

# Redes de Computadores

Transmissão de Informações  
Análise de Sinais

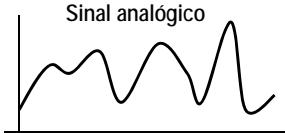
Aula 03

## Introdução

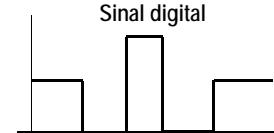
- A camada de nível físico define
  - Características físicas das interfaces e dos meios (ex. conectores, pinagem, semântica de sinais de controle, etc)
  - Representação dos dados: codificação dos dados em sinais elétricos ou ópticos
  - Taxa de transmissão (9600bps, 10Mbps, etc), tipo de transmissão (banda base ou banda passante), sincronização de bits (delimitação do que é um bit)
- Propriedades do meio físico impõem limites na transmissão de dados
  - Vazão da rede (kbps, Mbps, Gbps, ...)
  - Latência
  - Taxa de erros

## Princípio básico

- Informação é transmitida variando uma grandeza física
  - Tensão ou corrente (geram ondas eletromagnéticas)
- A transmissão é uma função  $f(t)$  que pode ser
  - Contínua: sinal analógico
  - Discreta: sinal digital



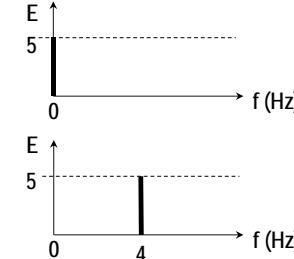
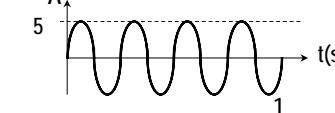
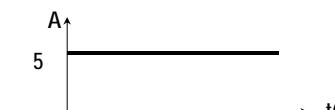
Assume uma quantidade infinita de valores (contínuo)



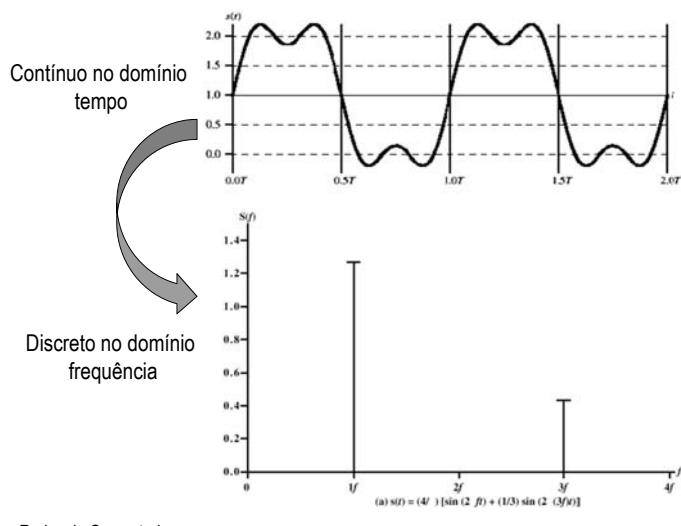
Assume uma quantidade finita de valores (discretizado)

## Domínio tempo versus domínio frequência

- Domínio tempo:
  - A função é representada através da evolução de sua amplitude no tempo
  - Fase e frequência não são explicitamente representadas
- Domínio frequência:
  - A função é representada através das componentes de frequência que a compõem e de sua energia



## Sinais contínuos no domínio tempo e frequência



5

## Sinais discretos no domínio tempo e frequência

Discreto no domínio tempo

Continuo no domínio frequência

(b)  $s(t) = 1 - X/2 \leq t \leq X/2$

Redes de Computadores

6

## Teorema de Fourier

- Uma função periódica  $g(t)$  pode ser representada pelo somatório de senos e cossenos com diferentes amplitudes, frequências e fases
  - Série de Fourier

$$g(t) = \frac{1}{2} c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi.nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi.nft)$$

