

Capítulo I

Conceitos básicos em sistemas de comunicação

1.1 Histórico

Telecomunicações pode ser definida como a transmissão de informações entre pontos distantes, por meio de sistemas eletrônicos e meios físicos. Seu desenvolvimento ocorreu de maneira gradativa, impulsionado por invenções como:

- O telégrafo, em 1844, por Samuel Morse (1791-1872), utilizado pela primeira vez para transmitir mensagens por código Morse entre as cidades de Washington e Baltimore, nos Estados Unidos.
- O telefone, em 1876, por Alexander Graham Bell (1847-1922), capaz de transmitir a voz de modo inteligível usando sinais elétricos por fios condutores.
- O rádio, em 1895, por Marchese Guglielmo Marconi (1874-1937), aparelho que transmite sinais telegráficos sem fios condutores.
- O telefone celular, em 1956, por técnicos da empresa Ericsson, modelo que ficou conhecido como MTA (Mobile Telephony A).
- O satélite artificial Sputnik, lançado em 1957.
- O satélite de comunicações Telstar, em 1962, que permitiu a transmissão de conversações telefônicas, telefoto e sinais de televisão em cores.
- A rede Arpanet, depois chamada de internet, em 1969, pelo governo dos Estados Unidos, para a comunicação entre instituições de pesquisa norte-americanas.

Até meados dos anos 1990, a telefonia fixa foi o meio de comunicação mais utilizado para troca de informações entre usuários distantes. Nessa mesma década, com o popularização da internet e da telefonia celular, ocorreu uma revolução não apenas tecnológica, mas também cultural, na forma como as pessoas passaram a trocar informações.

Hoje, se for conveniente, não precisamos mais sair de casa para fazer compras, pagar uma conta ou ler um jornal. Graças ao desenvolvimento das telecomunicações, temos a notícia em tempo real, podemos conhecer lugares distantes, aprender outras culturas, fazer novos amigos, tudo isso sem sair da frente da tela do computador. Quem imaginaria ser possível escrever uma “carta” que em poucos segundos chega ao destinatário? O *e-mail* é capaz disso.

A telefonia também ampliou a forma de comunicação, ou seja, ela acontece sem fio e sem fronteiras. O telefone deixou de ser um simples aparelho para falarmos e passou a ser um computador em tamanho reduzido. Além de utilizarmos o telefone para falar a longas distâncias, podemos usar a internet associada à tecnologia **VoIP**. As novas tecnologias estão mudando o modo de nos comunicarmos.

Sigla de **Voice over Internet Protocol** (voz sobre IP)

1.2 Sistema de comunicação

Para que haja comunicação entre pelo menos dois pontos, são necessários basicamente:

- Informação: voz, imagem e dados.
- Alguém ou algo que transmita a informação: terminal fonte.
- Alguém ou algo capaz de receber a informação: terminal destino.
- Um meio físico para transmitir a informação: canal de comunicação.

Esse conjunto de elementos para estabelecer uma comunicação é denominado **sistema de comunicação**. A rede de telefonia e a internet permitem a troca de informações diversas entre usuários, utilizando terminais tecnicamente compatíveis com cada sistema. O diagrama da figura 1.1 representa um sistema de comunicação analógico elementar.

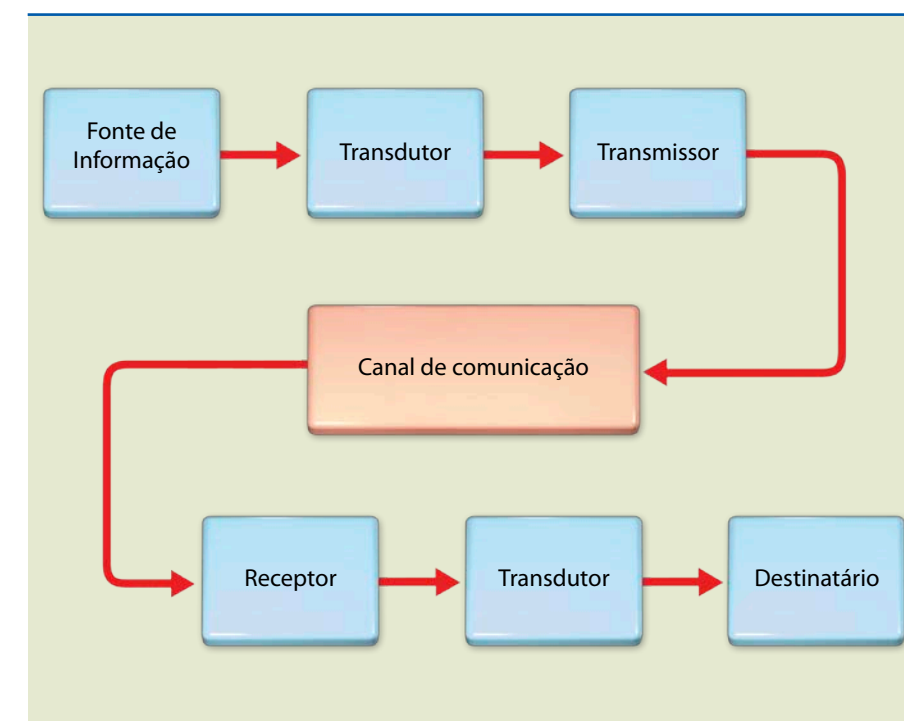


Figura 1.1

Diagrama de sistema de comunicação analógico elementar.

