

Redes sem fio - modulação

OIRC - Interconexão de redes de computadores

Prof. Dr. Ricardo José Pfitscher

ricardo.pfitscher@gmail.com

Capítulos 4 e 5. Forouzan, A. Behrouz.

Data communications & networking (sie).

Tata McGraw-Hill Education, 2007.



Cronograma

- Aula anterior
- Comunicação - retomando → sinais
- Transmissão digital de sinais → Codificação
- Transmissão analógica de sinais → Modulação

Na aula anterior...

- Propriedades das ondas
 - Amplitude
 - Frequência, Período
 - Fase
 - Comprimento
- Fourier → onda quadrada → composição de harmônicas
- Efeitos no sinal
- Capacidade do canal
- Exercícios

Exercício

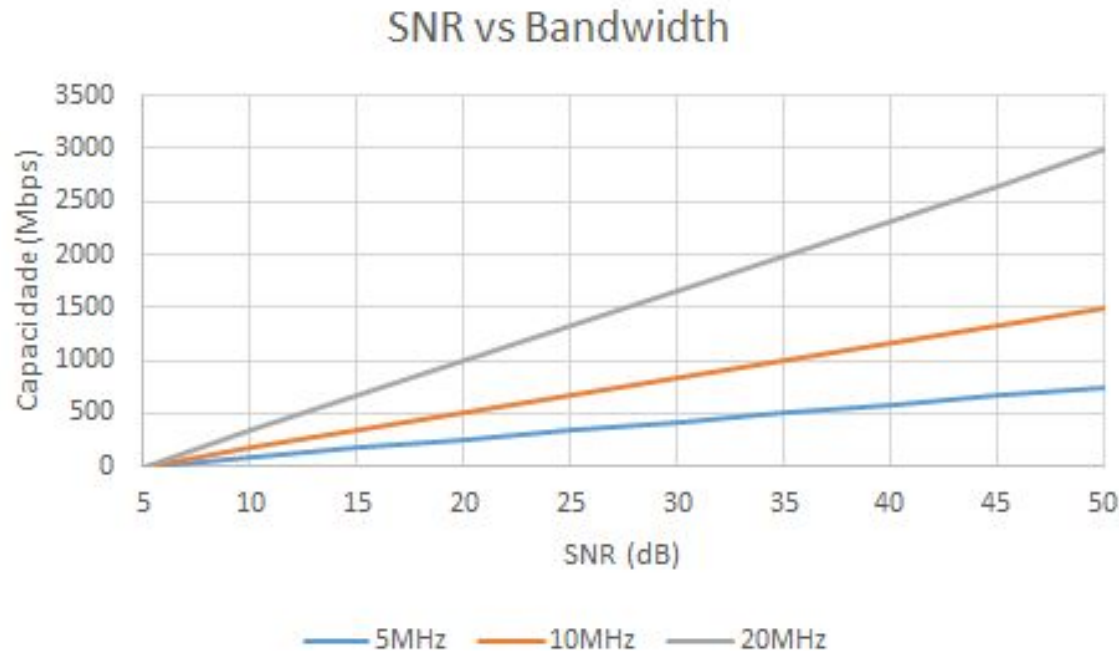
1. Crie um gráfico que calcule a capacidade do canal, usando o teorema de Shannon considerando as seguintes larguras de banda (eixo Y):
 - 3 MHz
 - 10 MHz
 - 20 MHz
 - Sendo que no eixo (X) deverão ser consideradas as seguintes SNR: (5 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB, 25 dB, 30 dB, 35 dB, 40 dB, 45 dB e 50 dB)
 - Obs.: Faça a interpretação do gráfico, descrevendo o que está sendo representado no mesmo.

Exercícios

1. Crie um gráfico que calcule a capacidade de canal usando o teorema de Shannon para as seguintes larguras de banda (eixo Y):

Conforme aumenta o ruído, a capacidade do canal diminui!

- o eixo X deve ser o SNR (dB), com valores de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.
- Obs.: Faça a interpretação representado no



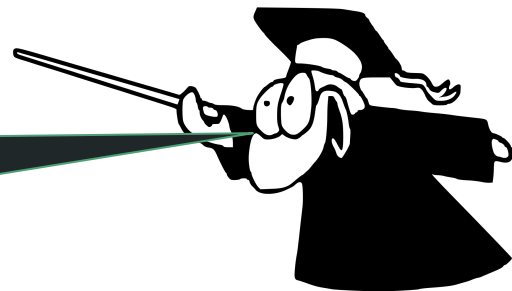
Comunicação

- Objetivo: transmissão de informação através de um sistema de comunicação
 - Sistema de comunicação
 - Emissor (remetente) → Meio Físico → Receptor (destinatário)
- Emissor: transforma os dados em sinais
- Meio físico: transmite os sinais de um lado ao outro
- Receptor: traduz os sinais em dados

Comunicação

- Objetivo: transmissão de informação através de um sistema de comunicação
 - Sistema de comunicação
 - Emissor (remetente) → Meio Físico → Receptor (destinatário)
- Emissor: transforma os dados em sinais
- Meio físico: transmite os sinais de um lado ao outro
- Receptor: traduz os sinais em dados

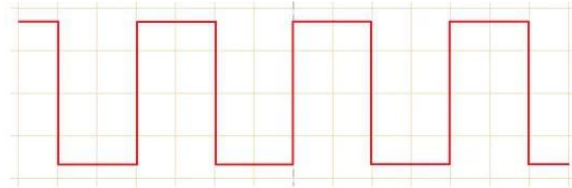
Transmissão: precisão suficiente para que o destinatário consiga recuperar os dados



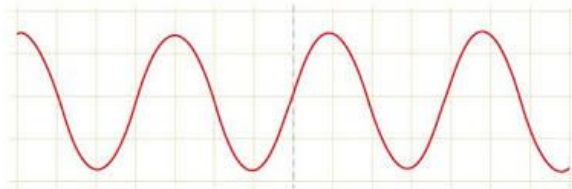
Comunicação

Sinais digitais vs sinais analógicos

- Sinais digitais:
 - Comportamento “quadrado” → sinalização **discreta** na amplitude da onda



- Sinais analógicos:
 - Comportamento “senoidal” → sinalização **contínua** na amplitude da onda



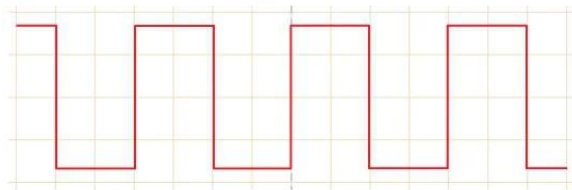
Comunicação

Sinais digitais vs sinais analógicos

Como transmitir dados usando os dois tipos de sinais?

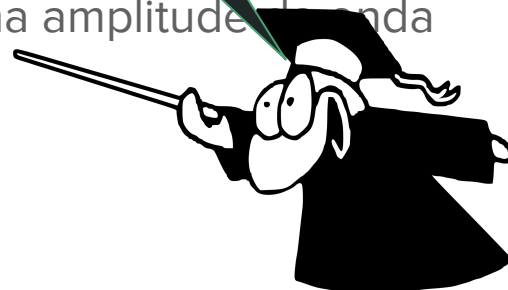
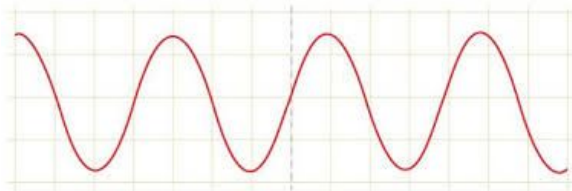
- Sinais digitais:

- Comportamento “quadrado” → sinalização **discreta** na amplitude da onda



- Sinais analógicos:

- Comportamento “senoidal” → sinalização **contínua** na amplitude da onda



Comunicação

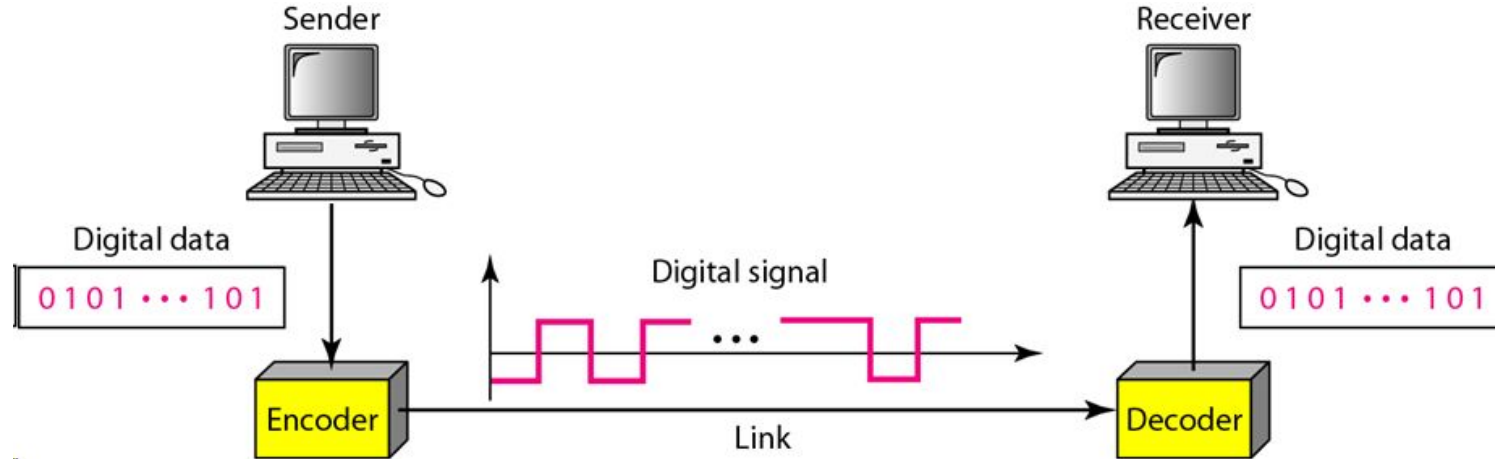
Sinais digitais (codificação) vs sinais analógicos (modulação)

- Codificação (sinais digitais):
 - Determinar os padrões dos sinais que definem os valores dos dados
 - Ex.: Alto: 1, Baixo: 0
- Modulação (sinais analógicos):
 - Variar as propriedades da onda para **carregar** sinais
 - Ex.: Alta frequência: 1, baixa frequência: 0
 - Ex.2: Alta amplitude: 1, baixa amplitude: 0
 - Ex.3: Mudança de fase: 0, fase normal: 1

Cronograma

- Aula anterior
- Comunicação - retomando → sinais
- **Transmissão digital de sinais → Codificação**
- Transmissão analógica de sinais → Modulação

Transmissão digital de sinais (codificação)



- Os dados digitais são transformados em sinais digitais utilizando um **codificador**
- Os sinais digitais são transformados em dados digitais utilizando um **decodificador**
- A transmissão de sinais digitais sem a conversão para uma onda analógica é chamada de transmissão de banda base (*baseband*)

Transmissão digital de sinais (codificação)

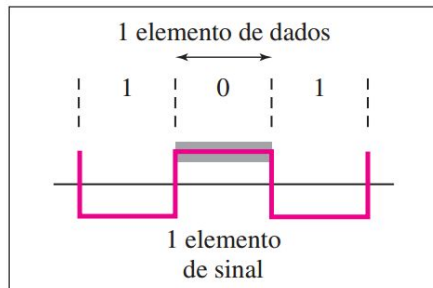
Elemento de dados vs elemento de sinal

- Elemento de dados
 - a menor entidade que pode representar um dado: *bit*
- Elemento de sinal
 - a menor porção de tempo de um sinal digital
- A taxa r define a quantidade de elementos de dados transmitidos em um sinal

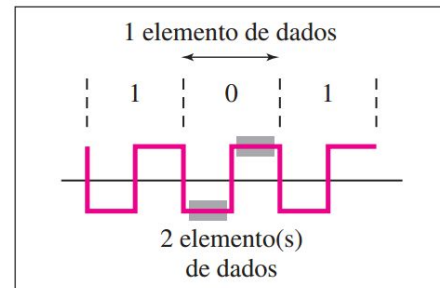
Transmissão digital de sinais (codificação)

