

Capítulo I

Introdução a Sistemas de Comunicações *Wireless*

1.1 Evolução dos Sistemas de Comunicações Móveis

Historicamente, o crescimento no campo das comunicações móveis tem sido lento e extremamente relacionado ao desenvolvimento tecnológico.

A disponibilização de sistemas de comunicações móveis a populações inteiras não foi possível até a concepção do conceito de comunicações celulares pelos pesquisadores do *Bell Laboratories*, nas décadas de 60 e 70 e, na verdade, pode-se considerar que as comunicações *wireless* tiveram como marco inicial o desenvolvimento de *hardware* miniaturizado e de confiabilidade adequada para uso em rádio-freqüência, nos anos 70.

Nos últimos anos, o crescimento dos serviços de rádio-celular e de sistemas de comunicações pessoais (*Personal Communications Systems - PCS*) tem sido exponencial. Para o futuro, acredita-se que a razão de crescimento dos sistemas de comunicações *wireless* esteja ligada a decisões regulatórias que irão suportar o desenvolvimento de novos serviços (e/ou a extensão de serviços pré-existent), além de avanços em processamento digital de sinais e tecnologia de redes.

Em 1990, os sistemas de rádio-não-celular licenciados nos Estados Unidos tinham aproximadamente 2 milhões de usuários, o que representava o dobro da população de usuários de telefonia celular. Atualmente, a base de assinantes de sistemas celulares e PCS nos Estados Unidos supera em muito o número de usuários licenciados de sistemas não-celulares.

A necessidade de aumentar a segurança pública foi o fator determinante do surgimento da indústria de telecomunicações. A primeira utilização de comunicações rádio-móveis em automóveis (ao invés de em navios) aconteceu em 1921, ocasião em que o Departamento de

Polícia de Detroit implementou um sistema utilizando uma banda de frequência próxima de 2 MHz.

Em 1932, o Departamento de Polícia de New York também implementou o uso da banda de 2 MHz para comunicações móveis. Em 1934 existiam 194 estações policiais de rádio municipais e 58 estaduais adotando modulação AM em sistemas de comunicações móveis de segurança pública nos Estados Unidos.

Foi estimado em 5.000 o número de usuários de sistemas de comunicações instalados em veículos, ao redor de 1930. No entanto, a tecnologia existente não era suficiente para desenvolver equipamentos de pequenas dimensões e fácil manuseio, para uso em veículos automotivos. A transmissão de sinais de rádio-telefonia também era prejudicada pela existência de ruas de calçamento irregular, prédios altos e terrenos acidentados.

A tecnologia revolucionária para melhorar a transmissão de rádio e diminuir o tamanho dos equipamentos surgiu em 1935, quando Edwin Armstrong revelou sua invenção, a Modulação em Frequência. FM tem sido, desde então, a técnica de modulação mais adotada pelos usuários de sistemas de comunicações móveis através do mundo.

A Segunda Guerra Mundial acelerou as melhorias dos processos de industrialização e miniaturização, o que possibilitou o posterior desenvolvimento de sistemas de rádio e televisão dedicados aos consumidores em geral. Como consequência, o número de usuários do sistema de comunicações móveis nos Estados Unidos subiu de poucos milhares em 1940 para 86.000 em 1948, logo após o final da Segunda Guerra quando, então, já se encontrava disponibilizado para o setor privado, para a polícia e para os bombeiros.

Em 1958 o número de usuários de sistemas de comunicações móveis subiu para 695.000 e, em 1962, para aproximadamente 1.4 milhões.

A grande maioria de usuários de sistemas móveis nos anos sessenta não era composta de usuários conectados à rede pública de telefonia comutada, não podendo, portanto, discar diretamente números de telefones a partir de seus veículos.

Já em 1995, o número de usuários de rádio portátil e sistemas móveis era de aproximadamente 100 milhões, ou 37% da população dos Estados Unidos. Este impacto foi devido ao surgimento de aplicações simples (para uso doméstico), tais como telefones e controles

remotos para abrir portas de garagem. Em 1991 foi estimado entre 25 e 40 milhões o número de telefones sem fio utilizados nos Estados Unidos. Uma década após, este número foi estimado em aproximadamente 100 milhões.

O número de telefones celulares utilizados no mundo cresceu de 25.000 em 1984 para aproximadamente 25 milhões em 1993 e, desde então, serviços *wireless* destinados a assinantes têm apresentado um crescimento de consumo com taxas que excedem 50% ao ano. A base de assinantes de sistemas celulares e serviços de comunicação pessoal em nível mundial atingiu aproximadamente 630 milhões em 2001, um número considerável, se comparado ao número existente de linhas de telefones convencionais (telefones *wired*): aproximadamente 1 bilhão.

Espera-se que, nos primeiros anos do Século XXI, o número de usuários de sistemas de comunicações *wireless* e de sistemas convencionais (*wired*) se iguale, em nível mundial.

No início do Século XXI, mais de 1% dos assinantes de sistemas de comunicações *wireless* já tinha abandonado o serviço de telefonia convencional para uso residencial, passando a confiar unicamente em seus provedores de serviços de telefonia celular. Acredita-se que o número de usuários de sistemas de telefonia que irá contar com meios de comunicação *wireless* como seu único tipo de acesso à telefonia aumentará de forma considerável nos próximos anos.

1.2 Rádio-Telefonia Móvel nos Estados Unidos

O primeiro serviço de telefonia pública móvel foi introduzido nas 25 maiores cidades americanas em 1946. Cada sistema usava um transmissor de alta potência e uma torre suficientemente grande para cobrir distâncias superiores a 50 km, para uma particular região.

Os primeiros sistemas de telefonia FM (nos anos quarenta) usavam 120 kHz de banda de RF, em um modo de transmissão *half-duplex* (neste tipo de sistema, apenas uma pessoa na ligação telefônica pode falar a cada vez), embora o espectro de banda base ocupe apenas 3 kHz. O uso de uma largura de banda de RF maior do que a necessária é devido à dificuldade de produzir filtros de RF eficientes e amplificadores, nos receptores, com baixo ruído.

Em 1950 o FCC (*Federal Communications Commission*) dobrou o número de canais de telefonia móvel por região, mas sem nenhuma nova alocação de espectro. Tecnologias mais

avançadas possibilitaram que a largura de banda requerida do canal fosse cortada pela metade, ou seja, para 60 kHz.

A eficiência espectral aumentou apenas quatro vezes durante o período compreendido entre a Segunda Guerra Mundial e a metade dos anos sessenta. Além disso, nas décadas de cinquenta e sessenta foi introduzido e implementado o conceito de *trunking* através do IMTS (*Improved Mobile Telephone Service*). O conceito de *trunking* permite acomodar um grande número de usuários em um limitado espectro de rádio-frequência, ou seja, permite que um grande número de usuários divida o número relativamente pequeno de canais na célula, provendo acesso sob demanda a cada usuário. Após terminada a chamada, o canal previamente ocupado é imediatamente devolvido ao conjunto de canais disponíveis. O IMTS permitiu que as companhias de telefone começassem a oferecer sistemas de telefonia *full-duplex*, com discagem e *trunking* automáticos. Entretanto, o IMTS rapidamente se tornou saturado nos principais mercados.

Uma curiosidade: O sistema IMTS foi projetado para completar apenas 50% das chamadas durante as horas de congestionamento (devido ao pequeno número de canais de rádio disponíveis para o serviço) e era, freqüentemente, ainda pior em áreas metropolitanas!

