



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

Abordar alguns **conceitos básicos** referentes a:

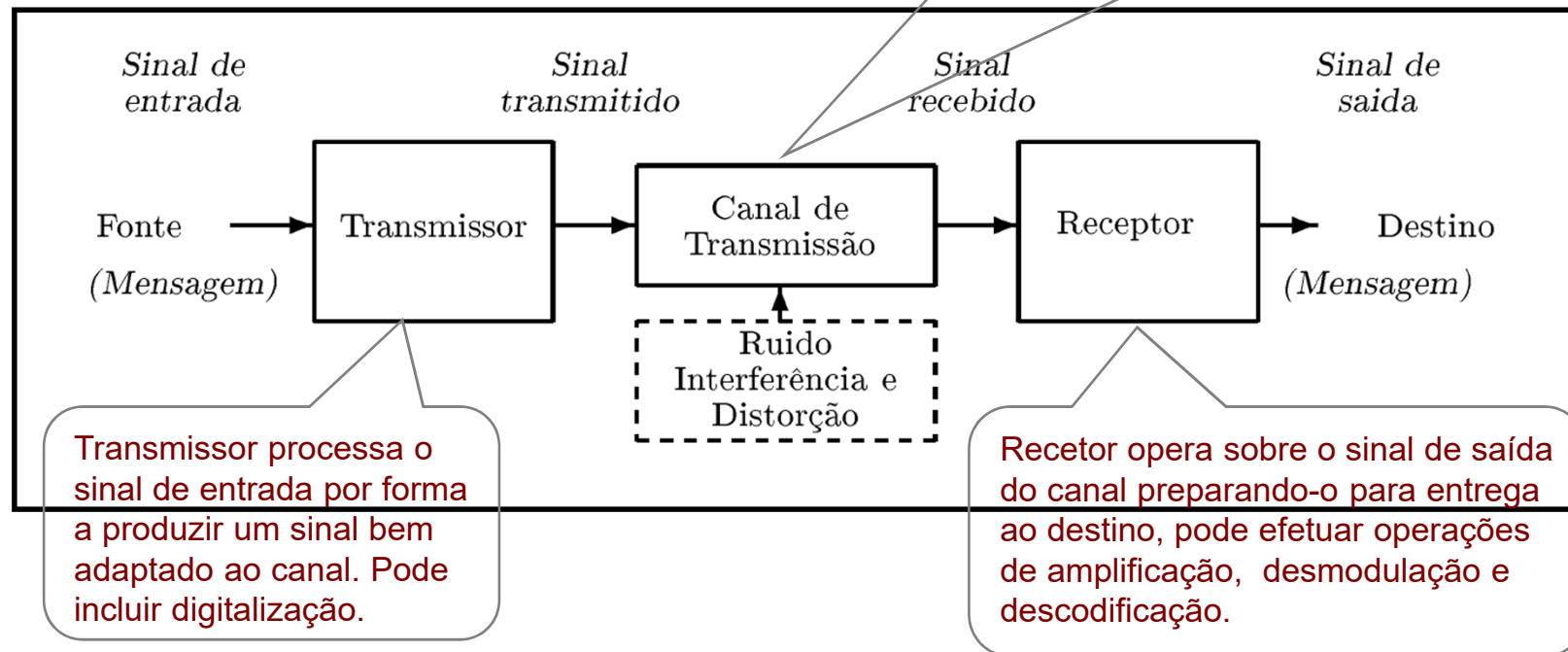
- Sistemas de comunicação
- Sinais
- Limitações Fundamentais à transmissão
- Modulação e codificação

*Abordado no capítulo 1 da sebenta + alguns extras...*



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

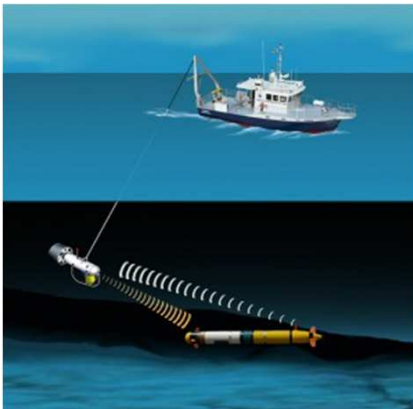
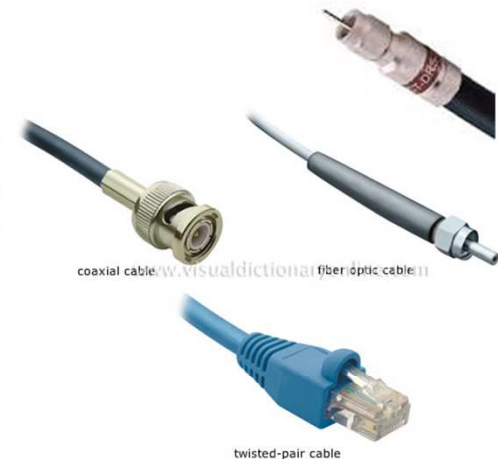
### ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### CANAIS DE TRANSMISSÃO





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### CANAIS DE TRANSMISSÃO

Diferentes tipos de canais de transmissão possuem diferentes:

- capacidades de transmissão
- atenuações de sinal  
(problemas com grandes distâncias...)
- frequências de operação
- necessidades e tipos de equipamentos de interligação
- níveis de imunidade ao ruído/interferência
- custos
- robustez física, dimensões, etc.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TIPOS DE TRANSMISSÃO

