

## MODULAÇÃO PARA GSM



*Realizado por:*

Ana Luísa Martins nº 9902004  
Carla Sofia Flores nº 9902008

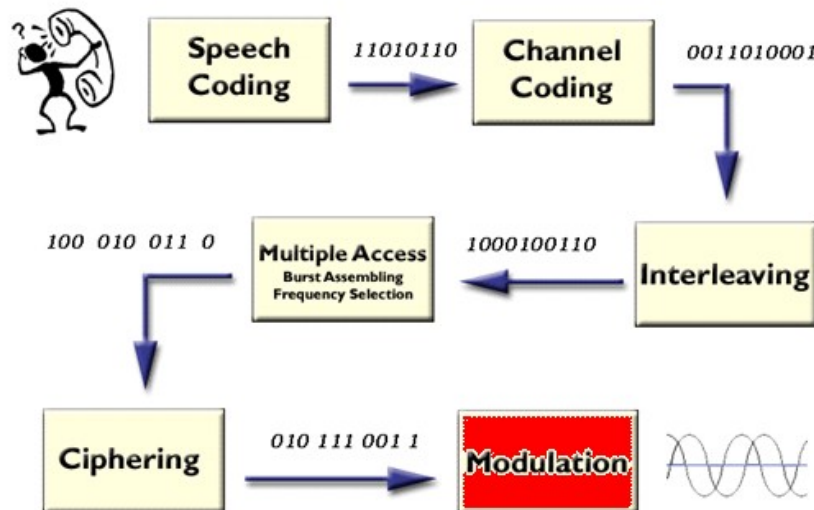


# Modulação para GSM

## 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho vamos tratar do sistema de modulação para GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis), sendo este um dos sistemas de comunicação mais usados mundialmente. Faz parte da 2ª geração dos sistemas de comunicação móvel e actualmente apenas suporta taxas de transmissão até 14,4 Kb/s e tem uma largura de Banda de 25 MHz.

Vamos proceder a uma breve explicação sobre onde é inserida a modulação do sistema GSM, fazendo uma breve referência às etapas anteriores.



*figura 1 - Diagrama de blocos para transformar o discurso em ondas de rádio*

Para decodificar esta mensagem todas as fases do processo devem ser desfeitas.

### **Codificação do Discurso (Speech Coding):**

Como sabemos a voz tem um sinal analógico e por isso tem que ser convertida para um fluxo digital de bits. GSM usa uma modulação pulso codificado para digitalizar a voz e depois usa a percentagem total do discurso para remover a redundância no sinal e obter uma taxa de bits de 13 Kb/s.

### **Codificação do Canal (Channel Coding):**

Depois do discurso ser codificado para um fluxo de bits, vão-se adicionar bits ao fluxo para que o receptor possa reconhecer e corrigir erros nesse fluxo, que possam ter ocorrido durante a transmissão. GSM usa uma técnica chamada codificação convolucional.

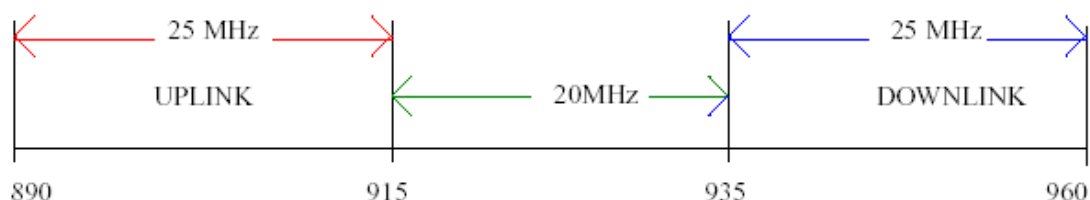


### **Interleaving:**

Este é o processo de alinhamento de bits, permite aos algoritmos de correção de erros, corrigir os erros ocorridos durante a transmissão, minimizando a possibilidade de perda de código.

### **Acesso Múltiplo (Multiple Access):**

A frequência usada para o caminho de uplink (do telemóvel para a estação de base) é de 890 – 915 MHz e para o caminho de downlink (da estação de base para o telemóvel) é de 935 – 960 MHz. A cada utilizador é dado este par de frequências (uplink e downlink) e ainda uma abertura de tempo.



*figura 2 – Largura de Banda para Uplink e Downlink para GSM*

A GSM permite que muitos utilizadores utilizem o telemóvel simultaneamente, devido a utilizar uma combinação TDMA (Time Division Multiple Access) e FDMA (Frequency Division Multiple Access) para partilhar as larguras de banda que são fornecidas.

