

CONCEITOS BÁSICOS SOBRE TELEFONIA

MÓVEL CELULAR DIGITAL

Prof. Dr. Paul Jean Etienne Jeszensky

PEE - Departamento de Engenharia Eletrônica

EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

LCS - Laboratório de Comunicações e Sinais

pjj@lcs.poli.usp.br

011-818-5290

ÍNDICE

- 1- INTRODUÇÃO
- 2- AMPS (ADVANCED MOBILE PHONE SYSTEM)
- 3- GSM (GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION)
- 4- CT-2 (CORDLESS TELEPHONE SECOND GENERATION)
- 5- DECT (DIGITAL EUROPEAN CORDLESS TELEPHONE)
- 6- D-AMPS IS-54/IS-136 (DIGITAL ADVANCED MOBILE PHONE SYSTEM)
- 7- SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO SPREAD SPECTRUM E CDMA (CODE DIVISION
MULTIPLE ACCESS)
- 8- SISTEMA DE TELEFONIA MÓVEL CELULAR DIGITAL CDMA TIA/EIA/IS-95A
- 9- SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL VIA SATÉLITE
- 10- SISTEMAS CELULARES PARA TERCEIRA GERAÇÃO

Introdução

- Guglielmo Marconi - rádio comunicação em 1898 (canal da Mancha);
- Edwin Armstrong - uso de FM no final dos anos 30;
- IMTS - Improved Mobile Telephone Service - Primeiro sistema de telefonia móvel implantado nos USA em 1946 (em 1976 NY dispunha de 12 canais para 543 usuários e uma lista de espera com 3700 numa população de 10M);
- 1950/60 - Concepção do celular é desenvolvida;
- 1983 - FCC (Federal Communications Commission) aloca 666 canais para uso de Telefonia Móvel Celular, na faixa de 800 MHz, com uma banda de 30 KHz para cada sentido (posteriormente em 1989 foram alocados mais 10 MHz);

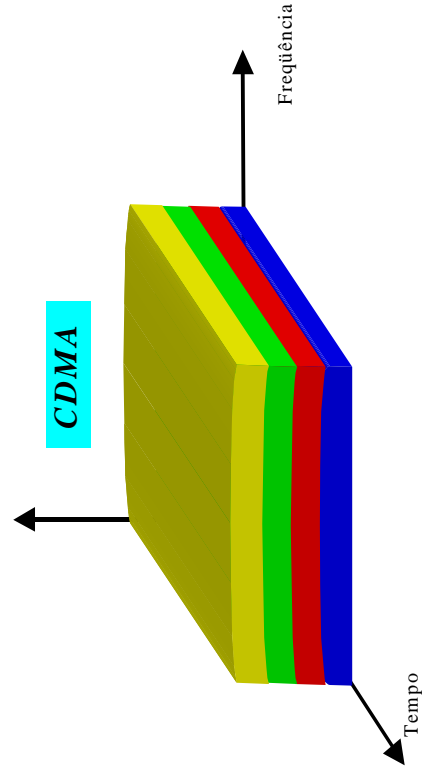
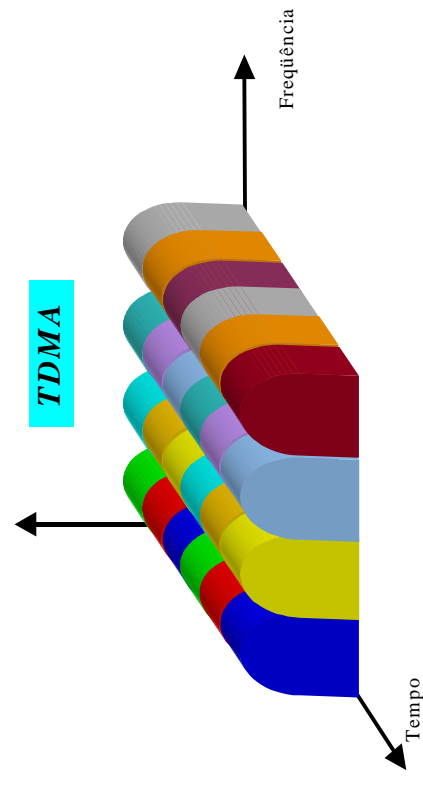
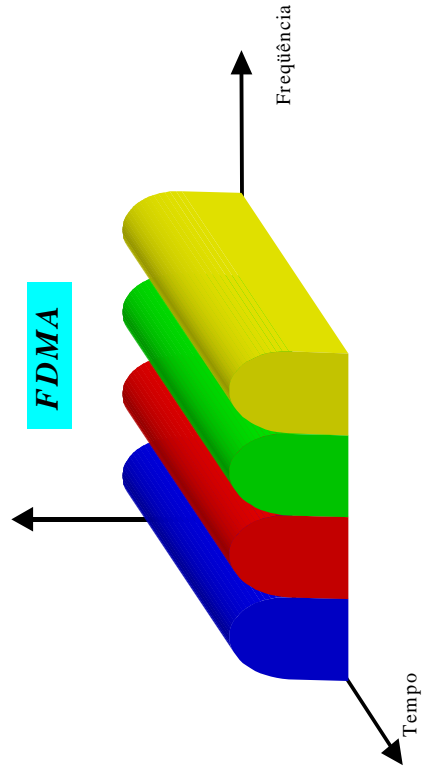
Introdução (cont.)

- Sistema duas bandas independentes (bandas A e B) para introdução do sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System);
- 1991 - USDC (US Digital Cellular) é introduzido nos USA, através do standard IS-54 (EIA - Electronic Industry Association Interim Standard 54), com o que se conseguiu triplicar a capacidade dos sistemas AMPS existentes;
- Esse sistema é também conhecido como D-AMPS (Digital AMPS) ou ainda IS-136 (que é uma atualização do IS-54);
- 1993 - É regulamentado o sistema IS-95 (TIA - Telecommunications Industry Association Interim Standard 95), originalmente desenvolvido pela Qualcomm Inc., na tecnologia CDMA (Code Division Multiple Access);

Introdução (cont.)

- a partir de 1989 começam a proliferar sistemas tipo cordless com tecnologia digital (PACS, CT-2, DECT etc);
- Na Europa haviam diversos sistemas analógicos em uso até 1990 (E-TACS (Extended European Total Access Cellular System), NMT-450 (Nordic Mobile Telephone), NMT-900, C-450 etc), todos incompatíveis entre si;
- 1991 - GSM (Global System Mobile) é padronizado na Europa como o sistema digital celular de segunda geração a nível pan-europeu (130 M de assinantes ao final de 1998);
- Num futuro muito próximo estará definido o sistema de terceira geração IMT-2000, sob coordenação da ITU-R (International Telecommunications Union-Radio Communication Sector);

Principais Técnicas de Multiacesso

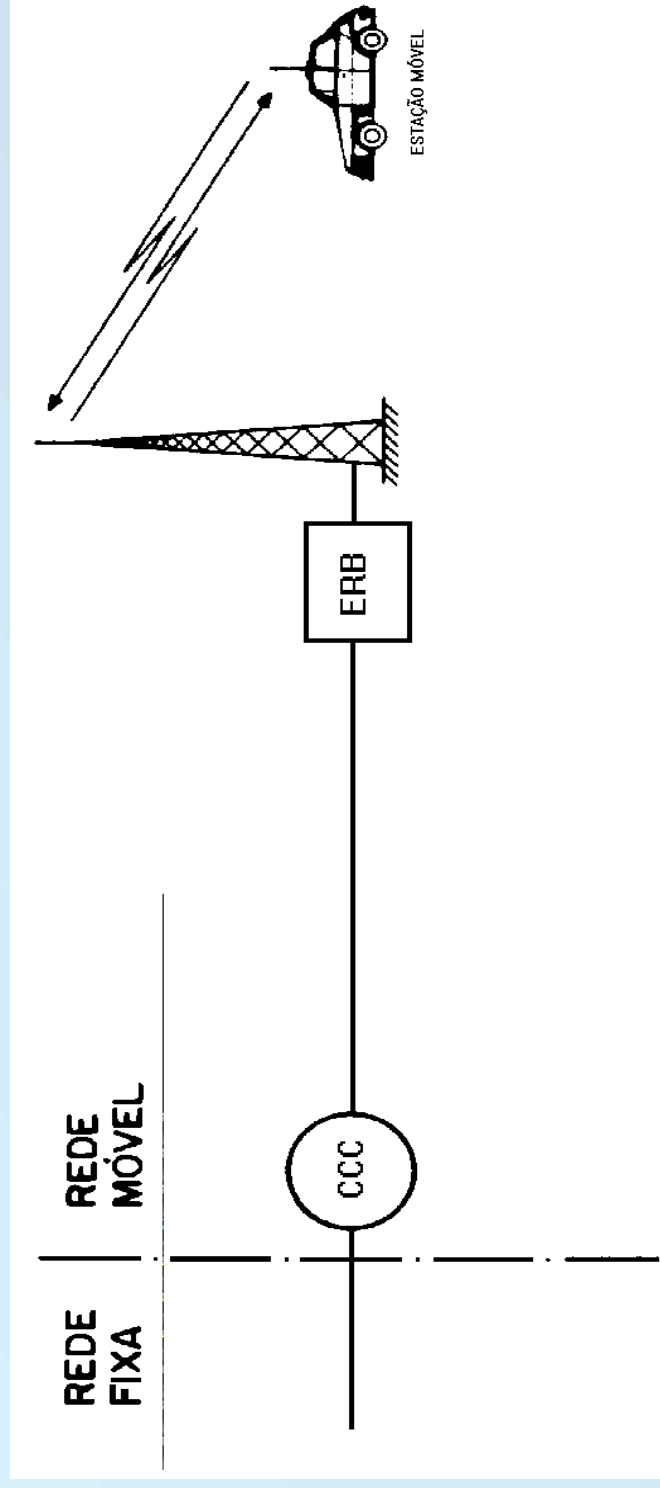


AMPS

ADVANCED MOBILE PHONE

SYSTEM

Esquema Básico do Sistema AMPS



AMPS (cont.)

Onde:

UM: Unidades Móveis; correspondem aos usuários propriamente ditos, quer sejam na forma de telefones móveis veiculares, transportáveis ou portáteis;

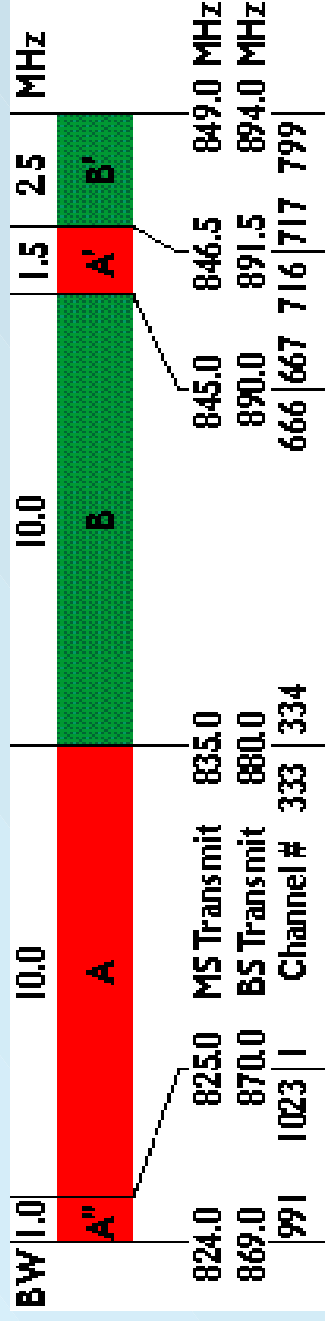
ERB: Estação Rádio Base; localizadas no centro de cada célula, com equipamentos de TX/RX e de controle, este sob comando da CCC;

CCC: Central de Comutação e Controle; responsável pelo estabelecimento das interconexões das UMs com a rede pública e entre UMs;

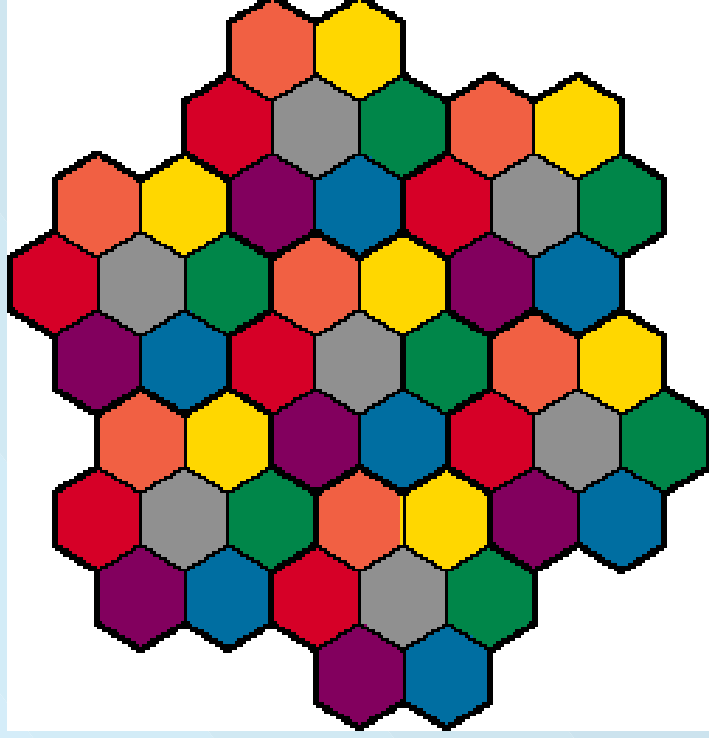
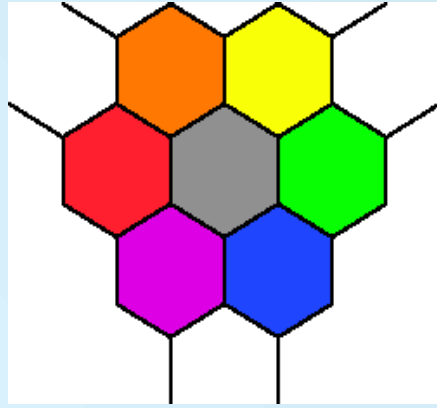
AMPS (cont.)

- As UM's comunicam-se com a sua ERB correspondente através de canais próprios utilizando modulação FM convencional. As faixas de transmissão, adotadas no Brasil, são:
 - 824 a 849 MHz para o sentido UM para ERB e
 - 869 a 894 MHz para o sentido ERB para UM;
- Como o espaçamento entre canais é de 30 KHz tem-se 833 (em duas bandas, conhecidas como A e B, com metade destes canais para cada um) canais para cada sentido de transmissão. Descontados os canais reservados para controle e considerando uma divisão celular com fator de reuso de 1:7, conforme adiante, tem-se efetivamente 55 canais vocais por célula, que será pois o número máximo de conversações telefônicas simultâneas numa célula;

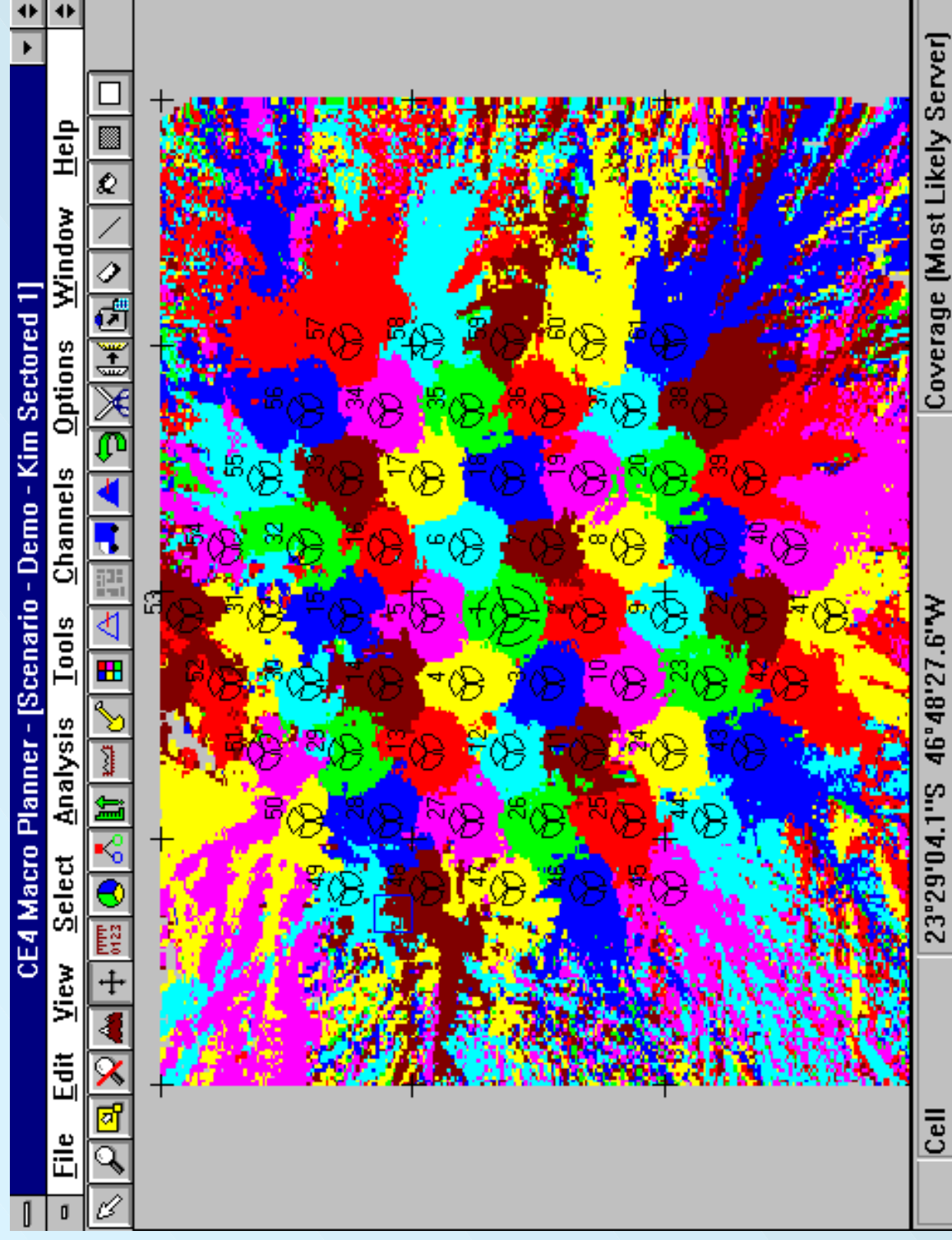
Repartição dos Canais nas Bandas A e B



Padrão de Reuso de Frequências 1:7



Reuso de frequências - Cenário Real



AMPS (cont.)

- Cada ERB opera um canal de rádio controle para as UM. É através deste canal que estabelecem-se as ligações, pela atribuição de um par de frequências disponíveis naquele momento;
- Controlando-se a potência de transmissão da ERB de forma a se ter potência suficiente apenas na célula, as frequências podem ser reutilizadas. No caso, usando-se 7 conjuntos de frequências, a distância entre centros de mesma frequência é de $5,4 R$ (como a atenuação da propagação de sinais em zonas urbanas obedece a uma lei do tipo d^{-4} , isto provocará uma interferência de cocanal da ordem de $C/I=18 \text{ dB}$);

AMPS (cont.)

- Após troca de sinalização, via canal de rádio controle com modulação BFSK a 10 Kbits/s, é atribuído um par de frequências entre a ERB e a UM, através do qual é realizada a conversação. Dentro de cada célula este par é utilizado por apenas uma UM de cada vez;
- Este par é no entanto dinâmico, pois quando a UM se aproxima dos limites de uma célula o nível de sinal cai. A UM monitora o nível do canal de rádio controle das células adjacentes. No momento apropriado o sistema todo atua e a chamada é transferida para outro par de frequências da outra célula (sem que haja qualquer perturbação na ligação em curso, em princípio). A este procedimento denomina-se de handoff;

AMPS (cont.)

- A capacidade do sistema pode ser aumentada por (evidentemente o aumento de banda também seria possível com os inconvenientes de compatibilidade e escassez):
 - a) subdivisão celular, que corresponde a termos o mesmo número de ligações anteriores dentro de uma célula menor (aumentando assim o número de ligações possíveis por unidade de área);
 - b) setorização (120° por exemplo) dentro da célula, substituindo as antenas omnidirecionais da ERB;
- O esgotamento desses recursos leva à necessidade de sistemas de maior capacidade.