$f = 1/T$  : frequência fundamental ou primeira harmônica

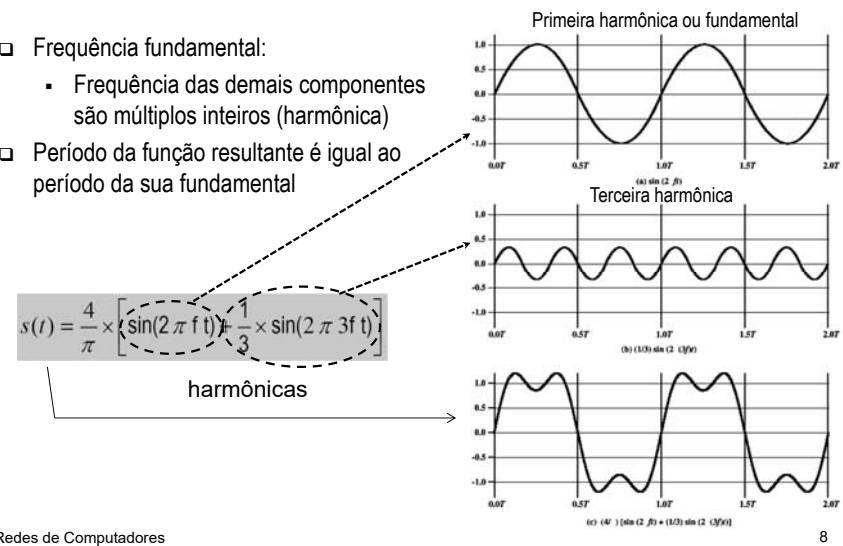
$a_n$  e  $b_n$  : amplitude senos e cossenos na enésima harmônica ( $n.f$ )

$c_n$  : constante

- Uma função qualquer pode ser reconstruída a partir dos termos de sua série de Fourier

## Análise de sinais: sinal analógico

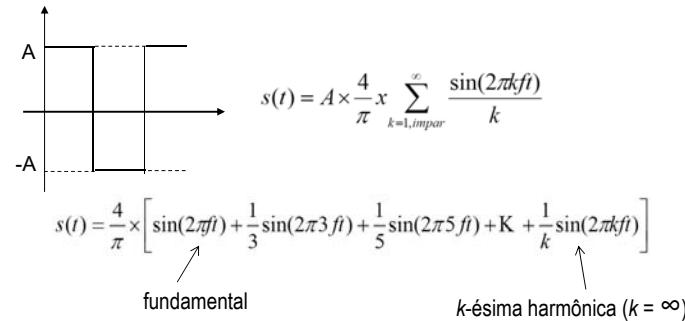
- Frequência fundamental:
  - Frequência das demais componentes são múltiplos inteiros (harmônica)
- Período da função resultante é igual ao período da sua fundamental



8

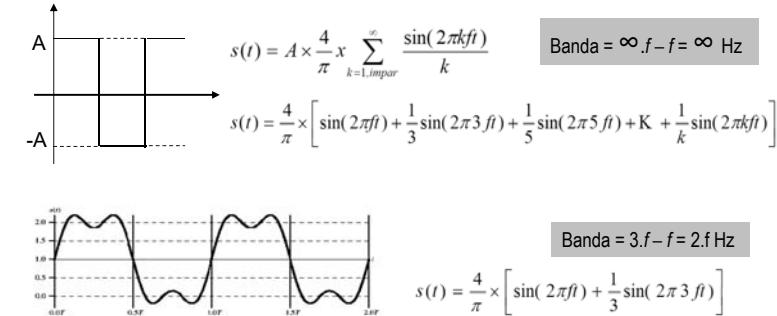
## Análise de sinais: sinal digital

- Um sinal digital é visto como um sinal analógico composto
  - Sinal simples: formado por um único sinal (ex.: senoide)
  - Não é interessante: tem apenas um estado
  - Sinal composto: formado por vários sinais simples



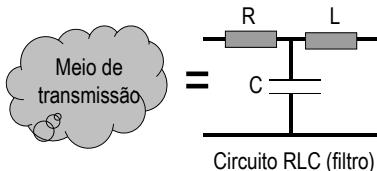
## Espectro de frequência

- Conjunto de frequências que formam um sinal composto
- Banda passante do sinal (Hz)
  - Diferença entre a maior e a menor frequência



## Sinais compostos em meios de transmissão

- Meio de transmissão possui características físicas que:
  - Deixam passar uma certa faixa de frequências de um sinal
  - Atenuam frequências de forma diferente (mais altas, mais atenuadas)
  - Eliminam frequências de determinadas faixas
- Meio físico é um filtro passa-baixa ou passa-faixa
  - Meio físico ideal manteria a integridade do sinal (amplitude, fase, frequência)