FDMA divide o espectro de frequências em pequenas porções, que são fornecidas ao utilizador. Como o espectro de rádio é limitado e os utilizadores não deixam de utilizar as frequências fornecidas até terem finalizado o pretendido, o número de utilizadores no sistema pode ser limitado. Enquanto o número de utilizadores aumenta, o espectro de frequências também aumenta. TDMA permite assim que muitos utilizadores partilhem um canal comum.

### **Ciphering:**

É usado para codificar os dados de modo a ninguém escutar conversas alheias.

Em GSM as duas partes envolvidas em codificar e decodificar os dados são o AUC (Centro de Autenticação) e o cartão SIM do telemóvel. Cada cartão SIM contém um único código secreto que é conhecido pelo AUC. O AUC e o cartão SIM seguem um par de algoritmos para primeiro autenticar o utilizador e depois codificar e decodificar os dados.



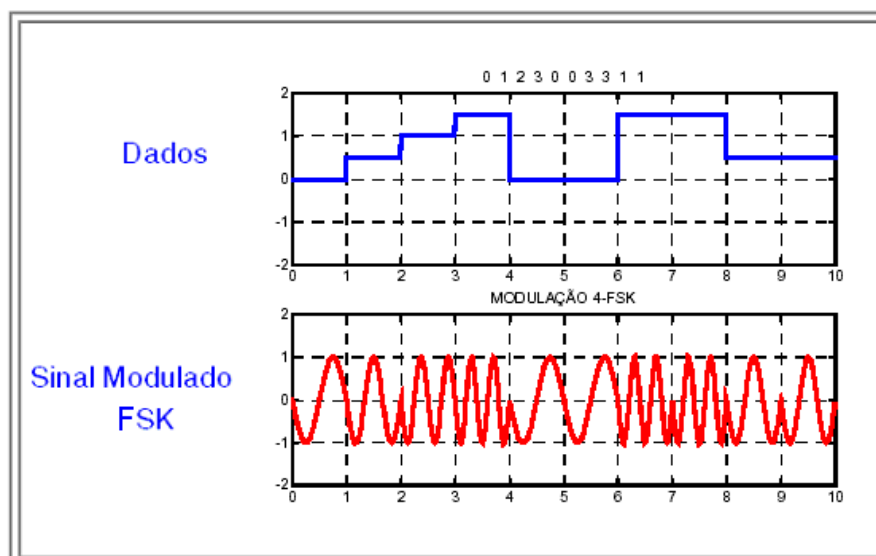
## 2. DESENVOLVIMENTO

Um sistema de comunicação móvel apresenta algumas exigências no que diz respeito aos esquemas de modulação. Dentre dessas exigências pode-se citar: reduzida complexidade de implementação, robustez contra desvanecimentos por multipercursos, envoltória filtrada constante e eficiência espectral adequada.

Os terminais móveis devem possuir dimensões reduzidas e baixo custo e, para que isso seja possível a complexidade de circuitos utilizados também deve ser reduzida. Nesse aspecto, atenção especial é dada às técnicas de modulação baseadas em FSK (Frequency Shift Keying ) e PSK (Phase Shift Keying).

### FSK (Frequency Shift Keying )

A essência da FSK é fazer uma mudança à frequência da portadora para representar um nível diferente, tem a vantagem de ser muito simples de gerar e simples de demodular, mas tem a desvantagem de ter uma fraca eficiência espectral.



*figura 3 – Forma do Sinal FSK*



## PSK (Phase Shift Keying)

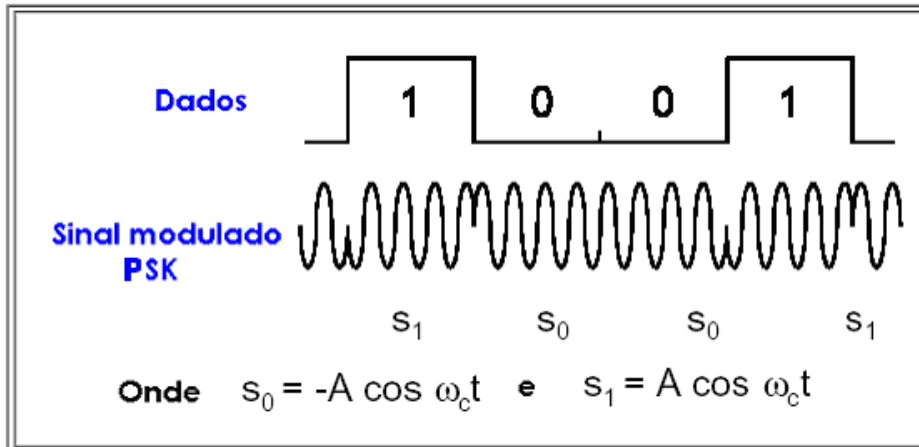


figura 4 – Forma do Sinal PSK

O sinal M-ary PSK é dado por:

$S_i(t) = \sqrt{2Eb/Tb} \times \cos(2\pi f_c t + i2\pi / M + \phi_0)$ ,  $0 \leq t \leq T_s$ , onde  $\phi_0$  é um termo fixo de fase.