Em 1976, o serviço de telefonia móvel da Bell para o mercado da cidade de New York, (um mercado de aproximadamente dez milhões de pessoas, naquela época) tinha apenas 12 canais e podia servir a apenas 543 assinantes pagantes. Havia uma lista de espera de mais de 3.700 pessoas e o serviço era de má qualidade devido ao bloqueamento de chamadas e ao uso de apenas poucos canais. O IMTS está ainda em uso nos Estados Unidos, mas é espectralmente ineficiente quando comparado aos sistemas celulares utilizados atualmente.

Com o intuito de melhor aproveitar o espectro de rádio-frequências, durante as décadas de 50 e 60, os engenheiros da AT&T e outras companhias de telecomunicações através do mundo desenvolveram a teoria e técnicas de rádio-telefonia celular – o conceito de quebrar uma zona de cobertura em pequenas células, cada uma das quais reusando porções do espectro, para aumentar o uso do espectro às custas de uma maior infra-estrutura de sistema. A idéia básica da alocação de espectro do rádio-celular é similar àquela usada pelo FCC quando aloca estações de televisão ou estações de rádio com diferentes canais em uma determinada região do país, e então realoca aqueles mesmos canais para diferentes estações em regiões completamente diferentes do país. Os

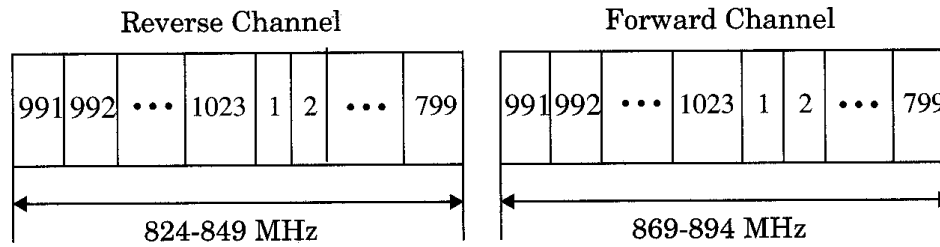
canais são reusados apenas quando há uma distância suficiente entre os transmissores, para que sejam evitadas interferências. Por sua vez, a telefonia celular baseia-se no reuso dos mesmos canais dentro do mesmo mercado ou área de serviço.

Em 1968, a AT&T propôs o conceito de um sistema móvel celular para o FCC (embora a tecnologia não estivesse disponível para implementar de fato os sistemas de telefonia celular até o final dos anos 70). O novo sistema propunha "esticar" o número limitado de frequências de rádio disponíveis para o serviço móvel, através do espalhamento de múltiplos transmissores de baixa frequência sobre uma região metropolitana e "passar adiante" as chamadas telefônicas, de transmissor a transmissor, à medida que o usuário móvel se deslocasse ao longo da região.

A técnica proposta permitia o acesso de mais usuários ao sistema simultaneamente, além de permitir também que, quando uma ampliação de capacidade fosse necessária, a área servida por cada transmissor fosse novamente dividida.

Em 1983, o FCC finalmente alocou 666 canais *duplex* (40 MHz de espectro, na banda de 800 MHz, cada canal tendo uma largura de banda de 30 kHz, para uma ocupação total de espectro de 60 kHz para cada canal *duplex*) para o sistema AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) americano. De acordo com as regras do FCC, a cada cidade (ou mercado) era permitido apenas ter 2 provedores de sistema rádio-celular, promovendo assim um duopólio dentro de cada mercado, o qual poderia garantir algum nível de competição. Os canais de rádio eram divididos igualmente entre as duas provedoras. O sistema AMPS foi o primeiro sistema de telefonia celular americano, aplicado em 1983 pela Ameritech em Chicago. Em 1989 o FCC permitiu o uso de 166 canais adicionais (10 MHz) para os provedores de serviço celular nos Estados Unidos, com o intuito de acomodar o rápido crescimento da demanda. A Figura 1.1 ilustra a alocação de espectro adotada para o uso da telefonia celular nos Estados Unidos da América.

Os sistemas de rádio-celular operam em um ambiente de interferência limitada e se baseiam em um planejamento criterioso de reuso de frequências (o qual é uma função de características específicas de propagação de cada região) e divisão de frequência por múltiplo acesso (FDMA - *Frequency Division Multiple Access*).



	Channel Number	Center Frequency (MHz)
Reverse Channel	$1 \leq N \leq 799$	$0.030N + 825.0$
	$991 \leq N \leq 1023$	$0.030(N - 1023) + 825.0$
Forward Channel	$1 \leq N \leq 799$	$0.030N + 870.0$
	$991 \leq N \leq 1023$	$0.030(N - 1023) + 870.0$

(Channels 800–990 are unused)

Figura 1.1: Alocação do espectro de freqüências para o serviço de rádio-celular nos Estados Unidos. Canais de mesma identificação nas duas bandas formam um par de canais direto e reverso usados para comunicação *duplex* entre a Estação Base e a Móvel. Observe que os canais direto e reverso são separados por 45 MHz.

No final de 1991 o primeiro sistema de celular digital americano foi instalado nas principais cidades americanas. O padrão USDC (US *Digital Cellular – Electronic Industry Association Interim Standard* IS-54 e, mais tarde, IS-136) possibilitou aos operadores de telefonia celular substituir alguns canais analógicos de uso único por canais digitais, os quais permitiam 3 usuários na mesma largura de banda de 30 kHz. Desta forma, os sistemas analógicos foram gradualmente sendo substituídos por telefones digitais. A capacidade oferecida pelo USDC é três vezes aquela do AMPS, devido à modulação digital ($\pi/4$ *Differential Quadrature Phase Shift Keying*), à codificação de voz e ao acesso por divisão múltipla do tempo (TDMA - *Time Division Multiple Access*), usados em lugar do FM e do FDMA analógico.

Dentro de poucos anos, devido aos avanços em processamento digital de sinais, a tecnologia de codificação de voz deverá aumentar a capacidade para 6 usuários por canal, na

mesma largura de banda de 30 kHz, embora a IS-136 venha, eventualmente, a ser substituída pela tecnologia CDMA (*Code Division Multiple Access*) de banda larga.

Um sistema celular baseado em CDMA foi desenvolvido pela Qualcomm, Inc. e padronizado pela TIA (*Telecommunications Industry Association*) como o padrão IS-95 (*Interim Standard*). Este sistema permite um número variável de usuários em canais de 1.25 MHz, usando *Direct Sequence Spread Spectrum*. Enquanto o sistema AMPS analógico requer que o sinal seja, no mínimo, 18 dB maior do que a interferência co-canal para prover uma chamada de qualidade aceitável, os sistemas CDMA operam a níveis de interferência muito maiores devido às suas próprias propriedades de resistência à interferência. A habilidade do CDMA para operar com uma relação sinal-ruído (SNR) muito menor do que as técnicas convencionais de FM de banda estreita permitem ao sistema CDMA usar o mesmo conjunto de frequências em cada célula, o que provê um grande aumento em capacidade. Diferentemente de outros sistemas celulares digitais, o sistema da Qualcomm usa um codificador de taxa variável de voz com detecção de atividade de voz, o qual reduz consideravelmente a taxa de dados requerida e também o consumo de bateria pelo transmissor móvel.

