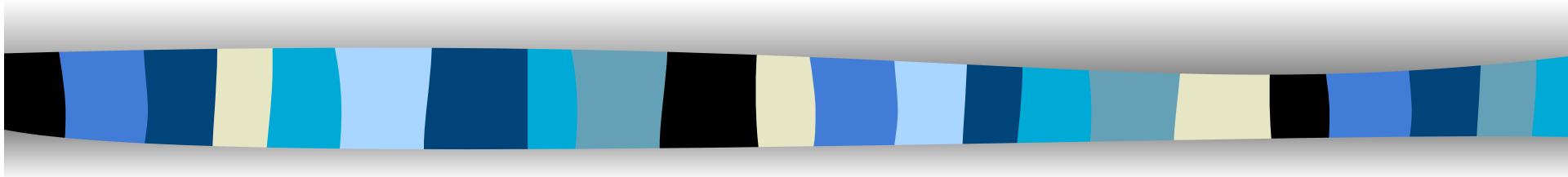
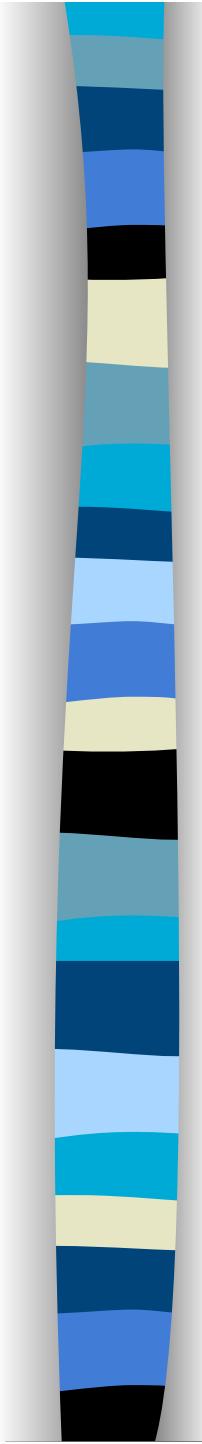


Redes de Computadores

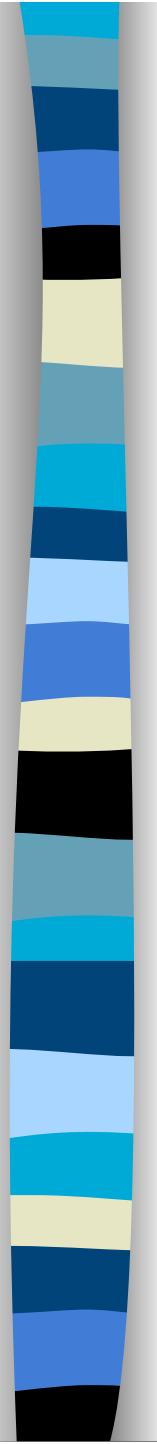


A Camada Física
Transmissão de Sinal



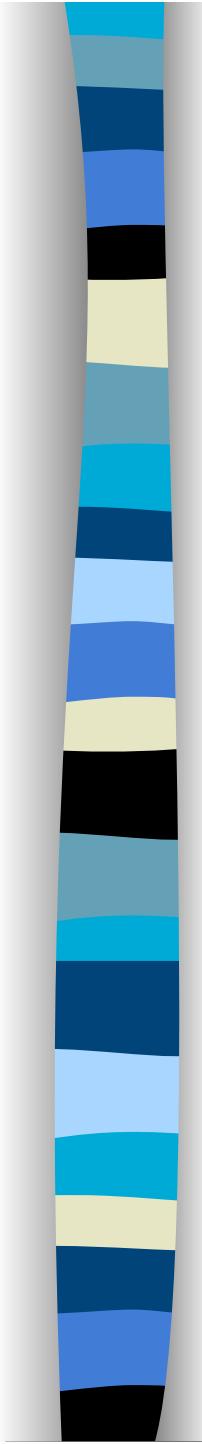
Camada Física

- Estudar para entender:
 - fatores que limitam a capacidade de transmissão de dados dos canais de comunicação;
 - fornecer dicas de porque todas as formas de comunicação estão migrando do sistema analógico para o digital.



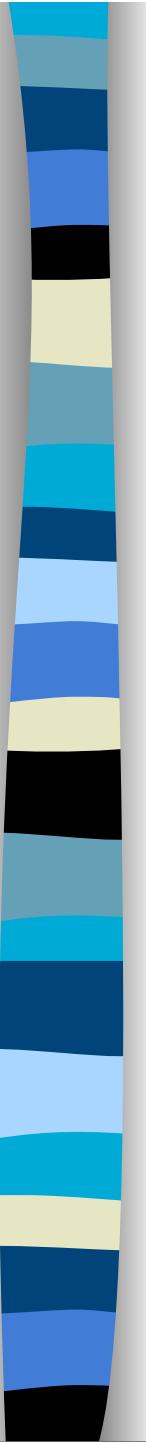
Camada Física

- Quase todos os sinais utilizados para comunicação são parte do espectro eletromagnético – energia eletromagnética viaja em ondas que se irradiam para fora da sua fonte (no nosso caso o transmissor, que é transportada pelo meio de transmissão sob forma de ondas eletromagnéticas).



Tipos de dados

- Analógicos e digitais.
 - Analógicos – representados como formas de onda contínua que, em determinado ponto no tempo podem estar em um número infinito de pontos entre um valor máximo e um valor mínimo;
 - Digitais – representados por formas discretas.



Características dos Sinais Eletromagnéticos

- Tempo e espectros de tempo – são componentes das definições dos conceitos mais fundamentais.
- Quando expresso matematicamente, um sinal eletromagnético é uma função do tempo. Entretanto, ele pode ser também expresso em função da frequência (sendo constituído por diversas frequências) – diferenciação entre diferentes instrumentos e diferentes vozes...



Conceitos da Perspectiva do Tempo

- Em função do tempo o sinal pode ser analógico ou digital:
 - Analógico – a intensidade do sinal varia de forma suave ao longo do tempo (não existe descontinuidade ou interrupção);
 - Digital – a intensidade do sinal mantém um nível constante durante um certo período, e então muda para outro nível constante.



Conceitos da Perspectiva do Tempo

- O sinal mais simples é o periódico – que se repete ao longo do tempo.
- Onda senoidal (sinal analógico) ou onda quadrada (sinal digital).



Conceitos da Perspectiva do Tempo

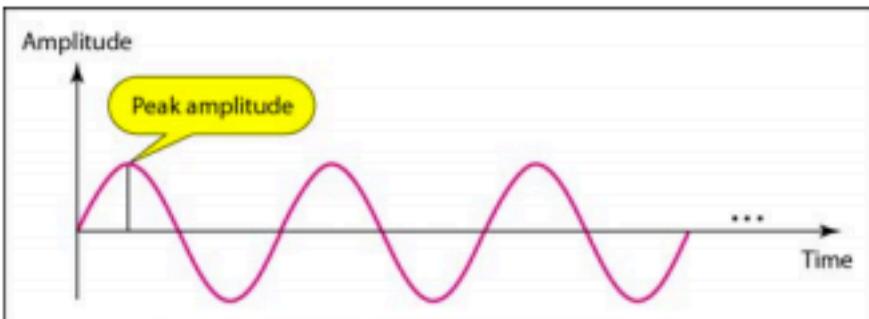
- A onda senoidal geral pode ser representada por três componentes básicos:
 - Amplitude de pico (A), frequência (f) e fase (Φ).



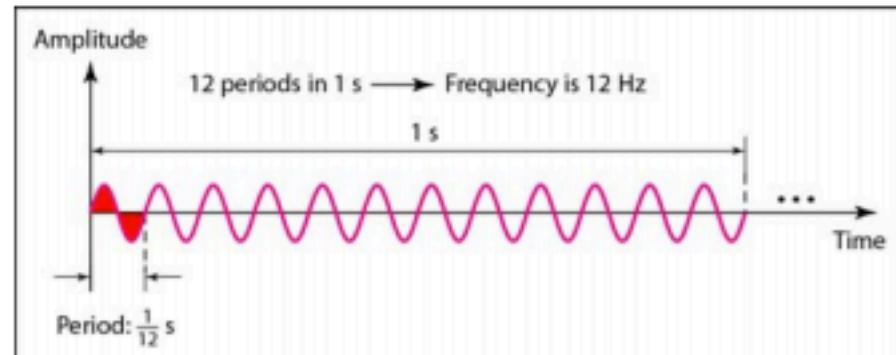
Conceitos da Perspectiva do Tempo

- **Amplitude** – é a altura máxima da onda acima ou abaixo de determinado ponto de referência (representa intensidade do sinal ao longo do tempo – nível de tensão do sinal).
- **Frequência** – número de vezes que o sinal faz um ciclo completo dentro de determinado período. O comprimento por ciclo é chamado **período** do sinal (T). O período é calcula como o inverso da frequência ($1/f$).
- **Fase** - é uma medida de posição da forma de onda em relação a determinado instante dentro do período de um sinal.

