

CAPÍTULO 5

GERAÇÃO DE SISTEMAS CELULARES E TECNOLOGIAS EMERGENTES

5.1 INTRODUÇÃO

a) TIA/EIA Interim Standard x TIA/EIA Standard

Os padrões publicados como *Interim Standard* (IS) pela TIA/EIA (*Telecommunications Industry Association / Electronics Industry Association*) são de extremo valor para a indústria e demais leitores, mas não seguem as rigorosas revisões públicas a adição de comentários que são procedimentos que fazem parte do desenvolvimento de um padrão final (*Standard*).

Os *Interim Standards* da TIA/EIA devem ser revisados anualmente pelos comitês formuladores e nesses momentos deve ser tomada a decisão de prosseguir ou não com o desenvolvimento na direção do padrão final.

Os *Interim Standards* devem ser cancelados pelo comitê e removidos do catálogo da TIA/EIA antes do final de seu terceiro ano de existência. Um *Interim Standard* TIA/EIA/IS-XXX é um padrão (nos termos acima) publicado com objetivo final de se tornar um *Standard* TIA/EIA-XXX. Esse último pode também sofrer revisões e/ou atualizações.

b) Padrões FDMA, TDMA e CDMA

➤ Padrão para sistema celular analógico FDMA AMPS: *Advanced Mobile Phone System*. Referência: *Standard* EIA/TIA-553 “*Mobile Station – Land Station Compatibility Specification*”, september 1989 - 82 páginas.

➤ Padrão para sistema celular digital / PCS TDMA D-AMPS: *Digital AMPS*. Referência: *Interim Standard* EIA/TIA-IS-136.1-A “*TDMA Cellular/PCS Radio Interface Mobile Station - Base Station Compatibility – Digital Control Channel*” e EIA/TIA-IS-36.2-A “*TDMA Cellular/PCS Radio Interface Mobile Station - Base*

Station Compatibility Traffic Channel and FSK Control Channel”, october 1996 - 950 páginas.

➤ Padrão para sistema celular digital / PCS CDMA. Referência: *Standard EIA/TIA-95-B “Mobile Station - Land Station Compatibility Standard for Wideband Spread Spectrum Cellular Systems”*, march 1999 - 1189páginas.

5.2 SISTEMAS CELULARES DE PRIMEIRA GERAÇÃO

Os primeiros sistemas celulares, de primeira geração utilizavam na sua maioria modulação FM, acesso múltiplo FDMA e na parte de transmissão de mensagens (canal de controle) modulação FSK.

No Brasil o primeiro sistema de telefonia celular implantado foi na cidade do Rio de Janeiro em 1991. O sistema escolhido pelo Ministério das Telecomunicações foi o padrão AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) . De 1993 à 1995 o sistema Telebrás implanta em todo o Brasil o sistema de telefonia celular.

5.2.1 Sistema AMPS

O sistema AMPS foi desenvolvido na década de 70 pela empresa americana AT&T Bell Labs e sua primeira utilização comercial se deu no início da década de 80.

O sistema AMPS(*Advanced Mobile Phone System*) implantado no Brasil, foi inicialmente adotado por todas as operadoras da banda A.

5.2.1.1 Alocação de canais no Sistema AMPS

No sistema AMPS a alocação de frequência dos canais é a seguinte:

- 825 a 845 MHz: 666 canais de 30 kHz para comunicação no sentido EM-ERB (canal reverso - *up link*).
- 870 a 890 MHz: 666 canais de 30 kHz para comunicação no sentido ERB-EM (canal direto - *down link*).

Posteriormente foram acrescentados novos canais ao sistema (A' e B') que utiliza agora um espectro expandido com 832 canais *Duplex*.

O conjunto de canais é dividido entre as bandas A e B, como já foi ilustrado anteriormente.

824	825	835	845	846.5	849
A'	A		B		B'
869	870	880	890	891.5	894
33 canais	333 canais		333 canais		50 canais

Figura 5.1: Espectro de canais do Sistema AMPS

São 832 canais 30 kHz, de 824 MHz a 849 MHz, no sentido ERB para EM e mais 832 canais de 30 kHz, de 869 MHz a 894 MHz, no sentido EM para ERB formando os pares de portadora do sistemas *Duplex*.

A maior parte destes canais são canais dedicados à voz. Originariamente, 21 destes canais *Duplex* são canais de controle do espectro básico (Canais *Set-Up*), com a função de transmitirem sinalização na forma digital.

Canais de Controle (42 canais Set-up)	
Banda A	313 a 333
Banda B	334 a 354

Tabela 5.1: Canais de controle de 30 kHz cada.

Dos 416 canais utilizados por cada operadora, 395 são canais de voz e os restantes 21 são canais de controle. Os canais de 1 a 312(voz) e 313 a 333(controle) pertencem à banda A. Os canais 355 a 666(voz) e 334 a 354(controle) pertencem à banda B. Os canais 667 a 716 e 991 a 1023 são a extensão dos canais de voz da banda A. Os canais 717 a 799 são canais de voz da extensão da banda B.

A frequência central do canal poderá ser obtida a partir do seu número, como mostra a Tabela 3.2

Espectro Expandido			
Sentido	ERB - EM	$f = (0,03 \cdot N^{\circ} \text{ do canal}) + 870$	$1 < N^{\circ} \text{ do canal} < 799$
Sentido	ERB - EM	$f = 0,03 \cdot (N^{\circ} \text{ do canal} - 1023) + 870$	$990 < N^{\circ} \text{ do canal} < 1023$
Sentido	EM - ERB	$f = (0,03 \cdot N^{\circ} \text{ do canal}) + 825$	$1 < N^{\circ} \text{ do canal} < 799$
Sentido	EM - ERB	$f = 0,03 \cdot (N^{\circ} \text{ do canal} - 1023) + 825$	$990 < N^{\circ} \text{ do canal} < 1023$

Tabela 5.2: Portadoras no espectro disponível

Por exemplo, se a CCC designar o canal 20 para conectar uma EM, teremos a frequência de 870,6 MHz como frequência central do canal no sentido ERB – EM e 825,6 como frequência central do canal no sentido Em – ERB.

- A separação entre o canal reverso e o canal direto é de 45 MHz.
- O primeiro sistema AMPS utilizava grandes células com antenas omnidirecionais nas estações rádio base de forma a minimizar os requisitos de equipamentos. O sistema AMPS utiliza um padrão de reuso $N = 7$ células por *cluster*, com previsões para setorização e divisão de células de forma a aumentar a capacidade do sistema, quando necessário, em termos do número de usuários atendidos. Após uma série de testes subjetivos (baseados em opinião pública média) chegou-se à conclusão de que um canal de 30KHz do AMPS requer uma relação sinal-interferência **S/I** mínima de 18dB para um desempenho satisfatório do sistema. O menor fator de reuso que satisfaz a esse requisito, com um esquema de setorização de 120° é $N = 7$, por isso se adotou o padrão de 7 células por *cluster* para o AMPS. Cada grupo de 395 canais de voz é dividido em 21 subgrupos (iA, iB, iC, onde $i = 1,2,3,4,5,6,7$) com 19 canais cada. Em cada subgrupo, o canal adjacente mais próximo dista 21 canais. Em um sistema com padrão de reuso $K=7$, cada célula utiliza 3 subgrupos de canais. Os subgrupos são alocados de maneira que seja assegurado que cada canal dentro de uma célula fique separado de qualquer outro canal na célula de, no mínimo, 7 larguras de banda.

A seguir na Tabela 5.3 serão fornecidas as principais parâmetros do sistema AMPS.

Parâmetro	AMPS
Técnica de Acesso	FDMA
Largura de faixa de canal	30 KHz
Separação entre transmissão e recepção	45 MHz
Canal de tráfego por canal de RF	1
Frequência do canal reverso	824 – 849 MHz
Frequência do canal direto	869 – 894 MHz
Modulação de voz	FM
Desvio de pico: canais de voz e canais de controle	$\pm 12\text{KHz}$ e $\pm 8\text{KHz}$
Taxa de dados no canal de controle e no modo blank-and-burst	10 Kbps
Canais de controle	2 x 21 canais
Número de canais	832

Tabela 5.3 : Principais Parâmetros do Sistema

5.2.1.2 Modulação e Demodulação de Voz

Como todo sistema celular de primeira geração, o AMPS utiliza modulação FM para a transmissão via rádio. Antes da modulação em frequência, o sinal de voz é processado utilizando-se um compander, um filtro pré-ênfase, um limitador de desvio e um filtro pós limitador de desvio. A Fig.5.2 mostra um diagrama em blocos do subsistema de modulação do sistema AMPS. No receptor, essas operações são revertidas após a demodulação.