Taxa de dados vs taxa de sinal

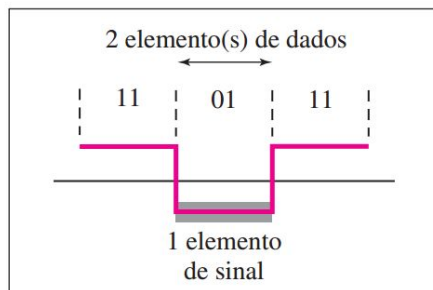
- Taxa de dados é medida em bps, quantidade de dados enviada em um segundo
 - Bit rate
- Taxa de sinal é medida em baud, número de elementos de sinal em um segundo
 - *Pulse rate, modulation rate, baud rate*
- Objetivo: aumentar taxa de dados ao mesmo tempo que diminui taxa de sinais



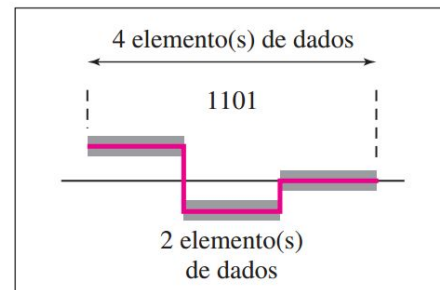
a. Um elemento de dados por um elemento de sinal ($r = 1$)



b. Um elemento de dados por dois elementos de sinal ($r = \frac{1}{2}$)



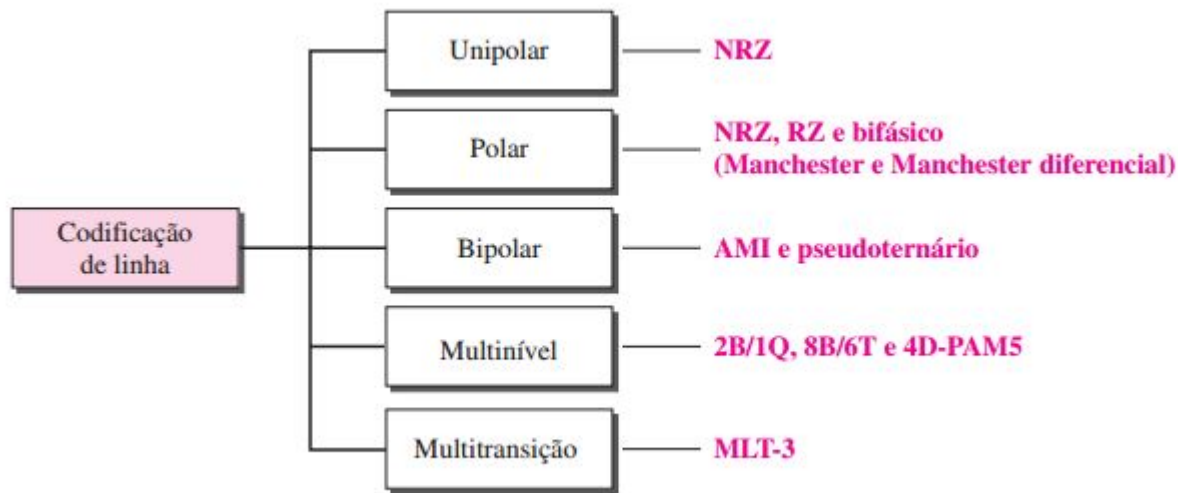
c. Dois elementos de dados por um elemento de sinal ($r = 2$)



d. Quatro elementos de dados por três elementos de sinal ($r = \frac{4}{3}$)

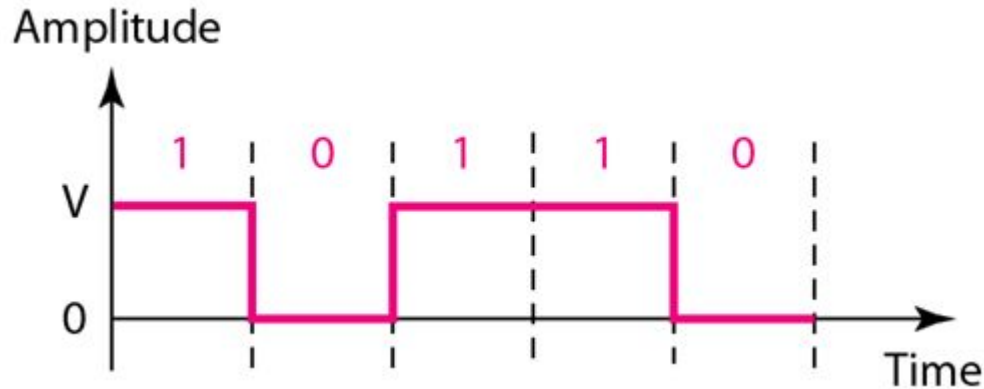
Transmissão digital de sinais (codificação)

- Como codificar e decodificar os sinais digitais?
 - Esquemas de codificação
 - Identificar padrões na variação dos sinais



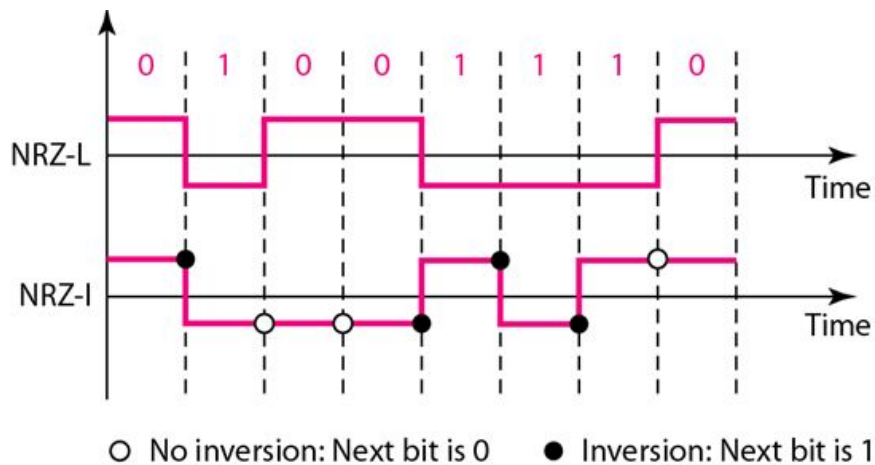
Codificação - unipolar

- NRZ (*Non Return to Zero*)
 - Voltagem positiva define o bit 1, ausência de voltagem define o bit 0.
 - O sinal **não retorna** para **zero** no meio do *bit*



Codificação - polar

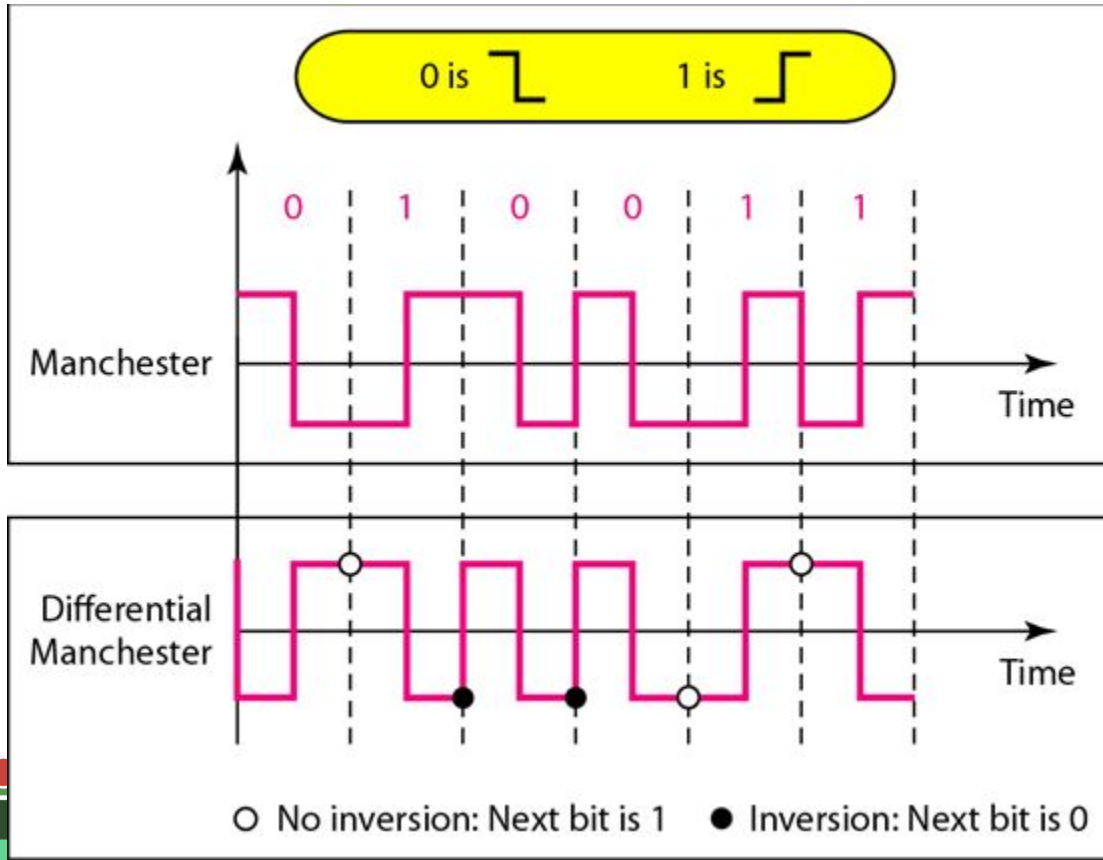
- NRZ - utiliza o mesmo princípio do unipolar, diferença é que agora a tensão varia tanto no positivo quanto no negativo
 - NRZ - **Level** (NRZ-L) - tensão positiva para um símbolo e negativa para outro
 - NRZ - **Inversion** (NRZ-I) - A mudança ou ausência de mudança na tensão determina o símbolo. Ex. o símbolo 1 inverte a polaridade e o símbolo 0 não.



Codificação - polar - bifásico

- **Codificação Manchester:** derivado do NRZ-L
 - A definição do código (dado) depende da transição do sinal no **meio** do intervalo de representação
 - $(+) \rightarrow (-) = 0$;
 - $(-) \rightarrow (+) = 1$;
 - Utiliza dois níveis de tensão
- **Codificação Manchester diferencial:** derivado do NRZ-I
 - **Sempre** ocorre uma transição no meio do sinal
 - O bit representado determina o nível de sinal no **início** da representação
 - Um dos valores causa uma mudança de nível e o outro não
 - Se o próximo bit é 0, inverte o início da transição.
 - Se o próximo bit é 1, mantém o comportamento

Codificação - polar - bifásico

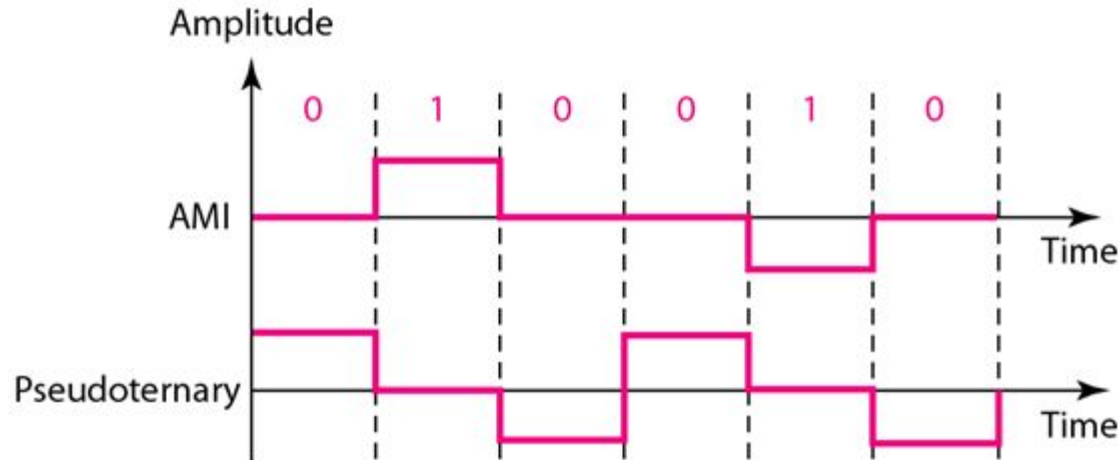


No bit 0 o sinal sempre vai do (+) pro (-)

