, que é o sistema de comunicação maior e mais amplamente utilizado encontra-se praticamente convertido de analógico para digital.



TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

- Alguns exemplos comuns de comunicação de dados de computadores incluem:
 - Transferência de arquivos;
 - Correio eletrônico (*e-mail*);
 - Conexões entre computadores e periféricos;
 - Acesso à internet;
 - Redes de área local (LANs).



TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

Dentre as aplicações de técnicas digitais fora da informática temos:

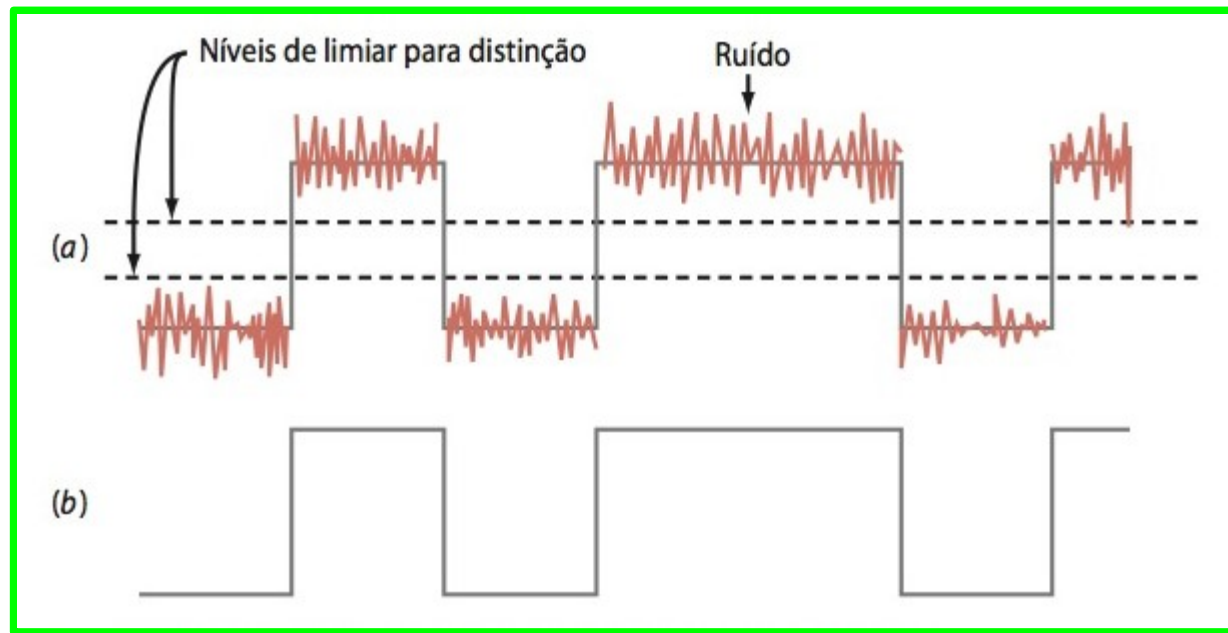
- Controle remoto de TV;
- Portão eletrônico de garagem;
- Substituição de chaves por controle remoto.



TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

Benefícios da Comunicação Digital:

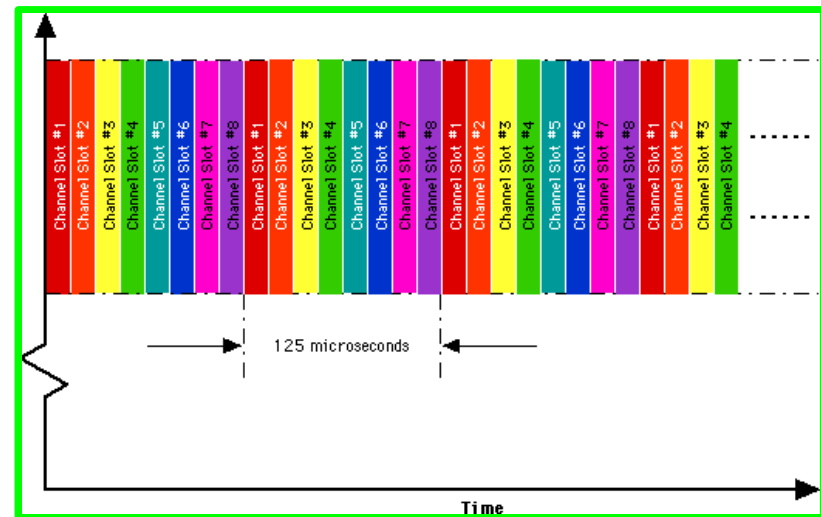
- Imunidade ao Ruído: sinais digitais, geralmente binários, são mais imunes a ação do ruído do que os sinais analógicos; (a) sinal com ruído e (b) sinal filtrado:



TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

Benefícios da Comunicação Digital:

- Detecção e Correção de Erros: Na comunicação digital, erros de transmissão geralmente podem ser detectados e corrigidos com facilidade;
- Multiplexação por Divisão de Tempo: A comunicação de dados digitais é adaptável a esquemas de multiplexação por divisão de tempo.



TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

Benefícios da Comunicação Digital:

- CI's Digitais: os CI's digitais são menores e mais fáceis de se produzir do que CI's lineares, portanto, podem ser mais complexos e fornecer maior capacidade de processamento.
- Processamento de Sinais Digitais: *Digital Signal Processing*, ou DSP, é o processamento de sinais analógicos por métodos digitais. Envolve converter um sinal analógico para digital e então processá-lo num computador digital.

TRANSMISSÃO DIGITAL DE DADOS

Desvantagens da Comunicação Digital:

- Um tamanho considerável de largura de banda é necessário para um sinal digital;
- Circuitos de comunicação digital são geralmente mais complexos do que circuitos analógicos.

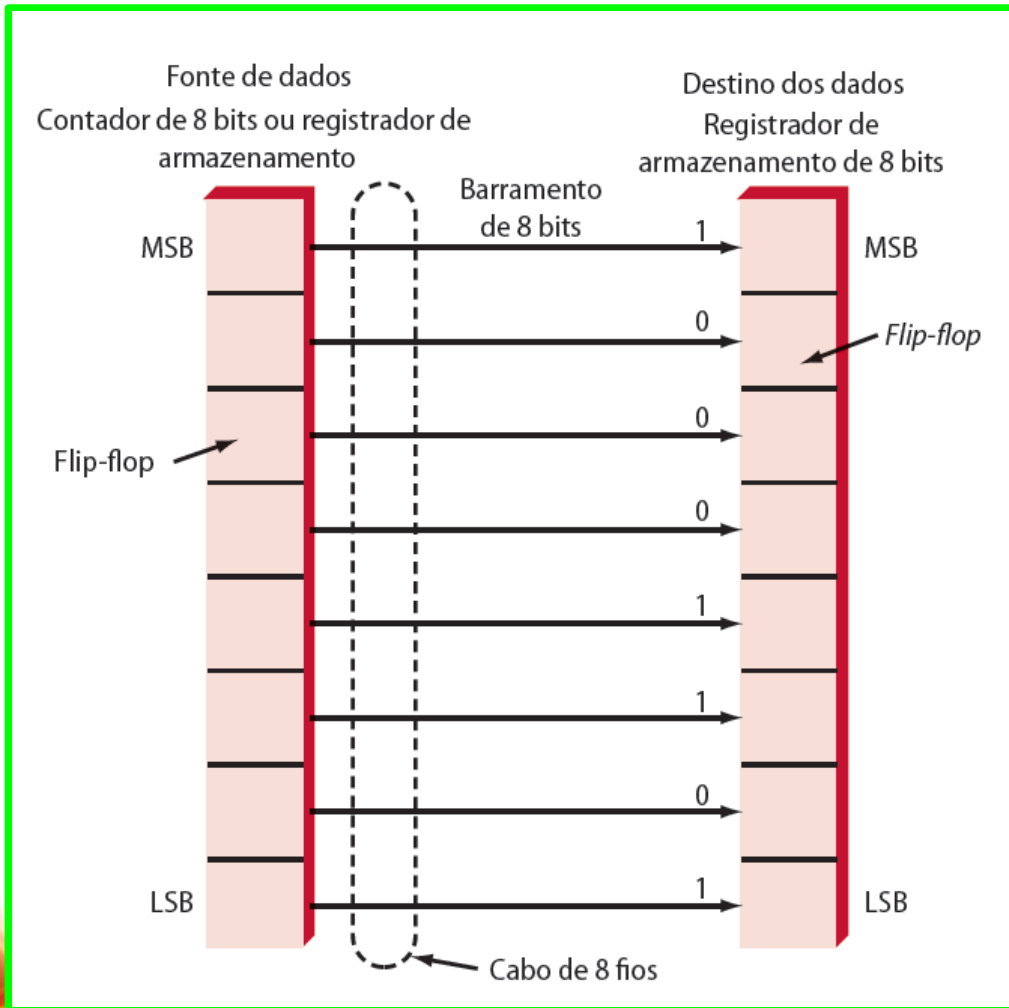


TRANSMISSÃO: PARALELO E EM SÉRIE

- Existem duas formas de se mover dados binários (bits) de um lugar para outro:
 - 1ª)** Transmitir todos os *bits* de uma palavra ao mesmo tempo (**transferência em Paralelo**).
 - 2ª)** Enviar apenas 1 *bit* de uma palavra por vez (**transferência em Série**).



