

# COMUNICAÇÃO DE DADOS

UnB

Prof. Fabio Montoro  
março 1995 (primeira edição)  
r1 (1996)

Curso: Extensão em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília  
Depto: Eng. Elétrica  
Assunto: Tópicos em Comunicação de Dados  
Carga horária: 80 horas  
Período: 27 de março a 20 de abril de 1995

## Programa do curso:

- Processamento e transferência de dados digitais
- A inteligência no sistema de comunicação
- Sistema de comunicação
- Sinal Elétrico
- Meios de transmissão e degenerações do sinal
- Sistema telefônico
- Dados digitais
- Modulação QAM
- Interfaces RS232, V35, RS449, V11
- Modem analógico, digital, celular, rádio, satélite
- Recomendações CCITT série V
- Desempenho do modem
- Modem de alta velocidade
- Principais características operacionais do modem
- Codificação da informação
- Detecção e correção de erros
- Protocolos de Comunicação, modelo OSI
- Protocolos BSC e HDLC
- Taxa real de transmissão
- Capacidade do canal
- Correção de erros e compressão de dados (V.42 e V.42bis)
- Topologia de circuitos: pto-a-ptto, multiponto...
- Formação de redes LAN, WAN
- Arquitetura IBM, rede SNA
- Comutação de circuitos
- Conceito de multiplexação TDM e estatística
- Multiplexador TDM, backbone WAN transparente
- Comutação de circuitos e MUX E1
- Multiplexação inversa
- Compressor de dados síncronos
- Projeto de redes síncronas
- Comutação de pacotes x25
- Multiplexação estatística
- Projeto de redes assíncronas: X25, PAD X25, Frame Relay, FRAD
- Conceito de backbone não transparente
- Rede local, topologias estrela, barramento, anel
- Meio físico: cabo coaxial, par trançado, fibra ótica
- Método de acesso, placa NIC
- Ethernet, Token Ring, FDDI
- Repetidores, hubs, concentradores
- Tráfego e segmentação de redes locais: Bridge
- Conectividade LAN-LAN e LAN-WAN
- Roteador, Gateway
- Switch de segmentos
- Servidor de terminais e servidor de comunicação
- Rede de Voz, PABX
- Digitalização da voz, compressão da voz
- Integração voz-dados
- Alocação dinâmica de bandas
- Modularidade dos equipamentos
- Redes ponto-a-ponto e multiponto
- Rede integrada em backbone transparente
- Rede integrada em backbone Frame Relay
- Cabeamento para rede local
- Física dos cabos: coaxial, par trançado e fibra
- Conectores utilizados: BNC, RJ45, ST
- Configurações do conector RJ45: EIA568A, B
- Conceito de cabeamento estruturado e EIA 568
- Projeto de cabeamento estruturado

# PAPO INICIAL

Atualmente, podemos dizer que estamos na marca de 28.800 bps para transmissão de dados pela linha telefônica, e que essa taxa de transmissão provavelmente está chegando ao seu limite máximo devido à complexidade tecnológica de se conseguir taxas de transmissão maiores na banda de frequências disponível no sistema telefônico analógico. Em paralelo, a próxima solução se aproxima conforme o sistema telefônico vai se tornando digital:

- a) surgimento dos modems HDSL que conseguem operar em cabos de par trançado de até 6 km de comprimento;
- b) perspectiva do usar transmissores e receptores ópticos em fibras ópticas de baixo custo.

Com relação às redes locais, estamos vendo o surgimento comercial dos equipamentos Ethernet a 100 Mbps (switches) apropriados para os sistemas de cabeamento categoria 5e, com 4 pares de fios de cobre trançados.

Como o objetivo deste curso é fornecer subsídios aos profissionais envolvidos na comunicação de dados, seja avaliação de soluções ou projeto de redes, procurei me manter atento às questões práticas, mas deixando as bases teóricas suficientemente bem discutidas e explicadas, sem, no entanto, separar totalmente os dois aspectos, que serão apresentados ao longo do curso.

Neste curso tentarei transferir, de forma condensada obviamente, a experiência que acumulei em mais de 40 projetos de redes corporativas de longa distância, e outras tantas locais, onde analisei, defini e acompanhei a implantação de roteadores, switches, multiplexadores voz-dados, roteadores multifuncionais, etc.