Padrão de Reuso 1:7 com setorização

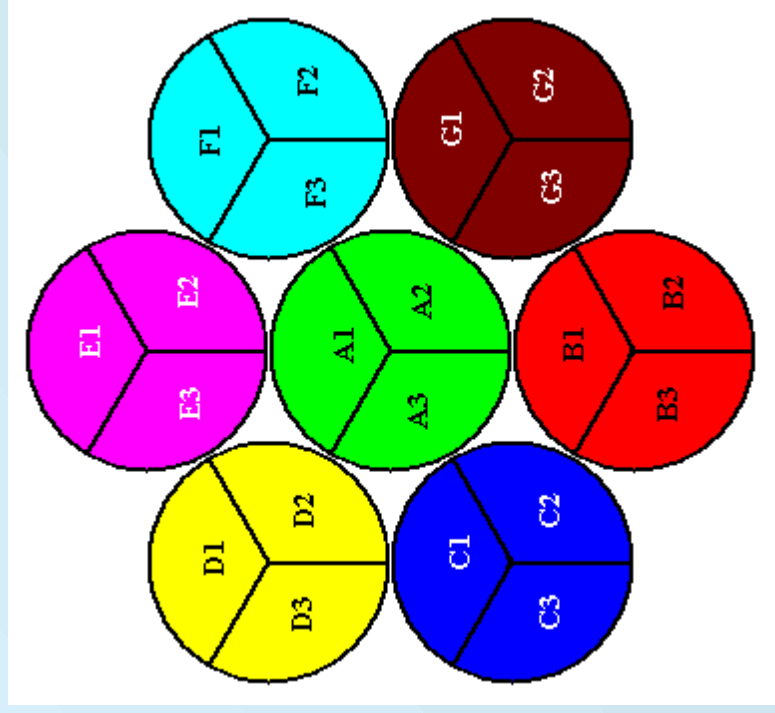
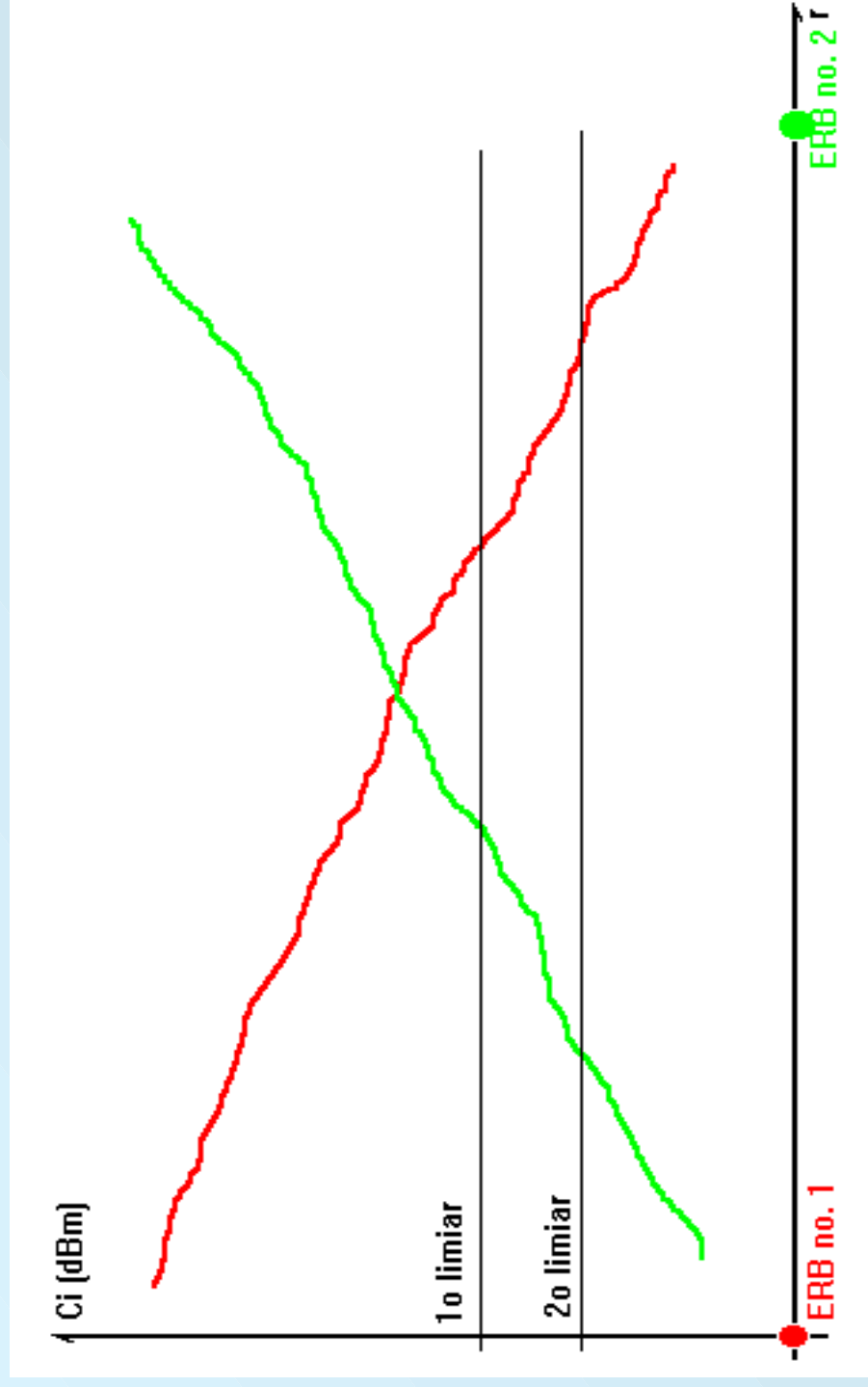


Tabela Geral de Alocação de Canais: Bloco A expandido																					
Sistema AMPS																					
Grupos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	A2	B2	C2	D2	E2	F2	G2	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3
Canais control	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147
	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189
	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231
	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252
	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273
	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294
	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312			
Canais control																667	668	669	670	671	672
	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693
	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714
	715	716																			
				991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008
1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023							

Handoff no Sistema AMPS



Handoff no Sistema AMPS (cont.)

- As ERBs medem periodicamente o valor de C_i para cada conexão.

1º limiar de handoff: o processo de handoff se inicia quando C_i está abaixo de um limiar preestabelecido, denominado "1º limiar de handoff". Outras células próximas à UM realizarão medidas no mesmo canal e aquela que constatar o nível mais alto poderá receber a transferência da chamada, caso o valor medido seja aceitável.

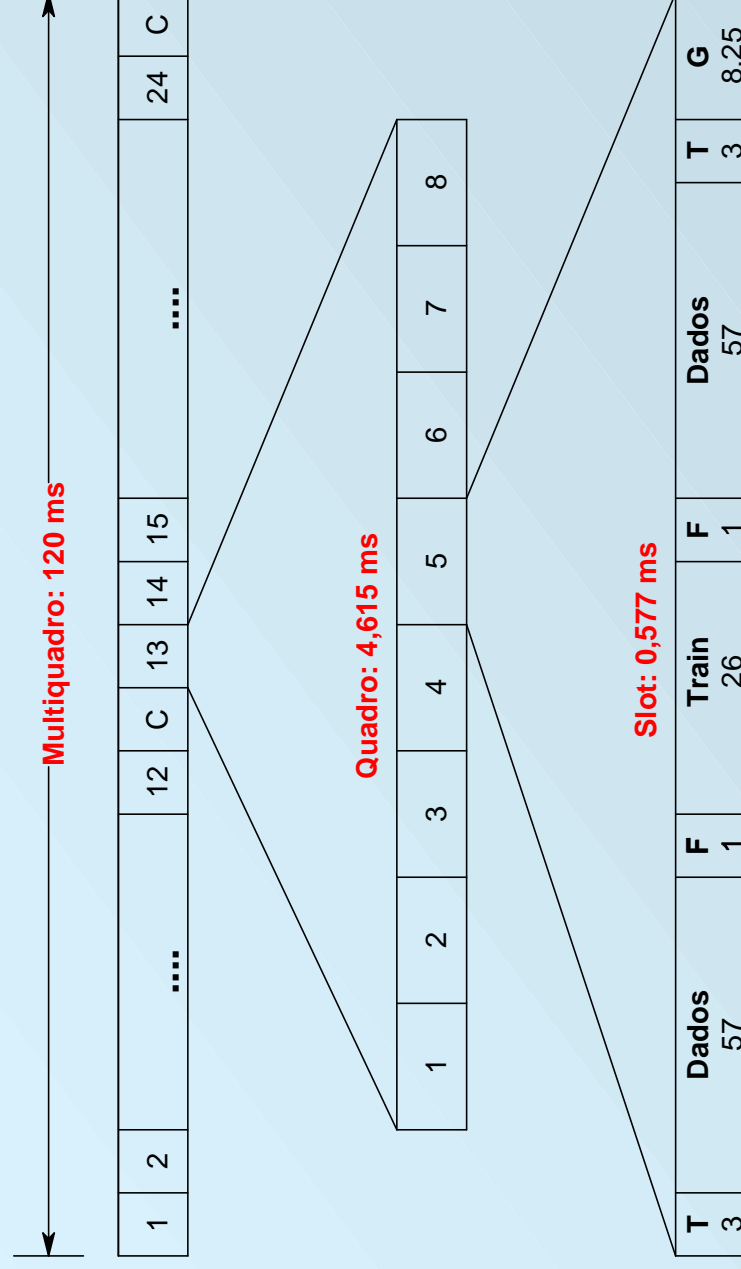
2º limiar de handoff: caso C_i esteja abaixo do "2º limiar de handoff", e nenhuma ERB possa receber a chamada transferida, o sistema corta a ligação para que o assinante não continue a ser tarifado. Para simplificar o entendimento na figura anterior, o primeiro e o segundo limiares de handoff da célula 1 foram representados com valores iguais aos limiares de handoff da célula 2, o que nem sempre acontece.

GSM

GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE

COMMUNICATION

GSM (Global System for Mobile communications)



a portadora permite a transmissão de $156,25 \times 8 \times 26 = 32.500$ bits de dados a cada 120 ms, isto é: 270,83 Kb
(destes $114 \times 8 \times 24$ correspondem a dados, com uma taxa líquida de 182,4 Kbits/s)

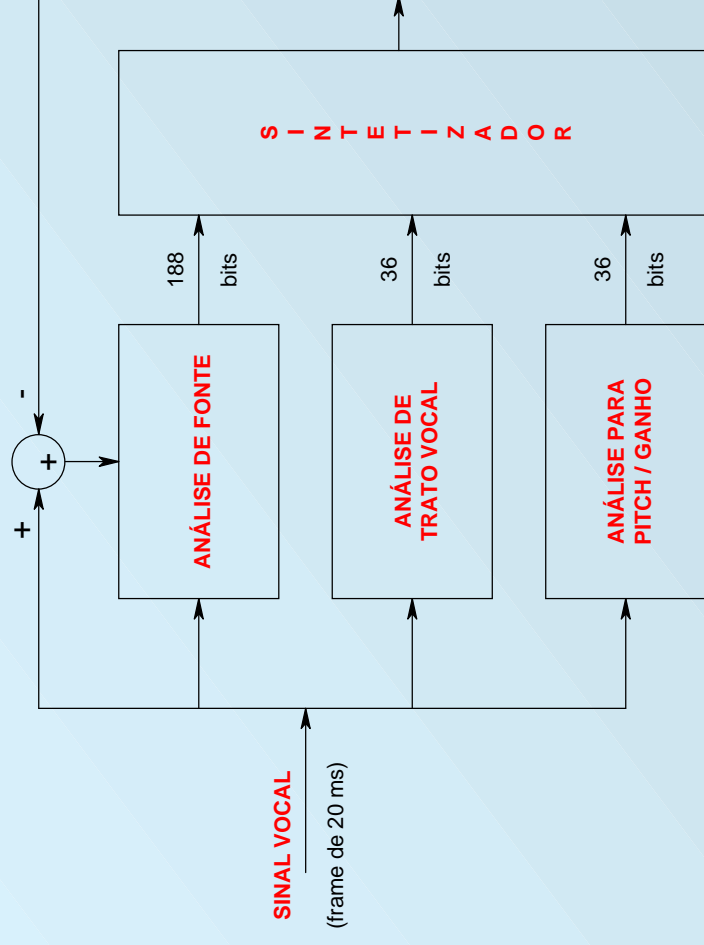
GSM (cont.)

- Taxa de transmissão: $(156,25 \text{ bits}/0,577\text{ms})=270,833 \text{ Kbits/s}$;
- Transmissão é uma combinação de FDM (com separação de portadoras em 200 KHz) e TDM (com oito canais lógicos por portadora);
- Modulação GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), onde a banda de 3 dB do filtro passa faixas é de 81,25 KHz (0,3 da taxa de bits);
- Eficiência da modulação $(270,833 \text{ Kbits/s})/(200\text{KHz})=1,35 \text{ bits/s/Hz}$
- Com uma banda de 25MHz para cada sentido de transmissão (25 MHz/200 KHz)=125 portadoras disponíveis; com 8 canais por portadora (TDM) resultam $125 \times 8 = 1000$ canais para cada sentido de transmissão;

GSM (cont.)

- Padrão de reuso adotado é de 1:4;
- Codificador do tipo RPE-LPC (Regular Pulse Excitation-Linear Predictive Coder) à uma taxa final de 33,85 Kbits/s, permitindo pois a multiplexação de 8 canais à taxa de 270,833 Kbits/s;
- Bandas utilizadas: 890/915MHz e 935/960MHz para os sentidos: UM-ERB e ERB-UM, respectivamente;
- Potência da UM é de até 20W; os receptores usam equalizadores adaptativos e o amplificador de saída é de classe C (envoltória constante);
- SACCH: Slow Associated Control Channel;

VOCODER RPE-LPC DO GSM



260 bits a cada 20 ms correspondem
à uma taxa nominal de 13,0 Kbits/s

GSM (cont.)

- Os 260 bits são processados, antes do envio propriamente dito, como abaixo:

enviados diretamente: 78 bits

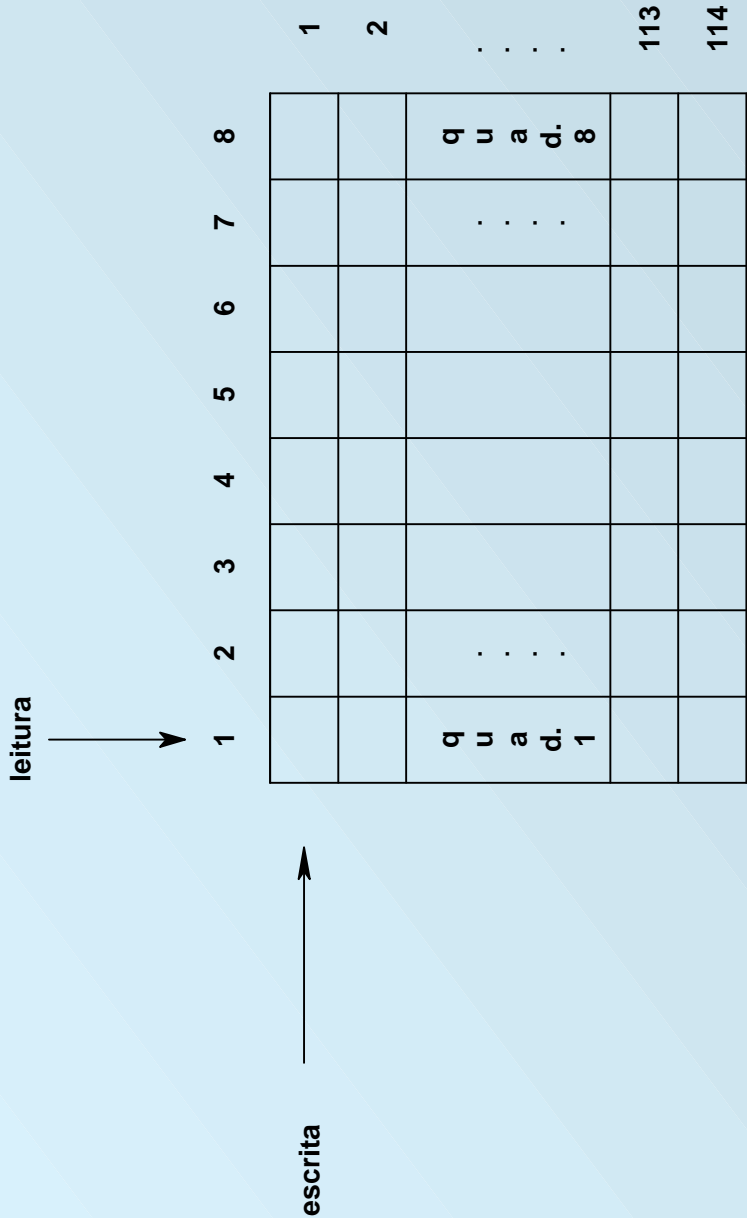
(182 bits+3 paridade+4 tail)x2(código convolucional): 378 bits

implica que, a cada 20 ms, tem-se: 456 bits

- Assim a taxa de transmissão, agora com código corretor incorporado ($K=5$, $r=1/2$ convolucional que corrige até 3 erros), é de 456 bits/20 ms=22,8 Kbits/s;

- A cada 20ms geram-se pois 456 bits para a UM e em 40ms serão 912 bits (8x114), que são então intercalados como segue;

ESTRUTURA DE QUADROS NO GSM



GSM (cont.)

- Como são disponíveis $57 \times 2 = 114$ bits por slot são necessários 8 slots para o envio dos 912 bits intercalados (o intercalamento é para melhorar o desempenho face a surtos de erros). Para um multiquadro de 120 ms o processo descrito repete-se 3 vezes, assim cada ligação necessita de 24 slots no intervalo, pois:

número de slots disponíveis no multiquadro: 24x8 slots

número de slots necessários por usuário à cada 120 ms: 24 slots

número de usuários por portadora $(24 \times 8) / (24)$: 8 usuários/port.

- Para efeito comparativo é como se houvessem 8 usuários numa banda de 200 KHz, o que equivale à 25KHz/usuário;

GSM (cont.)

- Cada UM tem seu próprio slot no quadro de SACCH utilizado (um por multiquadro e 8 usuários por portadora, em uma primeira fase de implantação do sistema);
- Uma mensagem de SACCH tem 184 bits de informação, que quando processados com códigos de correção apropriados elevam este número para 456 bits a serem transmitidos. Estes bits são intercalados e distribuídos em 4 quadros, de forma similar à usada na transmissão dos dados vocais ($114 \times 4 = 456$);
- Um quadro de SACCH por multiquadro de 120 ms de duração implica que a mensagem completa de SACCH leva 480 ms. Assim:
 - 456 bits - 480 ms taxa de 950 bits/s de transmissão e
 - 184 bits - 480 ms taxa de 383 bits/s líquidos para os dados;

GSM (cont.)

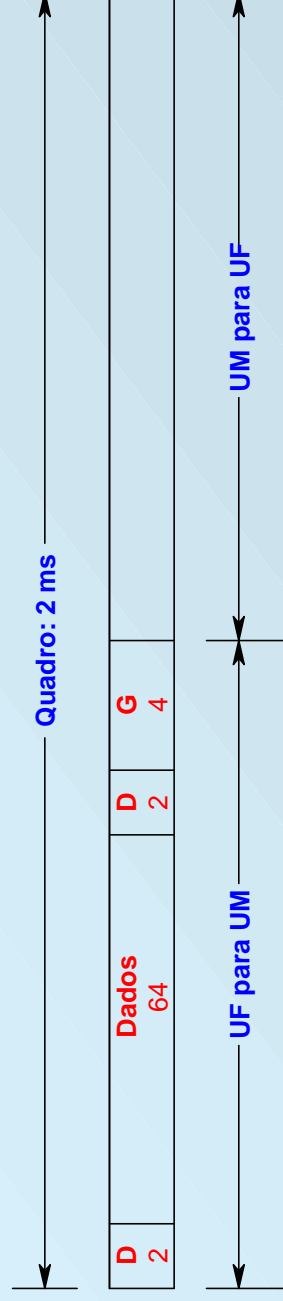
- Quando um controle mais rápido é requerido está previsto no sistema GSM um canal denominado FACH (Fast Associated Control Channel), interrompendo-se a informação do usuário pela duração de 4 quadros. O tempo disponível é pois de 18,46 ms, em contraste com os 480 ms de SACCH;
- Se fossem alocados todos surtos para um mesmo usuário, este poderia, em princípio, transmitir dados até uma taxa máxima de 182,4 Kbits/s;
- MAHO (Mobile Assisted Handoff);
- FH (Frequency Hopping);
- ACA (Adaptive Channel Allocation);
- Interfaces abertas (ao contrário do sistema AMPS, por exemplo).

CT-2

CORDLESS TELEPHONE

SECOND GENERATION

CT-2 (Cordless Telephone-Second Generation)



Cada portadora, em cada sentido, permite a transmissão de 72 bits de dados a cada 2 ms, isto é: 36,0 Kbits/s
(destes 64 correspondem a dados, com uma taxa líquida de 32,0 Kbits/s)

CT-2 (cont.)

- O sistema é com multiplexação por FDMA, com portadoras separadas de 100 KHz e um usuário por portadora;
- A faixa de frequências usada é de 864,1 MHz à 868,1 MHz, com uma banda de 4MHz, assim dispõe-se de 40 canais;
- Há $(2+64+2+4) \times 2 = 144$ bits/frame, dos quais 136 são de informação e 8 de tempo de guarda;
- A taxa efetiva de transmissão é de $(144 \text{ bits}/2 \text{ ms}) = 72 \text{ Kbits/s}$;
- A eficiência da modulação é dada por $(72 \text{ Kbits/s})/(100 \text{ KHz}) = 0,72 \text{ bits/s/Hz}$, que é, aproximadamente, a metade da obtida no sistema GSM;

CT-2 (cont.)

- A modulação adotada é BFSK (Binary Frequency Shift Keying);
- O codificador adotado é do tipo ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation), padronizado pelo CCITT, à taxa de 32 Kbits/s, pois temos 64 bits de dados a cada 2 ms;
- A estrutura de transmissão é do tipo (B+2D), à taxa nominal de informação $(32+2 \times 1) = 34$ Kbits/s; levando em conta os tempos de guarda resulta então a taxa efetiva de transmissão de 36 Kbits/s, para cada sentido;

CT-2 (cont.)

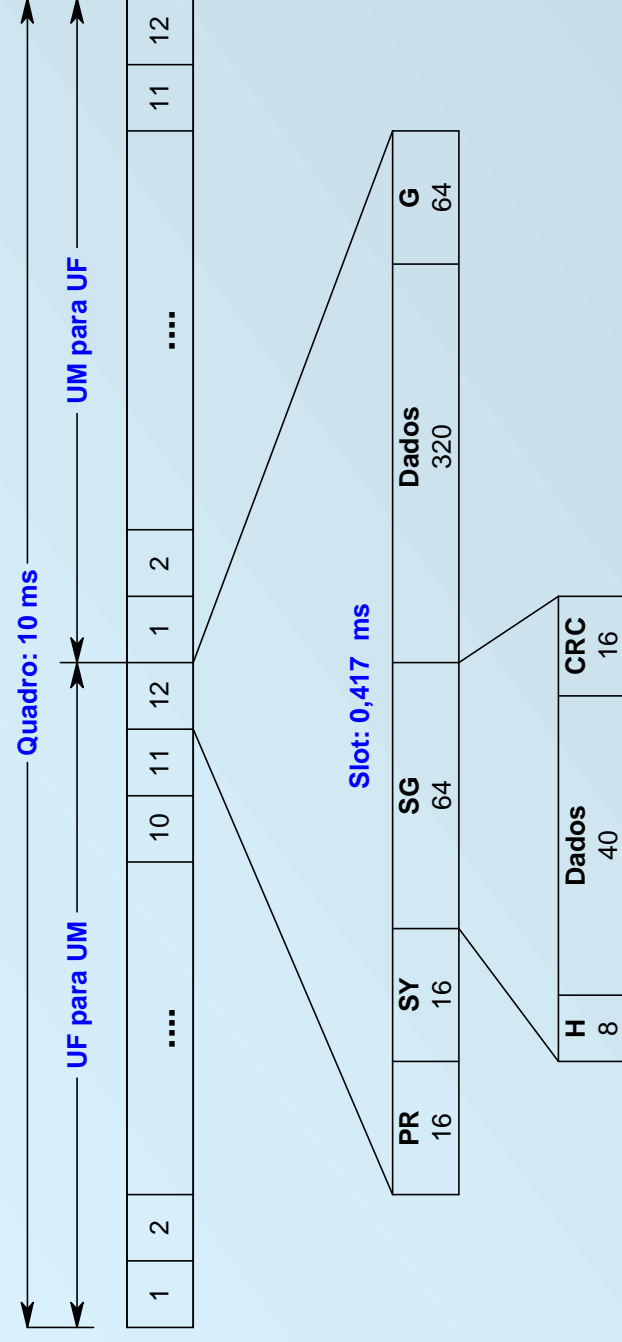
- A sinalização (análogo ao canal D adotado em ISDN-Integrated Services Digital Network) é codificada em 48 bits e após serem acrescentados bits adicionais para detecção de erros, este número se eleva para 64. Desta forma são necessários $64/4=16$ frames para o envio completo de uma palavra código, com duração total de 32ms. A taxa efetiva de sinalização é pois de: 48 bits/32 ms=1,5 Kbits/s para cada sentido;
- O código utilizado é do tipo CRC (Cyclic Redundancy Check) que detecta (mas não corrige) até 16 erros, e em caso de erro detectado solicita-se a retransmissão.

