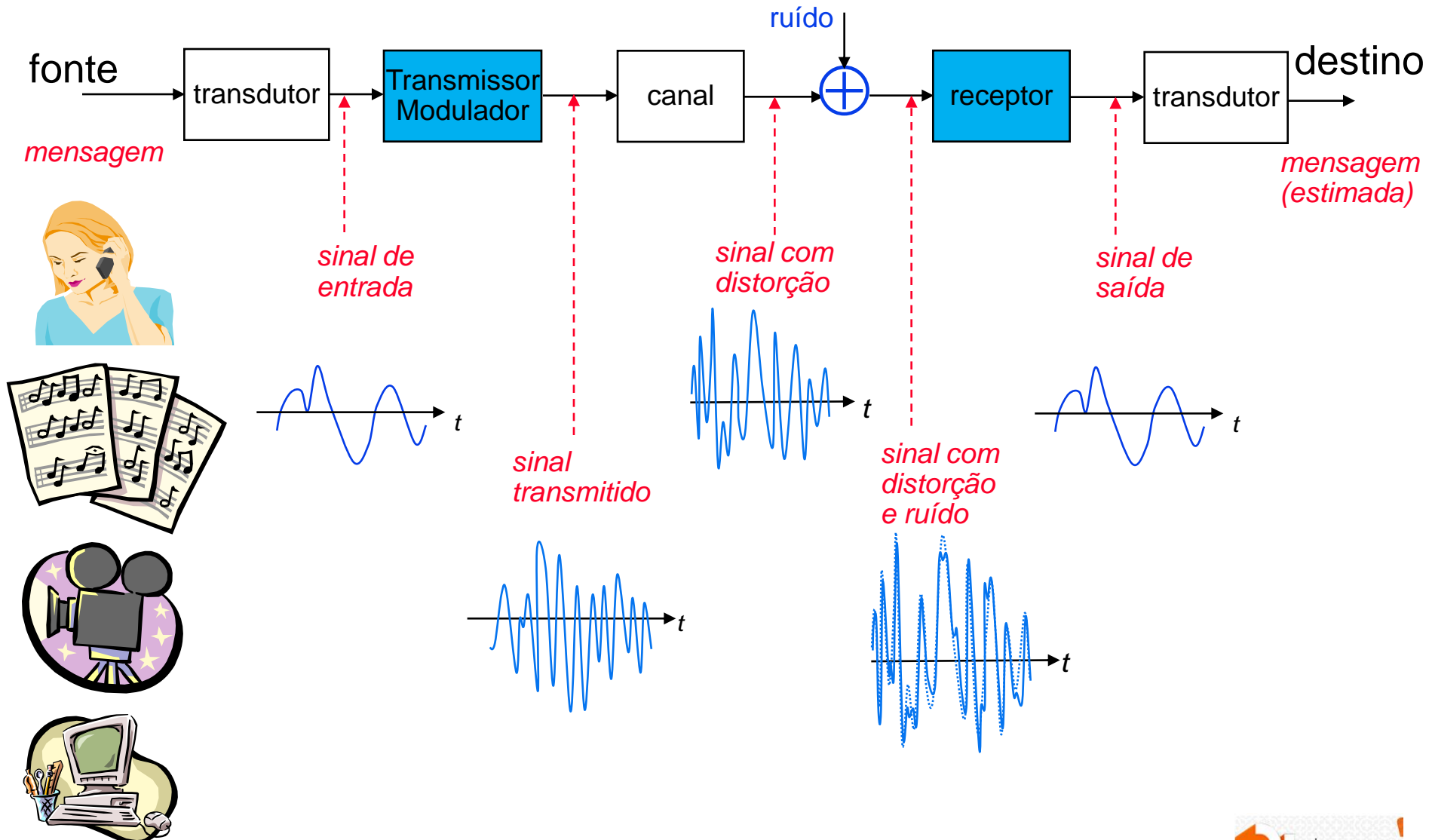


# Teoria das Comunicações

## 1 - Introdução

# Enlace de um Sistema de Comunicação



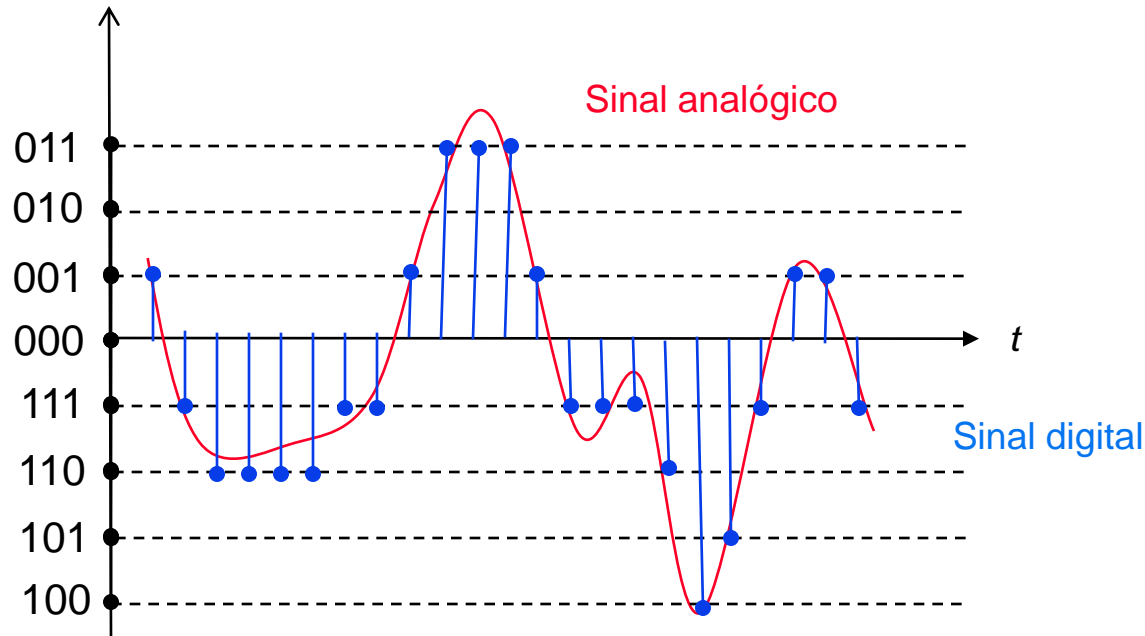
# Enlace

- Objetivo
  - Enviar mensagem de uma fonte a um (ou mais) destino
    - Eficientemente
    - Fielmente
- Fonte
  - Origina a mensagem
  - Voz, vídeo, áudio, dados, ...
- Transdutor de fonte
  - Converte mensagem em um sinal que pode ser transmitido
  - Converte sinal recebido em uma mensagem
  - Sinal pode ser analógico ou digital

# Mensagens Analógicas e Digitais

- Mensagens Analógicas:
  - Valores podem assumir infinitos valores em um intervalo contínuo
  - Exemplos
    - Sinal de voz
    - Intensidade luminosa de um pixel
    - Dados meteorológicos (temperatura, umidade, etc)
    - ....
- Mensagens digitais
  - São constituídas de um número finito de símbolos (alfabeto)
  - Exemplos:
    - Mensagens de texto
    - Frequência à aula
    - Gols do Flamengo a cada jogo
    - Bits
    - ....

# Conversão Analógico-Digital



- conversão de um valor analógico para um digital é chamado de **digitalização**
  - Quantização (eixo de valores)
    - Acarreta perdas pelo erro de quantização (níveis são finitos)
  - Amostragem (eixo do tempo)
    - Pode ocorrer com perdas ou não (Teorema da Amostragem de Nyquist)
- Sinal digital pode ser representado como sequência de bits

# Enlace - Transmissor

- Processa o sinal-mensagem e o adequa ao canal utilizado, gerando sinal
  - Onda eletromagnética
    - Rádio
    - Luz
  - Onda acústica
  - ....
- Transmissor inclui:
  - Codificação de canal,
  - Multiplexação
  - Modulação ou codificação de linha
  - Amplificação

