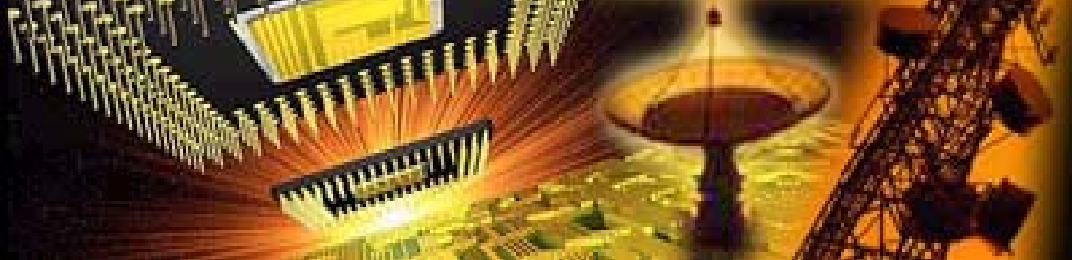




Linear
Equipamentos
Eletrônicos



Tecnologia Mundial em Transporte e Distribuição de sinais de TV



Santa Rita do Sapucaí -MG



TV Broadcast



Ilhéus - BA



Pça Linear, 100
37540-000 - Santa Rita do Sapucaí-MG
Brasil

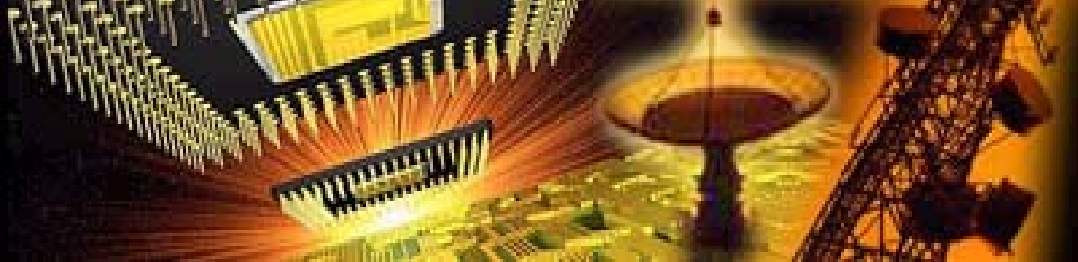
 **(5535) 3473-3473**

 **(5535) 3473-3474**

www.linear.com.br



Linear
Equipamentos
Eletrônicos



APRESENTA

PROCESSOS DE MODULAÇÃO

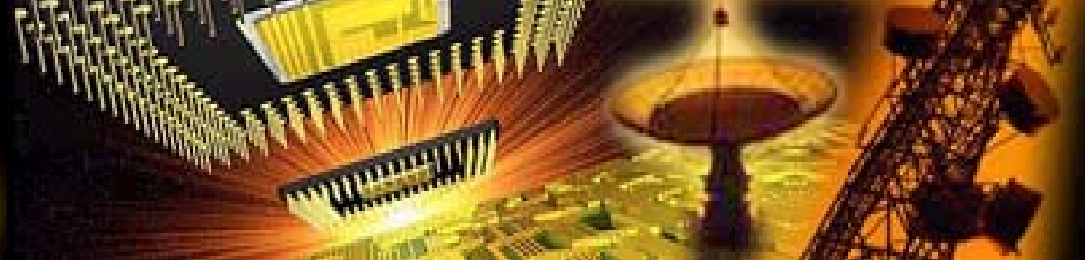
TÉCNICAS DE MODULAÇÃO DIGITAL



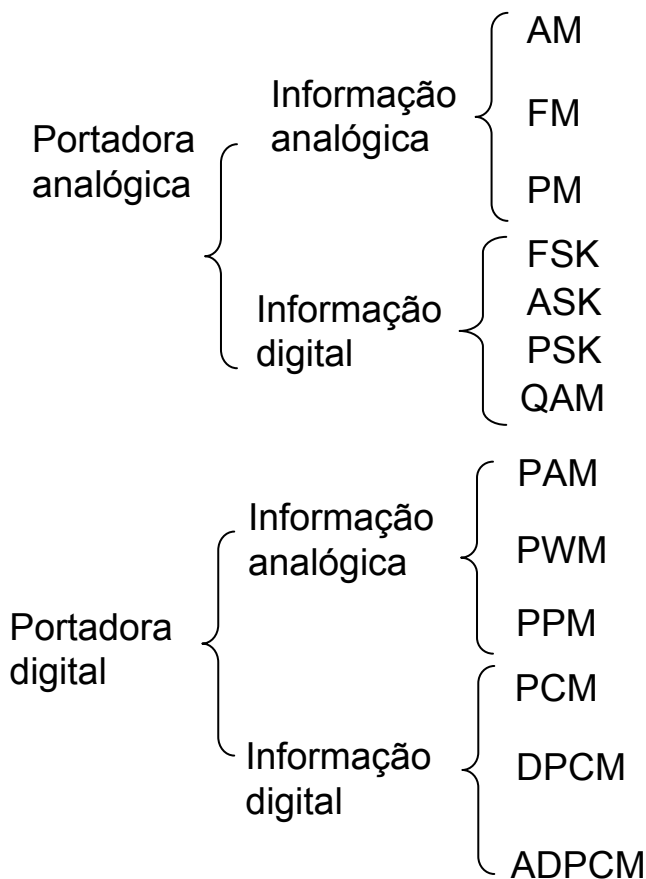
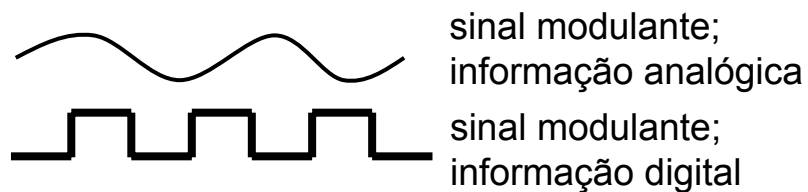
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL INTRODUÇÃO

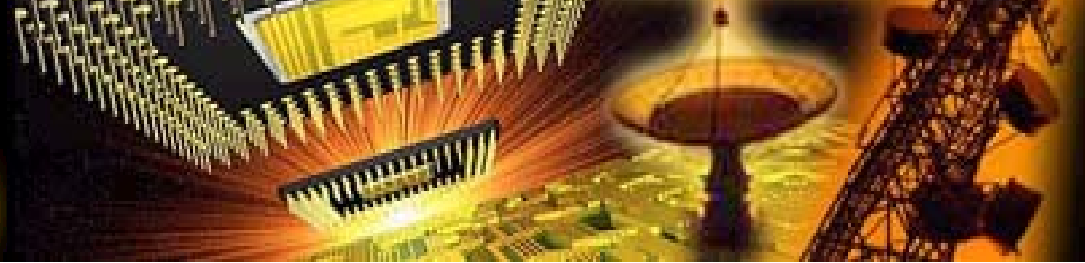
1- INTRODUÇÃO

- Os processos de modulação digital, tal como nos processos de modulação analógica, consistem em alterar as características de uma portadora a partir das variações de um sinal modulante.
- O que caracteriza uma modulação é o fato do sinal modulante ser sempre do tipo digital. Já a portadora poderá ser digital ou analógica.
- As técnicas empregadas neste estudo utilizam a portadora analógica senoidal já que somente esta pode ser irradiada com eficiência sob forma de onda eletromagnética.



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL INTRODUÇÃO





2- TIPOS DE MODULAÇÃO DIGITAL

- Os processos de modulação digital com portadora analógica podem ser classificados pelos seguintes critérios:

2.1- Quanto ao tipo de modulação:

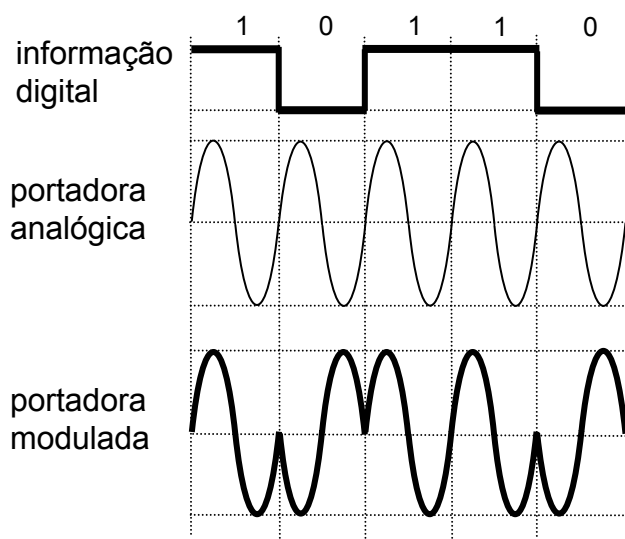
- **EM AMPLITUDE:** ASK
- **EM FREQUÊNCIA:** FSK
- **EM FASE:** PSK
 - monobit: 2-PSK (BPSK)
 - multi-nível (*M-ary*)
 - 4-PSK (QPSK)
 - 8-PSK
 - diferencial: DPSK; DQPSK
- **EM AMPLITUDE E FASE:** QAM



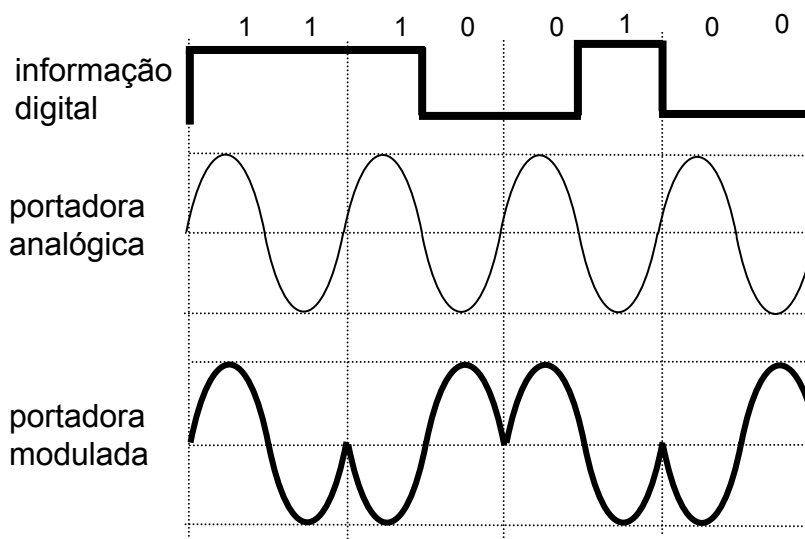
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL TIPOS DE MODULAÇÃO DIGITAL

2.2- Quanto ao número de bits por ciclo da portadora:

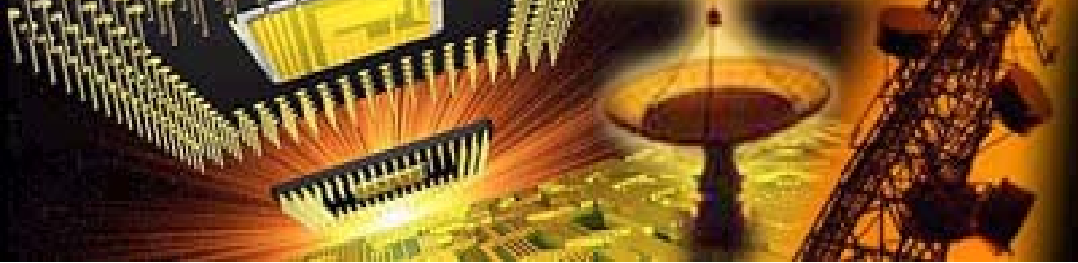
- **MONOBIT:** um bit por ciclo
- **MULTI-NÍVEL:** mais que um bit por ciclo



MONOBIT



MULTI-NÍVEL



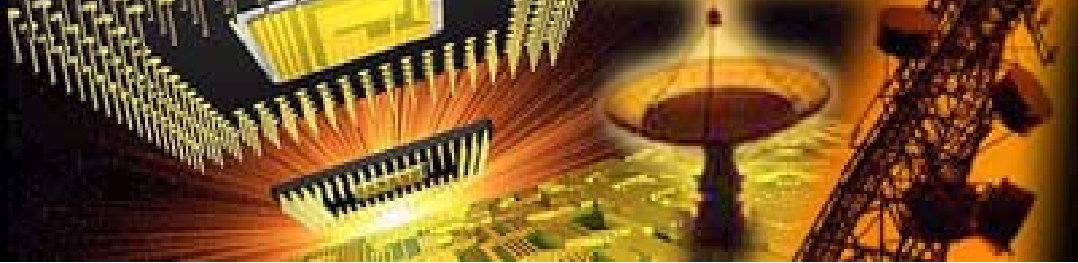
3- PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

- Os processos de modulação digital possuem parâmetros específicos classificados pelos seguintes critérios:

3.1- Taxa de transmissão de dados – Data Rate – (DR):

- Indica o valor quantitativo de bits transmitidos em 1 segundo. Exemplo:
 - 64kbps (64 mil bits transmitidos em 1s)
 - 4,5Mbps (4,5 milhões de bits transmitidos em 1s) .