DECT

DIGITAL EUROPEAN CORDLESS

TELEPHONE

DECT (Digital European Cordless Telephone)



Cada portadora, em cada sentido, permite a transmissão de $480 \times 12 = 5.760$ bits de dados a cada 10 ms, isto é: 576,0 Kbits/s
 (destes 320×12 correspondem a dados, com uma taxa líquida de 384,0 Kbits/s)

DECT (cont.)

- O sistema adota a multiplexação FDMA, com portadoras separadas de 1,728 MHz;
- O número de portadoras é de 10, com 12 canais por portadora no princípio TDMA;
- A comunicação full-duplex é alcançada com o princípio da divisão de tempo (TDD-Time Division Duplex), como no sistema CT-2;
- A taxa de transmissão, em cada canal TDMA, é de: 480 bits/0,417 ms=1,152 Mbits/s (a mais alta dentre todos os sistemas aqui descritos);
- A eficiência da modulação é dada por: $(1,152 \text{ bits/s}) / (1,728 \text{ MHz}) = 0,67 \text{ bits/s/Hz}$ (aproximadamente igual ao sistema CT-2);

DECT (cont.)

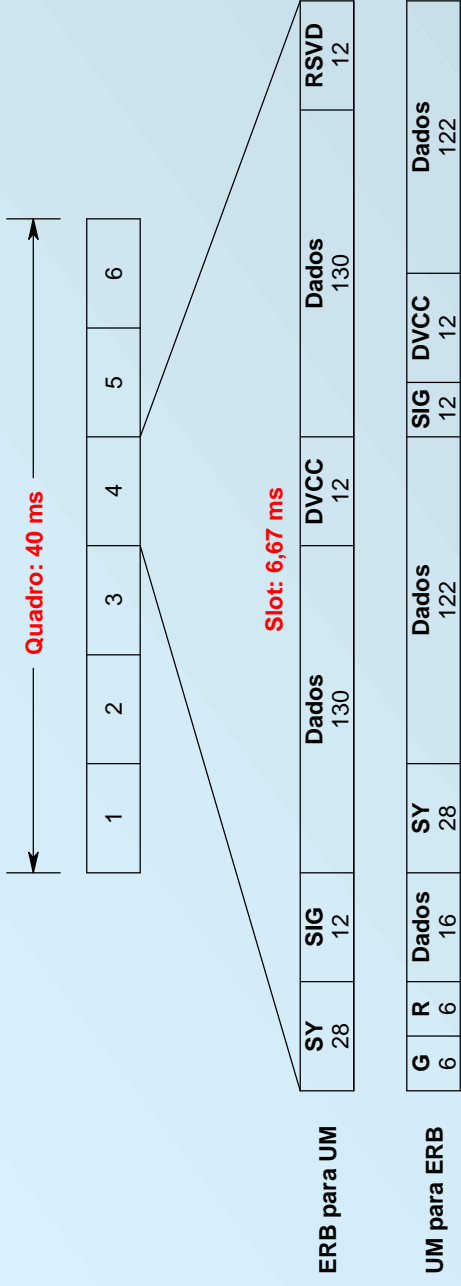
- A modulação adotada é GMSK (como no sistema celular digital GSM), porém com produto $BT=0,5$;
- O codificador adotado é o ADPCM à taxa de 32Kbits/s, como no sistema CT-2 e sua taxa pode ser verificada por: $320 \text{ bits}/10 \text{ ms}=32 \text{ Kbits/s}$;
- A faixa de frequência de transmissão usada é de 1800/1900 MHz;
- A taxa de sinalização, por canal, é de: $64 \text{ bits}/10 \text{ ms}=6,4 \text{ Kbits/s}$, enquanto a taxa de sinalização efetiva, por canal, é de: $48 \text{ bits}/10 \text{ ms}=4,8 \text{ Kbits/s}$; este número pressupõe uma transmissão sem erro e na ocorrência deste é solicitada retransmissão (o código é detector, não corretor);
- O princípio ACA, explanado na descrição do sistema GSM, é também adotado no DECT;
- A potência transmitida pela unidade móvel é de 250 mW.

D-AMPS - IS-54/IS-136

DIGITAL ADVANCED MOBILE

PHONE SYSTEM

DAMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) / IS-136 TDMA (Time Division Multiple Access)



Cada portadora permite a transmissão de $324 \times 6 = 1944$ bits de dados a cada 40 ms, isto é: 48,6 Kbits/s
(destes $6 \times 260 = 1560$ são de dados, com uma taxa líquida de 39,0 Kbits/s)

D-AMPS (cont.)

- Corresponde ao sistema explorado na banda B de São Paulo, por exemplo.
- Em relação à figura anterior tem-se:

G - guard time (intervalo de tempo em que não há transmissão);

R - ramp up time (intervalo de tempo para que o transmissor possa alcançar sua potência máxima);

DATA - dados de informação vocal;

SY - sincronismo e treinamento do equalizador;

SACCH - Slow Associated Control Channel;

DVCC - Digital Verification Color Code (com função idêntica ao do tom de áudio de supervisão do sistema AMPS);

RSVD - reserved (para uso futuro);

D-AMPS (cont.)

- A faixa de frequências é a mesma do sistema AMPS, com canais separados em 30 KHz (as operadoras deverão ir alocando canais na nova tecnologia gradativamente);
- Cada frame TDMA tem uma duração de 40 ms e acomoda 6 slots para transmissão, em surtos de 6,67 ms;
- Em cada slot são transmitidos 324 bits, sendo 260 de informação vocal;
- A taxa de transmissão é dada por: $324 \times 6 \text{ bits} / 40 \text{ ms} = 48,6 \text{ Kbits/s}$;
- A eficiência da modulação é dada por: $(48,6 \text{ Kbits/s}) / (30 \text{ KHz}) = 1,62 \text{ bits/s/Hz}$ (20% superior ao sistema GSM);

D-AMPS (cont.)

- A cada portadora associam-se 3 usuários, com uma taxa equivalente de 16,2 Kbits/s/usuário;
- O codificador adotado é o denominado VSELP (Vector Sum Excited Linear Prediction), à taxa de transmissão bruta de 13,0 Kbits/s (evidentemente $13,0 \text{ Kbits/s} \times (324/260) = 16,2 \text{ Kbits/s}$);
- No codificador a cada 20 ms geram-se $(88+43+28)=159$ bits; taxa de informação é calculável por $(159 \text{ bits}/20 \text{ ms}) = 7,95 \text{ Kbits/s}$;
- Os 159 bits são processados, antes do envio propriamente dito; assim:

enviados diretamente:	82 bits
$(77 \text{ bits} + 7 \text{ paridade} + 5 \text{ tail}) \times 2$ (código convolucional):	178 bits
implica que, a cada 20 ms, tem-se:	260 bits

D-AMPS (cont.)

- A taxa de transmissão, agora com código corretor incorporado, é de: 260 bits/20 ms=13,0 Kbits/s;
- A modulação adotada é a $\pi/4$ - DQPSK (Differential Quaternary Phase Shift Keying);
- A potência da UM é de 0,6 até 4W;
- A modulação é do tipo linear, não permitindo amplificação eficiente (não linear). Como consequência a autonomia é mais baixa, exigindo recargas mais frequentes das baterias;
- O código DVCC tem 12 bits efetivos, sendo 8 de informação. Existem assim 256 códigos distintos. A cada ERB é dedicado um, para evitar que a unidade móvel possa se sincronizar com um sinal interferente de uma célula distante;

D-AMPS (cont.)

- Uma mensagem de SACCH tem 66 bits, que quando protegidos por um código corretor (convolucional, $\text{rate}=1/2$) elevam este número para 132 bits por mensagem. Como há 12 bits SACCH por slot de transmissão serão necessários 11 slots para a transmissão de uma mensagem completa (12 na literatura). Assim tem-se uma taxa de sinalização bruta calculável por: $(2 \times 132 \text{ bits}) / (12 \times 40 \text{ ms}) = 550 \text{ bits/s}$ (obs.: o fator 2 vem do fato que cada usuário utiliza 2 slots, dentre os 6, para sua transmissão);
- A taxa líquida de sinalização, após descontar os bits utilizados para correção, é de 275 bits/s;
- Assim como no sistema GSM, existe a possibilidade de se ter um FACCH, quando a informação do usuário é interrompida para a sinalização (handoff rápido). Emprega-se nesse caso um código corretor (convolucional, $\text{rate}=1/4$) e os 260 bits de informação vocal são substituídos por uma mensagem de sinalização;

D-AMPS (cont.)

- Os 28 bits de sincronismo (SY) contém um padrão conhecido e são utilizados para o estabelecimento do timing e como treinamento do equalizador. O sistema especifica seis padrões distintos, um para cada slot, no frame de 40 ms;
- Numa primeira fase deve-se prever a possibilidade das unidades móveis poderem funcionar nos 2 padrões (AMPS e IS-136), devido à necessidade de interconexão de sistemas;
- Para o futuro está prevista a utilização de codificadores com taxas mais baixas, possibilitando seis usuários por portadora (um usuário por slot);
- O sinal modulado é formatado na transmissão e recepção (raiz quadrada cossenoideal) com um fator de “roll-off” de 0,35, que prove um zero na DEP (Densidade Espectral de Potência) do sinal transmitido em 16,4 KHz (banda base);

D-AMPS (cont.)

- O sistema poderá incorporar, no futuro, uma seleção dinâmica de canais (ACA), como descrito anteriormente no sistema GSM;
- MAHO;
- Se os três surtos disponíveis fossem atribuídos para um mesmo usuário, este poderia transmitir dados, em princípio, até uma taxa máxima de 39,0 Kbits/s.

Comparações

	GSM	IS-136	CT-2	DECT
Forward Band (MHz)	935-960	869-894	864-868	1880-1900
Reverse Band (MHz)	890-915	824-849	864-868	1880-1900
Multiple Access	TDMA	TDMA	FDMA	TDMA
Duplex	FDD	FDD	TDD	TDD
Carrier Spacing (kHz)	200	30	100	1728
Channels per Carrier	8	3	1	12
Bandwidth/Two way channel (kHz)	50	20	100	144
Channel Rate (kbits/s)	271	48,6	72	1152
Modulation	GMSK	DQPSK	FSK	GMSK
Modulation Efficiency (b/s/Hz)	1,35	1,62	0,72	0,67
Voice Rate (kbits/s)	22,8	13	32	32
Control Channel Name	SACCH	SACCH	D	C
Control Channel Rate (bits/s)	967	600	200	6400
Control Channel Message (bits)	184	65	64	64
Control Channel Delay (ms)	480	240	32	5

Comparações

	Europe DECT	Europe Cellular Mobile-GSM	England CT-2	ADC-U.S. IS-136	JDC Japan
RF Frequency Band (MHz)	1880-1900	890-915 935-960	864,1-868,1 40 channels	880-900	(?)
Channel Bandwidth (KHz)	1728	200	100 (?)	30	25
Bit rate (Kbits/s)	1152	270,833	72	48,6	42
Spectral Efficiency (bits/s/Hz)	0,67	1,35	0,72	1,6	1,6
Access Method	TDMA	TDMA	TDMA (?)	TDMA	TDMA / 3 slots
Mobile RF Power	250 mW	20 W	(?)	0,6-4 W	(?)
Modulation	GFSK BT=0,5	GMSK BT=0,3	GMSK BT= (?)	$\pi/4$ -QPSK	$\pi/4$ -QPSK
Market Size (by year)	50/70M	15M (?)	(?)	10-15 M	(?)

SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

SPREAD SPECTRUM

E

CDMA

- A história do desenvolvimento de sistemas "Spread-Spectrum" (SS) remonta aos anos 20, com aplicações exclusivamente militares e daí sua pouca, ou nenhuma divulgação na literatura aberta. A discussão aberta sobre o assunto, provavelmente, originou-se das aplicações não militares de SS, assim como de um avanço tecnológico que tornou o processamento complexo de sinais realizável;

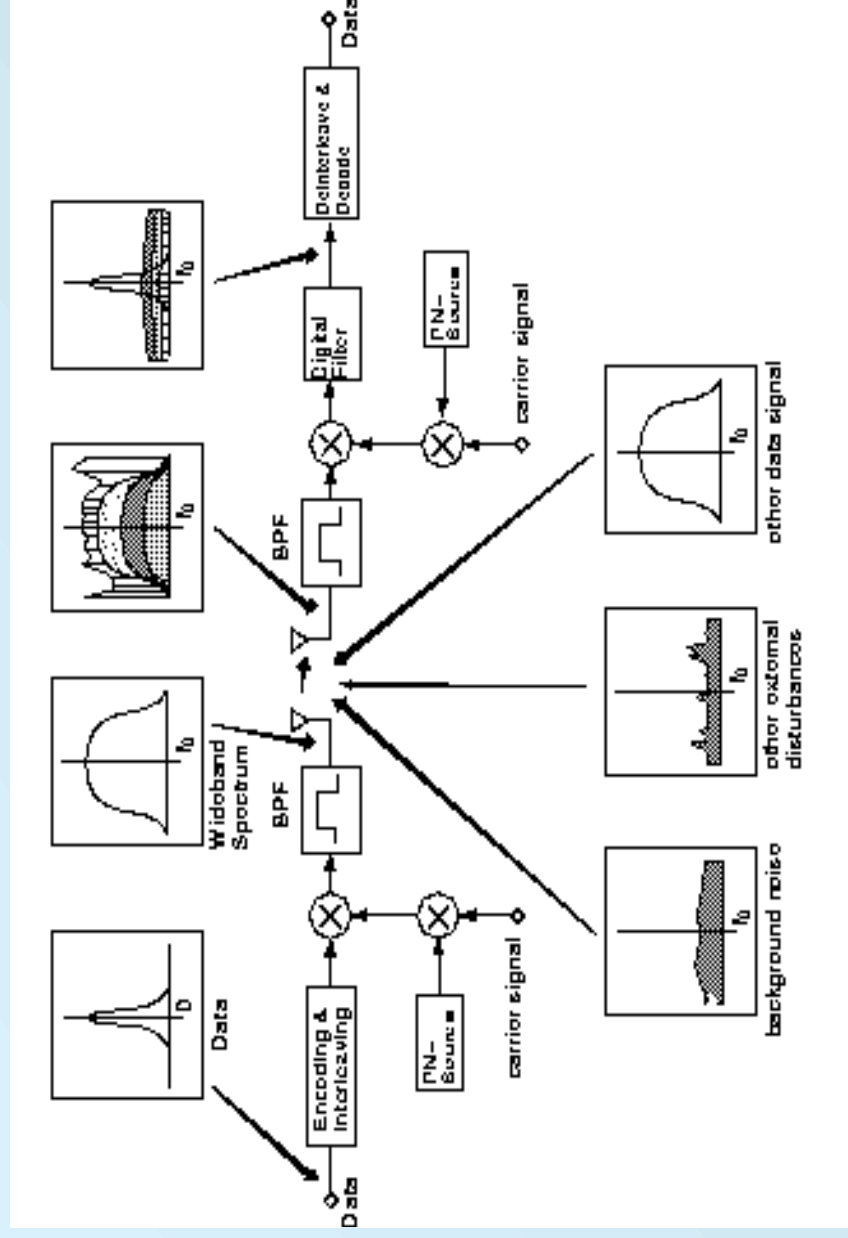
- Uma definição para um sistema SS, que reflete adequadamente as características desta técnica, é:

"SS é um modo de transmissão em que o sinal ocupa uma banda superior à mínima necessária para àquela informação; o alargamento (ou espalhamento) da banda é obtido por meio de um código, que é independente da informação, e uma recepção sincronizada com o mesmo código é usada no receptor para concentrar o sinal em uma banda menor e posterior detecção".

Sistemas Spread Spectrum e CDMA (cont.)

- Segundo esta definição, sistemas tradicionais de modulação/codificação como FM, PCM, etc, não constituem um sistema SS;
- Várias características benéficas podem ser obtidas com o espalhamento espectral, entre as quais: capacidade de rejeitar interferências, baixa probabilidade de interceptação, sistemas multiusuários multiplexados por código, sistemas de radar precisos, etc;
- Os meios usuais para obter-se o espalhamento espectral são:
 - **DS (Direct Sequence)**: onde uma sequência pseudo-aleatória rápida causa transições na fase da portadora modulada com a informação.
 - **FH (Frequency Hopping)**: onde a portadora modulada é deslocada em frequência de uma maneira pseudo-aleatória.
 - **TH (Time Hopping)**: onde surtos do sinal com a informação, são iniciados em instantes pseudo-aleatórios.

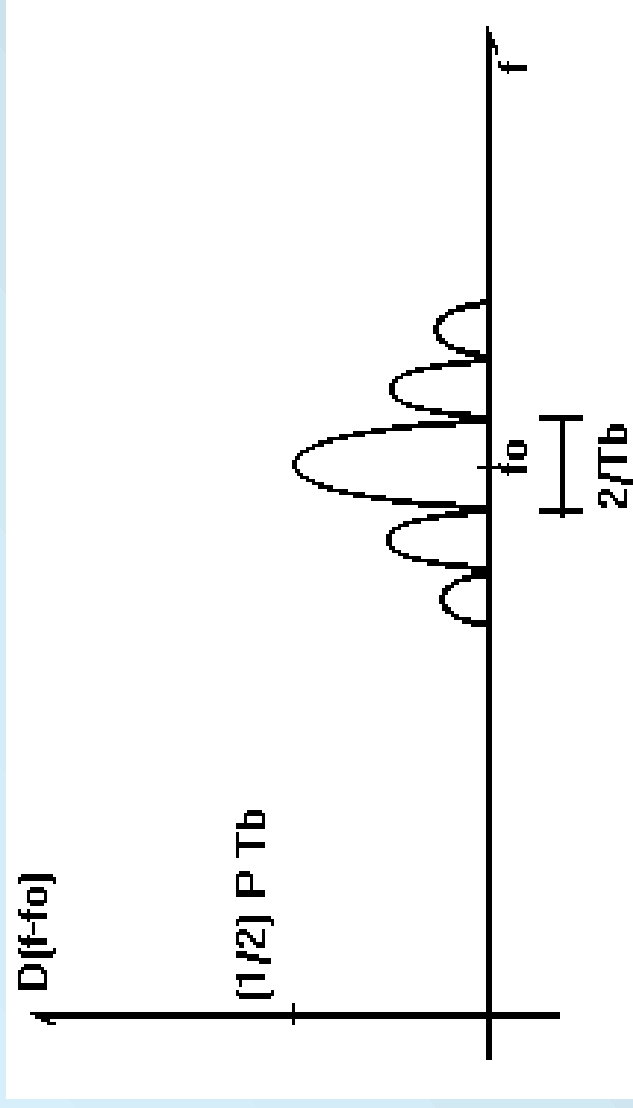
Esquema Geral de um Sistema DS-CDMA



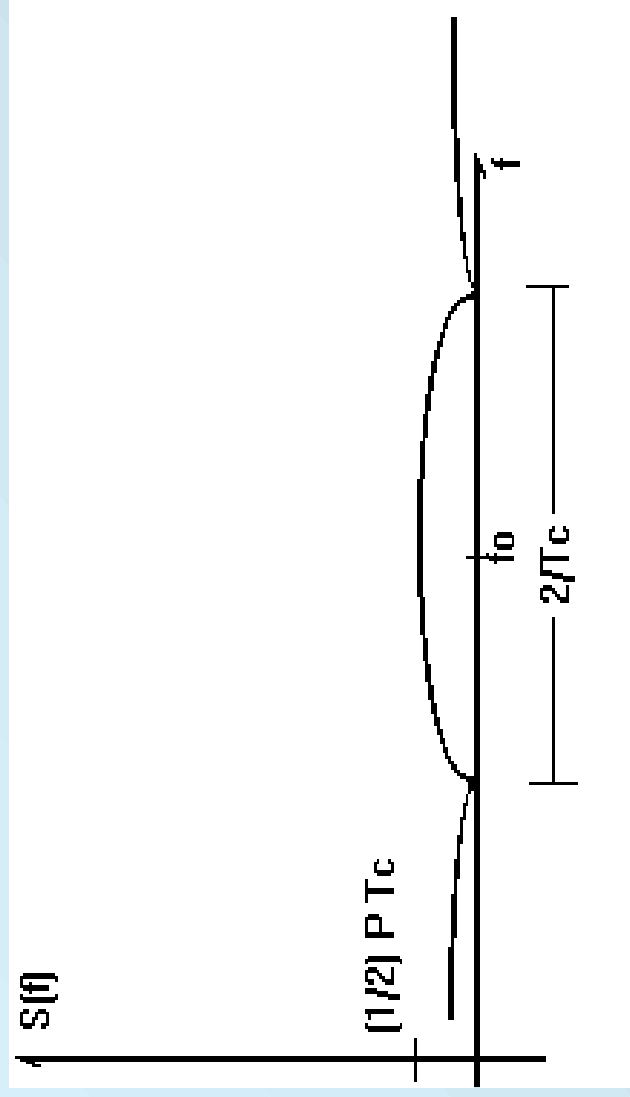
Sistemas Spread Spectrum e CDMA (cont.)