## BPSK (Binary Phase Shift Keying)

O sinal BPSK é dado por:

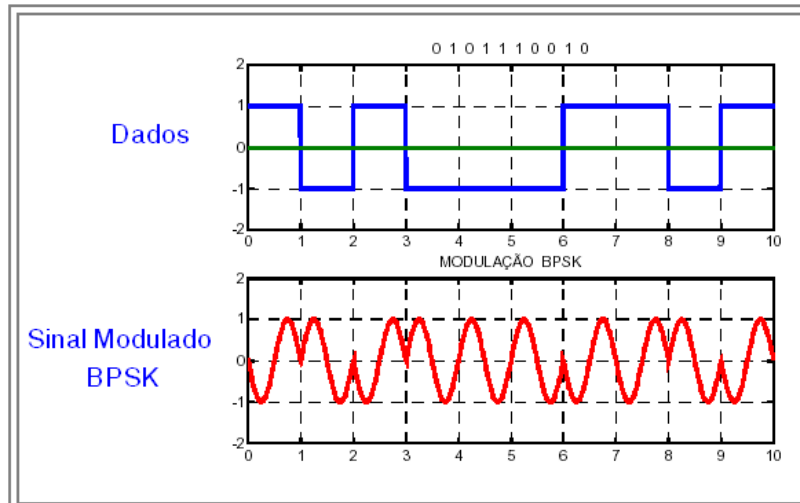
$M = 2$ ,  $n = \log_2 M = 1$ ,  $S_i(t) = \sqrt{2Eb/Tb} \times \cos(2\pi f_c t + i\pi + \phi_0)$ ,  $i = 0, 1$ , normalmente  $\phi_0 = 0$

Fazendo:  $\phi_1(t) = \sqrt{2/Tb} \times \cos(2\pi f_c t)$

- $S_1(t) = \sqrt{Eb} \times \phi_1(t)$
- $S_2(t) = -\sqrt{Eb} \times \phi_1(t)$



figura 5 - Constelação de Sinais BPSK:



*figura 6 – Forma do sinal BPSK*

### QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

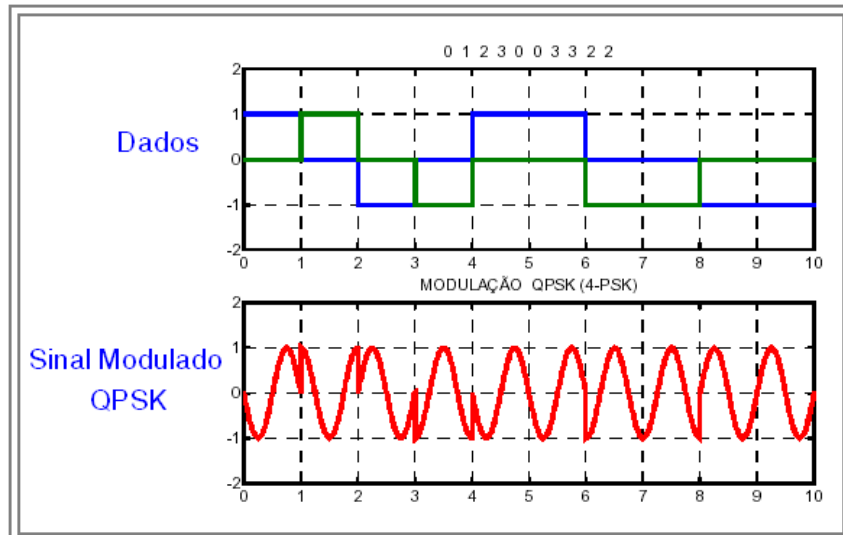
É uma técnica de modulação multinível onde cada sinal carrega 2 bits, tendo o dobro da eficiência espectral do BPSK.