* NOTA: $\left\{ \begin{array}{l} - \text{bps: bits por segundo} \\ - \text{Bps: bytes por segundo} \end{array} \right.$



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.2- Índice de Modulação (M):

- A transmissão digital, diferentemente da analógica, possui apenas **duas** condições para os dados transmitidos, zero (baixo) ou um (alto). Sendo assim a transmissão digital é binária, ou seja, possui uma **base numérica igual a 2**.
- A definição de índice de modulação é quantificar as alterações sofridas pela portadora senoidal em função do sinal modulante, que neste caso será a informação de dados.
- O índice de modulação para as transmissões digitais é expresso por:

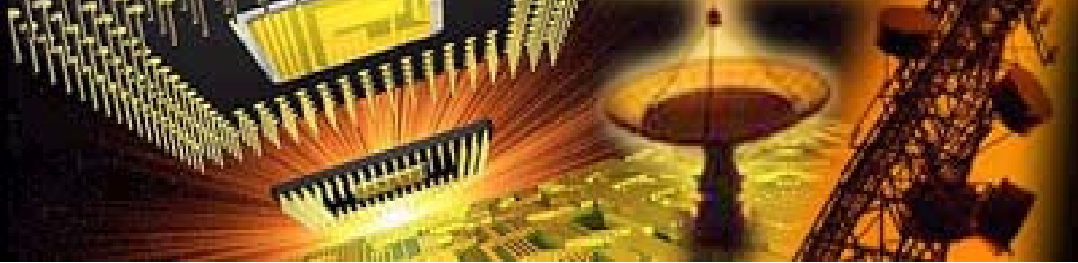
$$M=2^{N_{bps}}$$

Onde:

M: número de estados ou índice de modulação

Nbps: número de bits por segundo.

- O Índice de Modulação varia de acordo com as diversas técnicas de modulação digital empregadas.



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.3- Número de Bits por Segundo (Nbps):

- Apesar da denominação “número de bits por segundo” **não** significa a quantidade de bits transmitidos no tempo de 1 segundo. O Nbps está relacionado diretamente em função ao índice de modulação (M) específico a cada técnica.

$$\text{Nbps} = \log_2 M$$

Onde:

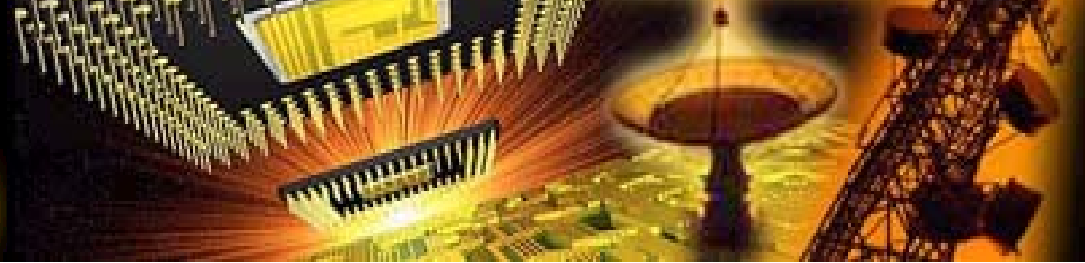
M: número de estados ou índice de modulação

N: número de bits por segundo.

- O Nbps varia de acordo com as diversas técnicas de modulação digital empregadas.

Exemplos:

- Para $M=2$ significa que o Nbps é igual a 1, pois: $M=2^N \rightarrow 2=2^1$
- Para $M=4$ significa que o Nbps é igual a 2, pois: $M=2^N \rightarrow 4=2^2$
- Para $M=8$ significa que o Nbps é igual a 3, pois: $M=2^N \rightarrow 8=2^3$



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

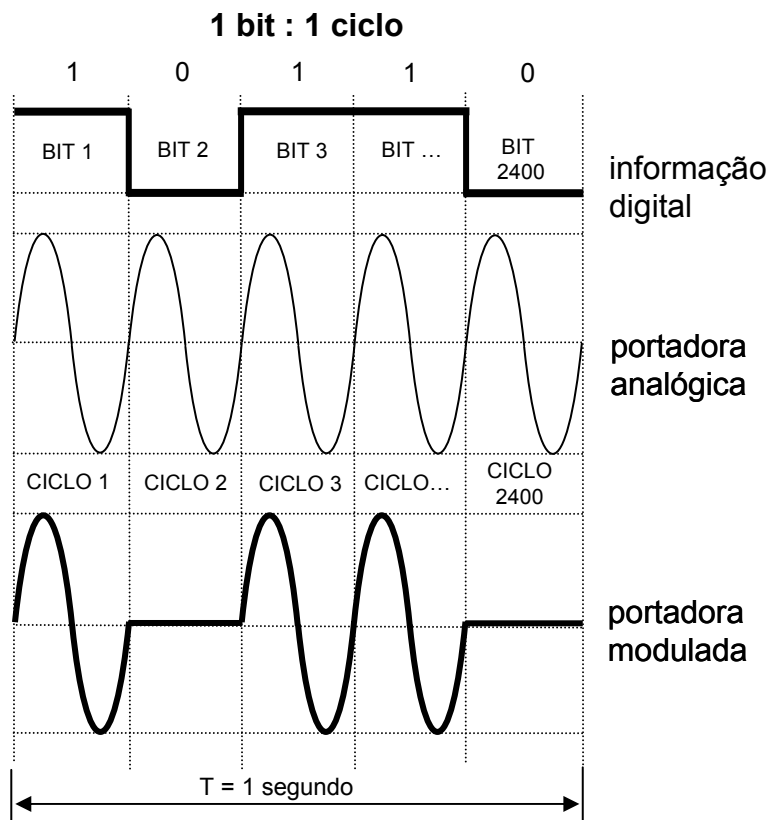
3.4- Velocidade de Modulação – Baud Rate – (baud):

- É o número de vezes em que a informação digital está presente na portadora por segundo, ou seja, todas as alterações que ocorrem na portadora durante o tempo de 1s.

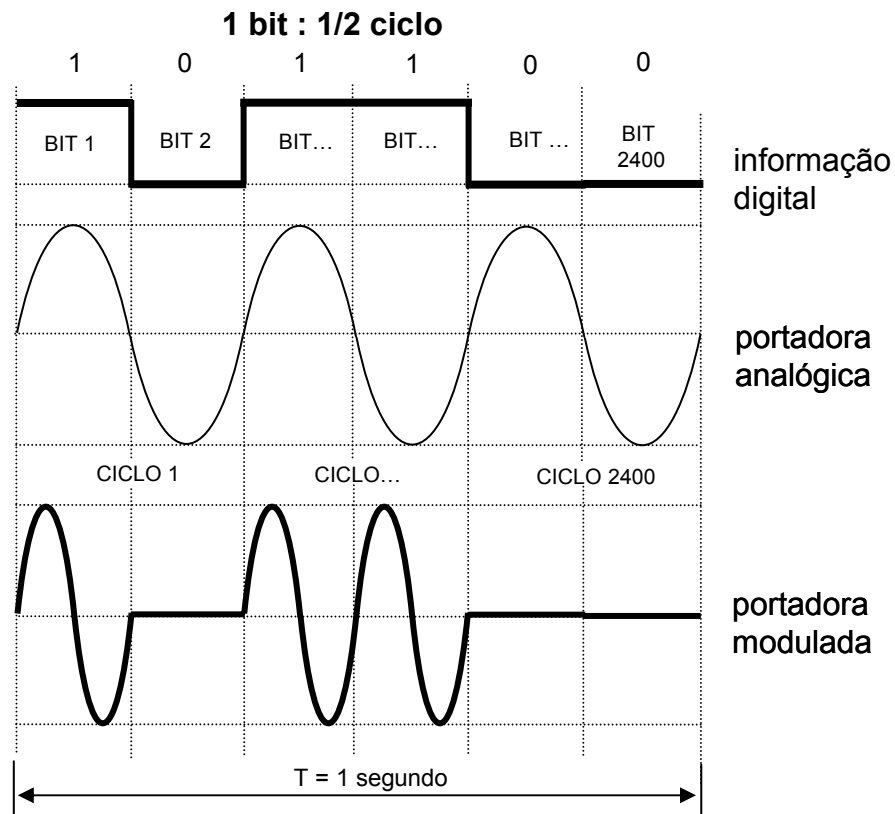
$$V_m = \frac{\text{frequência da portadora}}{\text{Nº ciclos da portadora por bit}}$$



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL



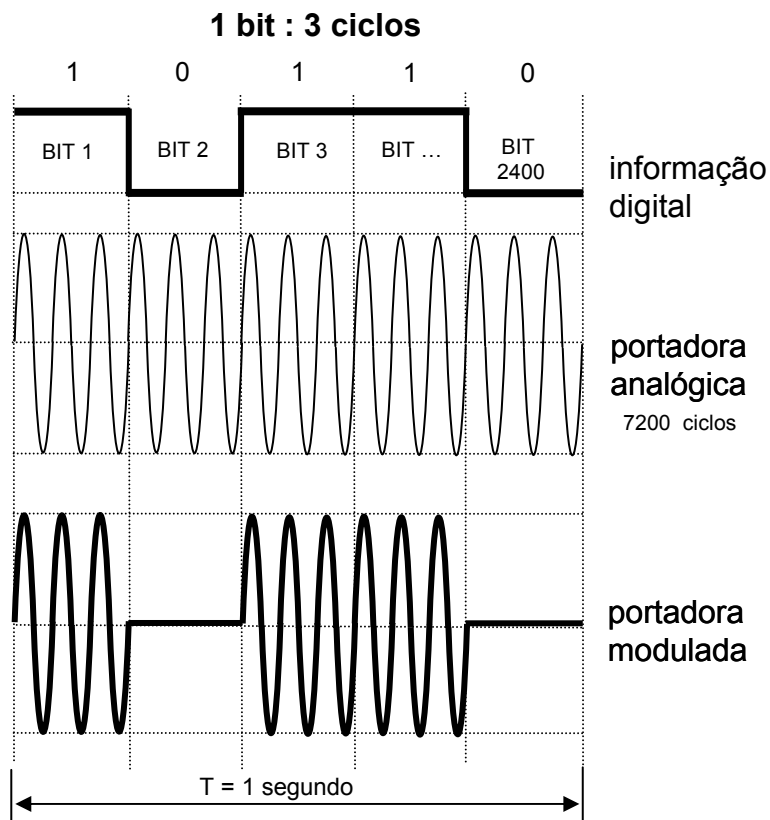
- taxa de bits: 2400 bps
- frequência da portadora: 2400Hz
- velocidade de modulação: 2400 bauds