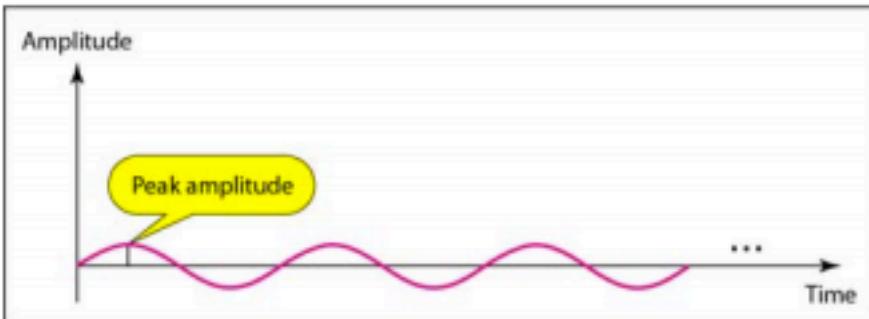
Conceitos da Perspectiva do Tempo



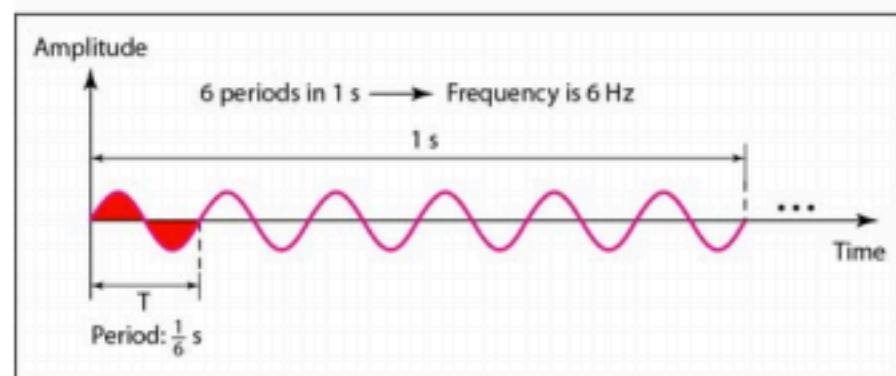
a. A signal with high peak amplitude



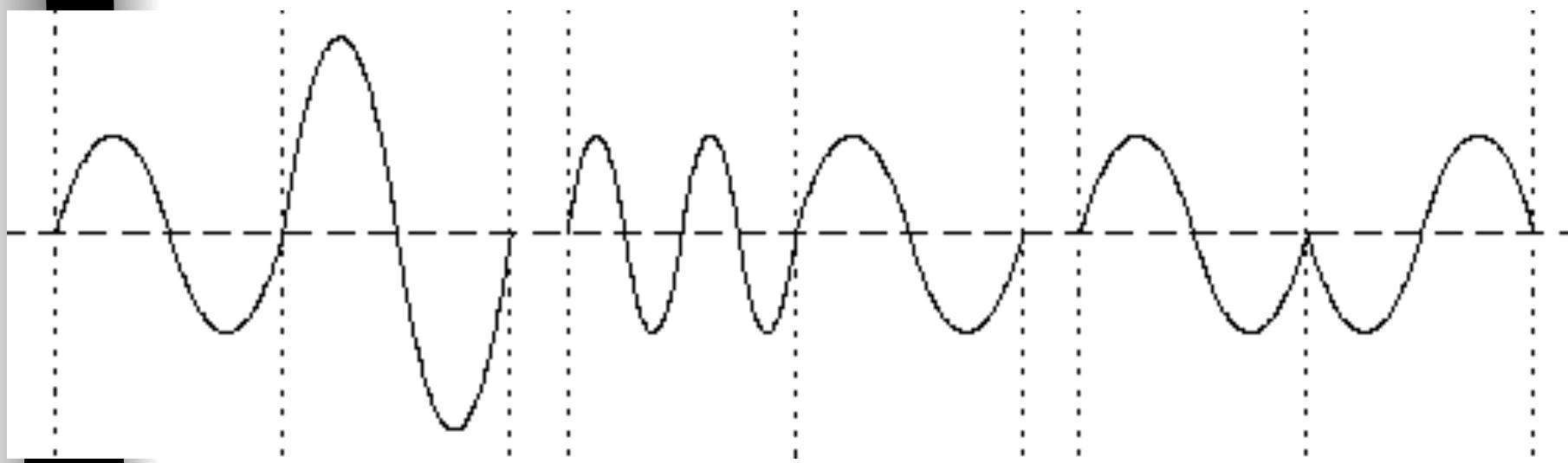
a. A signal with a frequency of 12 Hz



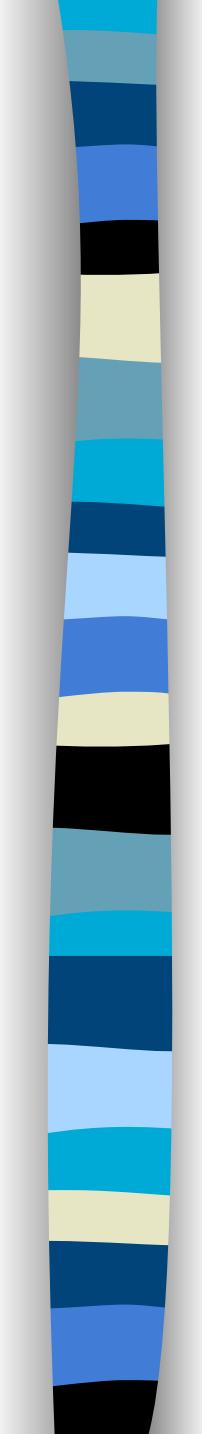
b. A signal with low peak amplitude



b. A signal with a frequency of 6 Hz

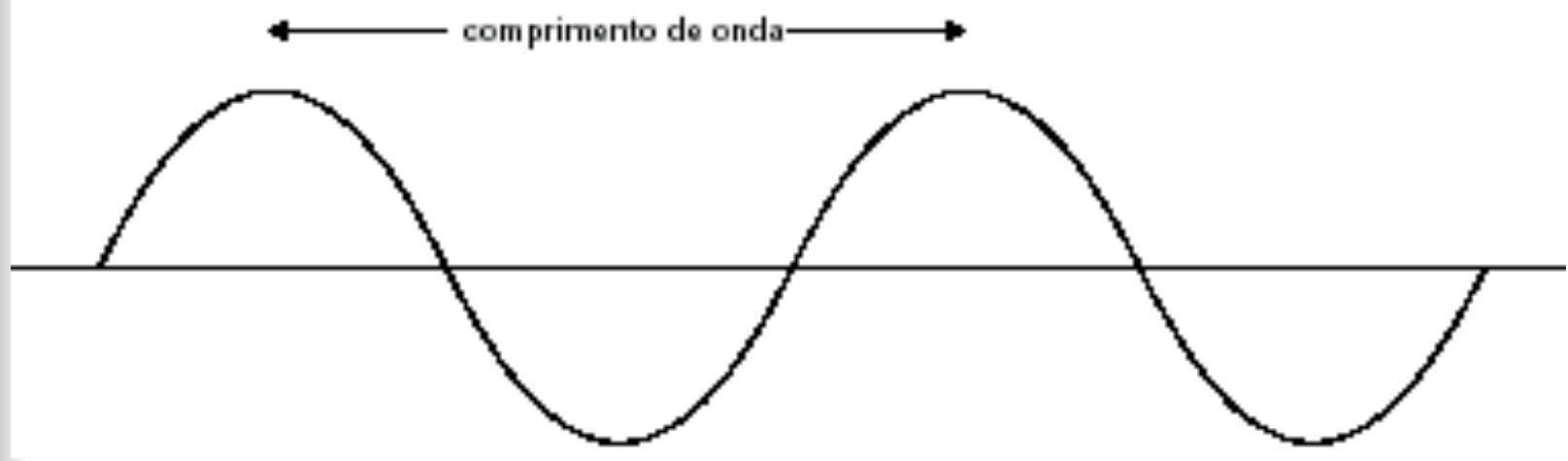


Modulação em Amplitude, Frequência, Fase

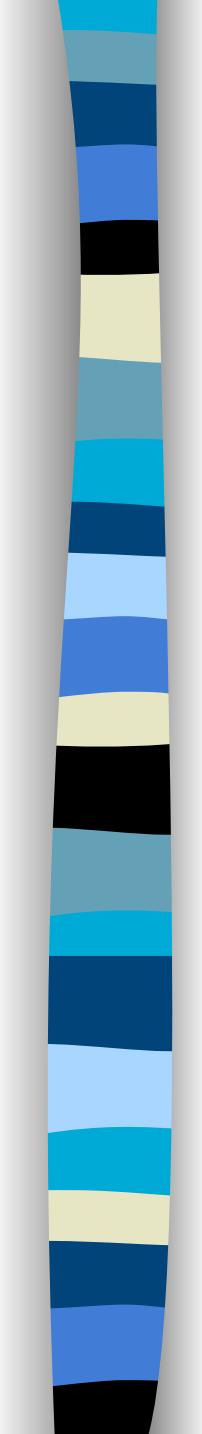


Conceitos da Perspectiva do Tempo

- **Comprimento de onda (λ)** – é o conceito que ajuda a entender por que a mesma forma senoidal pode ser expressa como uma função de tempo ou espaço. O comprimento de onda de um sinal é definido como a distância ocupada por um único ciclo, ou a distância entre dois pontos da fase correspondente de dois ciclos consecutivos (como por exemplo as amplitudes máximas).

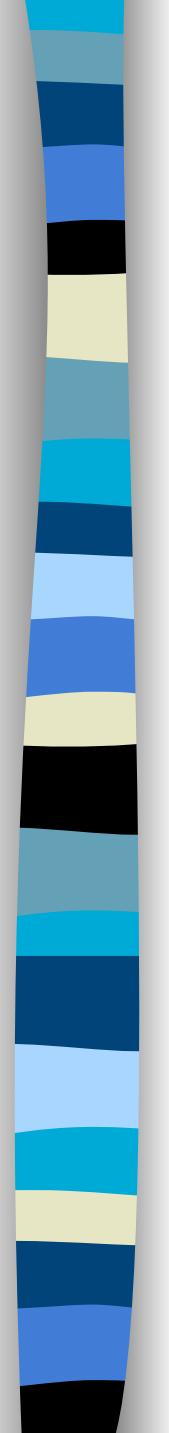


Sinal Analógico



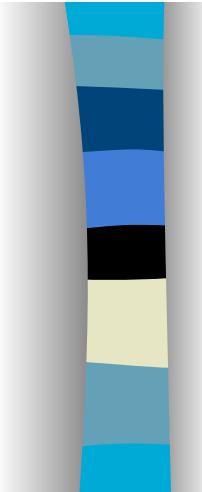
Base Teórica da Comunicação

- Informações – Podem ser transmitidas em fios, variando-se propriedades físicas como voltagem e corrente.
 - Por exemplo: se representamos uma voltagem como uma função do tempo $f(t)$ é possível definir um modelo para o comportamento do sinal e analisá-lo matematicamente.