No bit 0 o sinal volta pro “mesmo lugar”

Codificação - bipolar

- Utilizam três níveis de tensão (+), nulo, (-)
- Um dos bits é sinalizado pela tensão nula, o outro pela alternância entre (+) e (-)
 - *Alternate Mark Inversion (AMI)*: o bit 0 é representado pela tensão nula, o bit 1 pela alternância da tensão
 - *Pseudoternary*: o bit 1 é representado pela tensão nula, o bit 0 pela alternância da tensão



Codificação - Exercício

1. Faça a codificação dos seguintes bytes utilizando NRZ, NRZ-L, NRZ-I, Manchester, Manchester-D, AMI, Pseudoternary
 - a. 1110 0011
 - b. 1010 1010
 - c. 0101 0101
 - d. 0111 1110
 - e. 1000 0001

Cronograma

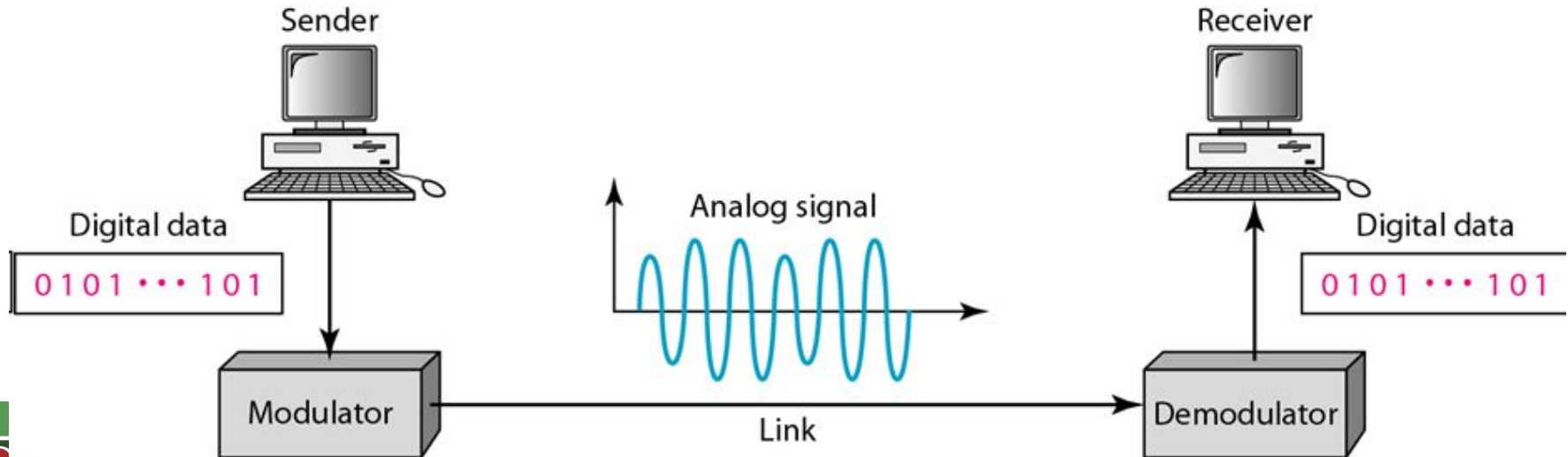
- Aula anterior
- Comunicação - retomando → sinais
- Transmissão digital de sinais → Codificação
- **Transmissão analógica de sinais → Modulação**

Transmissão analógica de sinais (modulação)

- A modulação é o processo de converter um dado digital para um sinal analógico através da mudança do sinal analógico com base no dado digital a ser transmitido
 - O sinal digital será **modulado** em uma onda **portadora**
- Um sinal **portador** (de frequência f_c) realiza a função de transportar o dado digital no formato de uma onda analógica
- O sinal analógico da onda portadora é manipulado para **unicamente** e **inequivocamente** identificar os dados digitais que ela porta

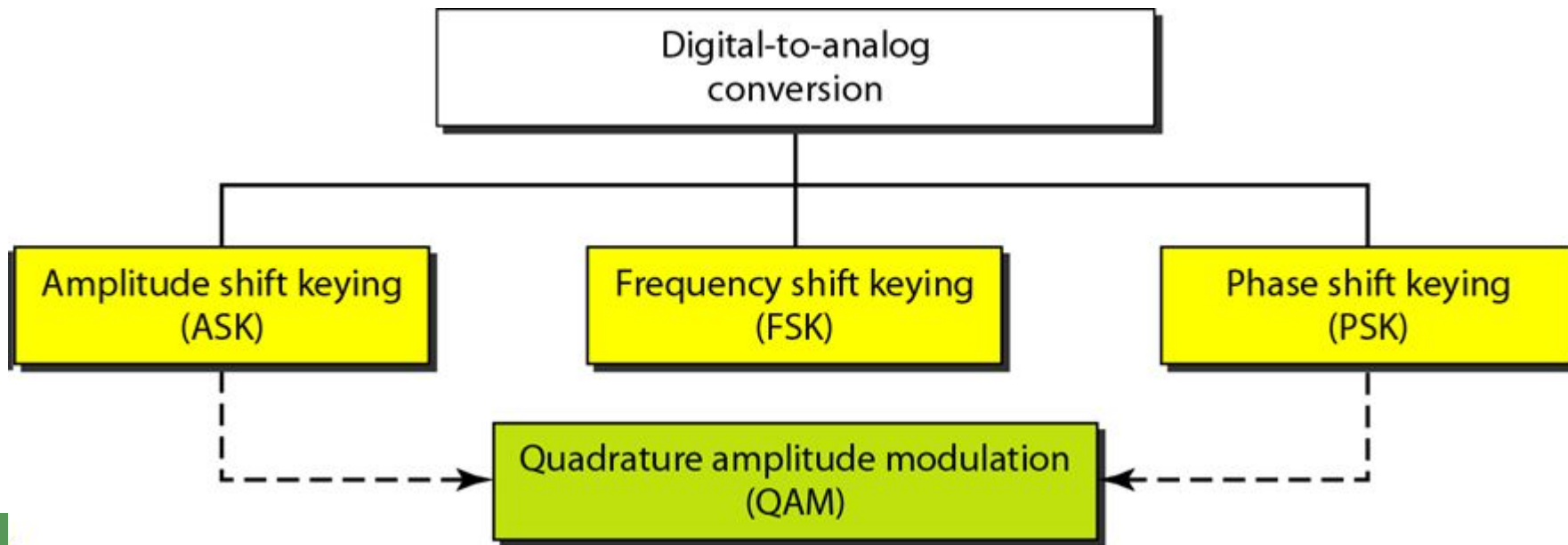
Transmissão analógica de sinais (modulação)

- Os dados digitais são modulados nos sinais analógicos utilizando um **modem**
- Os sinais analógicos são transformados em dados digitais utilizando um **decodificador** (modem)



Transmissão analógica de sinais (modulação)

- São quatro os tipos de modulação de sinais digitais em sinais analógicos



Transmissão analógica de sinais (modulação)

Elemento de dados vs elemento de sinal

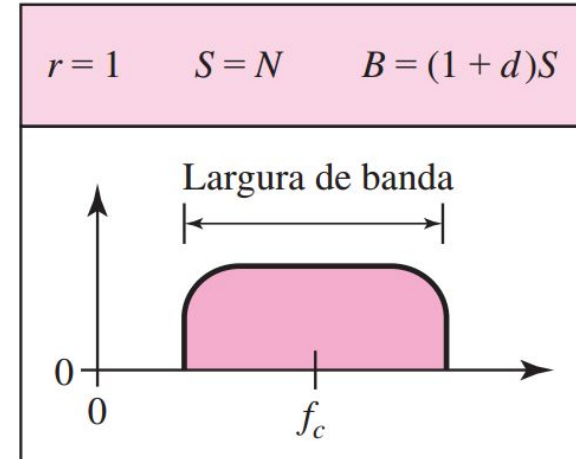
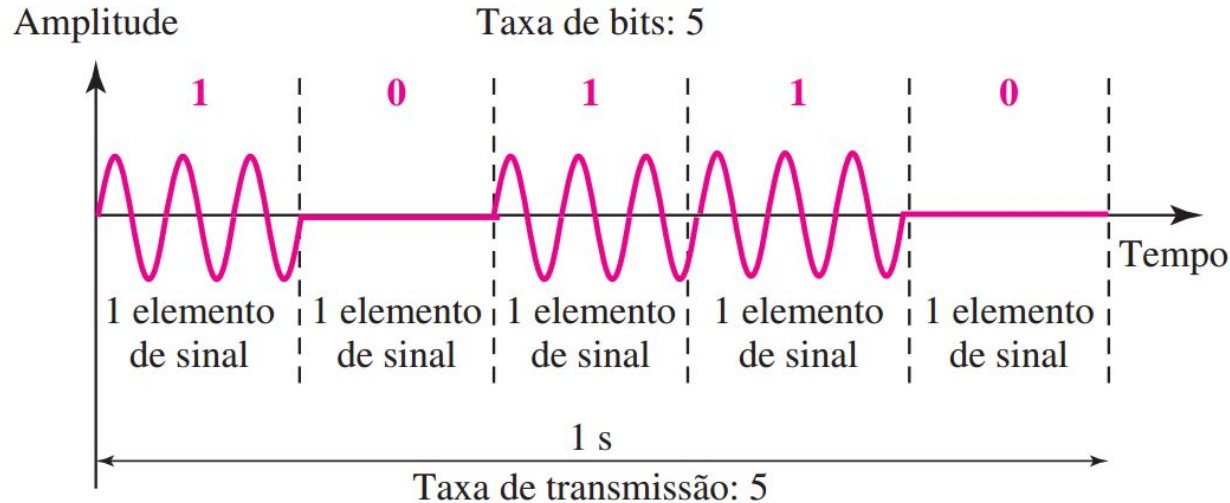
- Elemento de dados
 - a menor entidade que pode representar um dado: *bit*
- Elemento de sinal
 - a menor porção constante de tempo de um sinal analógico
- Na transmissão analógica de dados digitais, a taxa de sinais (*baud rate*) é menor ou igual a taxa de dados (*bit rate*)
 - $S = N \times 1/r$ bauds
 - Onde, S é o número de sinais, N é a taxa de dados (bps), r é o número de bits por elemento de sinal
 - Ex.: Um sinal analógico pode representar 4 bits por sinal, se são enviados 1000 sinais em 1 segundo, qual é a taxa de dados?