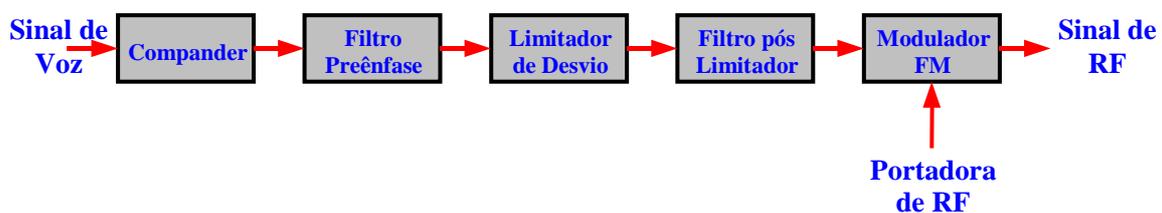


Figura 5.2: Processo de modulação de Voz no sistema AMPS

Compander: De forma a acomodar uma grande faixa dinâmica do sinal de voz, o sinal de entrada necessita ser comprimido em amplitude antes da modulação. A compensação é feita por um *compander* 2:1 que produz um aumento de 1dB no

nível de saída a cada 2dB de aumento no nível do sinal de entrada. Suas características são especificadas de tal forma que para um sinal de referência de 1KHz na entrada a um volume nominal produza um desvio de pico de ± 2.9 KHz na portadora transmitida. A compressão na transmissão (compressão) confina a energia do sinal de voz nos 30KHz de banda e gera um efeito de redução de volume durante um surto de voz. No receptor a operação inversa da compressão, a expansão, é realizada, assegurando a restauração do nível de voz de entrada com um mínimo de distorção.

Pré-ênfase: A saída do compressor passa por um filtro pré-ênfase que possui uma resposta nominal de 6dB/oitava na região de 300Hz a 3KHz. Essa resposta faz com que os desvios de frequência causados pelo sinal sejam maiores na região de maiores frequências. Como é sabido que componentes de frequência mais altas do ruído vão também produzir desvios de frequência indesejáveis maiores na portadora modulada, essa medida tende a fazer com que a relação sinal ruído seja aproximadamente uniforme em toda a faixa de áudio de interesse

Limitador de Desvio: O limitador de desvio assegura que o máximo desvio do sinal modulado na estação móvel seja limitado a ± 12 KHz para o AMPS e ± 10 KHz para o ETACS). Os sinais de supervisão e os dados em banda larga (*blank-and-burst*) estão excluídos dessa restrição.

Filtro pós-Limitador de Desvio: Trata-se de um filtro passa-baixas especificado para ter uma atenuação (relativa à resposta a 1KHz) que é igual ou superior a:

$$40 \log_{10} (f [\text{Hz}] / 3000) \text{ dB} ,$$

nas faixas de frequência de 3KHz a 5.9KHz e 6.1KHz a 15KHz. Para frequências entre 5.9KHz e 6.1KHz, a atenuação (relativa ao valor a 1KHz) deve ser maior que 35dB. Para frequências acima de 15KHz a atenuação deve ser superior a 28dB (relativa à resposta a 1KHz). O filtro pós-limitador de desvio assegura que as especificações para as emissões fora da faixa de interesse sejam atendidas e que o tom **SAT** (que será visto posteriormente) de 6KHz, que está sempre presente durante uma chamada, não interfira no sinal de voz transmitido.

5.2.1.3 Tipos de Canais de Rádio no Sistema AMPS

O sistema celular AMPS existem basicamente 2 tipos de canais:

(a) **Canais de Voz (VC)**, os canais de voz operam em FM e são usados para transmitir a voz durante a execução de uma chamada telefônica. A ERB transmite pelo canal direto de voz (FVC – *Forward Voice Channels*), que transportam a porção da conversação que parte da rede telefônica e vai para o terminal celular, em uma frequência 45 MHz acima da frequência do canal reverso de voz (RVC – *Reverse Voice Channels*), que transportam a porção da conversação que se origina do terminal celular e vai para ERB. Pelo canal de voz direto(FVC), a ERB transmite, além da voz, o SAT (tom de áudio de supervisão), utilizado para monitorar a continuidade do enlace e a sua qualidade. O canal direto de voz é usado para a transmissão de mensagens de controle para o telefone celular.

➤ **Canais de Controle (CC)**, existem basicamente dois canais de controle: o direto (FCC – *Forward Control Chanel*), usado pela ERB para enviar mensagens para a EM; e o reverso (RCC – *Reverse Control Chanel*), para a EM enviar mensagens para a ERB.

O canal de controle direto é usado para enviar mensagens gerais que indicam como a EM pode acessar a ERB. Caso a EM não consiga obter esse tipo de informação, por exemplo, exibirá a mensagem “*fora de serviço*”. mensagens enviadas a um telefone celular tem a finalidade de:

- informar o canal designado para o estabelecimento de uma chamada;
- localizar uma EM com o objetivo de completar chamada a ele direcionada

O canal de controle reverso transmite dados da EM para a ERB. Existem dois tipos de mensagens enviadas pelo canal reverso:

- mensagens de originação e
- mensagens de resposta à localização

As mensagens de originação são enviadas pela EM à ERB por meio do canal de controle reverso e contém o número de lista do telefone chamado e o número de lista, a classe de potência e o número de série eletrônico do próprio telefone

celular. A mensagem de resposta à localização é enviada da EM para ERB, por meio de seu canal de controle reverso, após ter reconhecido uma mensagem a ele destinada. A mensagem de resposta à solicitação informa à ERB que a EM em questão encontra-se em sua área de cobertura.

Cada estação rádio base do sistema AMPS transmite dados em FSK continuamente no canal de controle direto, de tal sorte que unidades de usuário em estado ocioso possam se “atrelar” ao canal de controle direto com sinal mais forte, independente de onde estejam. Todos os terminais de usuário devem estar “atrelados” a um canal de controle direto para que possam originar ou receber chamadas. O receptor do canal de controle reverso de uma estação rádio base monitora constantemente as transmissões dos assinantes celulares que têm seu terminal atrelado ao correspondente canal de controle direto.

5.2.1.4 Tons e códigos

- **Tom de supervisão de áudio (SAT - Supervisory Audio Tone)**: utilizado para supervisionar a qualidade da transmissão. É enviado continuamente nos canais de voz direto e reverso durante a transmissão de voz, em frequências acima da banda de áudio (5970 Hz, 6000 Hz e 6030 Hz).

Uma determinada ERB transmitirá um destes 3 tons em cada canal de voz enquanto este se encontrar em uso. O SAT é sobreposto ao sinal de voz tanto no canal direto quanto no reverso e quase não é percebido pelo usuário. A frequência particular do tom está associada à localização da ERB e é determinada pela CCC a cada chamada.

Um sistema celular completamente desenvolvido pode ter apenas 3 ERB's co-canais em uma determinada região geográfica. Portanto, o SAT permite tanto à EM's quanto às ERB's saber qual estação está manipulando a chamada.

Quando uma chamada é estabelecida e um canal de voz é determinado, a ERB, a transmissão do SAT. A EM deve detectar, filtrar e demodular o SAT vindo da ERB (canal de voz direto) e reproduzir o mesmo tom para transmissão de volta (canal de voz reverso). Se o SAT não é recebido ou é impropriamente detectado

durante um intervalo de 1 segundos, a ERB e a EM cessam a transmissão e a CCC utiliza o canal desocupado para novas transmissões.

A detecção e retransmissão do SAT deve ser executada no mínimo a cada 250 ms pela EM. Chamadas bloqueadas ou indevidamente terminadas podem ocorrer devido a interferências ou incorreta detecção do SAT pela EM ou ERB.

O SAT também é utilizado durante o processo de *handoff*. Quando a ERB recebe o SAT em um novo canal de voz, ela reconhece que a EM confirmou sua chegada e o *handoff* foi executado com sucesso.

- **Tom de sinalização** (*ST-signaling tone*): é uma rajada (burst) de dados a 10kbps que informa a terminação de uma chamada pelo assinante. É uma mensagem especial de fim de chamada consistindo de 1's e 0's alternados, enviados pela EM através do canal de controle reverso durante um intervalo de 200 ms, podendo ser enviado juntamente com o SAT.

O ST alerta a ERB sobre o término da chamada pela EM. Quando um usuário termina uma chamada ou desliga o aparelho durante uma chamada, o ST é automaticamente enviado. Isto permite à ERB distinguir entre o término deliberado da chamada e a queda da chamada causada pelo próprio sistema.