Cada um desses estágios tem funções específicas no sistema de comunicação:

- **Fonte de informação** – Gera a informação. Ex.: um locutor narrando um jogo de futebol ou uma pessoa falando ao telefone.



- **Transdutor da transmissão** – Converte um tipo de energia em outra. Ex.: microfone, que converte as ondas sonoras da voz em sinais elétricos, e câmera de vídeo, que converte a imagem em sinais elétricos.
- **Transmissor (Tx)** – Fornece a potência necessária para amplificar o sinal elétrico, a fim de que ele percorra longas distâncias, uma vez que sua energia vai se perdendo ao longo da transmissão pelo canal de comunicação (fios elétricos ou espaço livre) até ao receptor. Também é responsável pelos processos de modulação e codificação, que serão detalhados nos próximos capítulos.
- **Canal de comunicação** – É o meio físico entre o transmissor e o receptor, pelo qual transitam os sinais elétricos ou eletromagnéticos da informação. Ex.: par trançado, fibra óptica, cabo coaxial, espaço livre.
- **Receptor (Rx)** – Recebe os sinais da informação, faz sua demodulação e decodificação e o direciona ao transdutor da recepção.
- **Transdutor da recepção** – Converte os sinais da informação em imagem, som, texto etc. Ex.: alto-falante e tela de TV.
- **Destinatário** – É aquele a quem a mensagem se destina. Ex.: o ouvinte de uma rádio ou o telespectador de uma emissora de TV.

Exemplos de sistemas de comunicação:

- Telefonia móvel celular.
- Sistema de comunicação via satélite.
- Sistema de rádio ponto a ponto em micro-ondas.
- Sistemas UHF e VHF de televisão.
- Redes ópticas de comunicação.

1.3 Enlace de comunicação

Enlace ou *link* de comunicação é o estabelecimento de comunicação entre pelo menos dois pontos. Sua classificação obedece a três características principais:

- Número de pontos envolvidos.
- Sentido de transmissão.
- Mobilidade.

Quanto ao número de pontos envolvidos:

a) Enlace ponto a ponto (figura 1.2).

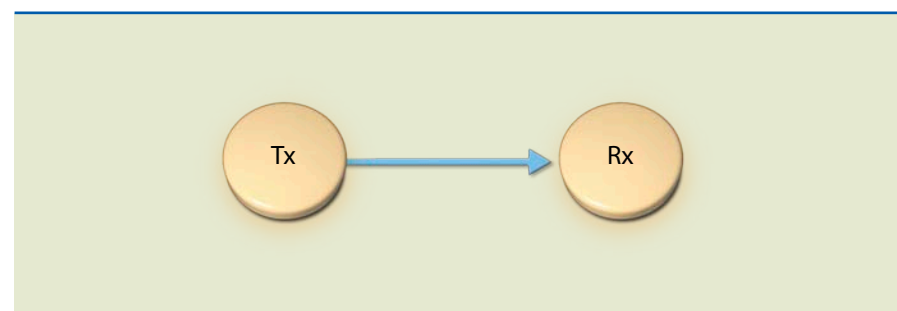


Figura 1.2

Enlace ponto a ponto.

b) Enlace ponto-multiponto (figura 1.3).

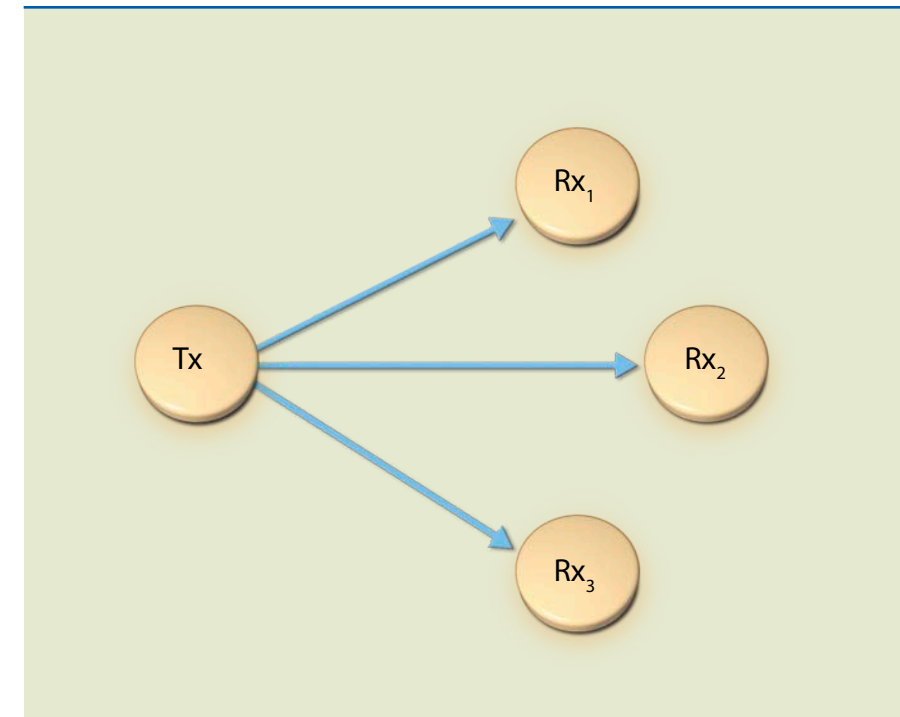


Figura 1.3

Enlace ponto-multiponto.

c) Enlace multiponto-ponto (figura 1.4).