Transmissão analógica de sinais (modulação)

- Na transmissão analógica de dados digitais, a taxa de sinais (*baud rate*) é menor ou igual a taxa de dados (*bit rate*)
 - $S = N \times 1/r$ bauds
 - Onde, S é o número de sinais, N é a taxa de dados (bps), r é o número de bits por elemento de sinal
 - Ex.: Um sinal analógico pode representar 4 bits por sinal, se são enviados 1000 sinais em 1 segundo, qual é a taxa de dados?
 - R: $N = S \times r = 1000 \times 4 = 4000 \text{ bps} = 4 \text{ Kbps}$

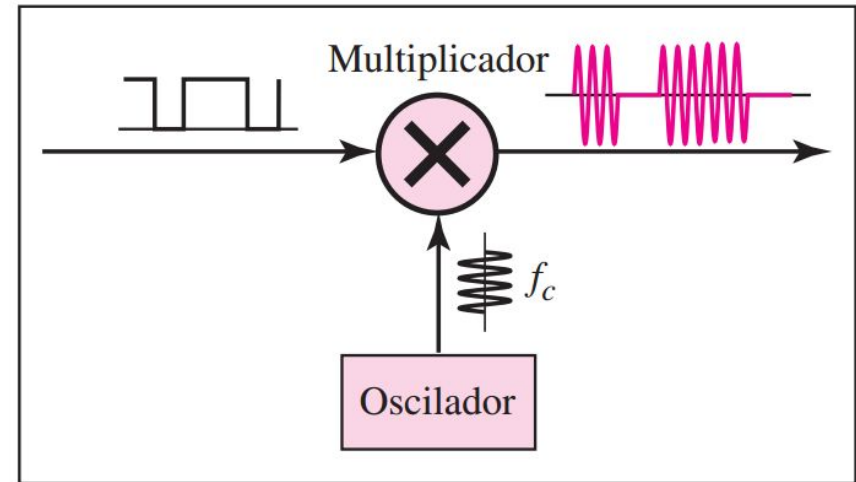
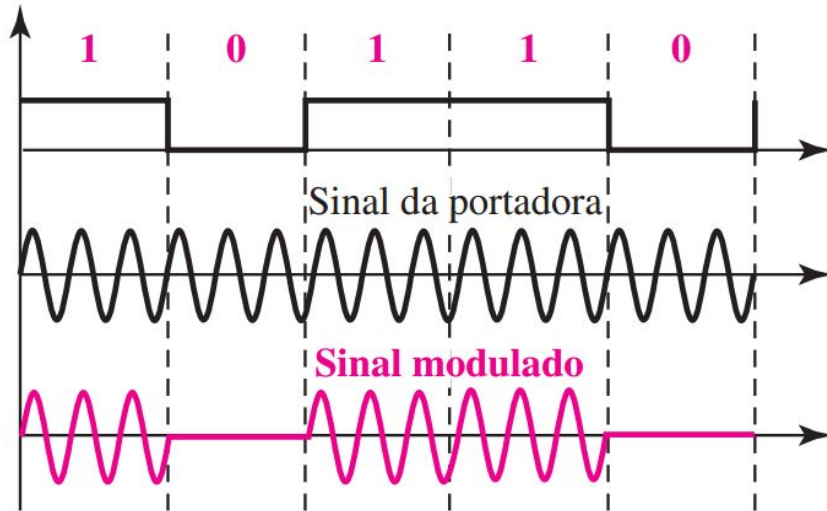
Transmissão analógica de sinais (modulação)

- Amplitude Shift Keying (ASK)
 - Mudanças na **amplitude** da onda portadora para representar os sinais digitais
 - Por exemplo: um sinal 1 não afeta a onda portadora e um sinal 0 faz a



Transmissão analógica de sinais (modulação)

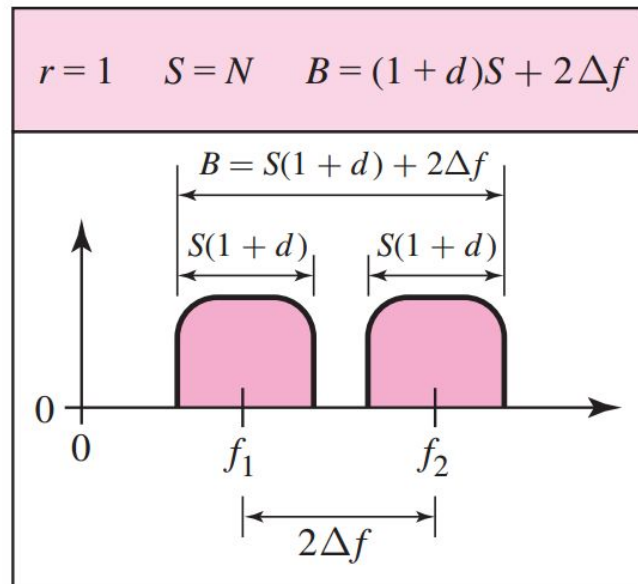
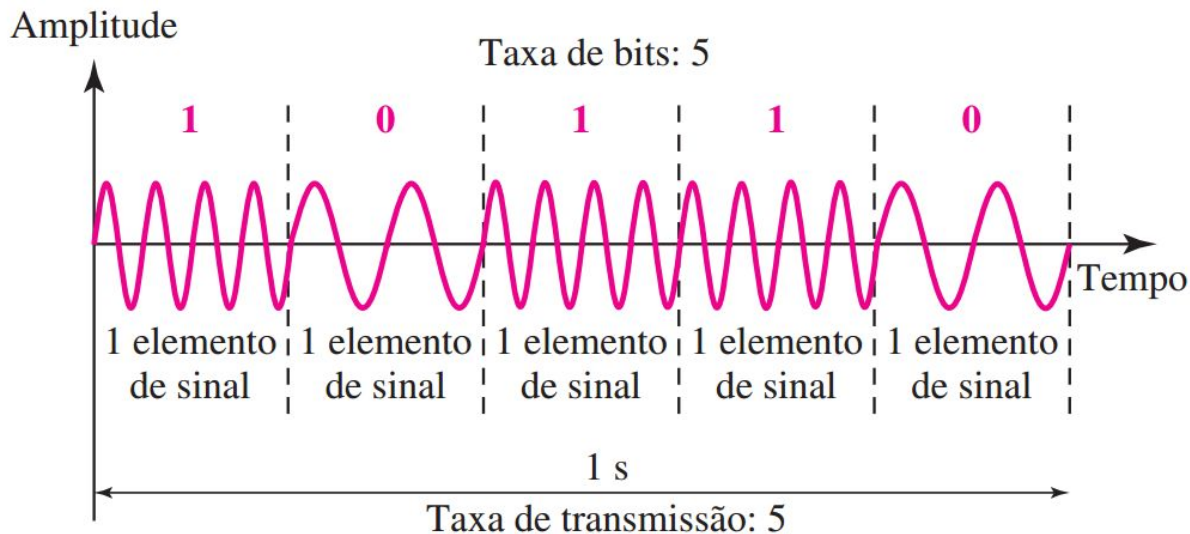
- Amplitude Shift Keying (ASK) - Binary ASK
 - Um oscilador gera a onda portadora, que é alterada com base no sinal digital a ser transmitido (NRZ no caso)



Transmissão analógica de sinais (modulação)

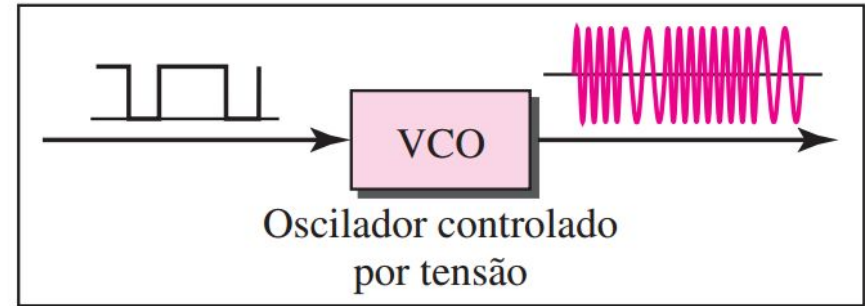
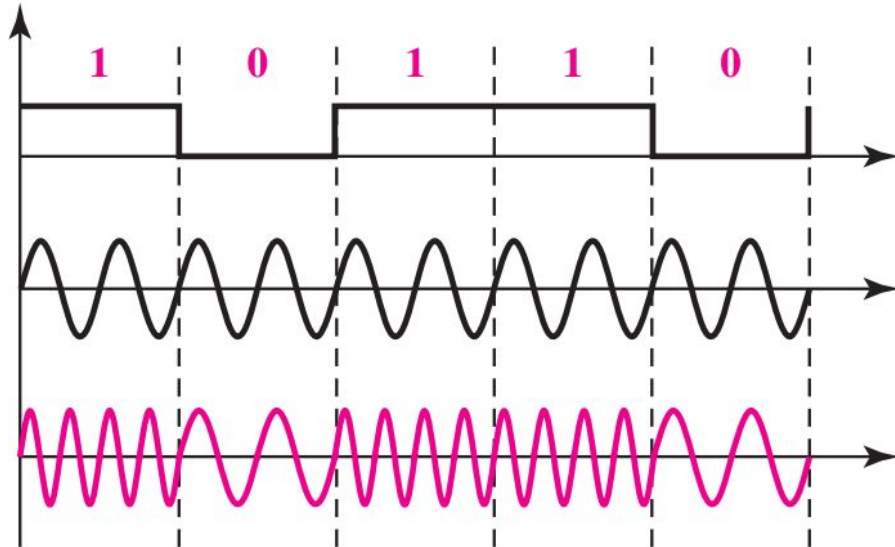
- Frequency Shift Keying (FSK)

- Mudanças na **frequência** da onda portadora para representar os sinais digitais
- Por exemplo: “1” pode ser representado por $f_1 = f_c + \Delta f$, e “0” pode ser representado por $f_2 = f_c - \Delta f$



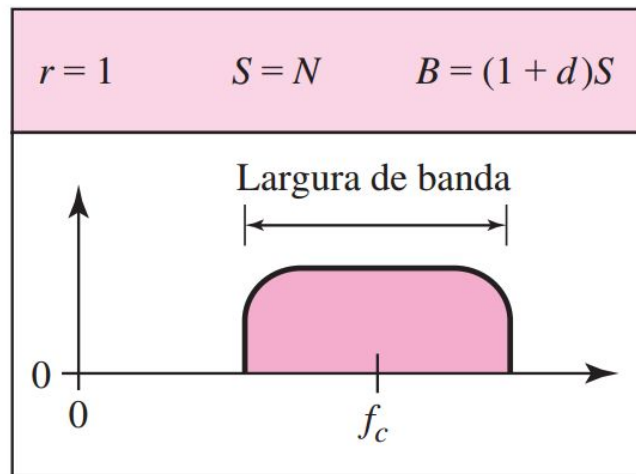
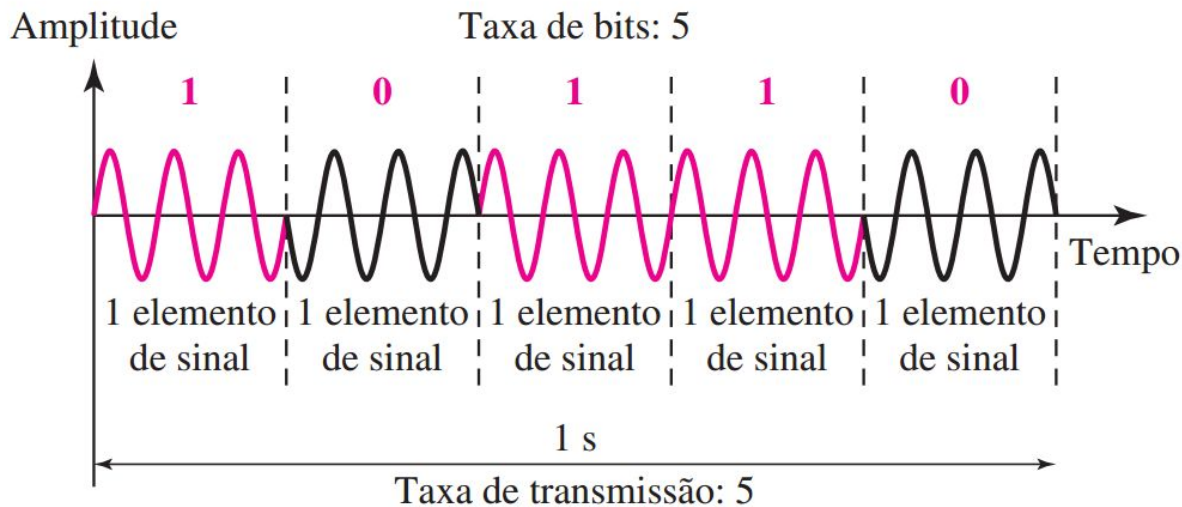
Transmissão analógica de sinais (modulação)

- Frequency Shift Keying (FSK)
 - Um oscilador altera a frequência da onda de acordo com os sinais a serem transmitidos