Essa experiência foi fundamental para me dar a medida correta na abordagem dos assuntos que vamos tratar aqui.

Aprendi, por exemplo, que um dos assuntos bem importantes no projeto, e mais ainda na implantação, de uma rede corporativa, são as interfaces dos equipamentos e os cabos necessários para interligá-los. Normalmente só temos consciência desse problema quando chegamos a uma localidade remota, para instalar um equipamento, e falta um cabo ou a tomada de energia não possui aterramento.

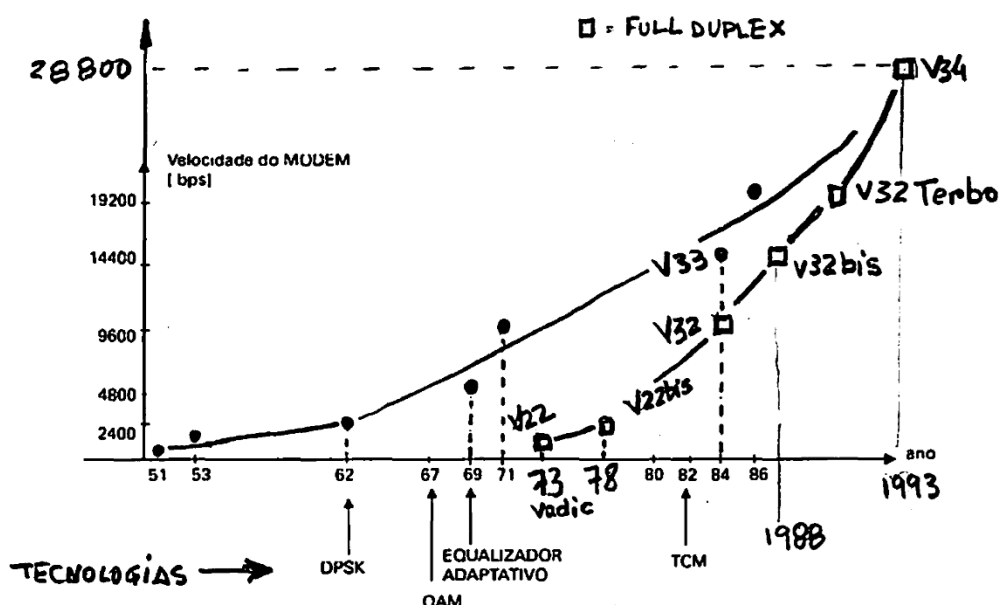
Este curso não pretende ser uma receita de bolo, mas sim uma discussão de tópicos com abordagem prática, como interfaces, arquiteturas de implementação dos equipamentos, quantidade de memória, dentre outras que ajudarão o profissional em seu trabalho.

Uma rede de comunicação pode ser vista, sob os pontos de vista físico e lógico, como uma malha de conjuntos funcionais que se interconectam e se

comunicam. Ora, nada mais importante que definir bem as interfaces, sob todos os aspectos.

Como cada conjunto funcional é um equipamento de comunicação, ele, tradicionalmente, não oferece serviço direto ao usuário da rede e, portanto, praticamente todo o seu comportamento pode ser definido pelas suas interfaces. Hoje esse conceito está sendo colocado em xeque pelos recentes equipamentos que oferecem serviços diretos ao usuário, como por exemplo aqueles que solicitam uma senha de acesso ao usuário, a fim de eliminar tráfego indesejável nos reais servidores de serviços ao usuário. Equipamentos como servidores de acesso remoto e switches de rede local já apresentam essa funcionalidade.

Outro aspecto interessante a ser mencionado é a questão das normas internacionais que definem padrões para protocolos e equipamentos. Essas normas surgem, principalmente, do exercício de implementações, por parte dos principais fabricantes de equipamentos e instituições de desenvolvimento, e da disputa pela fatia nobre do mercado em cada segmento.



Há muita atividade nos bastidores desses processos de padronização, até surgir a norma definitiva, com a participação ativa das grandes empresas nos comitês das instituições de padronização a fim de garantir que suas equipes irão trabalhar no caminho correto e chegar a um produto de mais fácil aceitação.

De qualquer forma, as normas internacionais têm contribuído bastante para a popularização das soluções, concedendo a necessária garantia, ao usuário, de que sua rede poderá ser expandida ou conectada a outras, sem grandes problemas.