No começo dos anos 90 um serviço de rádio-móvel novo especializado (SMR – *Specialized Mobile Radio Service*) foi desenvolvido para competir com os sistemas de rádio-celular americanos. Através da compra de licenças de pequenos grupos de sistemas de rádio para um grande número de provedores de serviços de rádios independentes e privados através do país, a Nextel e a Motorola formaram uma rede estendida SMR (E-SMR), na banda de 800 MHz, o que provê capacidade e serviços similares à telefonia celular. Utilizando o sistema de rádio integrado da Motorola (*Motorola's Integrated Radio Systems* – MIRS), o SMR integrou voz, serviços de telefonia celular, mensagens e capacidade de transmissão de dados na mesma rede. Em 1995 a Motorola substituiu o MIRS pela rede iDen (*Integrated Digital Enhanced Network*).

No começo de 1995, licenças para PCS – *Personal Communication Service* foram leiloadas pelo governo dos Estados Unidos na banda de 1800/1900 MHz para provedores de comunicações *wireless*, possibilitando assim o oferecimento de novos serviços de comunicações *wireless*, serviços estes que vieram complementar (assim como também competir) com os sistemas celulares e SMR. Uma das estipulações da concessão da licença para PCS era que a

maior parte da área de cobertura estivesse operacional antes do ano 2000. Cada licenciado para prover PCS estava habilitado a “construir” o correspondente mercado antes deste prazo, caso possível. Pelo menos 5 licenças para PCS foram alocadas para cada principal cidade americana.

1.3 Sistemas Rádio-Móveis ao Redor do Mundo

Muitos padrões para sistemas de comunicações rádio-móveis têm sido desenvolvidos para sistemas de comunicações *wireless* através do mundo e muitos padrões com certeza ainda irão emergir, as Tabelas 1.1 a 1.3 listam os padrões mais comuns de sistemas *paging*, sem fio, celular e de comunicações usados na América do Norte, Europa e Japão.

O padrão de *paging* mais comum em nível mundial é o *Post Office Code Standard Advisory Group* (POCSAG), que foi desenvolvido pelo *British Post Office* em 1970 e oferece suporte para *Binary Frequency Shift Keying* (FSK) a 512 bps, 1200 bps e 2400 bps. Novos sistemas de *paging*, tais como FLEX e ERMES, provêm transmissões a mais de 6.400 bps através da utilização de modulação em quatro níveis e têm sido correntemente utilizados em nível mundial. Os padrões CT2 e *Digital European Cordless Telephone* (DECT) desenvolvidos na Europa são os dois mais populares padrões de telefone sem fio na Europa e na Ásia. O sistema CT2 faz uso de microcélulas, as quais cobrem pequenas distâncias, usualmente menores do que 100 metros, usando estações base com antenas montadas em postes de iluminação ou nas laterais de prédios. O sistema CT2 utiliza modulação FSK juntamente com um codificador de voz do tipo ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) para transmissão com alta qualidade de voz. As operações de *handoff* entre estações base não são permitidas no padrão CT2, que pretende prover acesso de curto alcance para a rede comutada de telefonia pública. O sistema DECT acomoda transmissões de dados e voz para escritórios e usuários no ramo de negócios. Nos Estados Unidos, o padrão PACS, desenvolvido pelo Bellcore e pela Motorola pode ser usado dentro de prédios oficiais como um sistema para comunicação *wireless* de voz e dados ou para *loop* de rádio local. O sistema PHS (*Personal Handyphone System*) permite aplicações dentro de prédios e em *loops* locais no Japão.

Major Mobile Radio Standards in North America

Standard	Type	Year of Introduction	Multiple Access	Frequency Band	Modulation	Channel Bandwidth
AMPS	Cellular	1983	FDMA	824-894 MHz	FM	30 kHz
NAMPS	Cellular	1992	FDMA	824-894 MHz	FM	10 kHz
USDC	Cellular	1991	TDMA	824-894 MHz	$\pi/4$ -DQPSK	30 kHz
CDPD	Cellular	1993	FH/ Packet	824-894 MHz	GMSK	30 kHz
IS-95	Cellular/ PCS	1993	CDMA	824-894 MHz 1.8-2.0 GHz	QPSK/ BPSK	1.25 MHz
GSC	Paging	1970s	Simplex	Several	FSK	12.5 kHz
POCSAG	Paging	1970s	Simplex	Several	FSK	12.5 kHz
FLEX	Paging	1993	Simplex	Several	4-FSK	15 kHz
DCS-1900 (GSM)	PCS	1994	TDMA	1.85-1.99 GHz	GMSK	200 kHz
PACS	Cordless/ PCS	1994	TDMA/ FDMA	1.85-1.99 GHz	$\pi/4$ - DQPSK	300 kHz
MIRS	SMR/PCS	1994	TDMA	Several	16-QAM	25 kHz
iDen	SMR/PCS	1995	TDMA	Several	16-QAM	25 kHz

Tabela 1.1: Principais padrões para sistemas de comunicações rádio-móveis adotados na América do Norte.

Major Mobile Radio Standards in Europe

Standard	Type	Year of Introduction	Multiple Access	Frequency Band	Modulation	Channel Bandwidth
ETACS	Cellular	1985	FDMA	900 MHz	FM	25 kHz
NMT-450	Cellular	1981	FDMA	450-470 MHz	FM	25 kHz
NMT-900	Cellular	1986	FDMA	890-960 MHz	FM	12.5 kHz
GSM	Cellular /PCS	1990	TDMA	890-960 MHz	GMSK	200 kHz
C-450	Cellular	1985	FDMA	450-465 MHz	FM	20 kHz/ 10 kHz
ERMES	Paging	1993	FDMA	Several	4-FSK	25 kHz
CT2	Cordless	1989	FDMA	864-868 MHz	GFSK	100 kHz
DECT	Cordless	1993	TDMA	1880-1900 MHz	GFSK	1.728 MHz
DCS-1800	Cordless /PCS	1993	TDMA	1710-1880 MHz	GMSK	200 kHz

Tabela 1.2: Principais padrões para sistemas de comunicações rádio-móveis adotados na Europa.

Major Mobile Radio Standards in Japan

Standard	Type	Year of Introduction	Multiple Access	Frequency Band	Modulation	Channel Bandwidth
JTACS	Cellular	1988	FDMA	860-925 MHz	FM	25 kHz
PDC	Cellular	1993	TDMA	810-1501 MHz	$\pi/4$ -DQPSK	25 kHz
NTT	Cellular	1979	FDMA	400/800 MHz	FM	25 kHz
NTACS	Cellular	1993	FDMA	843-925 MHz	FM	12.5 kHz
NTT	Paging	1979	FDMA	280 MHz	FSK	12.5 kHz
NEC	Paging	1979	FDMA	Several	FSK	10 kHz
PHS	Cordless	1993	TDMA	1895-1907 MHz	$\pi/4$ -DQPSK	300 kHz

Tabela 1.3: Principais padrões para sistemas de comunicações rádio-móveis adotados no Japão.

O primeiro sistema de comunicações celulares implantado no mundo foi desenvolvido pela *Nippon Telephone and Telegraph Company* (NTT), no Japão. O sistema, empregado em 1979, usa 600 canais *duplex* de FM (25 kHz para cada *link* unidirecional) na banda de 800 MHz. Na Europa, o sistema *Nordic Mobile Telephone* (NMT 450) foi desenvolvido em 1981 para a banda de 450 MHz e usa canais de 25 kHz. O *European Total Access Cellular System* (ETACS) foi empregado em 1985 e é virtualmente idêntico ao sistema AMPS americano, exceto pelo fato de que canais de menor largura de banda resultam em uma leve degradação da relação sinal-ruído (SNR) e alcance de cobertura. Na Alemanha, um padrão celular chamado C-450 foi introduzido em 1985. Os sistemas celulares de primeira geração europeus são geralmente incompatíveis entre si devido às diferentes frequências e protocolos de comunicação utilizados. Estes sistemas estão agora sendo substituídos pelo padrão celular digital GSM (*Global System For Mobile*) *Pan European* o qual foi pela primeira vez utilizado em 1990 em uma nova banda de 900 MHz, a qual toda a Europa dedicou para serviços de telefonia celular. O padrão GSM obteve aceitação

mundial como o primeiro sistema de celular digital universal com características modernas de rede estendidas a cada usuário móvel, e é a interface ar-digital líder mundial para serviços PCS acima de 1.800 MHz. No Japão, o padrão *Pacific Digital Cellular* (PDC) provê cobertura celular digital usando um sistema similar ao sistema USDC da América do Norte.