- Existem outras possibilidades menos usuais, assim como é possível a combinação destas técnicas (DS com FH, por exemplo);
- Para o que vem seguir consideraremos apenas a forma DS em sistemas CDMA, de "Code Division Multiple Access". Esses sistemas CDMA comparam-se de forma favorável com outras técnicas usuais de multiplexação, como TDMA ou FDMA, na comunicação de sinais vocais, por exemplo;
- Existem dois padrões básicos para a interface aérea na tecnologia CDMA:
 - Cellular (849-894 MHz) - TIA/EIA/IS-95A e
 - PCS (1850-1990 MHz) - ANSI J-STD-008 e nessa apresentação não se fará distinção entre as mesmas;
- Nos 4 slides a seguir ilustra-se a capacidade de rejeição de interferências para sistemas SS-DS (Spread Spectrum-Direct Sequence):

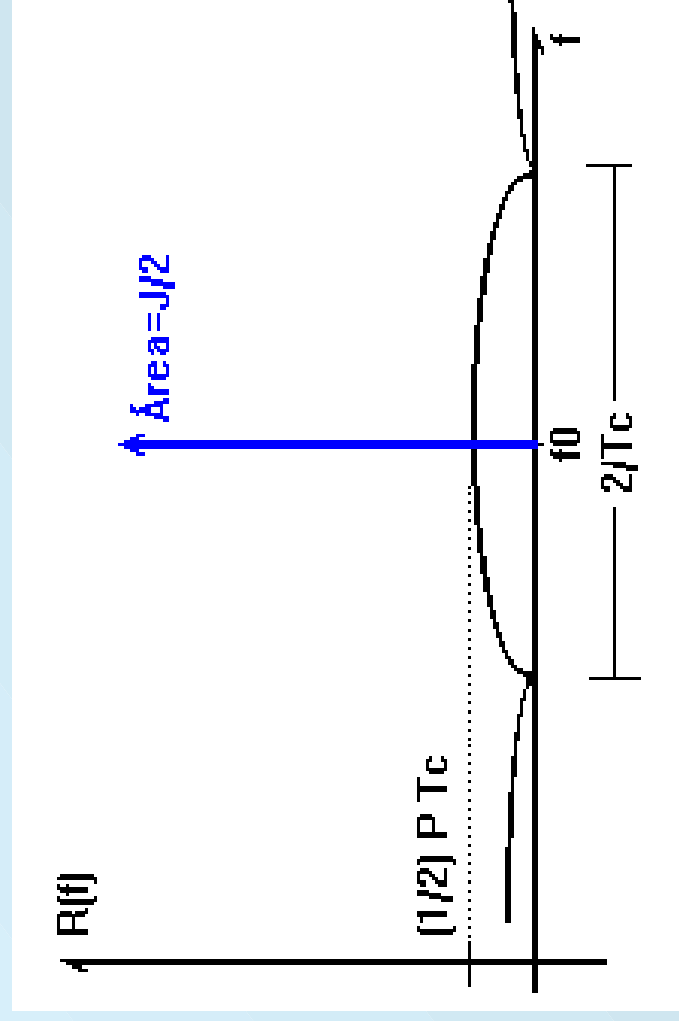
DEP (Densidade Espectral de Potência) de um sinal BPSK (Binary Phase Shift Keying) sem espalhamento



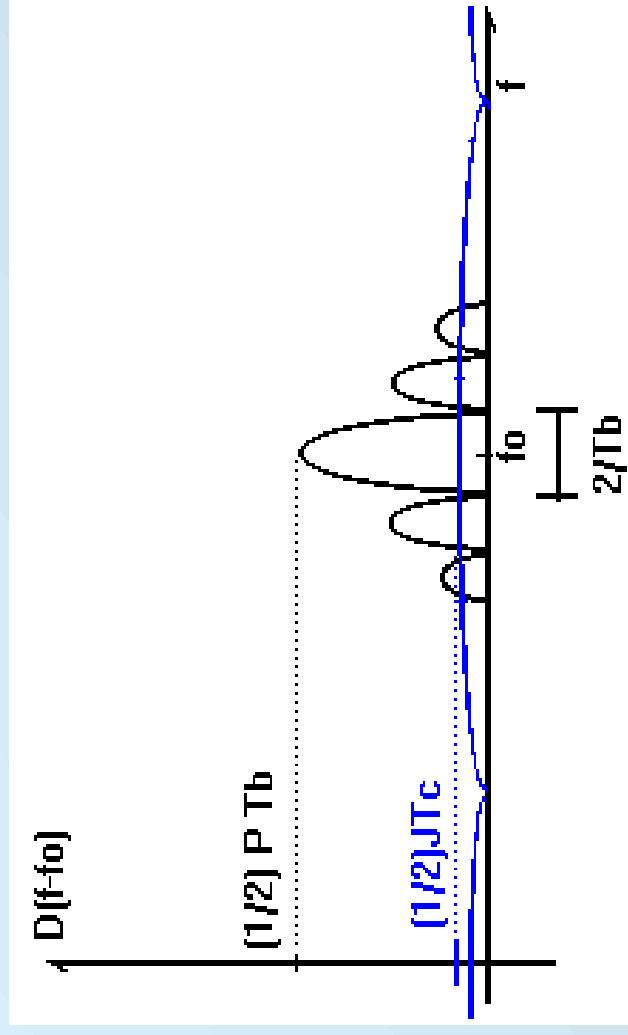
DEP de um sinal BPSK após espalhamento



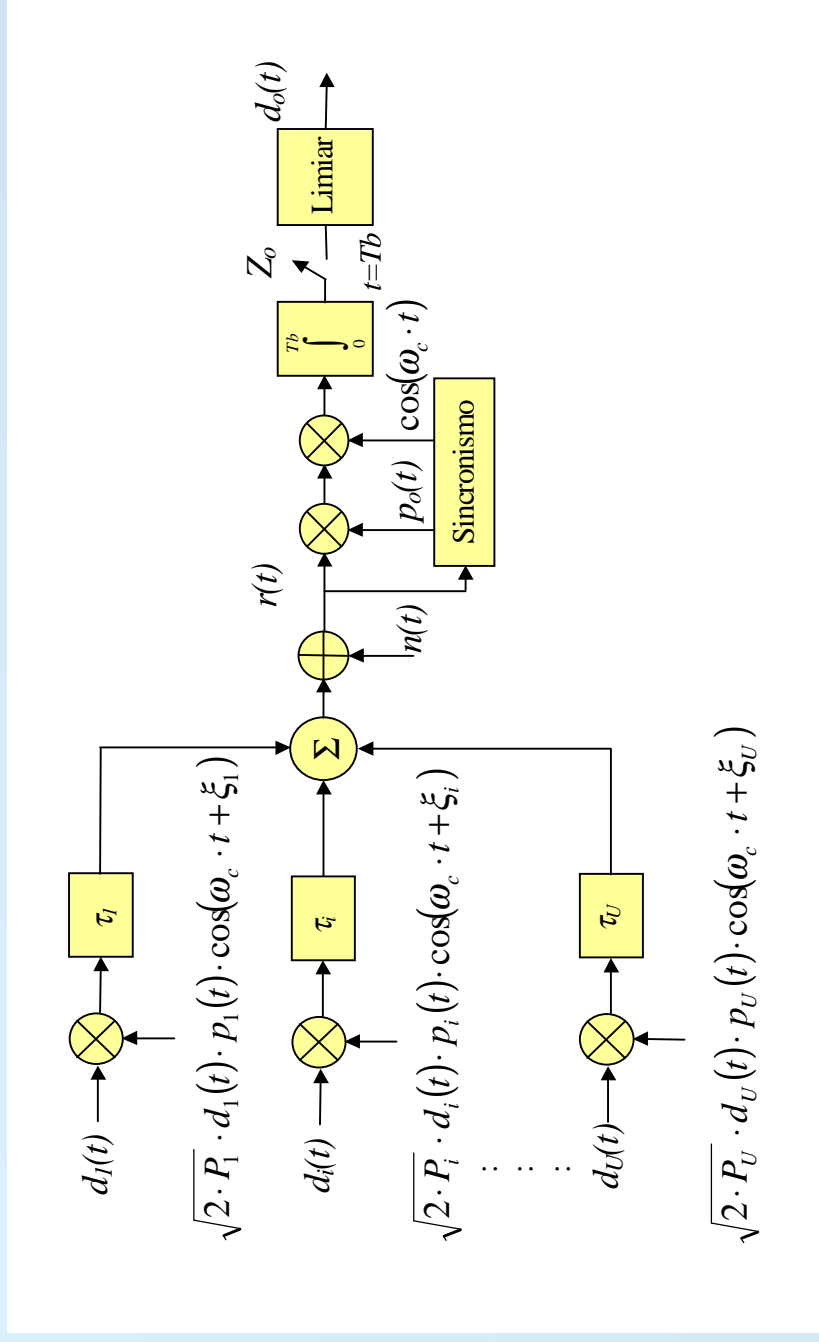
DEP de um sinal BPSK com espalhamento na presença de uma interferência tonal de potência total J



DEP do sinal BPSK demodulado na presença de uma interferência tonal de potência total J na sua entrada



Esquema Geral de um Sistema DS-CDMA Assíncrono



SISTEMA DE TELEFONIA
MÓVEL CELULAR DIGITAL
CDMA
TIA/EIA/IS-95A

IS-95

- A faixa de operação é a mesma do AMPS: de 824 a 849 e 869 a 894 MHz;
- O espectro disponível é dividido em "canais de rádio CDMA", cada um deles ocupa duas faixas de 1,23 MHz separadas por 45 MHz, para cada sentido de transmissão;
- Um mesmo canal de rádio CDMA pode ser utilizado por diversos assinantes. Ele é composto por subcanais, que podem ser denominados "canais lógicos", sendo que cada um deles é identificado por uma sequência de código distinta. Esses canais lógicos são divididos em:
 - a) canais de tráfego: a função destes canais é a mesma dos canais de voz em sistemas AMPS;
 - b) canais de paging, acesso, sincronismo e piloto: utilizados para controle de chamadas e compatibilidade entre ERBs e UMs;

IS-95 (cont.)

- É possível reutilizar o mesmo canal de rádio em todas as células de um sistema CDMA (isto é, o padrão de reuso é $K=1$);
- As UMs que utilizam canais de rádio CDMA podem também acessar os canais do sistema AMPS, sendo por isso denominadas "duais";
- Idealmente, a correlação entre seqüências de usuários distintos em um mesmo canal de rádio CDMA deveria ser nula. Entretanto, para uma dada ligação, o fato de haver outros usuários ativos no sistema, e na mesma faixa de freqüências, provoca um "ruído" adicional no receptor da ERB. Este efeito é denominado "interferência tipo multiacesso" (MAI);
- Quanto maior for o número de canais de tráfego em uso, menor será a relação sinal / (ruído+interferência) em cada canal de tráfego. Para um dado requisito mínimo de qualidade de voz, existe um compromisso entre o nível de MAI e a capacidade de um sistema CDMA;

IS-95 (cont.)

- A setorização de 120° é adotada e em consequência, o nível de interferência entre usuários do sistema é reduzido por um fator que não chega a 3, devido à sobreposição entre lóbulos de antenas adjacentes;
- Os canais de tráfego em sistemas celulares CDMA utilizam um vocoder cuja taxa de transmissão varia de acordo com a atividade de voz do usuário. Esta taxa pode assumir os valores 1.200, 2.400, 4.800 ou 9.600 bps. Os sinais de voz são transmitidos em quadros de 20 ms;
- A redução dos níveis de interferência com outros canais de tráfego pode ser associada a um "fator de atividade vocal", representado por d. Valores típicos de d estão em torno de 3/8;
- Antes de serem transmitidos, os dígitos de informação passam por estágios para a introdução de bits que permitirão a correção de erros de dígitos, para encriptação e espalhamento. Tanto no sentido direto como no reverso, os sinais são espalhados por SMC modificadas;

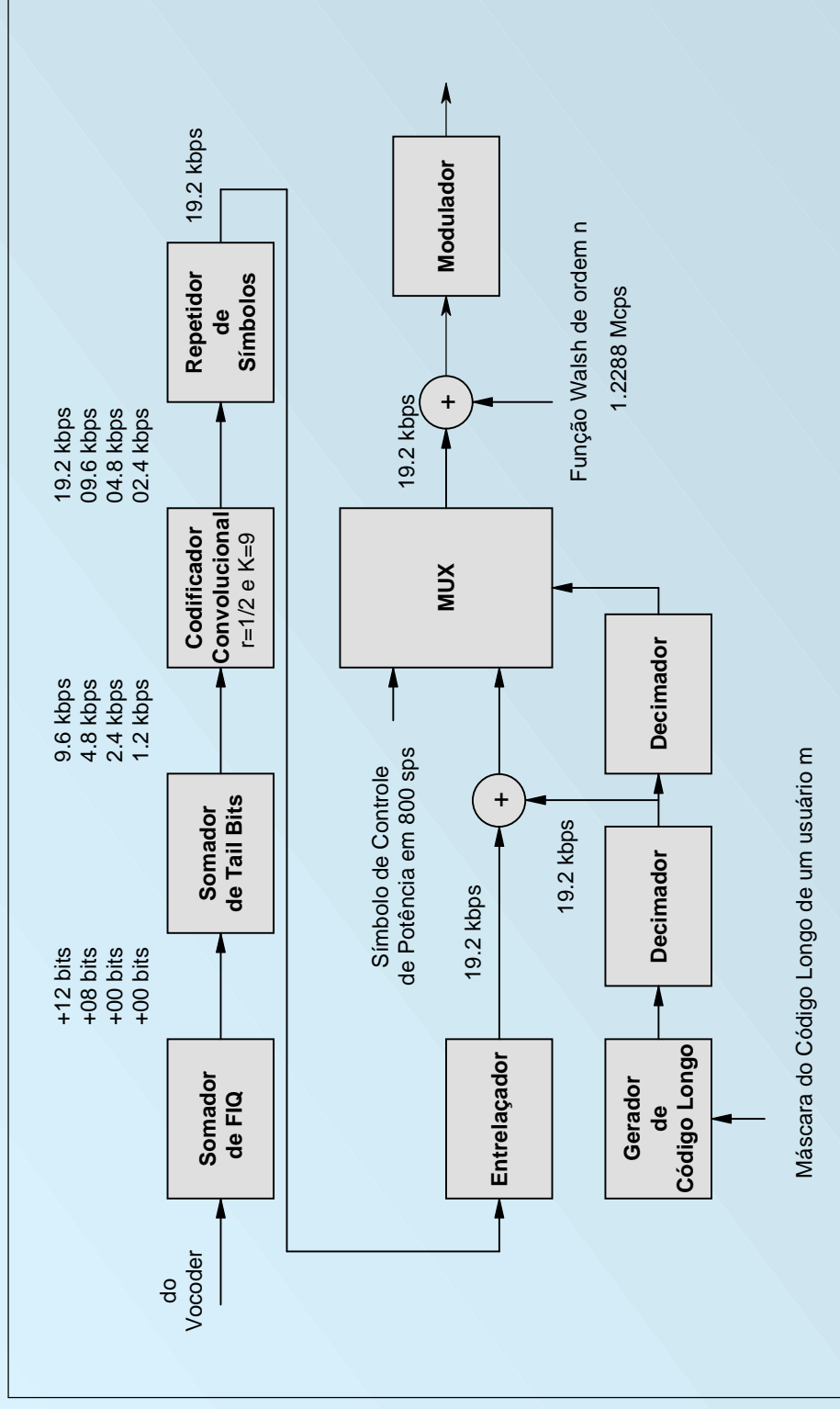
- Uma das SMCs utilizadas é um código denominado em Inglês “Long Code”. Ele é gerado pela recursão linear definida pelo seguinte polinômio primitivo característico:

$$f(x) = x^{42} + x^{35} + x^{33} + x^{31} + x^{27} + x^{26} + x^{25} + x^{22} + x^{21} + x^{19} + x^{18} + x^{17} + x^{16} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$$

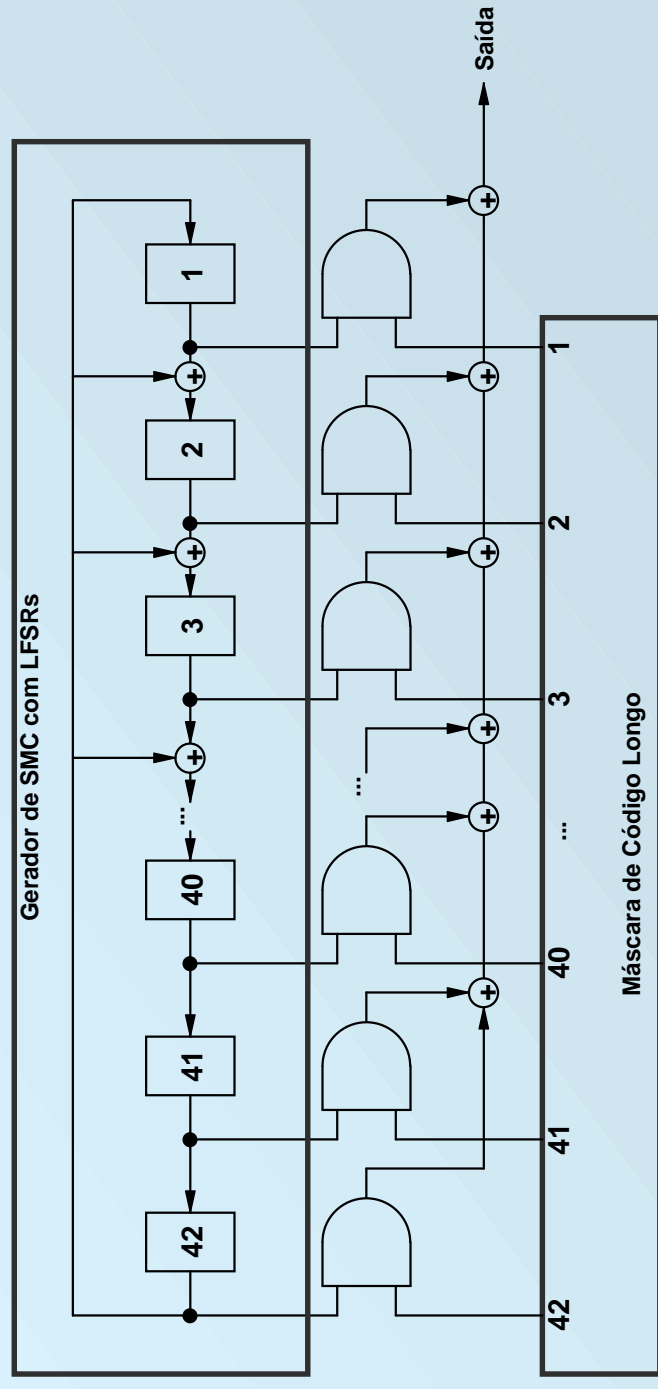
- A SMC gerada tem período ($2^{42}-1$) e é modificada inserindo-se mais um “zero” após 41 “zeros” consecutivos, resultando em uma sequência balanceada de período 2^{42} ;
- Cada chip do código longo é denominado PN chip e é gerado a partir do produto módulo-2 interno entre uma máscara de 42 bits e o vetor de 42 bits que representa o estado do gerador do código longo. A taxa de transmissão desses chips é 19,2 Kchips/s. A máscara utilizada na sequência (long code mask, ou “máscara de código longo”) contém informações sobre a identificação da UM envolvida naquela conexão específica;

Sentido Direto de Transmissão (ERB-UM)

Canais de Tráfego



Máscara do Código Longo



- Após o espalhamento por multiplicação pelo código longo, o sinal é multiplicado pelas seqüências piloto I e Q em quadratura (com taxa de transmissão 1,2288 Mc/s). Estas são geradas por fórmulas de recursão a partir dos polinômios característicos $P_I(x)$ e $P_Q(x)$:

$$P_I(x) = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1$$

$$P_Q(x) = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$$

- As SMC geradas a partir dos polinômios acima têm comprimento $(2^{15}-1)$. Após 14 "zeros" consecutivos, insere-se mais um "zero" para se obterem as seqüências I e Q, que têm período igual a 2^{15} e são balanceadas;
- Existe um alinhamento adicional entre as seqüências de código longo, I e Q, de modo a estabelecer uma referência de tempo. O período composto assim obtido é de 37 séculos!

Sinalização - Canais no Sentido Direto

- No sentido direto cada canal lógico é identificado por uma sequência gerada por uma função de Walsh. Os canais no sentido direto também são identificados pelo seu deslocamento de fase e pela máscara do código longo;

- O seguinte algoritmo gera uma Matriz de Walsh $H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{bmatrix}$

com $H_1 = [1]$;

- As funções de Walsh numeradas de 0 a 63 (W_i , $i = 0, 1, 2, \dots, 63$) correspondem às linhas da matriz de 64×64 apresentada a seguir;

- Duas funções de Walsh distintas são ortogonais, ou seja, o produto escalar de duas funções distintas alinhadas é igual a zero, isto é:

$$\langle W_i, W_j \rangle = 0 \text{ para } i \neq j \text{ e } \langle W_i, W_i \rangle = 64 \text{ para } i = 0, 1, \dots, 63.$$

Matriz Walsh 64x64 bipolarizada

[illegible]

Sinalização - Canais no Sentido Direto (cont.)