O fato de um fabricante dizer que seu equipamento segue uma determinada norma não garante que esse vai se comunicar plenamente com

outro, cujo fabricante também diz que segue a mesma norma. É preciso testar certas conexões. Toda norma possui um conjunto mínimo de especificações e algumas possuem itens opcionais que às vezes complicam sua aplicação. Além disso os fabricantes costumam acrescentar facilidades extras que não estão previstas nas normas.

Algumas expressões, normalmente encontradas em folhetos de fabricantes e nas especificações de compra dos usuários, como os editais de licitação pública, merecem ser tratadas com bastante cuidado, como por exemplo “o equipamento atende à norma ...”, “o equipamento é compatível com a norma ...”, “o equipamento é aderente à norma ...”, etc.

Aspectos opcionais e implementações alternativas, constantes nas normas, devem estar devidamente esclarecidos, como é o caso de normas que permitem o uso de mais de um tipo de conector, por exemplo.

Um caso bastante comum é quando se especifica a facilidade de gerenciamento de um equipamento, utilizando as expressões: “o equipamento deve ser gerenciável”, “o equipamento deve ter a capacidade de gerenciamento”, “o equipamento deve ter a possibilidade de gerenciamento”, etc, às vezes deixando dúvida se o equipamento deve ter a capacidade incorporada ou ter a possibilidade de que essa capacidade seja instalada no futuro. Já presenciei diversas polêmicas geradas por essas expressões, em licitações públicas, onde os participantes tiveram interpretações diversas. Dizer que um equipamento deve fazer algo no futuro sem explicar como isso será feito envolve também aspectos contratuais e jurídicos. Em geral, especificar uma capacidade futura gera muitos problemas, principalmente nos editais de licitações públicas.

O uso da linguagem deve sempre ser cuidadoso para traduzir exatamente o que se deseja ao se expressar sobre o tema, principalmente utilizando os verbos nos tempos corretos.

Desde a década de 1980, quando houve a mudança de paradigma tecnológico do analógico para o digital, estabeleceu-se nova postura na escolha da solução e dos equipamentos e cada vez mais se procura a integração das informações sob a forma digital para armazenagem e transporte.

**“A cada dia mais digital”.** Esse é o slogan atual para estudantes e profissionais da área. As transmissões sob o formato digital vão tomando o espaço das comunicações analógicas, com as mais diversas aplicações. Os modems em transmissão banda-base são um exemplo interessante para transmissão de dados em par trançado a distâncias limitadas. A razão? É simples: **a busca por maior taxa de transmissão de informação** entre pontos envolvidos em uma sessão de comunicação. Outro exemplo é o protocolo AES3, publicado em 1985, para transmissão ponto a ponto de dois canais de áudio sob a forma digital com codificação PCM (Pulse Code Modulation), em

linhas balanceadas em pares metálicos trançados com impedância de 110 ohms, a uma distância de até 100 metros.

Podemos notar que a evolução é alavancada por duas tendências consecutivas que visam a melhoria das comunicações:

### **DIGITALIZAR → ROTEAR**

que estão associadas a duas visões de futuro:

### **OTIMIZAR → FLEXIBILIZAR**

O termo “digitalizar” mencionado acima deve ser entendido como o processo completo de otimização da comunicação: digitalização propriamente dita, redução da banda digital ocupada por melhoria na codificação, aumento da entropia na comunicação, abarcando dados, áudio e vídeo.

O foco do curso se dá em duas tecnologias consagradas: Ethernet, para redes locais, e Frame Relay, para redes de longa distância.

Ao longo do curso abordarei as teorias pertinentes, comentando sobre os equipamentos utilizados e suas características, bem como as soluções possíveis de serem adotadas atualmente. Veremos algumas técnicas que podem ser utilizadas durante o projeto da rede, discutiremos soluções, e encerraremos com exemplos práticos e reais de algumas situações.