# Canal (1/2)

- Diversos significados em telecomunicações
  - ex., um canal de TV, um canal de voz GSM
- No nosso caso: **Meio físico para transmissão de informação**
- O que constitui o canal?
  - Características do equipamento
  - Características do meio de transmissão
- Exemplos de meios de transmissão:
  - Informação transmitida no espaço
    - Cabo coaxial
    - Fibra óptica
    - Ar (comunicações sem fio, radiodifusão)
    - Água (sonar)
  - Informação transmitida no tempo
    - Meio de gravação (disco magnético ou ótico)
- Equipamentos:
  - Antenas
  - Amplificadores
  - Cabeça de gravação magnética
  - ....

# Canal (2/2)

- O canal atenua o sinal
- O canal distorce o sinal
  - Linearmente
  - Não linearmente
- O canal acrescenta ruído ao sinal
  - Ruído é um sinal aleatório aditivo
  - Possíveis fontes de ruído:
    - Interferência de outras fontes de transmissão
    - Interferência de equipamentos elétricos
    - Relâmpagos, radiação solar
    - Ruído térmico
    - Arranhões e impurezas (em meios de armazenamento)
    - ...

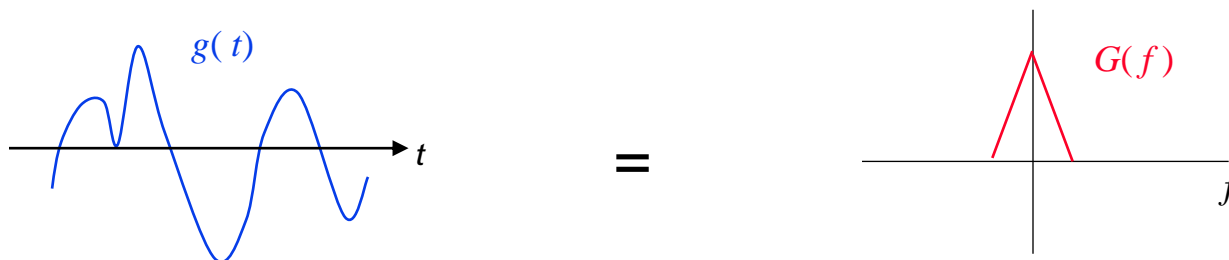


# Enlace - Receptor

- Processa o sinal eletromagnético recebido do canal
  - Desfaz operações do transmissor
    - demodulação,
    - decodificação,
    - Demultiplexação
    - ...
  - Compensa distorções do canal
    - Filtragem,
    - Estimação de canal,
    - equalização,
    - sincronização
    - ...
- Entrega estimativa do sinal mensagem

# Tempo x Frequência

- Sinal: variação do campo eletro-magnético ao longo do tempo  $g(t)$
- Qualquer sinal no tempo pode ser representado no domínio da frequência
  - Transformada de Fourier



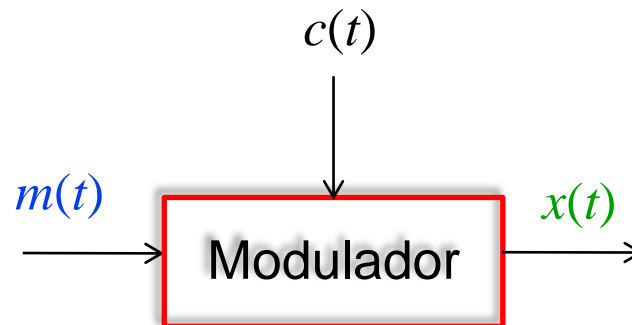
- É muitas vezes mais fácil analisar o sinal no domínio da frequência!
- **Espectro** é a representação do sinal na frequência
- Conceito amplamente utilizado
  - Ex. : frequência de um canal de TV/rádio, largura de banda de um sinal de áudio, etc.
  - Espectro é um conceito matemático!