- **Código de cor digital** (*DCC-digital color code*) : O DCC tem o objetivo parecido ao do SAT no canal de voz . É uma diferenciação entre os canais de controles que usam a mesma frequência , ou seja , são cocanais . O DCC varia entre 0 (00) e 3 (11) , como o canal de controle analógico usa transmissão de dados em FSK, não pode ser utilizado, como o SAT, para medir a qualidade de transmissão do canal , mas permite identificar de qual canal vem a mensagem.
- **Marca de classe de estação** (*SCM-station class mark*): São as classes das estações móveis (classes dos telefones) , o portátil , com potência máxima de transmissão de 0,6 W ; o veicular ou transportável , com potência máxima de 1,6 W ; o fixo, com potência máxima de 4 W.

- **Código de atenuação de voz do móvel** (*VMAC-voice mobile attenuation code*): Código que diz à EM o nível e potência que ela deve transmitir. São níveis (steps) de potência de transmissão do móvel , o nível 0 é o mais potente com 4 w para classe I (o fixo) , daí para diante vai até o nível 7 e sempre diminuindo de 4 db de nível para nível .

VMAC / dBm	Classe I	Classe II	Classe III
0	36	32	28
1	32	32	28
2	28	28	28
3	24	24	24
4	20	20	20
5	16	16	16
6	12	12	12

Tabela 5.4 – Níveis de potência para as EM's.

Este controle de potência tem como objetivo que a estação móvel não transmita potência mais do que o necessário , diminuindo a probabilidade de interferência , pois o móvel próximo da ERB não necessita estar transmitindo com potência máxima , mas necessita ir aumentando a medida que se afasta da ERB . Este controle é feito através de mensagens enviadas ao aparelho pela central no próprio canal de voz.

5.2.1.5 Números de identificação

- *Número de série eletrônico (ESN-Electronic serial number)*: Número de identificação do aparelho celular. São 32 bits gravados em memória ROM, Fig5.3, que identificam eletronicamente o aparelho. O ESN tem a seguinte estrutura:

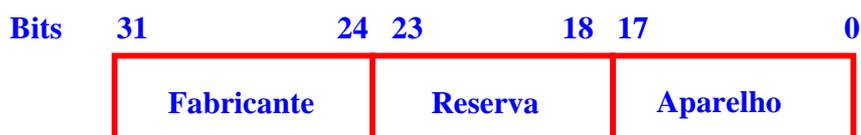


Figura 5.3 Estrutura do ESN

- *Número de identificação do sistema (SID-System identification number):* Número que identifica o sistema celular no qual o aparelho está operando. Quando o aparelho é ligado, transmite o SID à ERB que identifica o sistema.
- *Número de identificação do móvel (MIN-mobile identification number):* identifica o número do telefone do assinante. São 34 bits gerados a partir do número do telefone.
 - 24 bits para o número do assinante.
 - 10 bits para o código de área.

5.2.1.6 Características gerais do sistema AMPS

O sistema AMPS normalmente possui altas torres que suportam várias antenas receptoras e transmissoras que irradiam umas poucas centenas de watts de potência efetiva (*EIRP- Effective Isotropic Radiated Power*). Cada ERB possui um transmissor para o canal de controle (que transmite em *broadcast* no FCC), um receptor para o canal de controle (que “ouve” através do RCC qualquer inicialização de chamada de qualquer telefone celular) e 8 ou mais canais duplex FM de voz. As ERB's comerciais podem suportar um número máximo de 57 canais de voz.

O número real de canais de voz e controle em cada ERB varia muito em diferentes instalações do sistema, dependendo da demanda de tráfego, maturidade do sistema e da localização de outras ERB's. O número de ERB's em uma região também varia muito. De uma ou duas em uma área rural até centenas em grandes cidades.

Cada ERB no sistema AMPS transmite dados em FSK no canal de controle direto (FCC) de modo que unidades de usuários em estado ocioso (*idle state*) possam se conectar ao FCC com sinal mais forte, independente de onde estejam. Todas as EM's devem estar conectadas a um canal de controle para que possam originar ou receber chamadas. O receptor do canal de controle reverso de uma ERB monitora constantemente as transmissões dos assinantes celulares que tem seu aparelhos conectados ao FCC correspondente.

No sistema AMPS americano há 21 canais de controle para cada um dos provedores de serviço das bandas A e B, sendo esses canais padronizados. Ainda, são alocados diferentes números de identificação do sistema (SID). À banda A são alocados números ímpares e à banda B números pares. O SID é transmitido uma vez a cada 0,8 segundo em cada FCC, em conjunto com outros dados que fornecem informações sobre a situação atual do sistema celular. Estes dados incluem informações tais como se usuários de outras áreas de serviço (roamers) são automaticamente registrados, como o controle de potência é realizado e se outros padrões podem ser manipulados pelo sistema.

Normalmente os aparelhos acessam exclusivamente a banda A ou a B, embora sejam capazes de acessar ambas.

5.2.1.7 Gerenciamento de chamadas no sistema AMPS

Ao ser ligado o aparelho telefônico celular, este realiza uma busca dos canais de controle e sintoniza o canal mais forte. Esta operação deve durar no máximo 3 segundos. Sintonizado o canal de controle, a EM recebe informações sobre o sistema (SID) e compara com seus dados, identificando se está em sua área de serviço ou está como visitante (roaming).

Quando uma chamada para um assinante celular vem da rede de telefonia fixa e chega à CCC, uma mensagem é enviada com o número de identificação do móvel (MIN) por cada ERB no canal de controle direto. Se o assinante de destino recebe a mensagem com sucesso, responderá com uma transmissão de reconhecimento no canal de controle reverso. Tendo recebido o reconhecimento do assinante a CCC comanda a ERB a alocar um canal de voz direto e um reverso para que a chamada prossiga através deste par dedicado. A ERB também aloca ao usuário um tom de supervisão de áudio (SAT) e um código de atenuação de voz do móvel (VMAC) enquanto comuta a chamada para o canal de voz. O móvel altera, então, automaticamente sua frequência para aquela correspondente ao canal de voz alocado.

Quando um usuário móvel origina uma chamada, sua EM transmite uma mensagem no canal de controle reverso, indicando seu número de identificação

(MIN), número de série eletrônico (ESN), marca de classe de estação (SCM) e o número do telefone de destino. Se esta mensagem for recebida corretamente pela ERB, é enviada para a CCC que verifica se o assinante está adequadamente registrado, faz a conexão com a rede fixa (se for o caso) e aloca à chamada um canal de voz direto e reverso com SAT e VMAC específicos, podendo iniciar a conversação.

Durante uma chamada, se a intensidade do sinal no canal de voz reverso da ERB servidora cai abaixo de um nível determinado ou quando o SAT apresenta um certo nível de interferência, a CCC emite vários comandos que comutam o usuário entre diferentes canais de voz em diferentes ERB's dependendo da localização do usuário. No sistema AMPS as decisões sobre *handoff* são tomadas pela CCC.

Quando chega a solicitação de uma chamada e todos os canais de voz de uma ERB estão ocupados, a CCC irá reter a solicitação enquanto instrui a ERB a enviar um comando de re-tentativa direcionada (directed retry) ao usuário no canal de controle direto. Este comando força a EM a comutar para um canal de controle diferente, ou seja, para uma nova ERB, para alocação de um canal de voz.