## **UMA RÁPIDA VIAGEM PELO TEMPO**

**1832 – TELÉGRAFO** - Samuel Morse teve a ideia

**1838 – TELÉGRAFO** - Samuel Morse apresenta o telégrafo

**1876 – TELEFONE** - Alexander Graham Bell patenteia e mostra o aparelho

**1877 – TOCA-DISCOS** - Thomas Edison

**1897 – RÁDIO** - Guglielmo Marconi, aos 23 anos, transmissão wireless

**1900 – NIETZSCHE** - morre

**1924 – IBM** - fundada

**1924 – NYQUIST** – “*Certain Factors Affecting Telegraph Speed*” (taxa Tx)

**1925 – TV** - John Logie Baird demonstra a primeira TV, 30 linhas, 5 fps

**1936 – COMPUTADOR** - Alan Turing, paper “On Computable numbers...”

**1939 – HP** – fundada por William Hewlett e David Packard

**1944 – IBM** – apresenta seu primeiro computador: Mark I

**1946 – TELEFONE WIRELESS** –primeira transmissão telefônica de um carro

**1947 – TRANSISTOR** –Bell Labs anuncia, John Bardeen e Walter Brattain

**1948 – SHANNON** – “*A Mathematical Theory of Communication*” (entropia)

**1949 – LIVRO 1984** – Geoge Orwell, publicado

**1949 – LIVRO AÇÃO HUMANA** – Ludwig von Mises, publicado em inglês

**1954 – TRANSISTOR** – patenteado, Walter Brattain e William Shockley

**1959 – CIRCUITO INTEGRADO** – Jack Kilby, Texas Instruments, patenteado

**1961 – LUCKY** – “*Digital phase and amplitude modulated comm systems*”

**1962 – MODEM DPSK**

**1962 – LINK SATELITE** –Telstar, primeira comunicação

**1968 – INTEL** –fundada por Robert Noyce, Andy Grove e Gordon Moore

**1969 – ARPANET** – UCLA, primeira comunicação computer-computer, TCP-IP

**1969 – ROTEADOR** – UCLA, “*Interface Message Processor*”

**1971 – MICROPROCESSADOR** – Intel 4004

**1972 – BOB METACALFE** – formado no MIT vai trabalhar na Xerox

**1973 – ETHERNET** – Bob Metcalfe, Xerox, Palo Alto

**1973 – ETHERNET** –Metcalfe e Boggs ativam a primeira LAN a 2,94 Mbps

**1975 – MICROSOFT** – fundada, Bill Gates e Paul Allen

**1975 – APPLE** – primeiro protótipo do Apple I, Steve Wozniak

**1976 – APPLE** – fundada, Steve Wozniak, Steve Jobs e Ronald Wayne

**1976 – ETHERNET** – Bob Metcalfe, patenteada

**1976 – APPLE 1** – Apple lança o primeiro microcomputador

**1980 – ETHERNET** – 10baseT - 802.3 – implantada com hubs (repetidores)

**1981 – IBM-PC** – IBM lança seu IBM-PC

**1982 – CD PLAYER** – lançado pela Sony

**1983 – TCP/IP** – entra em operação na ArpaNet

**1988 – FRAME RELAY** – ITU-T recomendação I.122

**1990 – SWITCH ETHERNET** – Kalpana (vendida pra Cisco em 1994)

**1990 – ISP** – surge a figura do provedor e a rede mundial IP

**1991 – CABO CAT 3** – padrão para cabo de rede para 10 Mbps, lançado TIA

**1993 – PENTIUM** – lançado pela Intel com CPU de 66 MHz

**1993 – MODEM V34 - 28.600 bps**

**1995 – CABO CAT 5** – padrão para cabo de rede para 100 Mbps, lançado TIA

**1995 – FAST ETHERNET** – 100baseT - 802.3u

## REDES LAN E WAN

As redes de computadores podem ser classificadas como "local", LAN ("Local Area Network") ou "de longa distância", WAN ("Wide Area Network").

Há diversas definições para LAN e WAN, e algumas geram polêmicas e não especificam bem os limites entre as duas. Definir é sempre difícil. Procurei uma definição que fosse a mais sucinta e exata possível. A definição que apresento utiliza a extensão geográfica da rede, associada ao ambiente de trabalho:

Rede local de computadores é aquela que abrange, no máximo, a área de uma edificação.