O sinal QPSK é dado por:

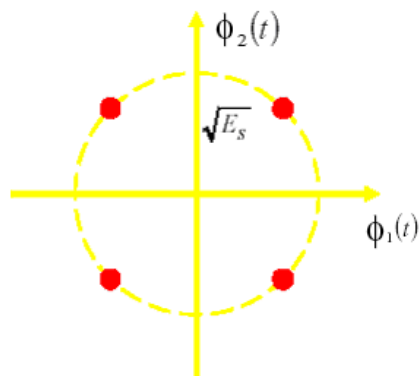
$M = 4$ ,  $n = 2$ ,  $S_i(t) = \sqrt{2E_b/T_b} \times \cos(2\pi f_c t + i\pi/2 + \phi_0)$ ,  $i = 0,1,2,3$  normalmente  $\phi_0 = 0$  ou  $\pi/4$

As fases encontram-se separadas de  $90^\circ$  ( $\pi/2$  rad):

- $S_{00}(t) = \sqrt{E_s} \times \cos(\pi/4)\phi_1(t) + \sqrt{E_s} \times \text{sen}(\pi/4)\phi_2(t)$
  - $S_{01}(t) = -\sqrt{E_s} \times \cos(3\pi/4)\phi_1(t) + \sqrt{E_s} \times \text{sen}(3\pi/4)\phi_2(t)$
  - $S_{11}(t) = -\sqrt{E_s} \times \cos(5\pi/4)\phi_1(t) - \sqrt{E_s} \times \text{sen}(5\pi/4)\phi_2(t)$
  - $S_{10}(t) = \sqrt{E_s} \times \cos(7\pi/4)\phi_1(t) - \sqrt{E_s} \times \text{sen}(7\pi/4)\phi_2(t)$
- $\phi_1(t) = \sqrt{2/T_b} \times \cos(2\pi f_c t)$
  - $\phi_2(t) = \sqrt{2/T_b} \times \text{sen}(2\pi f_c t)$



*figura 7 – Forma do Sinal QPSK*



*figura 8 - Constelação de Sinais QPSK:*



## OQPSK (Off-set Quadrature Phase Shift Keying)

A modulação OQPSK é baseada na modulação QPSK e tem como objectivo a redução das transições de fase do sinal modulado, limitando-as a um máximo de  $90^\circ$  e possibilitando assim a sua utilização com amplificadores não lineares.

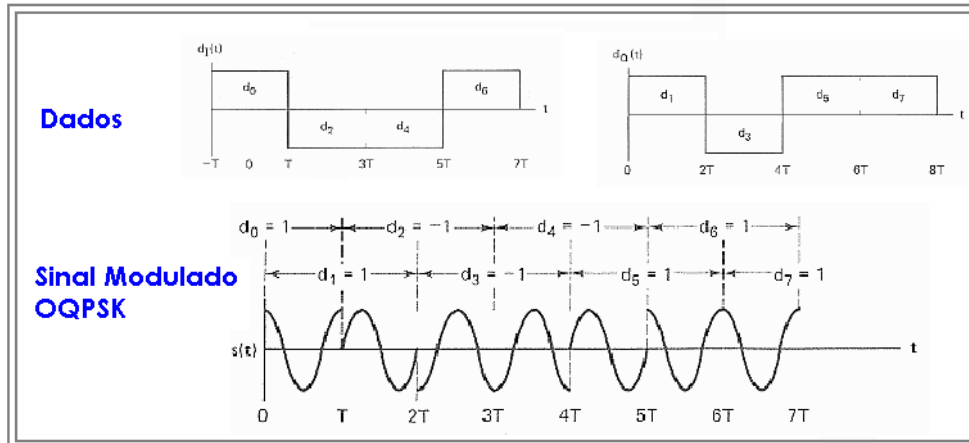


figura 9 – Forma do sinal OQPSK

## MSK (Minimum Shift Keying)

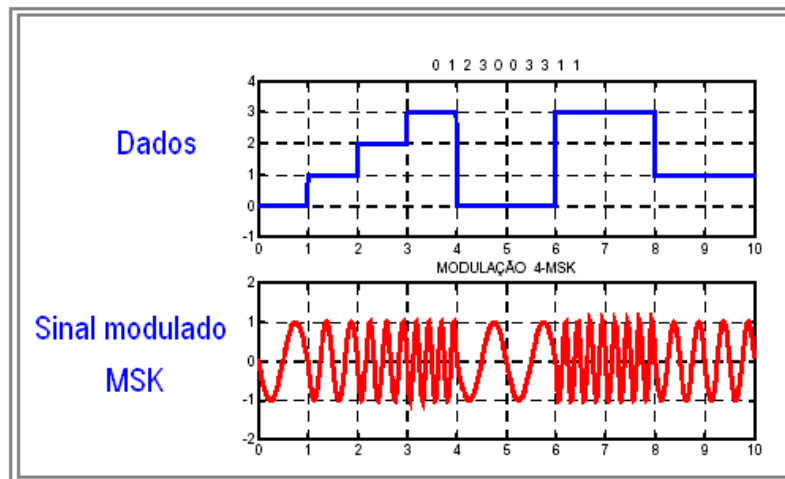
A modulação MSK deriva de OQPSK, substituindo o pulso rectangular em amplitude por um pulso sinusoidal de meio-ciclo. Embora seja uma modulação FSK com a separação mínima entre as portadoras utilizadas de modo a garantir a ortogonalidade entre elas. Essa ortogonalidade é imprescindível a uma detecção confiável do sinal recebido, pois sinais ortogonais são independentes, ou seja, facilmente diferenciáveis.