TRANSMISSÃO: PARALELO

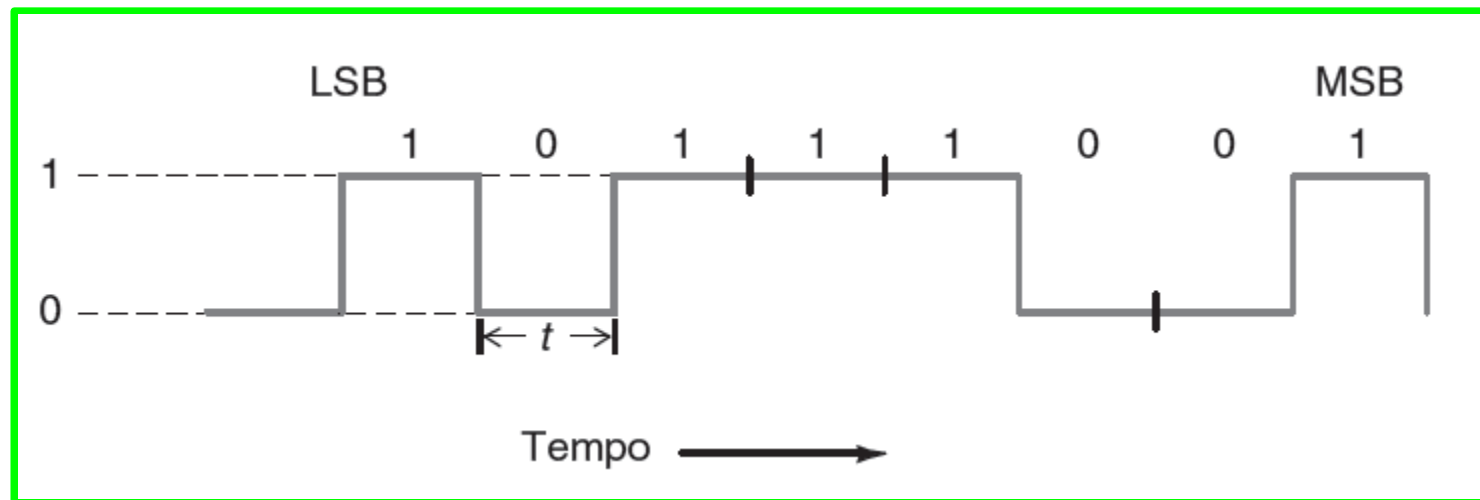


- **Flip-flop:** circuito digital capaz de armazenar um 1 *bit* de informação.
- Transmissão extremamente rápida, pois todos os *bits* das palavras de dados são transferidos simultaneamente.
- Esse tipo de transmissão de dados não é prático para a comunicação em longas distâncias devido:
 - Aos elevados custos de implementação;
 - E a forte atenuação dos sinais.

TRANSMISSÃO: SÉRIE

- Transferências de dados em sistemas de comunicação são feitas serialmente. Cada *bit* de uma palavra é transmitido por vez;
- O ***bit* menos significativo (LSB – *least significant bit*)** é transmitido primeiro e o ***bit* mais significativo (MSB – *most significant bit*)** por último;
- Cada *bit* é transmitido numa janela de tempo fixa em “t”.

TRANSMISSÃO: SÉRIE



Transmissão de dados em série.

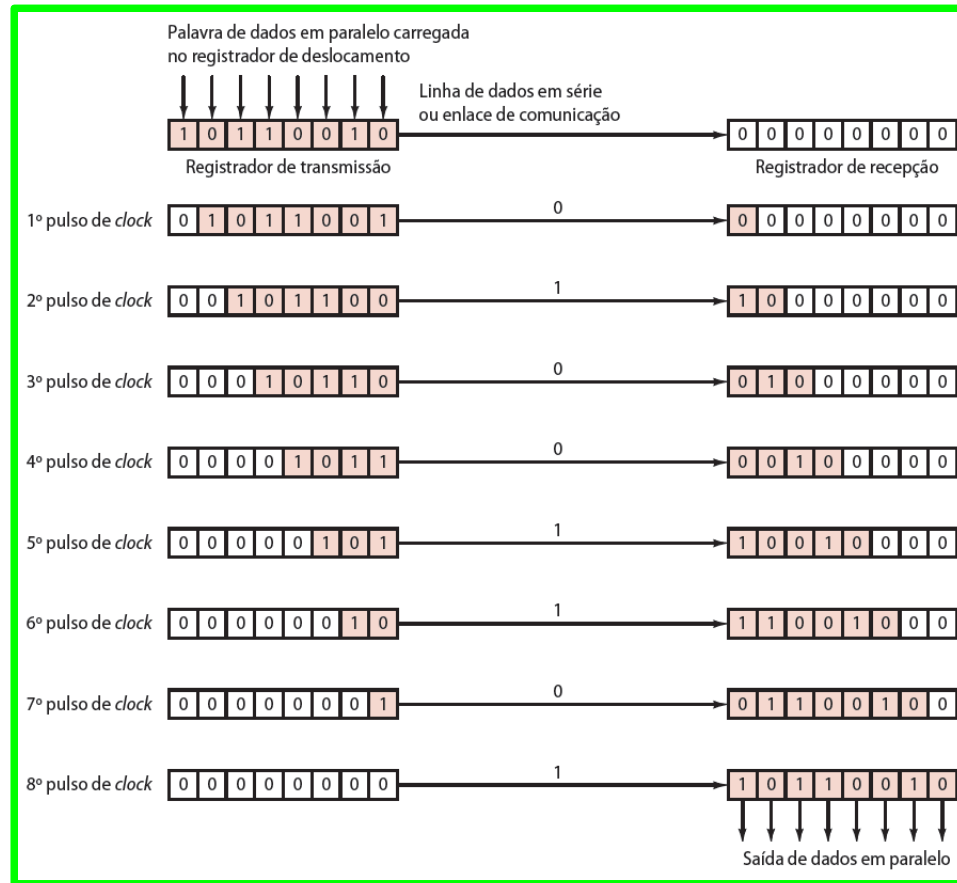
TRANSMISSÃO CONVERSÃO SÉRIE-PARALELO-SÉRIE

- Como tanto as transmissões em série quanto as em paralelo ocorrem com frequência entre computadores e os equipamentos de rede, existem diversas técnicas para converter dados em série para paralelo e vice-versa;
- Tais conversões de dados são geralmente controladas por **registradores de deslocamento**, circuitos lógicos sequenciais feitos de um número de *flip-flops* conectados em sequência (cascata).

TRANSMISSÃO CONVERSÃO SÉRIE-PARALELO-SÉRIE

- Os “n” *flip-flops* de um registrador de deslocamento (transmissão) podem armazenar paralelamente uma palavra binária de “n” *bits*, posteriormente transferida sincronicamente em série para um registrador de recepção inicialmente resetado (*ver próxima página*).
- Quando um pulso de relógio (*clock*) é aplicado aos *flip-flops* de ambos registradores, os *bits* da palavra são transferidos entre os *flip-flops* conectados em sequência a partir do LSB.
- No registrador de transmissão a palavra é deslocada na direção do LSB resetando-se as posições vagas.
- Ao fim de “n” pulsos de relógio a palavra de dados paralela é então serialmente transmitida pelo enlace de comunicação.

CONVERSÃO PARALELO-SÉRIE



Transferência de dados de paralelo para série e de série para paralelo com registradores de deslocamento.

TRANSMISSÃO: SÉRIE

- Dados em série podem ser tipicamente transmitidos mais rapidamente por longas distâncias do que dados em paralelo.
- Atualmente, barramentos em série estão substituindo barramentos em paralelo em computadores, sistemas de armazenamento e equipamentos de telecomunicação nos quais velocidades muito elevadas são necessárias.
- Circuitos de conversão de dados de série para paralelo e de paralelo para série também são chamados de dispositivos **serializador-deserializador (SERDES)**.