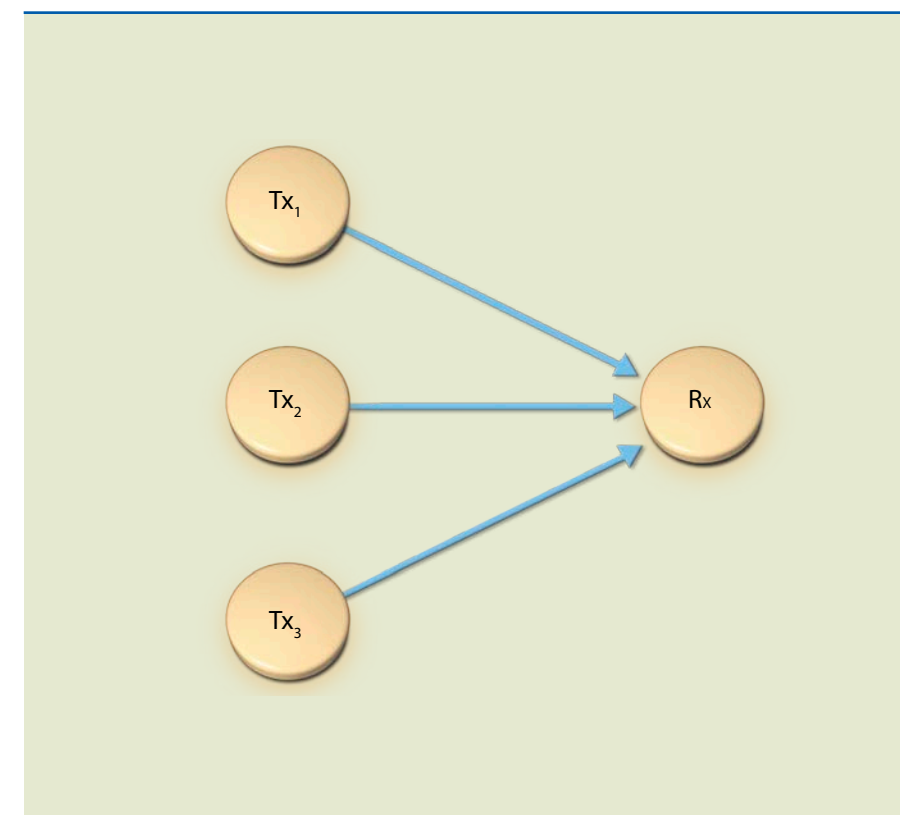


Figura 1.4

Enlace multiponto-ponto.



d) Enlace multiponto-multiponto (figura 1.5).