Alguns autores consideram que dois prédios próximos, interligados, formam uma única rede local. Halsall<sup>1</sup> admite que a rede local pode abranger um prédio ou um grupo de prédios, e não apresenta um limite claro para a extensão da rede. Pela definição sugerida, devo dizer que são duas redes locais interligadas, deixando a forma da interligação livre. Stalings diz que uma rede local é aquela onde os dispositivos se encontram dentro de uma “pequena área” (small area). A definição apresentada por Soares é semelhante e utiliza a expressão “pequena região”. Tanenbaum, na segunda edição traduzida, não apresenta exatamente uma definição, mas sim três aspectos característicos da rede local, dentre eles, que a LAN possui “um diâmetro de apenas alguns quilômetros”.

A partir da definição apresentada, e das tecnologias de transmissão de dados atualmente disponíveis, podemos relacionar as características de cada um desses tipos de redes de computadores.

### Características da LAN:

- Utiliza velocidade de transmissão igual ou maior que 10 Mbps
- Não utiliza modems ou outros equipamentos de transmissão

---

<sup>1</sup> HALSALL, FRED; “**Data Communications, Computer Networks and Open Systems**”, Fourth Edition, Addison Wesley, Harlow, England, 1996

- Pode utilizar enlaces de fibra ótica multimodo até 2 km
- Tende mais a usar equipamentos que manipulam os dados até a camada de enlace.
- Possui limitação de extensão geográfica

### **Características da WAN:**

- Utiliza velocidades de 1200 bps a 2 Mbps<sup>2</sup>
- Utiliza equipamentos de transmissão como modems
- Pode utilizar enlaces de fibra ótica monomodo acima de 2 km
- Tende mais a usar equipamentos que manipulam os dados acima da camada de enlace.
- Não possui limitação de extensão geográfica

Atualmente praticamente cada pessoa, em uma corporação, está munida de um computador ligado em rede, para se relacionar com as demais pessoas e utilizar os diversos recursos computacionais da corporação e de outras entidades, que podem estar no mesmo prédio ou em outras cidades. Então, uma rede corporativa sempre irá envolver LAN e WAN.

As cinco eras da comunicação de dados:

|              |                                                                                                                   |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1965 a 1975  | Redes de computadores de grande porte, como os mainframes IBM. Redes SNA. Redes centralizadas. Conexões dedicadas |
| 1975 a 1985  | Redes de minicomputadores. Terminais assíncronos                                                                  |
| 1985 a 1990  | Redes locais compartilhadas seguindo protocolo de colisão. Ethernet. Hubs e concentradores                        |
| 1990 a 1995  | Redes locais comutadas. Switches. Canais WAN de alta velocidade. ATM                                              |
| 1995 a ----- | Redes comutadas de longa distância via provedores IP                                                              |

<sup>2</sup> Há redes Wan com velocidades acima de 2 Mbps, mas ainda não é uma situação comum

# 1. SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

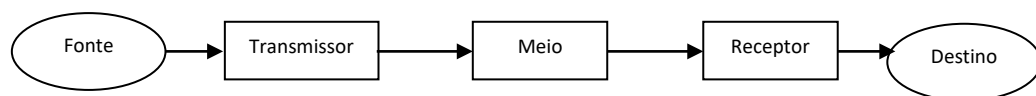
## 1.1 INTRODUÇÃO

Comunicação é um processo no qual uma informação é transferida de uma fonte para um destinatário receptor. A fonte da informação é o detentor inicial da informação, não necessariamente o criador dessa informação. O destinatário pode ser visto como um usuário dessa informação.

A informação pode ser de qualquer natureza e ter qualquer forma ou conteúdo: textos, tabelas, gráficos, símbolos, imagens, etc., que representam, fatos, opiniões, conhecimentos, etc.

O conjunto dos elementos, inter-relacionados, necessários e suficientes para que exista a comunicação, é chamado de Sistema de Comunicação.

A figura 1.1 mostra um modelo simplificado do sistema de comunicação, onde pode-se ver seus elementos.