1.4 Exemplos de Sistemas de Comunicações *Wireless*

Há muitos sistemas de comunicação rádio-móvel utilizados no dia-a-dia, tais como: sistemas para abertura de portas de garagens, controles remotos para equipamentos de entretenimento residencial, telefones sem fio, *walkie-talkies* portáteis, *paggers* e telefones celulares. Entretanto, o custo, a complexidade, o desempenho e o tipo de serviços oferecidos por cada um destes sistemas móveis são muito diferentes.

O termo móvel tem sido historicamente usado para classificar qualquer terminal de rádio que pode ser movido durante sua operação. Mais recentemente, o termo móvel é usado para descrever um terminal de rádio que é acoplado a uma plataforma móvel de alta velocidade (por exemplo, um celular em um veículo em rápido movimento), onde o termo portátil descreve um terminal de rádio que pode ser conduzido na mão e usado por alguém enquanto se desloca (por exemplo, um *walkie-talkie* ou um telefone sem fio dentro de uma casa).

O termo assinante é freqüentemente utilizado para descrever um usuário de um sistema móvel ou portátil, devido ao fato de que, na maior parte dos sistemas de comunicações móveis, cada usuário paga uma taxa de assinatura para utilizar o sistema, e o dispositivo de comunicação de cada usuário é chamado unidade de assinatura. Em geral, o conjunto de usuários em um sistema de comunicações *wireless* é chamado de "usuários" ou "móveis". Os móveis se comunicam às estações base fixas, as quais são conectadas a uma rede fixa. A Tabela 1.4 lista definições de termos usados para descrever os elementos dos sistemas de comunicações *wireless*.

Estação Móvel	Estações Rádio-Móveis (<i>Mobile Station</i> - MS ou, em português, ERM) são estações no serviço de rádio-celular usadas quando em movimento, em locais não especificados. MS podem ser unidades portáteis ou instaladas em veículos.
Estação Base	Estações Rádio-Base (<i>Base Station</i> - BS ou, em português, ERB) são estações fixas em um sistema de rádio-móvel, usadas para rádio-comunicações com MS. BS são localizadas no centro ou na borda de uma região de cobertura e consistem de canais de rádio e antenas transmissoras e receptoras montadas em uma torre.
Canal de Controle	Canais de Controle (<i>Control Channel</i> - CS) são canais de rádio usados para transmissões de inicialização de chamada (<i>call setup</i>), solicitação de chamada (<i>call request</i>), início de conversação (<i>call initiation</i>) e outros propósitos de sinalização (<i>beacon</i>) ou controle.
Canal Direto	Canais Diretos (<i>Forward Channel</i> - FC) são canais de rádio usados para transmissão de informação a partir da BS para a MS.
Canal Reverso	Canais Reversos (<i>Reverse Channel</i> - RC) são canais de rádio usados para transmissão de informação a partir da MS para a BS.
Sistemas <i>Full Duplex</i>	Sistemas de comunicação que permitem comunicações simultâneas em dois sentidos. A transmissão e a recepção são realizadas tipicamente em dois canais diferentes (<i>FDD-Frequency Division Duplex</i> , embora novos sistemas <i>wireless</i> /PCS estejam usando <i>TDD-Time Division Duplex</i>).
Sistemas <i>Half Duplex</i>	Sistemas de comunicação que permitem comunicações em dois sentidos através do uso do mesmo canal de rádio tanto para transmissão quanto para recepção. Em qualquer instante de tempo, o usuário pode apenas transmitir ou receber informação.
Sistemas <i>Simplex</i>	Sistemas de comunicação que permitem comunicações em apenas um sentido.
<i>Handoff</i>	Processo de transferir uma MS de um canal ou BS para outro.
Centro de Comutação e Controle	O Centro de Comutação e Controle (CCC) coordena o roteamento de chamadas em uma grande área de serviço. Em um sistema de rádio-celular, o CCC (ou, em inglês, <i>Mobile Switching Center</i> - MSC) conecta as BS e as MS à rede de telefonia pública comutada (<i>Public Switched Telephone Network</i> - PSTN).
<i>Page</i>	Breve mensagem que é transmitida sobre toda a área de serviço, usualmente de forma simultânea, por muitas BS.
<i>Roamer</i>	MS que opera em uma área de serviço diferente daquela em que é assinante.
Assinante	Usuário que paga uma taxa de assinatura para utilizar um sistema de comunicações móveis.
Transceptor	Dispositivo capaz de transmitir ou receber sinais de rádio simultaneamente.

Tabela 1.4: Definições pertinentes a sistemas de comunicações *wireless*.

Sistemas de transmissão rádio-móveis podem ser classificados como *simplex*, *half-duplex* ou *full-duplex*. No sistema *simplex* a comunicação é possível em apenas uma direção. Sistemas *paging*, nos quais mensagens são recebidas mas não há acusação do recebimento são sistemas *simplex*. Sistemas de rádio *half-duplex* permitem comunicação bidirecional, mas usam o mesmo canal de rádio tanto para transmissão quanto para a recepção. Isto significa que em um dado tempo, um usuário pode apenas transmitir ou receber informações. Restrições do tipo “*push-to-talk*” e “*release-to-listen*” são características fundamentais dos sistema *half-duplex*. Sistemas *full-duplex*, por outro lado, permitem transmissões e recepções de rádio simultâneas entre um assinante e uma estação base, através da existência de dois canais simultâneos mas separados (*Frequency Division Duplex* ou FDD), ou divisões adjacentes de tempo sobre um único canal de rádio (*Time Division Duplex*, ou TDD) para comunicações para e a partir do usuário.

Frequency Division Duplexing (FDD) provê canais para transmissão de rádio simultânea para o assinante e a estação base, de tal forma que ambos podem constantemente transmitir enquanto simultaneamente recebem sinais um do outro. Na estação base, antenas separadas para transmissão e recepção são usadas para acomodar os dois canais. Na unidade do assinante, entretanto, uma única antena é usada tanto para transmissão quanto para recepção a partir da estação base, e um dispositivo chamado *duplexer* é usado dentro da unidade do assinante para permitir que a mesma antena seja usada simultaneamente para transmissão e recepção. Para facilitar a *Frequency Division Duplexing*, é necessário separar as frequências de transmissão e recepção por aproximadamente 5% da frequência de RF nominal, de tal forma que o *duplexer* possa prover isolamento suficiente e ao mesmo tempo ser fabricado a um custo adequado.

Em FDD, um par de canais *simplex*, com uma separação de frequência fixa e conhecida é usado para definir um específico canal de rádio no sistema. O canal utilizado para conduzir o sinal a partir da estação base para o usuário móvel é chamado de canal direto, enquanto que o canal usado para transportar informação a partir do usuário móvel para a estação base é chamado de canal reverso. No padrão americano AMPS, o canal reverso tem uma frequência que é exatamente 45 MHz menor do que a frequência do canal direto. Os sistemas rádio-móvel *full-duplex* provêm muitas das capacidades de um sistema de telefonia padrão, com a vantagem

adicional da mobilidade. Sistemas *full-duplex* e *half-duplex* são transceptores para comunicação de rádio. FDD é usado exclusivamente em sistemas rádio-móveis analógicos.