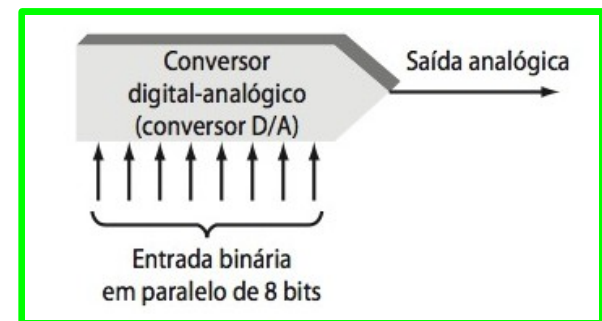
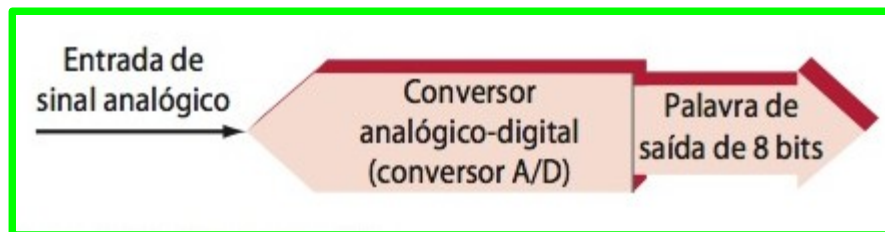
CONVERSÃO DE DADOS

- O ponto principal na comunicação digital é converter dados da forma analógica para a forma digital.
 - Uma vez que estejam na forma digital, os dados podem ser processados ou armazenados.
 - Frequentemente os dados devem ser convertidos de volta para a forma analógica para seu consumo final pelo usuário.
-

CONVERSÃO DE DADOS

Princípios Básicos da Conversão de Dados

- A tradução de um sinal analógico em um sinal digital é denominada **conversão analógico-digital (A/D)**, **digitalização de um sinal**, ou **codificação**:
 - O dispositivo usado para realizar essa tarefa é o **conversor analógico-digital (ADC)**.
- A tradução de um sinal digital em um sinal analógico é denominada **conversão digital-analógico (D/A)**.
 - O dispositivo usado para essa tarefa é o **conversor digital-analógico (D/A)** ou **DAC** ou **decodificador**.



CONVERSÃO DE DADOS

Princípios Básicos da Conversão de Dados: Analógico/Digital

- Um sinal analógico é uma variação suave ou contínua na tensão ou na corrente.
- Através da conversão A/D esses sinais continuamente variáveis são transformados em uma série de números binários (base 2).
- A conversão A/D é um processo de amostragem ou medição do sinal analógico em intervalos de tempo regulares (intervalos de amostragem).

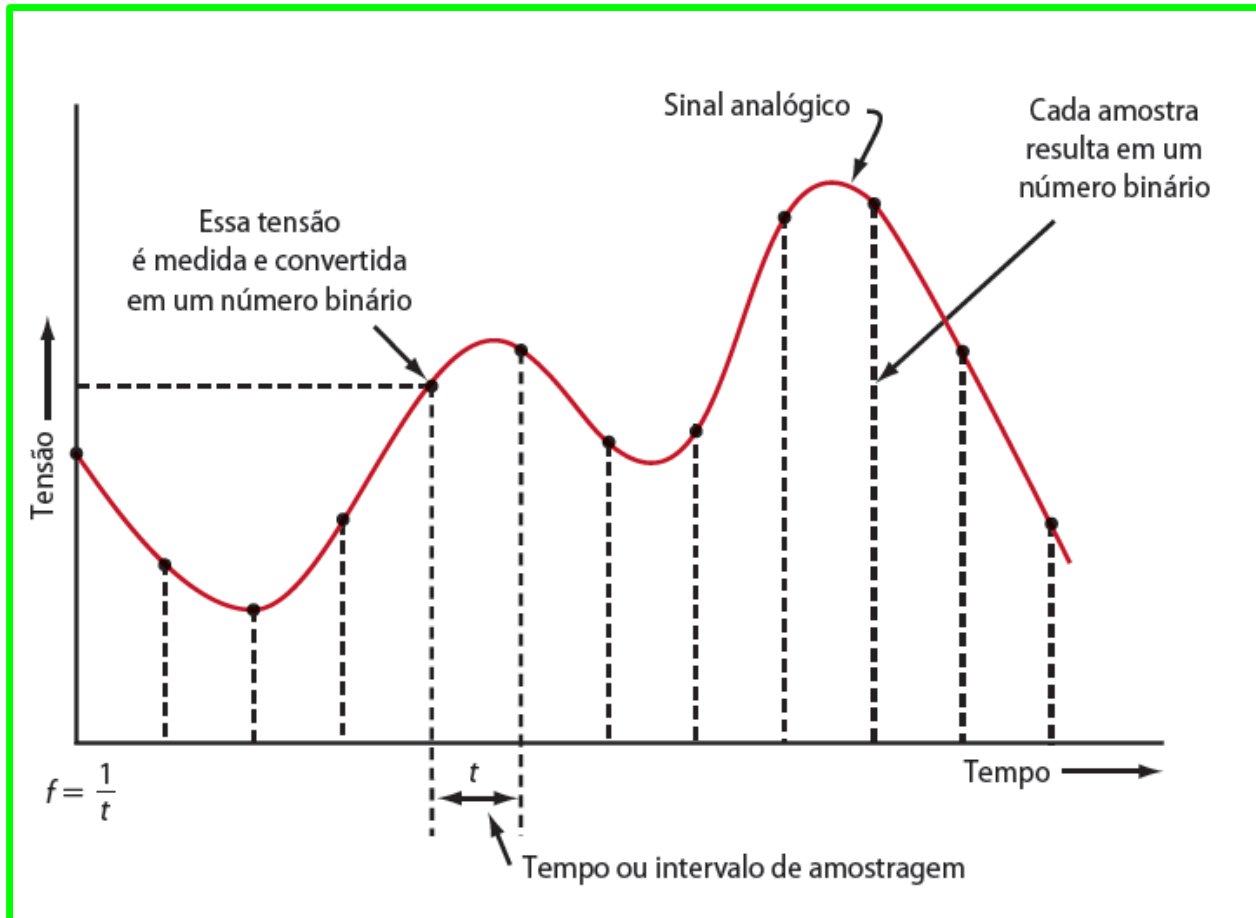


CONVERSÃO DE DADOS

Princípios Básicos da Conversão de Dados: Analógico/Digital

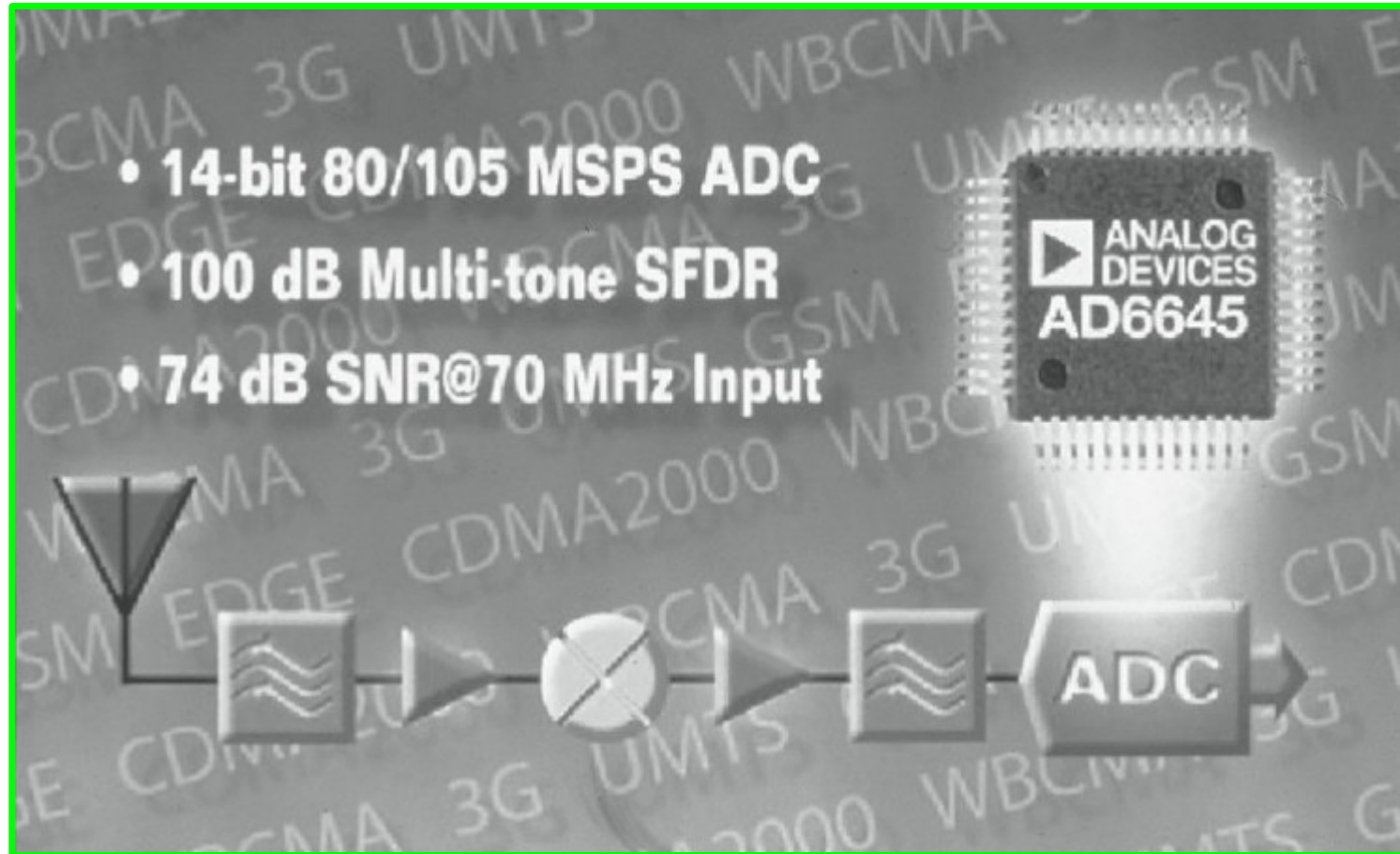
- Para reter a informação de alta frequência no sinal analógico, uma quantidade suficiente de amostras deve ser tomada para representar adequadamente a forma de onda.
- A frequência mínima de amostragem é o dobro da frequência analógica mais alta do sinal.
- Essa frequência de amostragem mínima é conhecida como a **Frequência (ou Critério) de Nyquist**.
- Na prática, a taxa de amostragem é muito maior (tipicamente de 2,5 a 3 vezes maior) do que o mínimo de Nyquist.