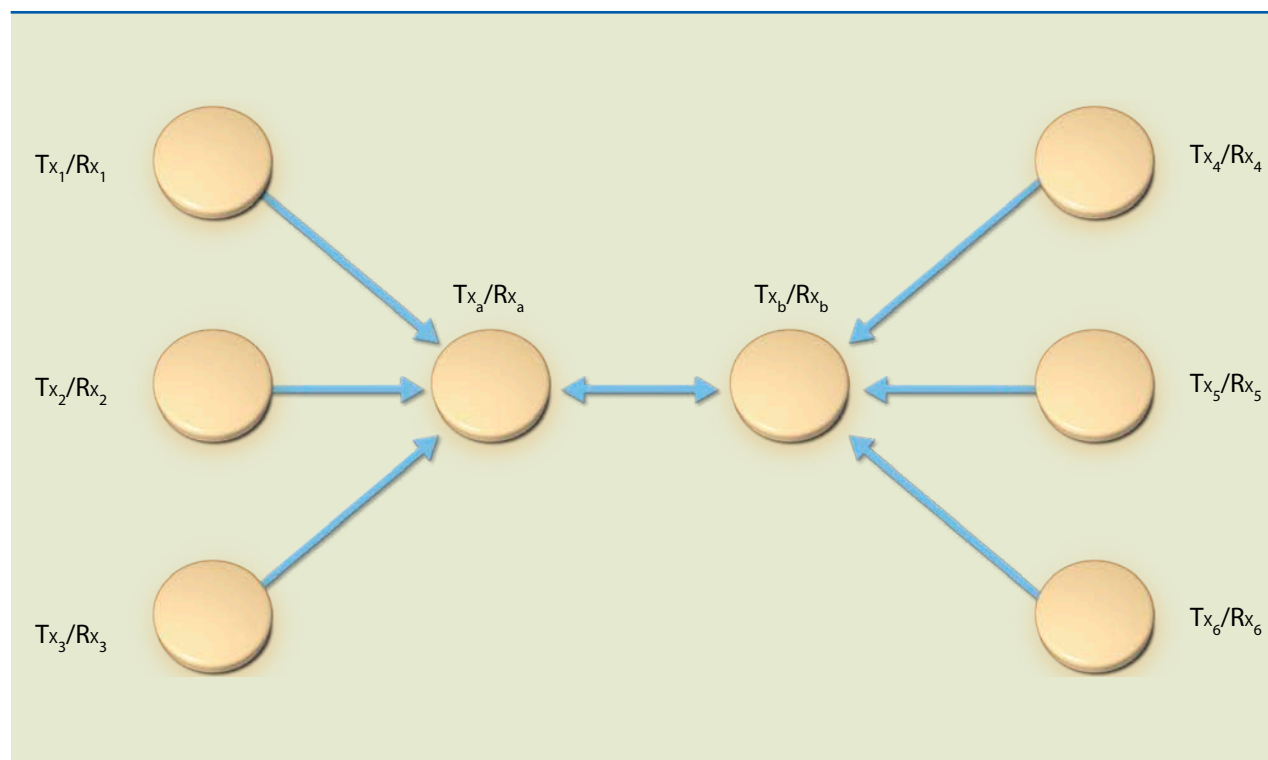


Figura 1.5
Enlace multiponto-
-multiponto.

Quanto ao sentido de transmissão:

- a) **Simplex** – A transmissão acontece em apenas um sentido. Ex.: radiodifusão comercial.
- b) **Half-duplex** – A transmissão acontece nos dois sentidos, mas de forma alternada. Ex.: radioamador.
- c) **Full-duplex** – A transmissão acontece nos dois sentidos, de forma simultânea. Ex.: telefonia fixa e móvel.

Quanto à mobilidade:

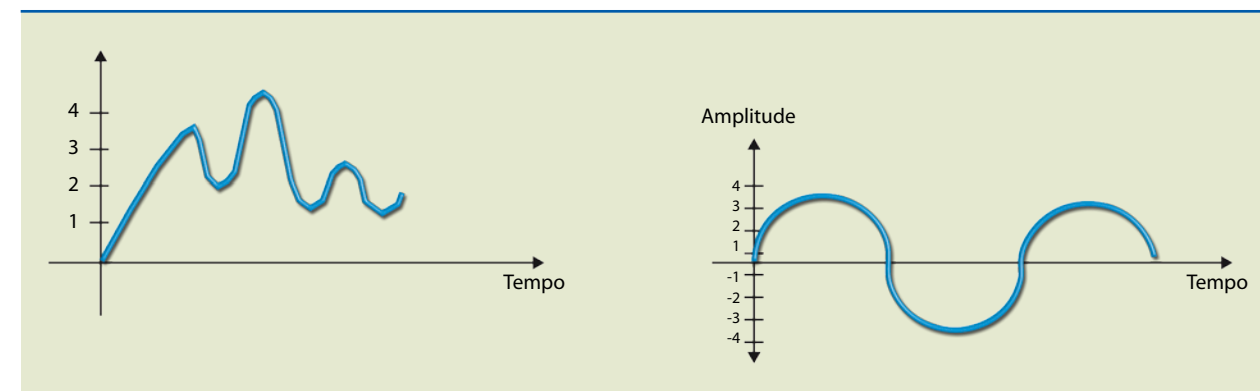
- a) **Enlace fixo** – Os elementos da rede estão em pontos definidos, sem mobilidade, geralmente interligados por uma rede de fios e cabos. Ex.: rede telefônica cabeada.
- b) **Enlace móvel** – Enlace estabelecido entre transmissores ou receptores móveis, por meio de radiofrequência, veiculares ou portáteis.
- c) **Radiobase** – Enlace estabelecido entre estações de rádio fixas no terreno.
- d) **Enlace misto** – Enlace que utiliza rádios e rede fixa de comunicação.

1.4 Sinais elétricos em telecomunicações

Para que as informações sejam transmitidas em um sistema de comunicação, é necessário transformá-las em sinais elétricos. Esses sinais são variações de tensões elétricas no decorrer do tempo e podem ser de dois tipos:

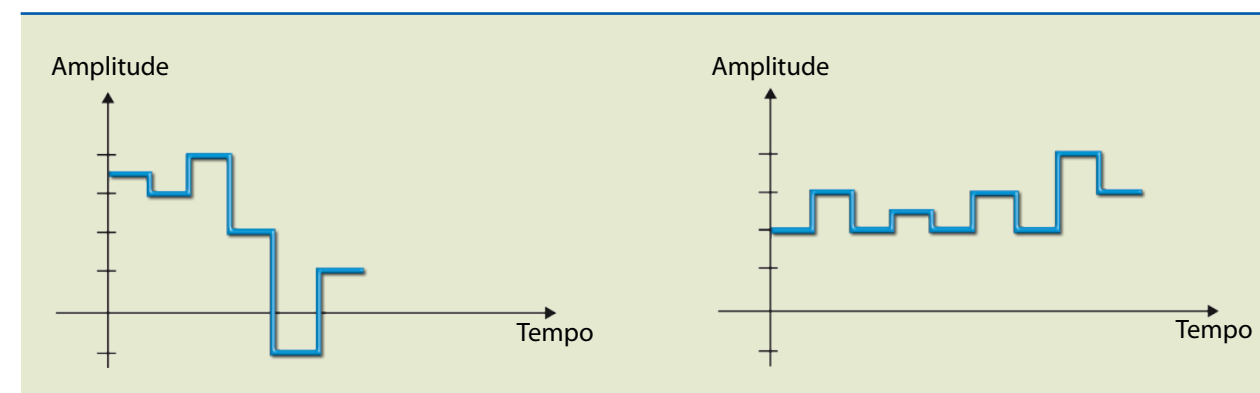
a) **Sinal analógico** – O sinal pode assumir infinitos valores de amplitude no decorrer do tempo (figura 1.6).