Das técnicas de modulação digital para comunicações móveis a MSK apresenta menor complexidade de implementação. Por se tratar de uma modulação em frequência, a técnica MSK apresenta envoltória filtrada constante, o que viabiliza a utilização de amplificadores de potência não lineares nos transceptores. A robustez contra os efeitos do canal de comunicação é também uma característica da modulação MSK. O espectro do sinal modulado é o que possui largura de faixa de lóbulo principal maior dentre as demais técnicas utilizadas em comunicações móveis, mas apresenta queda de energia com a frequência relativamente abrupta, facilitando o processo de filtragem na transmissão.

O sinal MSK é dado por:

$$s(t) = b_{Id}(t) \cos\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right) + b_{Qd}(t) \sin\left(\frac{\pi t}{2T}\right) \sin\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right)$$





*figura 10 – Forma do sinal MSK*

### **GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)**

Finalmente chegamos à modulação usada actualmente para GSM, ou seja, GMSK. Esta modulação foi seleccionada entre outros esquemas de modulação como um compromisso entre eficiência espectral, complexidade do transmissor e emissões limitadas.

GMSK é uma modificação da técnica MSK, na qual a sequência de bits de entrada do modulador é filtrada por um filtro passa-baixo com resposta a um pulso rectangular gaussiana. A saída desse filtro é então responsável por modular em MSK as portadoras utilizadas.

#### Efeito do filtro:

- No domínio da frequência → conformar os pulsos de entrada do modulador MSK tornando as transições de frequência mais suaves e, com isso, reduzindo a largura de faixa do lóbulo principal do sinal modulado, tendo como consequência uma maior eficiência espectral.
- No domínio do tempo → o filtro Gaussiano converte o sinal de resposta completo para um sinal de resposta parcial, tendo como consequência uma percentagem de erro irreduzível de interferência entre símbolos.

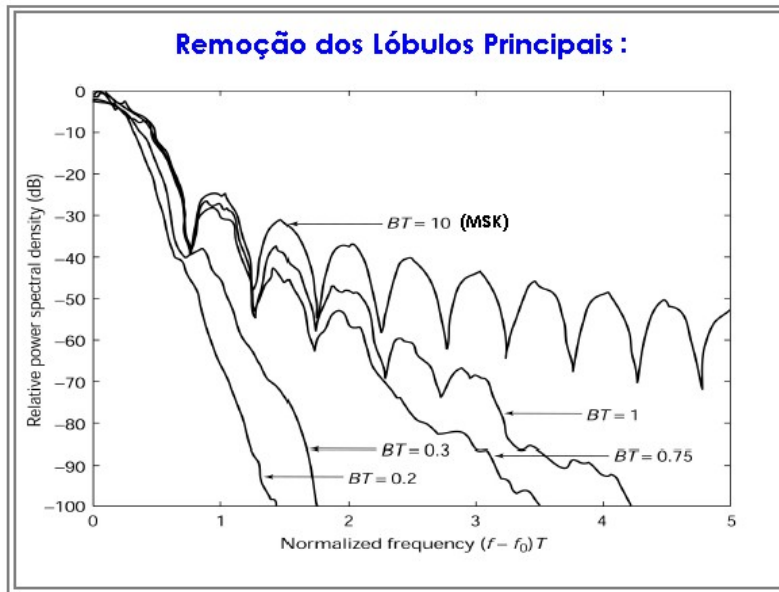


figura 11

Um parâmetro que caracteriza a modulação GMSK é o produto BT, onde B é a largura de faixa do filtro Gaussiano e T é a duração de um bit de entrada do modulador. A figura seguinte ilustra a resposta a um pulso rectangular do filtro conformador da modulação GMSK. Em GMSK, valores baixos de BT, geram uma interferência entre símbolos significante (ISI). Se o produto BT for inferior a 0,3 torna-se necessário eliminar essa ISI, por isso os projectistas do sistema GSM usam BT = 0,3 com taxa de transferência de dados de 270,8 Kbs. (Nota: para BT = ∞ a modulação GMSK reduz-se à modulação MSK)