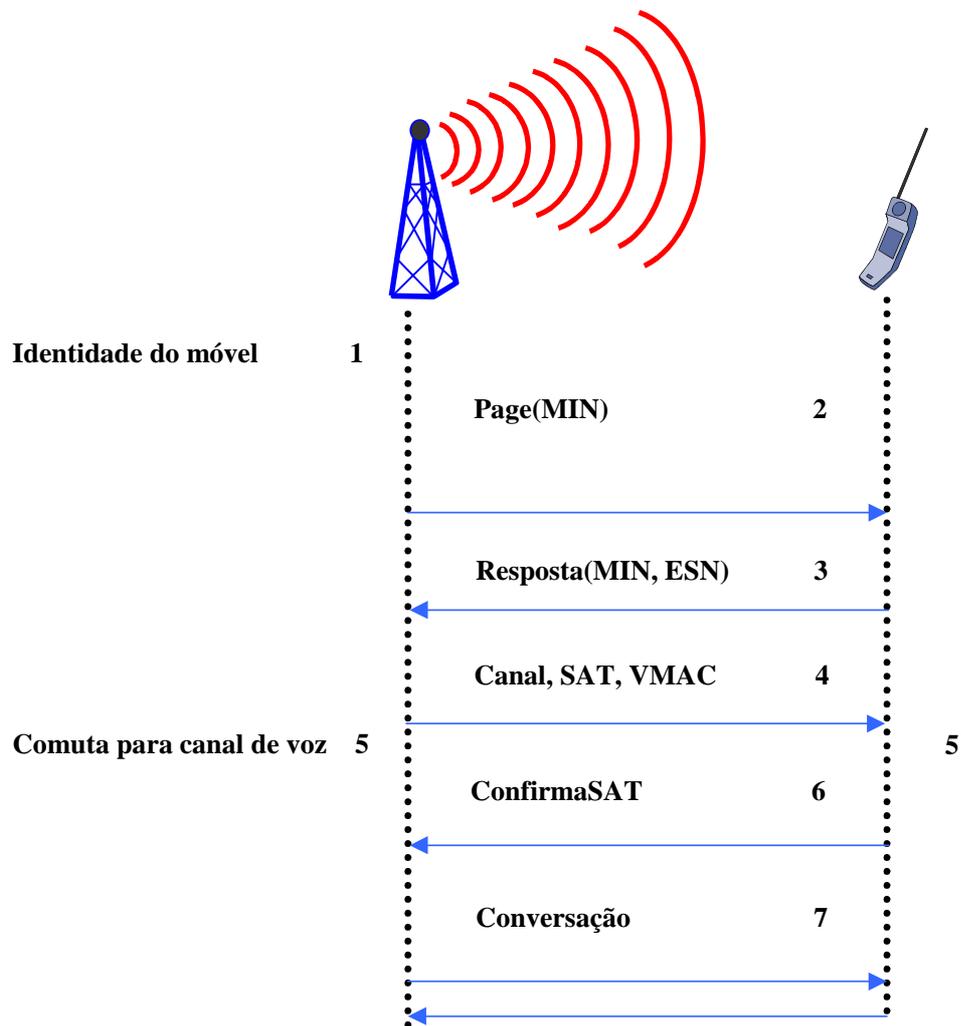


Figura 5.4 Seqüência para o estabelecimento de uma chamada a partir da rede fixa

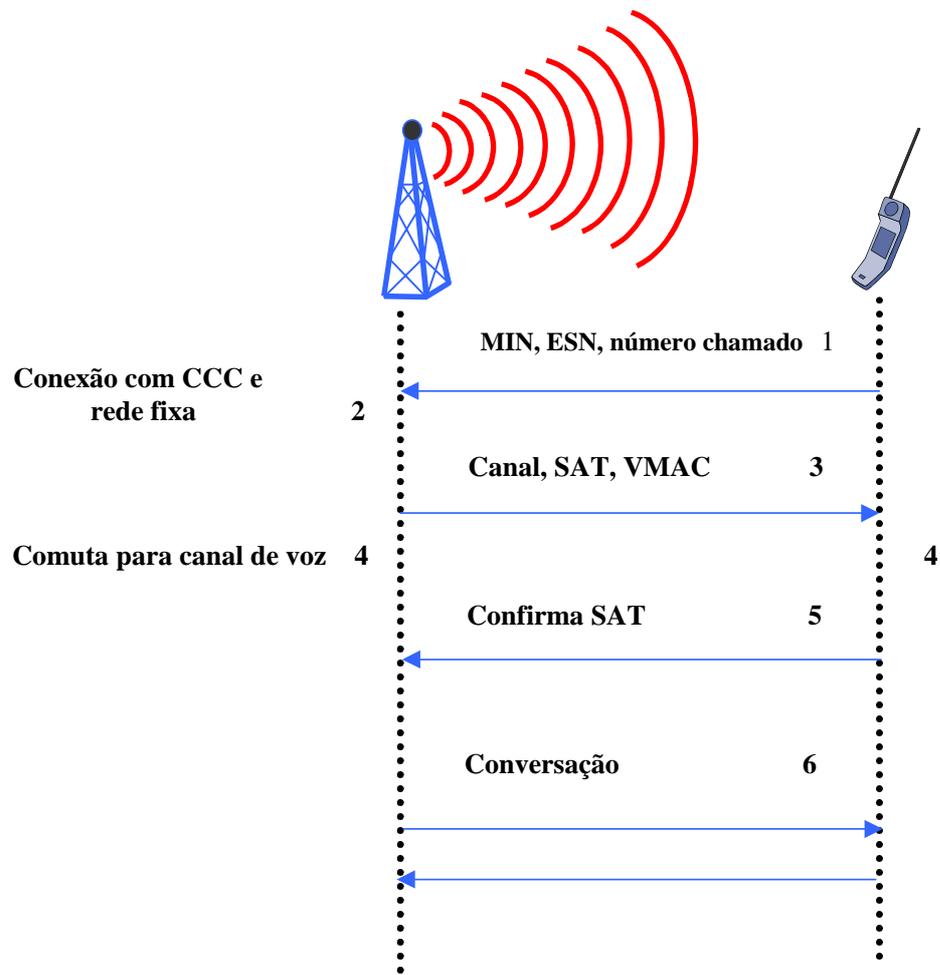


Figura 5.5 Seqüência para o estabelecimento de uma chamada a partir da EM

5.3 SISTEMAS CELULARES DE SEGUNDA GERAÇÃO

INTRODUÇÃO

Os sistemas celulares ditos de segunda geração ou simplesmente 2G, são os sistemas que utilizam a tecnologia digital para transmissão. A tecnologia digital possui diversas vantagens sobre a analógica, entre elas, uma maior imunidade a ruídos e distorções introduzidas no sinal pelo canal de comunicação.

Ao contrário do sinal analógico, os sinais digitais podem ser codificados de forma a prover detecção e correção de erros, diminuindo a taxa de erros de bit (ruído menor), criptografia da informação (sigilo), sendo que nos sistemas analógicos estas possibilidades não são possíveis.

Outra vantagem é a arquitetura de *hardware* que pode ser mais genérica tornando o sistema mais flexível em termos de projeto. Mas a principal diferença entre os sistemas celulares 1G (AMPS-FDMA) e os digitais é que nos digitais permite-se a implementação de novas formas de múltiplo acesso que aproveitam de forma mais eficiente o espectro de frequências disponível. As técnicas mais utilizadas, como descritas no capítulo anterior, são TDMA e CDMA, sendo que existe uma grande polêmica até os dias de hoje qual delas seria mais eficiente em termos de capacidade.

Mas o grande objetivo da segunda geração independente da forma de acesso ao meio foi o aumento de capacidade, sendo que os três principais sistemas celulares que surgiram, ditos 2G, foram:

- GSM (FDMA+TDMA)
- IS-95 (FDMA+CDMA)
- IS-54 (FDMA+TDMA) evoluindo depois para IS-136

O GSM é o padrão desenvolvido pelos países europeus que apresenta a técnica FDMA+TDMA, não sendo compatível com o sistema AMPS. O IS-95 foi desenvolvido pela Qualcomm, empresa americana de telecomunicações, como uma alternativa ao fraco desempenho do IS-54. Este padrão (IS-95) utiliza FDMA+CDMA e é compatível com o AMPS. O IS-136 é uma evolução do IS-54 e utiliza como técnica de acesso FDMA+TDMA e é também compatível com o

AMPS, aliás o IS_136 é conhecido também como D-AMPS (DIGITAL AMPS), por possuir mesma largura de banda para os canais de RF. Poderíamos dizer ainda que um quarto sistema foi desenvolvido no Japão que se chamava PDC (Pacific Digital Cellular) que é um sistema que utiliza como técnica de acesso o FDMA+TDMA.

5.3.1 SISTEMA CELULAR DIGITAL IS-54

O sistema IS-54 foi proposto em 1989 como uma evolução do AMPS. Este novo sistema foi desenvolvido para que pudesse funcionar juntamente com o sistema AMPS, ou seja, não ocorresse interoperabilidade com o analógico. O IS-54 utiliza a mesma banda de operação do AMPS (30 KHz) e apesar de ser um sistema híbrido FDMA+TDMA, popularmente ele é conhecido como TDMA. Com largura de banda idêntica ao sistema AMPS (30 KHz) e multiplexando no tempo 3 canais TDMA dentro de um FDMA, uma determinada operadora poderia ter o triplo de canais disponíveis em relação ao sistema AMPS. Isso sem dúvida, fez com que houvesse um significativo aumento na capacidade do sistema em comparação ao espectro disponível para o AMPS. No entanto, a implementação dos primeiros sistemas IS-54, gerou uma grande insatisfação com a qualidade da voz apresentada pelos aparelhos. Além do que, este sistema ainda operava com canais de controle analógicos, o que impossibilitava o incremento de diversos serviços, como temos hoje, por ex: SMS, identificação de sistemas, etc... Com isso abriu-se um grande vácuo de mercado para propostas alternativas, animando alternativas diferentes como a IS-95 (CDMA).

Assim duas frentes de pesquisas foram abertas. A primeira tentava aprimorar o IS-54, o que realmente aconteceu, o sistema evoluiu até atingir o que temos até que é o IS-136. A segunda frente de pesquisa investiu no CDMA, onde surgiu o IS-95 , que será comentado mais a frente.