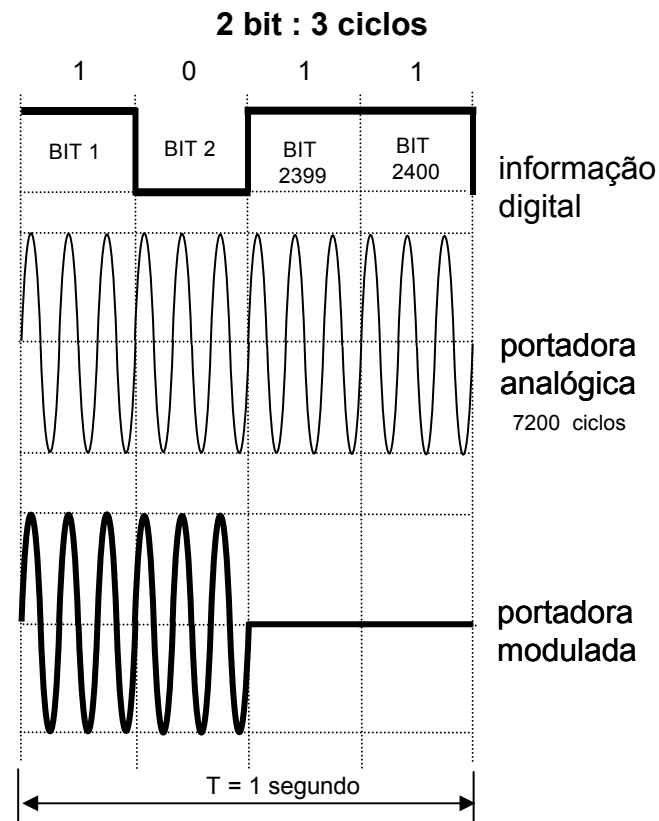
- taxa de bits: 2400 bps
- frequência da portadora: 2400Hz
- velocidade de modulação: 4800 bauds



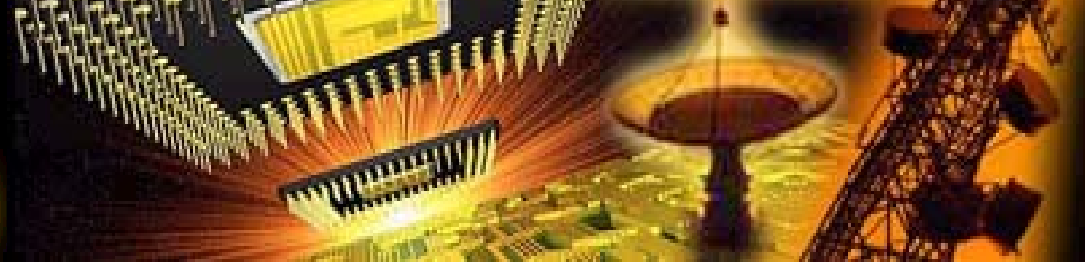
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL



- taxa de bits: 2400 bps
- frequência da portadora: 7200Hz
- velocidade de modulação: 2400 bauds



- taxa de bits: 2400 bps
- frequência da portadora: 7200Hz
- velocidade de modulação: 4800 bauds



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.5- Símbolos:

- Na transmissão ao invés de se falar em bits transmitidos podemos também falar em símbolos, que podem agrupar um ou mais bits, conforme o tipo de modulação. Os símbolos podem ser considerados como “caixas” que transportam um determinado número de bits por ciclo da portadora.

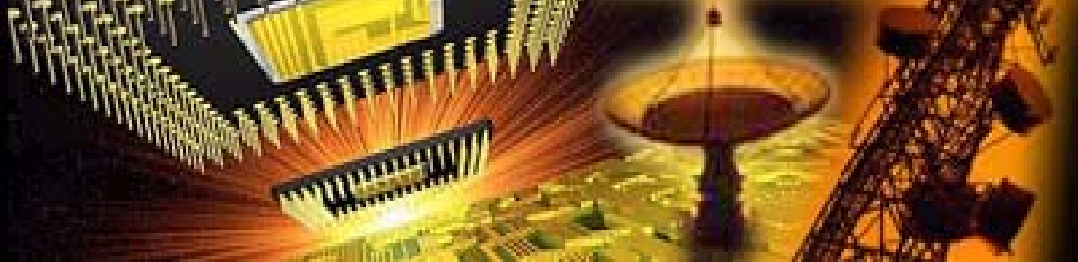
3.6- Taxa de Símbolos – *Symbol Rate* – (SR):

- Indica a valor quantitativo de símbolos transmitidos em 1 segundo.
Exemplo:

64KSymbol/s (64 mil símbolos transmitidos em 1s)

4,5MSymbol/s (4,5 milhões de símbolos transmitidos em 1s)

$$SR = DR / N_{bps}$$



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

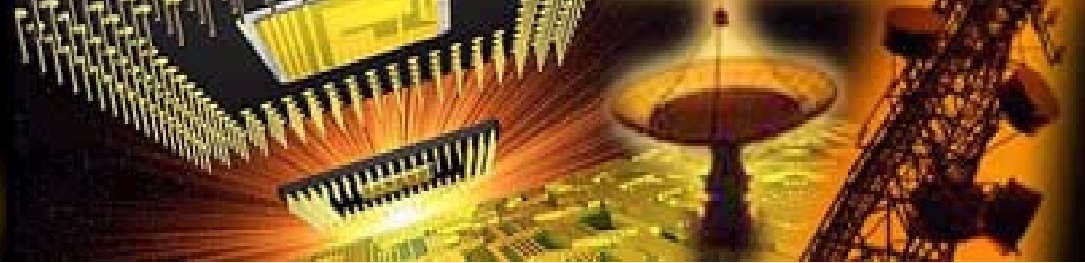
3.7- Fatores de Correção :

- A transmissão dos dados deve ser fiel do ponto de origem ao ponto de destino. No entanto, o meio de transmissão sofre influências externas que poderão prejudicar o enlace. Para isto foram criados os fatores de correção que consistem no envio de bits a mais na transmissão para suprir uma eventual perda de informação. Os mais comuns são:

- **FEC (*Forward Error Correction*)**:

exemplo: FEC $\frac{1}{2}$ a cada um bit transmitido o segundo é de correção
FEC $\frac{3}{4}$ a cada três bits transmitidos o quarto é de correção

- **Reed Solomon (RS)**: para os padrões DVB normalmente é 188/204



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.8- Taxa de transmissão de dados corrigida - pós FEC - (DR'):

- É a taxa de dados (*Data Rate*) em bps transmitida mais os bits do fator de correção de erro.

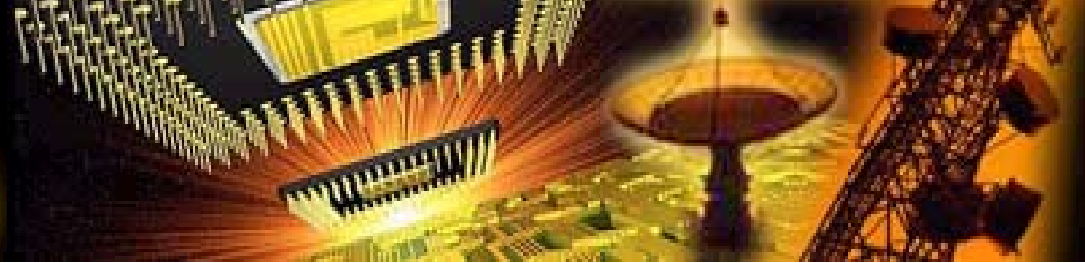
$$DR' = DR / FEC$$

$$DR' = DR / (FEC \times RS)$$

3.9- Taxa de símbolos corrigida – pós FEC – (SR') :

- É taxa de símbolos em função da taxa de transmissão de dados pós FEC.

$$SR' = DR' / N_{bps}$$



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.10- Banda Ocupada (BO) ou Largura de Banda (BW):

- Corresponde ao valor em Hertz que efetivamente a portadora modulada necessitará para a transmissão de dados.
- É agregado ao valor percentual total da largura de banda da portadora denominado de ROOL OFF. Este valor varia de acordo com padrões e o mais utilizado é o IBS / IDR que corresponde a um ROOL OFF de 40%

$$BO = (DR' \times ROOL\ OFF) / N_{bps}$$

3.11- Banda Alocada (BA):

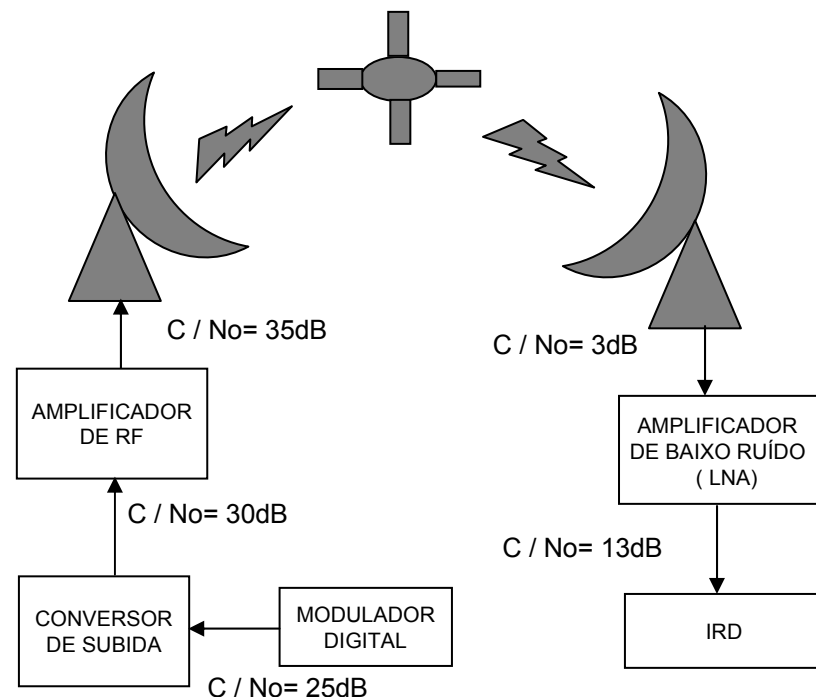
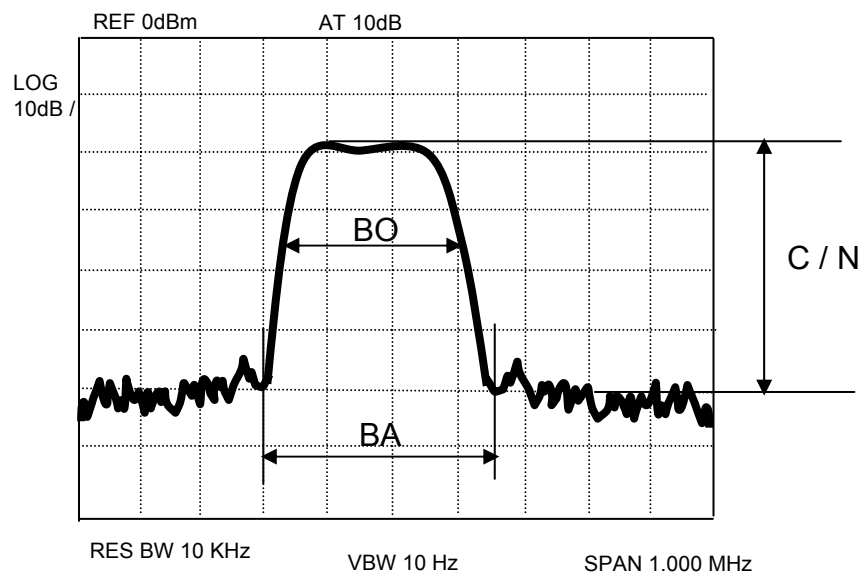
- É o valor da banda comprada ou alocada no seguimento espacial (para sistemas via satélite).



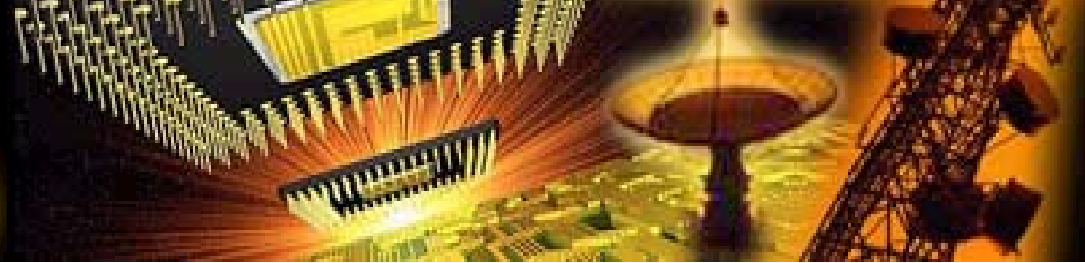
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.12- Relação portadora / ruído - Carrier / Noise (C / N):

- Relação em dB entre o nível máximo da portadora (*carrier*) e o patamar de ruído (*noise*).