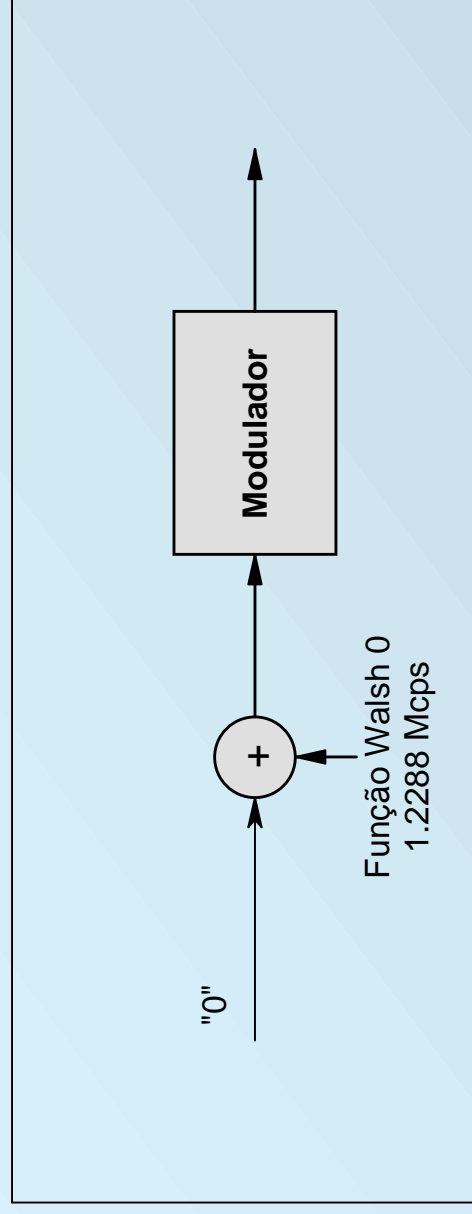
- No padrão IS-95 usam-se 64 funções de Walsh, portanto um canal de rádio CDMA pode operar com até 64 canais lógicos no sentido direto, que são:

- a) Um canal piloto, identificado pela função $W(i = 0)$. Note-se que na matriz de Walsh, na linha $i = 0$ todos os elementos são iguais a 1;
- b) Um ou nenhum canal de sincronismo, identificado pela função $W(i=32)$;
- c) De 0 a 7 canais de paging $W(i = 1, 2, ..., 7)$;
- d) Canais de tráfego. O número máximo de canais de tráfego que podem ser transmitidos em um canal de rádio CDMA é 63 menos o número de canais de paging (0 a 7) e menos o número de canais de sincronismo (0 ou 1).

Canal Piloto

- O canal piloto é transmitido continuamente em um canal de rádio e serve, principalmente, como referência para alinhamento de fase da sequência de código no receptor das UMs e para identificação da ERB melhor servidora para a UM;
- Considerando-se apenas um canal de rádio CDMA, as mesmas seqüências de código para o canal piloto são utilizadas em todas as células e em todos os setores de um sistema CDMA, porém com fases diferentes;
- As fases são numeradas com "índices de offset de fase" de 0 a 511 e podem ser reutilizadas em todo o sistema;
- Uma UM CDMA realiza continuamente medidas de nível de sinal de canais piloto do sistema, para identificar ERBs que poderão servir uma chamada. A UM realiza este rastreamento estando em chamada ou não;

Canal Piloto



Canal Piloto (cont.)

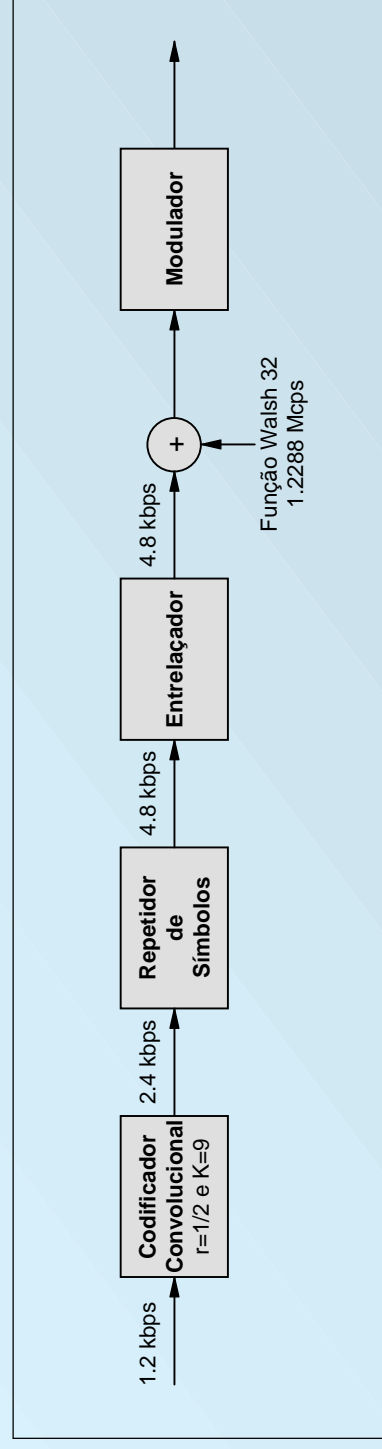
- O período da sequência de código do canal piloto é 2^{15} . Portanto, cada incremento do índice de offset corresponde a $2^{15}/2^9 = 64$ chips. Assim, o deslocamento em chips de um canal piloto é dado por $64 \times$ o índice de offset de fase;
- Em um setor de uma célula, os canais de tráfego, paging e sincronismo são transmitidos com o mesmo índice de offset de fase que o canal piloto. Este canal não transmite dados. O rastreamento de canais piloto que uma UM realiza não abrange necessariamente todos os índices de offset, de 0 a 511;
- Os pilotos rastreados são aqueles cujo índice de offset é múltiplo inteiro de um parâmetro denominado PILOT_INC. Este parâmetro de sistema pode ser controlado pela operadora do sistema celular, e significa “Pilot Sequence Offset Increment” e uma de suas utilidades é reduzir o tempo de busca de canais piloto nas UMs.

Canal de Sincronismo

- Canal direto que transmite dados com taxa constante igual a 1.200 bps. Algumas das informações transmitidas às UMs nesse canal são:

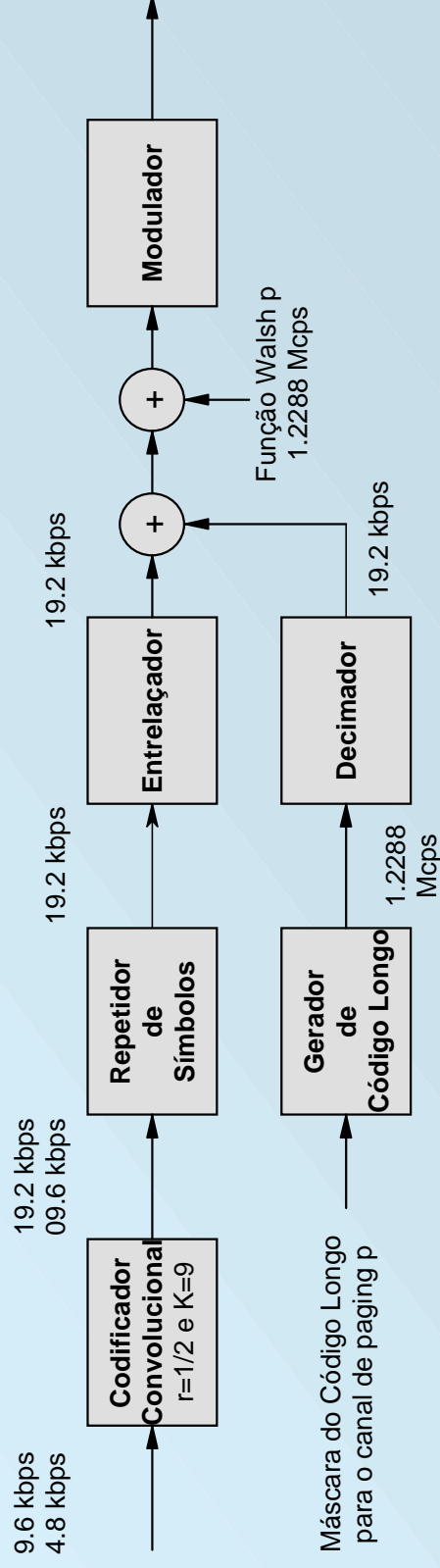
- a) Parâmetros de identificação do sistema System Identification e Network Identification;
- b) PILOT_PN: Pilot PN sequence offset index, que é o índice de offset de fase desta ERB, em unidades de 64 chips;
- c) System Time: tempo de referência, em UTC (para obtenção da referência de tempo do sistema, em UTC, cada ERB possui um receptor GPS);
- d) Paging Channel Data Rate: taxa de transmissão no canal de paging, que pode ser 4.800 ou 9.600 bps.

Canal de Sincronismo



Canal de Paging

- Canal direto que tem como função a transmissão de mensagens de cabeçalho de uma ERB para uma UM, quando esta recebe uma ligação. Sua taxa de transmissão pode ser 4.800 ou 9.600 bps. Em um canal de rádio CDMA, podem ser transmitidos até 7 canais de paging.



Algumas das informações transmitidas através do canal de paging são:

- a) System Parameters Message: informações que a UM necessita para determinar qual o número correto do canal de paging se este for diferente de 1 (W1), índice de offset do canal piloto, identificação da ERB, número de canais de paging e os parâmetros utilizados no handoff T_ADD, T_DROP, T_TDROP, SRCH_WIN;
- b) Access Parameters Message: parâmetros de configuração necessários para transmitir no canal de acesso;
- c) Neighbor List Message: lista com índices de offset das células vizinhas à célula onde a UM está localizada; valor do parâmetro PILOT_INC;

- d) CDMA Channel List Message: frequências dos canais de rádio CDMA disponíveis na célula;
- e) Channel Assignment Message: frequência designada para a UM estabelecer uma chamada;
- f) Authentication Challenge Message: solicitação de identificação da UM.
Uma das funções da identificação do móvel é evitar assinantes falsos (clones).

Canal de Tráfego

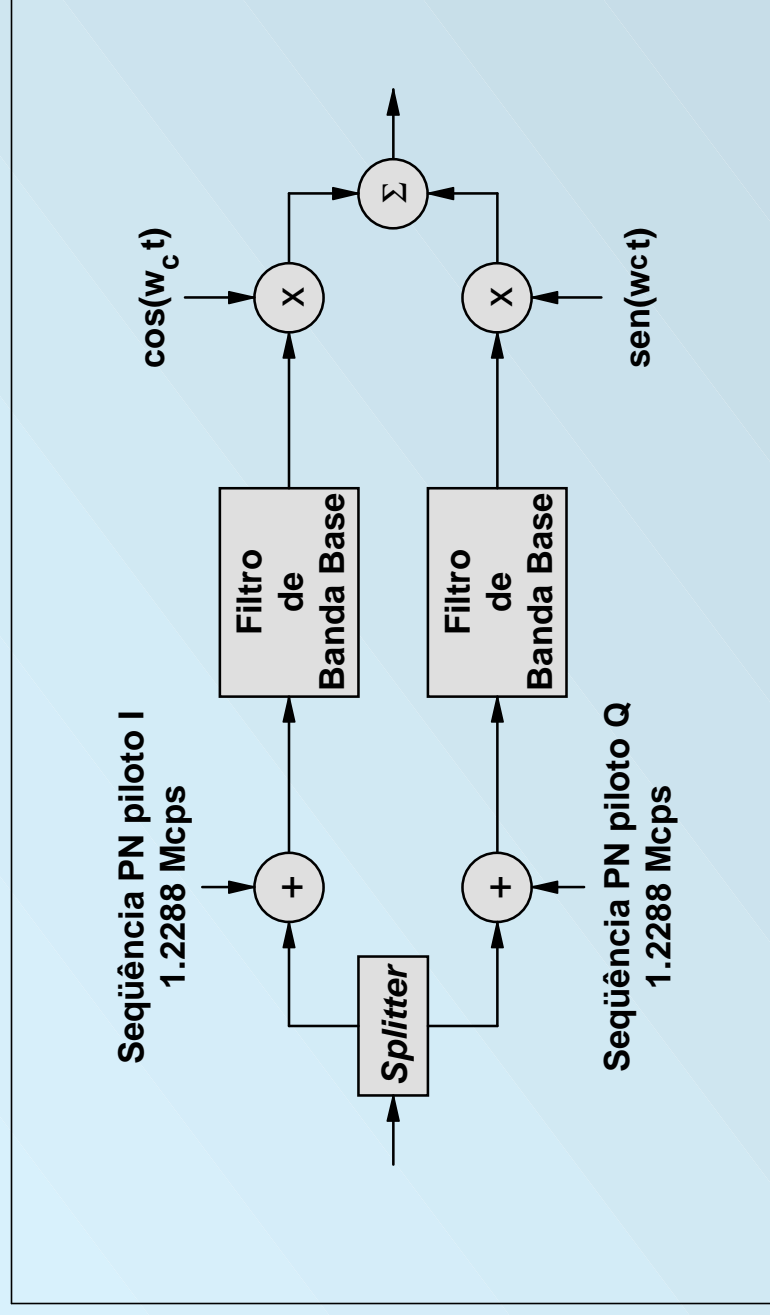
- A taxa de transmissão no canal direto de tráfego pode ser de 1.200, 2.400, 4.800 ou 9.600 bps, dependendo da atividade do sinal de voz a ser transmitido. Além da informação propriamente dita, o canal direto de tráfego transmite as seguintes mensagens:

- a) In-Traffic System Parameters Message: atualização de parâmetros contidos no System Parameters Message, quando necessário (em handoff, por exemplo);
- b) Authentication Challenge: solicitação de identificação de uma UM. Esta mensagem também é transmitida através do canal de paging;

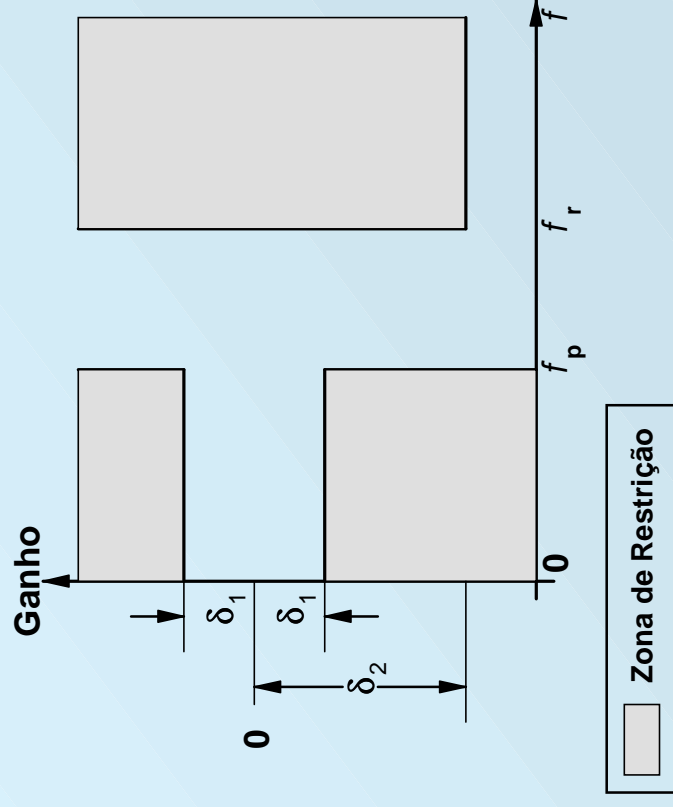
- c) Handoff Direction Message: informações necessárias para que uma UM inicie um handoff;
- d) Analog Handoff Direction: mensagem para que uma UM mude para modo de operação AMPS e inicie um processo de handoff de célula CDMA para célula AMPS;
- e) Neighbor List Update Message: atualização da lista de células vizinhas.
Uma lista de células vizinhas é enviada à UM no início da chamada através do canal de paging, na mensagem Neighbor List Message;
- f) Send Burst DTMF: número discado, multifrequencial;

- g) Power Control Parameters Message: informa à UM qual o período ou limiar de comparação a ser considerado pela UM no envio de medidas da taxa de erro de quadros, para o controle dinâmico da potência transmitida pela ERB. Estas medidas são enviadas à ERB pela UM através do canal de tráfego reverso;
- h) SSD Update: Shared Secret Data é um código de criptografia, utilizado para aumentar o sigilo dos dados para os assinantes;
- i) Mobile Station Registered Message: aprovação de registro da UM e envio de parâmetros de sistema.

Sentido Direto de Transmissão (ERB-UM)-Modulador



Máscara do Filtro de Banda Base



$$\delta_1 = 1.5 \text{ dB}, \delta_2 = -40 \text{ dB}, f_p = 590 \text{ kHz e } f_r = 740 \text{ kHz}$$

Canais no Sentido Reverso

- No sentido reverso, cada canal lógico é identificado pelo seu índice de offset de fase e pela máscara do código longo;
- As seqüências de Walsh não são utilizadas para identificação dos canais de tráfego reversos, pois elas só são ortogonais entre si quando alinhadas, e não é possível garantir alinhamento ou sincronismo entre os sinais transmitidos por diversas UMs, devido à aleatoriedade de suas localizações;
- No canal reverso, não há um canal piloto, nem de sincronismo;
- Os canais nesse sentido são denominados de acesso e tráfego reverso.

Canal de Acesso

- A taxa de transmissão no canal de acesso é fixa e igual a 4.800 bps.

Algumas das mensagens transmitidas pelas UMs através deste canal são:

- a) Registration Message: registro da UM;
- b) Originação de chamadas;
- c) Atendimento de chamadas;
- d) Authentication Challenge Response: dados de localização e identificação da UM, em resposta à solicitação "Authentication Challenge" da ERB;
- e) Número discado;
- f) Atendimento de chamada.

Canal Reverso de Tráfego

- Assim como os canais diretos de tráfego, a taxa de transmissão de dados nos canais reversos de tráfego pode ser 1.200, 2.400, 4.800 ou 9.600 bps, dependendo da atividade do sinal de voz que está sendo transmitido.

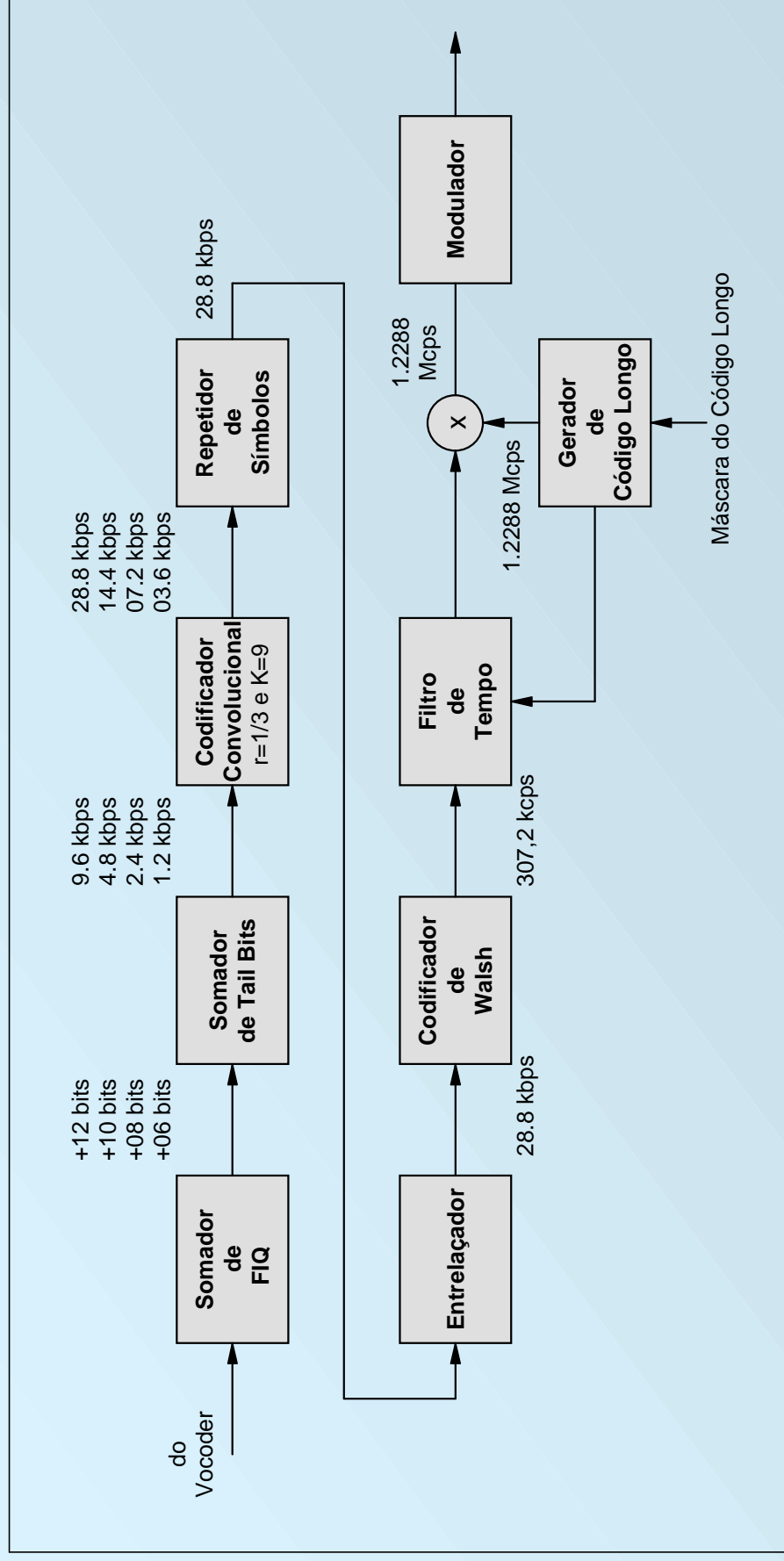
Além da informação propriamente dita: dados ou voz digitalizada, o canal reverso de tráfego é utilizado para transmitir as seguintes mensagens de controle:

- a) **Authentication Challenge Response:** informações necessárias para validar a identidade da UM;
- b) **Confirmação de estabelecimento de conexão;**
- c) **Power Measurement Report Message:** medidas de taxa de erro de quadros no sinal transmitido pela ERB. Esta mensagem é enviada em intervalos regulares ou a cada vez que a taxa de erros ultrapassa um limiar estabelecido. Os dados da taxa de erros de quadros serão utilizados para controle dinâmico da potência transmitida pela ERB;

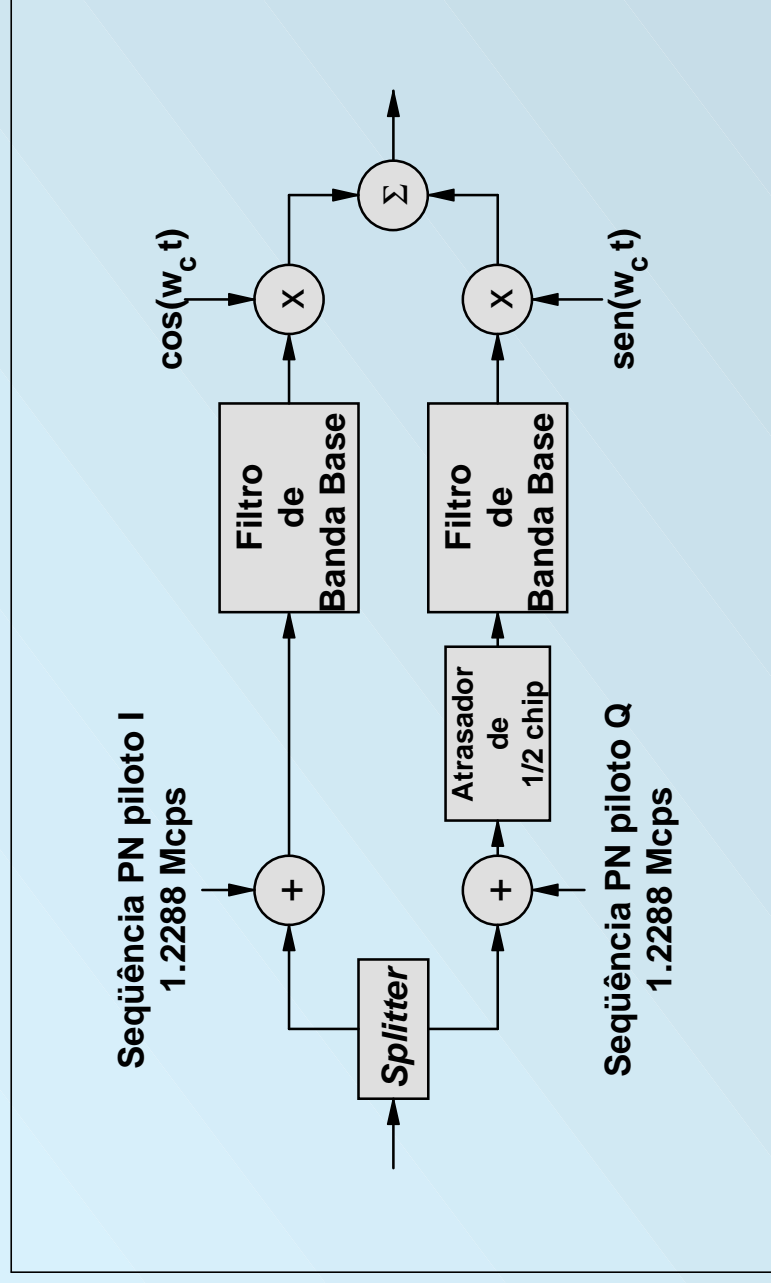
Canal Reverso de Tráfego (cont.)