Análise de Fourier (1904)

- Qualquer função $g(t)$ periódica com o período T pode ser escrita como uma soma de senos e cossenos.
 - Isso significa que qualquer função periódica pode ser decomposta em uma soma de funções senoidais e co-senoidais, mais simples:



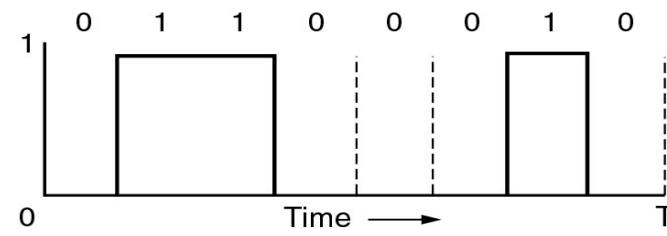
Análise de Fourier (1904)

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t), \text{ onde}$$

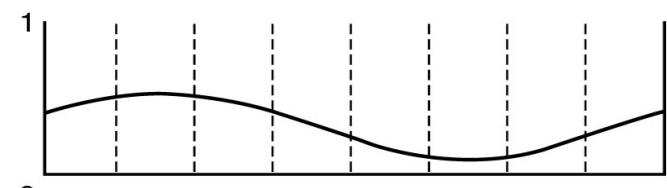
$f = 1/T$ (freqüência fundamental)

a_n, b_n são as amplitudes dos senos e co-senos da n -ésima harmônica.

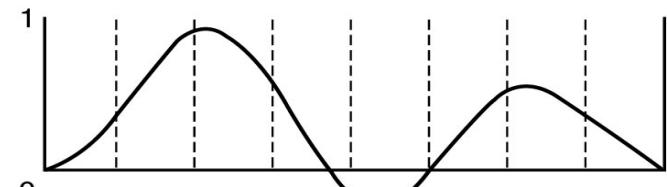
Para qualquer $g(t)$, a , b e c podem ser calculados → "Termos de Fourier"



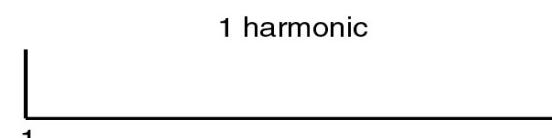
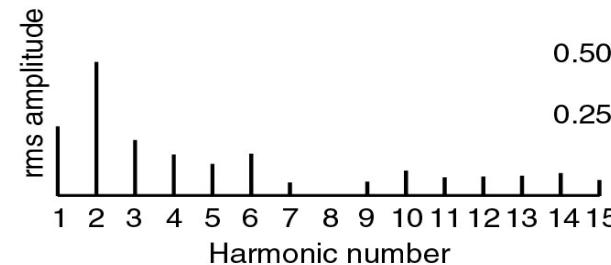
(a)



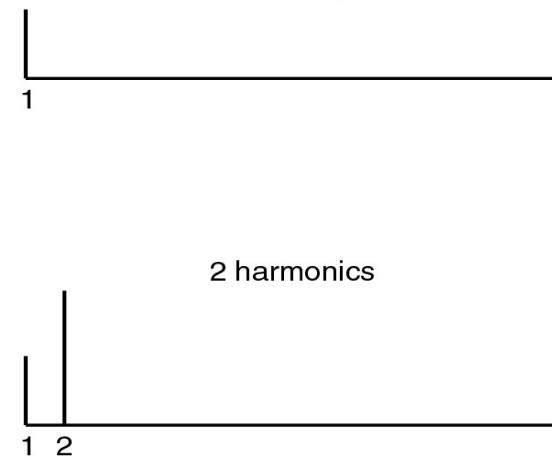
(b)



(c)



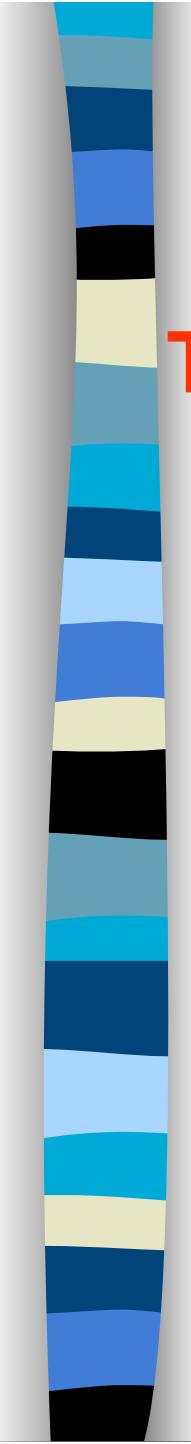
1 harmonic



2 harmonics

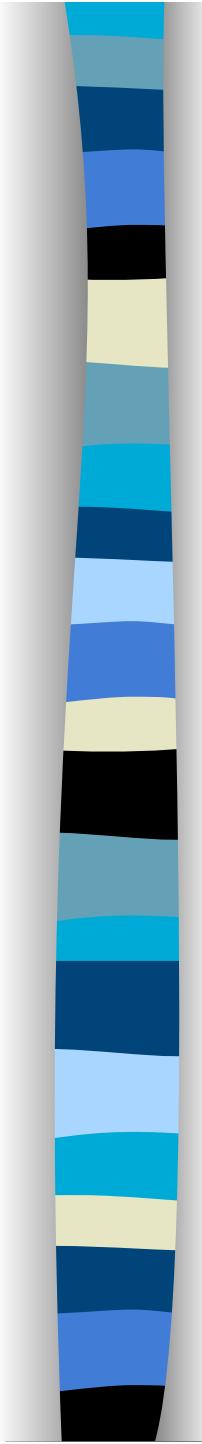
2-1 A binary signal and its root-mean-square Fourier amplitudes.

(b) – (c) Successive approximations to the original signal.



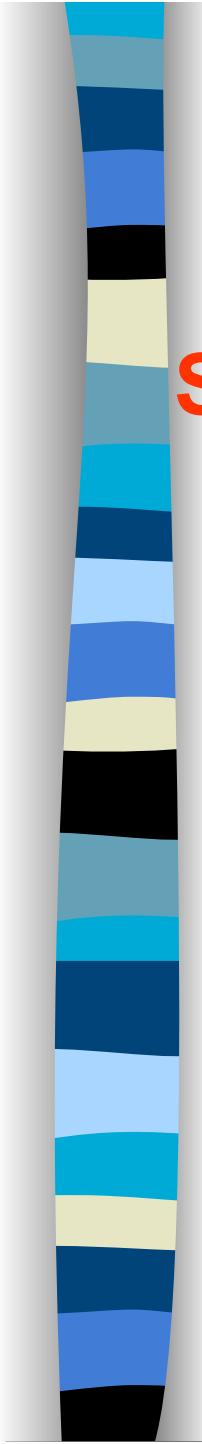
Transmissão de Sinal

A propagação de ondas através de um meio físico (**ar, fios metálicos, fibra de vidro**) que podem ter suas características (**amplitude, frequência, fase**) alteradas no tempo para refletir a codificação da informação transmitida.



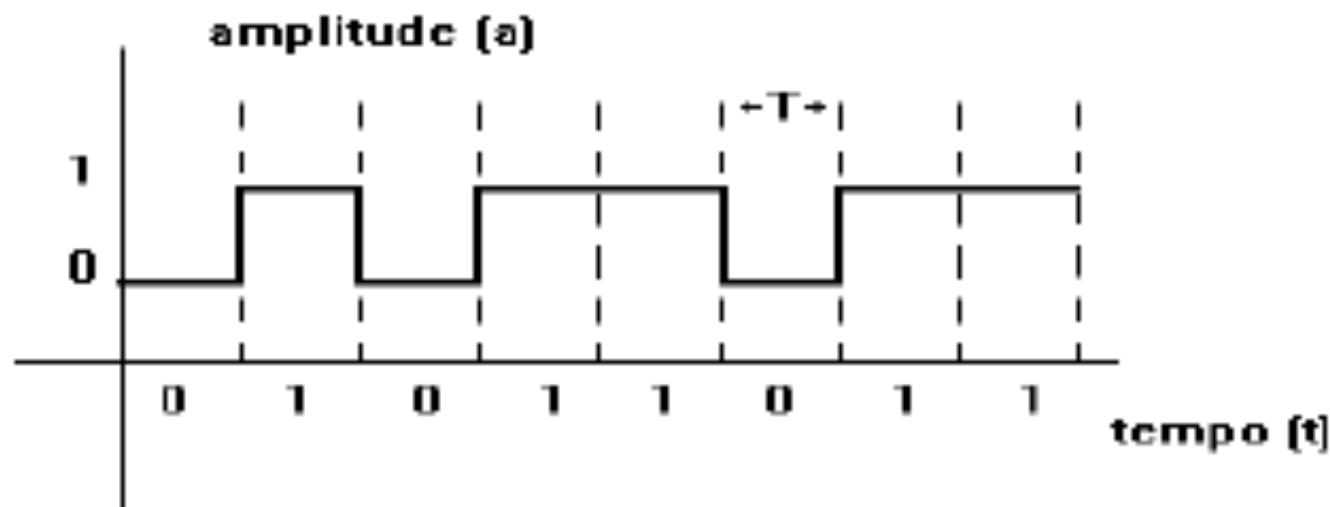
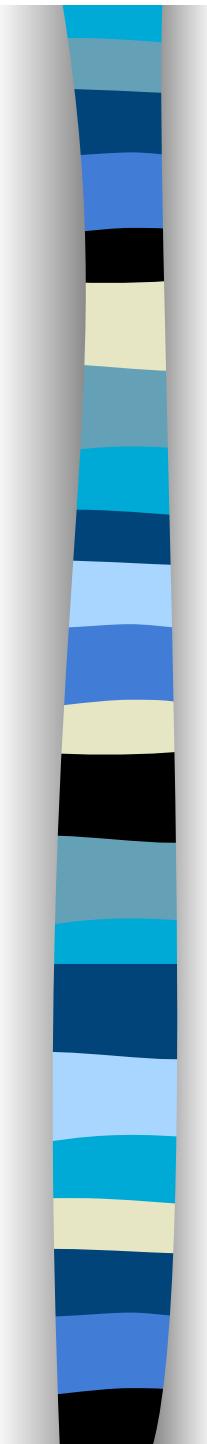
A informação está associada, em geral, às idéias ou dados manipulados pelos agentes que as criam, manipulam e processam.