C / N TÍPICO PARA UM SISTEMA VIA SATÉLITE

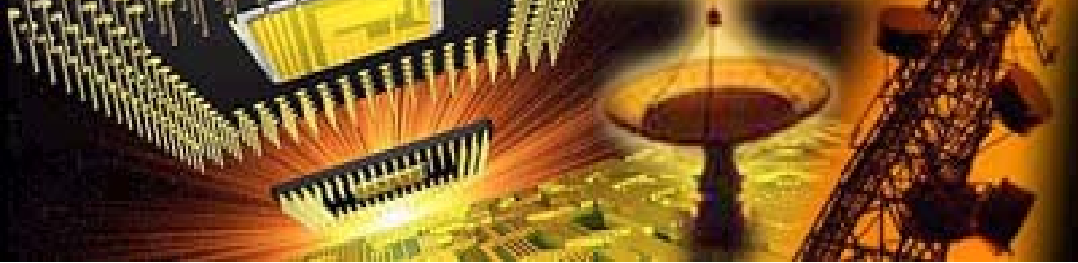


PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.13- Relação Energia de bit por densidade de ruído (Eb / No):

- Relação em dB entre a energia consumida por bit em relação ao nível patamar de ruído, ou seja, a energia ocupada pela portadora modulada.

$$E_b / N_o = (C / N) \times \frac{BW}{DR'}$$



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.14- Taxa de Erro de Bit – *Bit Error Rate* – (BER):

- Como visto anteriormente as transmissões digitais podem sofrer degradações que causam a perda de informação, ou seja, de bits transmitidos. A maneira de se mensurar esta perda de dados é através da **taxa de erro de bit** (BER), também conhecida por **probabilidade de erro de bit**.

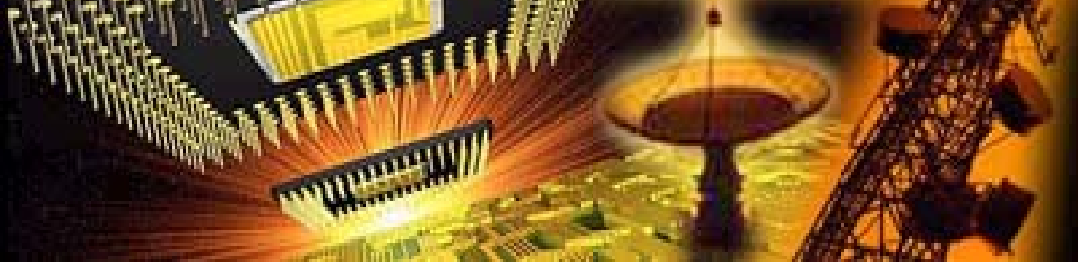
$$\text{BER} = \frac{\text{número de bits errados}}{\text{número de bits transmitidos}}$$

- Exemplo:

BER = 1×10^{-4} : significa que ocorre 1 erro de bit para cada 10 mil bits transmitidos.

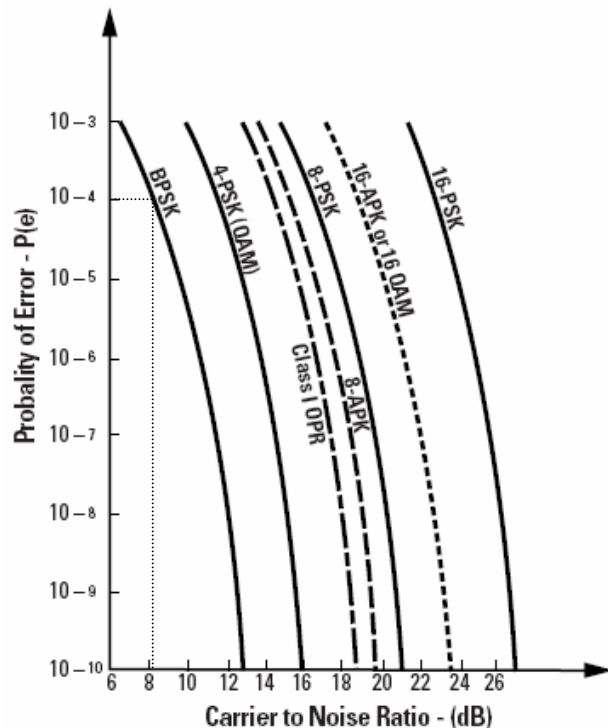
BER = 3×10^{-6} : significa que ocorrem 3 erros de bit para cada 1 milhão de bits transmitidos.

- **BERT**: *Bit Error Rate Test* é método utilizado para se medir o BER, sendo geralmente feitos por instrumentos apropriados como os analisadores de dados ou de protocolos.

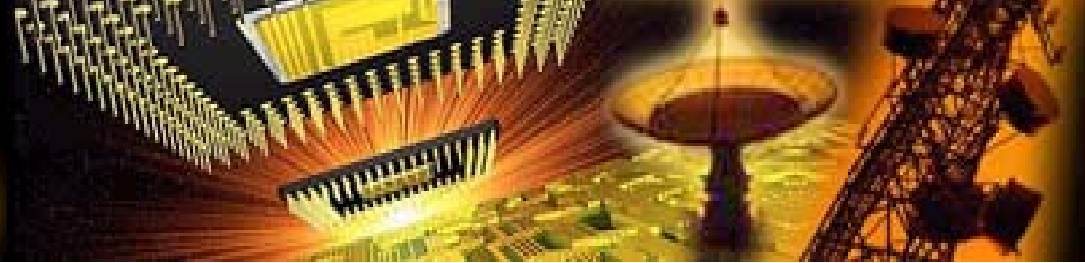


PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

- Quanto maior for a intensidade da portadora modulada menor será o BER e obviamente melhor será a transmissão de dados. A intensidade do sinal está diretamente relacionada à relação portadora ruído (C / N) e por conseguinte à energia de bit por ruído (E_b / N_o).



- para efeitos de projeto, considera-se uma probabilidade de erro ou BER aceitável de 10^{-4} .



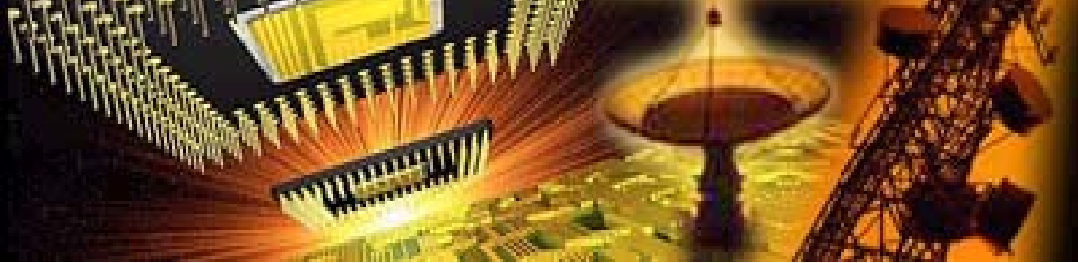
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.15- Detecção Coerente :

- Quanto o receptor utiliza uma informação de fase da portadora para detectar o sinal, o processo é chamado de **detecção coerente**.
- Vantagem: menor probabilidade de erro.
- Desvantagem: maior complexidade e custo.

3.16- Detecção Não Coerente:

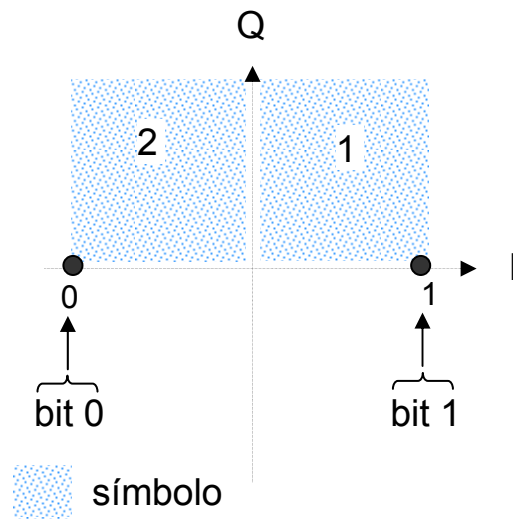
- Quanto o receptor utiliza uma informação de amplitude ou frequência da portadora para detectar o sinal, o processo é chamado de **detecção não coerente**.
- Vantagem: menor complexidade e preço.
- Desvantagem: maior probabilidade de erro.



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

3.17- Constelação:

- Existe uma maneira de representar um sinal digital modulado em uma portadora analógica conhecida como “**espaço de sinal**” ou “**constelação**”. Trata-se de um plano cartesiano representado pelos eixos $y - \sin(\omega t)$ - e $x - \cos(\omega t)$ - da portadora senoidal. A abscissa x é denominada de **I** (*In Phase*) e significa que o bit está na fase da portadora. Já a ordenada y é denominada de **Q** (*In Quadrature*) e indica que o bit está na quadratura da portadora.

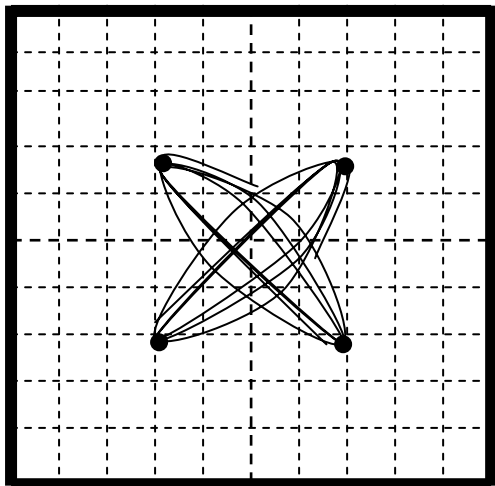




PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
PARÂMETROS DA MODULAÇÃO DIGITAL

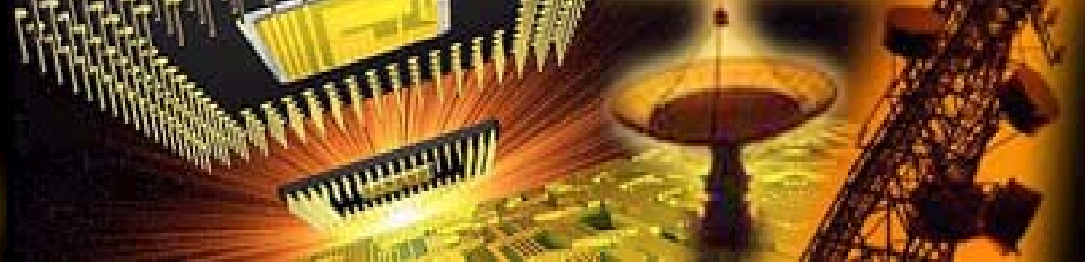
3.18- Diagrama de Olho:

- Utilizando os recursos de Lisajour em um osciloscópio é possível uma visualização da constelação de uma modulação digital, através do diagrama de olho.