- Transferência num só sentido  
*Simplex*
- Transferência em ambos os sentidos não simultaneamente  
*Half-duplex*
- Transferência simultânea em ambos os sentidos  
*Full-duplex*



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### SINAIS DE COMUNICAÇÃO

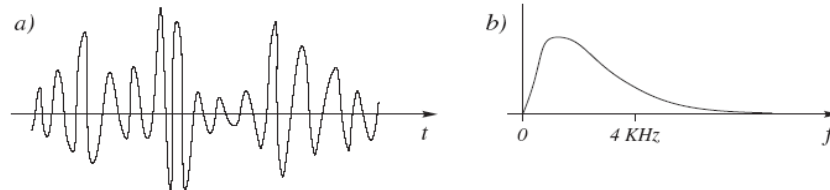
- Diferentes tipos de sinal tem diferentes formas de onda com características próprias;
- Representação dos sinais no domínio temporal vs representação no domínio das frequências;
- Todos os meios de transmissão possuem características específicas que afetam os sinais e, por vezes, torna-se necessário modular os sinais por forma a melhor adapta-los ao meio de transmissão.



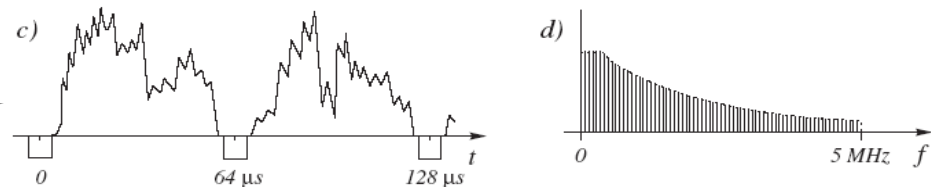
## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### EXEMPLO DE SINAIS E SUA REPRESENTAÇÃO ESPECTRAL

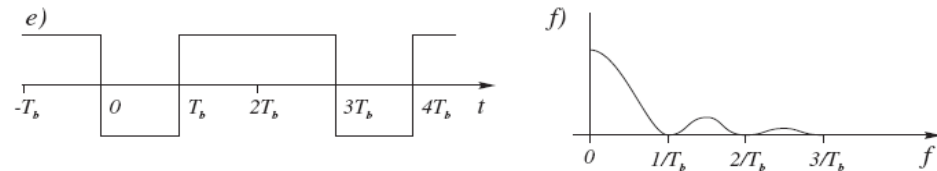
exemplo da forma de onda e espectro de um sinal áudio



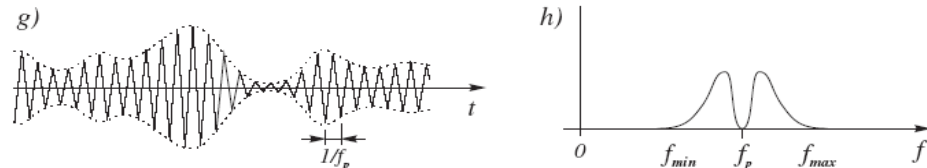
exemplo da forma de onda e espectro de um sinal de televisão



exemplo da forma de onda e espectro de um sinal binário



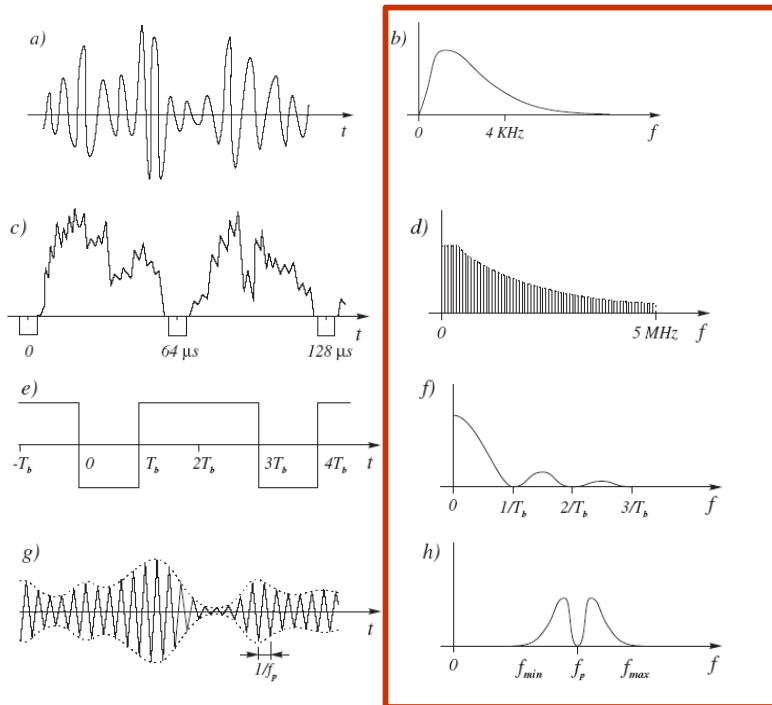
exemplo da forma de onda e espectro de um sinal após modulação





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### EXEMPLO DE SINAIS E SUA REPRESENTAÇÃO ESPECTRAL



- Espectro tem elevada importância para a caracterização do sinal...
- ...e na definição dos requisitos para a sua correta transmissão no canal de comunicação.
- Além disso, os canais de comunicação têm também limitações...





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS

As limitações fundamentais à transmissão da informação por meios elétricos são:

- Largura de banda;
- Ruído.

