



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**

capítulo 1 da sebenta
+ alguns extras

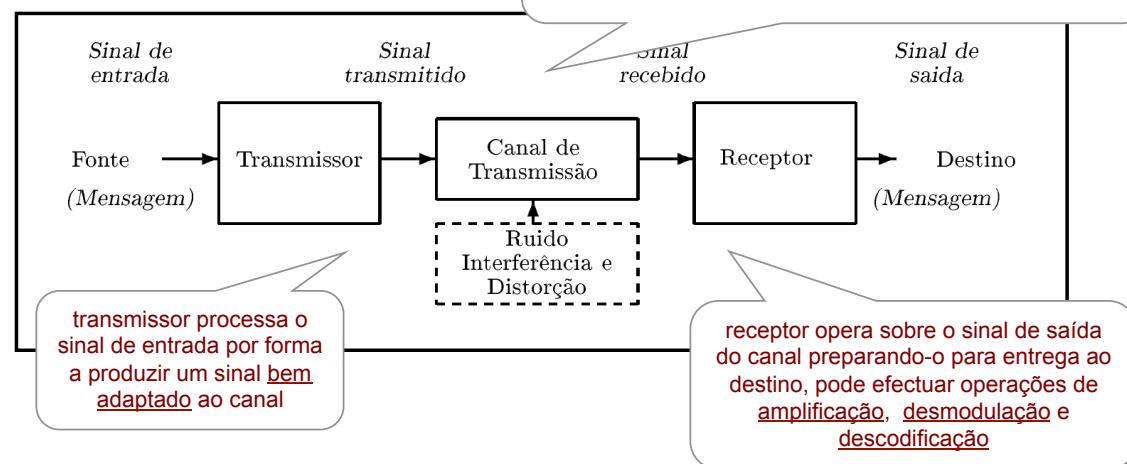
1



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO -

canal de transmissão meio físico que o sinal percorre da origem até ao destino (e.g. par de fios, coaxial, fibra, espaço livre,...). Introduz atenuação de sinal, potência do sinal decresce progressivamente com a distância

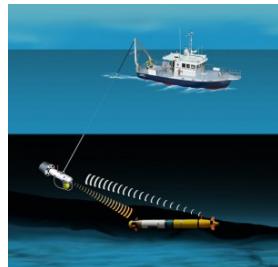


2



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

Canal de transmissão:



3



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

Canal de transmissão: diferentes tipos de canais de transmissão possuem diferentes:

- **capacidades** de transmissão
- **atenuações** de sinal [problemas com as grandes distâncias?]
- **frequências** de operação
- necessidade/tipo de **equipamentos de interligação**
- níveis de **imunidade a ruído**
- **custos \$\$**
- robustez física, **dimensões**, etc.
- etc.

4



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

Tipos de transmissão:

- Transferência num só sentido (**simplex**)
- Transferência em ambos os sentidos mas não simultaneamente (**half-duplex**)
- Transferência simultânea em ambos os sentidos (**full-duplex**)

5



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 próprias que **afectam os sinais**, por vezes torna-se necessário **modular os sinais** por forma a adaptá-los ao meio de transmissão

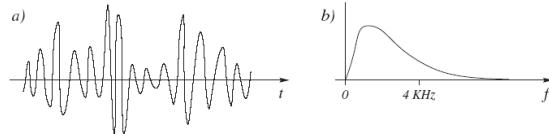
6



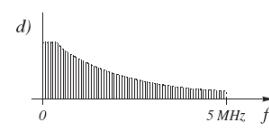
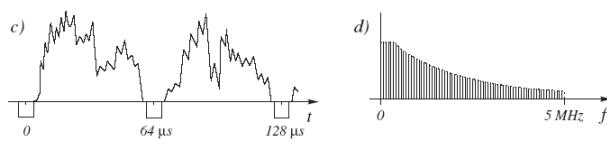
IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- EXEMPLO DE SINAIS E REPRESENTAÇÃO ESPECTRAL -