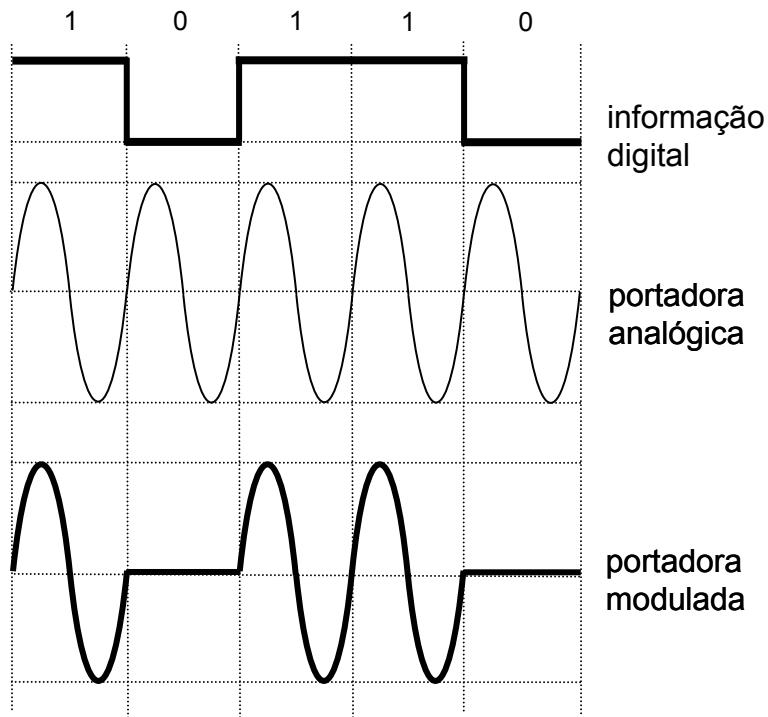
PROCEDIMENTO:

- 1- Localize os pontos de teste I e Q no modulador.
- 2- Conecte o ponto I no canal 1 (X) e o ponto Q no canal 2 (Y) de um osciloscópio duplo traço.
- 3- Desligue a base de tempo do osciloscópio (X-Y).
- 4- Com as chaves de seleção de entrada dos canais 1 e 2 do osciloscópio na posição GND, ajuste para que os pontos estejam extremamente superpostos e bem no centro da tela. Em seguida retorne as chaves para a posição AC. As escalas Volts/Div dos dois canais devem ficar com o mesmo valor.
- 5- Se o modulador estiver perfeito deverá aparecer o sinal exemplificado ao lado.



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO ASK

4- MODULAÇÃO POR DESVIO DE AMPLITUDE (ASK)



- Consiste na modificação de amplitude na portadora senoidal conforme as variações de estado lógico do sinal modulante.

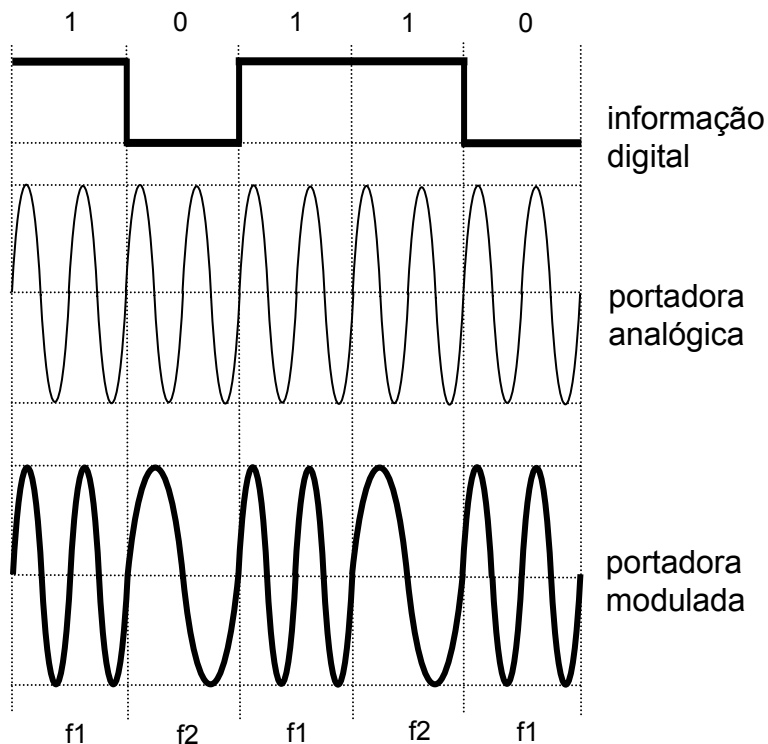
- Também conhecida por *modulação por salto de amplitude*.

ASK – Amplitud Shift Keying



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO FSK

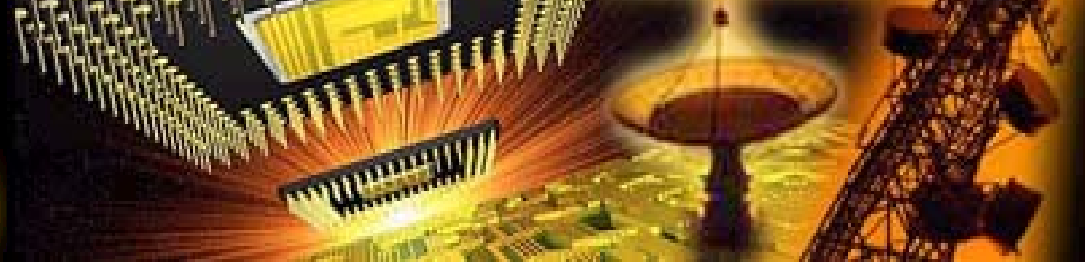
5- MODULAÇÃO POR DESVIO DE FREQUÊNCIA (FSK)



- Consiste na modificação de frequência na portadora senoidal conforme as variações de estado lógico do sinal modulante.

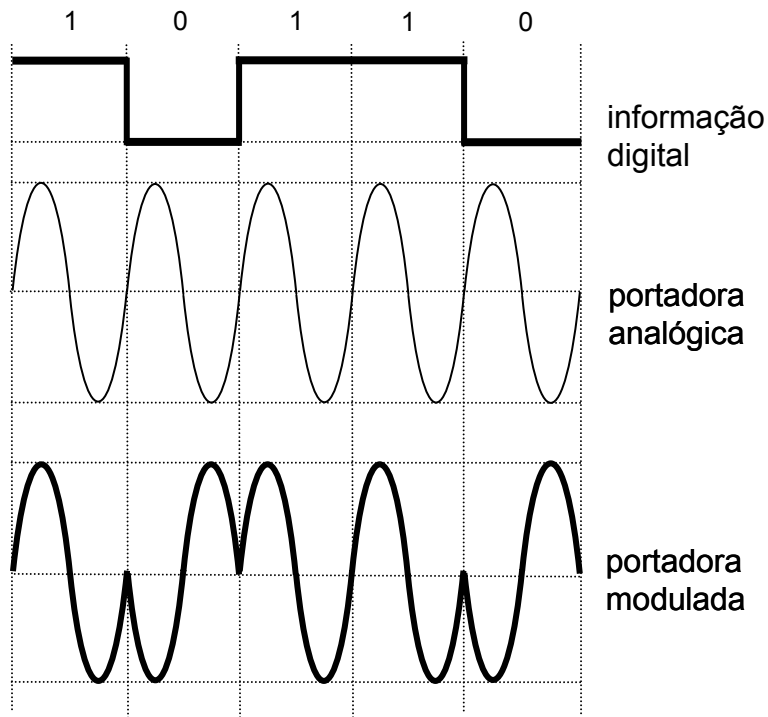
- Também conhecida por *modulação por salto de frequência*.

FSK – Frequency Shift Keying



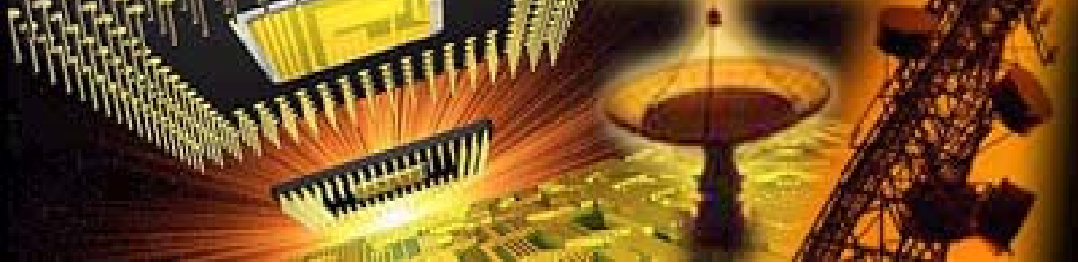
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO PSK

6- MODULAÇÃO POR DESVIO DE FASE (PSK)



- Consiste na modificação de fase na portadora senoidal conforme as variações de estado lógico do sinal modulante.
- Também conhecida por *modulação por salto de fase*.

PSK – Phase Shift Keying

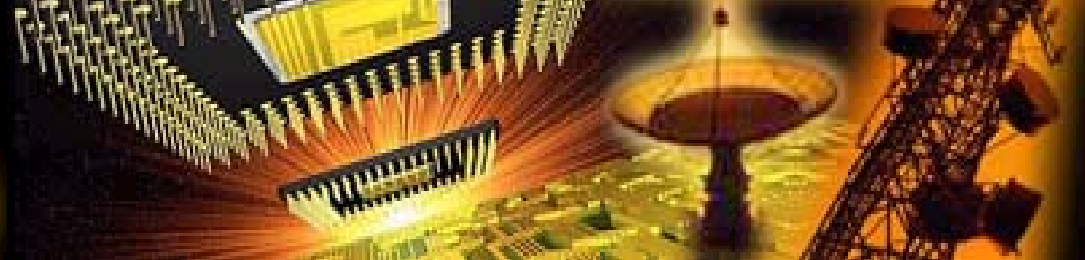


PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO BPSK

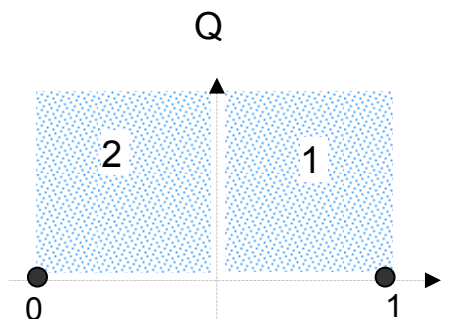
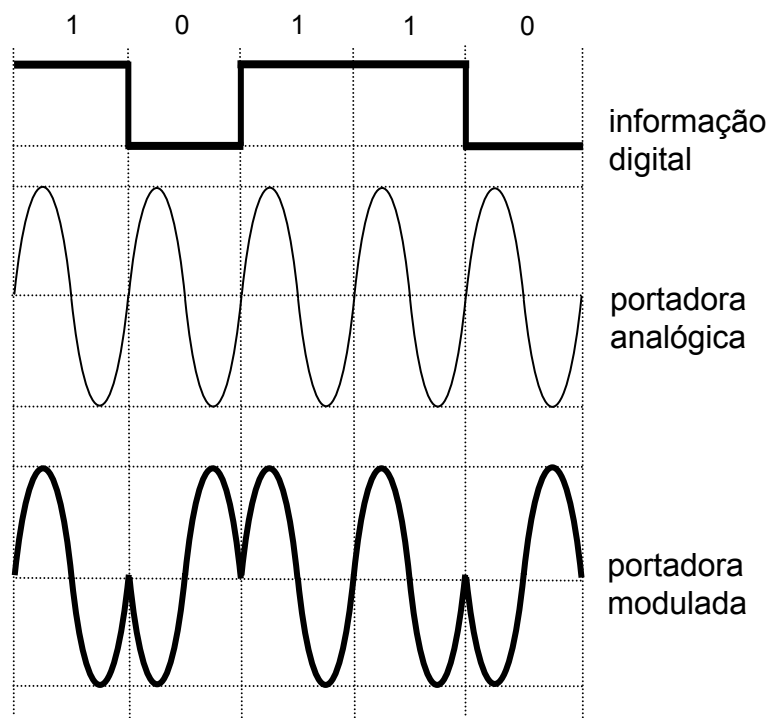
6.1- Modulação Bifásica (BPSK):