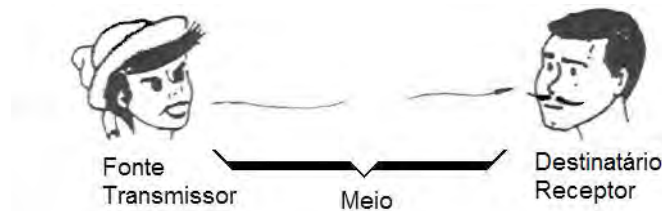


**Fig. 1.1: Sistema de comunicação**

|                             |                                                                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fonte da informação:</b> | gera a informação a ser transportada para o destinatário.                           |
| <b>Transmissor:</b>         | codifica e transmite, de forma adequada, através do meio de comunicação disponível. |
| <b>Meio de comunicação:</b> | meio físico por onde deve passar o código que representa a informação.              |
| <b>Receptor:</b>            | recebe e decodifica a informação transmitida.                                       |
| <b>Destinatário:</b>        | recebe a informação em sua forma original.                                          |

A comunicação somente fica caracterizada se o sistema conseguir transportar a informação mantendo sua inteligibilidade.

Um exemplo bem simples de um sistema de comunicação é uma pessoa falando com outra. A primeira pessoa é a fonte e o transmissor, pois ela gera e transmite a informação por meio de ondas sonoras (a fala). O meio de comunicação é o espaço livre que propaga as vibrações sonoras. A outra pessoa é o receptor e o destinatário, pois ela capta e decodifica as ondas sonoras, através de seu sistema auditivo, e, então, assimila a informação recebida.



**Fig. 1.2: Exemplo 1 - Sistema de comunicação**

Para que seja caracterizado um sistema de comunicação, o destinatário deve “entender” o que está recebendo. Isso pode parecer óbvio, mas vale a pena ressaltar alguns problemas que poderiam dificultar ou até mesmo impedir tal comunicação:

- 1) A primeira pessoa fala em uma língua completamente desconhecida do destinatário.
- 2) Elas estão longe uma da outra, de forma que o receptor não consegue ouvir direito o que está sendo falado.
- 3) Elas estão longe, mas a primeira pessoa está usando uma corneta para amplificar o som. O volume do som ficou bom mas a corneta distorce tanto a voz que o destinatário não consegue identificar as palavras.
- 4) Elas estão perto de uma pista de aviação e o ruído provocado pelos aviões impede o receptor de distinguir o que está sendo falado.

Esses são os quatro problemas mais comuns que podem ocorrer em um sistema de comunicação. O primeiro está relacionado com o código utilizado e os outros três são degenerações do sinal recebido, que dificultam ou impedem a comunicação.

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Código</b> | Deve ser tal que os pares fonte/destinatário e transmissor/receptor se entendam, ou seja, o código deve ser de conhecimento mútuo. Claro, se a primeira pessoa fala em uma língua desconhecida da segunda, essa questão deve ser resolvida para que haja comunicação. |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Atenuação</b> | O meio de comunicação introduz perda no sinal transmitido, ou seja, atenua o sinal.                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Distorção</b> | Apesar do sinal chegar com um nível satisfatório, está tão distorcido que sua recuperação torna-se difícil.                                                                                                                                                                                  |
| <b>Ruído</b>     | O meio de comunicação introduz ruído, que chega junto com o sinal transmitido. Chama-se de ruído todo sinal indesejável que esteja somado ao sinal original transmitido. Quanto mais alto for o nível de ruído, comparado com o do sinal, mais difícil será a recuperação do sinal original. |

Passemos a uma segunda situação, um pouco mais completa, porém igualmente simples, onde duas pessoas conversam pelo telefone.

Nesse caso já se pode distinguir os cinco elementos do sistema de comunicação: fonte, transmissor, meio, receptor e destinatário.



**Fig. 1.3: Exemplo 2 - Sistema de comunicação**

No segundo exemplo o sinal gerado pela pessoa da esquerda (fonte) são vibrações sonoras (vibrações mecânicas do ar). Essas vibrações são transformadas, pelo aparelho telefônico transmissor, em vibrações elétricas (sinal elétrico). O sinal elétrico é transmitido pelo meio de comunicação, que, nesse caso, inclui a linhas e a central telefônica. Do outro lado, o sinal elétrico é convertido em vibrações mecânicas pelo aparelho receptor e, finalmente, chega ao destinatário.

Nos dois exemplos citados a natureza da informação é a mesma: a voz humana. No primeiro exemplo a voz passou pelo meio de comunicação sob a forma de vibrações mecânicas e no segundo, passou sob a forma de sinal elétrico.

O sistema telefônico é um sistema de comunicação cujo objetivo é transmitir a informação “voz humana”, sob a forma de sinal elétrico.

