



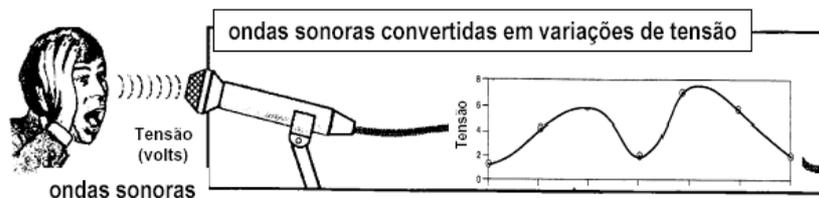
A Fonte

- Equipamento que origina a informação que se deseja transmitir:
 - Telefone (fixo ou móvel);
 - Fax;
 - TV;
 - Vídeo conferência;
 - Computador (dados).
- Realiza a transdução da informação.



Transdução

- Quando a informação não está na originalmente forma de sinal elétrico (como por exemplo na transmissão de voz ou vídeo) é necessário o uso de um transdutor para realizar a conversão.
- No exemplo abaixo, a voz (onda sonora, mecânica) é convertida em sinal elétrico pelo microfone (transdutor).





O Modulador

- O sinal elétrico gerado pelo transdutor não está, em geral, na forma mais apropriada para transmissão. O modulador gera um sinal apropriado para transmissão, cuja amplitude, frequência ou fase varia de acordo com o sinal elétrico que contém a informação desejada.



O Transmissor

- Adequa o sinal modulado ao tipo de canal a ser utilizado na transmissão, ajustando sua frequência e potência.
- É o responsável por introduzir o sinal de informação no meio de transmissão utilizando o equipamento apropriado como:
 - antenas em sistemas rádio;
 - emissores laser em sistemas óticos.



O canal de transmissão

- Meio de transmissão entre os pontos distantes
- Canais com fio
 - Pares de cobre
 - Cabos coaxiais
 - Fibras óticas
- Canais sem fio
 - Enlaces rádio terrestres
 - Enlaces rádio via satélite



O Receptor e demodulador

- O receptor recupera o sinal de informação do canal de transmissão, reconstituindo o sinal modulado à sua forma original, realizando a demodulação.
- O demodulador realiza o processo inverso do modulador, retirando a informação da amplitude, freqüência ou fase do sinal que foi transmitido pelo canal na informação original para entrega ao destino.



O Destino

- **Equipamento análogo ao de origem (fonte)**
 - Telefone (voz)
 - Fax
 - TV
 - Vídeo conferência
 - Computador (dados)

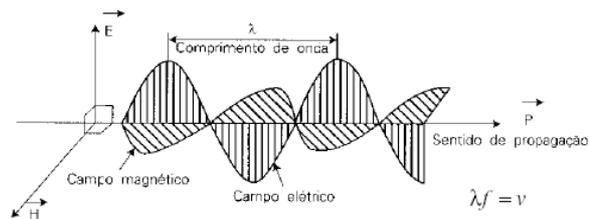


O Destino

- Equipamento análogo ao de origem (fonte):
 - Telefone (fixo ou móvel);
 - Fax;
 - TV;
 - Vídeo conferência;
 - Computador (dados).
- Realiza a transdução inversa da informação.

Ondas eletromagnéticas

- Os sistemas de comunicações utilizam ondas eletromagnéticas para transmissão da informação.



$$\lambda f = v$$

λ é o comprimento de onda

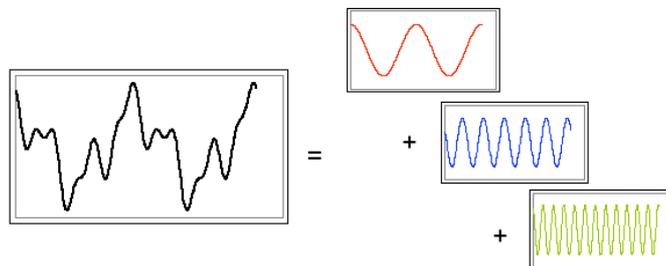
f é a frequência

v é a velocidade de propagação

(no vácuo $v = c = 3 \times 10^8$ m/s)

Frequências do sinal

- O sinal elétrico periódico contendo a informação pode ser representado pela composição de diversos sinais senoidais de diferentes frequências.





