

# Comunicação de Dados

Tecnologia em Redes de Computadores  
Prof. Macêdo Firmino

## Aula 04

Transmissão de Sinais Digitais Não Periódicos

“Só se vê bem com os olhos do coração. O essencial é invisível aos olhos” (St. Exupery)

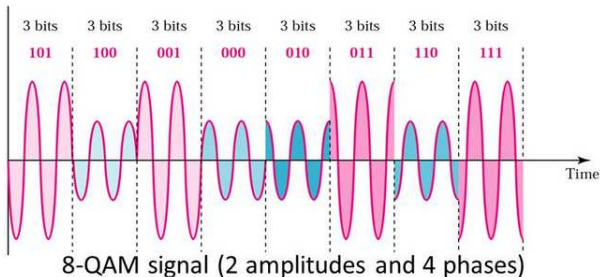


INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
RIO GRANDE DO NORTE

# O que Aprenderemos?

- Entender o que são sinais digitais não periódicos e compreender os principais métodos de modulação e transmissão desses sinais.
- Conhecer os desafios e as técnicas para a transmissão eficiente e confiável de sinais não periódicos.

Na aula passada compreendemos como transformamos bits em um sinal analógico periódico para transmissão (ASK, FSK, PSK e QAM) e a conversão de um sinal analógico em outro para transmissão (AM e FM). Agora veremos como converter em uma sinal digital.



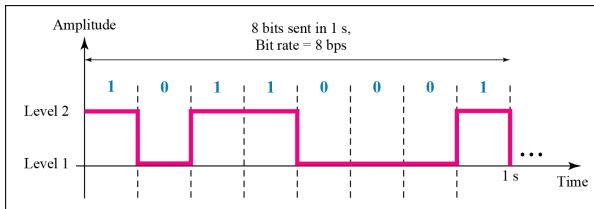
# Representação do Sinal (Sinais Digitais)

Um sinal digital não periódico é uma representação discreta (finita) de informações e que não possuem um padrão regular de repetição ao longo do tempo. Estes sinais podem ser, por exemplo, tensão elétrica ou pulsos de luz.

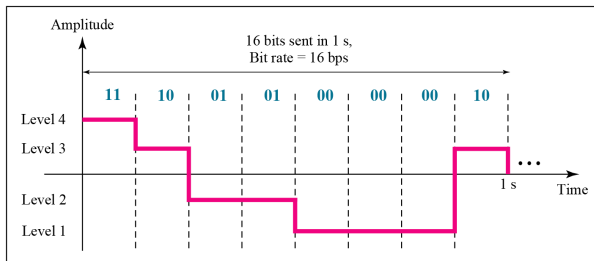
Os sinais digitais podem ser reproduzidos com alta precisão, sem degradação da qualidade ao longo do tempo e é menos susceptível a interferências. Eles podem ser facilmente processados, manipulados e armazenados por dispositivos eletrônicos digitais.



# Representação do Sinal (Sinais Digitais)



a. A digital signal with two levels



b. A digital signal with four levels

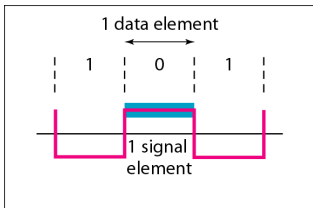
# Elemento de Sinal e Elemento de Dados

Em transmissão de dados o objetivo é sempre transmitir a quantidade máxima de dados em um menor tempo possível. Desta forma, elemento de sinal deverá transmitir vários *bits*. O elemento de sinal é a menor unidade (em termos de tempo) de um sinal digital que representa um ou mais dados no meio de transmissão. Um elemento de sinal pode representar um único bit (por exemplo, um pulso de luz representa 1 e ausência de pulso representa 0) ou múltiplos bits (com diferentes níveis de tensão ou fases de uma onda).

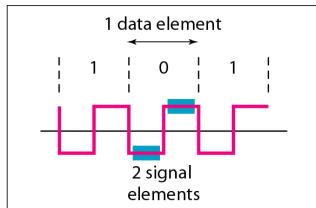
Um elemento de sinal representa múltiplos bits, permitindo uma taxa de transmissão mais alta.