- A resposta a Impulso Gaussiano é dada por:  $h_G(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{\alpha} \exp(-\frac{\pi^2}{\alpha^2} \times t^2)$

- Cujas função transferência é:

$$H_G(f) = \exp(-\alpha^2 f^2), \text{ onde } \alpha = \frac{\sqrt{\ln 2}}{\sqrt{2} \times B} = \frac{0,5887}{B}, B = 3dB(\text{largura\_de\_banda\_do\_filtro})$$

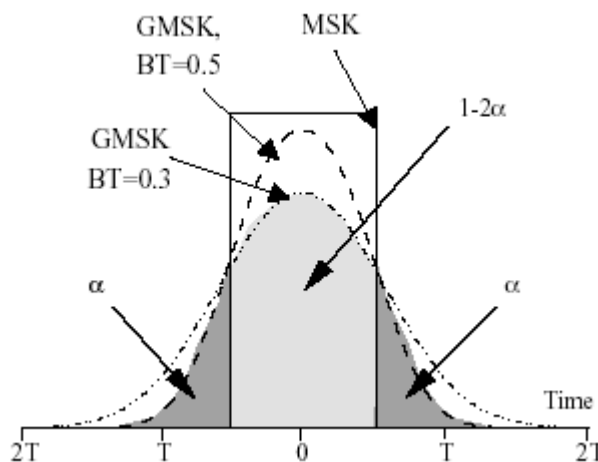


Figura 12 - Forma do pulso GMSK e ISI ( $\alpha$ )



Existem 2 métodos para gerar GSMK:

1) GSMK implementado por FSK com FM-VCO

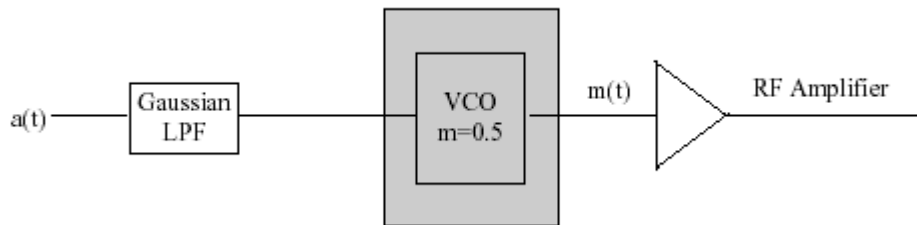


figura 13

2) GSMK implementado por QPSK

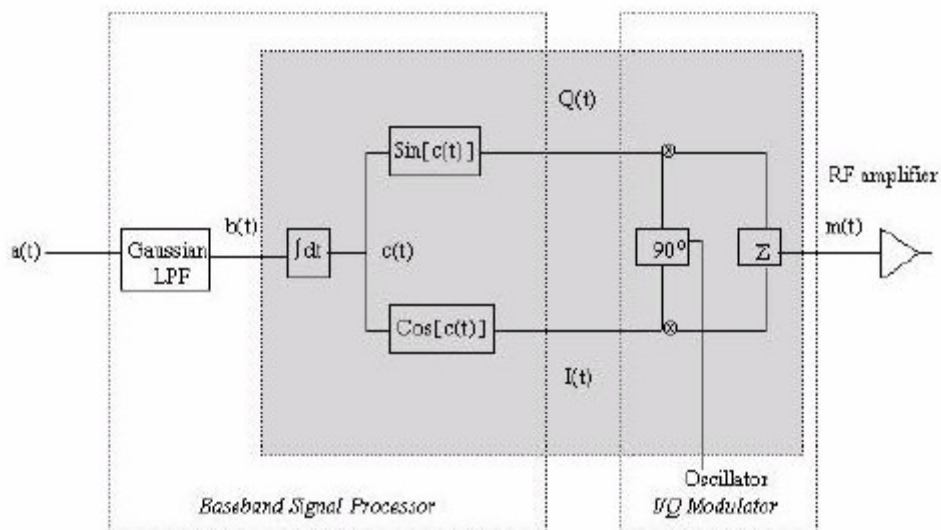


figura 14

As áreas sombreadas das figuras acima desempenham as mesmas funções.

A arquitectura moduladora-VCO (Voltage Controlled Oscillator) de GSMK, como foi mostrado em 1) é simples, mas não serve para uma demodulação coerente devido a problemas de tolerância de componentes. Este método requer que o factor de divergência de frequências do VCO seja exactamente igual a 0.5, mas o índice de modulação do VCO convencional varia com o tempo e temperatura.