Figura 1.6
Sinal analógico.



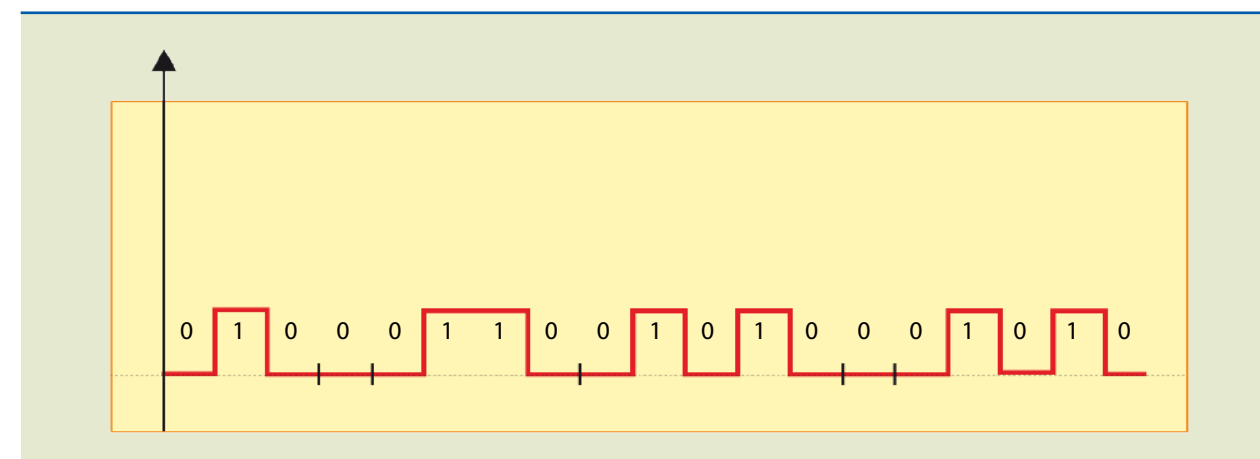
b) **Sinal digital** – O sinal pode assumir valores de amplitude predeterminados no decorrer do tempo (figura 1.7).

Figura 1.7
Sinal digital.



O sinal digital mais comum em transmissão de dados é o trem de pulsos. Trata-se de um conjunto de bits transmitido sequencialmente no tempo, em determinada velocidade, expresso em bits por segundo (figura 1.8).

Figura 1.8
Trem de pulsos.



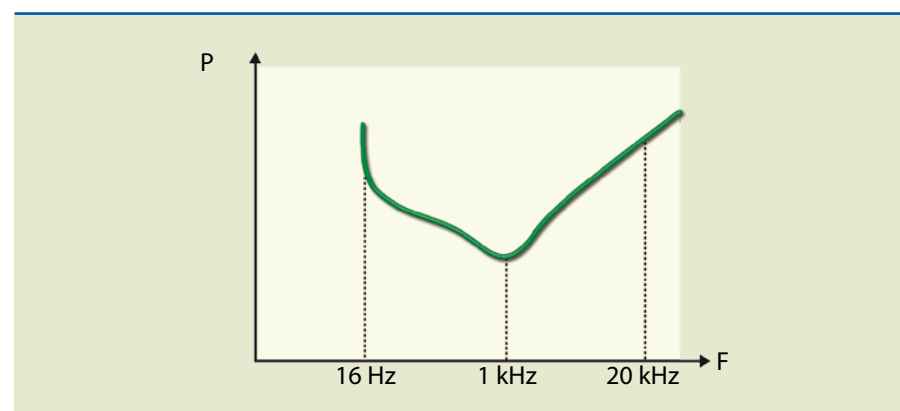
Um sinal elétrico pode ser denominado:

- Periódico** – Quando é repetitivo em intervalos de tempo iguais. O intervalo de repetição é chamado de período (T), dado em segundos. O período equivale ao tempo de realização de um ciclo. Já o número de ciclos realizados por segundo é denominado frequência, medida em hertz (Hz).
- Aperiódico** – Quando não é repetitivo.
- Finito** – Quando ocorre em um espaço de tempo finito.
- Aleatório** – Quando tem comportamento imprevisível. Ex.: o ruído elétrico.
- Pseudoaleatório** – Aparentemente aleatório, mas de certa maneira previsível. Ex.: criptografia.

1.5 Unidades de medida em telecomunicações

Quando o ouvido humano detecta um sinal emitido no ambiente, a intensidade desse sinal varia em função de sua frequência. Cada pessoa, no entanto, tem determinada percepção da intensidade sonora, de acordo com a faixa de frequência que é capaz de ouvir. Em média, a condição é a mostrada na figura 1.9.

Figura 1.9
Curva de resposta do ouvido humano.



Analisando a curva de resposta do ouvido humano, podemos observar que:

- A banda máxima de frequências audíveis está compreendida entre 16 Hz e 20 kHz.
- A maior parcela de potência audível está na faixa de 300 Hz a 3 400 Hz, sendo máxima na frequência de 1 kHz, em que a inteligibilidade cai apenas em torno de 8%.
- A elevação da intensidade sonora percebida pela orelha humana obedece à escala logarítmica. Assim, quando a intensidade do som dobra, a potência foi elevada ao quadrado; para termos a percepção de aumento de três vezes a amplitude, a potência foi elevada ao cubo, e assim por diante. É por essa razão que adotamos as medidas sonoras em decibéis (dB).