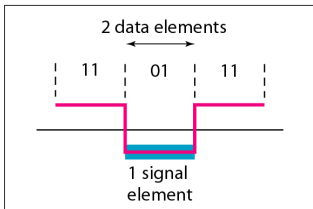
# Elemento de Sinal e Elemento de Dados



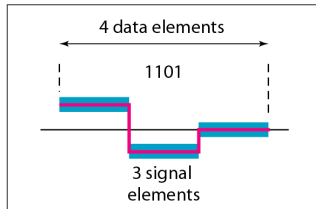
a. One data element per one signal element ( $r = 1$ )



b. One data element per two signal elements ( $r = \frac{1}{2}$ )



c. Two data elements per one signal element ( $r = 2$ )

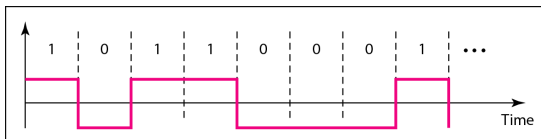


d. Four data elements per three signal elements ( $r = \frac{4}{3}$ )

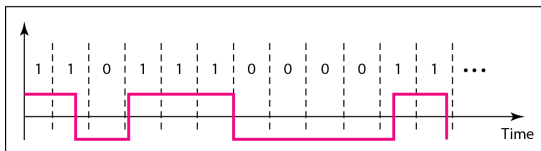


# Auto-sincronização

Para interpretar corretamente os sinais recebidos, a temporização do receptor deve corresponder exatamente a temporização do emissor, caso contrário as informações serão interpretadas de forma incorreta. A auto-sincronização é a capacidade de um sistema receptor de alinhar-se automaticamente ao sinal do transmissor.



a. Sent



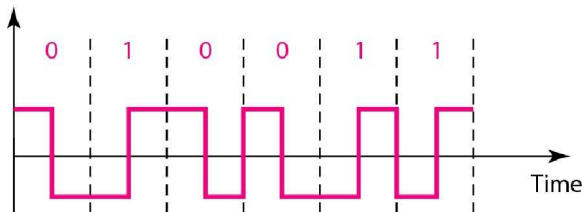
b. Received



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
RIO GRANDE DO NORTE

# Auto-sincronização

A auto-sincronização geralmente é implementada com técnicas de codificação que introduzem transições para indicar os pontos onde cada bit começa e termina. Além disso, o transmissor envia vários *bits* antes de transmitir a informação para que o receptor consiga sincronizar antes de receber os dados.



# Taxa de Transferência

A taxa de transferência refere-se à velocidade com que dados são transmitidos de um ponto a outro em um sistema de comunicação. Ela mede a quantidade de dados que podem ser enviados ou recebidos por unidade de tempo e é expressa geralmente em bits por segundo (bps) ou em múltiplos como kbps (kilobits por segundo), Mbps (megabits por segundo), Gbps (gigabits por segundo), etc.

A taxa de transferência é um indicador essencial do desempenho de redes.



# Taxa de Transferência

Fatores que afetam a Taxa de Transferência:

- O meio de transmissão: a capacidade do canal de comunicação impacta diretamente a taxa de transferência.
- Ruído e Interferência: em ambientes com alto ruído, a taxa de transferência pode ser reduzida para garantir a precisão dos dados.
- Latência e congestionamento: em redes congestionadas, a taxa de transferência efetiva pode ser menor devido ao aumento na latência e na perda de pacotes.



# Exercício

01. Qual a taxa de transferência necessária para conseguirmos enviar 10 mil caracteres por segundo? Suponha que cada caractere precise de 8 bits para ser representado.



## Exercício

01. Qual a taxa de transferência necessária para conseguirmos enviar 10 mil caracteres por segundo? Suponha que cada caractere precise de 8 bits para ser representado.

$$10.000 \times 8 = 80.000bps = 80Kbps$$



## Exercício

02. Qual é a taxa de transferência necessária para transmitir imagens coloridas em FullHD com envio de 30 quadros por segundo? Considere a resolução FullHD como  $1.920 \times 1.080$  e que são usados 24 bits para representar cada pixel de cor de um quadro.