TDD (*Time Division Duplexing*) usa o fato de que é possível compartilhar um único canal de rádio no tempo, de tal forma que uma porção do tempo seja usada para transmitir a partir da estação base (ERB) para o usuário móvel (ERM), e o canal remanescente é usado para transmitir a partir do usuário móvel (ERM) para a estação base (ERB). Se a taxa de transmissão de dados no canal é muito maior do que a taxa de dados no usuário final, é possível armazenar surtos de informação e aparentar para o usuário que está se tratando com o sistema *full-duplex* operacionalmente, mesmo embora não haja duas transmissões de rádio simultâneas naquele mesmo instante. TDD só é possível com formatos de transmissão digital e modulação digital, e é muito sensível à temporização. É por esta razão que o sistema TDD tem sido utilizado apenas recentemente, e somente para aplicações em pequenas áreas, onde as distâncias físicas a serem cobertas (e conseqüentemente o atraso devido à propagação de rádio) são muito menores do que os muitos quilômetros utilizados em sistemas convencionais de telefonia celular.

1.4.1 Sistemas *Paging*

Sistemas *paging* são sistemas de comunicações que enviam breves mensagens a um assinante. Dependendo do tipo de serviço, a mensagem pode ser numérica, alfanumérica ou uma mensagem de voz. Sistemas *paging* são tipicamente usados para notificar um assinante da necessidade de ligar para um particular número de telefone, ou de se dirigir para um determinado local a fim de receber instruções posteriores. Em sistemas *paging* modernos, notícias recentes, cotações de ações e faxes podem ser enviados. Uma mensagem é enviada para um assinante de *paging* através do número de acesso do sistema *paging* (usualmente um número de telefone gratuito) com um telefone chave ou modem. A mensagem enviada é chamada *page*. O sistema *paging* então transmite a mensagem *page* através da área de serviço, utilizando estações bases (ERB) que transmitem a mensagem sobre uma portadora de rádio.

Sistemas *paging* variam largamente em complexidade e área de cobertura. Enquanto sistemas simples *paging* podem cobrir uma extensão de 2 a 5 km, ou podem ser mesmo confinados dentro de prédios individuais, alguns sistemas *paging* podem prover uma área ampla

de cobertura, inclusive mundial. Embora os receptores de *paging* sejam simples e baratos, o sistema de transmissão requerido é um tanto sofisticado. Sistemas *paging* com ampla área de abrangência consistem de uma rede de linhas telefônicas, muitas estações de base transmissoras e grandes torres de rádio que simultaneamente transmitem uma mensagem *page* a partir de cada estação base. Estes transmissores podem ser localizados dentro da mesma área de serviço ou em diferentes cidades ou países. Sistemas *paging* devem prover comunicação confiável a assinantes estejam onde estiverem, não importando se dentro de um prédio, dirigindo em uma estrada ou voando em um avião, o que requer uma grande potência de transmissão (na ordem de kilowatts) e baixas taxas de dados (2.000 bits por segundo) para máxima cobertura a partir de cada estação base. A Figura 1.2 mostra um diagrama de um sistema de *paging* com ampla área de cobertura.

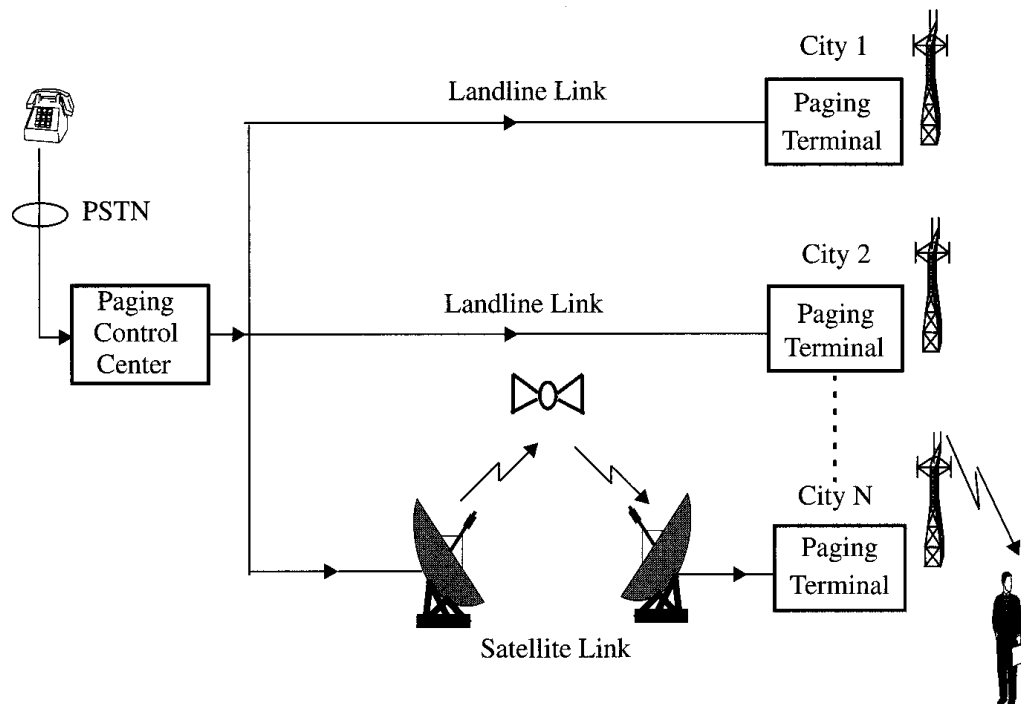


Figura 1.2: Sistema *paging* com ampla área de cobertura. O centro de comutação e controle *paging* despacha *pages* recebidas da rede pública de telefonia comutada por várias cidades ao mesmo tempo.

1.4.2 Sistemas de Telefone Sem Fio

Sistemas de telefone sem fio são sistemas de comunicação *full-duplex* que usam rádio para conectar um equipamento de mão (portátil) a uma estação base dedicada, a qual é conectada a uma linha de telefone dedicada, com um número de telefone específico, pertencente a uma rede de telefonia pública comutada. Em sistemas de telefone sem fio de primeira geração (fabricados nos anos 80), as unidades portáteis se comunicavam apenas a uma unidade base dedicada, e somente sobre distâncias de umas poucas dezenas de metros. Atualmente telefones sem fio operam apenas como extensões de telefones para um transceptor conectado a uma linha de um assinante em uma rede de telefonia pública comutada e são em primeira linha dedicados para uso domiciliar.

Sistemas de telefone sem fio de segunda geração tem sido recentemente introduzidos, o que permite aos assinantes utilizarem seus equipamentos portáteis em locais diferentes do domiciliar, dentro de centros urbanos como, por exemplo, Londres ou Hong Kong. Sistemas de telefone sem fio modernos são muitas vezes combinados com receptores de *paging*, de tal forma que um assinante possa primeiro ser acessado através do sistema de *paging* e então responda à mensagem *page* através de um telefone sem fio. Sistemas de telefone sem fio provêm a um usuário uma limitada extensão de mobilidade, à medida que usualmente não é possível manter uma chamada se o usuário viajar para fora do alcance da estação base. Estações típicas de segunda geração provêm extensões de cobertura maiores do que poucas centenas de metros. A Figura 1.3 ilustra um sistema de telefone sem fio.