Sinais correspondem à materialização específica dessas informações, utilizada no momento da transmissão.



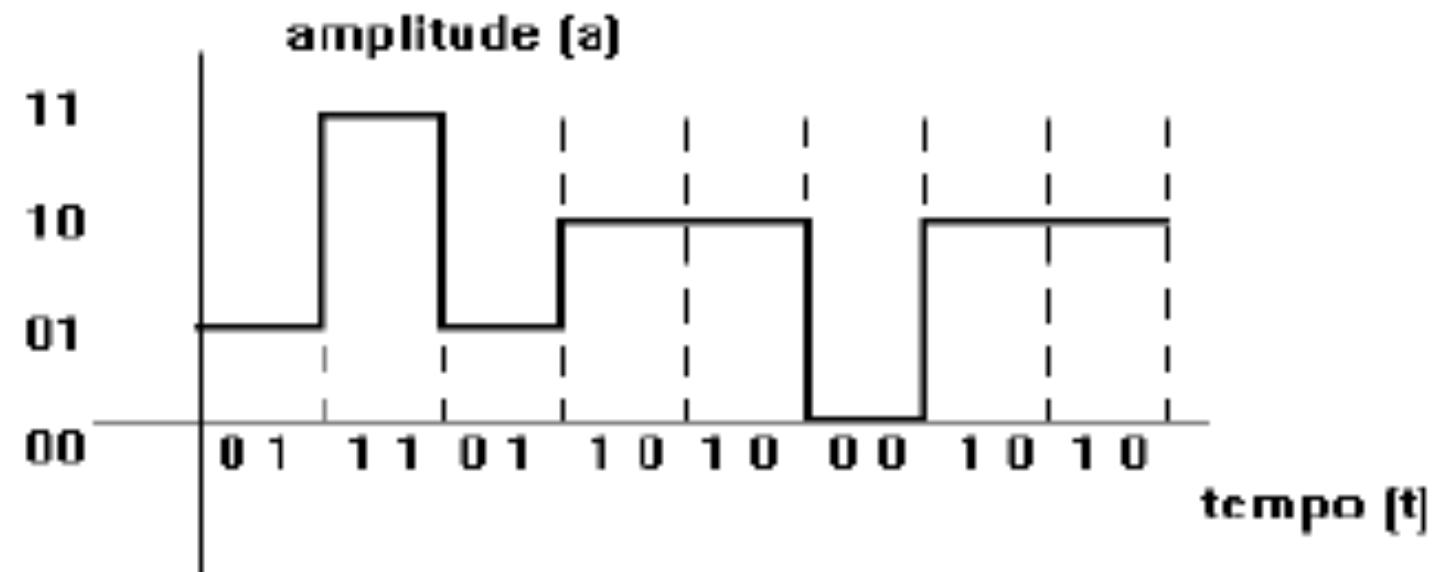
Sinal Digital

A sequência de pulsos com amplitude fixa (em valores discretos), na qual o sinal é construído através de uma sequência de intervalos de tamanho fixo iguais a T segundos, chamados intervalos de sinalização.



Sinal Digital

Em um intervalo de sinalização (T) um ou mais bits podem ser transmitidos

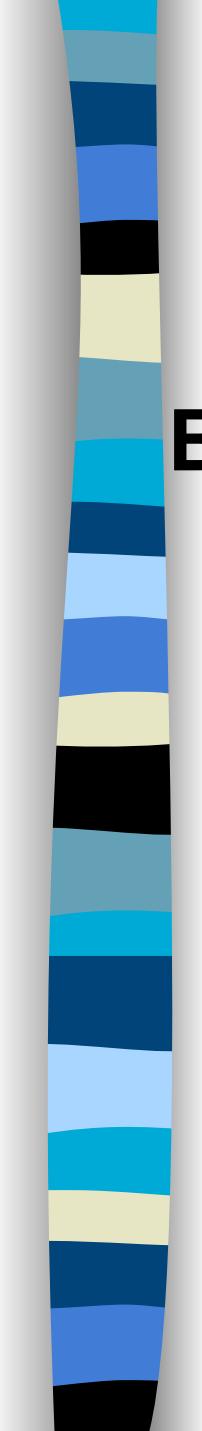


Sinal Digital - Dibit



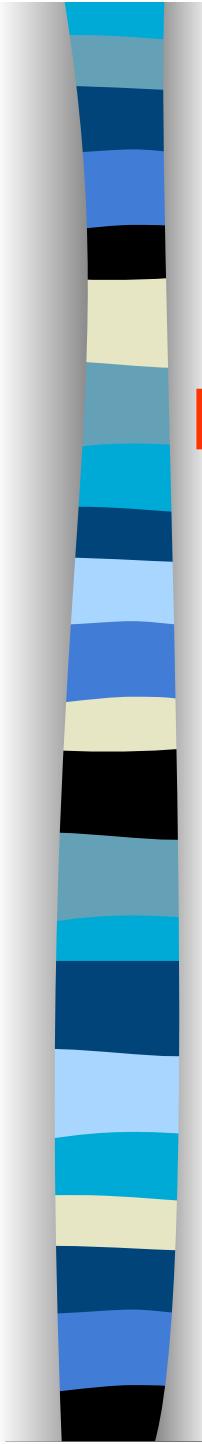
Conceitos da Perspectiva da Frequência

- Formas senoidais simples são difíceis de serem encontradas na vida real 😊
- O espectro de um sinal é o espectro de frequências que ele contém. Para o sinal composto, o espectro abrange a composição.



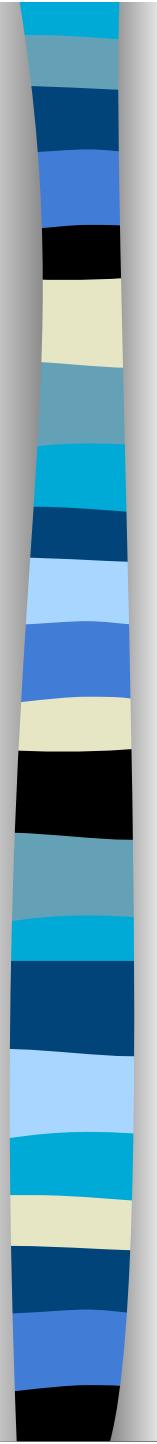
Banda Passante de um Sinal

Intervalo de frequências que compõe o sinal.



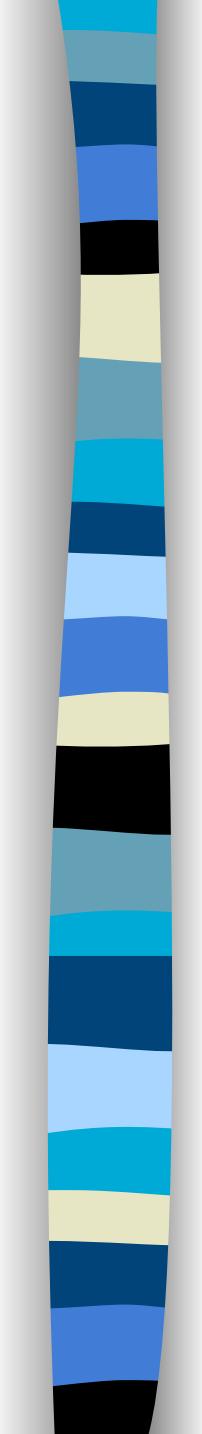
Largura de Banda

Tamanho da banda passante (diferença entre a MAIOR e a MENOR frequência da banda passante).



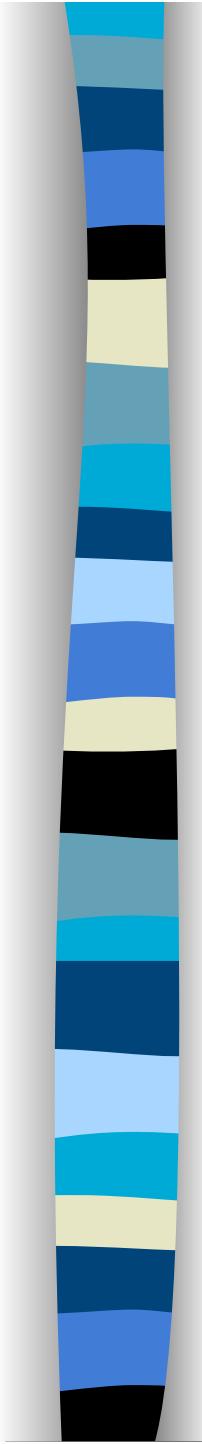
Largura de Banda

- A transmissão ocasiona perda de energia no processo. As perdas ocorrem de maneira diferente para diferentes harmônicas, o que insere distorção.
- Normalmente, as frequências são transmitidas sem alterações até uma determinada frequência **fc**.
- O limite **fc**, muitas vezes é devido a propriedades físicas do meio.
- No caso de linhas telefônicas comuns, $fc=3\text{KHz}$



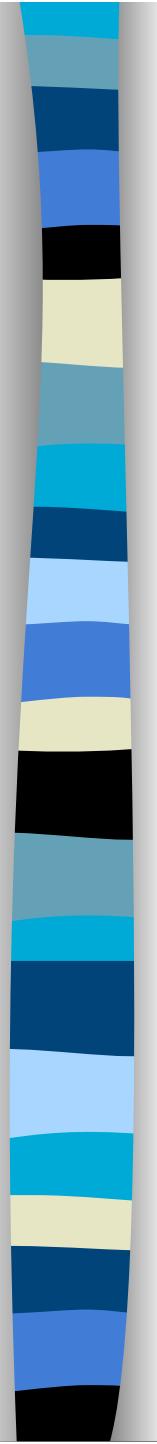
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- Meios de transmissão – perda de sinal durante o processo de transmissão:
 - A atenuação não é a mesma para todas as frequências.
 - Coeficientes da série de Fourier ***não*** são igualmente reduzidos.
 - Causa distorção no sinal.