CONVERSÃO DE DADOS



Amostragem de um sinal analógico.

CONVERSÃO DE DADOS



Circuito Integrado (CI) CAD comercial.

CONVERSÃO DE DADOS

Princípios Básicos da Conversão de Dados: Analógico/Digital

- O sinal analógico representa uma quantidade infinita de valores reais de tensão.
- O conversor A/D pode representar apenas uma quantidade finita de valores de tensão sobre a faixa analógica específica dependente da resolução digital definida pelo número de *bits*.

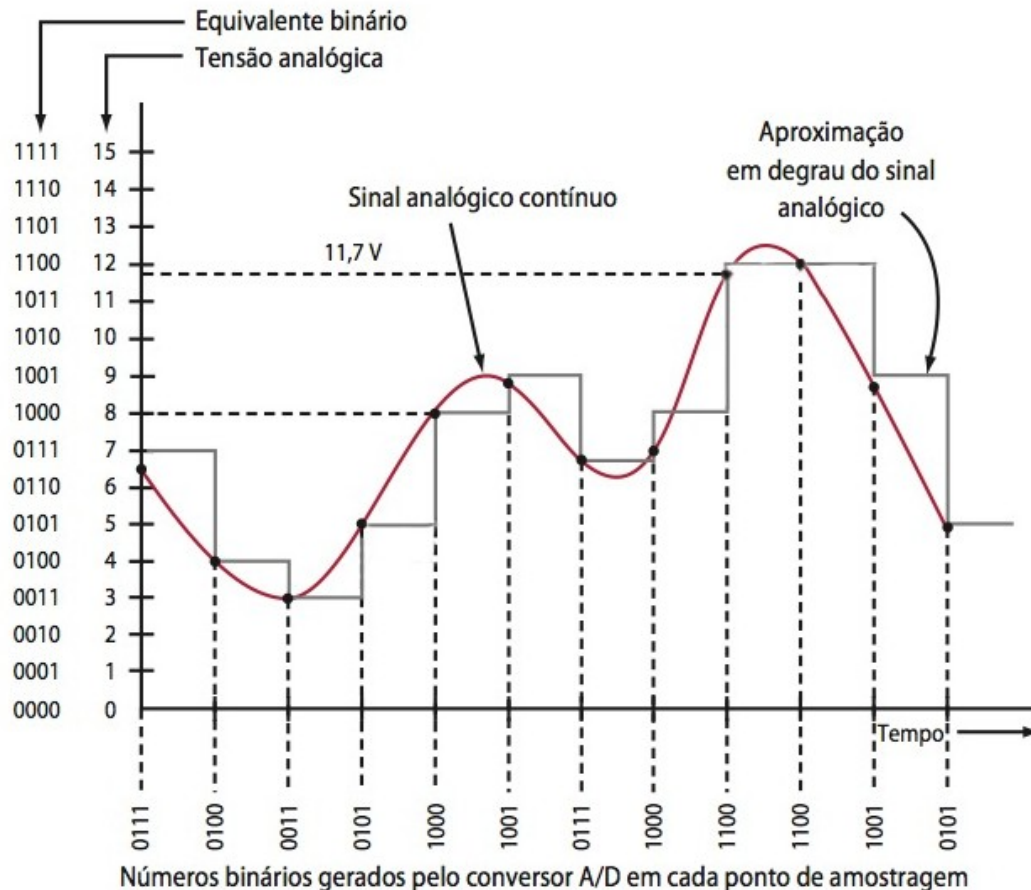


CONVERSÃO DE DADOS

Princípios Básicos da Conversão de Dados: Analógico/Digital

- As amostras são convertidas em um número binário cujo valor está próximo abaixo do valor real da amostra.
- Um conversor A/D divide uma faixa de tensão em incrementos discretos, cada um dos quais é representado por um número binário.
- A tensão analógica medida durante o processo de amostragem é atribuída ao incremento de tensão mais próximo a ela.
- Erros associados a esse processo são conhecidos como **erros de quantização**.

CONVERSÃO DE DADOS



O conversor A/D divide as faixas de tensão de entrada em incrementos de tensão discretos.

CONVERSÃO DE DADOS

- O erro de quantização pode ser reduzido dividindo-se a faixa de tensão analógica num número maior de incrementos de tensão.
- Para representar mais incrementos de tensão, deve-se utilizar um número maior de bits.

EXEMPLO 1: o uso de 12 bits em vez de 10 permite que a faixa de tensão analógica produza 2^{12} ou 4096 níveis de tensão. Isso proporciona uma divisão da faixa de tensão em mais partes e, portanto, o conversor A/D gera um número binário próximo do valor analógico real.

Quanto maior o número de bits, maior o número de níveis (patamares) na faixa analógica e menor o erro de quantização.

CONVERSÃO DE DADOS

- O valor máximo do erro pode ser calculado dividindo-se a faixa de tensão na qual o conversor A/D opera pelo número de incrementos.

EXEMPLO 2: Considere um conversor A/D de 10 bits, o qual possui $2^{10} = 1024$ níveis de tensão, ou $1024 - 1 = 1023$ incrementos.

Considere que a faixa de tensão de entrada seja de 0 a 6V. O incremento de tensão mínimo é $6/1023 = 0,0058651 \cdot 10^{-3}\text{V} = 5,8651\text{mV}$.

Cada incremento tem uma faixa menor que 6 mV. Esse é o erro máximo que pode ocorrer; o erro médio é metade desse valor.

CONVERSÃO DE DADOS

EXERCÍCIO 1

Um sinal de informação a ser transmitido digitalmente é uma onda retangular com um período de $71,4\mu\text{s}$.

Foi determinado que a onda passará adequadamente se a largura de banda incluir o quarto harmônico.

Calcule:

- (a) O sinal de frequência;
 - (b) O quarto harmônico; e
 - (c) A frequência de amostragem mínima (taxa de Nyquist).
-

CONVERSÃO DE DADOS

EXERCÍCIO 2

A faixa de tensão de um conversor A/D que utiliza números de 14 *bits* é de -6 a +6V.

Determine:

- (a) O número de níveis discretos que são representados;
- (b) O número de incrementos de tensão; e
- (c) A resolução da digitalização (menor incremento de tensão).

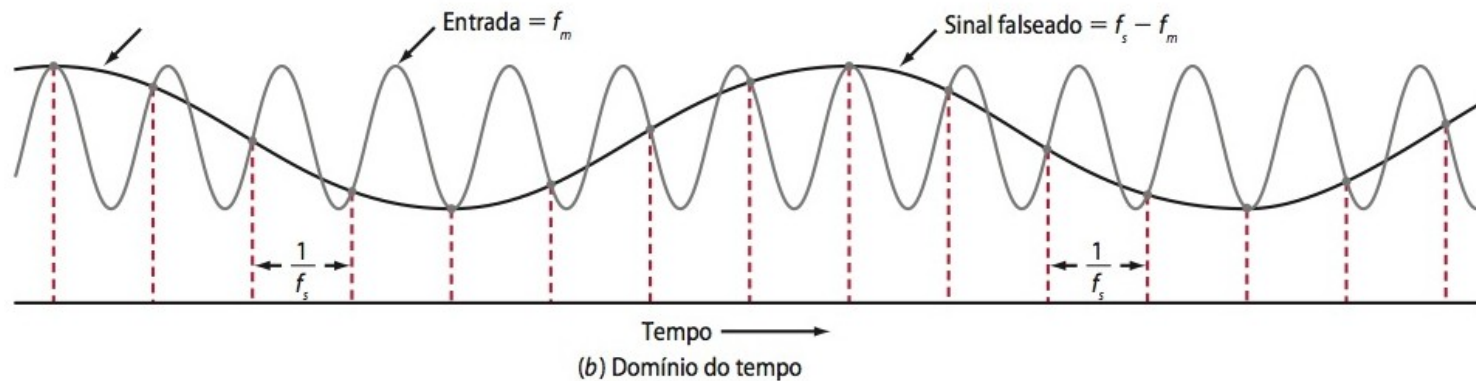
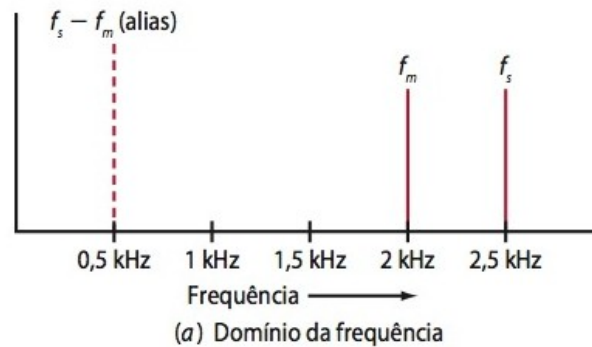


CONVERSÃO DE DADOS

Princípios Básicos da Conversão de Dados: *Aliasing*

- Se a frequência de amostragem não é alta o bastante, ocorre ***aliasing***.
- ***Aliasing*** faz com que se crie um novo sinal próximo ao original.
- Esse sinal tem uma frequência $f_s - f_m$.
- Quando o sinal amostrado é convertido de volta para analógico por um conversor D/A, a saída será o sinal de *aliasing*, não o sinal original.