# Modulação

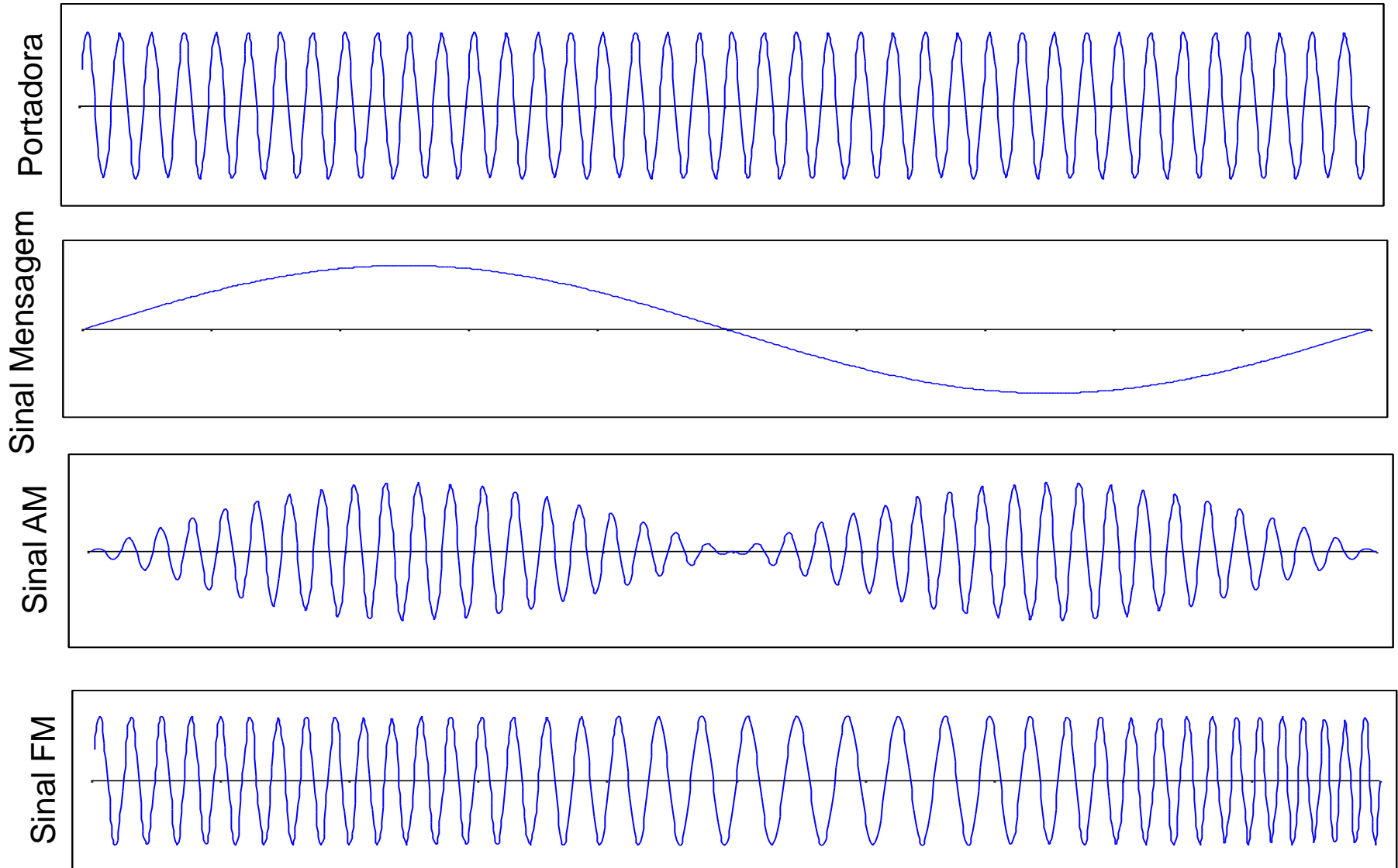
- Uma portadora é um sinal sinusoidal de alta frequência  $f_c$

$$c(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta)$$

- **Modulação** é o processo em que algum parâmetro de uma portadora é modificado de acordo com um **sinal mensagem**, gerando um **sinal modulado**