## Exercício

02. Qual é a taxa de transferência necessária para transmitir imagens coloridas em FullHD com envio de 30 quadros por segundo? Considere a resolução FullHD como 1.920x1.080 e que são usados 24 bits para representar cada pixel de cor de um quadro.

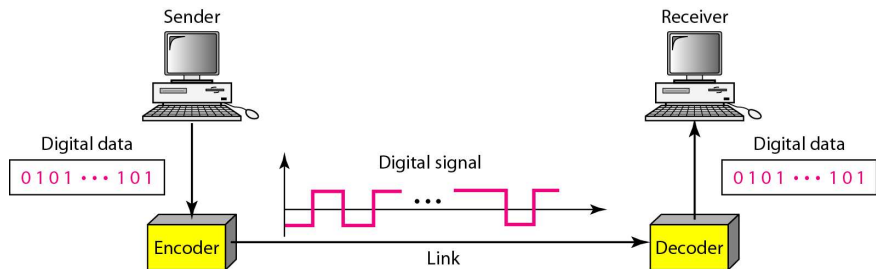
$$1.920 \times 1.080 \times 30 \times 24 = .492.992.000bps \approx 1,5Gbps$$

Esse valor pode ser bastante reduzido com uso de compressão.



# Codificação de Linha

A codificação de linha é o processo de converter dados binários (bits) em sinais digitais. Seu objetivo é transformar cada bit em uma forma de sinal que possa ser facilmente identificada no meio de transmissão, minimizar os erros durante a transmissão em meios ruidosos e facilitar a sincronização entre transmissor e receptor.



# Codificação por Linha - Classificação

As principais codificações por linha são agrupadas em três classes:

- Polar: utiliza dois níveis de tensão, um positivo e outro negativo, são exemplos: NRZ-I, NZR-L e Manchester.
- Multinível: transmitir vários bits por elemento de sinal com vários níveis de tensão, são exemplos: 2B1Q e 4D-PAM;
- Multitransição: utiliza vários níveis de tensão (positivo, zero e negativo) e várias regras de transições, por exemplo: MTL-3.

Na sequência iremos conhecer as codificações citadas.



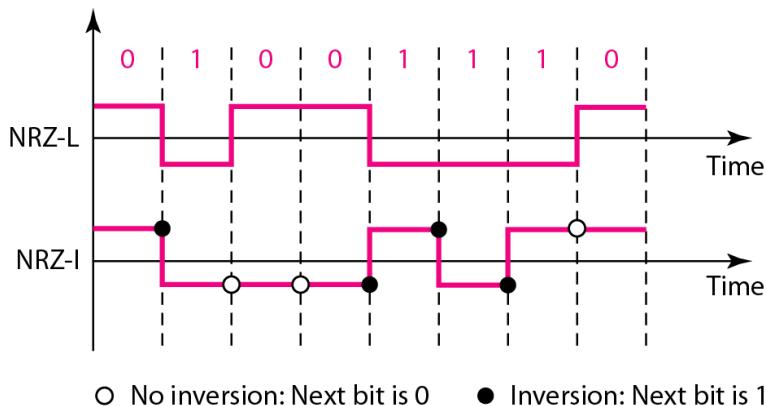
# Codificação de Linha - Polar (NRZ)

Na codificação NRZ (sem retorno a zero), o valor do sinal é sempre positivo ou negativo. Existem duas formas de codificação NRZ, são elas:

- NRZ-L ou NRZ: o nível do sinal depende do *bit* que ele representa. Uma tensão positiva representa o *bit* 0, enquanto que uma tensão negativa corresponde ao *bit* 1.
- NRZ-I: a transição entre níveis de tensão representa um *bit* 1, enquanto que a ausência de transição corresponde ao *bit* 0.



## Codificação de Linha - Polar (NRZ)



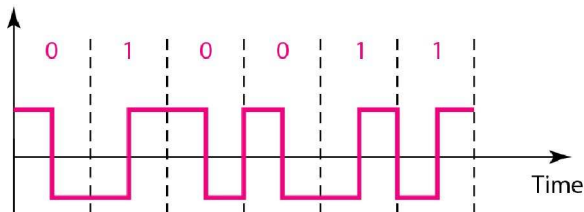
A codificação NRZ-I é usado no padrão 100Base-FX e NRZ-L nos padrões 1000Base-SX, 1000Base-LX e 1000Base-CX.