- d) Pilot Strength Measurement Message: níveis medidos de potência de canais piloto de ERBs que não estão servindo a chamada;
- e) Origination Continuation Message: continuação da mensagem de origemação da chamada, que será enviada caso o usuário digite números durante a chamada;
- f) Handoff Completion Message: confirmação de que um handoff foi completado.

Sentido Reverso de Transmissão (UM-ERB)



Sentido Reverso de Transmissão (UM-ERB)-Modulador



Recepção com Diversidade de Fase e Soft Handoff

- A recepção com diversidade de fase consiste de um receptor que possui a propriedade de demodular em paralelo dois, ou mais, sinais defasados, combinando-os ou selecionando o melhor entre eles para posterior detecção;
- Assim como a diversidade de espaço, a função desta técnica é combater desvanecimentos de multipercurso. Receptores com diversidade de fase são denominados de RAKE receivers;
- Conforme o padrão IS-95, uma UM deve possuir ao menos três demoduladores em paralelo;
- Além de compensar o desvanecimento de sinal, a diversidade de fase tem uma função adicional importante: em sistemas celulares CDMA, é possível reutilizar o mesmo canal de rádio em todas as células. Assim, não é necessário transladar a frequência da UM durante o handoff;

Recepção com Diversidade de Fase e Soft Handoff (cont.)

- Devido à diversidade de fase, uma mesma chamada de UM pode ser atendida simultaneamente por até três ERBs. Portanto, durante um handoff a UM somente irá se desconectar de uma ERB após se conectar com outra. Este tipo de transferência recebe o nome soft handoff;
- É importante observar que há um aumento do número de canais de tráfego em uso no sistema devido a este processo, pois uma chamada em soft handoff utiliza mais de um canal de tráfego;
- Além do soft handoff, há duas outras modalidades de handoff no sistema CDMA considerado:
 - a) CDMA to CDMA hard handoff: transferência de uma chamada de uma célula para outra passando de um canal de rádio CDMA para outro.
 - b) Intersistemas: CDMA para AMPS.

Recepção com Diversidade de Fase e Soft Handoff (cont.)

- O padrão IS-95 não descreve o handoff de uma UM dual de um sistema AMPS para um sistema CDMA;
- Como consequência, um assinante que origine ou receba uma chamada dentro de uma região onde há apenas o sistema AMPS, e que se locomova para a região onde há sistema CDMA, não poderá utilizar canais CDMA até o fim desta mesma chamada.

Qualidade do sinal recebido

- Para medir a qualidade do sinal no receptor de uma ERB CDMA, definem-se:
 - a) E_b : Energia recebida por bit de informação do sinal desejado transmitido por uma UM;
 - b) I_0 : Densidade espectral de potência equivalente do ruído térmico + interferência.
- A variação da probabilidade de erro de quadro em função de E_b/I_0 é uma característica de desempenho do receptor, que depende do fabricante, código corretor de erros utilizado, tipo de entrelaçamento, etc.

Qualidade do sinal recebido (cont.)

- Metas operacionais tipicamente adotadas em sistemas CDMA são:

$E_b/I_0 \geq 7$ dB no canal reverso, considerando que o receptor da ERB possua diversidade de espaço e $E_b/I_0 \geq 5$ dB no canal direto;

- Os principais motivos para a diferença entre os quesitos para o canal direto e o reverso são:

a) Não há canal piloto no sentido reverso;

b) Os sinais transmitidos pelas UMs no sentido reverso não são síncronos, ao passo que no canal direto as funções de Walsh são transmitidas em sincronismo, sendo portanto ortogonais.

Controle dinâmico de potência em sistemas CDMA

Controle dinâmico de potência do canal reverso

- Quanto maior for o número de UMs acessando o mesmo canal de rádio simultaneamente, menor será a relação E_b/I_0 em cada canal de tráfego. O número de acessos a um canal de rádio CDMA é limitado assim por um valor mínimo de E_b/I_0 .
- Sendo S_{Ci} o nível de potência que uma ERB recebe da UM i , os valores correspondentes às várias UMs conectadas a uma ERB podem ter diferenças em consequência de:
 - a) Distâncias variadas das UMs à ERB;
 - b) Diversas posições relativas entre as UMs e obstruções urbanas e geográficas.

Controle dinâmico de potência em sistemas CDMA (cont.)

- Em sistemas CDMA, é desejável que todos os valores de S_{Ci} sejam iguais. Se o nível recebido de uma UM for superior ao necessário, ela estará causando interferência excessiva sobre as demais. Se for inferior aos demais, então a qualidade do seu sinal estará comprometida (near-far effect);
- Para equalizar as potências recebidas dos móveis conectados a uma ERB, os sistemas celulares CDMA utilizam as seguintes formas de controle dinâmico da potência transmitida durante uma conexão telefônica:
 - a. Controle em malha aberta: é função exclusiva da UM, adequado para compensar o desvanecimento devido ao aumento da distância entre ERB e UM. A UM mede em intervalos regulares a potência que recebe no canal piloto da ERB correspondente e ajusta sua potência transmitida. Claro, quanto maior for a potência recebida, menor será a potência de transmissão utilizada pela UM;

Visto que as frequências das portadoras nos canais direto e reverso são diferentes, separadas de 45 MHz, os desvanecimentos tipo Rayleigh em ambos os sentidos têm comportamentos diferentes: mínimos não ocorrem necessariamente ao mesmo tempo nos sinais recebidos pela ERB e pela UM. O controle em malha aberta não tem resposta rápida suficiente para compensar variações causadas pelo desvanecimento tipo Rayleigh. Assim, é necessário que haja uma realimentação da ERB com influência no controle da potência transmitida pela UM.

- b. Controle em malha fechada - malha interna: é uma operação que envolve tanto a UM como a ERB. Em cada quadro de 20 ms, a ERB mede 16 vezes a relação E_b/I_0 média dos sinais recebidos da UM e compara com um limiar (set point). Com base nesta comparação, transmite através do canal de tráfego um bit de controle para ajuste da potência transmitida pela UM:

Controle dinâmico de potência em sistemas CDMA (cont.)

- Bit com valor lógico "0": a UM aumenta a potência transmitida em 1 dB;
- Bit com valor lógico "1": a UM reduz a potência transmitida em 1 dB.
- c) Controle em malha fechada - malha externa: o setpoint anterior pode assumir valores entre 3 e 10 dB. A cada quadro de 20 ms, a ERB reduz o setpoint de 1 dB, até ocorrer erro de um quadro. Então, o setpoint é aumentado de um valor fixo (por exemplo, 4 dB) e o processo se repete;
- O controle de potência da UM resulta da soma dos ajustes devidos aos itens (a) e (b) anteriores.

Controle dinâmico de potência do canal direto

- Assim como no canal reverso, o controle dinâmico da potência transmitida pela ERB tem como função manter sua potência transmitida em níveis adequados para a recepção de cada UM, porém não exagerados, minimizando a interferências para as UMs de outras células;
- A cada 80 ms, a ERB reduz de aproximadamente 0,25 dB a potência transmitida alocada para uma determinada UM, até que receba do móvel uma mensagem "Power Measurement Report Message". Então, a ERB aumenta a potência transmitida alocada para aquele móvel em aproximadamente 1 dB;

Controle dinâmico de potência em sistemas CDMA (cont.)

- A cada 56 quadros de 20 ms, a UM conta o número de quadros com erro recebidos da ERB. Existem então duas possibilidades que podem ser configuradas:
 - a) A UM envia à ERB uma mensagem com o número de quadros com erro. Com base nesta mensagem, a ERB aumenta ou diminui a potência no próximo ciclo de 80 quadros, ou
 - b) A UM somente irá enviar uma mensagem à ERB caso o número de quadros com erro esteja acima de um certo valor. Então, a ERB aumenta a potência transmitida.
- É possível desabilitar o controle dinâmico de potência do canal direto.

Máxima potência transmitida pelas UMs

- A tabela abaixo apresenta os limites para máxima ERP de UMs de sistemas celulares CDMA, dependendo de sua classe:

Classe I entre 31 dBm = 1.250 mW e 38 dBm = 6.300 mW

Classe II entre 27 dBm = 500 mW e 34 dBm = 2.500 mW

Classe III entre 23 dBm = 200 mW e 30 dBm = 1.000 mW

- Além de igualar os níveis de potência que uma ERB recebe de todas as UMs, outro objetivo do controle da potência transmitida pelas UMs é aumentar a duração de suas baterias.

Cálculo da Capacidade no sistema IS-95

- A capacidade, em termos de chamadas simultâneas por célula, no sistema IS-95 pode ser obtida por:

$$N = [1 + (W_{ss}/R_b) \times (E_b/I_o)^{-1}] \times F \times G_s \times (1/d)$$

onde:

W_{ss} = banda total utilizada pelo sistema, nominalmente, 1,2288 MHz;

R_b = taxa efetiva da informação, no caso 9600 bits/s;

$E_b/I_o = 5$ (= 7 dB), especificação do receptor;

F = fator de eficiência do reuso de frequências, valor típico de 0,65;

G_s = ganho devido à setorização das antenas na ERB, valor típico de 2,55;

d = fator de atividade vocal, valor típico de 0,4.

Cálculo da Capacidade no sistema IS-95 (cont.)

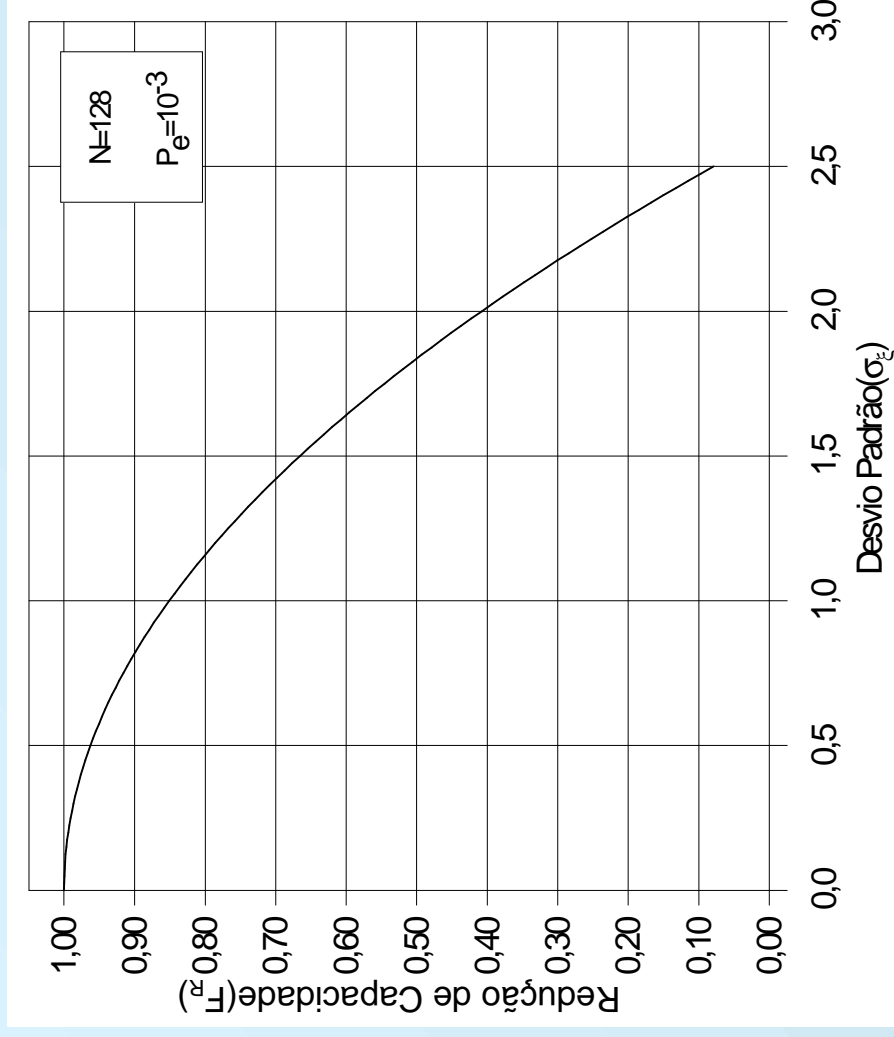
- Com os valores acima adotados tem-se:

$N = 110$ chamadas simultâneas por célula, ou seja, aproximadamente 36 chamadas simultâneas por setor.

- A expressão utilizada é aproximada pois não considera alguns fatores importantes que têm influência na capacidade, como por exemplo:

- a) sistemas celulares CDMA são sensíveis a imperfeições do controle dinâmico de potência e à distribuição não uniforme de assinantes nas células;
- b) variações da atividade vocal e ruído térmico do receptor;
- c) interferência adicional causada pelo canal de acesso, por sistemas celulares AMPS e por sinais espúrios gerados por outros sistemas irradiantes (por exemplo, sistemas de repetição de televisão ou de radiodifusão).

CIP - Controle de Potência no Sistema CDMA padrão IS-95



Na prática verifica-se que σ_ξ apresenta valores compreendidos entre 1 e 2 dB. Dessa forma, é possível estimar uma redução entre 15% e 58%, respectivamente.

Aumento do número de canais em uso devido a soft handoff

- Devido à propriedade de diversidade de fase, uma UM pode estar utilizando mais de um canal de tráfego durante uma chamada, havendo redução do número de canais de tráfego disponíveis no sistema. Pode-se definir um fator de aumento de uso de canais devido a soft handoff como:

$F_{ASH} = (\text{Número total de canais de tráfego em uso}) / (\text{Número total de UMs em conversação})$

- Um valor típico, observado em sistemas celulares em operação com células de 3 setores, é 30 a 35 %, i. e., $F_{ASH} = 1,30$ a $1,35$;
- Com todas as ressalvas salientadas o número máximo de chamadas simultâneas por setor adotado na prática é de, aproximadamente, 19;
- Na transição, a retirada de dois canais AMPS de cada setor, i. e., 42 canais ao todo, permite implantar uma portadora CDMA (ver slide 18).

SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL VIA SATÉLITE

Algumas Características Gerais de Sistemas de Comunicação por Satélite

- Similar aos celulares, exceto que as ERBs (satélites nesse caso) podem mover-se assim como os usuários;
- Cobertura dos satélites é atrativa para regiões não servidas por infraestrutura terrestre: mares, regiões inóspitas etc;
- Transmissão em frequências mais elevadas tem a vantagem de requerer antenas menores, com a desvantagem de sofrer maior atenuação;
- Atenuação de espaço livre proporcional a d^{-2} ;
- Custo da transmissão independe da distância;

Vantagens/Desvantagens de Sistemas Geoestacionários:

- a) não necessita tracking;
- b) permanentemente à vista;
- c) um único satélite cobre 42 % da superfície terrestre;
- d) três satélites apenas para cobertura global;
- e) ausência de efeito Doppler simplifica circuitos;
- f) órbita de 36.000km implica em 250 ms de atraso por lance;
- g) perdas grandes devido à distância, exigem potências de transmissão maiores.

Vantagens/Desvantagens de Sistemas em Órbita Baixa

- a) custo de lançamento menor;
- b) perdas menores permitem os satélites serem mais simples;
- c) atrasos menores;
- d) menor visibilidade demanda por mais satélites;
- e) tempo médio de vida é substancialmente menor.

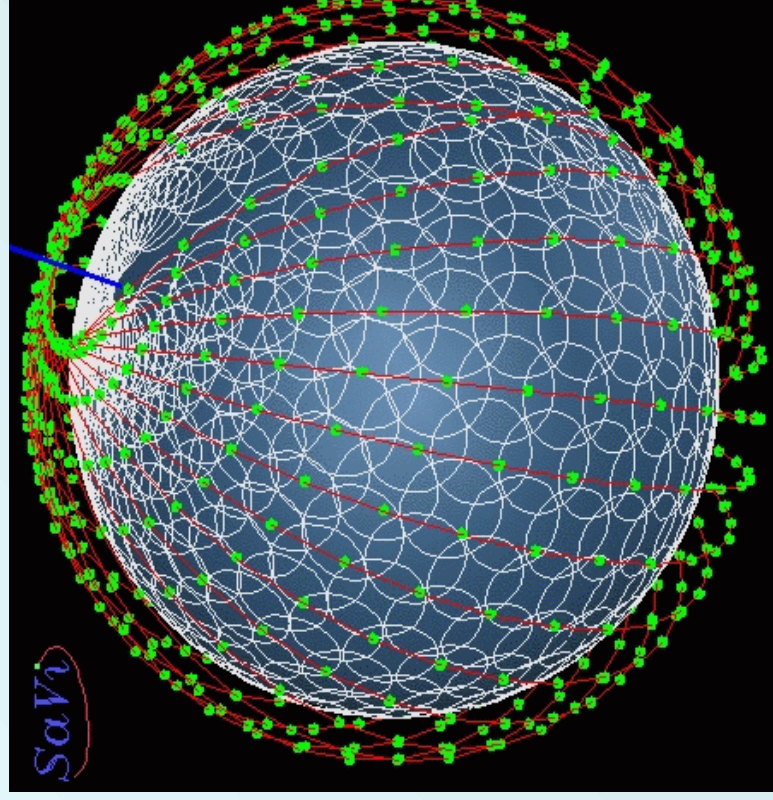
Denominação das bandas de frequências

banda P: 0,225-0,39 GHz	banda K: 10,9-36,0 GHz
banda J: 0,35-0,53 GHz	banda Ka: 20,0-30,0 GHz
banda L: 0,39-1,55 GHz	banda Ku: 15,35-17,25 GHz
banda S: 1,55-5,2 GHz	banda Q: 34,0-46,0 GHz
banda C: 3,9-6,2 GHz	banda V: 46,0-56,0 GHz
banda X: 5,2-10,9 GHz	banda W: 56,0-100,0 GHz

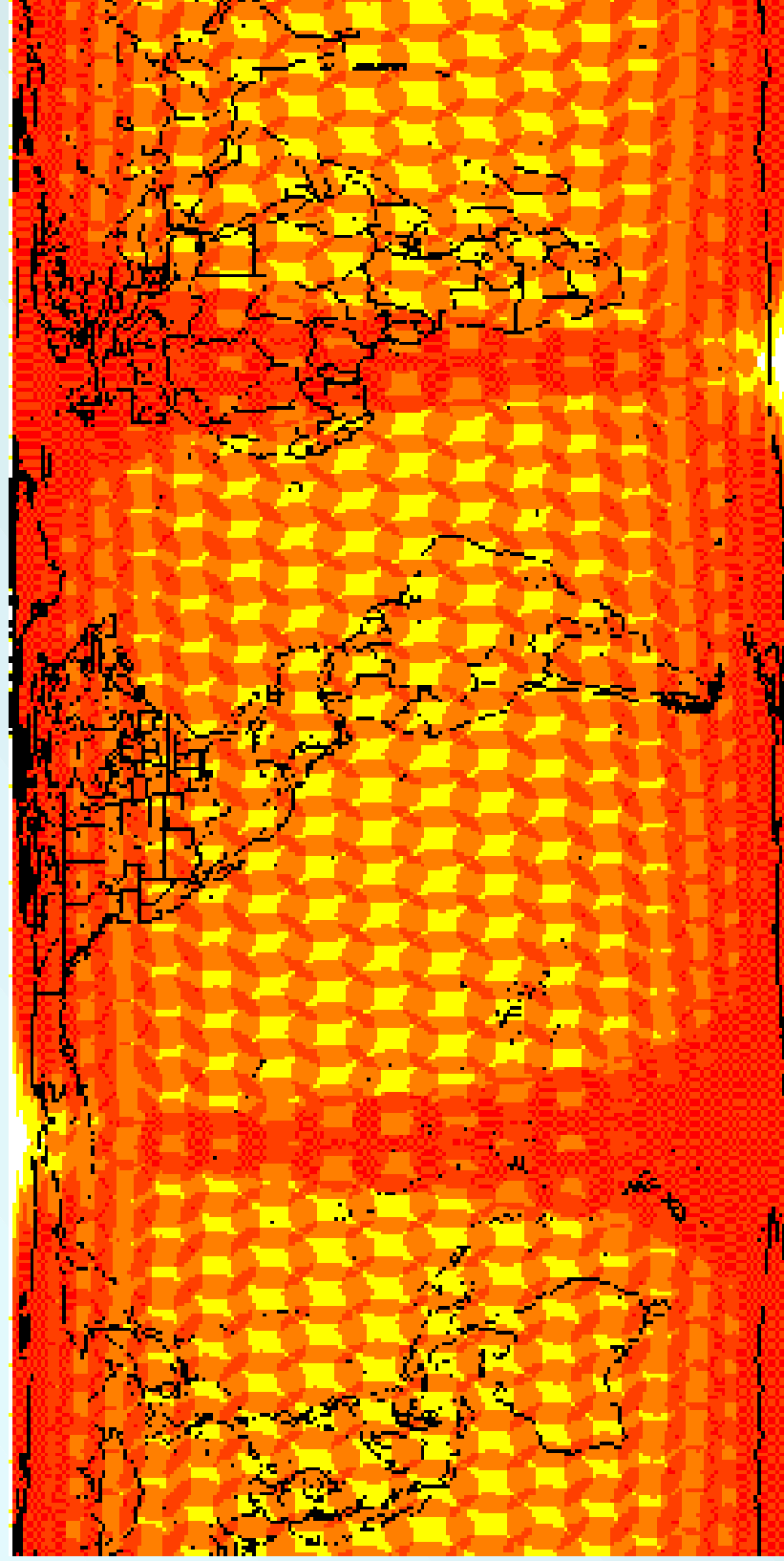
Alguns Sistemas de Comunicação por Satélite