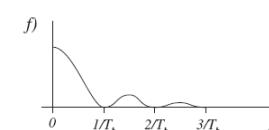
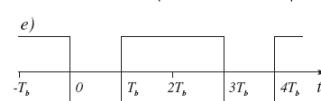
exemplo da forma de onda e espectro de um sinal audio



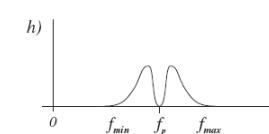
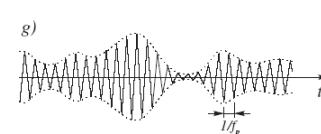
exemplo da forma de onda e espectro de um sinal de televisão



exemplo da forma de onda e espectro de um sinal binário



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

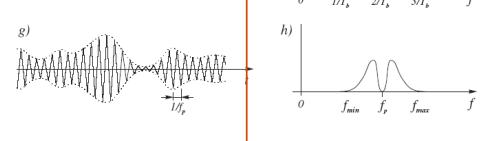
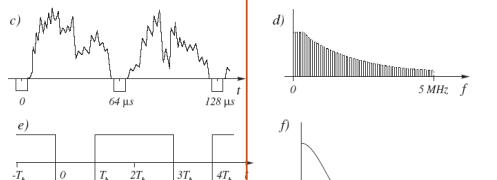
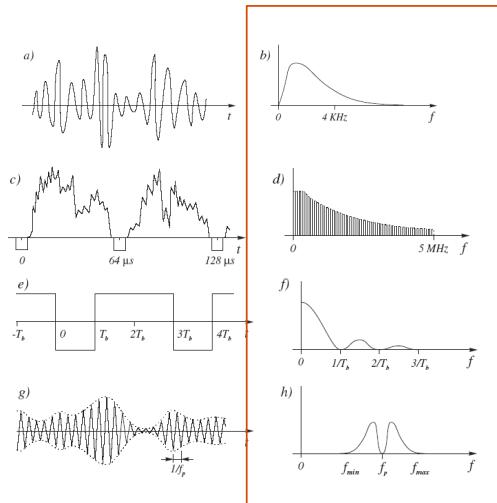


7



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- EXEMPLO DE SINAIS E REPRESENTAÇÃO ESPECTRAL -



- espectro tem elevada importância para a caracterização do sinal...



- ... e requisitos para a sua correta transmissão no canal de comunicação

- Além disso, os canais de comunicação tem também limitações...

8



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS -

As limitações fundamentais à transmissão da informação por **meios eléctricos** 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: Largura de Banda -

- **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
- **Ritmo máximo teórico de símbolos** digitais que se podem transmitir no sistema (**Ritmo de Nyquist**):

$$r_s \leq 2 * B_T$$

já anteriormente
referido no âmbito
da digitalização



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -

- Constitui a segunda limitação à transmissão de informação
- Existem vários tipos de ruído: movimento aleatório de partículas carregadas electricamente dá origem a correntes e tensões aleatórias - **ruído térmico**
 - introdução de tensões aleatórias que se adicionam ao sinal
 - altera a "forma" do sinal dificultando a distinção entre os diferentes níveis do sinal

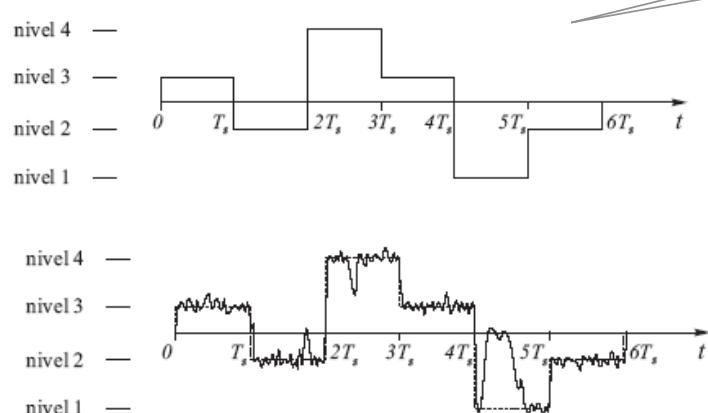
11



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -

exemplo de um sinal quaternário



12



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -

- O ruído é considerado um sinal aleatório, $n(t)$
 - possui uma determinada densidade de potência expressa em η Watt/Hz
 - **Potência média total** do ruído (N) na banda do canal:

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

13



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -

- A influência do ruído no sinal mede-se em termos de **razão de potências de sinal-ruído, (S/N)**
- **S** - potência média do sinal no destino
- 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 reduzida substancialmente

14



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -

- Implicações em termos de **capacidade do canal**
- Ritmo de informação não pode exceder (**Lei de Hartley-Shannon**):

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

base adoptada depende da unidade de medida da informação escolhida

15



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

- O objectivo 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 outra gama de frequências
 - e.g. por questões de multiplexagem → necessidade de **ocupar uma determinada faixa de frequências**
 - etc...

espectro sinal vs frequências suportadas no canal

16



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

- Modulação envolve duas formas de onda: o **sinal modulante** e a **portadora**
- **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]

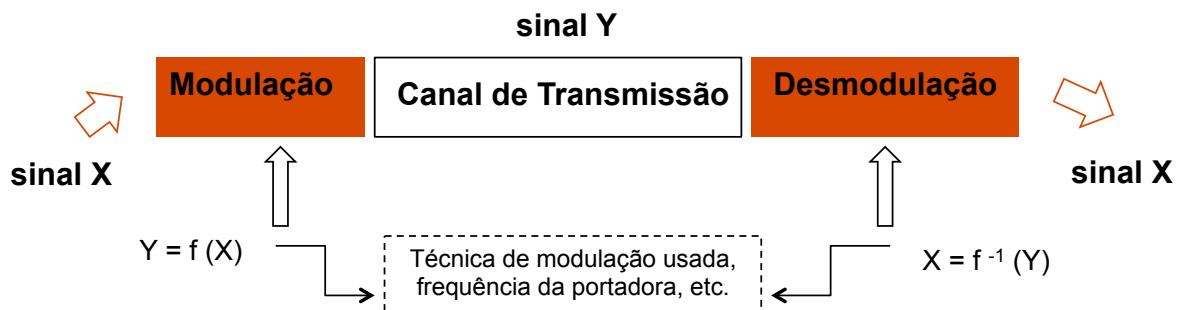
17



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

- Onda resultante "transporta" a informação do sinal original; necessária uma operação de **desmodulação**



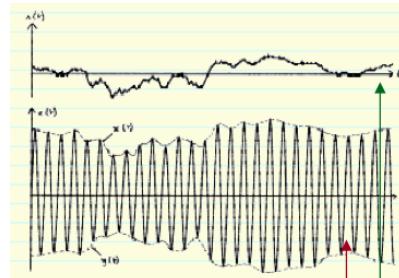
18



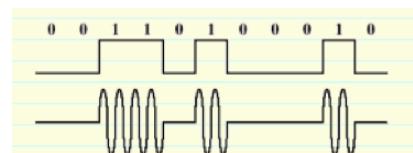
IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

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



- Se sinal modulante é **digital** → modulação digital



19



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

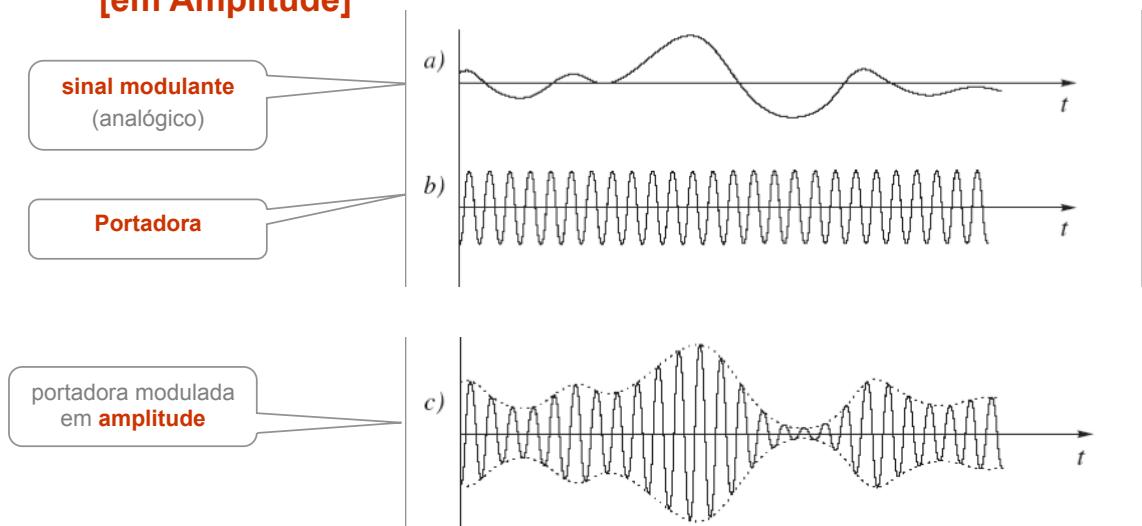
- Que **técnicas de modulação** existem?
 - baseadas em amplitude, frequência, fase
 - ... e várias outras que derivam (ou combinam) dessas técnicas
- Porquê existem alternativas?
 - as diferentes técnicas de modulação apresentam **vantagens/desvantagens** que podem justificar, ou não, a sua utilização