Serão descritas, a partir de agora, algumas unidades de medida utilizadas em telecomunicações, para mensurar ganho ou atenuação.

1.5.1 Decibel (dB)

Em um dispositivo qualquer, aplica-se a potência de entrada **P1** e se obtém na saída a potência **P2** (figura 1.10).



Figura 1.10
Representação das potências de entrada e saída de um dispositivo.

Para determinar se houve atenuação ou ganho de potência, podemos utilizar as relações:

- **Atenuação:** $A = 10 \cdot \log \frac{P1}{P2}$ (1.1)

- **Ganho:** $G = 10 \cdot \log \frac{P2}{P1}$ (1.2)

Nesses casos, emprega-se a unidade de medida decibel (dB), que é um submúltiplo do bel; 1 dB corresponde à menor variação sonora perceptível pela orelha humana.

Conforme tais relações, percebemos que, se a potência de entrada (P1) for maior que a potência de saída (P2), ocorreu atenuação positiva, ou seja, ganho negativo; se P2 for maior que P1, ocorreu ganho positivo. Para maior conveniência, trabalharemos apenas com relações de ganho.

O ganho total de um sistema será calculado da seguinte maneira:

$$G_T = G_1 + G_2 + \dots + G_n \quad (1.3)$$

em que:

- G_T é o ganho total do sistema.
- G_1, G_2, \dots, G_n são os ganhos dos diversos estágios independentes.

1.5.2 Néper (Np)

É a unidade de medida adotada por alguns países, em que a relação de ganho é dada pela expressão:

$$G(np) = 0.5 \cdot \ln \frac{P2}{P1} \quad (1.4)$$



Para realizarmos a conversão entre as escalas de ganho dB e Np, podemos considerar que:

$$G(\text{dB}) = 8,686 \cdot G(\text{Np})$$

$$G(\text{Np}) = 0,115 \cdot G(\text{dB}).$$

1.5.3 Nível de potência (dBm)

Comumente, em telecomunicações, torna-se necessária a representação das grandezas em unidades de potência na ordem de miliwatts – por exemplo, em níveis de transmissão de aparelhos celulares. Nesses casos, a potência de um sinal pode ser comparada a um sinal de referência de 1 mW e, para expressarmos as unidades logarítmicas, utilizamos o seguinte recurso:

$$LP(\text{dB}_m) = 10 \cdot \log \frac{P}{1\text{mW}} \quad (1.5)$$

A potência P deve ser expressa em mW ($1 \cdot 10^{-3}$ W), observando que os níveis absolutos em dBm nunca devem ser somados, subtraídos, multiplicados ou divididos. O valor de potência em dBm só pode ser somado a dB.

O **dB** é um número **relativo** e permite representar relações entre duas grandezas de mesmo tipo, como relações de potências, tensões, correntes ou qualquer outra relação adimensional. Portanto, permite definir ganhos e atenuações, relação sinal/ruído, dinâmica etc.

Por definição, uma quantidade **Q** em **dB** é igual a **10 vezes** o **logaritmo decimal** da relação de duas potências, ou seja:

$$Q(\text{dB}) = 10 \log (P1/P2).$$

Como a potência é proporcional ao quadrado da tensão dividida pela resistência do circuito, temos, aplicando as propriedades dos logaritmos (o log. do quadrado de n é duas vezes o log. de n):

$$Q(\text{dB}) = 20 \log (V1/V2) + 10 \log (R2/R1)$$

O **dBm** é uma unidade de medida de potência: **0 dBm = 1 mW** (Não importa em qual resistência!)

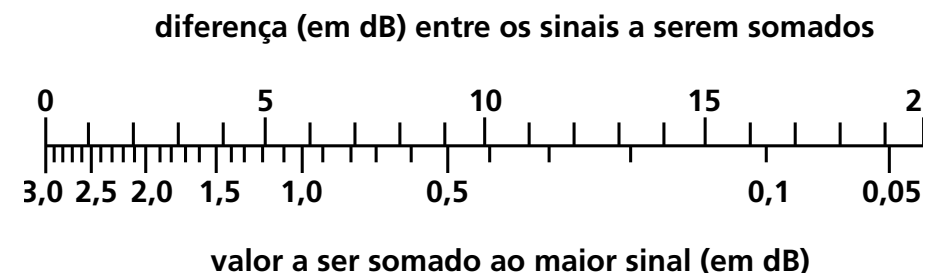
$$P(\text{dBm}) = 10 \log P(\text{mW})$$

Portanto : 3 dBm = 2 mW, 30 dBm = 1W, -30 dBm = 1 microW

Para a soma de dBm com dBm ou dB com dBm levamos em consideração duas situações:

a) Soma de sinais não coerentes (ruído branco ou sinais de frequências diferentes): Por exemplo, qual é a potência total de um sinal com 10 dBm somado a um ruído de 6 dBm?

Solução: a diferença entre as parcelas é $10 \text{ dBm} - 6 \text{ dBm} = 4 \text{ dB}$ (Obs.: subtrair potências em unidades logarítmicas equivale a fazer um quociente em unidades lineares, portanto, o resultado é um número adimensional, o dB). No gráfico da figura seguinte, obtemos para uma diferença de 4 dB o valor de 1,45 dB. A soma dos dois sinais tem uma potência de $10 \text{ dBm} + 1,45 \text{ dB} = 11,45 \text{ dBm}$.