- Quando o sinal modulante for um sinal digital binário, o sinal modulado “chaveará” entre duas fases acompanhando o sinal de entrada.
- A forma mais usual de implementação da modulação BPSK é termos fase de 0° 180° (inversão de fase de um estado para o outro) .
- Também é conhecida por PRK – *Phase Reversal Keying* – ou 2-PSK. Pode ser denominada de Binária ou Bifásica.
- O índice de modulação para BPSK é:

$$M = 2^{N_{bps}} \quad N_{bps}=1 \quad M = 2^1 \quad M=2$$



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL MODULAÇÃO BPSK



 símbolo

número de símbolos = 2

número de bits por símbolo = 1

BPSK – *Bi Phase Shift Keying*



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL MODULAÇÃO BPSK

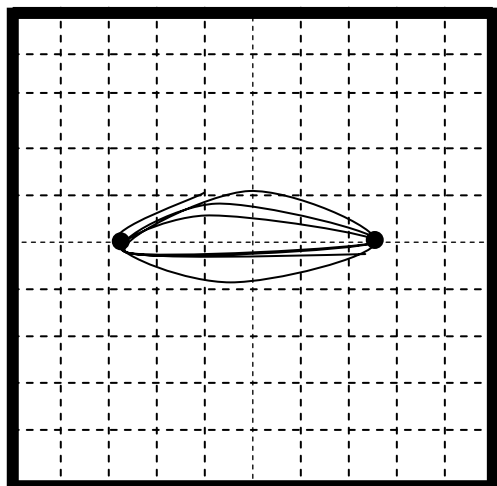
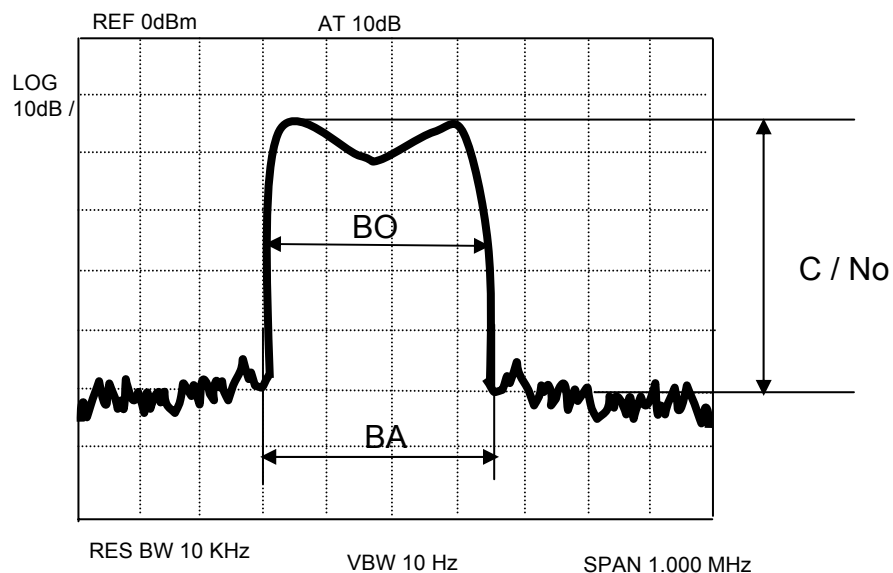
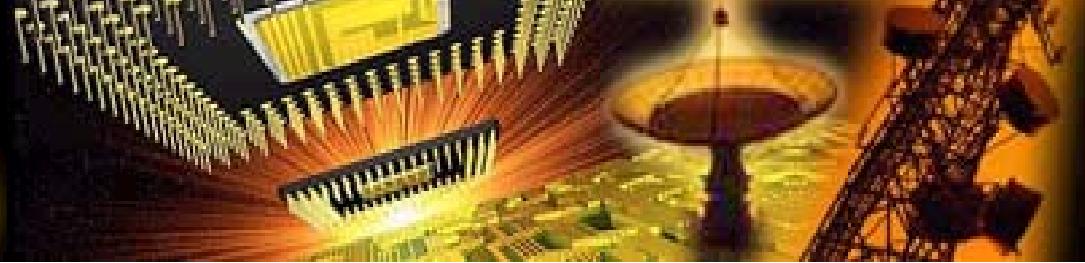


DIAGRAMA DE OLHO BPSK



PORTADORA MODULADA BPSK

BPSK – *Bi Phase Shift Keying*



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO MULTINÍVEL

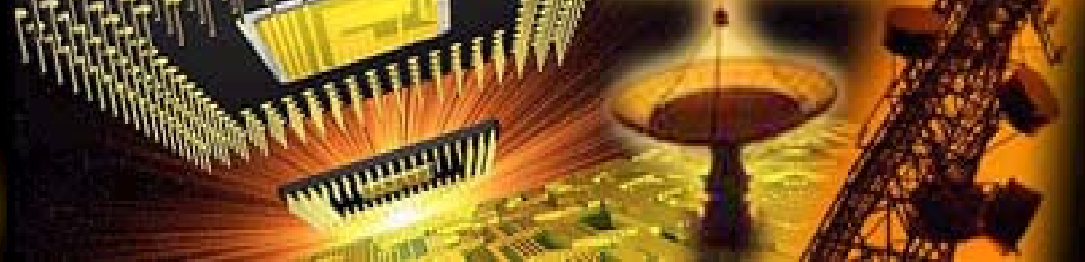
7- MODULAÇÃO MULTINÍVEL (M-ary)

- Se portadora carregar apenas um bit por ciclo, o espectro de frequência ficará limitado. Para resolver este impasse nos sistemas digitais foi criada a **modulação multi-nível**, onde cada símbolo ou estado é representado por um número N de bits que será igual a $\log_2 M$. Sendo assim:

$$M = 2^{N_{\text{bps}}}$$

M: número de estados ou índice de modulação
N_{bps}: número de bits

- A modulação FSK por natureza já pode ser considerada do tipo multi-nível, uma vez que terá quantidades diferentes de ciclos para cada bit.
- A modulação ASK quando for tipo multi-nível pode transportar dois (dibit) ou três (tribit), ficando inviável acima destes valores.
- Para a modulação PSK quando for do tipo multi-nível será denominada de M-PSK, onde M representa o número de símbolos atribuídos. As mais comuns são:
 - 4-PSK ou QPSK: 02 bits por ciclo e 04 símbolos
 - 8-PSK: 03 bits por ciclo e 08 símbolos



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO MULTINÍVEL - QPSK

7.1- Modulação em Quadratura (QPSK):

- O sinal digital binário é agrupado em conjuntos de dois bits - DIBIT.
- A cada DIBIT ocorre um desvio de 90° na fase do sinal da portadora senoidal.
- Também é conhecida por PSK em quadratura ou 4-PSK
- O índice de modulação para QPSK é:

$$M = 2^{N_{bps}} \quad N_{bps}=2 \quad M = 2^2 \quad M=4$$

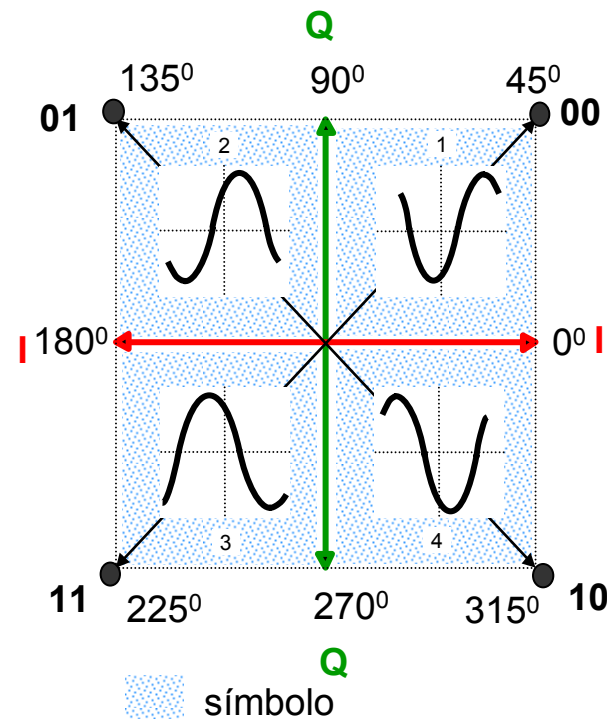
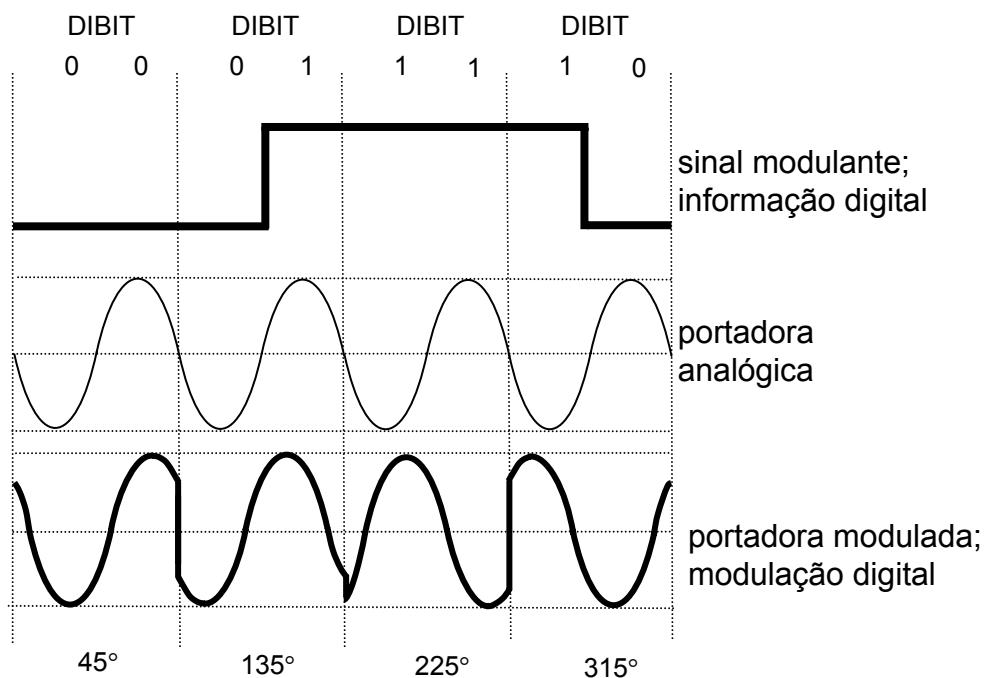
Dibit	Phase Change	
	QPSK	$\pi/4$ QPSK
00	0°	$+45^\circ$
01	$+90^\circ$	$+135^\circ$
11	$+180^\circ$	$+225^\circ$
10	$+270^\circ$	$+315^\circ$

Table 1. ITU V.26 Phase Shifts

QPSK – *Quartenary Phase Shift Keying*



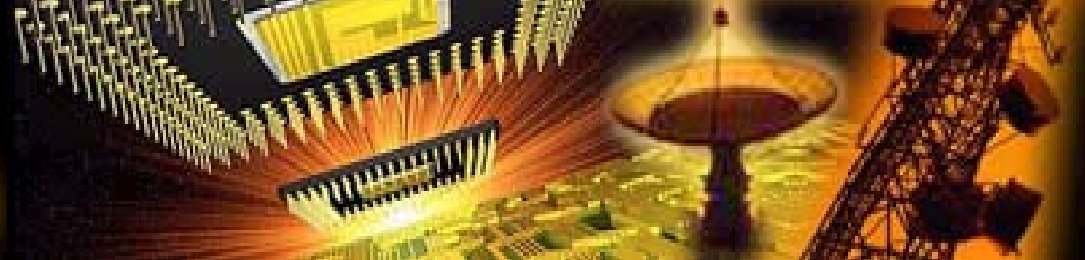
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL MODULAÇÃO MULTINÍVEL - QPSK



número de símbolos = 4

número de bits por símbolo = 2

QPSK – *Quartenary Phase Shift Keying*



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL MODULAÇÃO MULTINÍVEL - QPSK