20



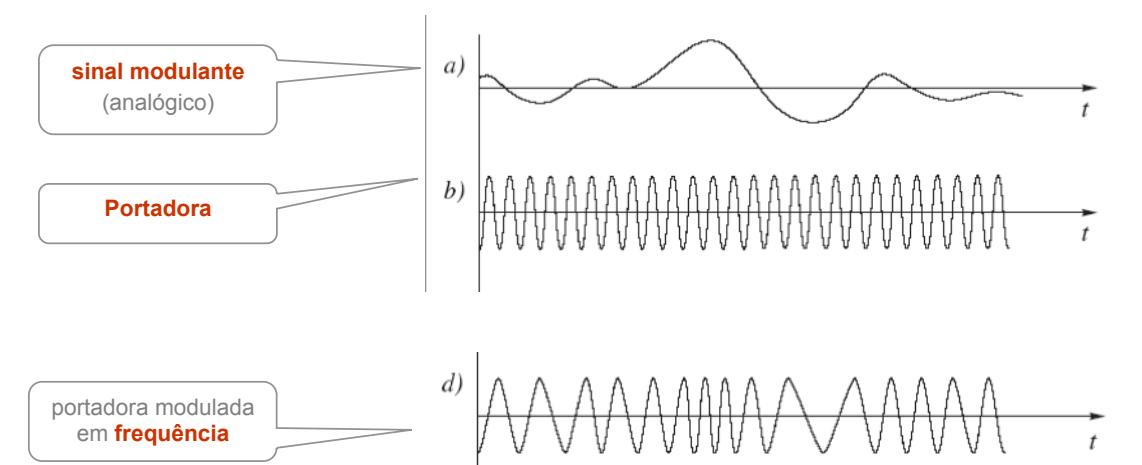
IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: modulação analógica de onda contínua
[em Amplitude]



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

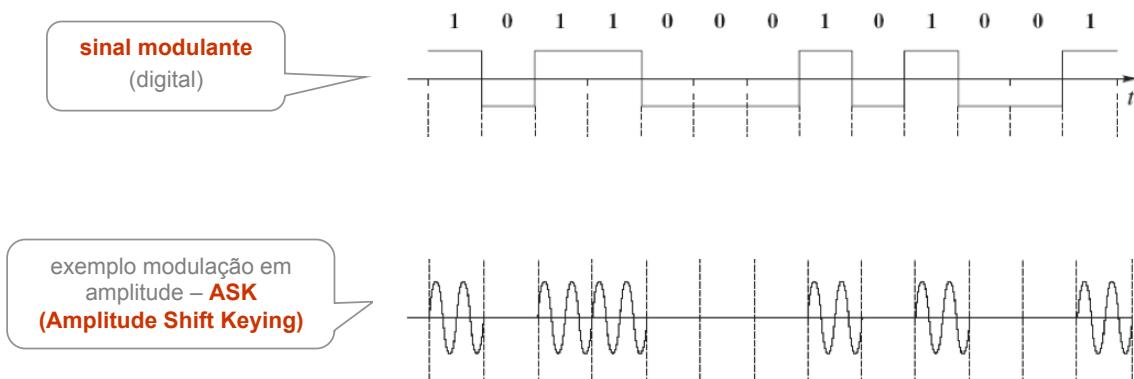
MODULAÇÃO: modulação analógica de onda contínua
[em Frequência]





IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua
[em Amplitude – ASK]



23



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua
[em Amplitude – ASK]

- **Desmodulação:** basta detetar (ou não) a presença de uma sinusoide num determinado intervalo de tempo
- **Vantagens:** simplicidade
- **Desvantagens:** mecanismo de modulação facilmente afetado pelo ruído (amplitudes são mais afetadas pelo ruído/interferências)

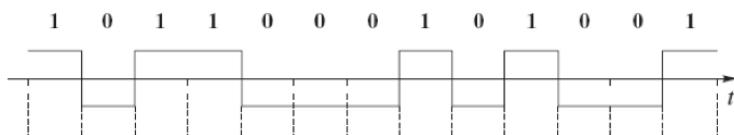
24



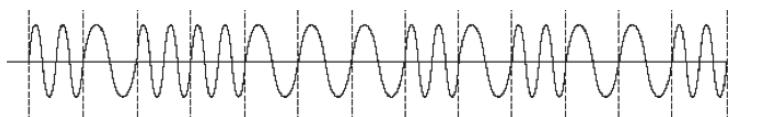
IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua
[em Frequência – FSK]

sinal modulante
(digital)



exemplo modulação em
frequência – FSK
(Frequency Shift Keying)



25



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua
[em Frequência – FSK]

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

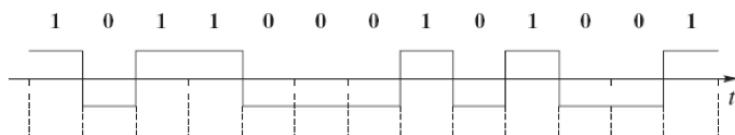
26



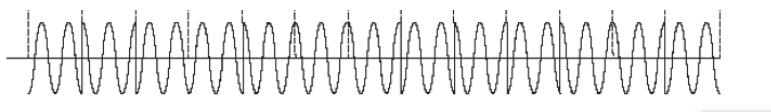
IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua
[em Fase – PSK]

sinal modulante
(digital)



exemplo modulação em fase - **PSK (Phase Shift Keying)**



27



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua
[em Fase – PSK]

- **Desmodulação:** é necessário detetar a fase da sinusoide tendo em conta algum valor de referência
- **Vantagens:** PSK é menos afetado pelo ruído que o ASK; conseguem-se débitos superiores aos obtidos pelo FSK
- **Desvantagens:** mais complexo o processo de detecção / recuperação do sinal transmitido

28



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

- MODULAÇÃO: 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.....**

29



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: outras variantes

- Várias técnicas de modulação são **derivações/extensões/ combinações** das técnicas anteriores referidas
[**2 exemplos ilustrativos**]
- **Variantes PSK**
QPSK (Quadrature Phase-shift keying), **8-PSK, 16-PSK, ..., ..., etc.**
- **Mistura ASK + PSK**
QAM (Quadrature Amplitude Modulation), **8-QAM, 16-QAM, ..., ..., etc.**

30



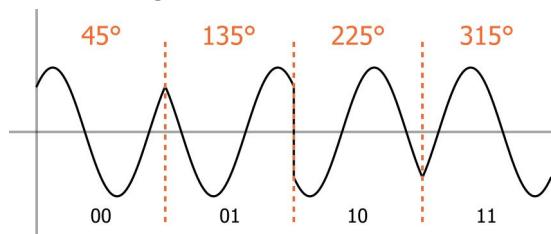
IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: outras variantes

[QPSK - Quadrature Phase-shift keying]