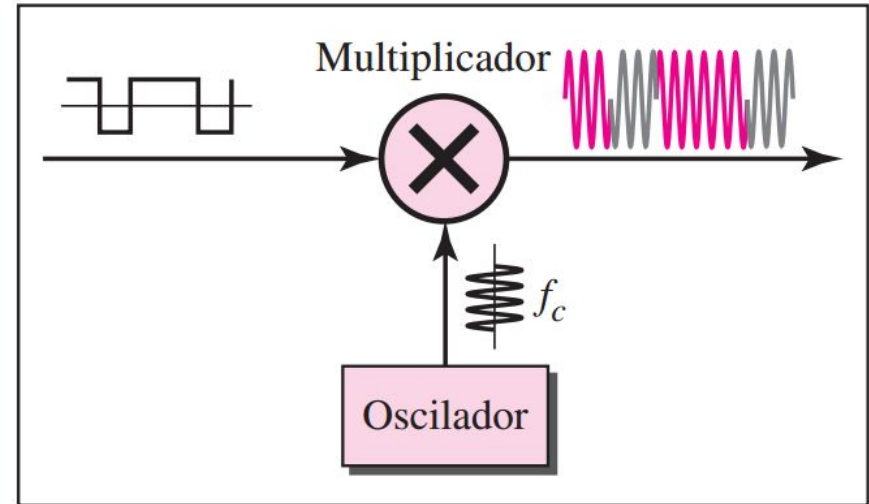
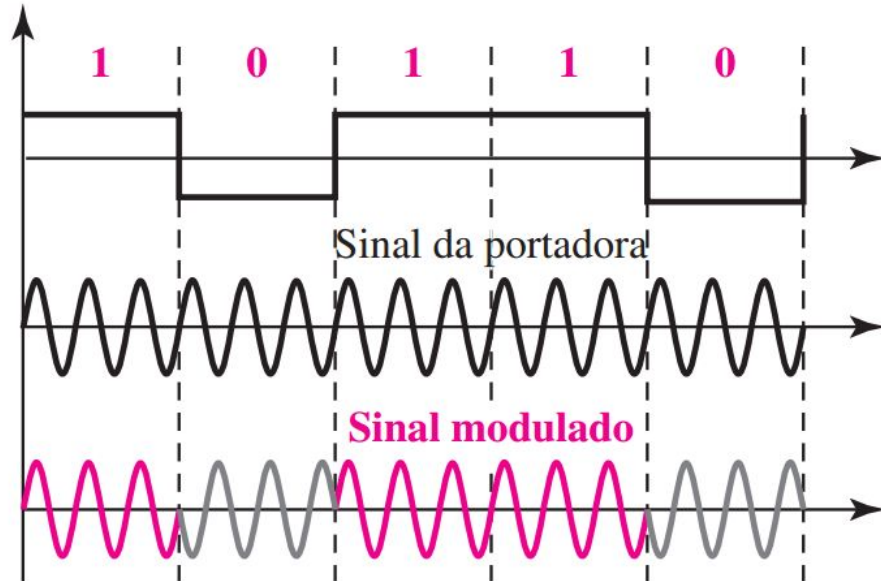
Transmissão analógica de sinais (modulação)

- Phase Shift Keying (PSK)
 - Mudanças na **fase** da onda portadora para representar os sinais digitais
 - Menos sensível à ruídos, que podem afetar a amplitude e frequência



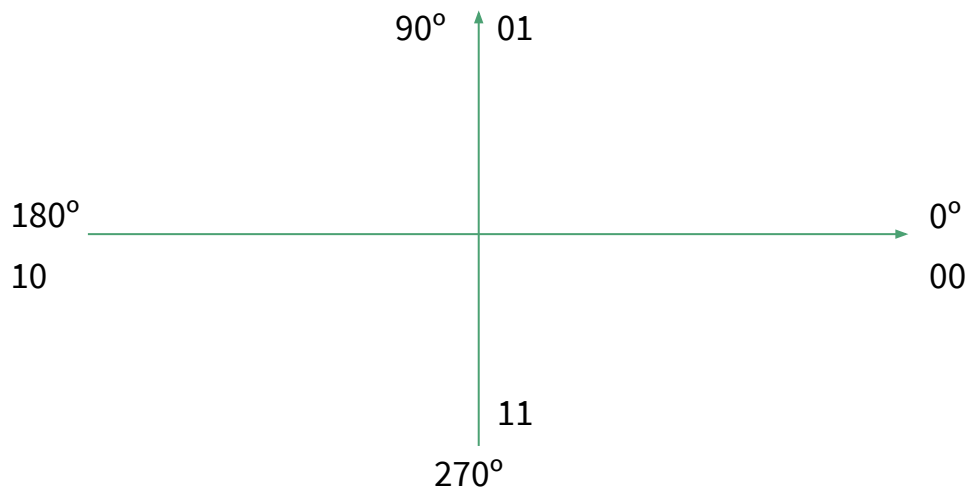
Transmissão analógica de sinais (modulação)

- Phase Shift Keying (PSK)
 - Similar ao ASK, um oscilador gera a onda portadora, que é alterada com base no sinal digital a ser transmitido (NRZ no caso)

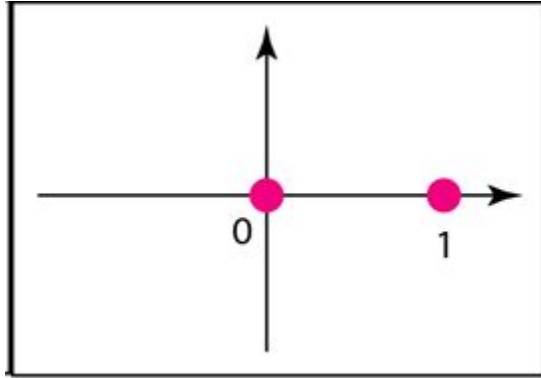


Transmissão analógica de sinais (modulação)

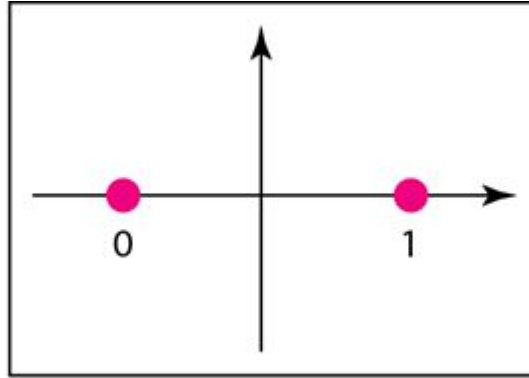
- Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)
 - Podemos codificar 2 bits para cada elemento de sinal
 - Utilizamos 4 fases diferentes para expressar cada valor



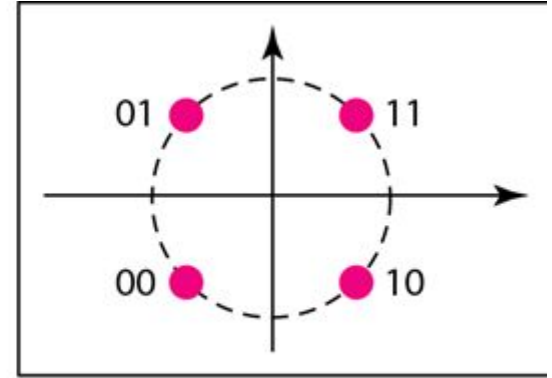
Transmissão analógica de sinais (modulação)



a. ASK (OOK)



b. BPSK

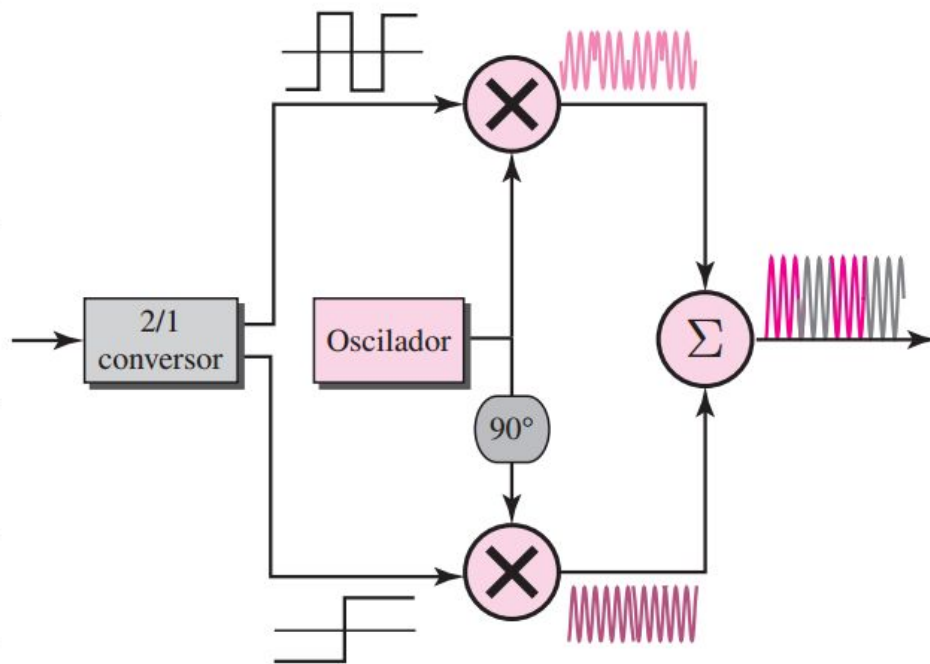
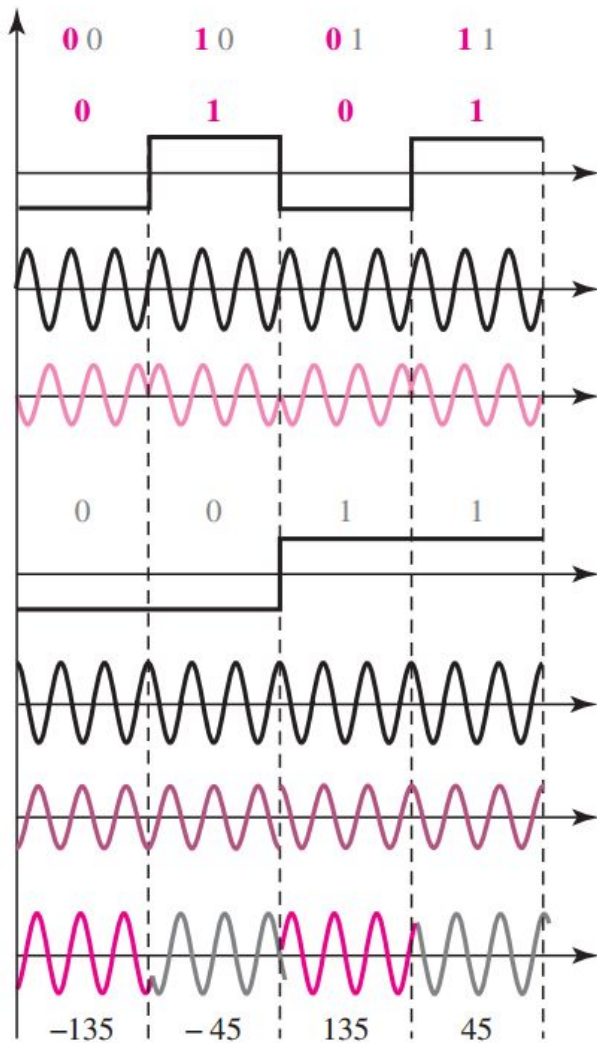


c. QPSK

Neste caso, os valores das fases ficam no meio dos quadrantes:

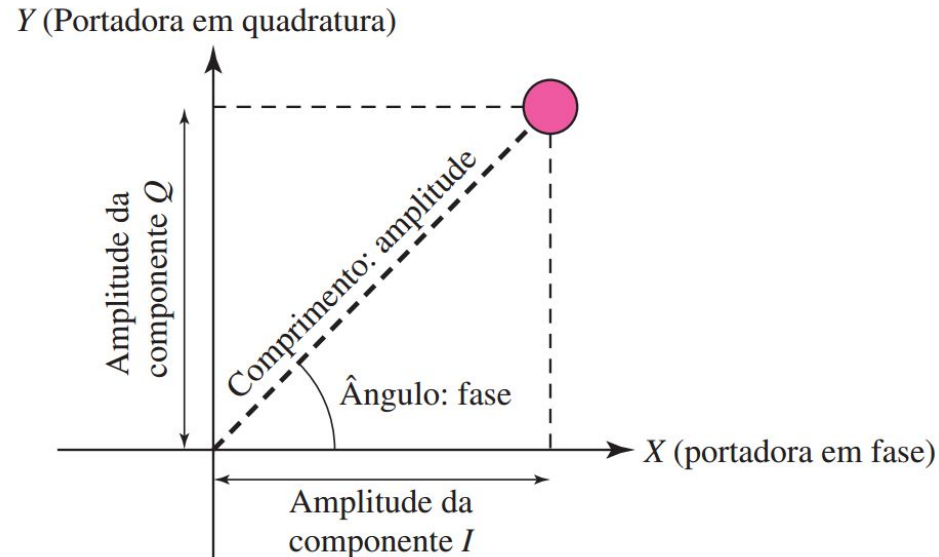
-135 (225), -45(315), 135, 45

Tr



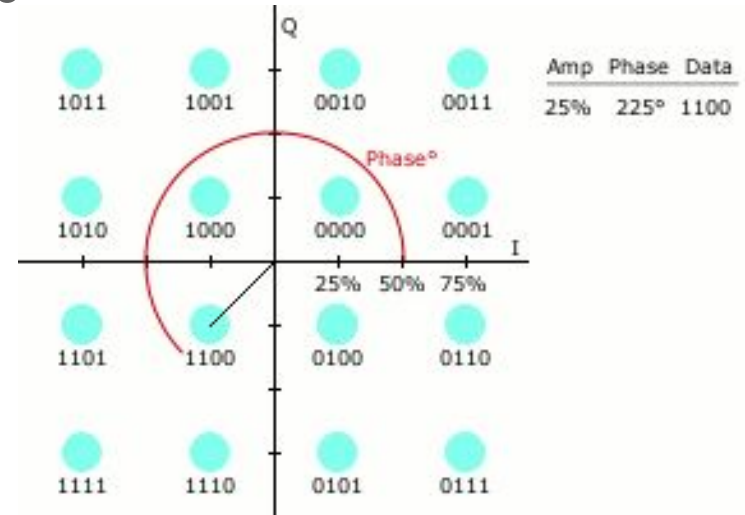
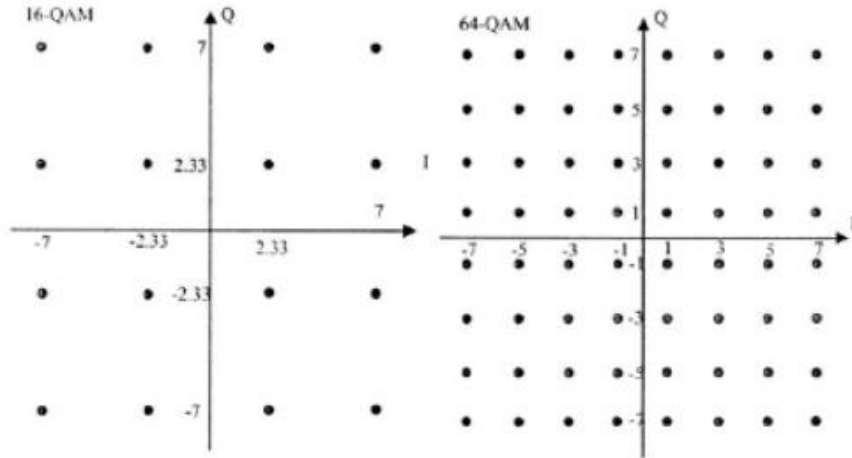
Transmissão analógica de sinais (modulação)

- Quadrature Amplitude Modulation (QAM)
 - Combina as técnicas de ASK e PSK
 - Variando a fase e a amplitude podemos representar N bits com o mesmo sinal
 - 2^N combinações são necessárias
 - Diagrama de constelação



Transmissão analógica de sinais (modulação)

- Quadrature Amplitude Modulation (QAM)
 - QAM-4: 4 pontos \rightarrow 2 bits por ponto
 - QAM-16: 16 pontos \rightarrow 4 bits por ponto
 - QAM-64: 64 pontos \rightarrow 6 bits por ponto



Codificação - Exercício

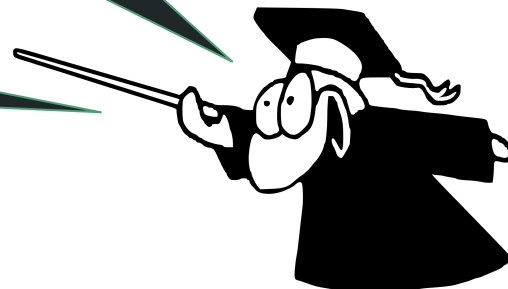
2. Faça a codificação dos seguintes bytes utilizando ASK, FSK, PSK e QPSK

- a. 1110 0011
- b. 1010 1010
- c. 0101 0101
- d. 0111 1110
- e. 1000 0001

Conversão A-D

Como converter ondas
analógicas em sinais
digitais?

Por exemplo, como um
som vira mp3?

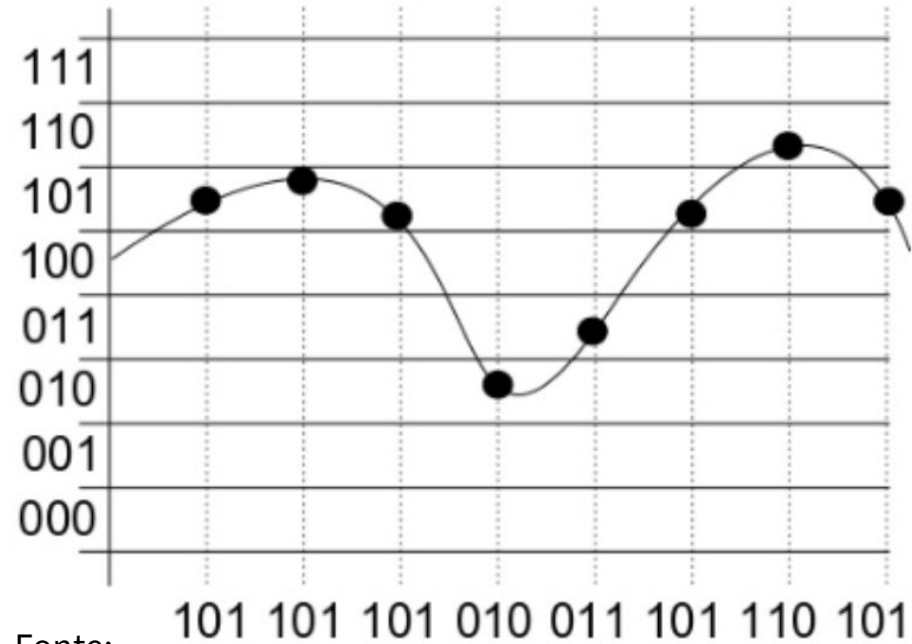


Conversão A-D

- Digitalização: conversão de ondas analógicas em dados digitais
 - Por exemplo: ondas capturadas por um microfone ou uma câmera
- Técnicas principais (baseadas em amostragem)
 - PCM - Pulse Code Modulation
 - Captura de níveis de amplitude ao longo do tempo
 - DM - Delta Modulation
 - Variação da amplitude para a amostra anterior

Conversão A-D

- PCM - Pulse Code Modulation
 - Amostragem
 - Quantização (definição de níveis)
 - Codificação binária
- Quanto maior a quantidade de amostras, maior a precisão da captura
- Quanto maior o número de níveis, maior a precisão da representação (maior o número de bits necessários)

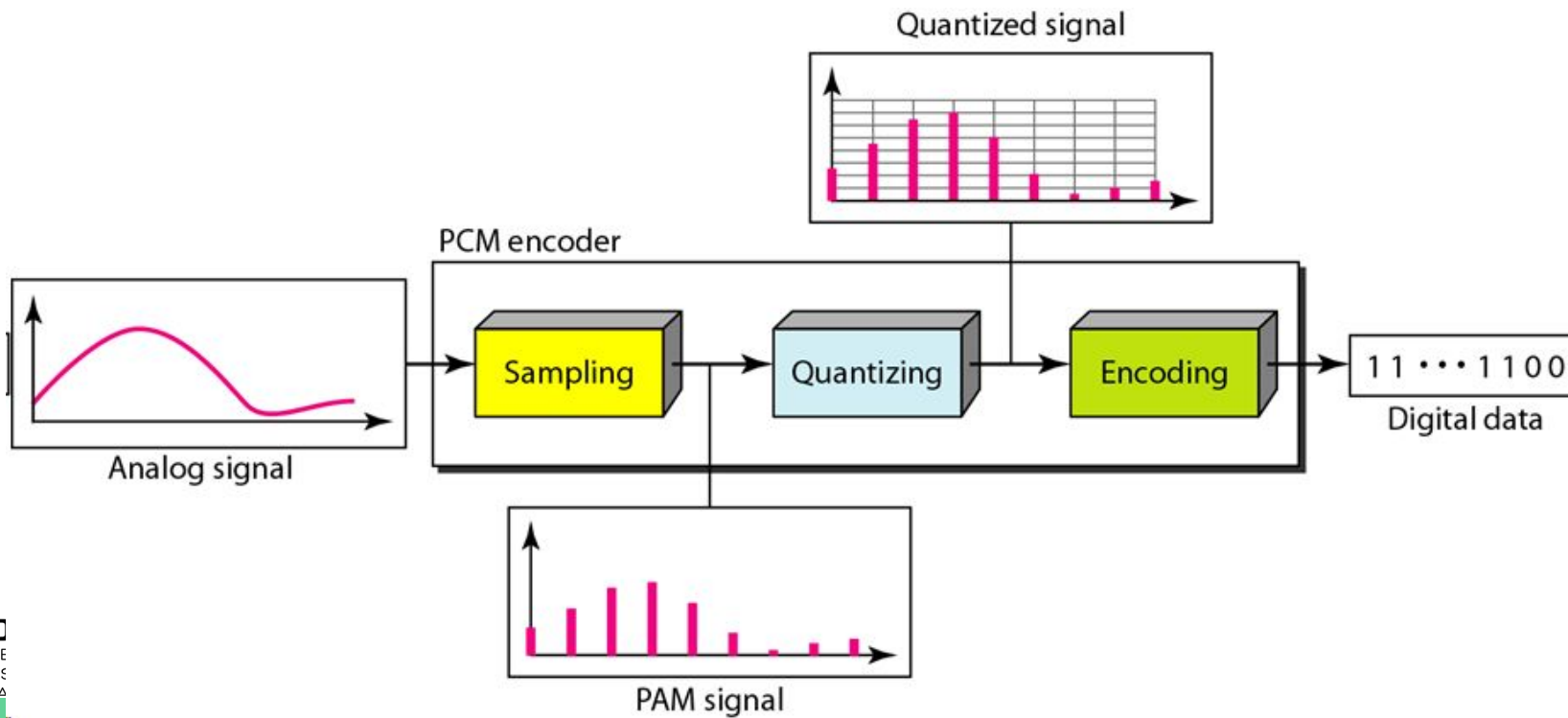


Fonte:

<https://www.slideshare.net/decoeres/7-redes-de-computadores-codificacao-sinalizacaomultiplexacao>