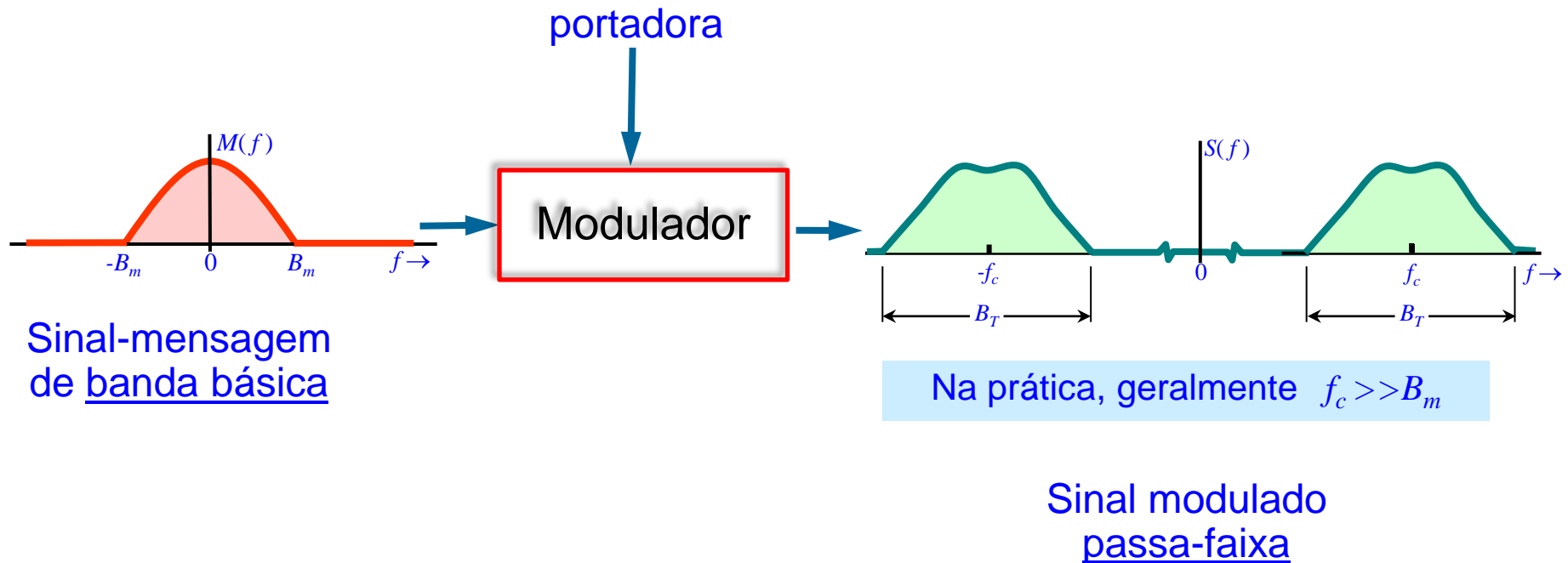


# Exemplos de Modulação



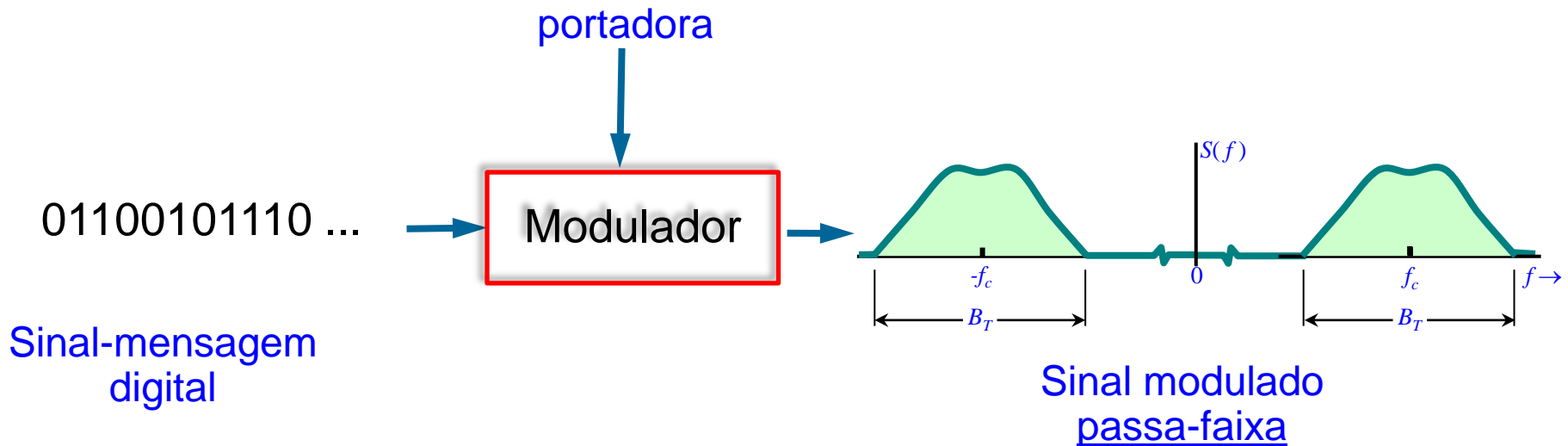
# Modulação Analógica

- Converte um sinal-mensagem analógico de banda básica em um sinal analógico de alta frequência em banda passante



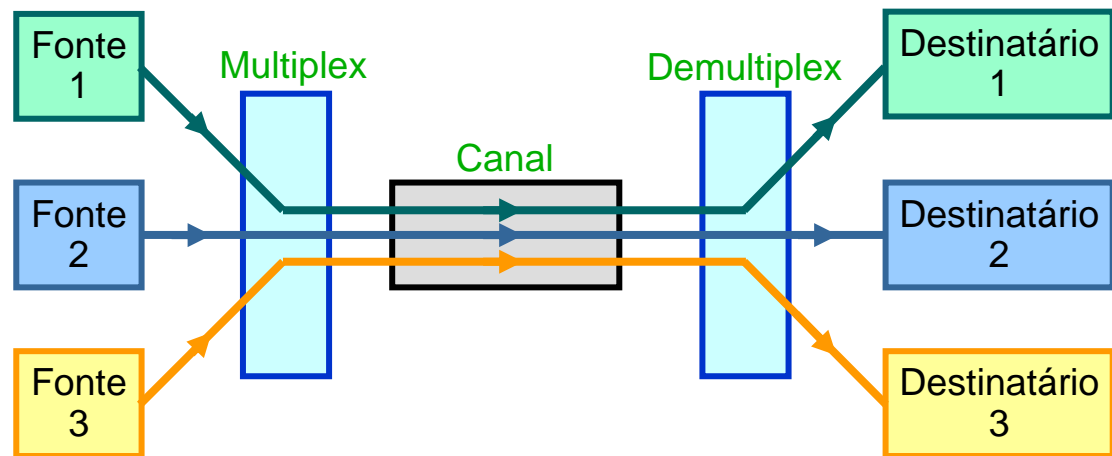
# Modulação Digital

- Converte um sinal-mensagem digital (sequência de bits) em um sinal analógico de alta frequência em banda passante



# Por quê modular?

- Para facilitar a transmissão no meio físico
  - Em transmissão sem fio, Tamanho de antenas limitado pelo comprimento de onda
  - Em fibras ópticas, para gerarmos sinais na frequência da luz visível ( entre  $4,3 \times 10^{14}$  e  $7.5 \times 10^{14}$  Hz)
- Para transmitirmos vários sinais no mesmo meio físico (multiplexação)



# Multiplexação

- Transmissão de vários sinais no mesmo canal
- FDM (Frequency Division Multiplexing)
  - Diferentes sinais em banda base modulados em portadoras diferentes
  - Todos os sinais transmitidos simultaneamente
- TDM (Time division multiplexing)
  - Uma só portadora para todos os sinais em banda base
  - Diferentes sinais transmitidos em intervalos de tempo diferentes
  - Aplica-se à transmissão digital
- Podemos combinar os dois métodos