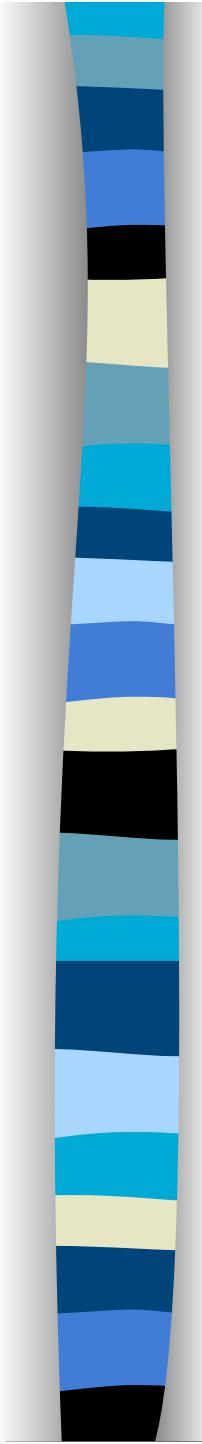
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- Normalmente – Existe transmissão desde 0 até uma frequência **f_c** (frequência de corte), sendo que todas as frequências acima desta são atenuadas (propriedades físicas ou filtros atenuadores que limitem a largura de banda)



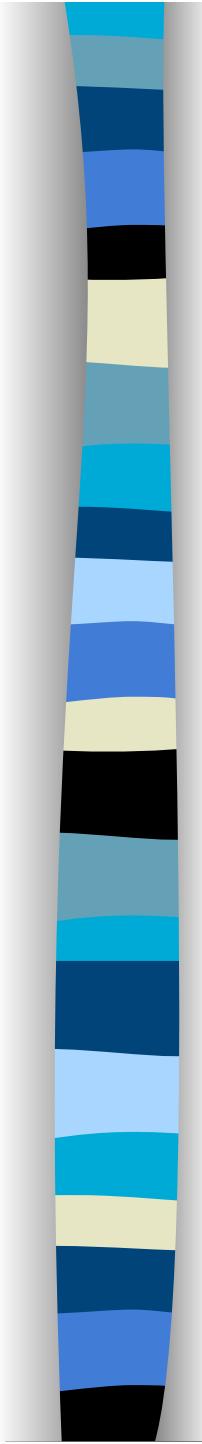
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- O tempo T necessário à transmissão do caractere depende do método de codificação e da velocidade de amostragem – número de vezes por segundo que o sinal muda seu valor (tem uma variação na voltagem)
- Esse número de mudanças é o ***baud rate***.
- “BAUD” é o número de vezes que um sinal pode mudar por segundo em uma linha de comunicação.



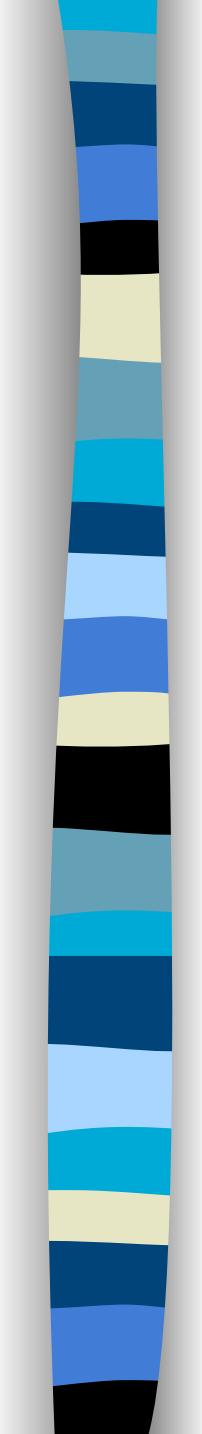
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- **Bit rate** mede o número de bits de dados (que são 0's e 1's) transmitidos em um segundo num canal de comunicação. Por exemplo, 2400 bits por segundo, significa que 2400 zeros ou uns podem ser transmitidos em um segundo, logo abrevia-se para “bps” (bits por segundo). Caracteres individuais (como letras ou números), que são também conhecidos como bytes, nada mais são que um conjunto de 8 bits.



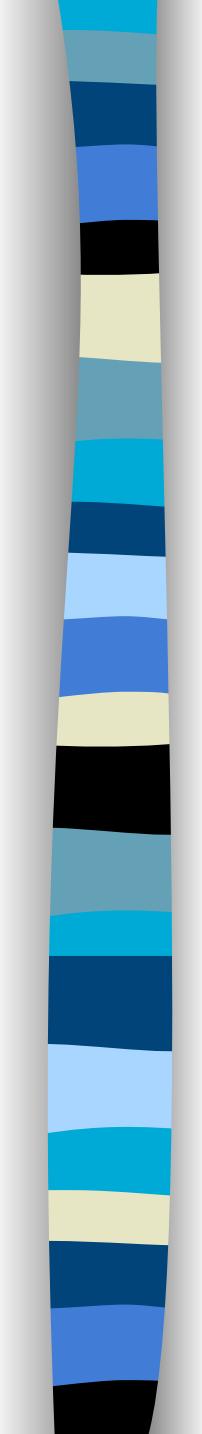
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- **Baud rate** é o número de vezes que um sinal em um canal de comunicação muda seu estado, ou varia. Por exemplo, 2400 baud rate, significa que o canal pode mudar o estado até 2400 vezes por segundo. O termo “mudar estado” significa que ele pode variar de 0 para 1 ou de 1 para 0 até X vezes (nesse caso 2400) por segundo. Isto também refere-se ao estado atual da conexão, como voltagem, frequência ou nível de fase.



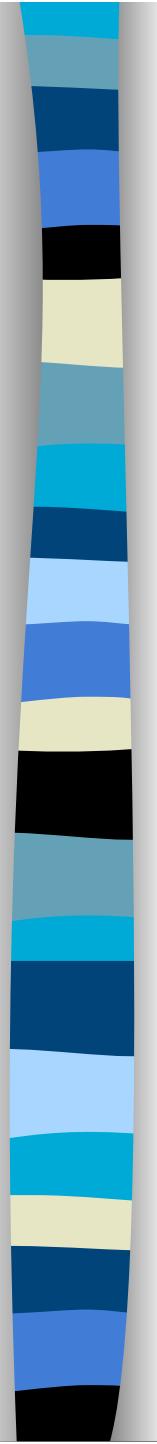
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- A diferença principal entre os dois é que uma mudança do estado pode transmitir um bit, ou algo mais ou menos que um bit, dependendo da técnica de modulação usada. Assim, o bit rate (bps) e baud rate (baud por segundo) tem esta relação:



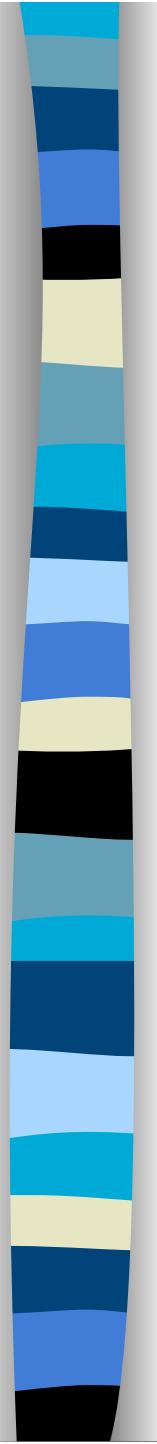
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- A taxa de transmissão de dados é o número de eventos, ou mudanças de sinal, que ocorrem em um segundo – e não o número de bits transmitidos por segundo (bps). Na comunicação digital de alta velocidade, um evento pode, na verdade, representar mais de um bit, e os modems são descritos com mais precisão em termos de bits por segundo do que da taxa de transmissão de dados. Por exemplo, os chamados modems de **9.600 baud (na especificação 2400)**, que codificam quatro bits por evento, operam, na realidade, a 2.400 baud, porém, transmitem 9.600 bits por segundo (2.400 eventos vezes quatro bits por evento) e, portanto, deveriam ser denominados modems de 9.600 bps. Comparar com bit rate (taxa de transferência); transfer rate (taxa de transferência).



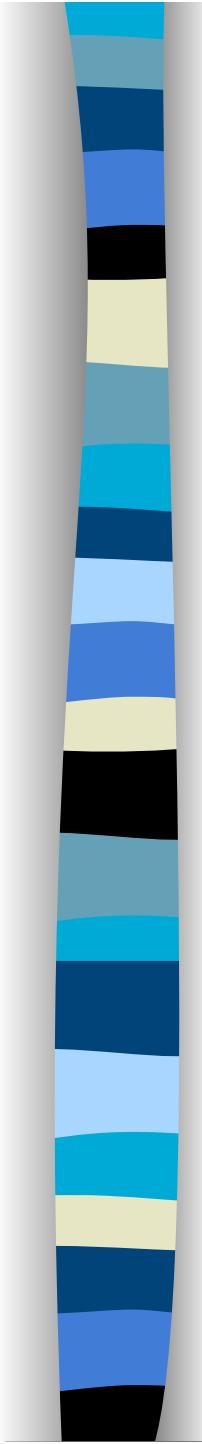
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- Uma linha de **b** bauds **não** transmite necessariamente **b** bits/seg – cada sinal pode transmitir diversos bits – depende da codificação.
- Exemplo: se voltagens compreendidas entre 0 e 7 volts forem usadas, cada valor do sinal poderia ser usado para transportar 3 bits e, desta forma a taxa de bits seria 3 vezes maior que a taxa de bauds.