<u>Teledesic</u>	<u>Iridium</u>
Mc Caw, Bill Gates	Motorola, Raytheon etc
2002	1998
US\$ 9 bi	US\$ 3/4 bi
ATM-based services	Voz, dados, paging, mensagens, posicionamento
700 km-Big LEO	780 km/órbita polar-Big LEO
848 satélites	66 satélites
TDMA, CDMA, FDMA	FDMA, TDMA

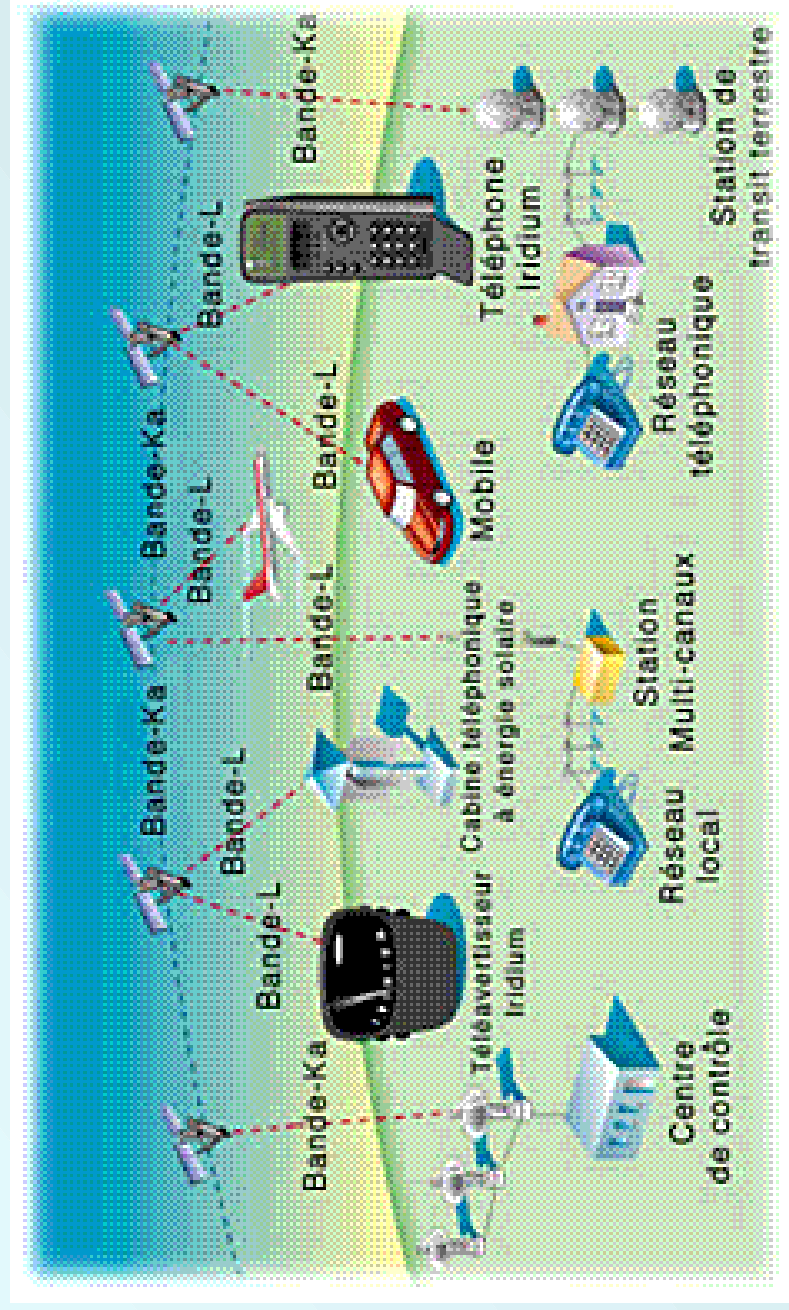
Constelação de Satélites do Sistema Teledesic



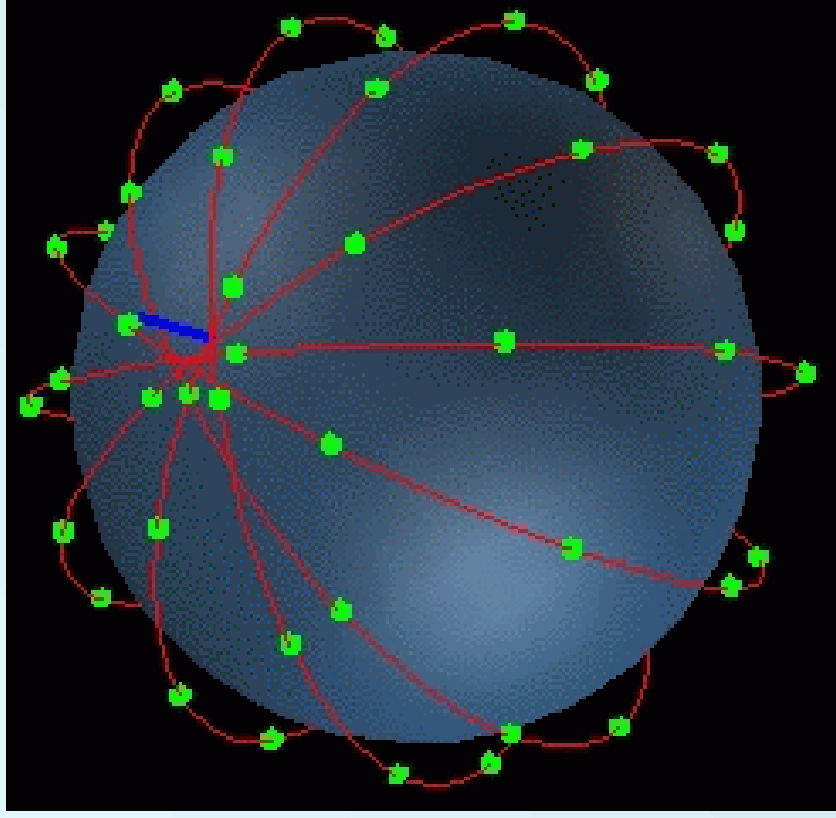
Cobertura do Sistema Teledesic



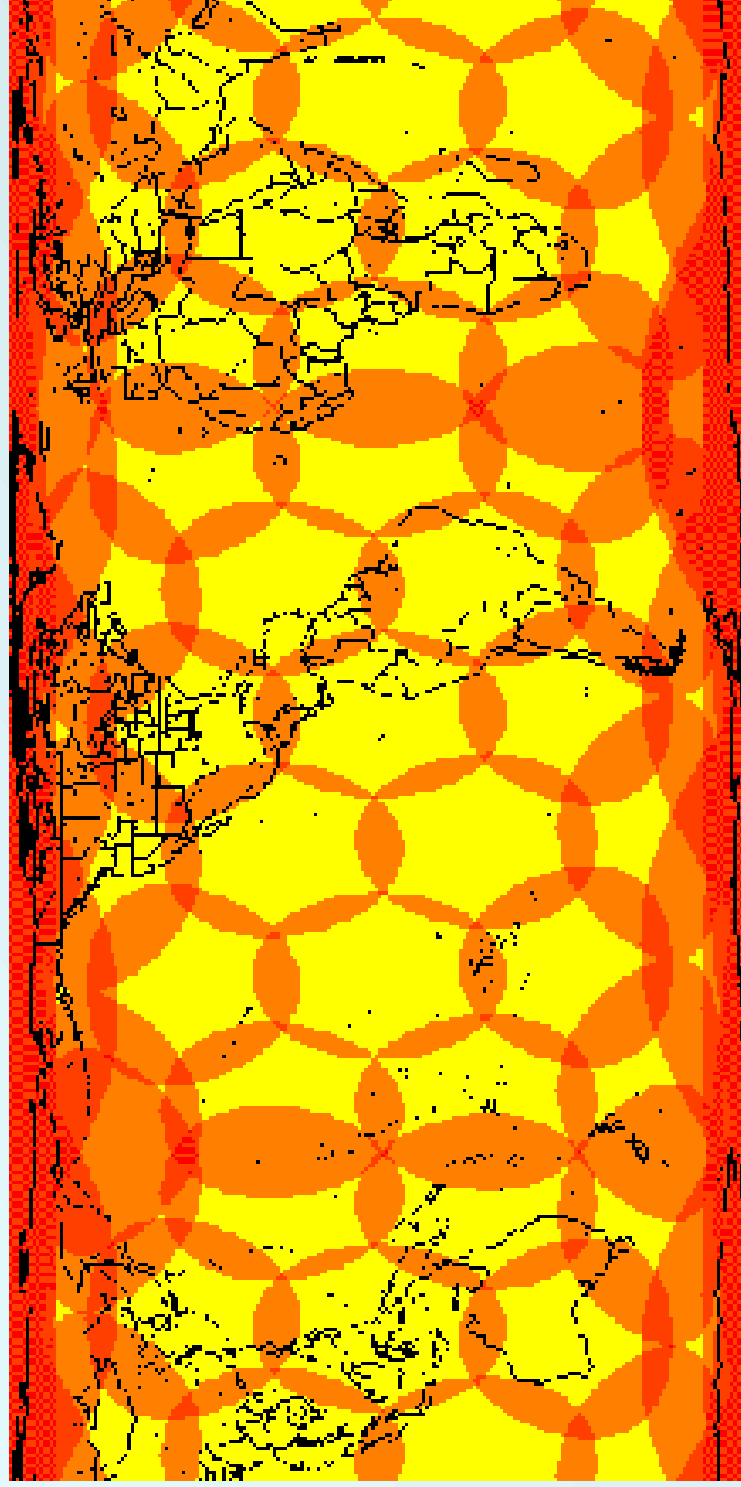
Elementos Básicos do Sistema Iridium



Constelação de Satélites do Sistema Iridium



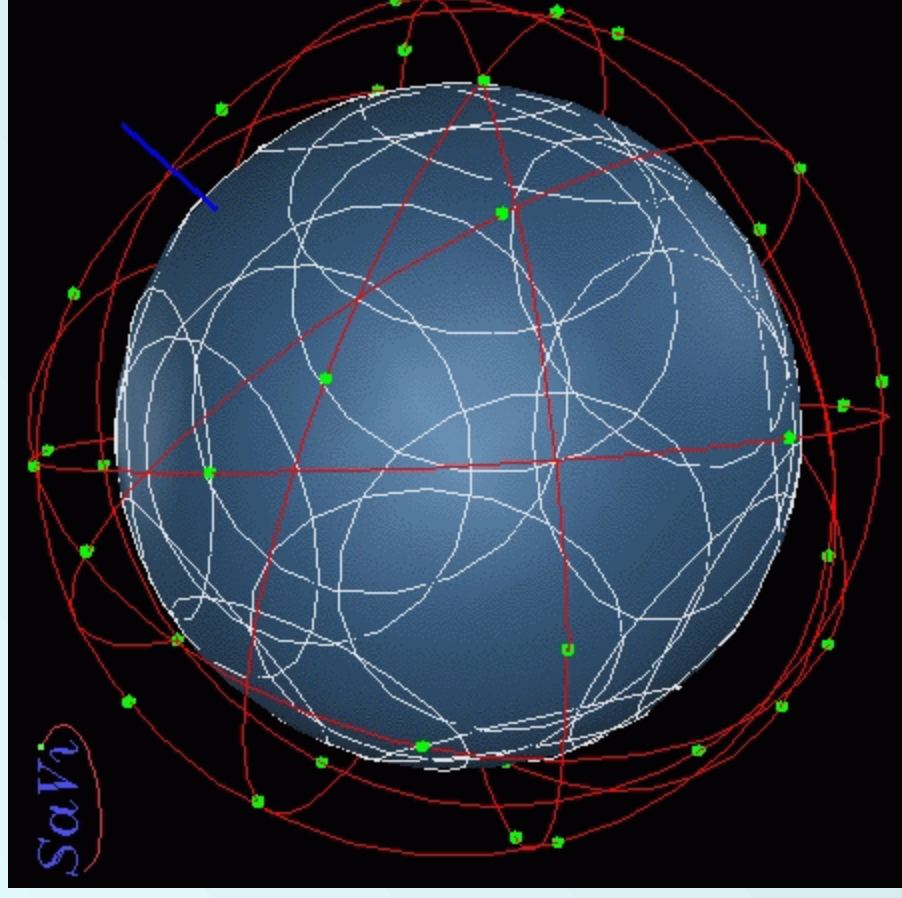
Cobertura do Sistema Iridium



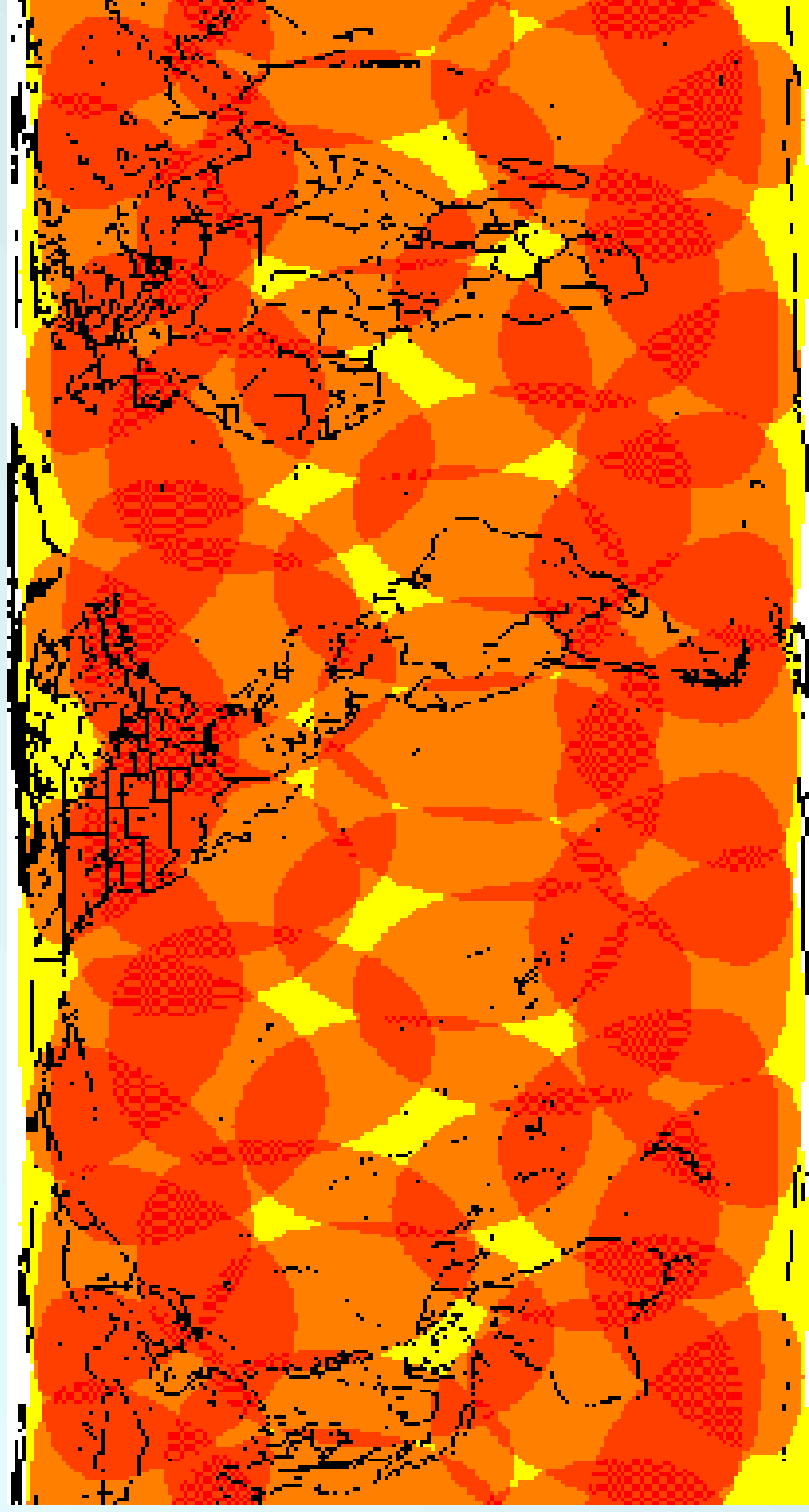
Alguns Sistemas de Comunicação por Satélite (cont.)

<u>ICO</u>	<u>Globalstar</u>
Inmarsat, Hughes	Vodafone, Qualcomm, Loral etc
2000	1998
US\$ 2/3 bi	US\$ 1,5/2,0 bi
Voz, dados, fax e paging	Voz, dados, paging, mensagens e posicionamento
LEO e GEO	1400 km/órbita inclinada-MEO
10 satélites	48 satélites
TDMA	CDMA

Constelação de Satélites do Sistema Globalstar



Cobertura do Sistema Globalstar



Globalstar (cont.)

- Sistema de telecomunicações digitais baseado em 48 satélites de órbita baixa (LEO a 1414 km de altitude e inclinado de 52 graus);
- Provê serviços de telefonia, comunicação de dados, mensagens, posicionamento para, virtualmente, todo globo terrestre onde o serviço do Globalstar é licenciado pelas autoridades locais que gerenciam o serviço de telecomunicações;
- Início de operação comercial previsto para o terceiro quadrimestre de 1999;
- Terminais a um custo aproximado de US\$ 1,000;
- Mercado potencial estimado de 30M de usuários;

Globalstar (cont.)

- Todo processamento de chamadas e comutação são realizados em terra e o sistema baseia-se em tecnologia CDMA, com atraso imperceptível e baixas potências devido à baixa altitude. Potências envolvidas são menores que os dos sistemas de primeira geração celulares;

- Terminais multi-modo (analógico, CDMA IS-95 e CDMA para o Globalstar);

- Soft Handoff;

- US\$ 3,26 bilhões;

- User links: 1610-1621.35 MHz (user-to-satellite)

2483.5-2500 MHz (satellite-to-user)

(Fixado no WRC - World Radiocommunications Conference de 1992)

Globalstar (cont.)

- Feeder links: 5091-5250 MHz (gateway-to-satellite)

6875-7055 MHz (satellite-to-gateway)

(Fixado no WRC - World Radiocommunications Conference de 1995);

- 56 satélites no total (sendo 8 de reserva), estabilizados em três eixos, 450 Kg cada, potência total do transponder de 1000 Watts e com um tempo médio de vida de 7,5 anos;

- De Seattle (USA) serão lançados 8 satélites, de Kiev (Rússia) 36 e de Surenness (França) 20;

- SOCC - Satellite Operations Control Centers será em São José (Califórnia-USA) e será responsável pelo tracking (posicionamento de órbitas) dos satélites, telemetria etc. Haverá ainda um SOCC reserva em El Dorado Hills (também na Califórnia-USA);

Globalstar (cont.)

- GOCC - Ground Operations Control Centers responsáveis pelo planejamento e controle do uso dos satélites pelos gateways terminais (alocação de recursos para os gateways);
- 60 gateways em terra garantirão o funcionamento global do sistema, fornecendo o elo de comunicação entre satélites e os sistemas de telecomunicação terrestre. Cada nação integrante do sistema deverá ter ao menos um gateway e com isso terá o controle das comunicações via Globalstar em seu território;

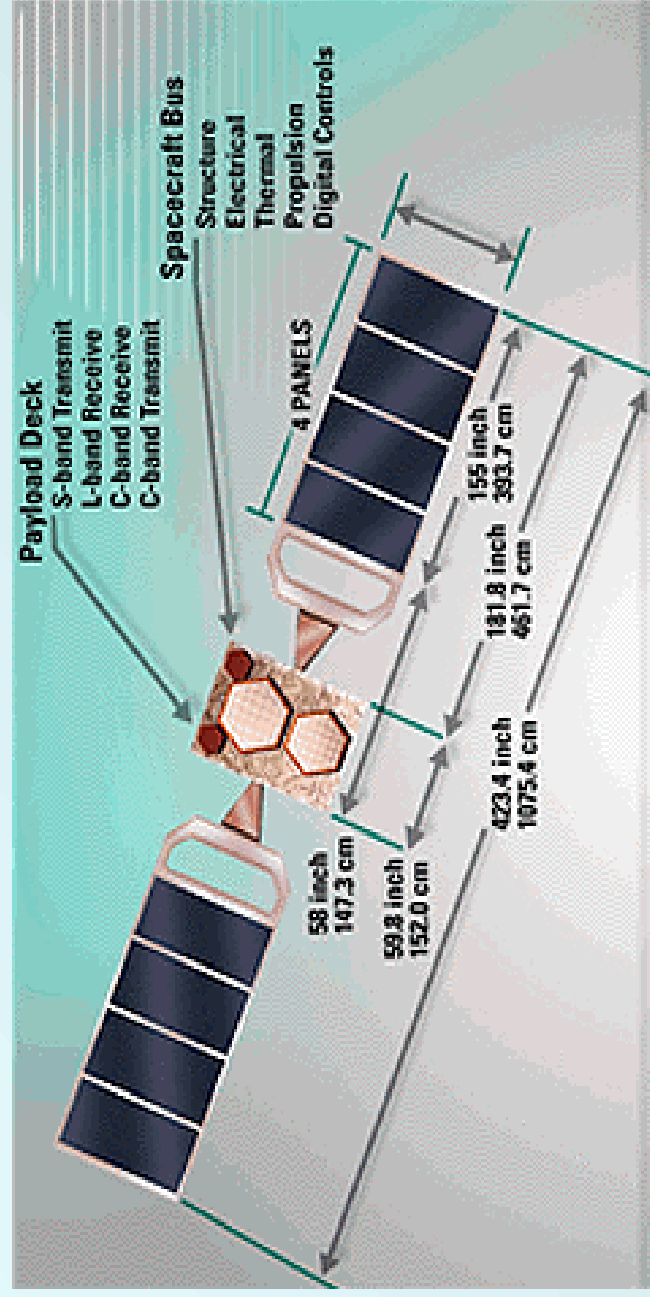
- Antenas

Satélite 16 spot beams tipo phase array

Usuário omnidirecional (móvel) e direcional chaveável (fixo)

Gateway tracking

Satélites do Globalstar



Alguns Sistemas de Comunicação por Satélite (cont.)