Consequências:

- Ritmo máximo teórico de símbolos digitais que por ele se podem transmitir;
- Limite máximo para a capacidade do canal.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS

1. **Largura de banda** de um sistema de transmissão relaciona-se com a facilidade com que o sistema consegue "*acompanhar*" as variações do sinal de entrada;
2. **Ritmo máximo teórico de símbolos** digitais que se podem transmitir no sistema.  
(Ritmo de Nyquist)

$$r_s \leq 2 * B_T$$



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS

#### 3. Ruído

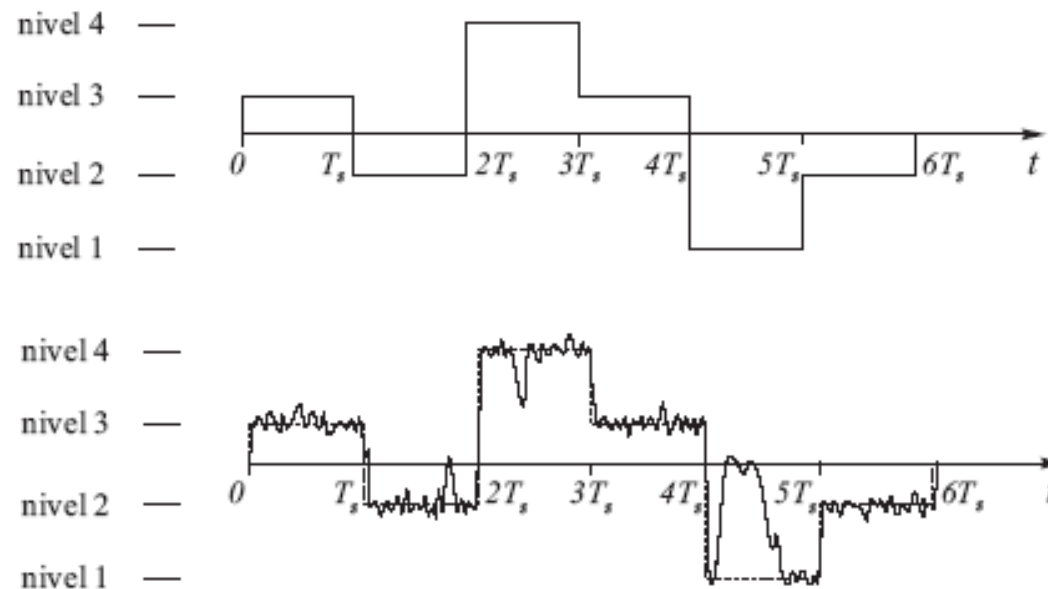
- Existem vários tipos de ruído mas o mais predominante é o ruído térmico (movimento aleatório de partículas carregadas eletricamente dá origem a correntes e tensões aleatórias);
- Introdução de tensões aleatórias que se adicionam ao sinal;
- Altera a "forma" do sinal dificultando a distinção entre os diferentes níveis do sinal.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS

#### 3. Ruído





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS

#### 3. Ruído

O ruído é considerado um sinal aleatório,  $n(t)$ .

- Possui uma determinada densidade de potência  $\eta$  expressa em Watt/Hz;
- **Potência média total** do ruído na banda do canal de transmissão é dada por:

$$N = \eta B_T \text{ Watts}$$



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS

#### 3. Ruído

- A influência do ruído no sinal mede-se em termos da razão (ou proporção) das potências do Sinal e do Ruído, i.e.,  $S/N$ ;
- Para pequenos valores de  $S/N$  o ruído dá origem a erros nas comunicações digitais;
- Problemas críticos nas comunicações de longa distância quando a potência do sinal é atenuada substancialmente.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS

#### 3. Ruído.

Implicações em termos de capacidade do canal, ou seja, o ritmo de informação não pode exceder a capacidade do canal (Lei de Hartley-Shannon):

$$C = B_T \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \text{ bits/s}$$



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

O objetivo da modulação é gerar um sinal adaptado às características do canal físico de transmissão:

- e.g. características do sinal não são adequadas ao canal onde se pretende transmitir → necessidade de outra gama de frequências;
- e.g. por questões de multiplexagem → necessidade de ocupar uma determinada faixa de frequências; etc.





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

Modulação envolve duas formas de onda:

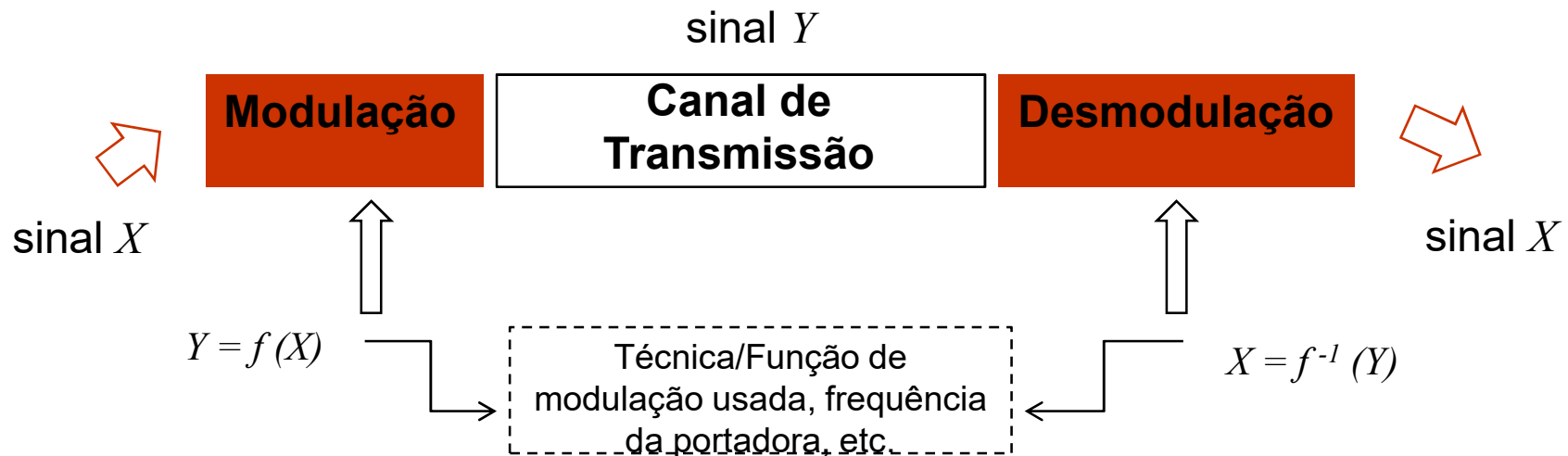
- **Sinal modulante** – representa a mensagem que se pretende transmitir;
- **Onda portadora** – é alterada de acordo com as variações de amplitude do sinal modulante; normalmente a portadora possui uma frequência bastante maior que qualquer dos componentes de frequência do sinal modulante.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

Onda resultante "transporta" a informação do sinal original mas é necessária uma operação de desmodulação.

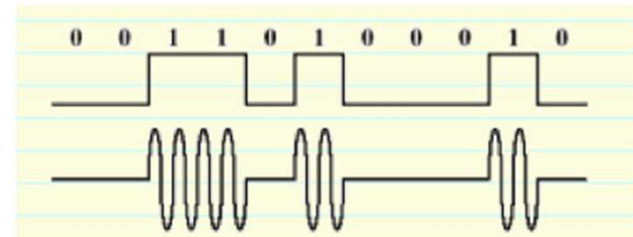
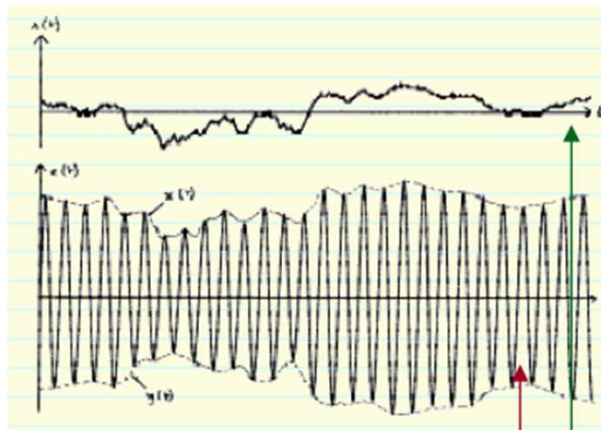




## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

- Se sinal modulante é analógico → modulação analógica
- Se sinal modulante é digital → modulação digital





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

Que técnicas de modulação existem?

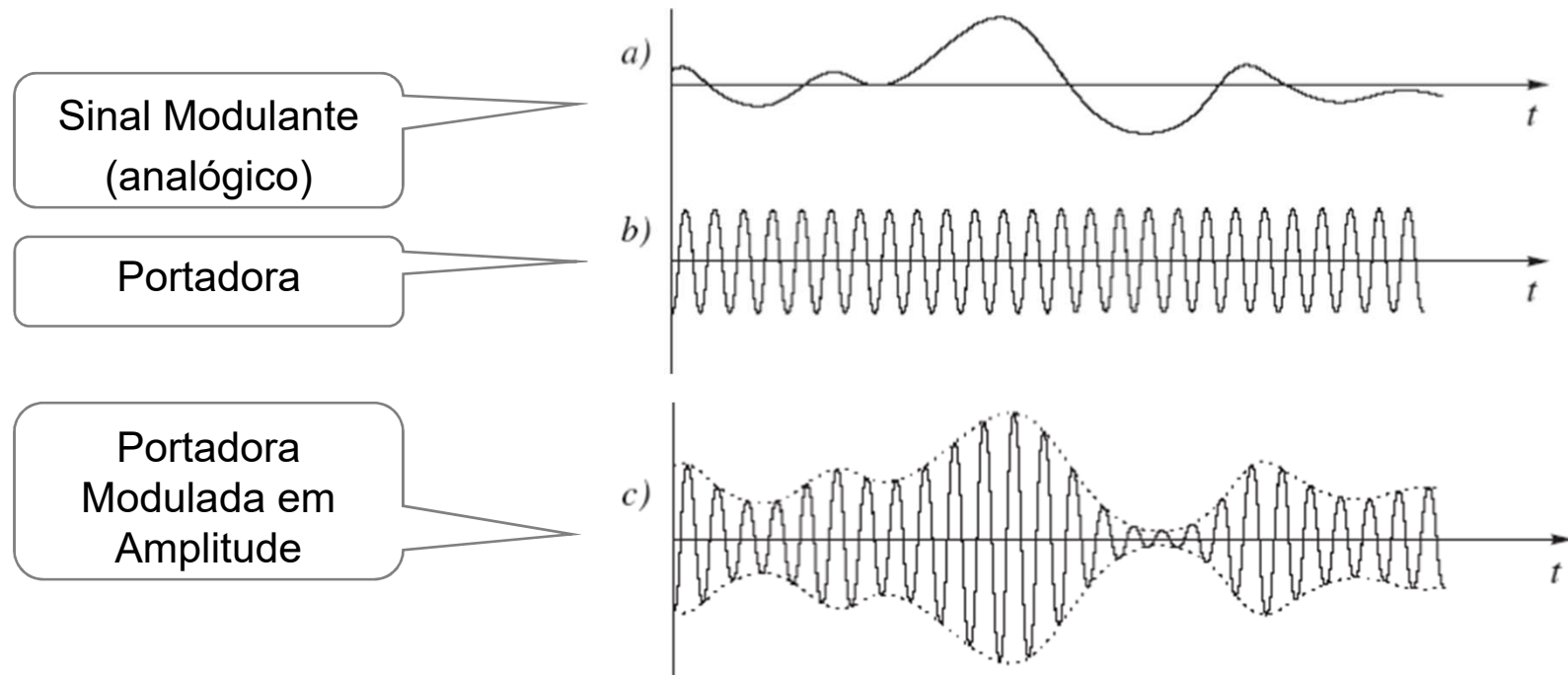
- Baseadas em amplitude, frequência, fase...
- ... e várias outras que derivam (ou combinam) dessas técnicas;
- As diferentes técnicas de modulação apresentam vantagens e desvantagens que podem justificar, ou não, a sua utilização.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