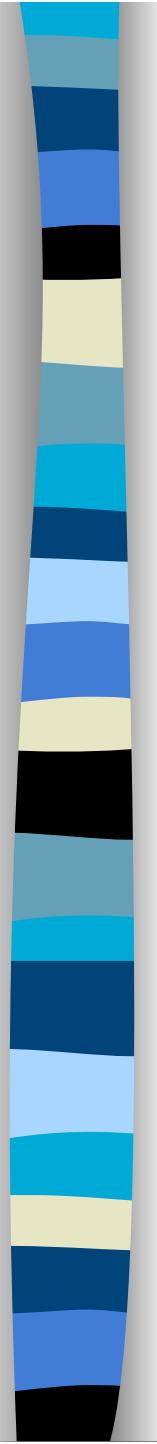
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- No nosso caso – usamos somente 0's e 1's (volts), então a taxa de bits é igual a taxa de baud.
- Se a taxa é de b bits/s – então o **tempo** de envio de 8 bits é de $(8/b)$ seg = T (período)
- Frequência da Primeira Harmônica é de $b/8\text{Hz}$ ($f=1/T\text{ Hz}$)



Sinais Limitados pela Largura de Banda

- bps = baud por segundo x o número de bits por baud



baud: número de intervalos de sinalização por segundo.

Se

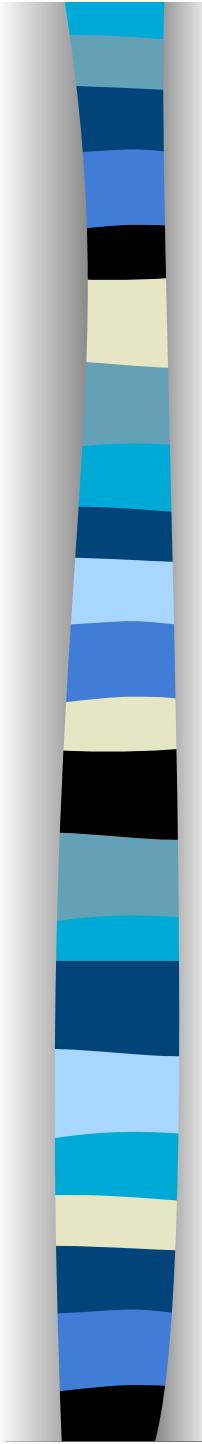
- 1 bit em 1 T => 2^1 níveis de sinalização;
- 2 bits em 1 T => 2^2 níveis de sinalização (dibit);
- 3 bits em 1 T => 2^3 níveis de sinalização (tribit);
- ...
- n bits em 1 T => 2^n níveis de sinalização;

Então

L níveis de sinalização $\Rightarrow \log_2(L)$ bits / nível de sinalização

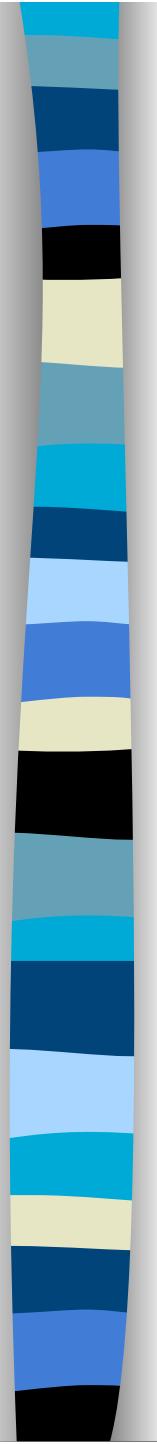
Assim,

$$1 \text{ baud} = \log_2 (L) \text{ bits por segundo}$$



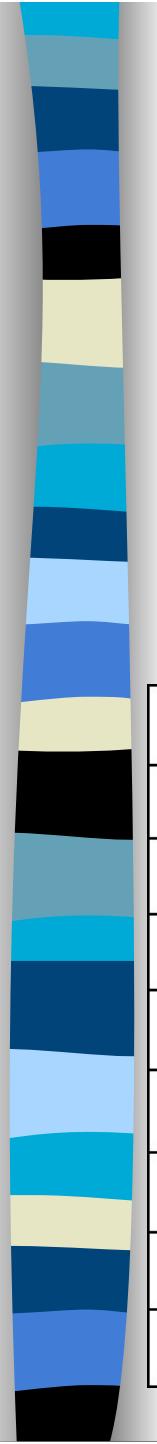
Sinais Limitados pela Largura de Banda

- Linha telefonica comum (voz) – f_c artificialmente introduzida de aproximadamente 3.000 Hz (em geral os telefones transmitem frequências entre 400 e 3.400 Hz)
- Número de harmônica mais alta transmitida é de $3.000/b/8 = 24.000/b$ onde **b** é a taxa em bits/s
isto significa que este é o maior número possível de harmônicas



Sinais Limitados pela Largura de Banda

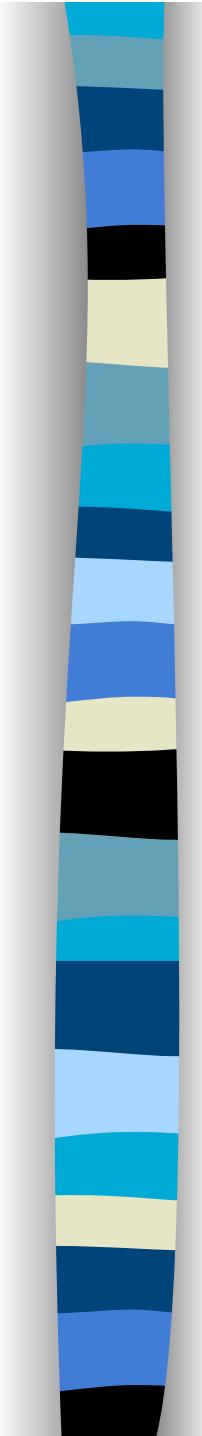
- Para transmitir 9600bps, a harmônica mais alta será: $24000/9600 = 2,5$ aproximadamente 2 harmônicas.
- Para transmitir a 28800 bps – $24000/28800 = 0,83$ aproximadamente 0 harmônicas. (**não é possível transmitir – inabilitiza a transmissão**)



Sinais Limitados pela Largura de Banda

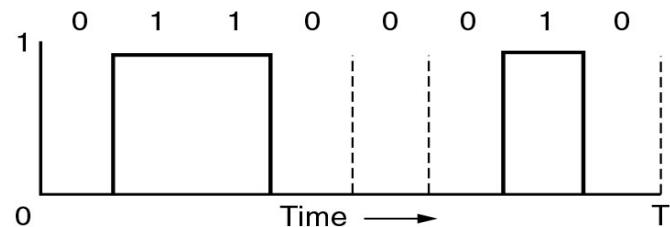
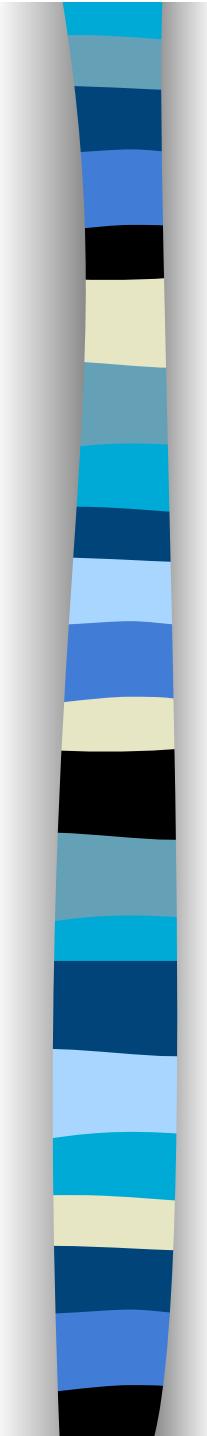
- Relação entre taxa de dados e harmônicas

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

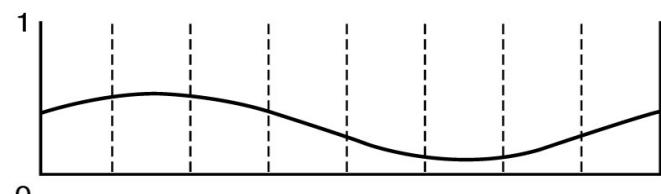
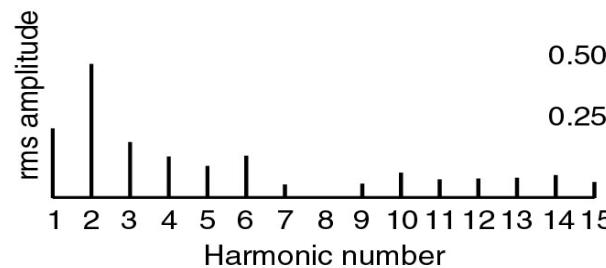


Sinais Limitados pela Largura de Banda

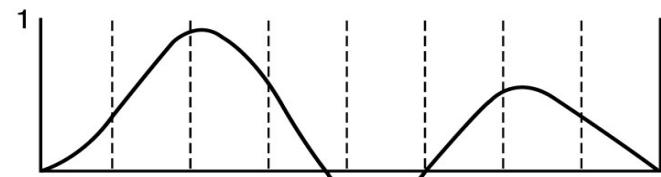
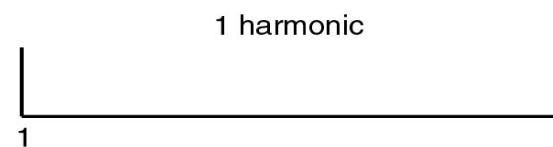
- Quando se tenta fazer a transmissão a 9600 bps através de uma linha de voz, o modelo sugerido na Fig 2.1 (a) assume a forma do 2.1(c) – **dificulta ou impossibilita a recepção do fluxo original de bits.**



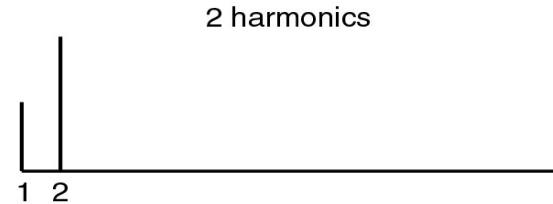
(a)



(b)

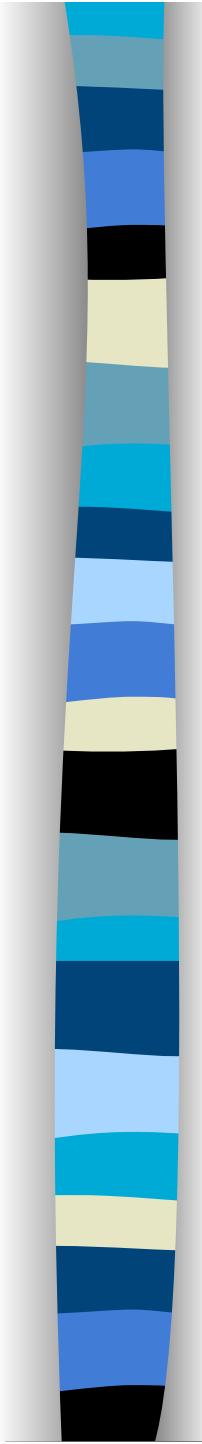


(c)



2-1 A binary signal and its root-mean-square Fourier amplitudes.