CONVERSÃO DE DADOS



Efeitos de *Aliasing*.

CONVERSÃO DE DADOS

Princípios Básicos da Conversão de Dados: *Aliasing*

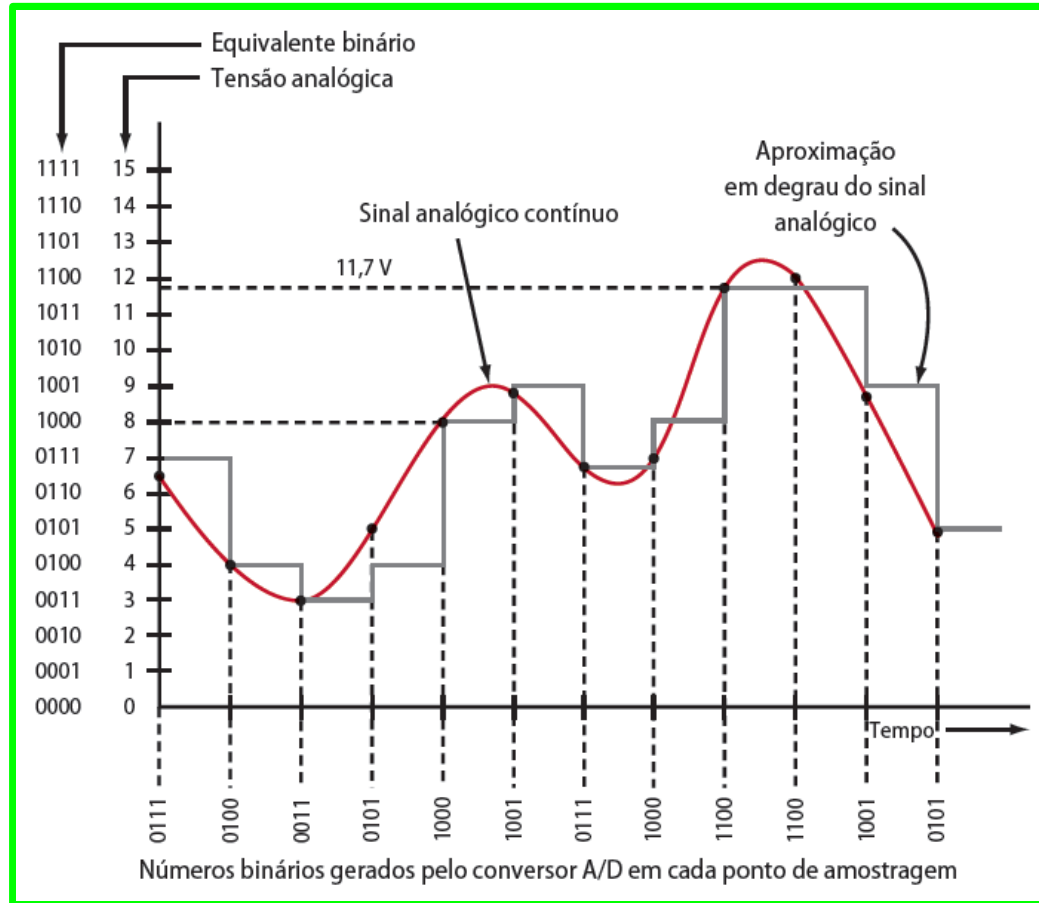
- Para eliminar esse problema, um filtro passa-baixa denominado **filtro antialiasing** geralmente é colocado entre a fonte do sinal modulante (ou informação) e a entrada do conversor A/D.
- O filtro *antialiasing* garante que nenhum sinal com uma frequência maior do que a metade da frequência de amostragem passe.
- Esse filtro deve ter uma seletividade extremamente boa.

CONVERSÃO DE DADOS

Princípios Básicos da Conversão: Digital/Analógico

- Para guardar um sinal analógico convertido para forma digital, algum tipo de memória binária deve ser usada.
- Os múltiplos números binários representando cada uma das amostras podem ser armazenados na memória de acesso aleatório (RAM - *random access memory*), no disco, ou em fita magnética.
- As amostras podem, então, ser processadas e usadas como dados por um microcomputador que pode realizar manipulações matemáticas e lógicas.
- O conversor D/A recebe os números binários sequencialmente e produz uma tensão analógica proporcional na saída.

CONVERSÃO DE DADOS



Um conversor D/A produz uma aproximação em degraus do sinal original.

CONVERSÃO DE DADOS

Especificações de Conversores A/D

- **Resolução:** está relacionada ao número de *bits* da saída. Indica a menor variação de tensão na entrada que é reconhecida pelo conversor. Os CAD com resoluções de 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 24 *bits* são utilizados numa ampla faixa de aplicações;
- **Faixa Dinâmica:** medida da faixa de tensões analógicas de entrada que podem ser convertidas. É expressa como a razão entre a tensão de entrada máxima e a tensão mínima reconhecível, convertida para **dB** (para N *bits* de resolução): $20 \cdot \log(2^N - 1)$

CONVERSÃO DE DADOS

Especificações de Conversores A/D

EXEMPLO 3: Qual a faixa dinâmica para um conversor A/D de 12 *bits*?

$$DR \text{ (Dynamic Range)} = 20 \cdot \log(2^{12} - 1) \approx 72,2472 \text{ dB}$$

- **Relação Sinal-Ruído** (S/N ou SNR): relação entre a tensão do sinal de entrada real e o ruído total no sistema. O ruído é proveniente do sinal de relógio (*clock*), da fonte de alimentação, do acoplamento do sinal externo e do processo de quantização. Geralmente, o valor RMS da tensão do sinal de entrada e o valor RMS ruído são aplicados no cálculo do valor em dB do SNR.

CONVERSÃO DE DADOS

Especificações de Conversores A/D

- **Faixa Dinâmica Livre de Sinais Espúrios** (SFDR, *spurious free dynamic range*):
 - Relação (em decibéis, dB) da tensão RMS do sinal analógico de entrada com o valor de tensão do maior sinal espúrio;
 - Um sinal espúrio é qualquer sinal indesejado resultante de uma distorção causada por qualquer característica não-linear do circuito conversor, do amplificador ou componentes relacionados. Os sinais espúrios são somas ou diferenças entre os harmônicos dos diversos sinais presentes no sistema.