## 1.2 SINAL ELÉTRICO

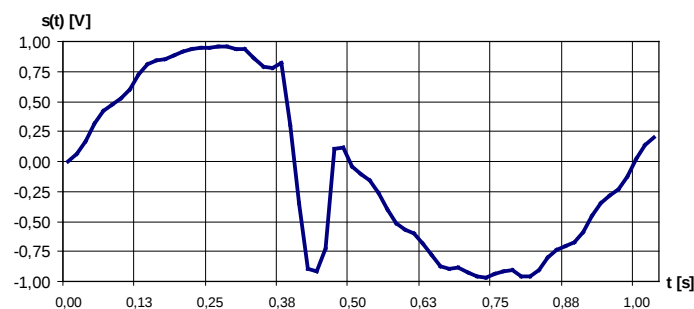
Para que uma informação seja transmitida por um meio de comunicação condutor, ela deve estar sob a forma de sinal elétrico.

### 1.2.1 Representação no domínio do tempo

Um sinal elétrico fica bem caracterizado quando sua variação com o tempo é conhecida, ou seja, a variação da amplitude do sinal é conhecida a cada instante. Isso não é uma característica exclusiva do sinal elétrico, mas de qualquer grandeza que seja uma função do tempo.

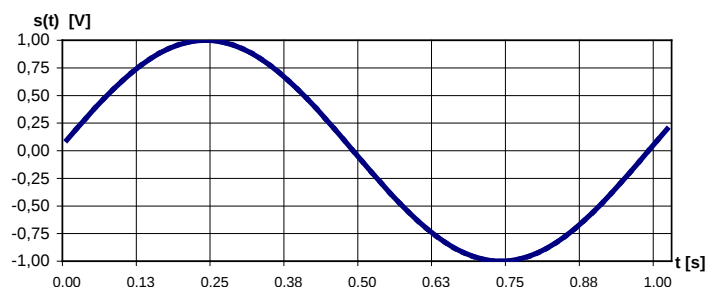
Quando o sinal é representado graficamente, de forma que a amplitude está associada à variável independente “tempo”, dizemos que o sinal está representado no domínio do tempo.

A figura 1.4 mostra um sinal qualquer, cuja amplitude  $s(t)$ , em volts, varia com o tempo.



**Fig. 1.4: Sinal no domínio do tempo**

Há um sinal que, particularmente, possui grande importância na teoria das comunicações, que é o sinal senoidal. Sua amplitude varia com o tempo conforme a função seno. O sinal senoidal é um sinal periódico, ou seja, se repete a cada período  $T = 1/f_0$ . A figura 1.5 mostra um sinal senoidal cuja frequência ( $f_0$ ) é 1 Hertz. Nesse caso em particular o período é igual a 1 segundo, ou seja:  $s(t) = \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t)$



**Fig. 1.5: Sinal senoidal:**

A mesma importância tem o sinal cossenoidal, também periódico, de período T.

$$s(t) = \cos(2 \cdot \pi \cdot f_o \cdot t)$$

### 1.2.2 Representação no domínio da frequência

Pode ser demonstrado matematicamente que qualquer sinal periódico é equivalente a uma soma de infinitos sinais senoidais e cossenoidais, cada um com uma determinada amplitude máxima ( $a_n$  e  $b_n$ ) e frequência múltipla daquele sinal periódico.

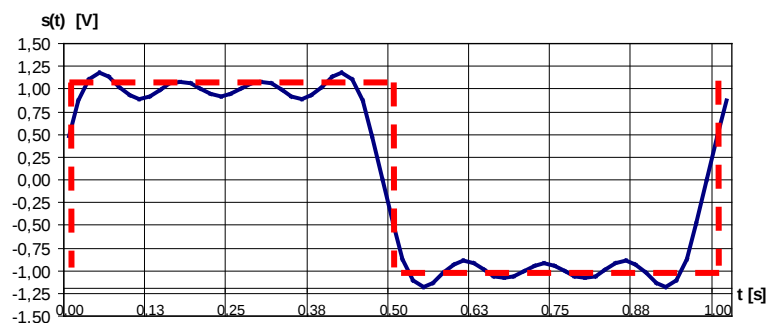
$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi f_o t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(2\pi f_o t) \quad \text{Eq.1.1}$$

O termo  $a_0$  é a componente contínua (DC) do sinal. A frequência  $f_o$  é chamada de frequência fundamental e as infinitas componentes senoidais e cossenoidais são chamadas de harmônicas do sinal original.