Para soma de dBm com dBm ou dB com dBm levamos em consideração duas situações:

b) Sinais não coerentes se somam em potência: Sinais coerentes (mesma frequência) se somam (vetorialmente) em **tensão**. É preciso calcular esta soma vetorial de tensão e depois passá-la para potência. No caso de 2 sinais não coerentes, temos:

$P1$ = potência maior, $P2$ = potência menor,

diferença em dB : $dP(\text{dB}) = P1(\text{dBm}) - P2(\text{dBm}) = 10 \log(P1/P2)$: escala superior do gráfico acima.

valor a ser somado (em dB) à maior potência (em dBm):

$$10 \log[(P1+P2)/P1] = 10 \log[1+(P2/P1)]; \text{ como } P2/P1 = \text{antilog}(-dP/10),$$

temos: $10 \log(1+\text{antilog}(-dP/10))$: escala inferior do gráfico acima.

Somar x dB a uma potência em **dBm** equivale a **multiplicar** esta potência em unidades lineares (W, por exemplo) por um número adimensional igual ao $\text{antilog}(x/10)$, portanto resulta em uma nova potência, e que pode ser expressa por exemplo em dBm. Portanto, a soma de dBm com dB resulta em dBm! Da mesma forma, **subtrair dB** de uma potência em **dBm** equivale a **dividir** esta potência por um número adimensional, resultando em uma nova potência. Portanto, subtrair dB de dBm resulta em dBm!



Obs.: Somar diretamente os valores em dBm não faz sentido, pois equivale a multiplicar essas potências em unidades lineares. Por exemplo, as seguintes somas de sinais não coerentes:

$$0 \text{ dBm} + 0 \text{ dBm} = 3 \text{ dBm (e não 0 dBm!)}$$

$$0 \text{ dBm} + 3 \text{ dBm} = 4,76 \text{ dBm (e não 3 dBm!)}$$

$$-2 \text{ dBm} + 2 \text{ dBm} = 3,45 \text{ dBm (e não 0 dBm!)}$$

O sinal + se refere às unidades **lineares de potência**, ou seja, indica que estamos somando as potências em unidades lineares (W, mW, etc...) correspondentes aos valores em dBm.

Mas:

$$0 \text{ dBm} + 0 \text{ db} = 0 \text{ dBm}$$

$$0 \text{ dBm} + 3 \text{ dB} = 3 \text{ dBm}$$

$$-2 \text{ dBm} + 2 \text{ dB} = 0 \text{ dBm}$$

Outras unidades de potência:

- dBW = potência de referência = 1 W;
- dBk = potência de referência = 1 kW;
- dBRAP (*reference acoustical power*) = potência de referência = 10^{-16} W.

1.5.4 Nível de tensão (dBu)

Vamos considerar um circuito elétrico em que aplicamos uma tensão elétrica de 775 mV rms (eficazes) sobre um resistor de 600 Ω. Fazendo os cálculos de acordo com a Lei de Ohm, sobre esse resistor dissipará uma potência de 1 mW:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (1.6)$$

Substituindo os valores, temos:

$$P = \frac{(775\text{mV})^2}{600} = 1 \text{ mW}$$

Com base nesse raciocínio, podemos definir como nível de tensão:

$$LV(\text{dBu}) = 20 \cdot \log \frac{V}{775\text{mV}}$$

Essa expressão indica quantos decibéis determinada tensão está acima ou abaixo de 775 mV.

Algumas bibliografias definem dBu em função de uma tensão de 1 000 mV.

1.5.5 Relação entre dBm e dBu

Vimos que:

$$LP = 10 \cdot \log \frac{P2}{P1} = 10 \cdot \log \frac{V2^2/Z2}{V1^2/Z1}$$

$$LP = 10 \cdot \log \left(\frac{V2}{V1} \right)^2 + 10 \cdot \log \left(\frac{Z1}{Z2} \right)$$

Então, temos:

$$LP = 20 \cdot \log \left(\frac{V2}{V1} \right) + 10 \cdot \log \left(\frac{Z1}{Z2} \right)$$

Considerando $Z_1 = 600 \Omega$, então, $V_1 = 775 \text{ mV}$.

e assim:

$$\text{nível de potência (dBm)} = \text{nível de tensão (dBu)} + K$$

em que:

$$k(\text{dB}) = 10 \cdot \log \left(\frac{600}{Z} \right)$$

Para cada valor de impedância (Z) há um valor de K equivalente, conforme indica a tabela 1.1.

Impedância (Z), em Ω	K equivalente
600	0
300	3
150	6
75	9
60	10

Tabela 1.1
Impedância (Z) e K equivalente.



1.5.6 O dBV

É a unidade utilizada em transmissão, que indica a relação entre dois níveis de tensão pico a pico, sendo o de referência equivalente a $1 V_{pp}$.