#### Modulação Analógica de Onda Contínua em Amplitude

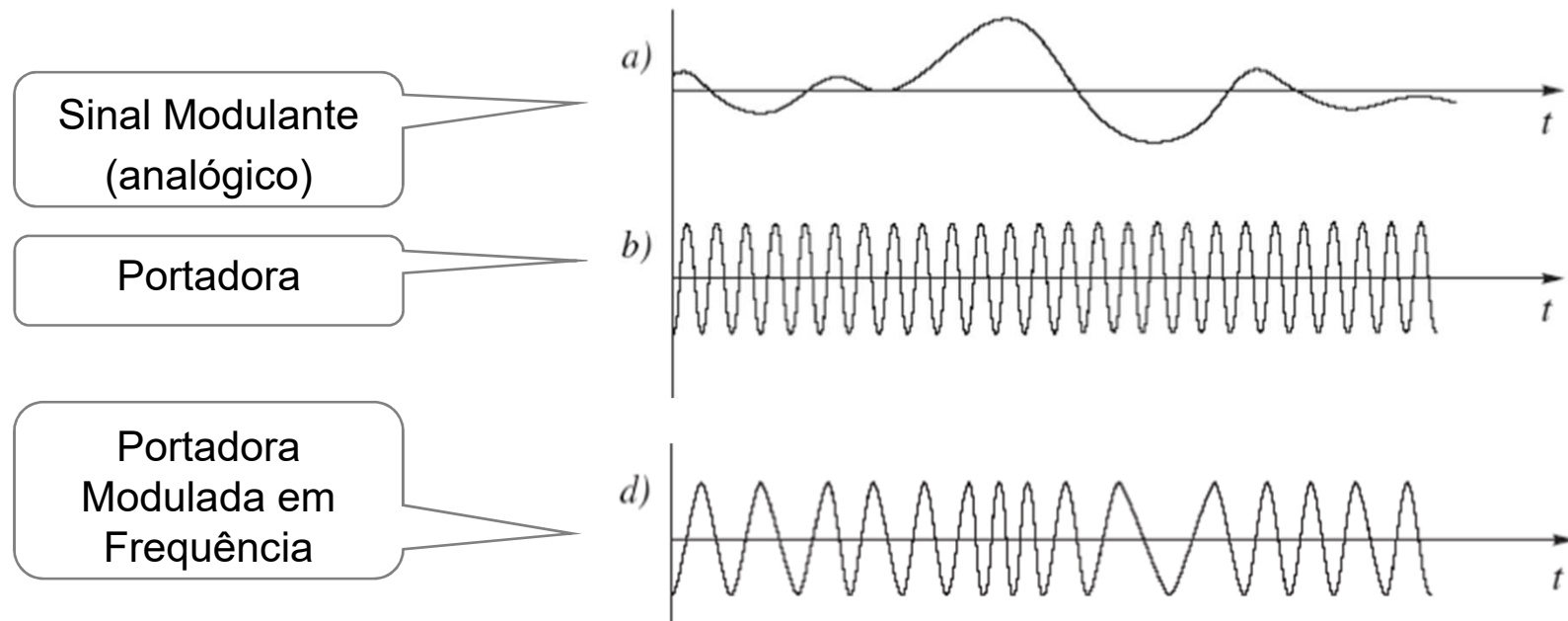




## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

#### Modulação Analógica de Onda Contínua em Frequência

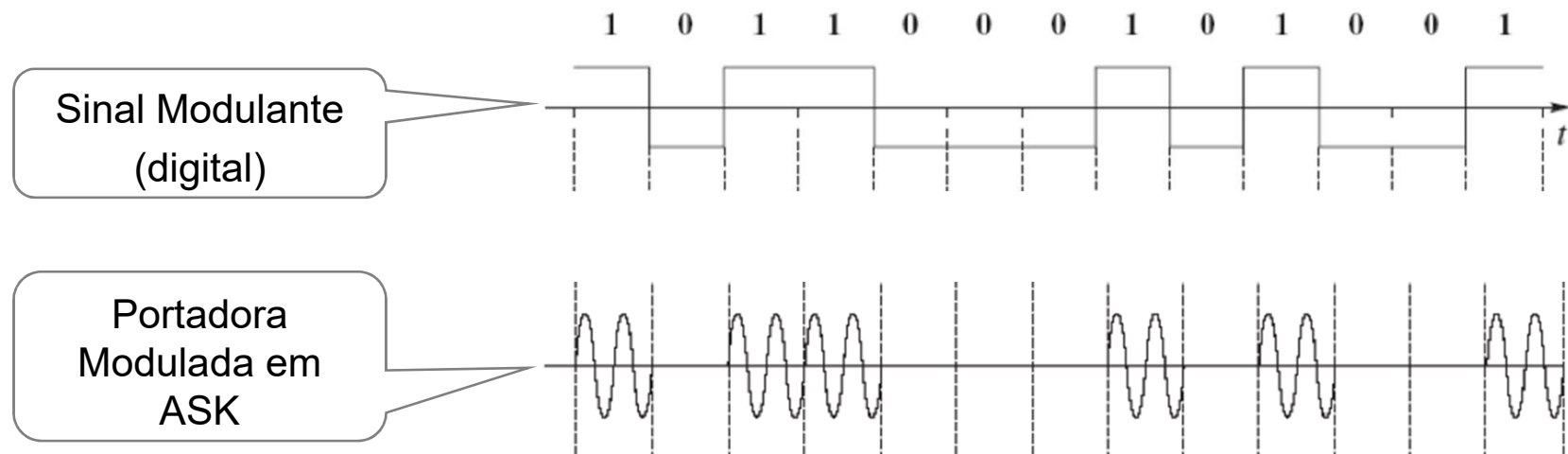




## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

#### Modulação Digital de Onda Contínua em Amplitude (*Amplitude Shift Keying – ASK*)





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