Conversão A-D

- PCM - Pulse Code Modulation

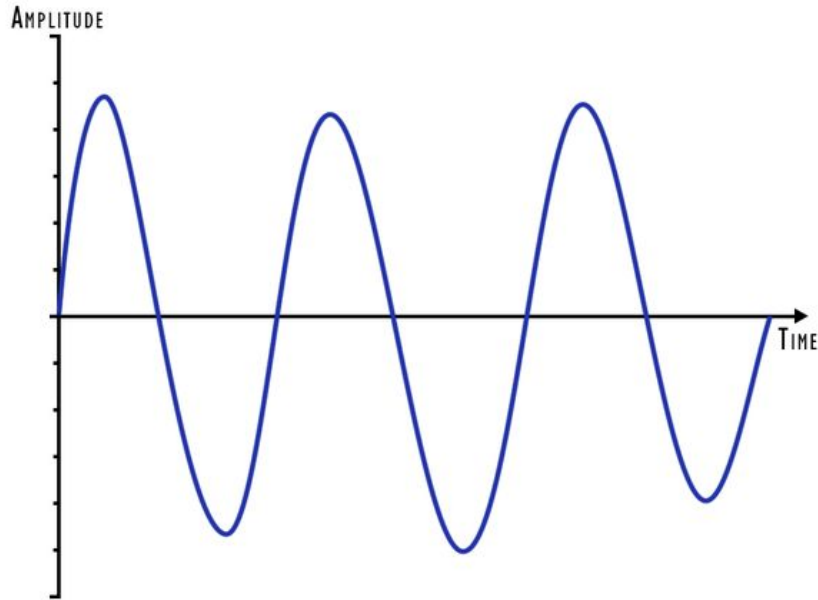


Conversão A-D

- PCM - Pulse Code Modulation (**amostragem** → quantização → modulação)
 - O nível de amplitude é capturado a cada T_s segundos
 - T_s é o intervalo de amostragem → taxa de amostragem é $1/T_s$
 - Também conhecido como Pulse Amplitude Modulation (PAM)
 - Resulta em um sinal com medições não inteiras de amplitude

Conversão A-D

- PCM - Pulse Code Modulation (**amostragem** → quantização →



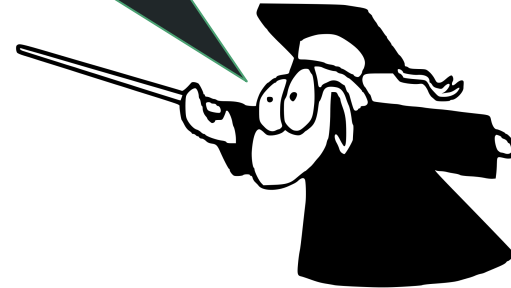
rado a cada T_s segundos

gem → taxa

ilse A

edições

Qual deve ser a taxa
de amostragem?

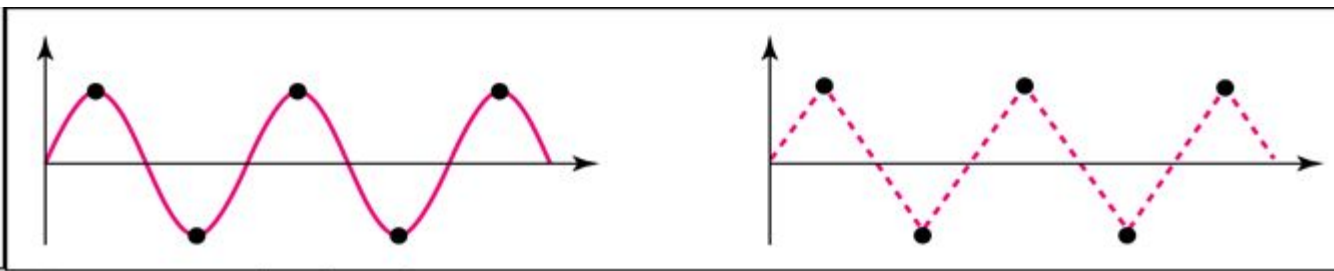


Conversão A-D

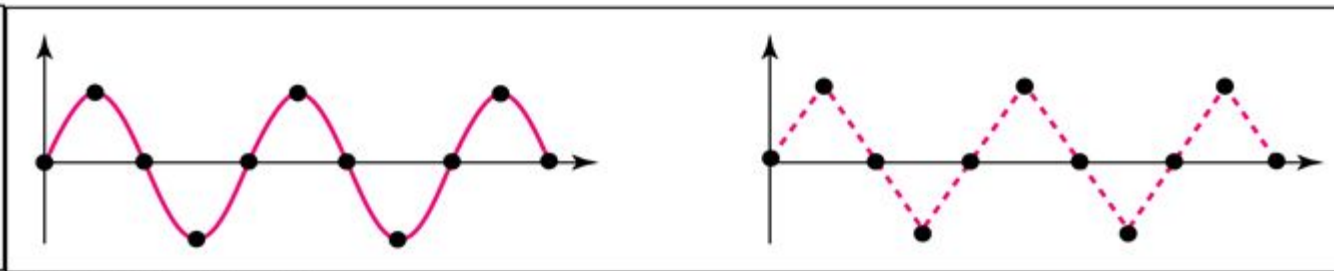
- PCM - Pulse Code Modulation (**amostragem** → quantização → modulação)
 - O nível de amplitude é capturado a cada T_s segundos
 - T_s é o intervalo de amostragem → taxa de amostragem é $1/T_s$
 - Também conhecido como Pulse Amplitude Modulation (PAM)
 - Resulta em um sinal com medições não inteiras de amplitude

Teorema de Nyquist:

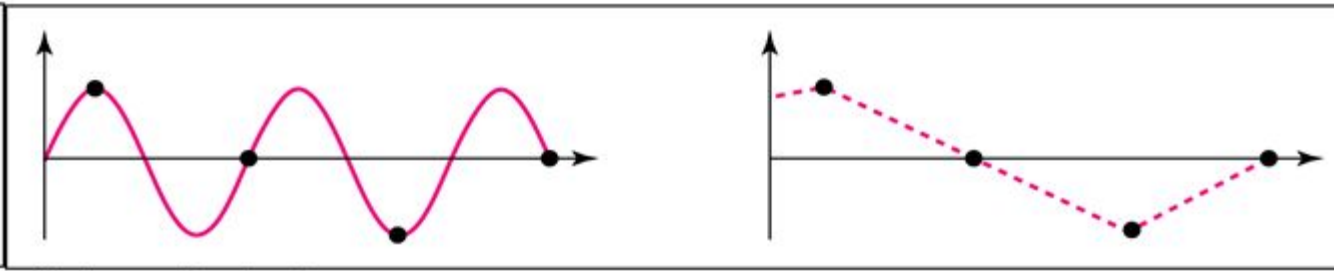
A taxa de amostragem deve ser duas vezes a maior frequência contida no sinal analógico



a. Nyquist rate sampling: $f_s = 2 f$



b. Oversampling: $f_s = 4 f$

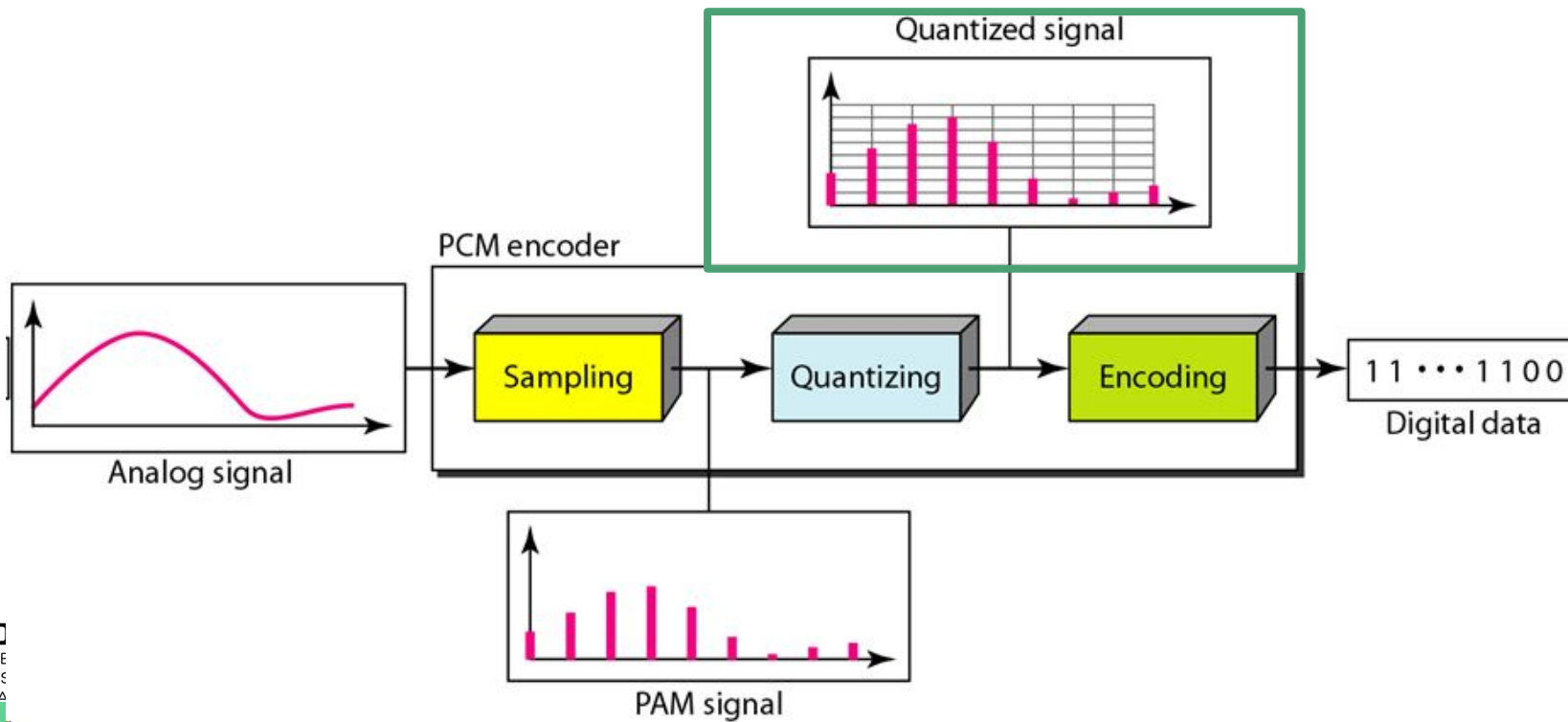


c. Undersampling: $f_s = f$



Conversão A-D

- PCM - Pulse Code Modulation (amostragem → **quantização** → modulação)



Conversão A-D

- PCM - Pulse Code Modulation (amostragem → **quantização** → modulação)
 - Amostragem → valores *contínuos* da amplitude da onda ao longo do tempo
 - O conjunto de valores pode ser **infinito** entre os níveis máximo e mínimo de amplitude
 - Nós queremos estabelecer L **zonas** de cobertura **finitas** para mapear o conjunto *infinito* de valores
 - Cada zona tem uma altura específica, digamos H
 - L será o número de níveis → número de sinais representados → $r = \log_2 L$
 - * r é o número de bits por elemento de sinal

Conversão A-D

- PCM - Pulse Code Modulation (amostragem→ **quantização**→ modulação)
 - Exemplo:
 - Considere um sinal analógico com tensão entre -20 e 20 volts
 - Queremos separar esses valores em 8 níveis
 - Tamanho a ser dividido: $(20 - (-20)) = 40$
 - Altura de cada zona: $H = 40/8 = 5$
 - As 8 zonas são: -20 a -15, -15 a -10, -10 a -5, -5 a 0, 0 a +5, +5 a +10, +10 a +15, +15 a +20