A equação 1.1, conhecida como série de Fourier, é de grande importância e representa o sinal periódico no domínio do tempo, por meio de suas componentes senoidais, ou seja o sinal possui um espectro discreto no domínio da frequência.

Uma conclusão interessante é: para representarmos um sinal periódico, precisamos conhecer a intensidade de cada uma de suas componentes em frequência; mesmo que o sinal possua infinitas componentes conseguiremos representá-lo de forma aproximada se usarmos algumas componentes – quanto mais componentes usarmos, mais exata será a representação. Por exemplo, na figura 1.6 um sinal periódico quadrado (tracejado), que assume os valores +1 e -1, é representado por uma série de apenas 4 termos:

$$s(t) = \frac{4}{\pi} \left[ \sin(2\pi t) + \frac{1}{3} \sin(3 \cdot 2\pi t) + \frac{1}{5} \sin(5 \cdot 2\pi t) + \frac{1}{7} \sin(7 \cdot 2\pi t) \right] \quad \text{Eq. 1.2}$$



**Fig. 1.6: Aproximação de uma onda quadrada**

A ideia da representação no domínio também se estende a sinais não periódicos, ou seja, quaisquer sinais. Nesse caso o espectro será contínuo e não mais discreto.

Para um sinal qualquer, sua representação no domínio da frequência é chamada de transformada de Fourier e é obtida pela equação 1.3, onde  $\omega = 2\pi f$ , sendo “f” a frequência.

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt$$

Eq. 1.3

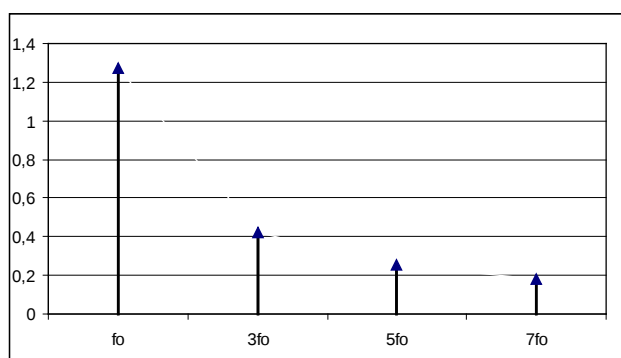
A equação 1.3 é conhecida como transformada de Fourier direta e o resultado como densidade espectral do sinal, ou sua representação no domínio da frequência. A operação inversa, que leva do domínio da frequência para o domínio do tempo, chamada de transformada inversa de Fourier, é dada pela equação 1.4.

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

Eq. 1.4

### 1.2.3 Espectro

A representação gráfica das componentes em frequência de um sinal é chamada de espectro. Por exemplo, a equação 1.2 representa o espectro do sinal quadrado até o quarto termo, conforme ilustra a figura 1.7.



**Fig. 1.7: Espectro truncado de uma onda quadrada**

Se o espectro da onda quadrada for truncado, o sinal resultante passa a ser uma aproximação do original. Esse fenômeno também ocorre com sinais não periódicos, cujo espectro é contínuo, ou seja, se o espectro do sinal original for truncado, o sinal resultante será uma aproximação do original.

A operação de truncar o espectro, ou mais genericamente, atenuar mais algumas faixas de frequências que outras, é chamado de “filtrar” o sinal.

Há quatro tipos básicos de filtros:

- Passa-baixo: deixa passar somente as frequências abaixo de um valor específico “ $f_c$ ”.
- Passa-alto: deixa passar somente as frequências acima de um determinado valor “ $f_c$ ”.
- Passa-banda: deixa passar somente as frequências que estiverem entre dois valores específicos, de “ $f_1$ ” a “ $f_2$ ”.
- Corta-banda: deixa passar somente as frequências que estiverem fora de uma faixa “ $f_1$ ” a “ $f_2$ ”.

Generalizando, todo sinal ocupa uma determinada faixa de frequências. Os sinais que possuem banda limitada são de especial interesse em comunicações.

- 0 – 0 – 0 -