5.3.2 IS-136 TDMA (Múltiplo Acesso por Divisão No Tempo)

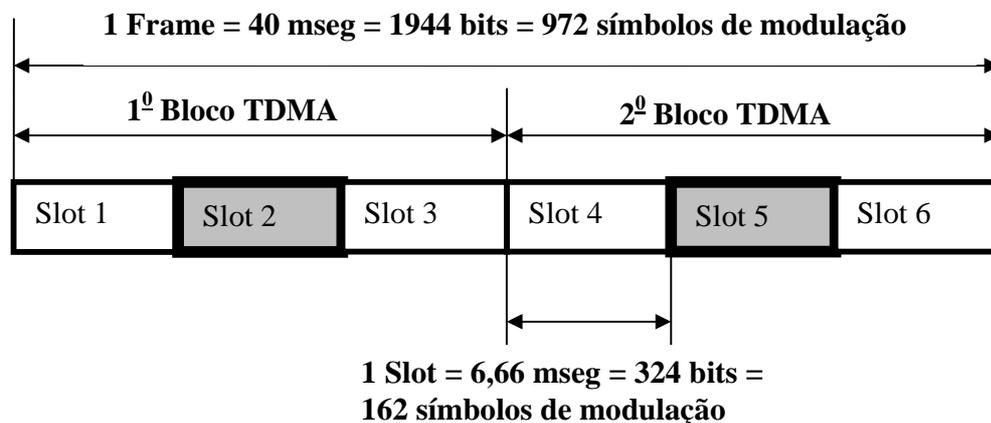
Este sistema é conhecido como D- AMPS (Digital AMPS) ou simplesmente TDMA, é claro que este também mantém a compatibilidade com o sistema AMPS. As normas que especificam este padrão são:

- IS-136.1 – Especifica as interfaces de rádio dos canais de controle digitais (DCCH).
- IS-136.2 - Especifica as interfaces de rádio dos canais de de controle analógicos e cansi de voz digital e analógico.
- IS 137 - Especifica a mínima performance das unidades móveis (qualidade de serviço a nível de assinante)
- IS-138 - Especifica a mínima performance das ERBs.

Frames da IS-136:

Cada canal físico empregado para transmissão de voz (canal de tráfego) é dividido em seis slots de tempo numerados de 1 a 6.

A Figura a seguir ilustra a estrutura de frame de 40 mseg que também é utilizada na IS-54



A taxa de transmissão é de 25 frames por segundo. Verifica-se que seis times slots compõem um frame. Cada slot tem duração de 6,66 mseg e transmite 324 bits. Portanto em um frame são transmitidos 1944 bits de informação, perfazendo a taxa de 48,6 Kbps, ou 24,3 K bauds/seg (símbolos/seg).

Canais Full-Rate e Half-Rate.

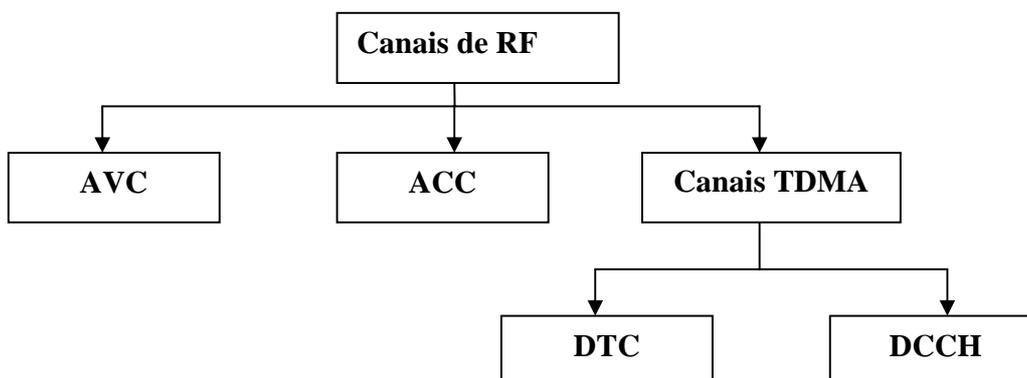
Os canais Full-Rate utilizam em cada quadro TDMA dois dos seis slots de um frame, com uma diferença três slots entre eles. Em outras palavras um usuário utiliza dois time-slots por frame (quadro). Desta forma teríamos 3 usuários por frame na IS-136.

Os canais Half-Rate apresentam uma codificação de voz com um algoritmo mais sofisticado, de maneira que a taxa de transmissão de bits caís à metade. Assim, estes canais necessitam de apenas um time-slot por frame, ou seja, um usuário ocupa apenas um slot. Neste caso , então, teríamos seis usuários por frame.

Na IS-136 utiliza-se canais Full-Rate.

Os canais de RF na IS-136

Os canais RF se apresentam da seguinte forma:



AVC – Analog Voice Channels (Canais de Voz Analógicos)

ACC – Analog Control Channels (Canais de Controle Analógicos – AMPS)

DTC – Digital Traffic Channels (Canais de Tráfego(voz) Digitais – TDMA)

DCCH – Digital Control Channels (Canais de Controle Digitais – TDMA).

5.3.2.1 Canal de Voz Digital (DTC)

A codificação de voz do IS-136 tem como objetivo comprimir a voz de tal forma que se obtenha uma maior eficiência espectral, procurando manter a qualidade da voz.

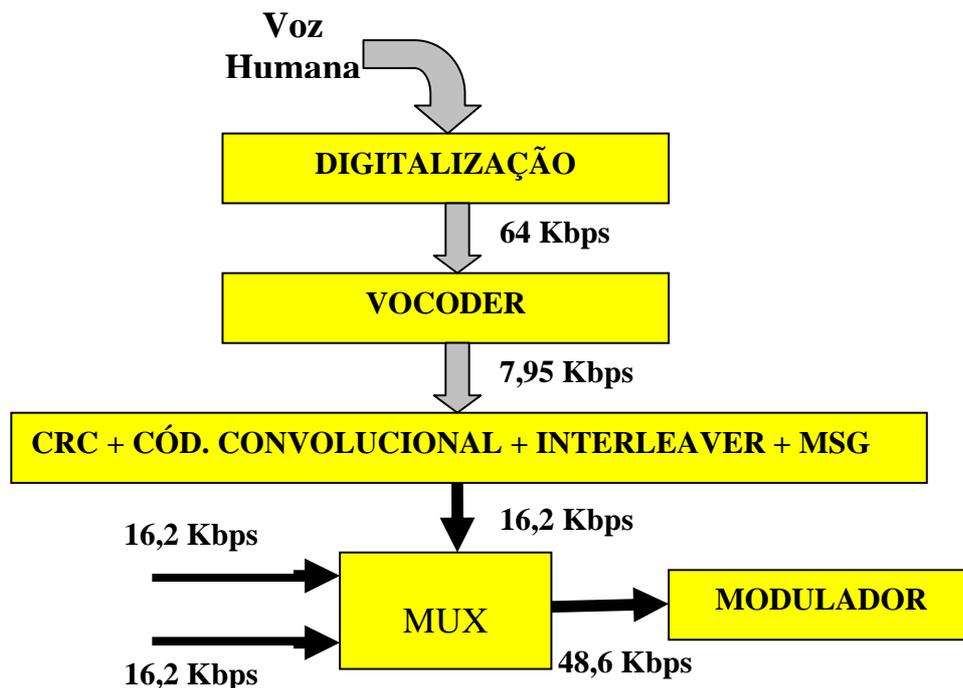
Os codificadores *full-rate* comprimem a voz de 64 Kbps para 7,95 Kbps. O algoritmo de compressão utilizado é o VSELP + ACELP (vocoder) Neste algoritmo gera-se uma codificação de voz de 159 bits/amostra. Assim temos para um canal Full-Rate:

$$159 \text{ bits/slot} * 2 \text{ slots/frame} * 25 \text{ frame/segundo} = 7,95 \text{ Kbps}$$

Na saída do codificador (vocoder) osinal ainda incluirá uma redundância para melhorar a energia do bit (Codificador Convolutacional + CRC + Interleaver). Assim temos:

$$260 \text{ bits/slot} * 2 \text{ slots/frame} * 25 \text{ frame/segundo} = 13 \text{ Kbps}$$

São inseridos ainda bits de controle, aumentando-se a taxa para 16,2 Kbps. Depois os canais são multiplexados no tempo (48,6 Kbps) e modulados no esquema $\pi/4$ DQPSK.