A implementação do 2) emprega um processo de quadratura “baseband” seguido por uma quadratura moduladora. Com esta implementação, o índice modulador pode ser mantido exactamente a 0.5. Sendo também este método mais barato de implementar.



O sinal GMSK é dado por:

$$S_{GMSK}(t) = \sqrt{2E/Tb} \times \cos \left[ 2\pi ft + \pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} q_g(t - nT) \right],$$

onde  $q_g(t)$  é resposta em fase de GMSK  $\int_0^t v(u)du, 0 \leq t \leq T$

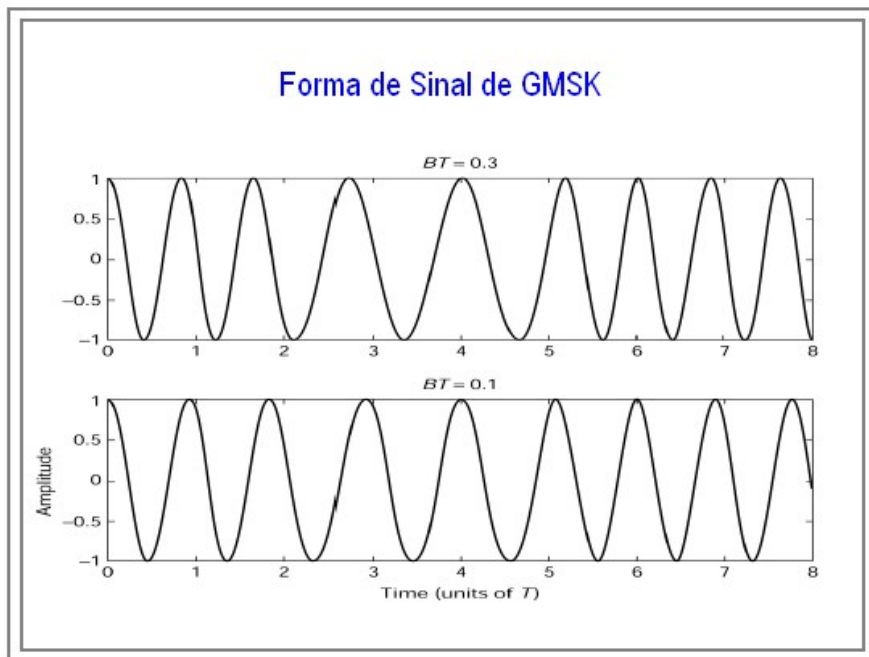


figura 15

Diagrama de Constelação do Sinal GMSK

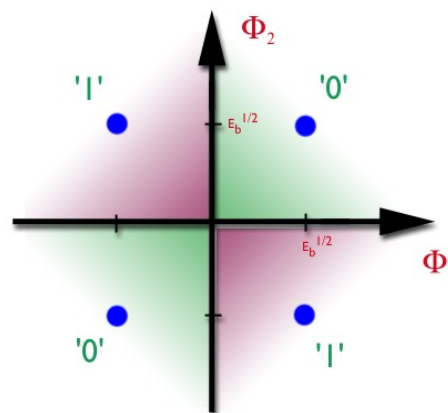
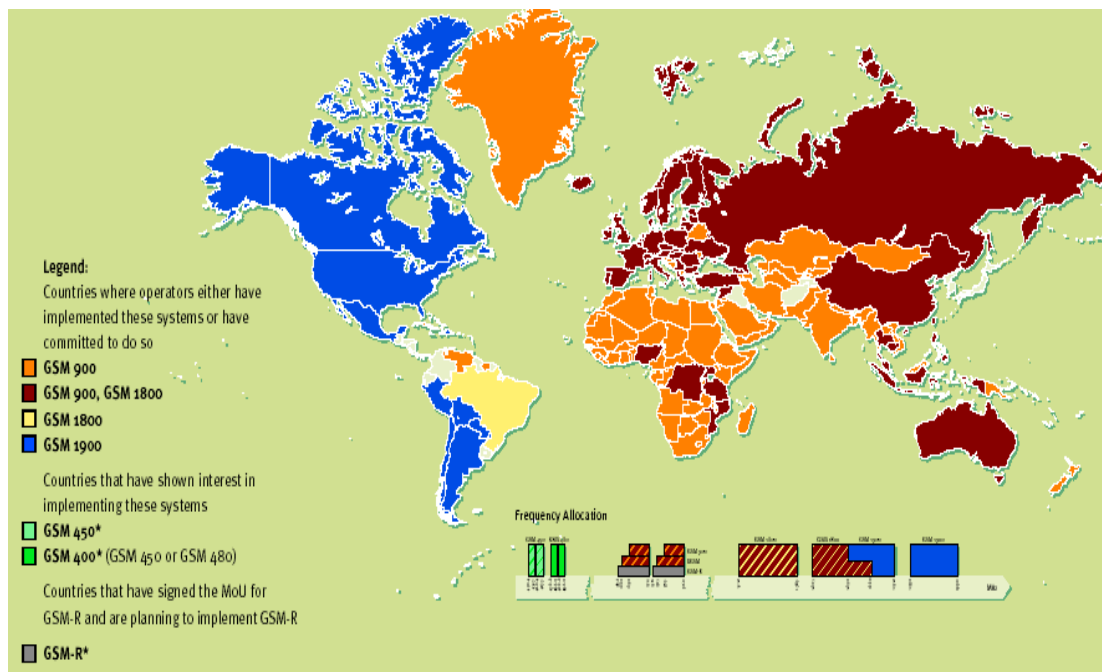