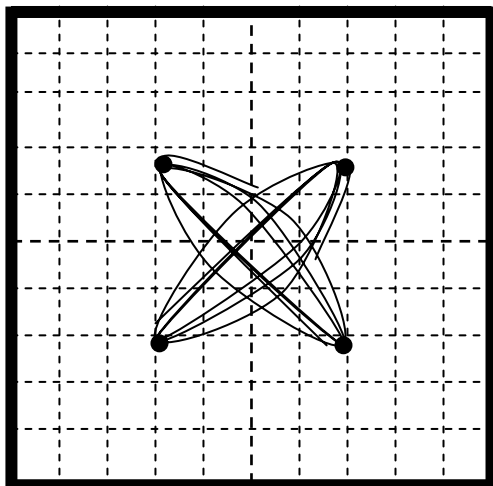
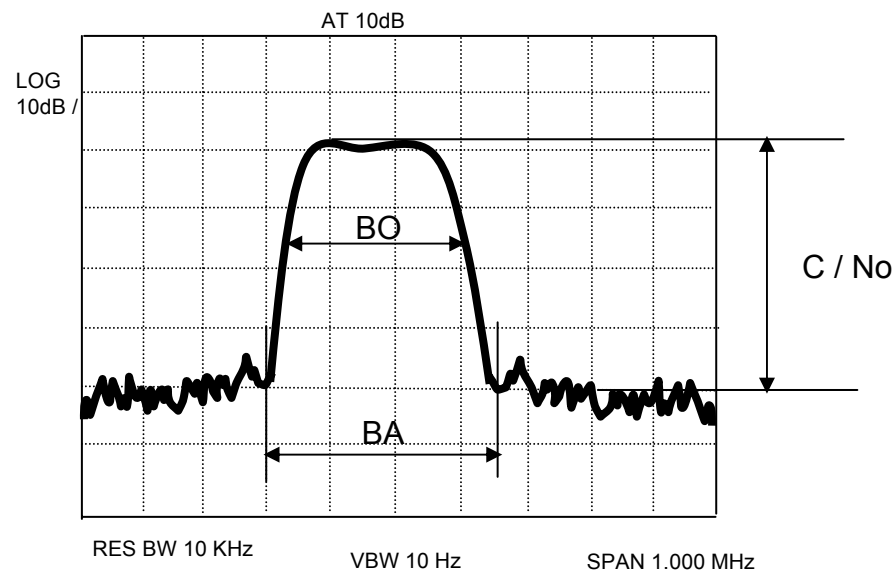


DIAGRAMA DE OLHO QPSK

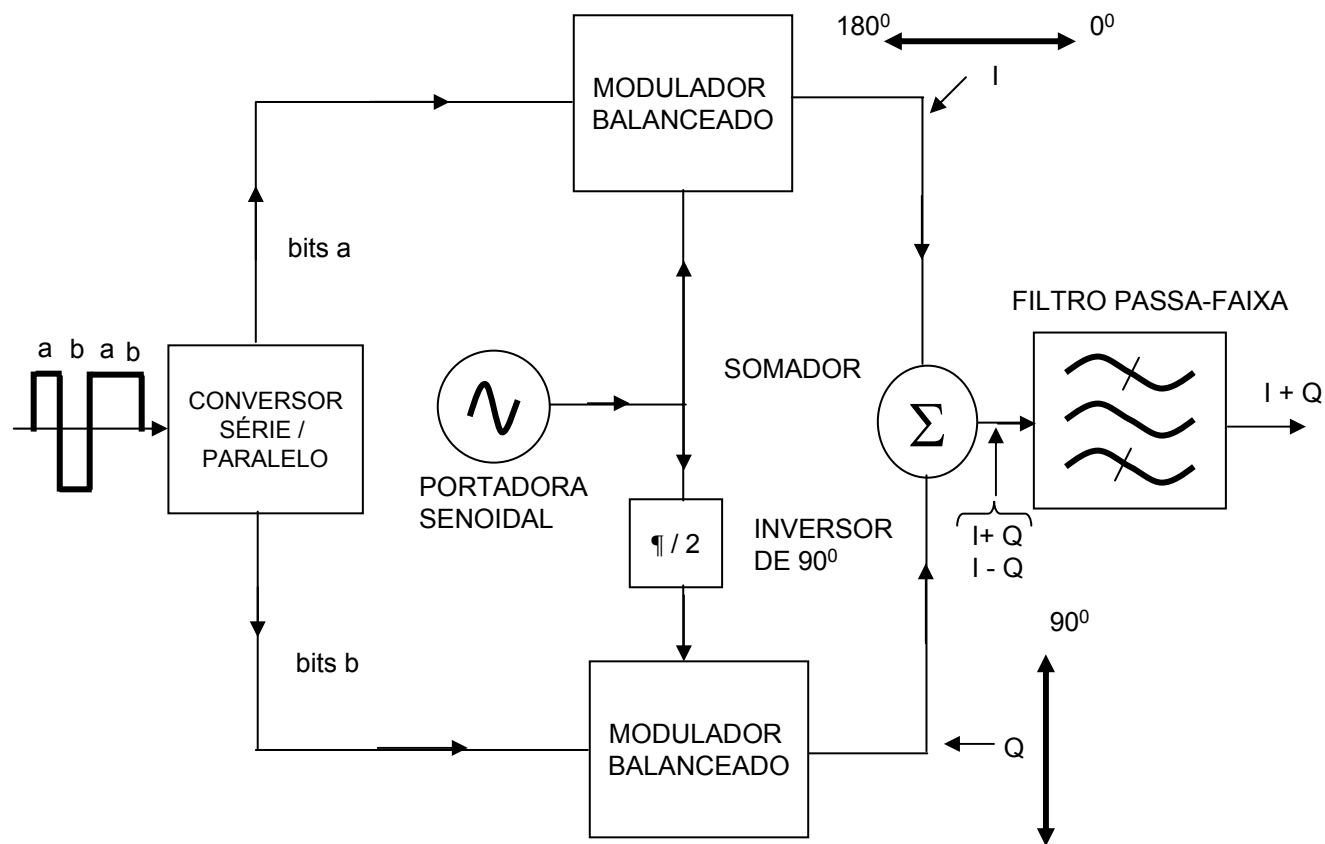


PORTADORA MODULADA QPSK

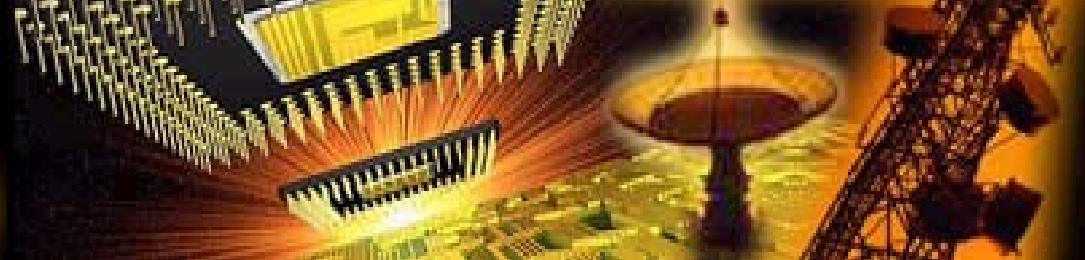
QPSK – *Quartenary Phase Shift Keying*



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL MODULAÇÃO MULTINÍVEL - QPSK



Modulador QPSK



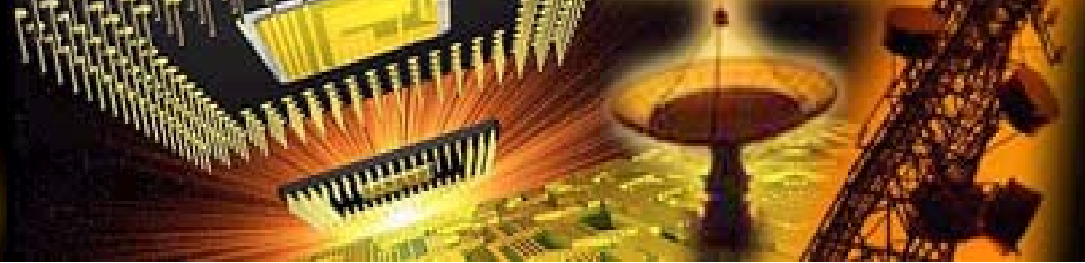
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO MULTINÍVEL – 8-PSK

7.2- Comparação entre modulações muti-nível:

número de estados por símbolo (M)	número de bits por Hertz	C/N (dB) $P_b = 10^{-4}$ BW ideal	E_b/N_o (dB) $P_b = 10^{-4}$ BW ideal
2 (BPSK)	1	8,4	8,4
4 (QPSK)	2	11,4	8,4
8	3	16,8	11,8
16	4	22,0	16,3
32	5	28,0	21,0

P_b : probabilidade de erro de 1×10^{-4}

Para valores grandes de M, o sistema M-PSK torna-se ineficiente, pois para ganhar 1 bit por Hz pagamos um aumento de 6dB no C/N.



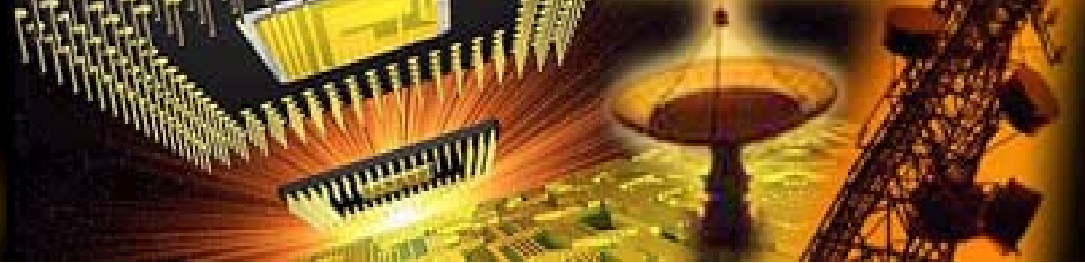
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO DIFERENCIAL

8- MODULAÇÃO DIFERENCIAL

Entre os sistemas PSK, existe ainda o PSK diferencial ou **DPSK**. É um tipo de modulação que elimina a necessidade de um sinal referência com coerência de fase no receptor para o processo de detecção. Suas principais características são:

- maior simplicidade
- pior performance (para manter a mesma eficiência o C/N deve ser maior do que seria para o M-PSK de M correspondente)

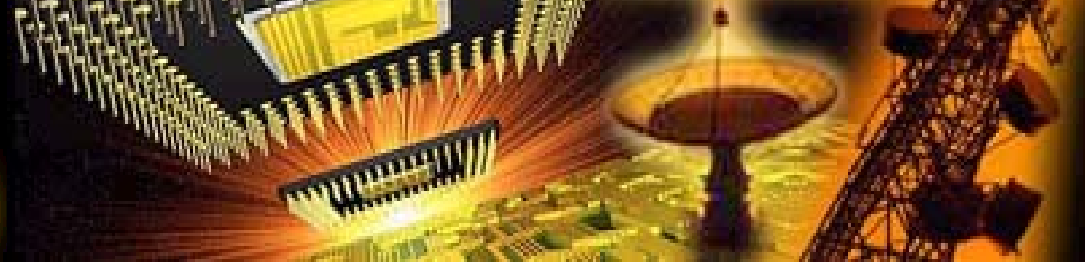
número de estados por símbolo (M)	número de bits por Hertz	C/N (dB) $P_b = 10^{-4}$ BW ideal	E_b/N_o (dB) $P_b = 10^{-4}$ BW ideal
2 (DBPSK)	1	9,4	9,4
4 (DQPSK)	2	13,5	10,5
8	3	19,3	12,3
16	4	25,0	19,3
32	5	31,0	24,0