Conversão A-D

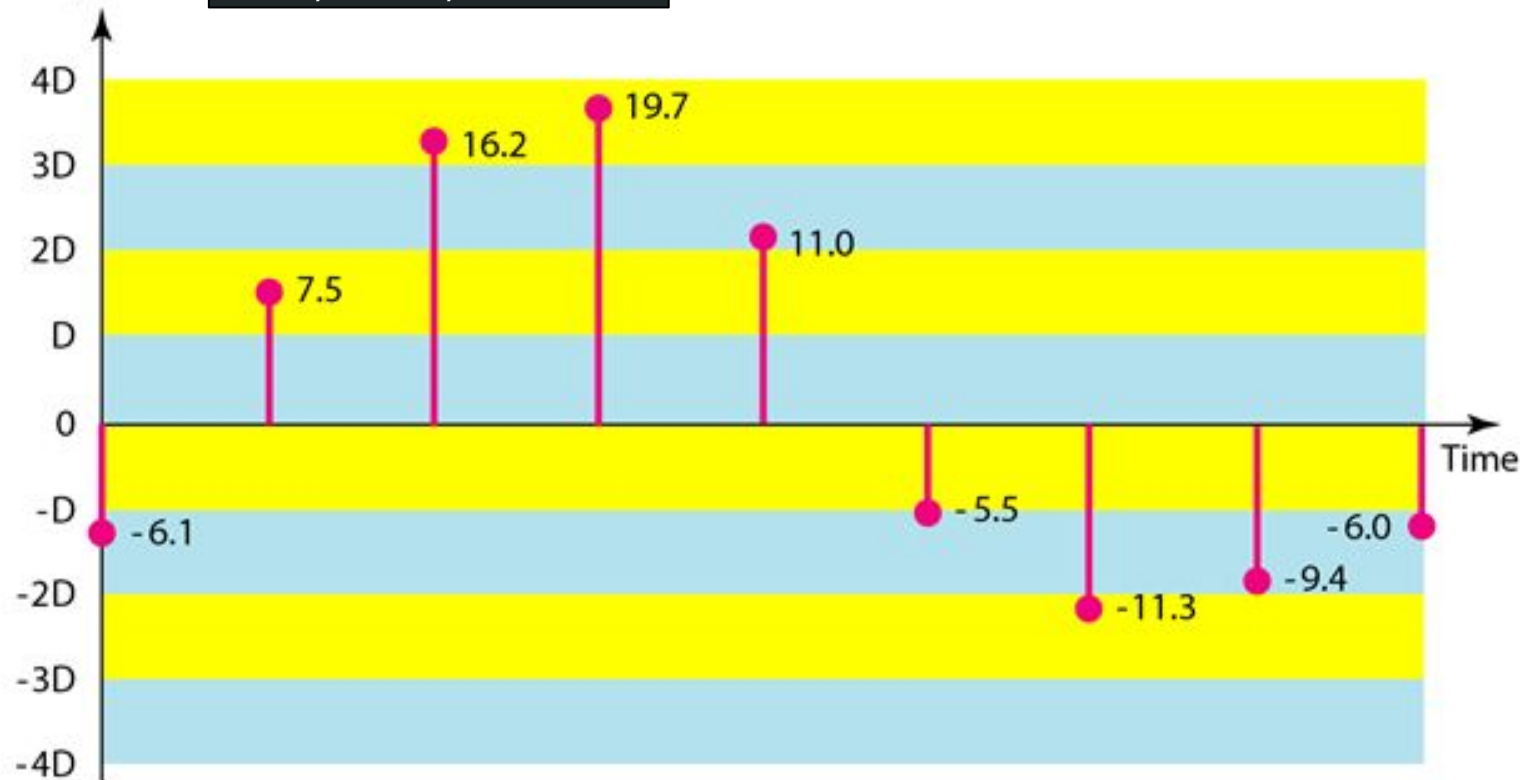
- PCM - Pulse Code Modulation (amostragem→ **quantização**→ **modulação**)
 - Exemplo:
 - Considere um sinal analógico com tensão entre -20 e 20 volts
 - Queremos separar esses valores em 8 níveis
 - Tamanho a ser dividido: $(20 - (-20)) = 40$
 - Altura de cada zona: $H = 40/8 = 5$
 - As 8 zonas são: -20 a -15, -15 a -10, -10 a -5, -5 a 0, 0 a +5, +5 a +10, +10 a +15, +15 a +20
 - Quando mapeamos as zonas em bits, estamos modulando o sinal

Quantization
codes

Normalized
amplitude

$$D = A/L = 40/8 = H$$

7
6
5
4
3
2
1
0



Quantization code

2

5

7

7

6

2

1

2

2

Encoded words

010

101

111

111

110

010

001

010

010

Conversão A-D

- PCM - Pulse Code Modulation (amostragem → **quantização** → **modulação**)
 - Bit rate: qual a quantidade de bits por segundo para digitalizar uma onda
 - Quanto maior a bit rate, maior a qualidade!
 - A bit rate de um sinal PCM pode ser calculada pela relação entre o número de bits por amostra e a taxa de amostragem
 - $\text{Bit rate} = r \times f_s$
 - Exemplo: Eu quero digitalizar a voz humana (frequências entre 0 e 4 KHz), qual a bit rate resultante se eu consigo armazenar 8 bits por amostra?

Conversão A-D

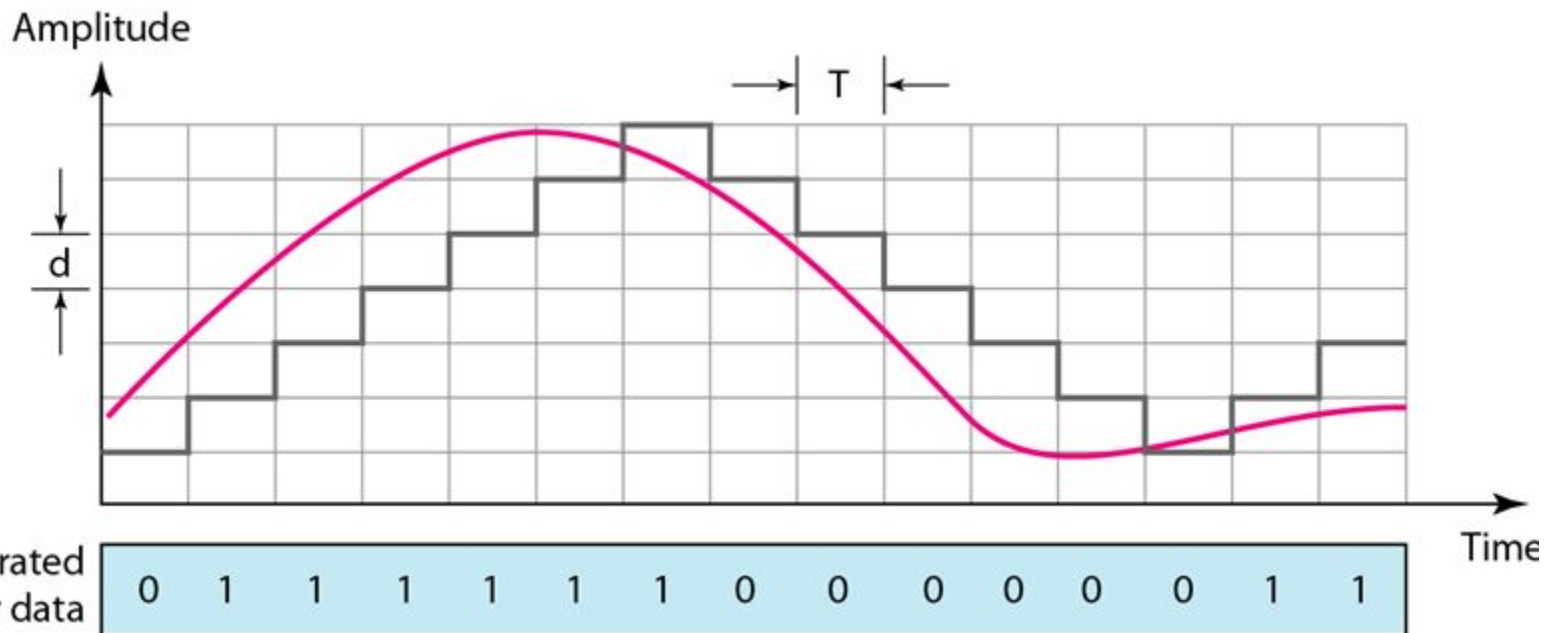
- PCM - Pulse Code Modulation (amostragem → **quantização** → **modulação**)
 - Bit rate: qual a quantidade de bits por segundo para digitalizar uma onda
 - Quanto maior a bit rate, maior a qualidade!
 - A bit rate de um sinal PCM pode ser calculada pela relação entre o número de bits por amostra e a taxa de amostragem
 - $\text{Bit rate} = r \times f_s$
 - Exemplo: Eu quero digitalizar a voz humana (frequências entre 0 e 4 KHz), qual a bit rate resultante se eu consigo armazenar 8 bits por amostra?
 - Taxa de amostragem = $2f = 8000$ amostras/seg
 - Bit rate = 8 bits/amostra x 8000 amostras/seg = 64000 bps = 64 kbps

Conversão A-D

- DM - Delta Modulation
 - Envia somente a diferença entre os pulsos
 - Se um pulso no tempo $t+1$ é maior que a amplitude do tempo t , então sinaliza o bit 1 (valor positivo, aumento de amplitude)
 - Se o valor da amplitude é menor, resulta em um valor negativo, bit 0
 - Funciona bem quando ocorre mudança pequena de amplitude entre as amostras
 - Taxa de amostragem bem maior que a taxa teórica de Nyquist
 - Se a mudança de amplitude é grande entre amostras resulta em grandes erros

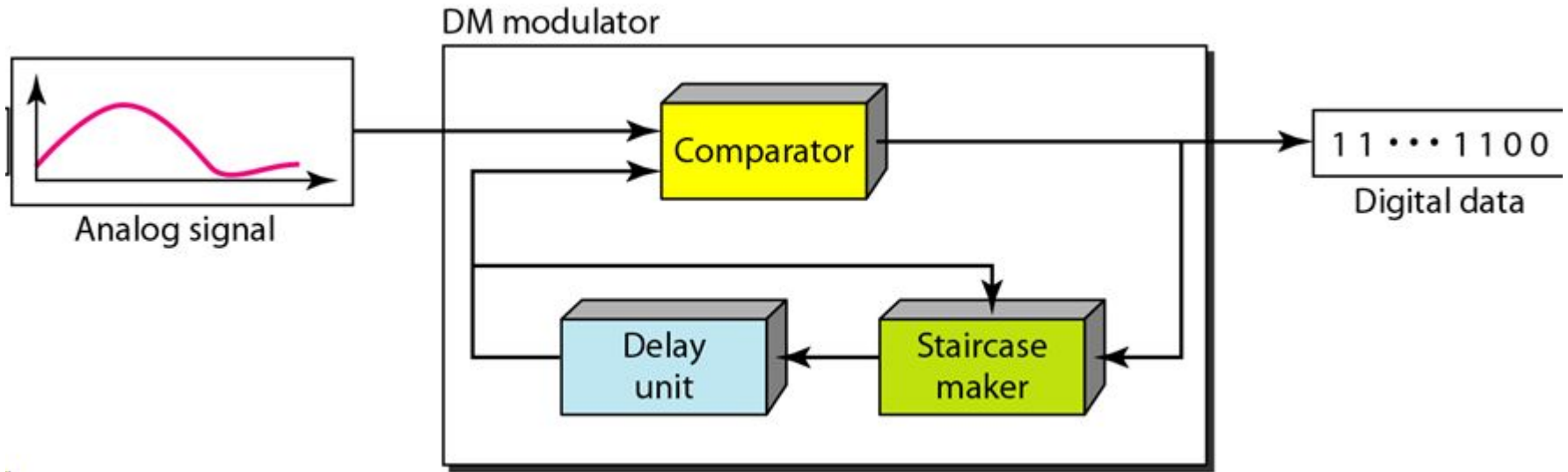
Conversão A-D

- DM - Delta Modulation



Conversão A-D

- DM - Delta Modulation



Exercícios

1. Forouzan 4.27 - Qual é a taxa de amostragem segundo o teorema de Nyquist para os seguintes casos:
 - a. Um sinal com frequência máxima de 200 KHz?
 - b. Um sinal de banda passante com uma largura de banda de 200 KHz e menor frequência de 100 KHz?
2. Forouzan 4.28 [a] - Um sinal analógico com maior frequência igual a 200KHz foi amostrado utilizando 1024 níveis de quantização. Calcule o *bit rate* do sinal digitalizado.
3. Forouzan 4.29 - Qual é a máxima taxa de dados de um canal que tem frequência máxima igual a 20 KHz e quatro níveis de sinalização digital?
4. Qual é o data rate máximo suportado por um canal de 10MHz utilizando 8 níveis de sinal digital?

Links úteis adicionais

https://www.youtube.com/watch?v=Cc_Y2uP-Fag

<https://www.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-signals>

<https://www.youtube.com/watch?v=ancDN11C2vg>