#### Modulação ASK

- Simplicidade é a principal vantagem: na modulação basta adicionar uma constante e multiplicar o sinal por portadora sinusoidal; na desmodulação basta detetar (ou não) a presença de uma senoide num determinado intervalo de tempo;
- Desvantagem principal: mecanismo de modulação facilmente afetado pelo ruído (amplitudes são mais afetadas pelo ruído/interferências).

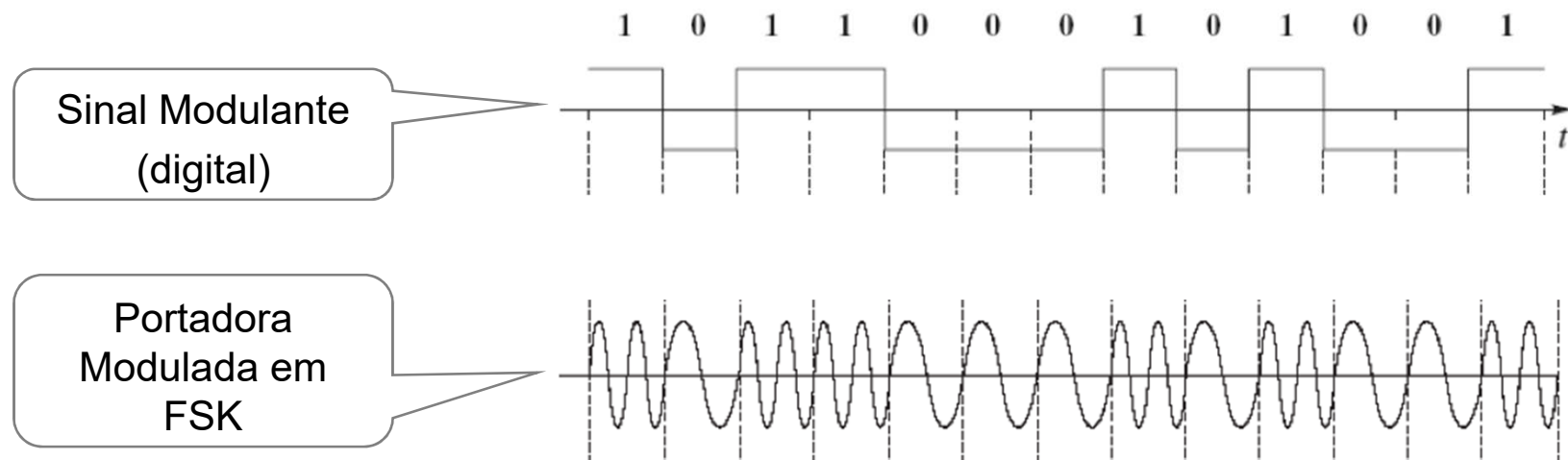




## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

Modulação Digital de Onda Contínua em Frequência  
(*Frequency Shift Keying* – FSK)