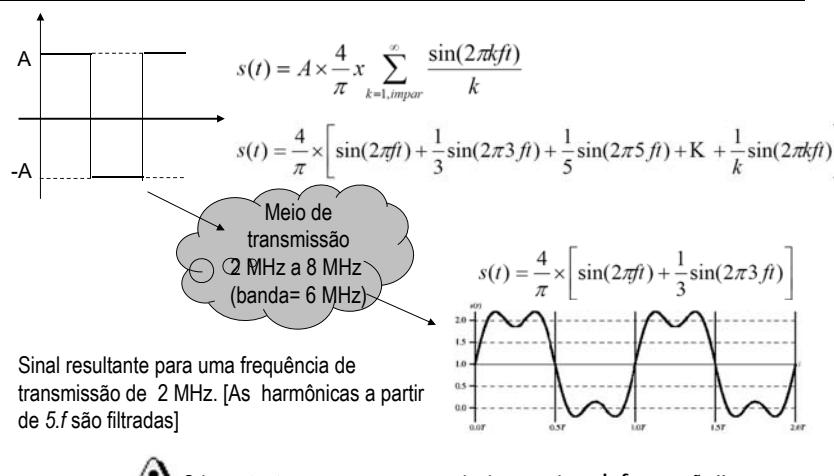


Exemplos de filtros:  
 Linha telefônica (300 Hz a 3300 Hz)  
 Audição humana (20 Hz a 20 kHz)

## Largura de banda analógica ou *bandwidth*

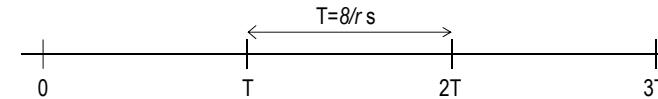
- Faixa de frequências que são transmitidas sem serem fortemente atenuadas
  - Frequência de corte: frequência em que a potência do sinal recebido cai a metade (3 dB)
  - Propriedade do meio de transmissão
- A comunicação é possível sempre que:
  - o espectro do sinal “couber” na largura de banda do meio
  - As frequências mínima e máxima do espectro estiverem contidas na faixa de frequência do meio (largura de banda)

## Exemplo: Efeito da largura de banda do meio sobre um sinal

Exemplo: transmissão do caractere "b" (01100010)<sub>2</sub>

Considera:

- Taxa de transmissão de  $r$  bits/s, tal que cada bit possui uma duração temporal de  $1/r$  s, ou seja, um caractere (8 bits), leva  $8/r$  s para ser enviado.
- Transmissão de uma sequência infinita de caracteres "b" (sinal periódico)
- Enviado por modem analógico (emprega canal de voz = 4 khz)
- Para dados é usada a banda de 2400 Hz ( $f_{\min}=600$  Hz e  $f_{\max}=3000$  Hz)



Então:

Frequência fundamental é  $r/8$  Hz ( $f=1/T$ )

Frequência de corte em canal de voz quando usado para dados é 3.000 Hz

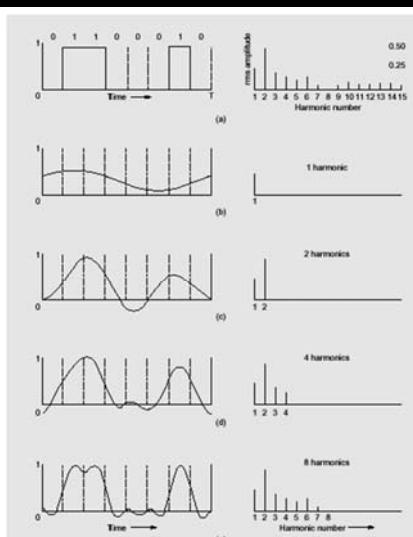
Maior frequência possível é 3.000 Hz, então,  $n.f = 3.000$  Hz (enésima harmônica)  
enésima harmônica possível no meio é dada por  $n=24.000/r$  Hz ( $n.f = 3.000$ ;  $n.r/8 = 3.000$ )

## Transmissão de "b" em função da banda do meio

bps	T (ms)	f(Hz)	Harmônicos*
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	0,47	2400	1

\*menor valor inteiro (não existe "meia" harmônica)

Conclusão:  
Largura de banda do meio, limita a taxa de transmissão



## Largura de banda analógica e digital

## □ Largura de banda analógica

- Banda passante (banda larga)
  - Sinais com uma frequência mínima ( $\neq$  zero) e uma frequência máxima
  - Associada a sinais analógicos (transmissão analógica)
  - Sinal analógico pode ser deslocado em frequência → modulação
- Banda base
  - Sinais com frequência de zero até uma frequência máxima
  - Normalmente associada a sinais digitais (transmissão digital)
  - Não pode ser modulado

## □ Nome depende da área (mas estão relacionadas)

- Engenharia: largura de banda analógica é fornecida em Hz
- Computação: largura de banda digital é fornecida em bits/s