CONVERSÃO DE DADOS

Especificações de Conversores A/D

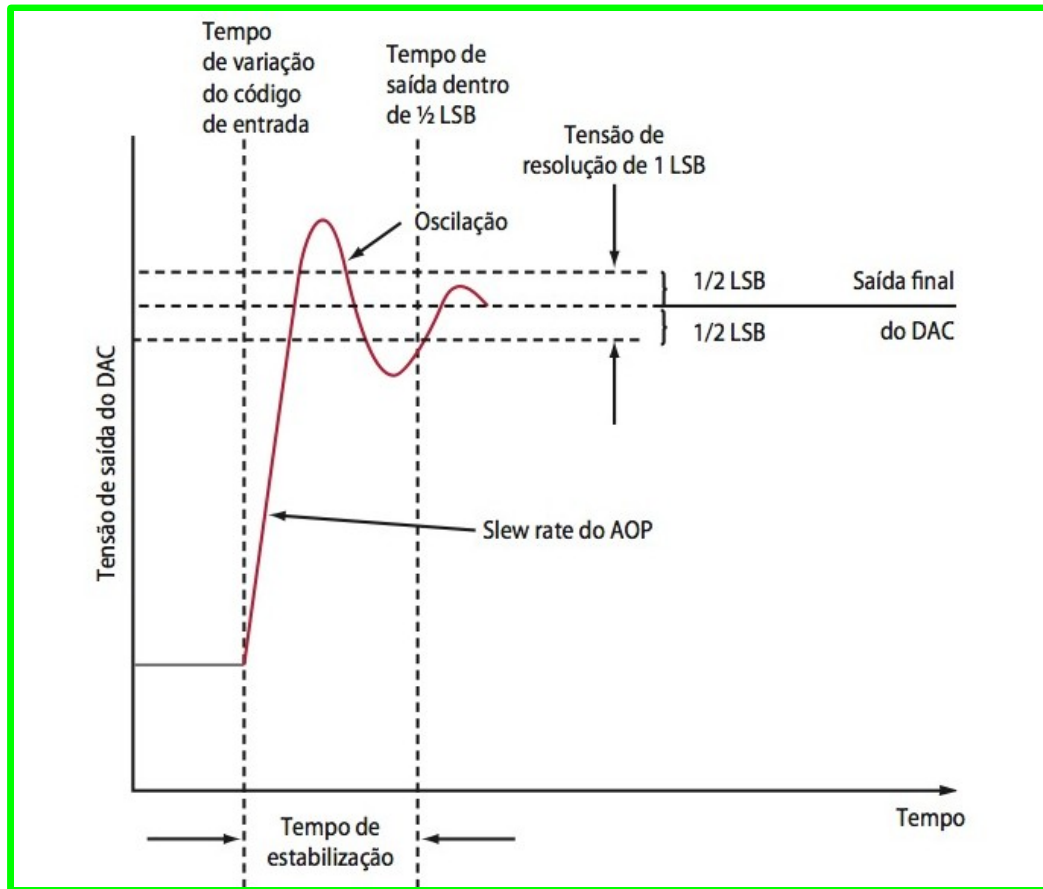
- **Faixa Dinâmica Livre de Sinais Espúrios** (SFDR, *spurious free dynamic range*):
 - Relação (em decibéis, dB) da tensão RMS do sinal analógico de entrada com o valor de tensão do maior sinal espúrio;
 - Um sinal espúrio é qualquer sinal indesejado resultante de uma distorção causada por qualquer característica não-linear do circuito conversor, do amplificador ou componentes relacionados. Os sinais espúrios são somas ou diferenças entre os harmônicos dos diversos sinais presentes no sistema.

CONVERSÃO DE DADOS

Especificações de Conversores D/A

- Três especificações importantes são associadas aos conversores D/A:
 - **Resolução:** menor incremento de tensão que o conversor D/A consegue produzir sobre sua faixa de tensões de saída;
 - **Erro:** expresso como uma porcentagem da tensão de saída máxima, ou de fundo de escala, que é o valor de tensão de referência.
 - **Tempo de Estabilização:** quantidade de tempo que leva para que a tensão de saída de um conversor D/A se estabilize a uma faixa de tensão específica após uma variação na entrada binária.
-

CONVERSÃO DE DADOS



Tempo de Estabilização (CDA).

MODULAÇÃO DE PULSO

- A **modulação de pulso** é o processo de alterar um sinal de pulso binário para representar a informação a ser transmitida.
- Os benefícios principais de se transmitir informação por técnicas binárias são:
 - Tolerância ao ruído; e
 - Habilidade de regenerar um sinal degradado.



MODULAÇÃO DE PULSO

- Existem quatro formas básicas de modulação de pulso:

1. MODULAÇÃO POR AMPLITUDE DE PULSO

(**PAM** – *pulse-amplitude modulation*);

2. MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO

(**PWM** – *pulse-width modulation*);

3. MODULAÇÃO POR POSIÇÃO DE PULSO

(**PPM** – *pulse-position modulation*); e

4. MODULAÇÃO POR CODIFICAÇÃO DE PULSO

(**PCM** – *pulse-code modulation*).

MODULAÇÃO DE PULSO

Comparando Métodos de Modulação de Pulso

- A página seguinte mostra um sinal modulante analógico e as diversas formas de onda produzidas por moduladores dos tipos **PAM**, **PWM** e **PPM**.
- Em todos os três casos, o sinal analógico é amostrado, como seria em uma conversão A/D.
- Esses sinais pulsados podem ser transmitidos na forma de banda base, mas na maioria das aplicações, eles modulam uma portadora RF de alta frequência ligando e desligando a portadora de acordo com o formato deles.

MODULAÇÃO DE PULSO

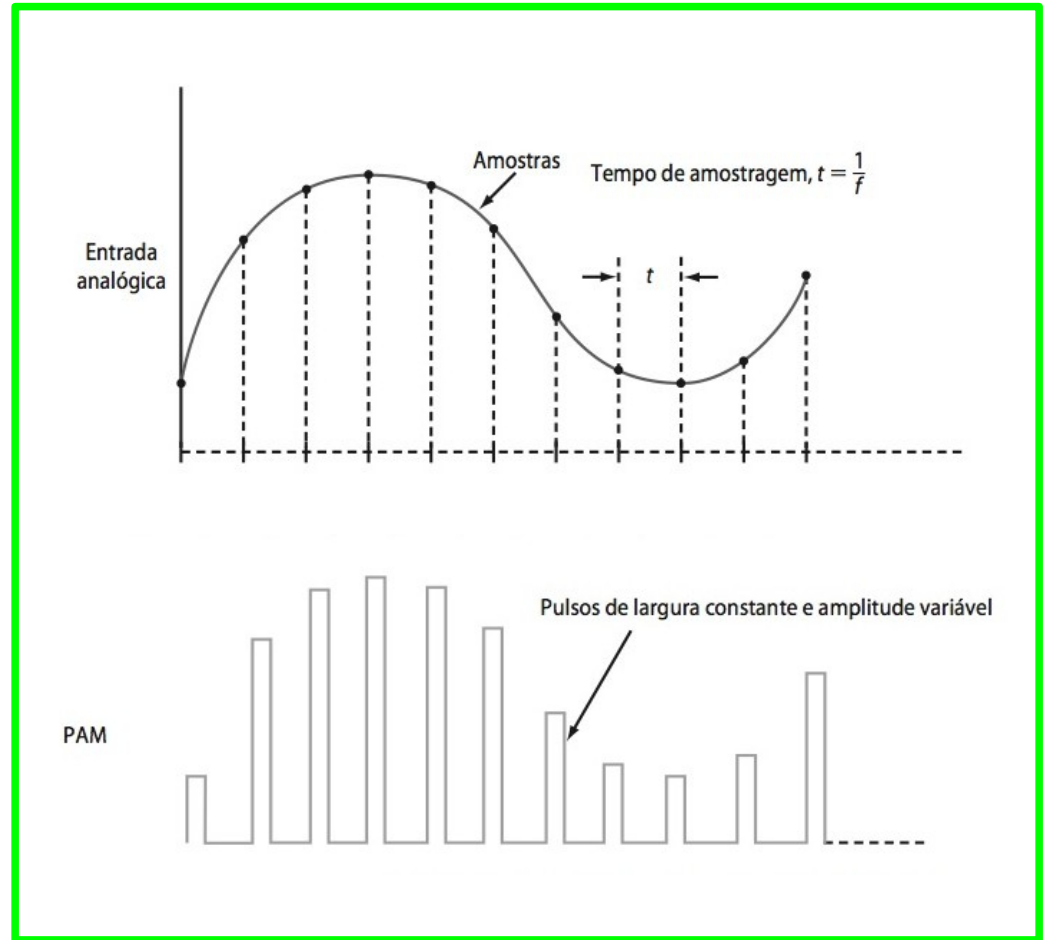
Comparando Métodos de Modulação de Pulso

As técnicas de modulação de pulso foram muito usadas em sistemas de **telemetria**.

- A telemetria, um sistema de monitoramento e medição à distância, permite a técnicos, cientistas e engenheiros monitorar características físicas de objetos ou veículos controlados remotamente.
- Atualmente as técnicas de modulação de pulso estão sendo amplamente substituídas por técnicas digitais avançadas, como a modulação por codificação de pulso (PCM), na qual um número binário representa o dado digital transmitido.