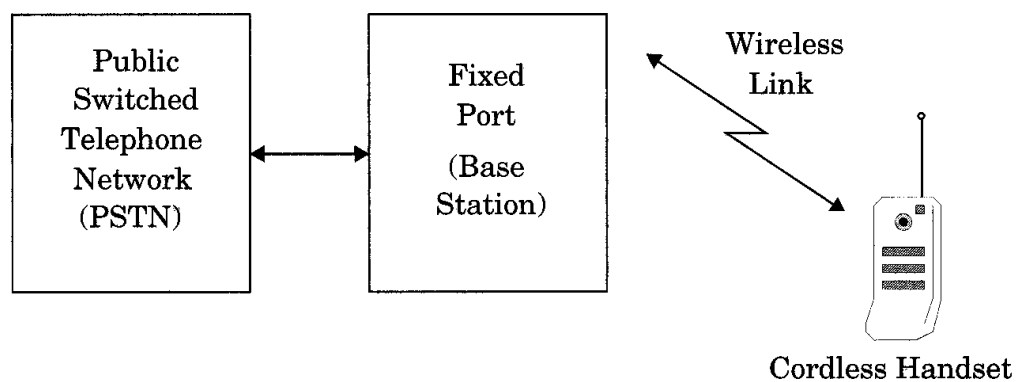


Figura 1.3: Sistema de telefone sem fio.

1.4.3 Sistemas de Telefonia Celular

Definições de Rádio-Celular:

(1) FCC:

"Um sistema móvel terrestre de alta capacidade, no qual o espectro de rádio é dividido em canais discretos, os quais são designados em grupos a células geográficas cobrindo uma área geográfica de serviço celular. Os canais discretos são reusados em diferentes células dentro da área de serviço, através de um processo chamado reuso de frequência."

(2) Layman:

"Um sistema que usa transmissão de rádio preferencialmente a linhas físicas para prover serviços de telefonia comparáveis aos de serviços telefônicos comerciais e residenciais."

Um sistema de telefone celular provê uma conexão *wireless* à rede de telefonia pública comutada, para qualquer usuário localizado dentro da extensão de cobertura de rádio do sistema. Sistemas celulares permitem um grande número de usuários sobre uma grande área geográfica, dentro de um espectro de frequência limitado. Sistemas rádio-celulares provêm serviço de alta qualidade, freqüentemente comparável àqueles dos sistemas de telefonia fixa. A alta qualidade é obtida através do limite da cobertura de cada transmissor de cada estação base para uma área geográfica pequena chamada célula, de tal forma que os mesmos canais de rádio possam ser reusados por outra estação base localizada alguma distância adiante. Uma técnica sofisticada de chaveamento chamada *handoff* permite que uma chamada não seja interrompida quando o usuário se move de uma célula para outra.

A Figura 1.4 mostra um sistema básico celular, o qual consiste de estações móveis, estações base e um centro de chaveamento móvel, que é responsável por conectar todos os usuários móveis à rede de telefonia pública comutada. Cada usuário móvel se comunica via rádio

com uma das estações base e pode ser repassado para um número qualquer de estações base, durante a duração de uma chamada. A estação móvel contém um transceptor, uma antena, uma circuitaria de controle e pode ser montada num veículo ou ser usada como uma unidade portátil. As estações base consistem de vários transmissores e receptores, os quais lidam simultaneamente com comunicações *full-duplex* e possuem torres, as quais suportam várias antenas receptoras e transmissoras. A estação base serve como uma ponte entre os usuários móveis em uma célula e conectam as chamadas móveis simultaneamente, via linhas de telefone ou *links* de microondas ao centro de comutação e controle móvel. O centro de comutação e controle móvel coordena as atividades de todas as estações base e conecta o sistema celular à rede pública de telefonia comutada. Um centro de comutação e controle móvel típico pode lidar com cem mil assinantes celulares e cinco mil conversações simultâneas, bem como toda a tarifação e as funções de manutenção dos sistemas. Em grandes cidades, muitos centros de comutação e controle móveis são utilizados para uma única portadora.

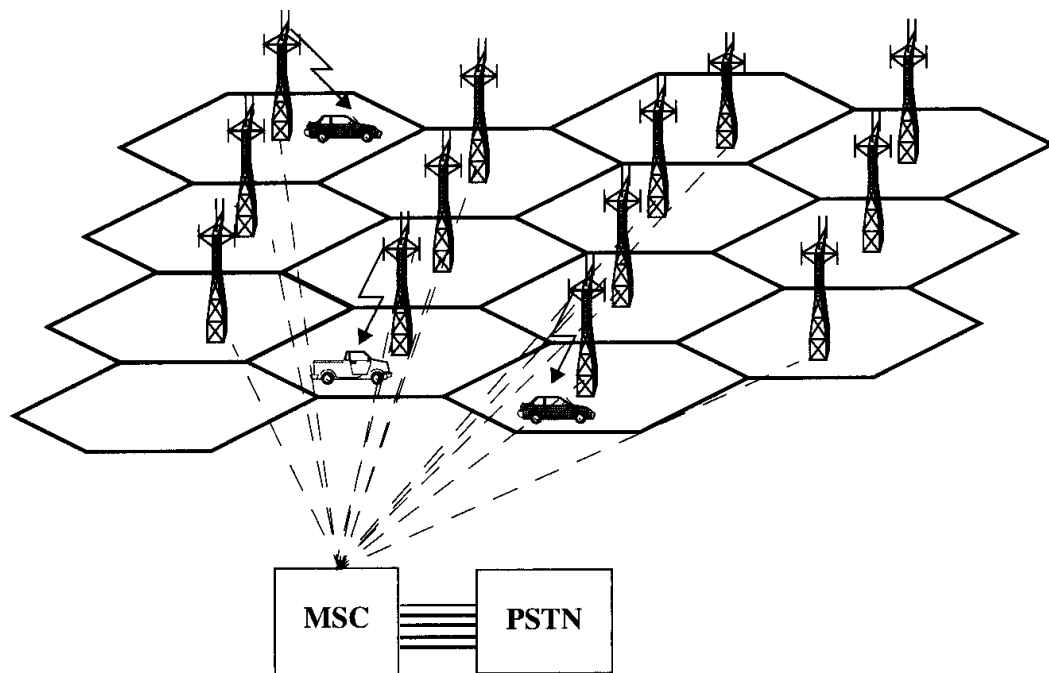


Figura 1.4: Sistema básico celular.

A comunicação entre a estação base e os usuários móveis é definida por uma interface comum de ar (CAI) que especifica quatro diferentes canais. O canal usado para transmissão de voz da estação base para o usuário móvel é chamado canal de voz direto (FVC – *Forward Voice Channels*) e os canais utilizados para transmissão de voz a partir de usuários móveis para a estação base são chamados canais de voz reversos (RVC – *Reverse Voice Channels*). Os dois canais responsáveis por inicializar as chamadas móveis são os canais de controle direto (FCC – *Forward Control Channels*) e os canais de controle reverso (RCC – *Reverse Control Channels*). Canais de controle são freqüentemente chamados canais de *setup* porque são apenas envolvidos em estabelecer uma chamada e movê-la para um canal de voz que não esteja sendo utilizado. Canais de controle transmitem e recebem mensagens de dados que portam a inicialização de chamadas e solicitação de serviços e são monitorados por usuários móveis quando eles não têm uma chamada em andamento. Canais de controle também servem como sinalizadores (*beacons*), os quais continuamente transmitem todas as requisições de tráfego para todos os usuários móveis no sistema. Mensagens de supervisão e mensagens de dados são enviadas por vários caminhos para facilitar mudanças automáticas entre canais e repassar instruções para os usuários móveis antes e durante uma chamada.