Séries de Fourier

- Para um sinal de período T

$$g(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{sen}(2\pi nft + \theta_n)$$

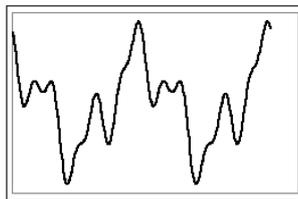
$$f = 1/T$$

- O espectro de frequências do sinal é a função G(f) que representa a energia do sinal em cada uma de suas componentes em frequência, 0, f, 2f, 3f,
- Quanto maior o período do sinal menor a frequência fundamental f; no limite o somatório transforma-se numa integral.

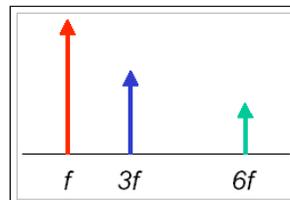


Espectro de frequências de um sinal

- Gráfico que ilustra a composição em frequências do sinal.



variação do sinal no tempo

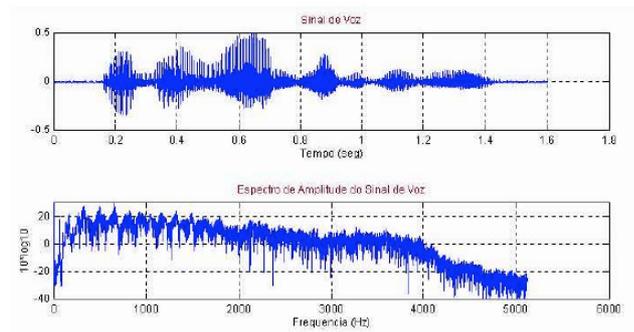


espectro de frequências do sinal



Faixa de frequências de um sinal

- Quanto mais complexa a informação maior o número de componentes e o espectro do sinal é quase contínuo, ocupando uma faixa de frequências.



Modulação

- Para transmitir a informação de forma eficiente, é necessário modular o sinal.
- A modulação consiste em inserir o sinal de informação num sinal senoidal de frequência mais elevada (a portadora).
- O sinal de informação pode ser inserido na amplitude, frequência ou fase da portadora.
- A modulação pode ser analógica ou digital.

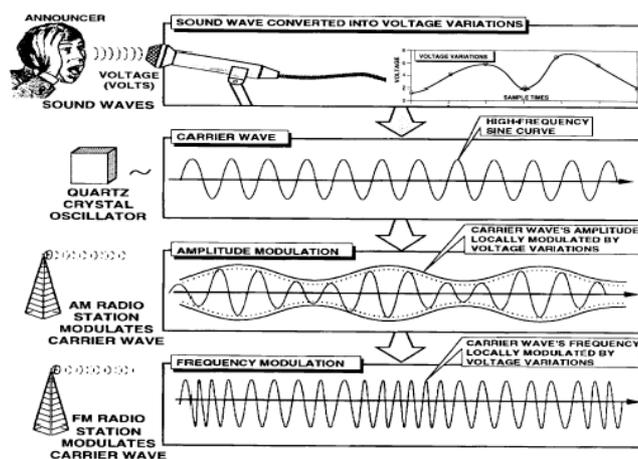


Sistemas analógicos e digitais

- Sistemas analógicos
 - O sinal analógico (voz, áudio, vídeo) ou digital (dados) que se deseja transmitir modula diretamente a amplitude ou a frequência da portadora.
- Sistemas digitais
 - Um sinal analógico que se deseja transmitir é primeiro quantizado em níveis discretos, codificado digitalmente e a seguir utilizado para modular a amplitude, frequência ou fase da portadora.