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

#### Modulação FSK

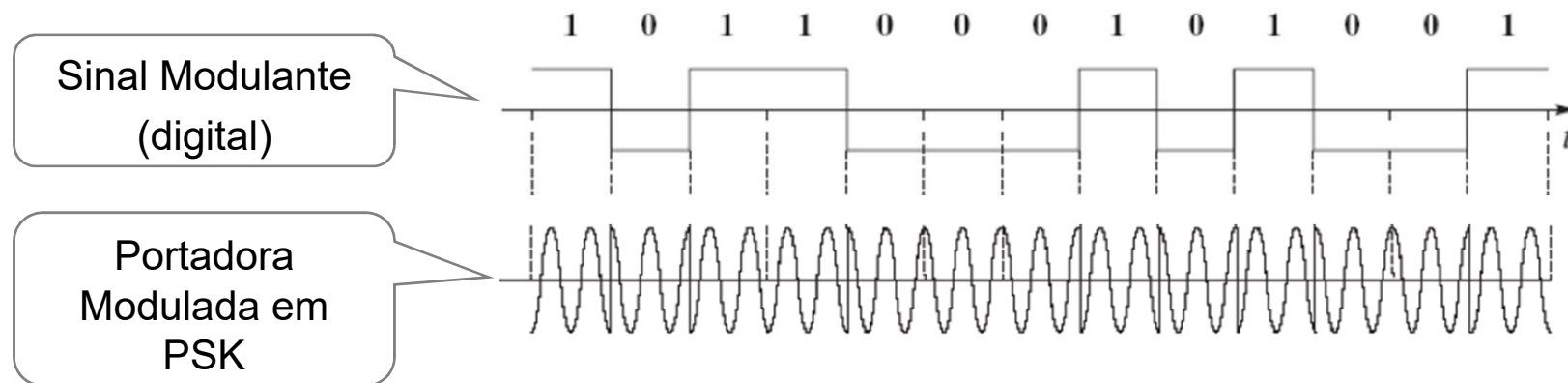
- Desmodulação: é necessário detetar qual das duas frequências possíveis está presente num determinado intervalo de tempo;
- Principal vantagem: FSK é menos afetado pelo ruído que o ASK. Como se baseia em frequência, possíveis alterações de amplitude são ignoradas;
- Principal desvantagem: normalmente ocupa mais largura de banda que o ASK.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

Modulação Digital de Onda Contínua em Fase  
(*Phase Shift Keying* – PSK)





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

#### Modulação PSK

- Desmodulação: é necessário detetar a fase da senoide tendo em conta algum valor de referência;
- Principal vantagem: PSK é menos afetado pelo ruído que o ASK, conseguindo-se até débitos superiores aos obtidos pelo FSK;
- Principal desvantagem: mais complexo o processo de deteção e recuperação do sinal transmitido.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### MODULAÇÃO DIGITAL DE ONDA CONTÍNUA

- A operação de modulação altera o espectro do sinal modulante.
- O espectro do sinal modulado tem alguma relação com o espectro do sinal original?
  - *Esta questão será abordada mais tarde no capítulo Análise de Sinais (Teorema da Modulação).*



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### OUTRAS TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

Várias técnicas de modulação são **derivações, extensões ou combinações** das técnicas anteriormente referidas, como, por exemplo:

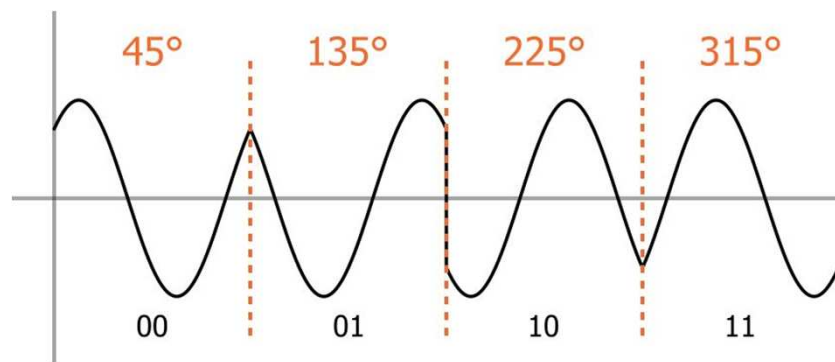
- Variantes PSK  
QPSK (*Quadrature Phase-Shift keying*)  
8-PSK, 16-PSK, etc.
- Mistura ASK + PSK  
QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)  
8-QAM, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, etc.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*)

- Modulação em fase em que assume 4 possibilidades diferentes para a fase da senoide (e.g.  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  e  $315^\circ$ , ou outras combinações);
- Cada alternativa de sinal representa **2 bits** → melhor aproveitamento da largura de banda e maiores débitos.

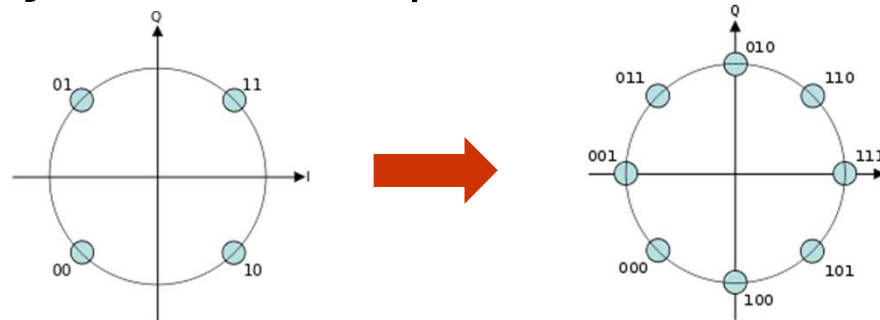




## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### 8-PSK (8 Phase-Shift Keying)

- É possível aumentar o número de fases, e.g. passando de 4 para 8, ou seja, cada fase representa 3 bits;
- Com mais de 8 fases as taxas de erros começam a ser muito elevadas; é preferível a utilização de outras modulações mais complexas como a QAM.







## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

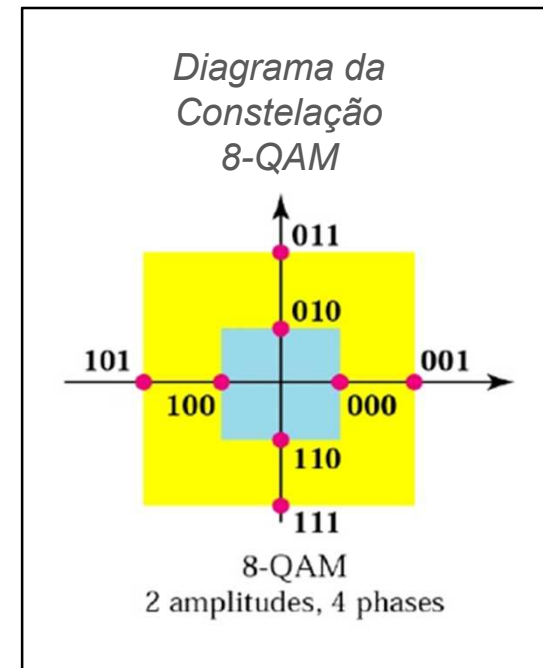
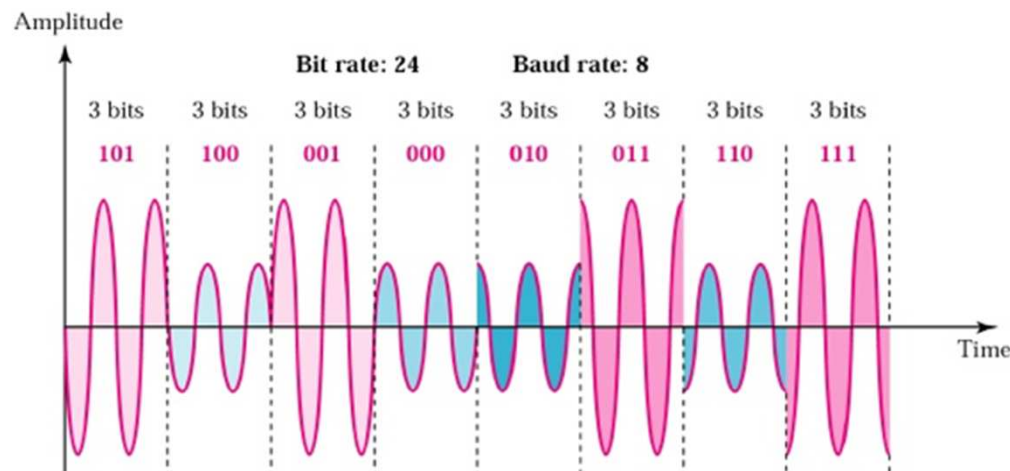
### ***QAM (Quadrature Amplitude Modulation)***

- Técnica que combina as técnicas ASK e PSK;
- O sinal modulado pode assumir diferentes combinações de amplitudes e fases, sendo gerado a partir de duas portadoras desfasadas que são modeladas em amplitude;
- Maior número total de alternativas combinadas para valores de amplitude e fase, ou seja, capacidade de transmitir mais bits por símbolo;
- No entanto, quantas mais alternativas maior será a sensibilidade ao ruído pelo que existe a necessidade de um maior valor de S/N.



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### Exemplo 8-QAM (2 amplitudes e 4 fases, 3 bits/símb)

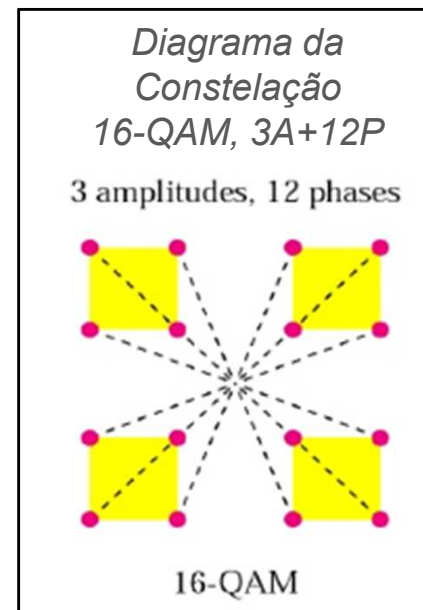
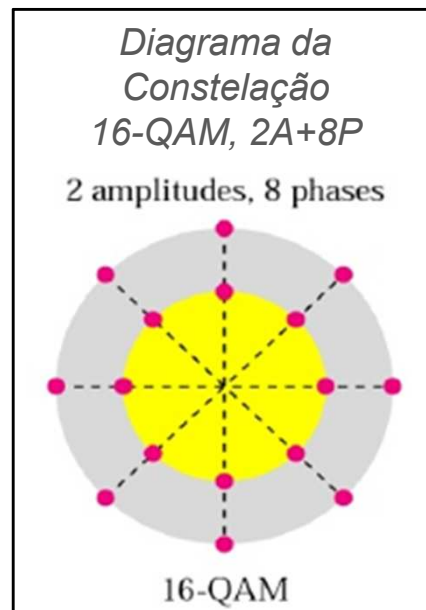




## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### Exemplos de 16-QAM (4 bits/símb)

Não é obrigatório usar todas as combinações possíveis de fases e amplitudes; é uma forma de se aumentar a imunidade ao ruído.





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### QAM

Técnicas QAM (e derivadas) são bastante usadas em várias tecnologias contemporâneas:

- Digital Cable Television
- Cable Modem
- Powerline Ethernet
- ITU G.hn (4096-QAM, até 12 bits/símb e ritmos 2 Gbps)
- ADSL (32768-QAM, até 15 bits/símbolo)
- Wi-Fi, etc.