(b) – (c) Successive approximations to the original signal.



Sinais Limitados pela Largura de Banda

- Em resumo: limitando-se a *Largura de Banda*, limita-se a taxa de dados, mesmo nos canais sem ruídos.
 - Entretanto – sofisticados esquemas de codificação que usam diversos níveis de voltagem possibilitam a existência e a utilização de taxas de dados mais altas

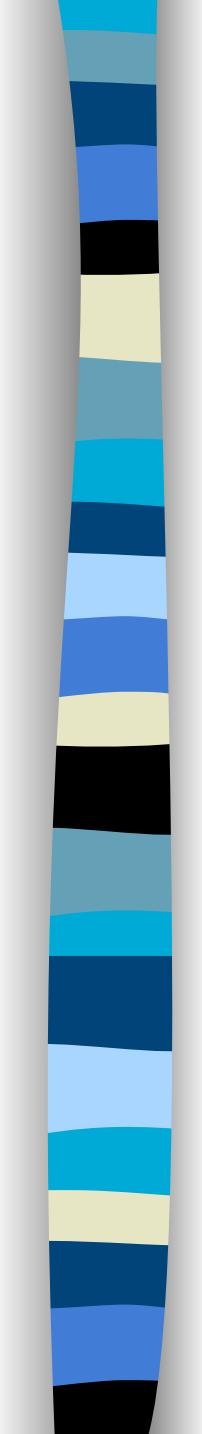
Teorema de Nyquist

Taxa de transmissão máxima de um canal sem ruído.

Em 1924 H. Nyquist provou que se um sinal arbitrário é transmitido por um canal de largura de banda de W Hz, o sinal resultante da transmissão pode ser totalmente reconstituído no receptor através da amostragem do sinal transmitido a uma frequência mínima de $2W$ Hz (que também é a máxima recomendada).

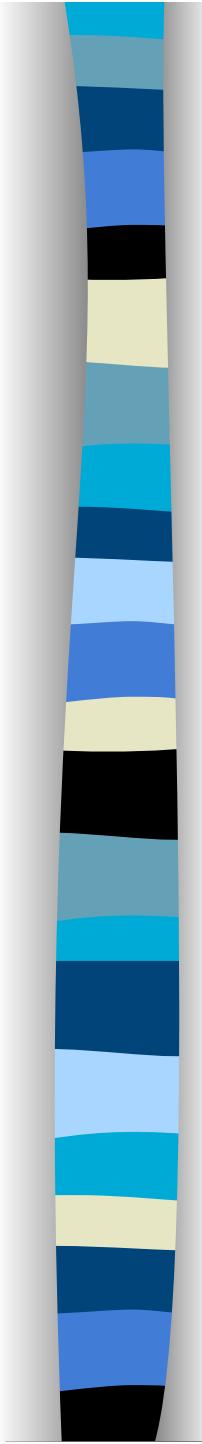
Para transmissão digital isso implica que o nível de sinalização (mudanças de amplitude do sinal) não pode ser maior que 2 W Hz.

Ou seja, em um canal digital de W Hz de banda, transmite-se no máximo $2 W$ bauds.



Teorema de Nyquist

- O Teorema de Nyquist é de extrema importância no desenvolvimento de codificadores de sinais analógicos → digitais porque estabelece o critério adequado para a amostragem dos sinais.
- Nyquist provou que, se um sinal arbitrário é transmitido através de um canal de largura de banda W Hz, o sinal resultante da filtragem poderá ser completamente reconstruído pelo receptor através da amostragem do sinal transmitido, a uma frequência igual a, no mínimo $2W$ vezes por segundo.
- Esta frequência, denominada Frequência de Nyquist, é a frequência de amostragem requerida para a reconstrução adequada do sinal.

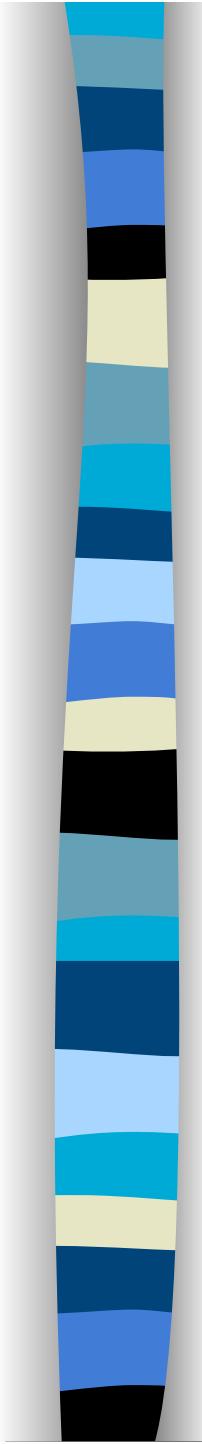


Teorema de Nyquist

- Para o caso de sinais que utilizam mais do que dois níveis (blocos de bits, ao invés de apenas os 2 níveis, nível 0 ou nível 1), a formulação de Nyquist se torna

$$C = 2W \log_2 L$$

Onde L é o número de níveis utilizados para representar o sinal e $\log_2 L = 1\text{baud}$.

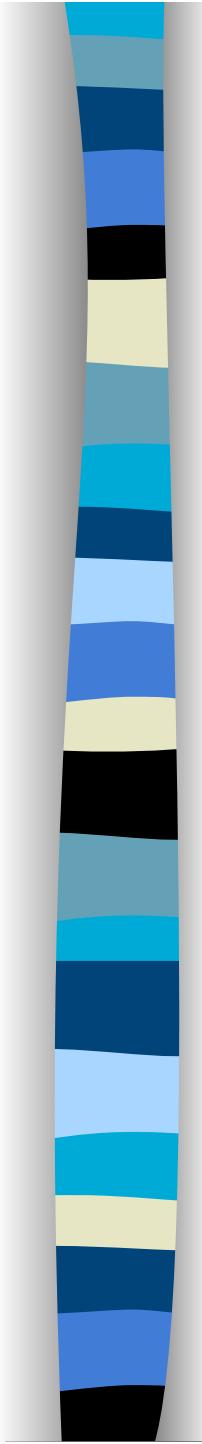


Como

$$1 \text{ baud} = \log_2 (L) \text{ bps}$$

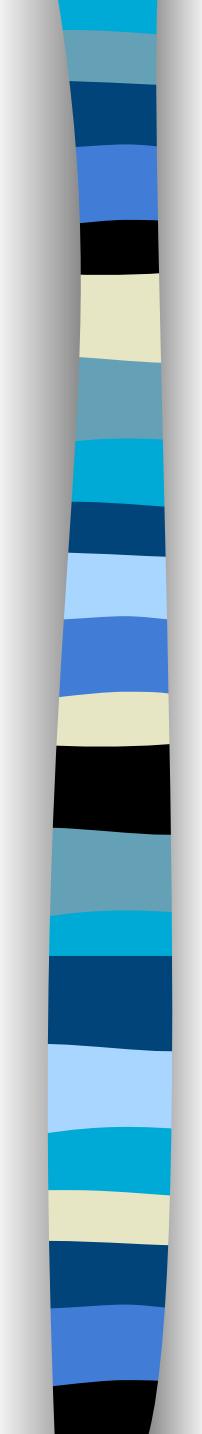
Então a capacidade máxima de um canal digital (na ausência de ruído) é:

$$C = W \log_2 (L) \text{ bps}$$



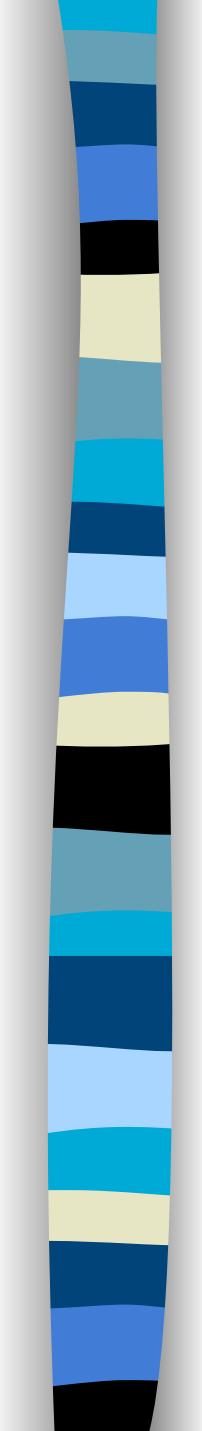
Teorema de Nyquist

- Esta é a fórmula de Nyquist para a capacidade máxima de um canal dada a sua largura de banda, na ausência de ruído.
- Em outras palavras, através de um canal de largura de banda igual a W Hz pode-se transmitir um sinal digital de, no máximo $2L$ bauds.