Assim:

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log (P2/1 \text{ mW}) \text{ para qualquer } Z$$

$$\text{dBV} = 20 \cdot \log (V2_{pp}/1 V_{pp}) = 20 \cdot \log V2_{pp}$$

$$V_{ef} = V2_{pp}/(2 \cdot \sqrt{2})$$

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log [P2 (\text{qualquer})/10 \text{ mW}]$$

$$\text{dBm} = 10 \cdot \log P2 = 10 \cdot \log [(V_{ef}^2/75) \cdot 1000 \text{ mW}], \text{ somente para } Z = 75 \Omega$$

$$\text{dBm} = 20 \cdot \log [V2_{pp}/(2 \cdot \sqrt{2})] - 10 \cdot \log 75 + 10 \cdot \log 1000$$

$$\text{dBm} = 20 \cdot \log V2_{pp} + 2 \cdot 2$$

$$\text{dBm} = \text{dBV} + 2 \cdot 2, \text{ para } Z = 75 \Omega$$

1.5.7 Nível relativo (dBr)

Essa unidade indica a atenuação ou o ganho em pontos distintos do circuito em comparação com outro ponto do mesmo circuito, chamado de ponto de referência ou ponto de nível relativo zero (0 dBr). Em geral, esse ponto é virtual.

Como antigamente se utilizava em testes de circuitos o tom de 1 mW referente ao nível de voz humana, considera-se ainda 0 dBr um ponto de 0 dBm.

É importante notar que a unidade dBr não oferece nenhuma informação sobre o nível de potência absoluta no ponto. Para relacionarmos os diversos pontos de um sistema com a referência adotada, construímos diagramas de níveis, com os quais podemos visualizar todo o comportamento de um sistema referente a seus ganhos ou atenuações.

A figura 1.11 representa um diagrama de nível relativo de uma linha de transmissão, em que B é o ponto de referência de nível relativo zero, o qual indica obrigatoriamente um ponto físico no sistema.

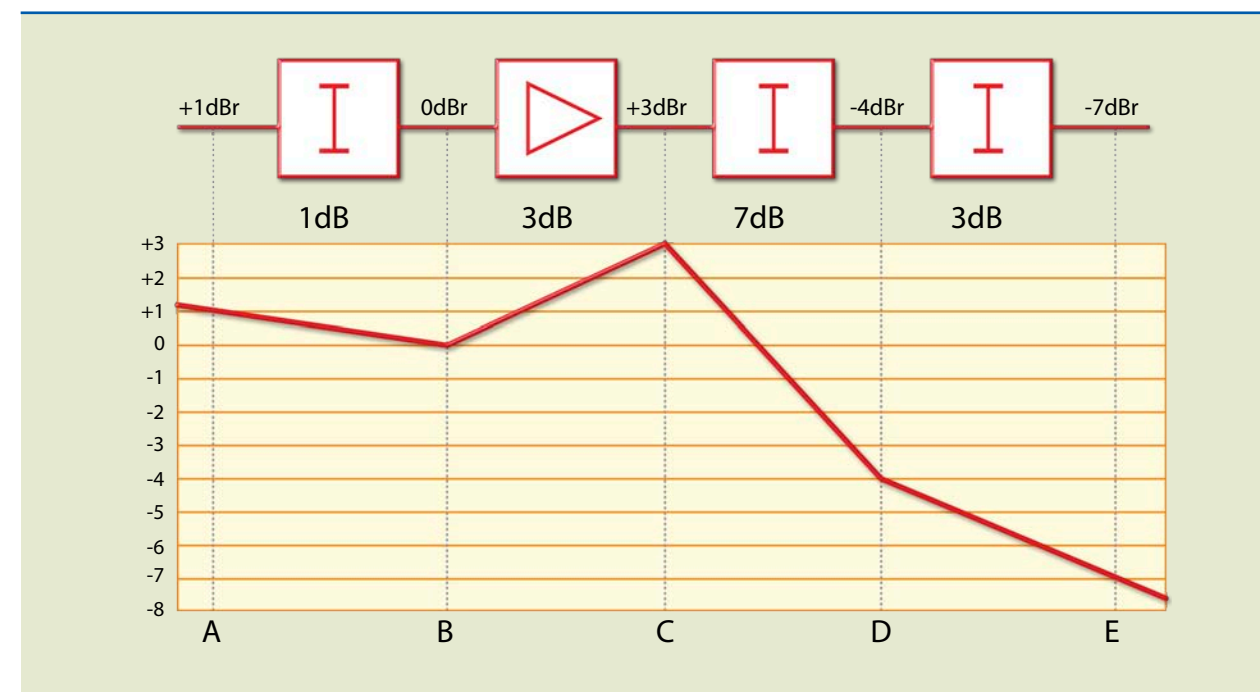


Figura 1.11

Diagrama de nível relativo de uma linha de transmissão.

1.5.8 O dBm0

Em sistemas de transmissão, além dos sinais de informação, são transmitidos sinais de sinalização, entre outros, cuja intensidade em relação aos níveis da informação também precisamos conhecer. Para isso, utilizamos a unidade dBm0, a qual indica o nível de potência absoluta de tais sinais no ponto de nível relativo zero.

Portanto: $X\text{dBm0} = Y\text{dBm} - Z\text{dBr}$

Exemplo

Para um nível de sinalização de -5 dBm0 , a potência é de -5 dBm em um ponto de 0dBr . Se em um ponto de -7 dBr um sinal tem um nível de -27 dBm , qual será seu nível em dBm0?

Solução:

$$-27 \text{ dBm} - (-7 \text{ dBr}) = -20 \text{ dBm0}$$