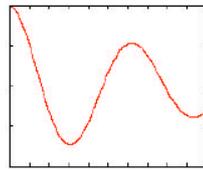
Modulação Analógica



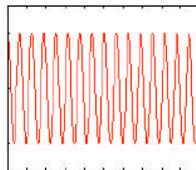


Formas de modulação analógica

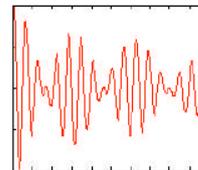
- Modulação em amplitude



sinal

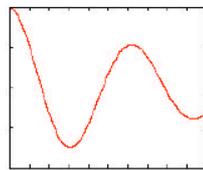


portadora

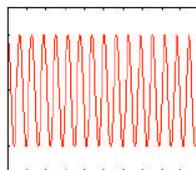


sinal modulado

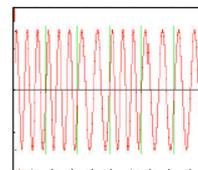
- Modulação em frequência



sinal



portadora



sinal modulado



Modulação em Amplitude (AM)

- A modulação em amplitude é mais simples de implementar e o sinal AM ocupa uma faixa de frequências menor que o sinal FM. Entretanto este tipo de modulação é muito sensível à presença de ruído e interferências no canal, já que a informação é levada na amplitude da portadora (você percebe isto quando ouve uma emissora de rádio difusão AM).

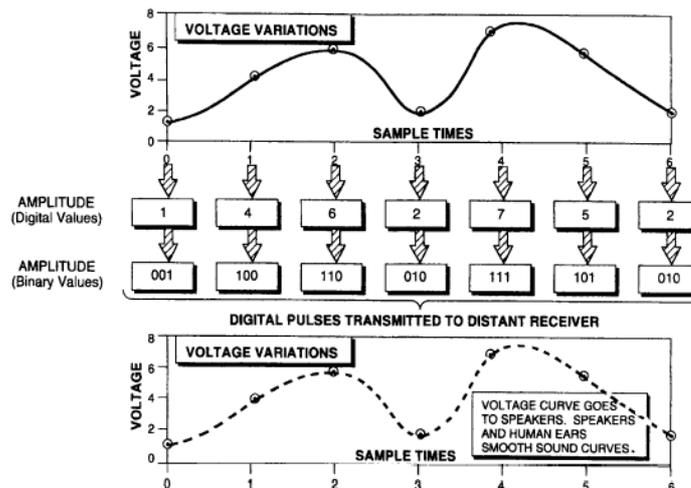


Modulação em Frequência (FM)

- A modulação em frequência é muito menos sensível ao ruído, já que a informação está na frequência da portadora.
- Por outro lado, o sinal modulado ocupa uma banda de frequências maior do que a do sinal original (modulante).



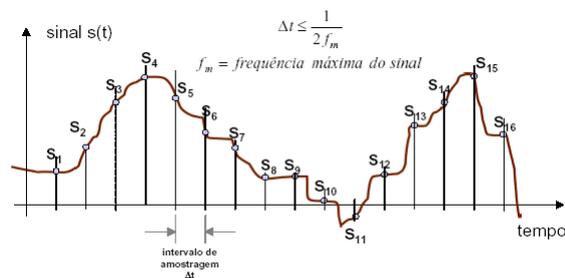
Modulação Digital





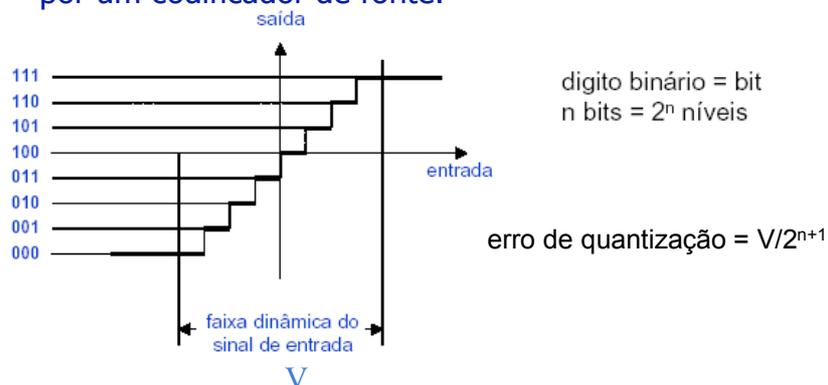
Teorema da Amostragem

- Se um sinal de faixa limitada é amostrado a intervalos regulares de tempo e a uma taxa igual ou maior que o dobro da maior frequência significativa do sinal, as amostras contém toda a informação do sinal original que pode, a partir delas, ser reconstituído.