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

Exemplo
Ilustrativo



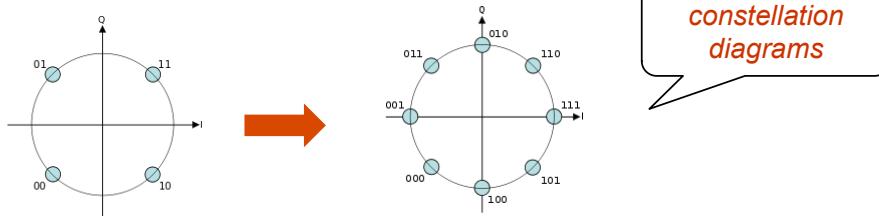
31



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

MODULAÇÃO: outras variantes [8-PSK]

- É possível aumentar o número de alternativas de fases, e.g. passando de 4 para 8 (8-PSK), cada alternativa representa **3 bits**



- Normalmente com valores acima das 8 fases as taxas de erros começam a ser elevadas → utilização de outras modulações (mas + complexas) e.g. **QAM**

32



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

[QAM – Quadrature Amplitude Modulation]

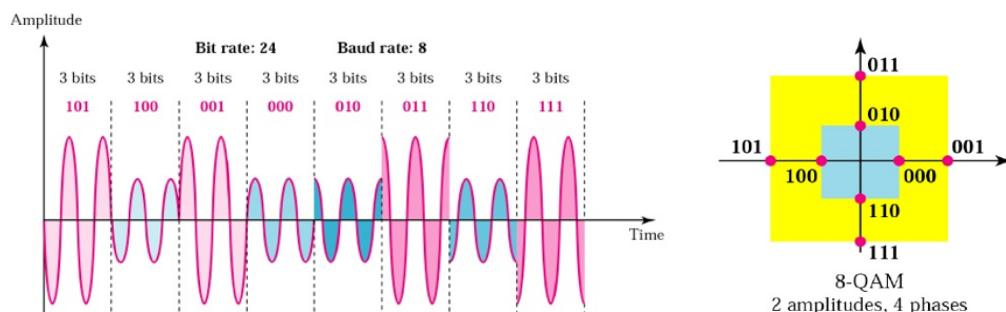
- Técnica que combina as técnicas ASK e PSK
- Após modulação o sinal pode assumir diferentes combinações de amplitudes & fases
 - > sinal é gerado a partir de 2 portadoras desfasadas que são modeladas em amplitude
- Maior número de alternativas para amplitude/fase → Maior capacidade de transmitir mais bits por símbolo
- mas ... quantas mais alternativas → maior sensibilidade ao ruído dificuldade em distinguir o sinal [necessidade de uma maior relação S/N]



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

[QAM – Quadrature Amplitude Modulation]

- Exemplo: 8-QAM (usando 2 amplitudes e 4 fases)



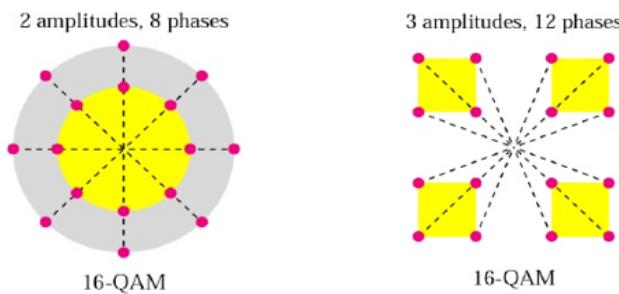
- Outros esquemas: 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM, ..., 1024-QAM, etc. etc. (cada um com *constellation diagram* próprios)



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

[QAM – Quadrature Amplitude Modulation]

- Exemplos de *constelações* 16-QAM [4 bits por símbolo]
[não é obrigatório usar todas as combinações de fases * amplitudes... porquê?!]



IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

[QAM – Quadrature Amplitude Modulation]

- Técnicas QAM (e derivadas) **bastante usadas** por várias tecnologias, e.g.:
 - Digital Cable Television
 - Cable Modems
 - Powerline Ethernet
 - ITU G.hn [home network technology: power lines, phone lines and coaxial cables with 2 Gbps → até 12 bits/símbolo → 4096-QAM]
 - a “antiga” ADSL [e.g. até 15 bits/símbolo → 32768-QAM]
 - Wi-Fi [dependente da versão]
 - etc.