# Codificação de Linha - Polar (Manchesters)

Nas codificações Manchester uma transição no meio do bit é usada para sincronização. Nela uma transição positiva (do nível de tensão negativo para o nível de tensão positivo) representa o *bit* 1 e uma transição negativa (do nível de tensão positivo para o nível de tensão negativo) representa o *bit* 0.



# Codificação de Linha - Polar (Manchesters)



A codificação Manchester é usada em 10Base5, 10Base2, 10Base-T e 10Base-F.

# Codificação de Linha - Multinível (2B1Q)

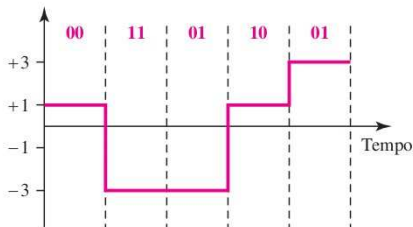
2B1Q (dois binários e um quaternário): usado no padrão DSL. Dados de tamanho 2 e codificados em padrões de 2 bits ( $m = 2$ ) como um elemento de sinal ( $n = 1$ ) pertencente a um sinal de quatro níveis ( $L = 4$ ).



# Codificação de Linha - Multinível (2B1Q)

|                   | Nível anterior:<br>positivo | Nível anterior:<br>negativo |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Bits<br>seguintes | Nível<br>seguinte           | Nível<br>seguinte           |
| 00                | +1                          | -1                          |
| 01                | +3                          | -3                          |
| 10                | -1                          | +1                          |
| 11                | -3                          | +3                          |

Tabela de transição

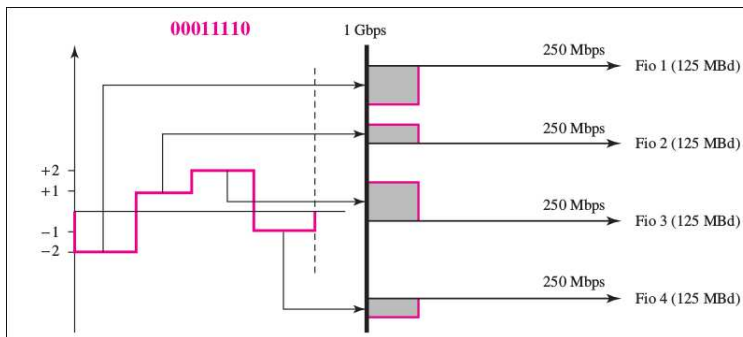


Supondo-se nível original positivo



# Codificação de Linha - Multinível (4D-PAM)

4D-PAM (Modulação de amplitude de pulso com cinco níveis e quatro dimensões): o 4D significa que os dados são enviados através de quatro fios ao mesmo tempo. Ele usa cinco níveis de voltagem. Uma palavra de 8 bits é convertida em um elemento de sinal de quatro níveis diferentes. Essa codificação é utilizada no 1000Base-T.



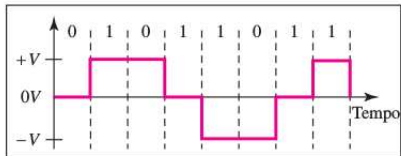
# Codificação de Linha - Multitransição (MLT-3)

O método MLT-3 (transmissão multilinha de três níveis) usa três níveis ( $+V$ ,  $0$  e  $-V$ ) e três regras de transição para mudar de nível. A MLT-3 é usado na padrão 100Base-TX. As regras são:

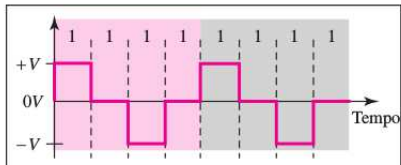
- Se o próximo bit for  $0$ , não existe nenhuma transição.
- Se o próximo bit for  $1$  e o nível atual não for  $0$ , o nível seguinte será  $0$ .
- Se o próximo bit for  $1$  e o nível atual for  $0$ , o nível seguinte será o oposto do último nível não-zero.