<u>Odyssey</u>	<u>Ellipso</u>
TRW, Teleglobe	Harris, Westighouse etc
2000	1998
US\$ 1,0/2,0 bi	US\$ 0,6/0,8 bi
Voz, dados, paging, mensagens, posicionamento	Voz, paging, mensagens, posicionamento
10.600 km/órbita inclinada-Big LEO	400/300 km/órbita elíptica MEO
12 satélites	10 satélites
CDMA	CDMA

Alguns Sistemas de Comunicação por Satélite (cont.)

<u>Orbcomm</u>	<u>Eco-8</u>
Orbcomm International	AEB, INPE, Telebrás
1997	1998
US\$ 0,3 bi	US\$ 0,2 bi
mensagens e posicionamento	Voz, paging, mensagens, posicionamento
750 km-little LEO	2000 km/órbita equatorial-LEO
26 satélites	8 satélites

SISTEMAS CELULARES

PARA

TERCEIRA GERAÇÃO

Cronologia Resumida

1980 - Primeira Geração

NMT, AMPS, TACS

Voz analógica

1990 - Segunda Geração

GSM, PDC, IS- 95, IS- 136 (D-AMPS)

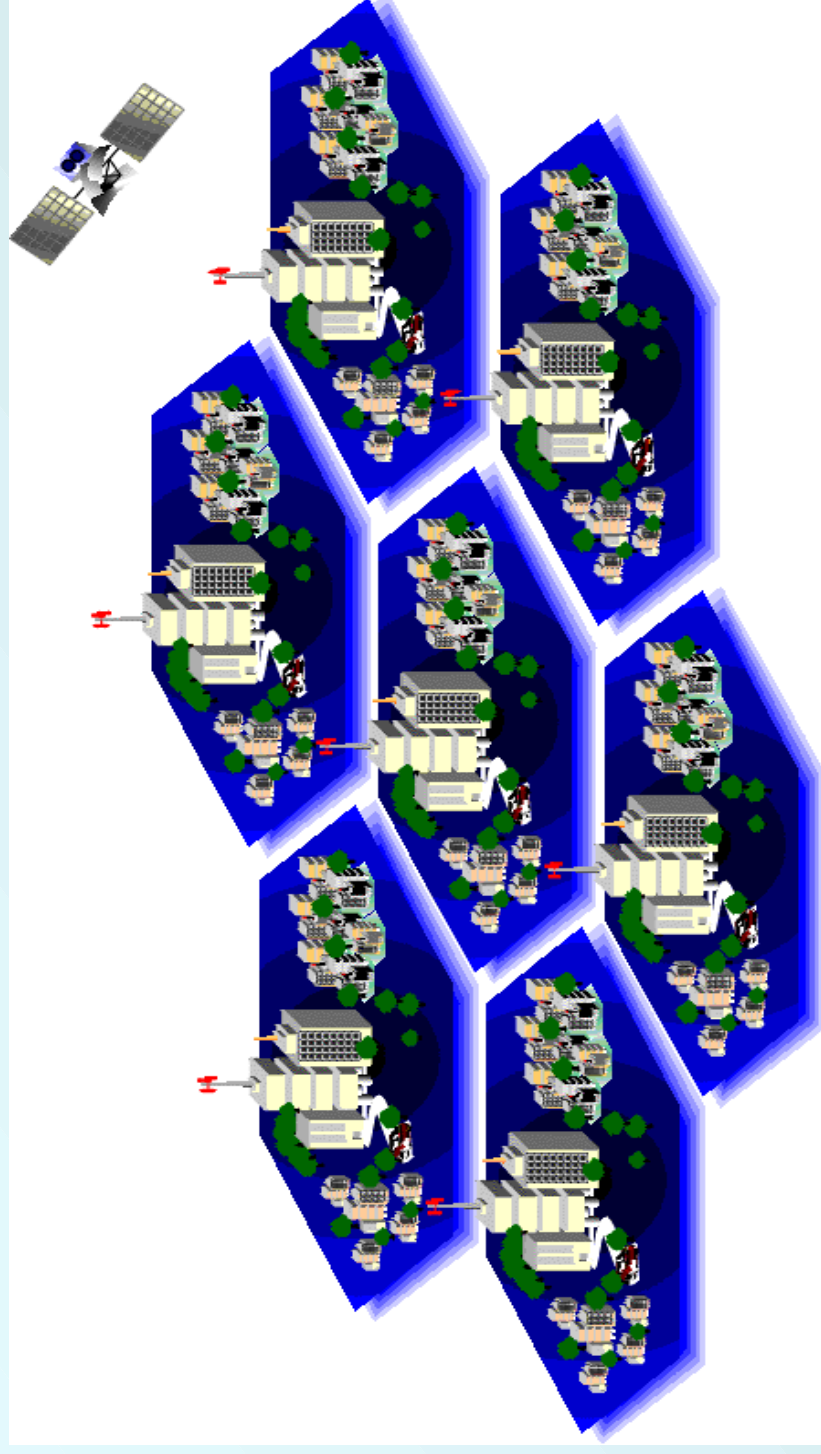
Voz digitalizada + dados à taxa baixa (< 64 kbps)

2000 - Terceira Geração

IMT- 2000

Serviços Multimídia (< 2 Mbps) + os de Segunda Geração

Esquema Básico de um Sistema de Terceira Geração



Especificações Genéricas do IMT - 2000

- Qualidade vocal comparável à rede fixa;
- Segurança comparável ao ISDN;
- Suportar operadores públicos, privados, residenciais;
- Interconectabilidade plena com rede móveis e fixas;
- Roaming nacional e internacional;
- Serviços para usuários fixos;
- Comutação de dados por pacotes e também circuitos;
- Alta eficiência espectral;
- Suportar esquemas de camadas múltiplas de células;
- Coexistência e interconexão com satélites;
- Dados à taxa de até 2 Mbit/ s.

Classes de serviços para sistemas “wireless” de terceira geração

Classe de Serviço	Serviços	Taxa de bits (kbps)	BER máximo	Atraso máximo (ms)
serviços de voz	voz, audio conferência	2.4 a 32	10^{-3}	40 (sensível)
serviços de dados à baixas taxas	mensagens, facsimile, e-mail	8 a 64	10^{-4}	200 (insensível)
serviços de dados à taxas médias	transferência de arquivos, acesso à Internet	64 a 128	10^{-6}	insensível
vídeo	vídeo de baixa resolução	64 a 128	10^{-6}	sensível
serviços de dados à altas taxas	acesso redes comutadas e pacotes, vídeo conferência de alta qualidade	100 a 2000	10^{-7}	insensível
serviços multimídia	voz, dados e vídeo	100 a 2000	10^{-7}	sensível

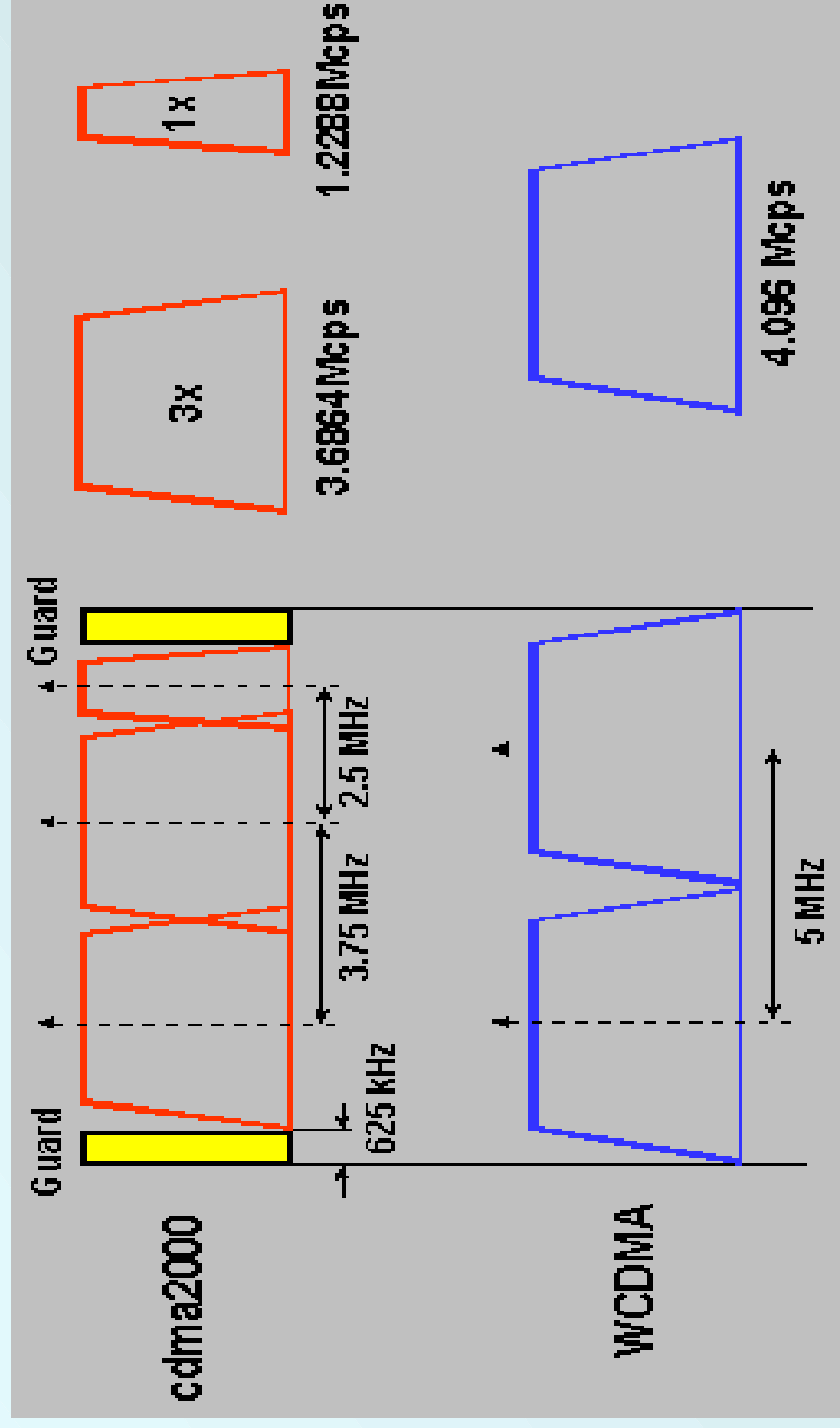
Especificações do IMT-2000

Ambiente	Sensíveis a atraso		Insensíveis a atraso	
	Taxa máxima	BER e atraso máximos	Taxa máxima	BER e tempo de transferência máximos
rural, <i>outdoor</i> , mobilidade alta	144 kbps	10^{-3} a 10^{-7} 20-300 ms	144 kbps	10^{-5} a 10^{-8} 150 ms ou mais
urbano /sub-urbano, <i>outdoor</i> , mobilidade alta	384 kbps	10^{-3} a 10^{-7} 20-300 ms	384 kbps	10^{-5} a 10^{-8} 150 ms ou mais
<i>indoor</i> , mobilidade baixa	2 Mbps	10^{-3} a 10^{-7} 20-300 ms	2 Mbps	10^{-5} a 10^{-8} 150 ms ou mais

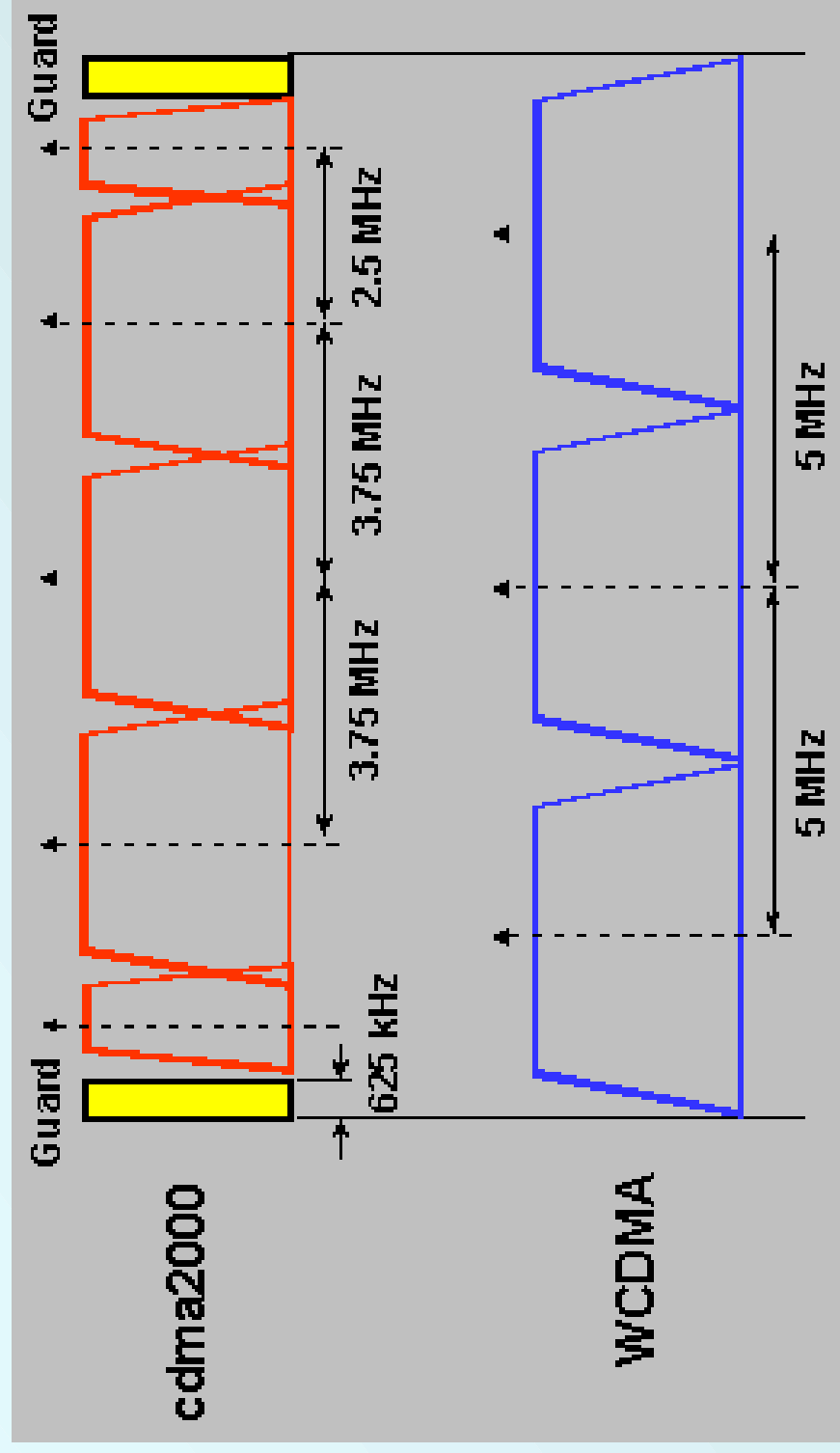
Esquemas de Multi-taxas em DS/CDMA

- Multi-Modulação
- Ganho de Processamento Variável
- Multi-Códigos
- Taxa de “Chips” Variável

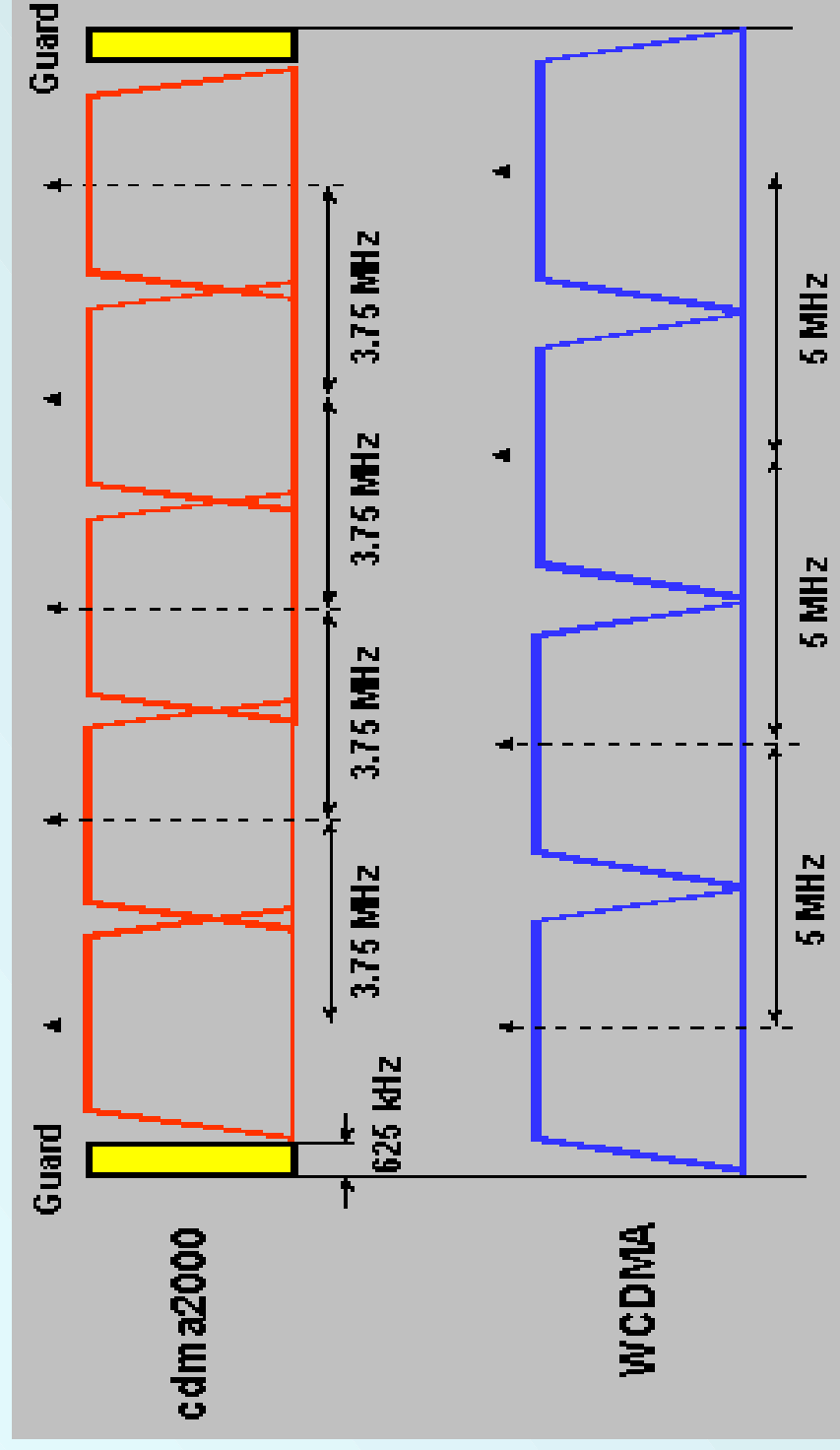
Alternativas de uso de Banda e Chip Rate para o IMT-2000 (10 MHz)



Alternativas de uso de Banda para o IMT-2000 (15 MHz)



Alternativas de uso de Banda para o IMT-2000 (20 MHz)



Programas e Entidades envolvidas com a próxima geração

ACTS Advanced Communication Technologies and Services

ARIB Association for Radio Industry and Business (Japão)

CDG CDMA Development Group

EDGE Enhanced Data Rates for GSM evolution

ETRI Electronics and Telecommunications Research Institute (Korea)

ETSI European Telecommunications Standards Institute

FPLMTS Future Public Land Mobile Telecommunications System

FRAMES Future Radio Wideband Multiple Access System

HSD High Speed Data

IMT-2000 International Mobile Telecommunications

Programas e Entidades envolvidas com a próxima geração (cont.)

ITU International Telecommunication Union

RACE Research of Advanced Communication Technologies in Europe

RTT Radio Transmission Techniques

TIA Telecommunications Industry Association (USA)

TTA Telecommunications Technology Association (Korea)

UMTS Universal Mobile Telecommunications System

UTRA UMTS Terrestrial Radio Access

UWC-136 Universal Wireless Communications

UWCC Universal Wireless Communications Consortium

W-CDMA Wideband Code Division Multiple Access

Esforços de Evolução

- Programa FPLMTS foi iniciado em 1985 pela CCIR (Comité Consultatif International Radio), hoje ITU, e é atualmente denominado como IMT-2000: iniciativa para padronização dos serviços de telefonia móvel celular digital de terceira geração a nível internacional;
- Programa UMTS: evoluções naturais dos sistemas IS-136 e GSM e que deram origem à propostas submetidas ao ITU denominadas UWC-136 e UTRA WCDMA (soluções que tem o apoio do Japão e operadores asiáticos e americanos de TDMA);
- cdma2000, patrocinado pelo CDG, para especificar a evolução do sistema IS-95 em direção a uma padronização internacional e submetida ao ITU;
- Em 1999 os maiores esforços deverão ser para tentar homogeneizar as várias propostas de forma a se poder, idealmente, definir um único padrão.

Comentários Finais sobre o IMT-2000

- Nos dias 10 e 11 de novembro de 1998 foi realizado em Londres o “IMT-2000 Workshop” onde as propostas foram apresentadas e estão em estudo atualmente;
- Descrições breves das alternativas propostas e aspectos de mercado (em formato .ppt) podem ser encontradas em: <http://www.itu.int/imt/2-radio-dev/Workshop-97/index.html>

Créditos

- R. L. C. Eisner, M. W. D. Rolim e C. S. Hemsí, alunos de pós-graduação da EPUSP-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-Área de Sistemas Eletrônicos;
- Imagens de cobertura e constelações de satélites:
<http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/index.html>