Etapas da Codificação de Voz

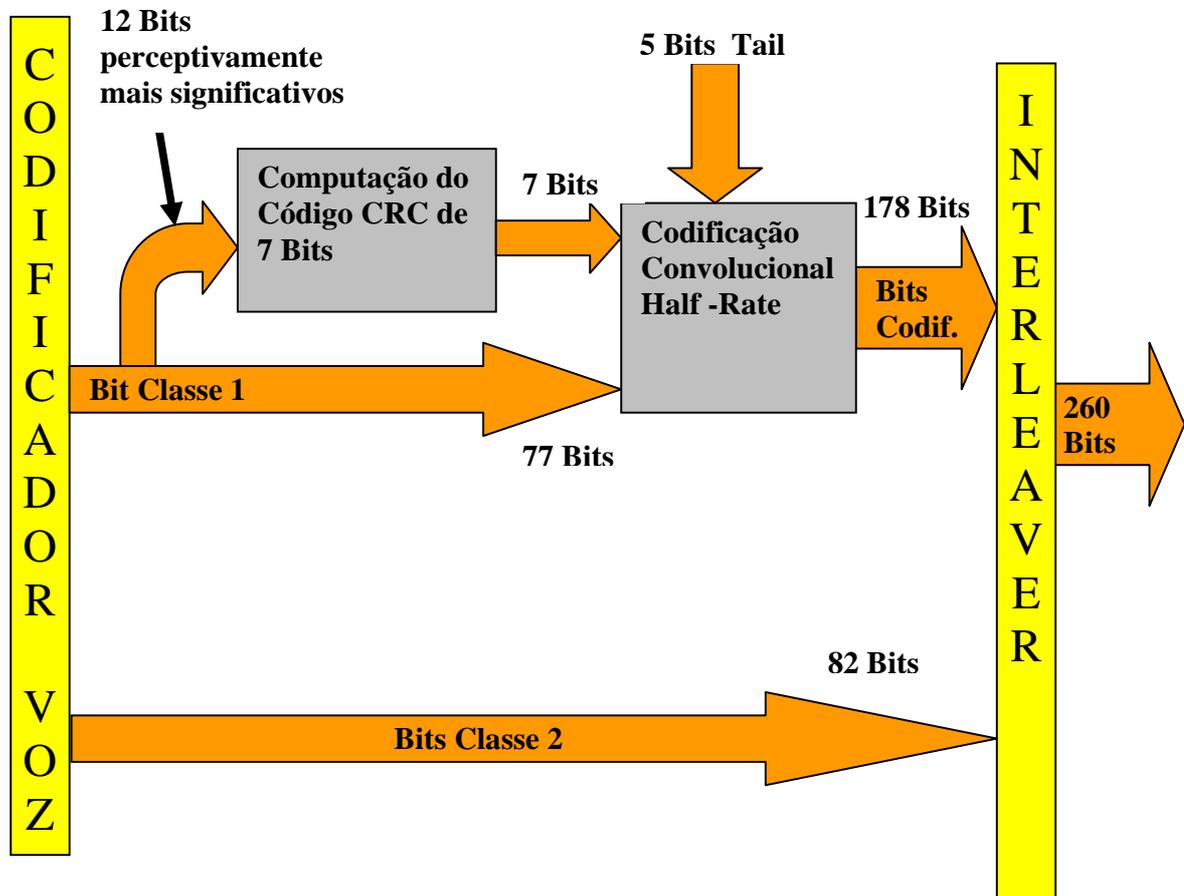
Digitalização: O processo de digitalização consiste em converter um sinal analógico para um sinal digital. Neste processo temos um canal de voz em banda base 64 Kbps na saída do bloco de digitalização

Vocoder : É o responsável em comprimir o canal de voz sem grandes perdas de qualidade no sinal. Neste caso o vocoder irá reduzir a taxa de transmissão de 64 Kbps que sai na saída do digitalizador e irá converter para 7,95 Kbps.

CRC : Também conhecido com *Check Redundancy Cyclic*, ou simplesmente o código corretor de erros. Este código irá inserir redundância no sinal digital possibilitando a detecção de erros de transmissão. Na realidade o CRC é uma espécie de medida da qualidade do sinal.

Codificador Convolutacional : O bloco de codificação convolutacional tem a função semelhante ao CRC, a introdução de redundância no sinal transmitido. Entretanto, esta redundância é tal que permite não apenas a detecção de erros, mas também a correção de alguns destes erros. Dois codificadores-decodificadores (*codec*) de voz definidos para IS-136 (TDMA):

1. VSELP - Vector Sum Excited Linear Predictive - Originalmente definido para IS-54B - Tecnologia dos anos 80
2. ACELP - Algebraic Code Excited Linear Predictive - Definido recentemente para TDMA - *Tecnologia dos anos 90 - "state of the art"* (a mais avançada), e oferece qualidade de voz com fio em condições sem adulterações.

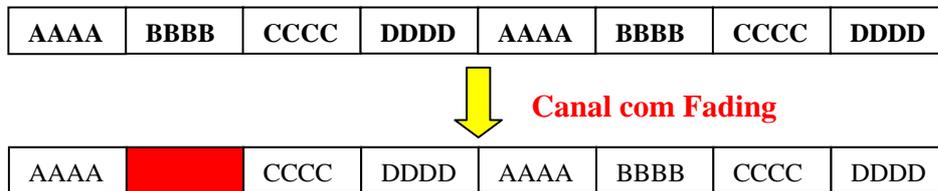
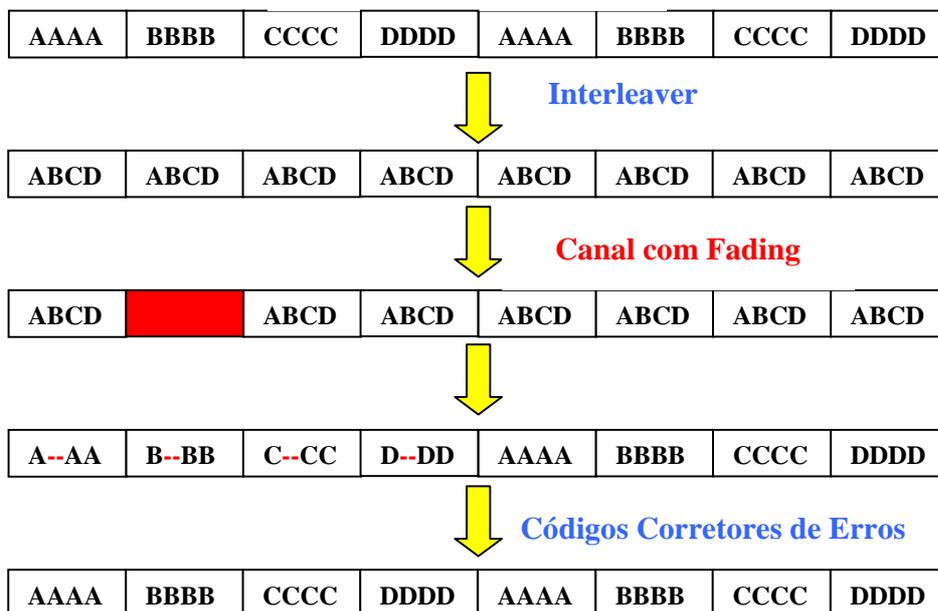
A seguir ilustra-se o codificador de canal.

Pode-se dizer de maneira simplificada que os bits agrupados na Classe 2 englobam os sons das vogais, enquanto que os agrupados na Classe 1 contém as consoantes. Portanto esta codificação prioriza a parte mais importante do sinal de voz, ou seja os bits Classe 2. Os 12 bits mais significativos da Classe 1 são empregados para obtenção de CRC, codificados em 7 bits. O polinômio gerador do CRC é

$$G_{crc}(x) = 1 + X + X^2 + X^4 + X^5 + X^7$$

INTERLEAVER

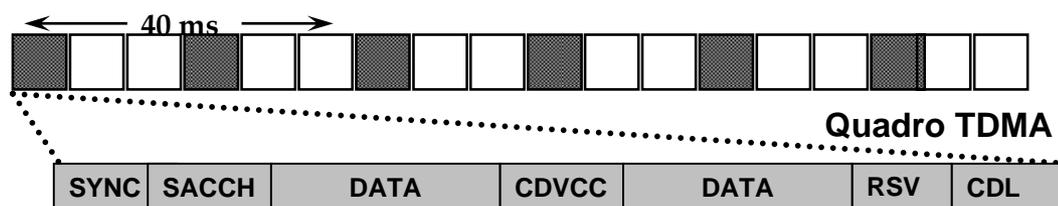
Antes da transmissão, o dado de voz codificado é intercalado em dois time slots com os dados de voz do frame (quadro) de voz adjacente. Assim cada time slot contém informação de dois quadros do codificador de voz.