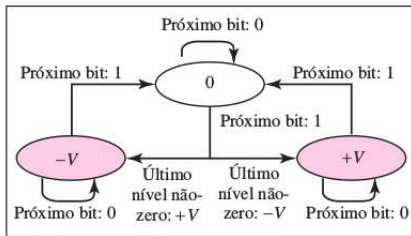
# Codificação de Linha - Multitransição (MLT-3)



a. Caso típico



b. Pior caso



c. Estados de transição

Considerar, no instante inicial o último nível não zero, sendo negativo.



# Codificação de Blocos

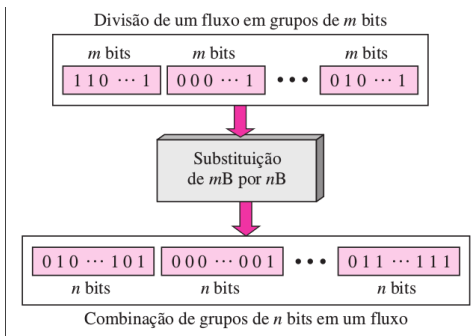
Foi observado que algumas sequências de sinais, por exemplo três zeros consecutivos na codificação NRZ, resultavam em dificuldades para sincronização. Desta forma, antes de transmitir, estas sequências deverão ser retiradas do sinal.

Na codificação de bloco, os dados são divididos em blocos de bits de entrada, e cada bloco é mapeado para um bloco de saída maior. Por exemplo, em uma codificação 4B/5B, um bloco de 4 bits de dados é mapeado para um bloco de 5 bits codificado, com o objetivo de garantir transições suficientes para sincronização e melhorar a detecção de erro.



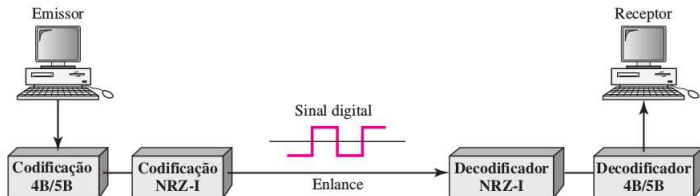
# Codificação de Blocos

Diferente da codificação de linha, que lida com a representação dos bits no meio físico, a codificação de bloco opera sobre grupos de bits, oferecendo redundância e padrões específicos que melhoram a confiabilidade da comunicação.



# Codificação de Blocos (4B/5B)

O método de codificação quatro binário/cinco binário (4B/5B) foi desenvolvido para ser utilizado em combinação com o NRZ-I. No NRZ-I, uma longa sequência de 0s pode fazer que o clock do receptor perda o sincronismo. Uma solução é alterar o fluxo de bits, anterior à codificação com NRZ-I, de modo que ele não transmita um longo fluxo de 0s. O método 4B/5B atinge esse objetivo.



# Codificação de Blocos (4B/5B)

Na codificação 4B/5B, jamais existem mais de três 0s consecutivos. Um grupo de 4 bits pode ter apenas 16 combinações diferentes ao passo que um grupo de 5 bits pode ter 32 combinações diferentes. Desta forma, pode-se eliminar as combinações que possuem três 0s consecutivos.

| <i>Seqüência de Dados</i> | <i>Seqüência Codificada</i> |
|---------------------------|-----------------------------|
| 0000                      | 11110                       |
| 0001                      | 01001                       |
| 0010                      | 10100                       |
| 0011                      | 10101                       |
| 0100                      | 01010                       |
| 0101                      | 01011                       |



# Implementações e Codificações

| Implementação            | Cod. de Linha | Cod. de Bloco |
|--------------------------|---------------|---------------|
| 10Base5, 10Base2         | Manchester    |               |
| 10Base-T, 10Base-F       | Manchester    |               |
| 100Base-TX               | MLT-3         | 4B/5B         |
| 100Base-FX               | NRZ-I         | 4B/5B         |
| 100Base-T4               | 8B6T          |               |
| 1000Base-SX, 1000Base-LX | NRZ           | 8B/10B        |
| 1000Base-CX              | NRZ           | 8B/10B        |
| 1000Base-T               | 4D-PAM5       |               |





# Dúvidas



INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
RIO GRANDE DO NORTE