Conversão analógico-digital (A/D)

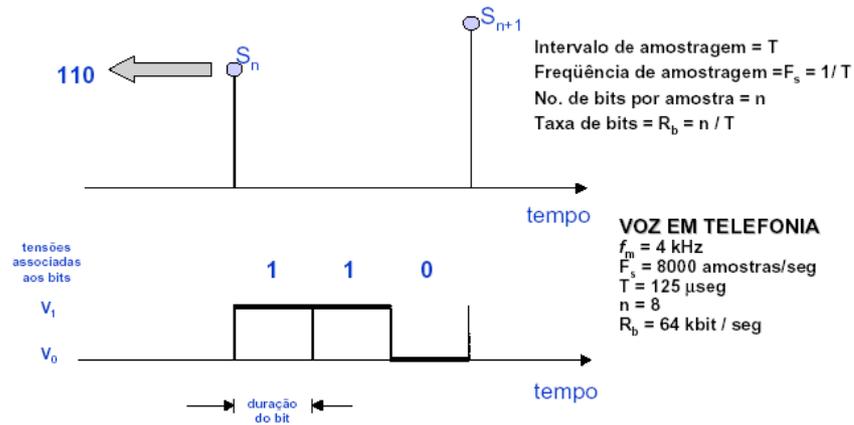
- Para tornar finito o número de sinais a serem transmitidos, o sinal de informação além de amostrado ele de ser quantizado e convertido para o formato binário por um codificador de fonte.





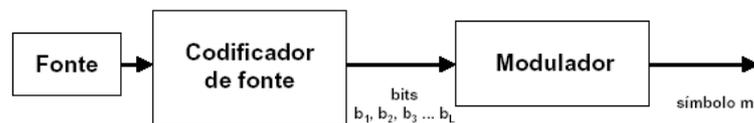
Pulse Code Modulation (PCM)

Forma básica de codificação de fonte



Modulação digital

- O modulador utiliza os bits de saída do codificador de fonte para gerar as formas de onda a serem transmitidas no canal.
- Para maior eficiência, vários bits podem ser combinados em cada símbolo associado a uma diferente forma de onda.





Modulação digital

- Se sistema de modulador representa cada L bits por um símbolo, a taxa de transmissão de símbolos R_s (símbolos por segundo ou Bauds) está relacionada com a taxa de transmissão de bits R_b (bps).

$$R_s(\text{Bauds}) = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{LT_b} = \frac{R_b(\text{bps})}{L}$$

- O número de bits por símbolo é função do número de níveis da modulação M :

$$L = \log_2 M$$

- A taxa de transmissão em bps é, portanto, dada por:

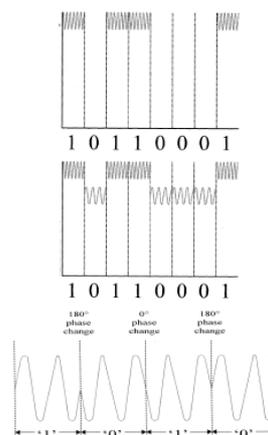
$$R_b(\text{bps}) = R_s(\text{Bauds}) \log_2 M$$



Tipos de modulação digital

Modulações em dois níveis (1 bit por símbolo):

- OOK (on-off keying): a portadora é “ligada” e “desligada” para representar os bits 1 e 0.
- FSK (frequency shift keying): a frequência da portadora é chaveada entre dois valores para representar os bits 1 e 0.
- PSK (phase shift keying): a fase da portadora é chaveada entre dois valores para representar os bits 1 e 0.



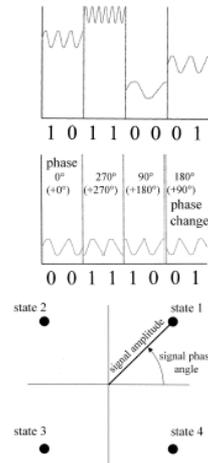


Tipos de modulação digital

Modulações de M níveis
($\log_2 M = L = \text{bits por símbolo}$):

- 4-FSK (FSK de 4 níveis);
- 4-PSK (PSK de 4 níveis).

Constelação da modulação:
diagrama representando a amplitude e a fase de cada estado (símbolo) da modulação.