## Largura de banda digital (bits/s)

- Sinais digitais codificam dados binários
  - Não necessariamente uma relação 1:1
- 1 baud =  $\log_2 N$  bits
- Melhor representados por:
  - Intervalo de sinalização ou *baud* (ao invés de período): tempo para representar uma unidade de informação (símbolo)
    - Taxa de *baud* ou taxa de símbolos
  - Taxa de bit ou *bit rate* (ao invés de frequência): quantidade de bits enviados por segundo
- Capacidade do canal depende da
  - Quantidade de níveis ( $N$ ) que um sinal pode assumir
  - Largura de banda (análogica) do meio
  - Qualidade do meio físico

## Capacidade do canal (Shannon)

- Capacidade do canal é limitada e independe do número de níveis
  - Depende da relação entre a potência do sinal e do ruído (S/R)
  - Ruído térmico

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{R} \right)$$

C: capacidade do canal  
 B: largura de banda do canal  
 S/R: razão sinal ruído

- Exemplo: linha telefônica 
  - Canal de 3000 Hz
  - Relação sinal/ruído de 30dB

$$dB = 10 \log \left( \frac{S}{N} \right)$$

$$C = 3000 \times \log_2 (1 + 1000) \quad \log_b x = \frac{\log_k x}{\log_k b}$$

$$C = 3000 \times \left( \frac{\log 1001}{\log 2} \right)$$

$$C = 3000 \times \frac{3}{0,3} \cong 30000 \text{ bps}$$

## Capacidade do canal (Nyquist)

- Constatção: um sinal de  $w$  ciclos pode representar  $2w$  estados
- Valor teórico máximo para a capacidade de transmissão de um meio

$$C = 2B \log_2 N$$

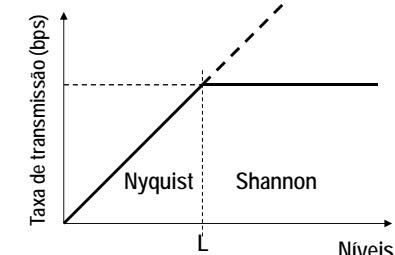
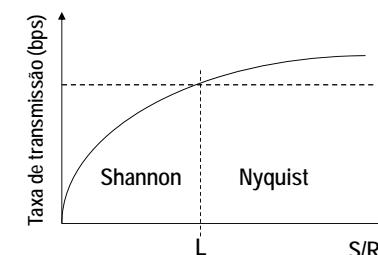
Onde:

B = largura de banda do meio (Hz)  
 N = Número de estados possíveis  
 C = capacidade do canal (bits/sec)

- Possível aumentar a capacidade do canal, aumentando-se a quantidade de estados possíveis ( $N$ )
  - Teoricamente fornece uma capacidade infinita

## Usando ambos limites: taxa de transmissão versus S/R

- Shannon → capacidade máxima de transmissão do meio
- Nyquist → número de níveis para atingir uma capacidade de transmissão



## Comprimento de onda ( $\lambda$ )

---

- ❑ Distância ocupada por um ciclo
- ❑ Distância entre 2 pontos de mesma fase em 2 ciclos consecutivos
- ❑ Sendo  $v$  a velocidade de propagação do sinal, obtém-se:
  - $\lambda = v \cdot T$
  - $\lambda \cdot f = v$
  - Caso particular:  $v = c$ 
    - ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s velocidade da luz no vácuo)
- ❑ Conclusão: sinais luminosos também possuem frequência
  - Análise feita para sinais analógicos/digitais pode ser aplicada para sinais ópticos

## Leituras adicionais

---

- ❑ Tanenbaum, A.; Wethreall, D. *Redes de Computadores* (5<sup>a</sup> edição), Editora Pearson Education, 2011.
  - Capítulo 2 (seção 2.1)
- ❑ Carissimi, A.; Rochol, J; Granville, L.Z; *Redes de Computadores*. Série Livros Didáticos. Bookman 2009.
  - Capítulo 3 (seções 3.2 a 3.4)

## Perdas de transmissão

---

- ❑ Atenuação: modificação na energia do sinal (perda)
  - Ocorre em sinais simples ou compostos
  - Compensação: uso de amplificadores (repetidores)
- ❑ Distorção: modificação na forma do sinal
  - Ocorre em sinais compostos (frequências são alteradas de forma diferente)
  - Meios guiados
- ❑ Ruído: modificação no espectro do sinal
  - Ocorre em sinais simples ou compostos
  - Térmico: movimentação de elétrons
  - Induzido: fontes como motores funcionam como antenas transmissoras
  - *Croostalk*: acoplamento eletromagnético entre fios paralelos (antenas)
  - Impulso: sinal de alta energia em um pequeno intervalo de tempo