Teorema de Nyquist

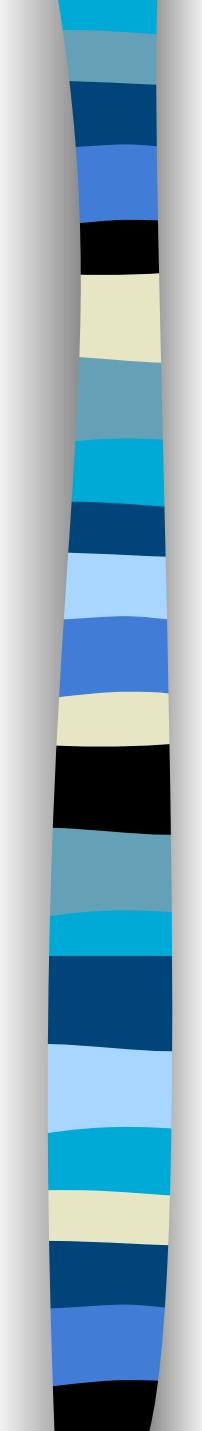
- Então:
 - Se $L=2 \rightarrow \log_2 L = 1\text{bit} = 1\text{baud} \rightarrow C = 2W = 6200 \text{ bps}$
 - Se $L=8 \rightarrow \log_2 L = 3\text{ bits} = 1\text{baud} \rightarrow C = 6W = 18600 \text{ bps}$
 - Se $L=16 \rightarrow \log_2 L = 4\text{ bits} = 1\text{baud} \rightarrow C = 8W = 24800 \text{ bps} \dots$
- Portanto, para uma dada WW, a taxa de dados poderá ser aumentada através do aumento do no de níveis utilizados para transportar o sinal. No entanto, quanto maior L, maior a dificuldade encontrada pelo receptor para distinguir entre os L possíveis sinais transmitidos.



Fontes de Distorção

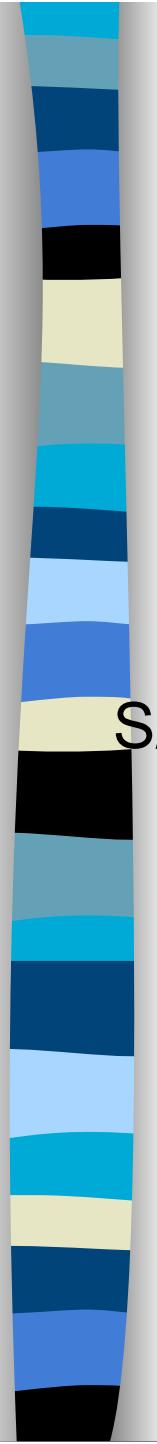
**Fontes de Distorção
de Sinais
em Transmissão**

{ Ruídos
Atenuação
Ecos



Ruído

Em qualquer transmissão, o sinal recebido é sempre igual ao sinal transmitido modificado por distorções impostas pelo meios físicos e por distorções inseridas através de interferências indesejáveis ou ruídos (maior limitação no desempenho dos sistemas de comunicação).



Ruído

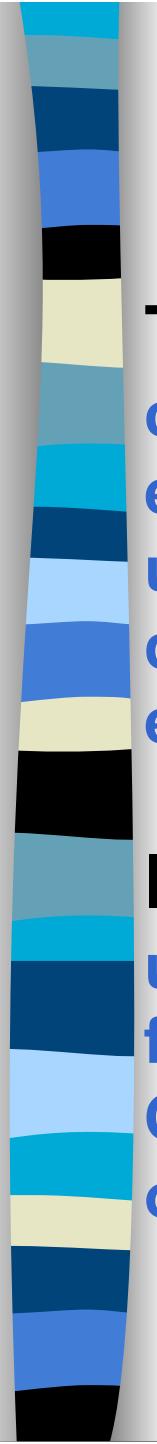
O ruído é medido pela razão entre a potência do sinal (S) e a potência do ruído (N), chamada de razão (ou relação) sinal/ruído (S/N).

É muito comum utilizar-se, ao invés desta razão S/N diretamente, o valor $10 \log_{10}(S/N)$

Em geral se usa o valor que se denomina decibel (dB).

$10 \log_{10} (S/N)$

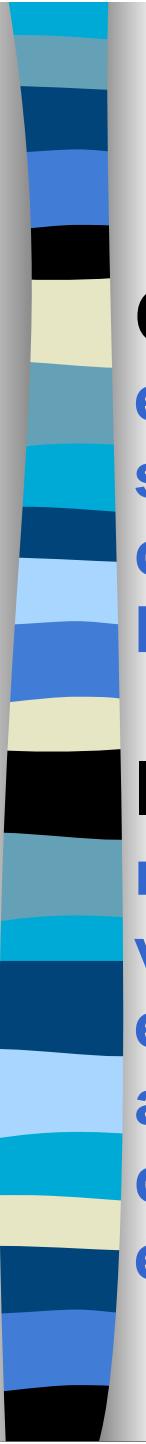
Uma razão de 10 corresponde a 10dB, uma razão de 100 corresponde a 20 dB, uma razão de 1000 a 30dB e assim por diante.



Ruído pode ser:

Térmico: causado pela agitação dos elétrons nos condutores, presente em todos os dispositivos eletrônicos e meios de transmissão, sendo uniformemente distribuído em todas as frequências do espectro (ruído branco) com quantidade definida em função da temperatura.

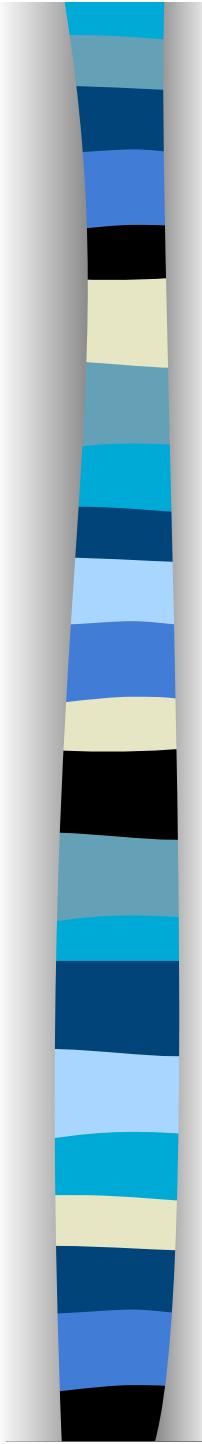
Intermodular: causado pelo compartilhamento de um mesmo meio físico (através de multiplexação de frequência) por sinais de diferentes frequências. Ocorre em geral devido a defeitos de equipamento ou na presença de sinais de potência muito alta.



Ruído pode ser:

Crosstalk: causado pela interferência indesejável entre condutores muito próximos que induzem sinais entre si, por exemplo: linhas telefônicas cruzadas, cabos de pares trançados em redes Ethernet.

Impulsivo: pulsos irregulares de grande amplitude, não contínuos e de difícil prevenção. Tem origem em várias fontes: distúrbios elétricos externos, falha de equipamento, entre outros. Na transmissão analógica, sendo de curta duração, não causam danos. Na transmissão digital são a maior causa de erros.



Lei de Shannon (20 anos depois de Nyquist)

Taxa de transmissão máxima de um canal com ruído térmico.

Em 1948, Claude Shannon provou que a taxa de transmissão máxima de um canal, na presença de ruído térmico é:

$$C = W \log_2 (1 + S/N) \text{ bps}$$

onde W é a largura de banda e S/N a relação sinal ruído.

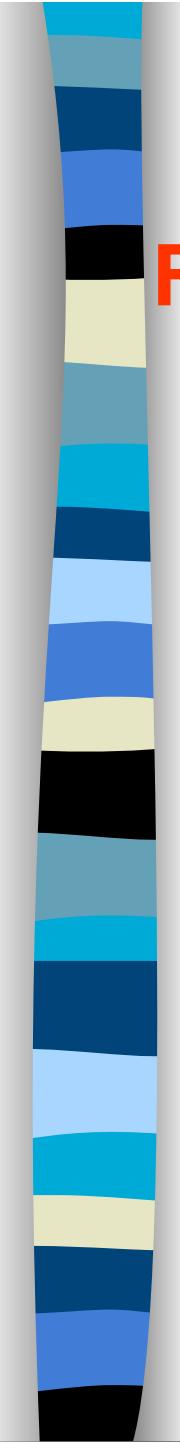
Lei de Shannon

Um canal de 3.000 Hz, por exemplo, com uma razão sinal-ruído de 30 dB (parâmetros típicos de uma linha telefônica) não poderá, em hipótese alguma, transmitir a uma taxa maior do que 30.000 bps, não importando quantos níveis de sinal se utilizem ou qual a freqüência de sinalização. É importante notar que este é um limite máximo teórico, e que, na prática, é difícil até mesmo se aproximar deste valor. Muito embora vários esquemas tenham sido propostos, a lei de Shannon constitui-se em um limite máximo intransponível.

$$30dB = 10 \log_{10} \frac{S}{N} \rightarrow \frac{S}{N} = 10^{(30/10)} = 1000$$

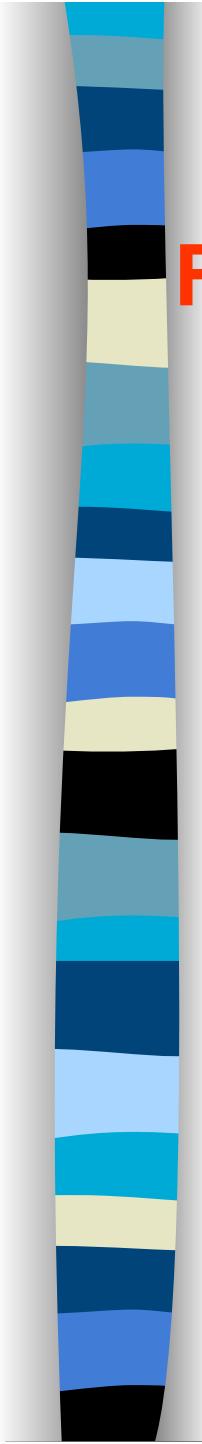
$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = 3000 \log_2 1001$$

$$C = 3000 \text{ Hz} \left(\frac{\ln 1001}{\ln 2} \right) = 3000 (9.97) \cong 29902 \text{ bps}$$



Fontes de Distorção

Atenuação: queda de potência de um sinal em função da distância de transmissão e do meio físico. Normalmente é logarítmica e por isso é normalmente expressa em um número constante de decibéis por unidade de comprimento. Essa distorção é facilmente contornada em transmissão digital por meio da colocação de repetidores que podem regenerar o sinal original, desde que a atenuação não ultrapasse um determinado valor limite (que varia de acordo com o meio físico utilizado).



Fontes de Distorção

Eco: reflexão de sinal quando há mudança da impedância (resistência à passagem de um sinal alternado) do meio de transmissão.