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO EM AMPLITUDE E FASE - QAM

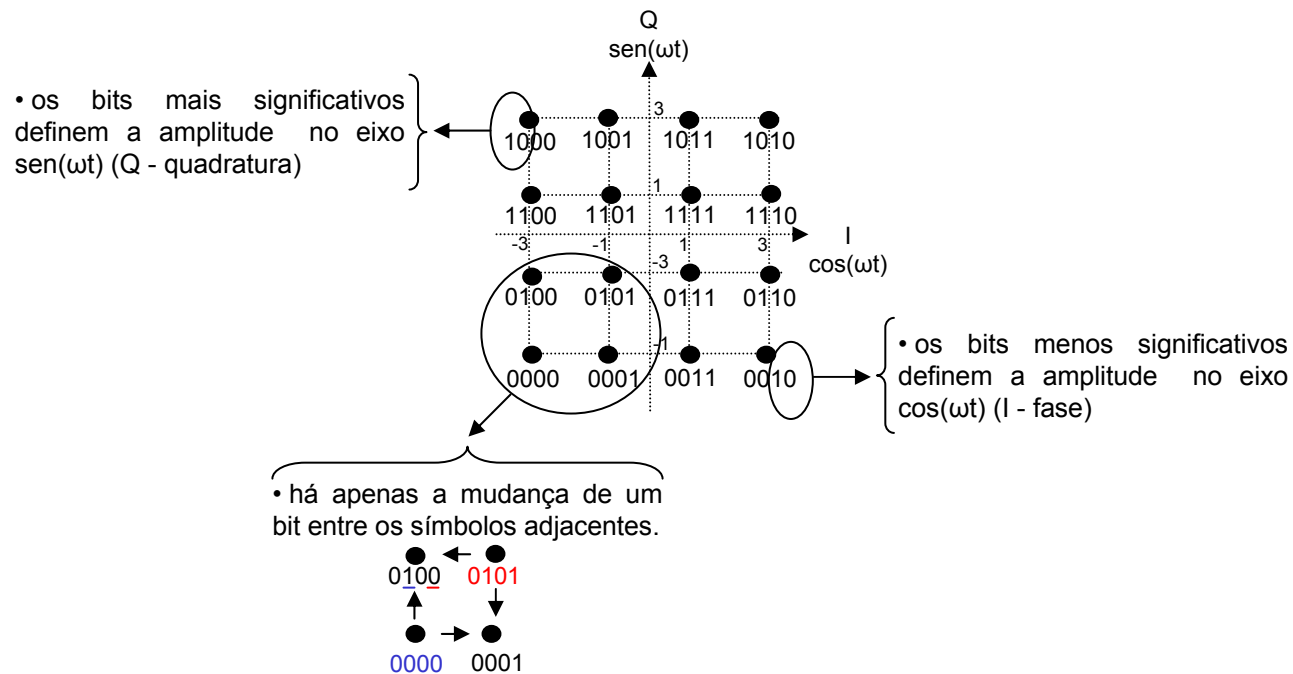
8- MODULAÇÃO EM AMPLITUDE E FASE - QAM

- Um dos problemas críticos das transmissões digitais é a necessidade de se utilizar uma faixa de transmissão bem mais larga do que a correspondente a um sistema analógico de mesma capacidade.
- Uma solução para este problema consiste em aumentar o número de estados possíveis do sinal modulado, o que é realizado pela modulação multi-nível. Entretanto, para se manter uma determinada qualidade de transmissão, expressa em termos da probabilidade de erro de bit, é necessário aumento no E_b / N_0 , que só é possível aumentando a potência transmitida.
- A **modulação em amplitude e fase (*Quadrature and Amplitude Modulation* – QAM)** é uma alternativa que permite chegar a um compromisso mais razoável entre a qualidade e o nível do sinal de recepção.
- A modulação QAM é uma combinação entre a modulação por desvio de fase (PSK) e a modulação por desvio de amplitude (ASK). Os pontos da constelação correspondentes aos símbolos devem ser rigorosamente bem distribuídos.

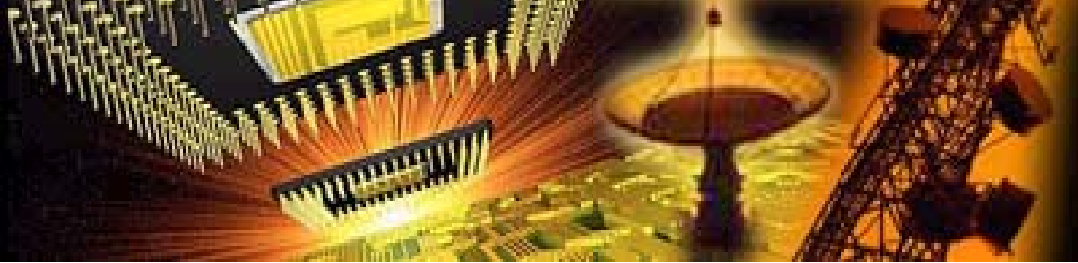


PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL MODULAÇÃO EM AMPLITUDE E FASE - QAM

- A maneira mais de comum de se quantificar em bits os pontos da constelação para uma modulação QAM é através do **mapeamento por código Gray**. A interpretação deste mapeamento é descrita abaixo:



- Tal como as modulações M-PSK, quanto maior for o número de estados, ou seja, quanto maior for o “M” maior será a eficiência espectral.



PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL
MODULAÇÃO EM AMPLITUDE E FASE - QAM

- A largura de banda mínima ($BW_{\min}$) para uma modulação QAM varia em função do número de estados, sendo calculada por:

$$BW_{\min} = \frac{DR}{\log_2 M} \quad (\text{Hz})$$

DR: *Data Rate* – taxa de bits por segundo

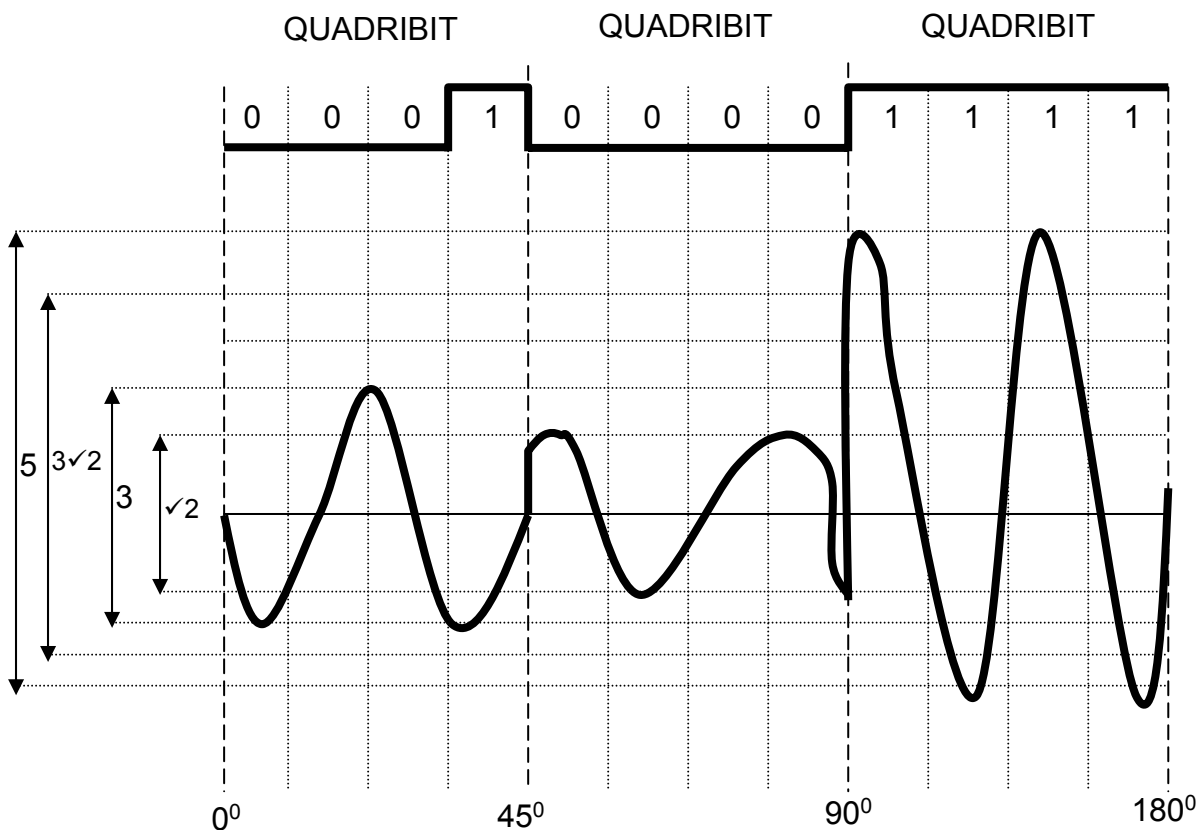
- A modulação 16QAM proporciona **04 bits** de informação para cada símbolo transmitido possuindo assim 16 estados possíveis, ou seja:

$$M=2^N \quad N=4 \quad M=2^4 \quad M=16$$

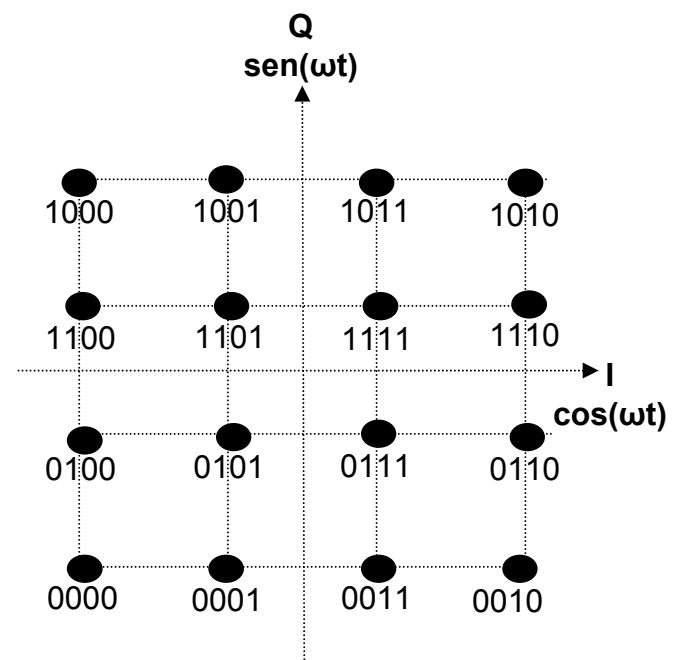
- Este grupo de quatro bits é chamado de **QUADRIBIT**.



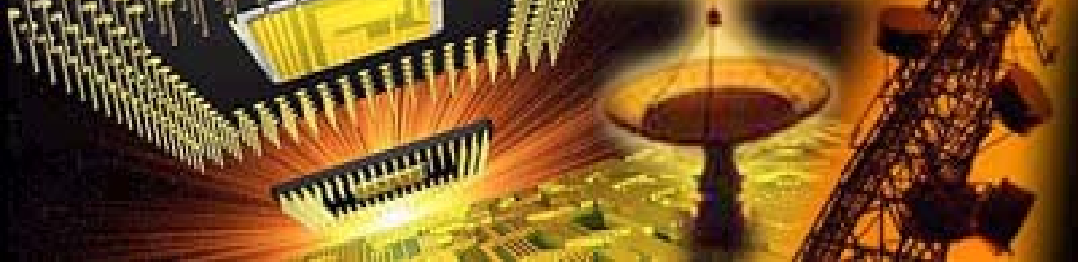
PROCESSOS DE MODULAÇÃO DIGITAL MODULAÇÃO EM AMPLITUDE E FASE - QAM



PROCESSO DE MODULAÇÃO 16QAM



CONSTELAÇÃO 16QAM



9- MODULAÇÃO DIGITAL PARA TV DIGITAL

• EXEMPLO DE CÁLCULO PARA MODULAÇÃO DIGITAL:

- Dimensionar uma transmissão digital para vídeo com os seguintes dados:

Banda Ocupada: 6MHz

ROOL OFF: IBS/IDR 40%

Modulação QPSK

FEC: $\frac{3}{4}$

Reed Solomon: 188 / 204

Calcular a Taxa de Transmissão (DR) e a Taxa de Símbolos (SR)

$$BO = (DR' \times \text{ROOL OFF}) / \text{Nbps} \quad 6 \times 10^6 = (DR' \times 1,4) / 2 \quad DR' = [2 \times (6 \times 10^6)] / 1,4$$

$$DR' = 8,571 \text{ Mbps}$$

$$DR' = DR / (\text{FEC} \times \text{RS}) \quad 8,571 \times 10^6 = DR / [(3/4) \times (188/204)] \quad DR = (8,571 \times 10^6) \times 0,691$$

$$\mathbf{DR = 5,922 \text{ Mbps}}$$

$$SR = DR' / \text{NBPS} \quad SR = (8,571 \times 10^6) / 2 \quad \mathbf{SR = 4,2855 \text{ MSymb/s}}$$