Quando um telefone celular é ligado mas ainda não está envolvido em uma chamada, primeiro varre o grupo de canais de controle direto para determinar aquele canal cujo sinal é mais forte e, então, monitora aquele canal de controle até que o sinal caia abaixo de um determinado nível aceitável de uso. Neste ponto, ele novamente varre os canais de controle na busca de um sinal mais forte de uma estação base. Para cada sistema celular descrito nas Tabelas de 1.1 à 1.3, os canais de controle são definidos e padronizados sobre uma área geográfica de cobertura e tipicamente ocupam 5% do número total de canais disponíveis no sistema (os demais 95% são dedicados à tráfego de voz e dados para os usuários finais). Desde que canais de controle são padronizados e são idênticos através de diferentes mercados dentro de países ou continentes, cada telefone varre os mesmos canais quando desocupado. Quando uma chamada telefônica é dirigida a um usuário móvel, o CCC dispara uma solicitação a todas as estações base no sistema celular. O Número de Identificação da Estação Móvel (*Mobile Identification Number – MIN*), que é o número de telefone do assinante, é então transmitido como uma mensagem de *paging* por todos

os canais diretos de controle através do sistema celular. Os receptores móveis recebem a mensagem de *paging* enviada pela estação base a qual está monitorando e responde através de uma auto-identificação feita via canal de controle reverso. A estação base retransmite o sinal enviado pelo aparelho móvel e informa o centro de controle do estabelecimento da comunicação, então o centro de comutação e controle instrui a estação base para mover a chamada para um canal de voz que não esteja sendo utilizado dentro da célula (tipicamente entre 10 a 60 canais de voz e apenas um canal de controle são utilizados em cada estação base celular). Neste ponto, a estação base sinaliza a estação móvel para mudar a frequência para um par de canais de voz direto e reverso disponível, neste ponto, uma outra mensagem de dados (chamada *alert*), é transmitida sobre o canal de voz direto para instruir o telefone móvel a chamar, portanto, instruindo o usuário móvel a responder à chamada telefônica. A Figura 1.5 mostra a seqüência de eventos envolvidos na conexão de uma chamada a um usuário móvel em um sistema de telefone celular. Todos estes eventos ocorrem em um intervalo de poucos segundos e não são perceptíveis pelo usuário.

Uma vez que a chamada esteja em progresso, o centro de comutação e controle ajusta a potência transmitida da estação móvel e muda o canal da unidade móvel e da estação base para manter a qualidade da chamada à medida que o usuário se move dentro e fora da área de cobertura de cada estação base. Este procedimento é chamado *handoff*. Uma sinalização especial de controle é aplicada aos canais de voz de tal forma que a unidade móvel possa ser controlada pela estação base, e pelo centro de comutação e controle enquanto uma chamada está em progresso.

Quando uma estação móvel origina uma chamada, uma solicitação de inicialização de chamada é enviada pelo canal de controle reverso. Com esta solicitação, a unidade móvel transmite seu número de telefone (MIN), número de série eletrônico (ESN), e o número de telefone para o qual está sendo dirigida a chamada. A unidade móvel também transmite uma marca de classe de estação (SCM- *Station Class Mark*) a qual indica qual é o transmissor de maior nível de potência disponível para aquele particular usuário. A estação celular base recebe este dado e o envia para o centro de comutação e controle. O centro de comutação e controle valida a solicitação, estabelece a conexão com o parceiro na chamada, via rede pública de

telefonia fixa e instrui a estação base e o usuário móvel a mover para um par de canais de voz direto e reverso disponível para permitir que a conversação inicie. A Figura 1.6 mostra a seqüência de eventos envolvida com a conexão de uma chamada que é iniciada por um usuário móvel em um sistema celular.

Todos os sistemas de telefonia celular provêem um serviço chamado *roaming*. Este serviço permite aos assinantes operar em áreas de serviço diferentes daquela na qual o usuário é assinante. Quando uma estação móvel entra em uma cidade ou área geográfica diferente daquela área de serviço da qual é assinante, ele é registrado como *roamer* na nova área de serviço. Esta operação é executada no canal de controle direto, desde que cada *roamer* está alojado em um canal de controle direto a qualquer instante. O centro de comutação e controle envia periodicamente um comando global sobre cada canal de controle direto do sistema solicitando a todas estações móveis que não estão previamente registradas a reportarem o seu número de telefone (MIN) e o seu número de série eletrônico (ESN) através do canal de controle reverso. Estações móveis novas não registradas no sistema periodicamente enviam as informações solicitadas e o centro de comutação e controle então utiliza os dados MIN/ESN para solicitar tarifação de onde a estação móvel está registrada para cada estação móvel operando na modalidade de *roaming*. Se um particular *roamer* recebe autorização para *roaming*, o centro de comutação e controle registra o assinante como um usuário válido. Uma vez registrados, os usuários móveis em *roaming* estão habilitados a receber e realizar chamadas a partir daquela área e a taxação é automaticamente direcionada para o provedor onde o assinante está inscrito.

MSC		Receives call from PSTN. Sends the requested MIN to all base stations.		Verifies that the mobile has a valid MIN, ESN pair.	Requests BS to move mobile to unused voice channel pair.		Connects the mobile with the calling party on the PSTN.
	FCC		Transmits page (MIN) for specified user.			Transmits data message for mobile to move to specific voice channel.	
Base Station	RCC			Receives MIN, ESN, Station Class Mark and passes to MSC.			
	FVC						Begin voice transmission.
	RVC						Begin voice reception.
Mobile	FCC		Receives page and matches the MIN with its own MIN.			Receives data messages to move to specified voice channel.	
	RCC			Acknowledges receipt of MIN and sends ESN and Station Class Mark.			
	FVC						Begin voice reception.
	RVC						Begin voice transmission.

time →

Figura 1.5: Seqüência de eventos envolvidos na conexão de uma chamada a um usuário móvel em um sistema de telefone celular.