# Medidas de quantidade de informação

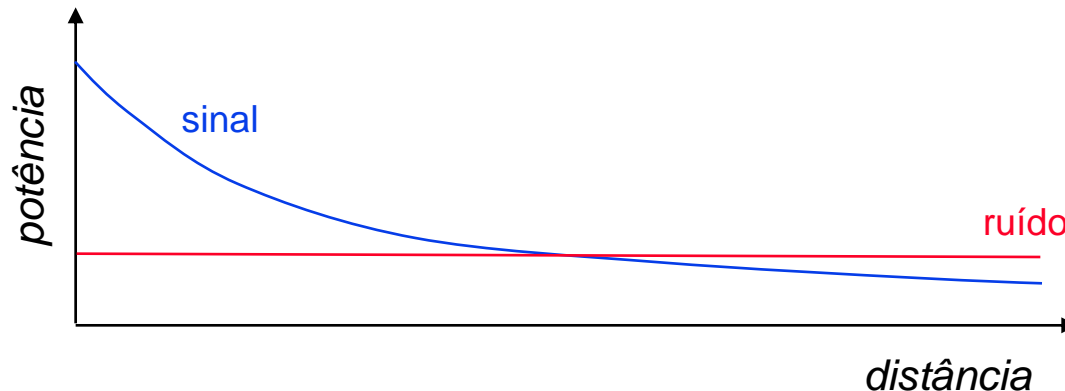
- Mensagens analógicas:
  - largura da banda básica ocupada pelo sinal-mensagem
  - Ex. sinal de vídeo tem banda maior que sinal de áudio
- Para mensagens digitais:
  - a taxa de bits ou largura de banda digital (bit/s or bps) não é exatamente uma medida da quantidade de informação contida em um fluxo de bits,
    - mensagem pode ter redundância
  - mas geralmente está relacionada com essa quantidade.

# Qualidade em Sinais Analógicos

- Razão Sinal-Ruído (RSR)
  - Signal-to-Noise-Ratio (SNR)
- Razão entre potência do sinal ( $P$ ) e a potência do ruído ( $N$ )

$$RSR = \frac{P}{N}$$

- Na maior parte dos canais, potência do sinal cai com distância, mas do ruído não  $\Rightarrow$  RSR diminui



- Normalmente medido em dB

# Decibel (dB)

- Razão entre potências:  $RSR_{dB} = 10 \log_{10} RSR = 10 \log_{10} \frac{P}{N}$   
 $= 10 \log_{10} P - 10 \log_{10} N = P_{dB} - N_{dB}$

$$RSR = 10^{RSR_{dB}/10}$$

- 
- dB é adimensional
  - Algumas unidades de potência:

$$P_{dBW} = 10 \log_{10} \left( \frac{P}{1W} \right)$$

$$P_{dBm} = 10 \log_{10} \left( \frac{P}{1mW} \right)$$

- 
- porém, para amplitudes  $A_S$  e  $A_N$

$$P = A^2$$

$$RSR_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{A_S^2}{A_N^2} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{A_S}{A_N} \right)$$

# Qualidade em Sinais Digitais

- Taxa de erro de bit (*bit error rate* – BER)

$$\text{BER} = \frac{\text{número de bits recuperados com erro}}{\text{número total de bits recebidos}}$$

- Bits são usualmente agrupados em pacotes
- Taxa de erro de pacotes ou quadros
  - (packet error rate – PER, frame error rate- FER ou block error rate - BLER )

$$\text{FER} = \frac{\text{número de quadros com erro}}{\text{número total de quadros recebidos}}$$

- Um bit errado já inviabiliza pacote
- BER/PER desejada depende do serviço
- BER depende da RSR do sinal analógico modulado

# Critérios para escolha de um esquema de transmissão



$C_x$  – Complexidade dos esquemas de transmissão e de recepção

$Q^{tde} I_t$  – Quantidade de informação transmitida

$Q^{lde} I_r$  – Qualidade da informação recebida

$B_T$  – Largura da banda de transmissão  
 $P_s$  – Potência do sinal transmitido

Recursos primários de um sistema de comunicação

Objetivo é maximizar a quantidade de informação e a qualidade, utilizando poucos recursos e com baixa complexidade....