SEM INTERLEAVER**COM INTERLEAVER**

Assim o entrelaçamento é feito com os bits do frame presente com o frame anterior. Desta forma temos que os dados são escritos nas colunas de uma matriz e lidos diretamente nas linhas da matriz.

Dentre os canais de Voz (tráfego) sabemos que temos o canal de tráfego digital direto (FDTC – Forward Digital Traffic Channel) e o canal de tráfego digital reverso (RDTC - Reverse Digital Traffic Channel). Começamos pelo FDTC.

A estrutura do time slot do FDTC é dado por:



Formato de Slot TDMA

O formato do time slot FDTC contém os seguintes campos de dados:

SYNC: Sincronização (28 Bits) – Usada para sincronização e identificação do time slot. A cada 2 bits equivale a uma mudança de fase quando modulados (2 bits = 1 símbolo). Este Sync são necessários para o funcionamento dos receptores, respectivamente da EM (Estação Móvel) e da BTS (ERB) . Esta transmissão consiste na transmissão de uma seqüência padrão de variações de fase da portadora. Esta seqüência possibilita também o treinamento do equalizador.

SACCH: Canal de Controle Associado Lento (Slow Associated Control Channel) – equivale a um canal de controle, bidirecional enviado nos canais direto e reverso. Transporta informação de sinalização e controle entre BTS e móvel, consideradas não prioritárias, ou urgentes. Por este motivo este campo é denominado de canal de controle associado lento. Assim temos um canal de controle montado em cima de um canal de tráfego.

Desta forma algumas mensagens são enviadas no canal direto.

- Local control (informação de registro)
- Audit (por ex: que nível de potência a EM entrou no sistema)
- Stop Measurement order
- Physical control layer (alinhamento de quadro, ajuste de potência,...)

DATA: A informação de usuário ou canal associado rápido (FACCH). É usado para transmitir a voz codificada ou sinalização do tipo “blank and burst” (FACCH). A informação do usuário e o FACCH não podem ser enviados simultaneamente.

A estrutura FACCH é utilizada para transmissão de mensagens de controle que tem que ser processadas imediatamente, isto é, não podem aguardar o envio de poucos bits (12 em cada time slot). A mensagem FACCH é transmitida quando ocorre redução na atividade de voz de um determinado canal lógico. Neste caso são necessários todos os 260 bits do campo DATA. São utilizados para envio de mensagens de controle rápidas.

Exemplos:

- Handoff,
- Alert with info,
- Base station ack (resposta a physical layer control),
- ...e todas as mensagens também utilizadas pelo SACCH

CDVCC : (Code Digital verification Color Code). Este campo é composto de 12 bits e presente nos time slots do enlace direto e reverso, é utilizado para cheque, ou verificação, da continuidade dos enlaces direto e reverso. É usado para distinguir o canal designado dos co-canais. Semelhante a função do SAT no AMPS. Dos 12 bits na sua composição 8 é para diferenciação entre co-células e 4 de redundância de proteção. Desta forma temos 255 valores de CDVCC possíveis.

RSVD : Reservado (1 bit) - reservado para o futuro, o bit tem valor zero.

CDL: Este campo armazena o valor codificado da variável DL(Digital Control Channel Location), auxiliando o móvel a encontrar mais facilmente um canal de controle disponível na célula no final da conversação.

A estrutura do time slot do RDTTC é dado por:

G	R	DATA	SYNC	DATA	SACCH	CDVCC	DATA
6	6	16	28	122	12	12	122

Cada um destes campos apresenta uma função ou significados iguais aos que já foram descritos anteriormente.

CANAIS DE CONTROLE DIGITAIS (DCCH)

O canal de controle digital (DCCH) é uma estrutura de canais lógicos que implementa uma funcionalidade digital superior em relação aos sistemas AMPS e IS-54 e o formato dos slots DCCH são apresentados a seguir:

Slot do DCCH- reverse

G	R	PREAM	SYNC	DATA	SYNC+	DATA
6	6	16	28	122	24	122

Slot Reduzido do DCCH- Reverse

G	R	PREAM	SYNC	DATA	SYNC+	DATA	R	AG
6	6	16	28	122	24	78	6	38

Slot do DCCH-Direto

SYNC	SCF	DATA	CSFP	DATA	SCF	RSDV
28	12	130	12	130	10	2

O significado de cada campo é o seguinte:

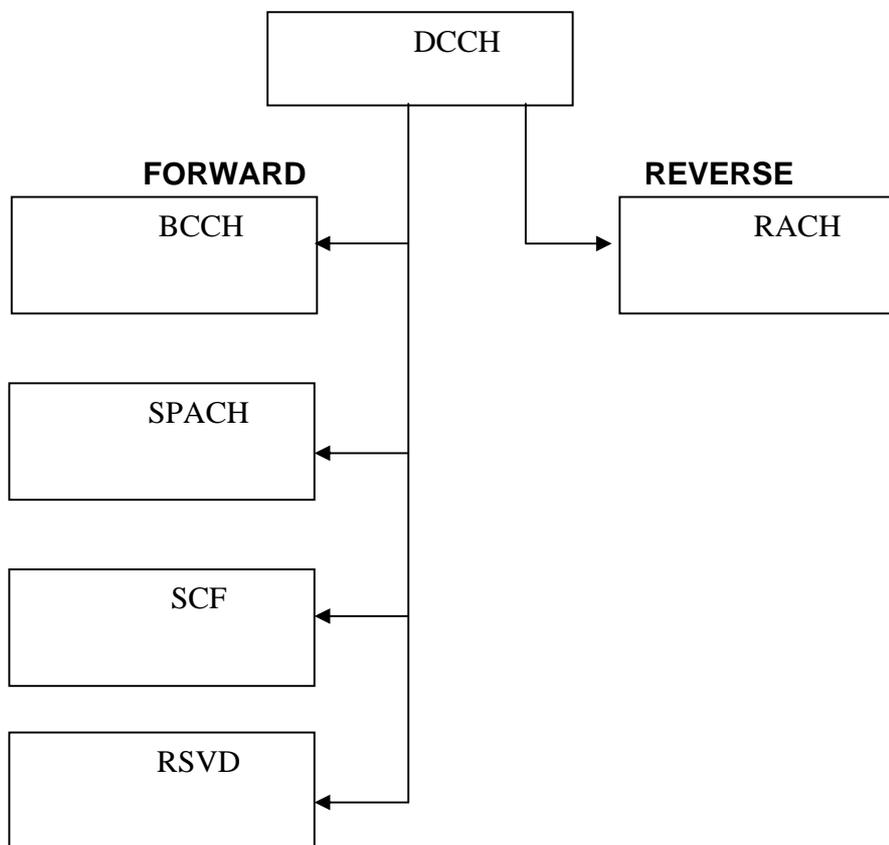
- G: tempo de guarda
- R: tempo de rampa
- PREAM - é um preâmbulo que facilita a sincronização
- SYNC - campo para sincronização
- DATA - informação
- SYNC+ - campo suplementar para sincronização
- AG - tempo de guarda para o caso de burst abreviado

- SCF - shared channel feedback
- CSFP - coded super frame phase, carrega informações da fase do superquadro, de forma que as EMs consigam encontrar o início do superquadro de informações.

Canal de Controle Digital (DCCH)

Este canal possui uma série de sub-canais que são classificados de acordo com a sua funcionalidade:

- **BCCH, SPACH, SCF, RSVD e RACH**



Broadcast Control Channel (BCCH)

O BCCH é um canal multiplexado composto por:

- F-BCCH - Fast BCCH
- E-BCCH – Extended BCCH
- S-BCCH – SMS (Short Message Service) BCCH

Estes 3 sub-canais lógicos são unidirecionais (downlink) e são necessitam de resposta ACK da unidade móvel.

O **F-BCCH** são slots de tempo utilizados para difusão de informações síncronas em que o tempo é crítico. A repetição é feita em cada superframe (32 slots).

O **E-BCCH** são slots de tempo dentro de um superframe utilizados para a difusão de informações onde o tempo não é tão crítico e não é necessário um ciclo de repetição da mensagem.

O **S-BCCH** é designado para o envio de mensagens de curta duração.

A configuração dos IS-136 em termos de número de slots em um superframe que cada um dos sub-canais pode ter é a seguinte.

Subcanal do BCCH	Mínimo	Máximo
F-BCCH	3	10
E-BCCH	1	8
S-BCCH	0	15

SMS Point To Point Paging e Access Response Channel (SPACH)

O **SPACH** é subdividido em 3 subcanais lógicos **PCH**, **ARCH** e **SMSCH**.

PCH – Paging Channel

Normalmente, após a unidade móvel completar o processo de inicialização, um canal de Paging é deliberado para esta unidade. O canal de paging é slot de tempo específico no qual será enviada toda a informação do **PCH**. O **PCH** é unidirecional (downlink), compartilhado, ponto-a-ponto e não necessita de ACK.