figura 16



## Evolução GSM para a EDGE e a UMTS

As operadoras que empregam a GSM hoje em dia possuem uma tecnologia capaz e poderosa que não apenas se iguala às tecnologias concorrentes, mas que é também um padrão global empregado em quase todos os países do mundo. Figura abaixo:



*figura 17 – GSM World 2001/2002*

A GSM é uma tecnologia em constante evolução, os próximos marcos importantes são a EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) [Taxa de Dados Ampliados para a Evolução GSM] e o UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) [Sistema de Telecomunicações Móveis Universal]. Estas duas tecnologias trazem novos benefícios para elevar a capacidade de voz.

Um benefício específico para as operadoras é que uma mesma rede central suportará todas as redes de acesso de rádio, permitindo que as operadoras GSM empreguem selectivamente a EDGE e a UMTS conforme necessário ou desejável para capacidades e serviços adicionais. Isto é denominado rede de rádio múltipla UMTS.

### EDGE

É uma tecnologia de rádio que trabalha em conjunto com as tecnologias GSM e GPRS para proporcionar taxas de dados mais altas, chegando até 473 Kb/s na rede, taxas de dispositivo de pico de 236 Kb/s e com taxas normais de usuário de 80 a 130 Kb/s. Embora a principal motivação para as operadoras seja a possibilidade de oferecer taxas de dados mais altas, a EDGE também proporcionará melhorias na capacidade de voz.

A EDGE funciona seleccionando dinamicamente a codificação canal (a quantidade de correcção de erro em relação à carga útil) e a modulação, proporcionando o rendimento mais rápido possível com base nas condições de rádio actuais. Enquanto a GSM e a



---

GPRS utilizam como esquema de modulação a GMSK, a EDGE utiliza tanto a GMSK como a 8-PSK.

## **UMTS**

É um sistema de telecomunicações poderoso que está a começar a ser utilizado pelas operadoras em todo o mundo. A UMTS oferece funções que tornam particularmente atraente a actualização a partir da GSM . Primeiramente, a UMTS suporta dados de alta velocidade até 10 Mb/s com o novo HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) [Acesso ao Pacote Downlink de Alta Velocidade]. Segundo, a UMTS não requer a substituição total do equipamento e da infra-estrutura do usuário. As operadoras podem empregar a UMTS de maneira progressiva, com redes GSM e UMTS em funcionamento numa mesma área. Os novos terminais móveis multi-modo suportaram a GSM, GPRS, EDGE e UMTS. A GSM proporcionará cobertura em áreas contínuas amplas e a UMTS pode proporcionar capacidade de voz adicional e serviços de dados avançados inicialmente nas áreas mais densamente povoadas e por fim em todas as áreas de cobertura.



---

## BIBLIOGRAFIA

1. J. Scourias, "Overview of the Global System for Mobile Communications," [Online document], October 1997, Available HTTP: <http://ccnga.uwaterloo.ca/~jscouria/GSM/gsmreport.html>
2. J.G. Sempere, "An overview of the GSM system by Javier Gozalvez Sempere," [Online document], April 1998, Available HTTP: <http://www.comms.eee.strath.ac.uk/~gozalvez/gsm/gsm.html>
3. D. Margrave, "GSM Security and Encryption," [Online document], Available HTTP: <http://www3.l0pht.com/~oblivion/blkrwl/cell/gsm/gsm-secr/gsm-secr.html>
4. Appendix D – Digital Modulation and GMSK – University of Hull
5. Appendix C – GSM System and Modulation Description – University of Hull
6. Nokia, "A comparison between EDGE and Alternative Technologies", 5 de Junho de 2001 , <http://www.3Gamericas.org>