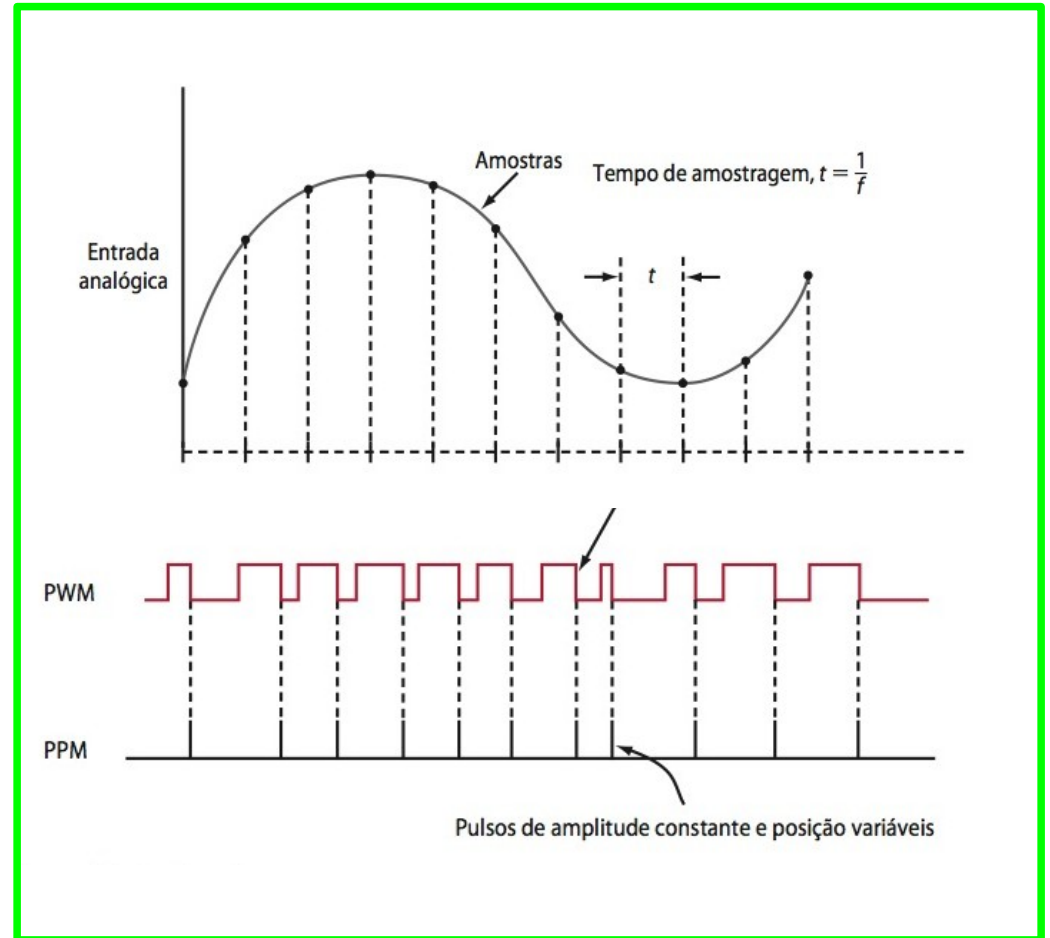
MODULAÇÃO DE PULSO

Modulação de pulso: PAM



MODULAÇÃO DE PULSO

Modulação de Pulso: PWM e PPM



MODULAÇÃO DE PULSO

Comparando Métodos de Modulação de Pulso

- O sinal **PAM** é uma série de pulsos de largura constante cujas amplitudes variam de acordo com o sinal analógico.
- O sinal **PWM** é binário em amplitude (tem apenas dois níveis). O sinal da informação varia a largura, ou duração de tempo do pulso.
- Em **PPM**, o pulso muda de posição de acordo com a amplitude do sinal analógico.
- Dos quatro tipos de modulação de pulso, **PAM** é a mais simples e menos cara de se implementar.

MODULAÇÃO DE PULSO

Modulação por Codificação de Pulso

- A técnica mais amplamente usada para digitalizar sinais de informação para transmissão de dados eletrônicos é a **modulação por codificação de pulso (PCM, *pulse-code modulation*)**.
- Sinais PCM são dados digitais em série.



MODULAÇÃO DE PULSO

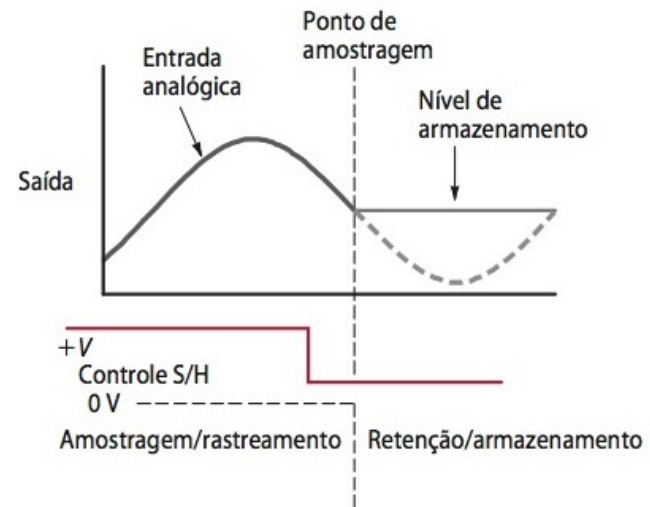
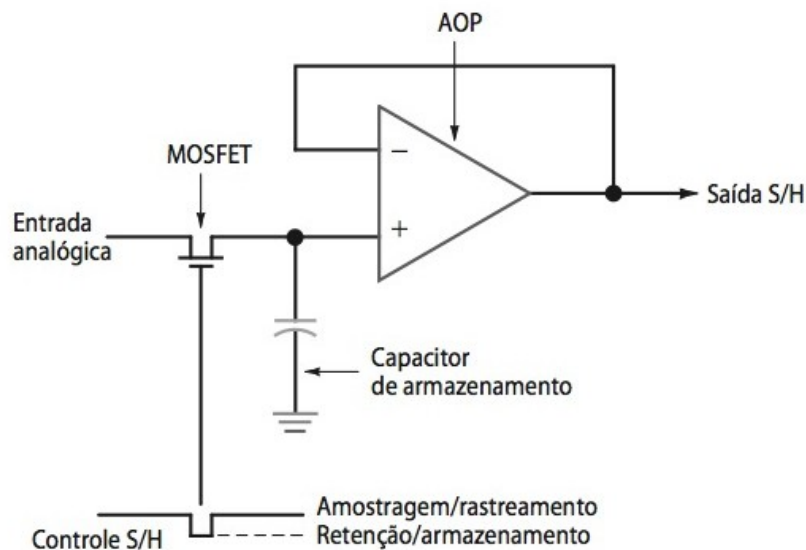
Modulação por Codificação de Pulso: PCM Tradicional

- Na PCM tradicional, o sinal analógico é amostrado e convertido em uma sequência de palavras binárias em paralelo por um conversor A/D.
- A palavra de saída binária em paralelo é convertida em um sinal em série por um registrador de deslocamento.
- A cada vez que uma amostra é tomada, uma palavra de *8bits* (*1byte*) é gerada pelo conversor A/D.
- Essa palavra deve ser transmitida serialmente antes que outra amostra seja feita e outra palavra seja gerada.
- Os sinais de relógio (*clock*) e do início da conversão são sincronizados de forma que o sinal de saída resultante seja um trem contínuo de palavras.

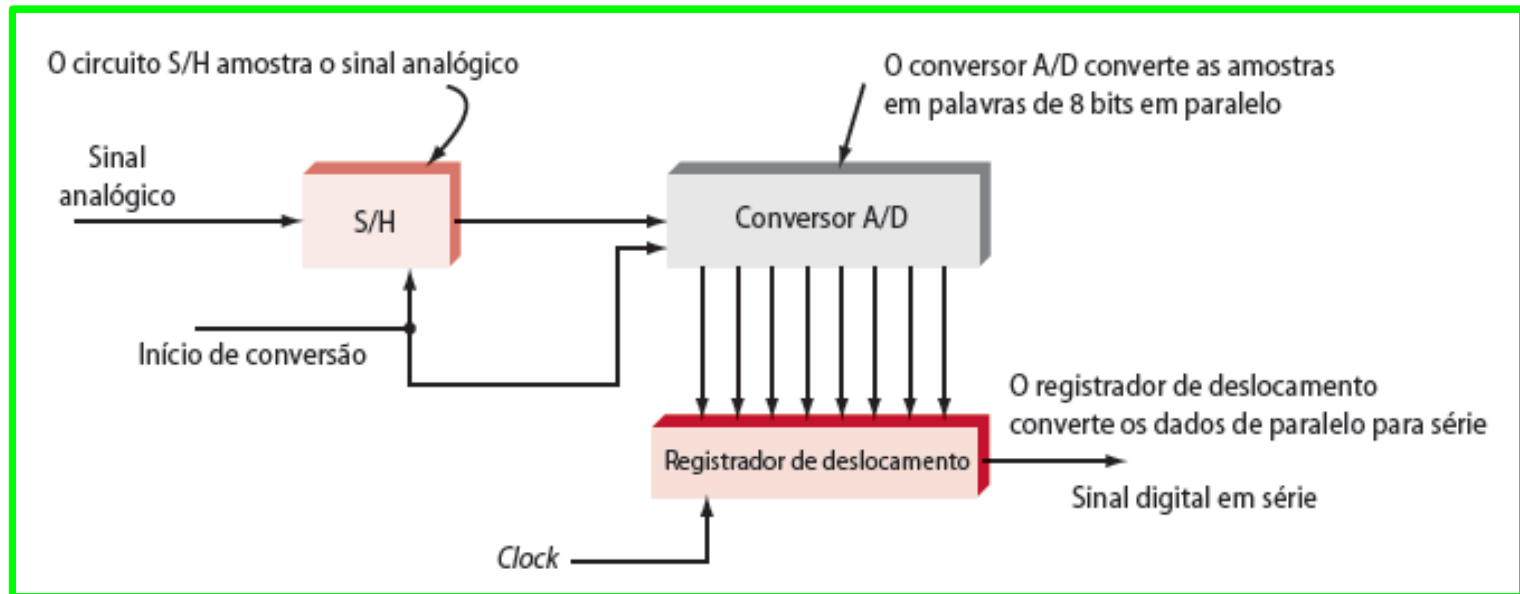
MODULAÇÃO DE PULSO

Circuito S/H: circuito de amostragem e retenção, rastreamento/armazenamento.