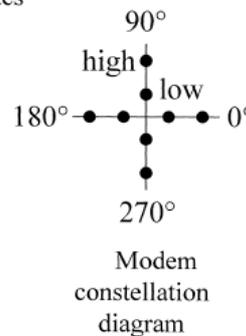


Tipos de modulação digital

- Modulações combinadas em amplitude e fase
 - Para obter níveis mais elevados de modulação utilizam-se variações combinadas de amplitude e fase do sinal.

bit combinations and signal attributes

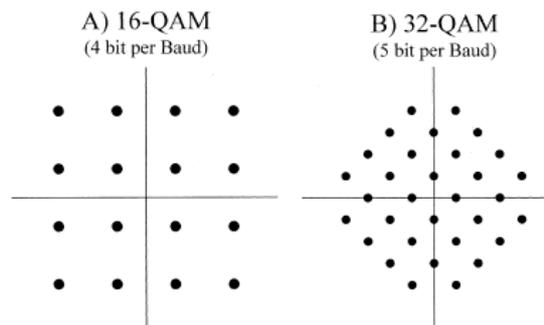
Bit combination	Signal amplitude	Phase shift	Typical Signal
000	Low	0°	
001	High	0°	
010	Low	90°	
011	High	90°	
100	Low	180°	
101	High	180°	
110	Low	270°	
111	High	270°	





Tipos de modulação digital

- Modulações combinadas em amplitude e fase
 - Modulações com número de níveis elevados são mais eficientes em termos de capacidade de transmissão (mais bits por símbolo) porém mais sensíveis ao ruído no canal.



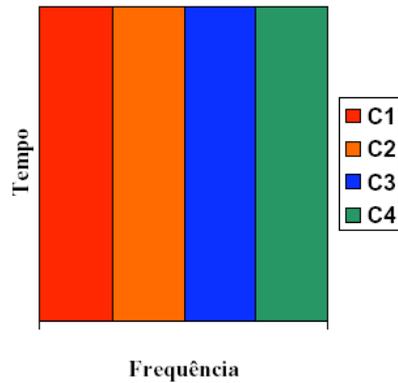
Técnicas de Acesso

- Um canal de comunicações tem capacidade suficiente, em termos de largura de banda ou taxa de bits para transmitir diversos sinais de diferentes usuários em comunicação simultânea.
- A questão é como combinar os diversos sinais, para transmissão no mesmo canal e os separar do lado da recepção, recuperando as informações individuais de cada usuário.
- Para isto podem ser utilizadas diferentes técnicas de acesso (ou de multiplexação):
 - Múltiplo acesso por divisão em frequência (FDMA)
 - Múltiplo acesso por divisão no tempo (TDMA)
 - Múltiplo acesso por divisão em código (CDMA)



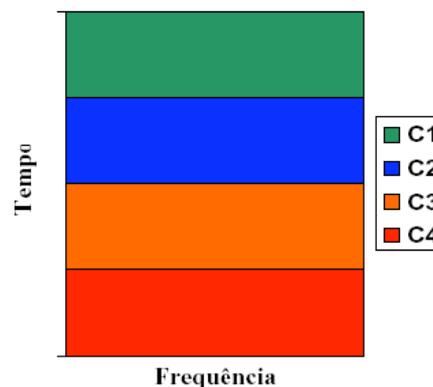
FDMA

- Os sinais de cada canal são transmitidos usando diferentes frequências centrais de portadora (RF ou rádio frequência)
- Exemplo: AMPS (Advanced Mobile Phone System):
 - Sistema celular analógico com 932 canais de 30 kHz (42 canais para controle);
 - Bandas A e B com 25 MHz cada: 12,5 MHz nos canais direto (base para móvel) e 12,5 MHz nos canais reversos (móvel para base),



TDMA

- Diversos canais utilizam a mesma frequência central de RF sendo transmitidos em diferentes intervalos de tempo
 - um maior número de canais
 - por portadora implica numa
 - maior taxa de transmissão e
 - requer maior faixa
- Os sistemas TDMA são, de fato, TDMA/FDMA.
- Exemplo: D-AMPS, GSM





CDMA

- Sinais de banda estreita de cada canal são combinados com diferentes sinais pseudoaleatórios de faixa larga (código).
- Os sinais resultantes são transmitidos durante todo o tempo sobre toda a faixa defrequências.
- No receptor, a multiplicação do sinal pelas mesmas sequências ortogonais permite separar os diferentes canais.
- Exemplo: CDMA padrão celular IS-95