ARCH – Access Response Channel

Quando um UM origina uma chamada, ela envia um pedido de originação no **RACH**. Em seguida a UM passa a monitorar as informações do **ARCH** que acontecerá informações com canal de voz a ser sintonizado.

SMSCH – Short Message Service Channel

É utilizado para o envio de mensagens de curta duração alfa-numéricas para uma unidade móvel específica.

	Mínimo	Máximo
SPACH	2	28

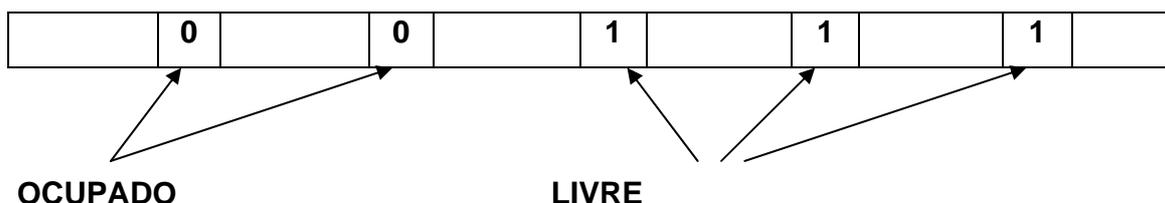
Shared Channel Feedback (SCF)

Funcional como um retorno às informações recebidas pelo canal reverso.

Apresenta os seguintes flags:

- Busy/Reserved/Idle
- Coded Partial Echo
- Received/Not Received

Para a originação a unidade móvel verifica se o primeiro flag está idle. Se estiver ela pode enviar as informações e então passa a monitorar a resposta Received com Coded Partial Echo com o seu próprio MIN. Se tudo ocorrer em a UM monitora o **SPACH** para receber o canal de voz que deve sintonizar.

BIT BUSY/IDLE

A estratégia utilizada para permitir o acesso ao canal de controle reverso é a seguinte:

- 1) O usuário digita o número desejado e aperta a tecla send.
- 2) A unidade móvel escolhe aleatoriamente uma temporização entre 0 e 200 ms. Espera o tempo escolhido e verifica o Bit Busy/Idle no **FCCH**.

- 3) Caso o Bit Busy/Idle indique que o Canal de controle está ocupado (busy), a unidade móvel escolhe novamente um valor entre 0 e 90 ms e faz outra tentativa após esse tempo.
- 4) O passo 3 pode se repetir até dez vezes e, caso não consiga acesso ao canal de controle, o móvel vai acionar o sinal de ocupado para o usuário.

RANDOM ACCESS CHANNEL (RACH)

O **RACH** é o único canal lógico do canal reverso, ou seja, todos os slots de tempo são alocados para ele. É um canal público, ou seja, possibilita o acesso por parte de todos os assinantes. Possui a mesma funcionalidade do **RVCH** e **AMPS**.

Vantagens do TDMA

O padrão TDMA oferece muitas vantagens sobre os sistemas analógicos e também sobre outros sistemas digitais atualmente em uso.

A suas principais vantagens em relação aos padrões analógicos são a sua flexibilidade e precisão (possibilita transporte de um volume maior de informações), melhor qualidade de som, maior capacidade de usuários simultâneos, maior segurança (privacidade) e a possibilidade de oferecer mais serviços que as redes analógicas.

Com relação aos outros padrões digitais, por este padrão utilizar-se da multiplexação por tempo (e não por frequência) ele garante que não haverão interferências de conversações simultâneas. Além disso, gasta muito menos bateria por estar transmitindo somente durante uma porção do tempo nas conversações (de 1/3 a 1/10).

Outro ponto interessante é que é a única tecnologia que oferece uma utilização eficiente da estrutura de células hierárquica, oferecendo pico, micro e macrocélulas. Isto possibilita ao sistema ser configurado para suportar tráficos e serviços específicos. Assim, o sistema pode alcançar capacidades de 40 vezes o AMPS com uma relação custo-benefício satisfatória.

Uma característica interessante e que tem pesado muito para as empresas na escolha de um sistema digital é que TDMA possibilita uma transição sensível do

AMPS analógico para um sistema digital de maior capacidade, possibilitando o aproveitamento da infra-estrutura existente, tomando conta dos usuários de AMPS analógico. E não só permite isso como também que a migração seja feita canal por canal e não necessariamente todo o sistema de uma só vez. Por isso é o meio mais eficiente com relação a custo para se fazer um "upgrade" de um sistema analógico para um digital.

Outras vantagens são que a cada instante, uma estação ocupa toda a largura de banda do canal, todas as estações transmitem e recebem na mesma frequência (simplifica a sintonização) e o fato deste sistema estar operando com sucesso em muitos países.

Desvantagens do TDMA

Uma das desvantagens do TDMA é que cada usuário tem um slot de tempo pré-definido. Conseqüentemente, se um usuário muda de uma célula para outra, não há um slot reservado para ele nesta outra célula. Se todos os slots na próxima célula estiverem ocupados, a chamada poderá ser desconectada. Também, se todos os slots de tempo da célula à qual um usuário pertence estiverem ocupados, ele não receberá o tom de discagem.

Outro problema com relação ao TDMA é a distorção do sinal. Um sinal vindo de uma torre para um telefone celular deve vir de várias direções e pode ter esbarrado em diferentes edifícios antes de chegar, o que pode causar interferência:

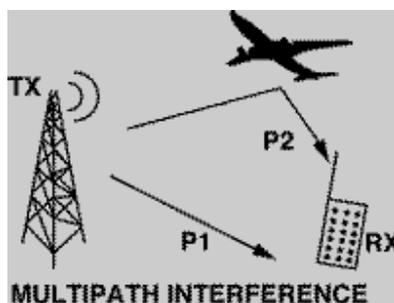


Figura 4: Interferência

Um jeito de contornar esta interferência é colocando um limite de tempo no sistema. Ele deve ser configurado para receber e processar o sinal em um certo limite de tempo. Depois deste tempo, o sistema ignora o sinal.

Outra desvantagem é que este sistema precisa de sincronização.

Em 1988, a Cellular Telecommunications Industry Association (CTIA) especificou necessidades para a o futuro da telefonia celular digital em um conjunto de Necessidades de Performance para o Usuário (User Performance Requirements - UPR). Em particular, o UPR especificava uma capacidade aumentada de um fator 10 sobre o celular analógico. Perto de 1990, a TIA (Telecommunications Industry Association), em resposta ao UPR do CTIA, adotou o padrão IS-54 TDMA, mas tal padrão não alcançou a capacidade especificada no UPR, aumentando apenas por um fator 3, ou seja, não era o ideal. Outro fator que influencia no TDMA é que ele é visto como uma "tecnologia estrangeira", o síndrome do "não inventada aqui", que atinge os norte-americanos.

Mas, apesar de todos estes fatores, o padrão TDMA já está bastante difundido, adotado por várias companhias e funcionando satisfatoriamente.

Para a diminuir a interferência, é colocado um limite de tempo no sistema. Em contraste com a tecnologia CDMA, o TDMA está em operação comercial provendo uma plataforma digital de crescimento futuro. TDMA como um método de acesso já é um padrão bem estabelecido pelo mundo, comercializado com os sistemas GSM, PDC e D-AMPS. Hughes Network Systems está promovendo o conceito de E-TDMA, que utiliza uma alocação dinâmica dos slots para evitar gastos dos slots quando um lado da conversa estiver em silêncio. Essa técnica pode quase duplicar a eficiência espectral do TDMA.

TDMA Avançado

Substancialmente o TDMA melhorou a eficiência do celular analógico. Mais, como FDMA, ele tinha um ponto fraco que era o desperdício de largura de banda: o espaço de tempo que era locado para uma conversa específica mesmo quando ninguém estivesse falando naquele momento. A versão melhorada de Hughes do TDMA (ETDMA) tentou corrigir este problema. Em vez da espera para determinar se um assinante está transmitindo, o ETDMA atribui os usuários

dinamicamente. ETDMA envia dados através daquelas pausas que a fala normal contem. Quando os assinantes têm algo a transmitir, eles colocam um bit na fila de buffer. O sistema examina o buffer, visto que o usuário tem algo a transmitir, conseqüentemente loca-se uma largura de banda. Se um assinante não tem nada a transmitir, a fila simplesmente vai para o próximo assinante. Então, em vez de começar atribuindo arbitrariamente, o tempo é locado de acordo com o necessário. Se colegas em uma conversa pelo telefone não falam um com o outro, esta técnica pode quase dobrar o espectro de eficiência do TDMA, tornando-o quase 10 vezes mais eficiente que a transmissão analógica.