Recebe o sinal de entrada analógico e durante o modo de amostragem (S) não altera a amplitude. No modo de retenção (H), o amplificador memoriza o nível de tensão particular num instante particular. A saída do circuito S/H é um nível fixo de tensão cuja amplitude é o valor no instante da amostragem.

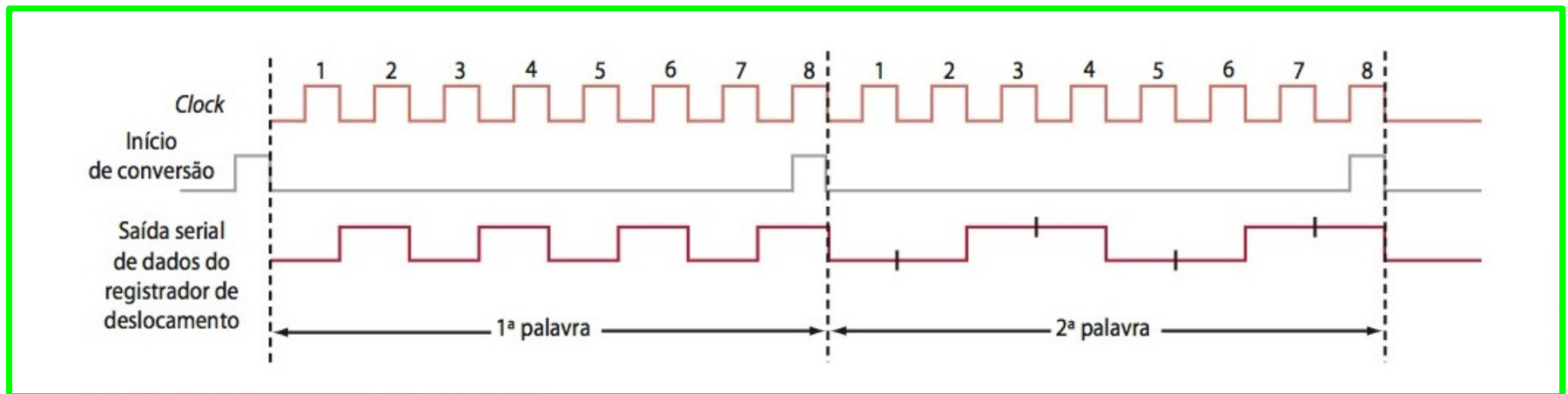


MODULAÇÃO DE PULSO



Sistema PCM básico.

MODULAÇÃO DE PULSO



PCM básico: enviando 01010101 e 11001100.

QUESTÕES

- 01 - Cite os quatro benefícios principais do uso de técnicas digitais em comunicação. Qual deles provavelmente é o mais importante?
 - 02 - O que é conversão de dados? Cite os dois tipos básicos.
 - 03 - Qual é o nome dado ao processo de medição do valor de um sinal analógico num determinado instante?
 - 04 - Qual é o nome dado ao processo de atribuir um número binário (0's e 1's) específico a um valor instantâneo de um sinal analógico?
 - 05 - Qual é o outro nome normalmente utilizado para a conversão A/D?
 - 06 - Descreva a natureza dos sinais e informação obtidos quando um sinal analógico é convertido para o formato digital.
-

QUESTÕES

- 07 - Descreva a natureza da forma de onda de saída obtida de um conversor D/A.
- 08 - Defina o efeito *aliasing* e explique seu efeito em um conversor A/D.
- 09 - Qual circuito realiza a operação de amostragem antes da conversão A/D?
- 10 - Cite os três tipos básicos de modulação de pulso. Qual deles não é binário?
- 11 - Como é evitado o aliasing?



EXERCÍCIOS

- 01 - Um sinal de vídeo contém variações de luz que mudam numa frequência tão alta quanto 3,5 MHz. Qual é a frequência de amostragem mínima para uma conversão A/D?
 - 02 - Um conversor D/A tem uma entrada binária de 12 bits. A tensão analógica de saída varia de 0 a 5 V. Quantos incrementos discretos de tensão existem e qual é o menor incremento de tensão?
 - 03 - Calcule o sinal falseado criado pela amostragem de um sinal de 5 kHz com uma taxa de amostragem de 8 kHz.
-

DETECÇÃO DE ERROS

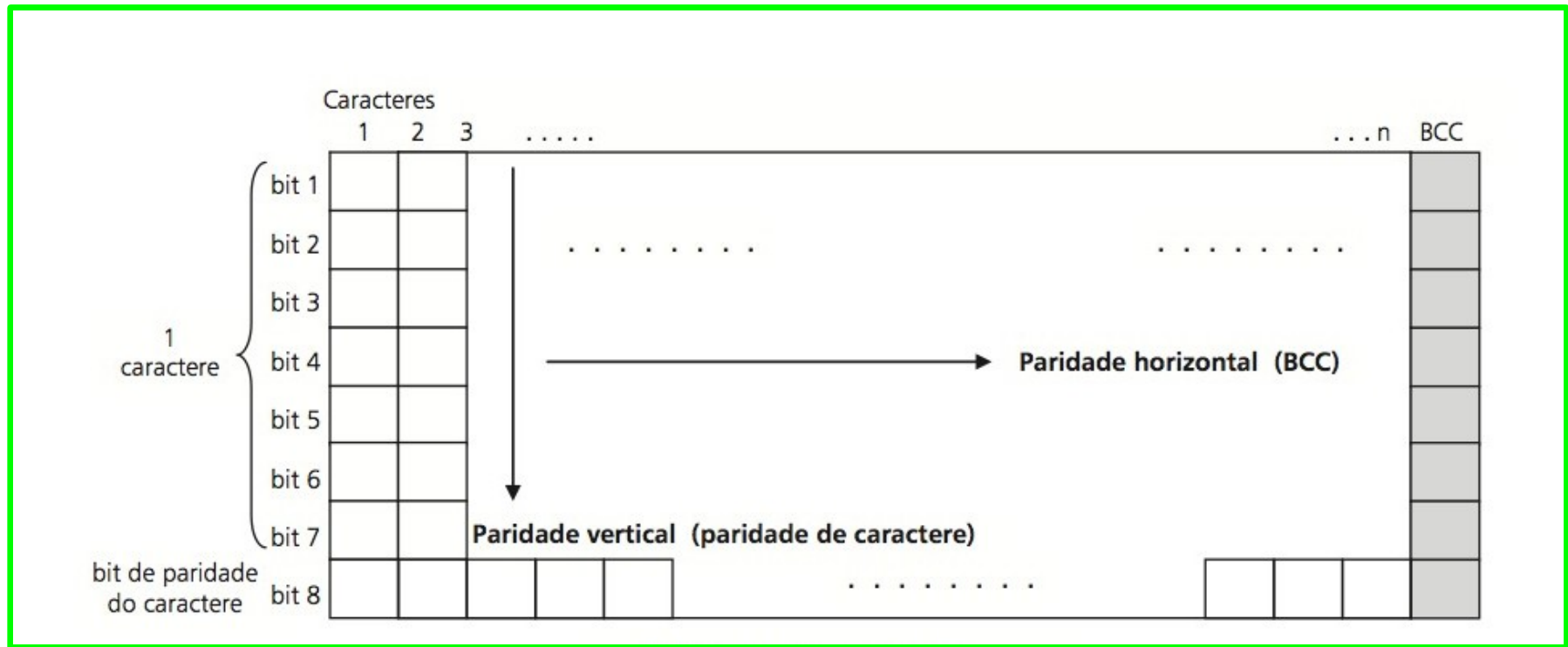
Métodos de detecção de erros largamente utilizados em sistemas de comunicação de dados.

Os caracteres são forados por 8 *bits*, sendo 7 de dados (portanto $2^7 = 128$ caracteres) e um *bit* de paridade.

O *bit* de paridade assume o valor **1** ou **0** baseado no fato de que o número de *bits* em um no caractere seja sempre par - **paridade par**, ou o contrário no caso da **paridade ímpar**.

Além do bit de paridade, também chamado de paridade vertical, no final do bloco é acrescentado um caractere chamado de BCC (*Block Check Character*), que é obtido fazendo-se a paridade de todas as linhas de *bits* (1, 2, . . . , 8), de todos os caracteres.

DETECÇÃO DE ERROS



Detecção de Erros: PARIDADE

DETECÇÃO DE ERROS

O a

O algoritmo
de bits são t