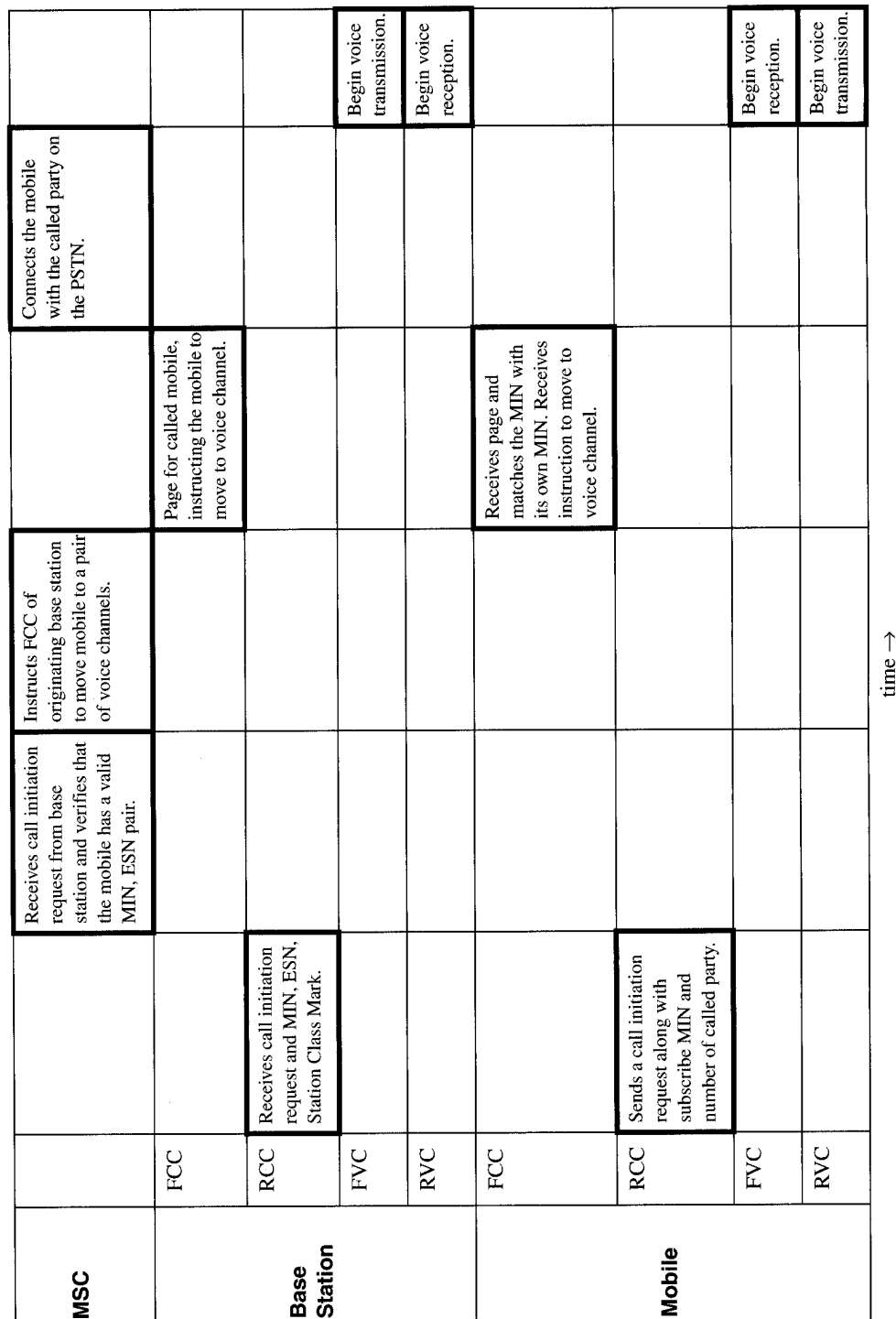


Figura 1.6: Sequência de eventos envolvida com a conexão de uma chamada que é iniciada por um usuário móvel em um sistema celular.

1.4.4 Comparação entre os Sistemas de Comunicação Wireless

As Tabelas 1.5 e 1.6 ilustram os tipos de serviço, nível de infra-estrutura, custo e complexidade requeridos tanto para o seguimento do assinante quanto para o seguimento da estação base de cada um dos sistemas de rádio-móvel ou portátil já discutidos. Para comparação são incluídos na tabela dispositivos de controle remoto sem fio, de uso doméstico. É importante notar que cada um dos cinco sistemas de rádio-móvel mostrados nas Tabelas 1.5 e 1.6 usam uma estação base fixa. Por exemplo, o receptor do sistema para abertura de porta de garagem converte o sinal recebido em um sinal binário simples o qual é enviado para o centro de comutação do motor da garagem. Telefones sem fio usam estações bases fixas, de tal forma que possam ser conectados à linha de telefone suprida pela companhia telefônica local – o *link* de rádio entre a estação base do telefone sem fio e o dispositivo portátil é projetado para se comportar de forma idêntica ao cabo espiral que conecta o dispositivo portátil de um telefone comum à sua base.

Comparison of Mobile Communication Systems—Mobile Station

Service	Coverage Range	Required Infra-structure	Complexity	Hardware Cost	Carrier Frequency	Functionality
TV Remote Control	Low	Low	Low	Low	Infrared	Transmitter
Garage Door Opener	Low	Low	Low	Low	< 100 MHz	Transmitter
Paging System	High	High	Low	Low	< 1 GHz	Receiver
Cordless Phone	Low	Low	Moderate	Low	< 1 GHz	Transceiver
Cellular Phone	High	High	High	Moderate	< 2 GHz	Transceiver

Tabela 1.5: Comparação entre os sistemas de comunicações móveis: tipos de serviço, nível de infra-estrutura, custo e complexidade requeridos para o seguimento do assinante.

Note que para o caso de telefones celulares portáteis, um grande número de estações bases são necessários para garantir que qualquer telefone esteja próximo a uma estação base dentro de uma cidade. Se as estações base não estão próximas entre si será necessária uma grande potência do transmissor do telefone, o que limita a vida da bateria tornando o serviço inútil para usuários de equipamentos portáteis. Devido ao custo elevado de infra-estrutura de telecomunicações através de cabos de cobre, *links* em linha de visada de microondas e cabos de fibra ótica – todos eles fixos – é altamente provável que os futuros sistemas de comunicação terrestre baseados em comunicações móveis irão contar com estações bases fixas as quais serão conectadas a algum tipo de sistemas de distribuição fixa. Entretanto, novas redes de satélite para telefonia móvel irão necessitar de estações base em órbita.

Comparison of Mobile Communication Systems—Base Station

Service	Coverage Range	Required Infra-structure	Complexity	Hardware Cost	Carrier Frequency	Functionality
TV Remote Control	Low	Low	Low	Low	Infrared	Receiver
Garage Door Opener	Low	Low	Low	Low	< 100 MHz	Receiver
Paging System	High	High	High	High	< 1 GHz	Transmitter
Cordless Phone	Low	Low	Low	Moderate	< 1 GHz	Transceiver
Cellular Phone	High	High	High	High	< 2 GHz	Transceiver

Tabela 1.6: Comparação entre os sistemas de comunicações móveis: tipos de serviço, nível de infra-estrutura, custo e complexidade requeridos para o seguimento da estação base.

1.5 Tendências em Sistemas de Comunicações *Wireless*

Desde 1989 têm sido desenvolvidos sistemas de comunicação *wireless* que combinam a rede de telefonia fixa com técnicas modernas de processamento digital de sinais e tecnologia de rádio. O conceito – chamado *Personal Communication Services* (PCS) – foi originado no Reino Unido (United Kingdom - UK) a partir de três companhias que receberam permissão para operar em 1800 MHz, para desenvolver *Personal Communication Networks* (PCN). O Reino Unido viu, em PCN, uma forma de aumentar sua competitividade internacional em *wireless*, desenvolvendo novos sistemas *wireless* e serviços para usuários. Atualmente estão sendo conduzidos testes de campo em nível mundial para determinar quais os tipos de modulação, de acesso múltiplo e de técnicas de rede adequados para os sistemas futuros 3G PCN e PCS.

Os termos PCN e PCS freqüentemente são usados de forma intercambiada. PCN se refere a um conceito de rede *wireless* onde cada usuário pode fazer ou receber chamadas, não interessando onde está, através de um comunicador leve e personalizado. PCS se refere a novos sistemas de comunicação sem fio que incorporam mais características de rede e são mais personalizados do que os sistemas de rádio celular existentes, mas os quais reúnem todos os conceitos de um PCN ideal.

Produtos para redes locais de comunicação sem fio estão surgindo rapidamente e prometem se tornar uma parte importante da infra-estrutura de telecomunicações dentro da próxima década. Um conjunto de padrões internacionais, IEEE 802.11 está sendo desenvolvido para o acesso sem fio entre computadores, dentro de prédios independentes. O *European Telecommunications Standard Institute* (ETSI) também está desenvolvendo um padrão chamado 20 Mbps HIPERLAN para comunicações internas sem fio. Produtos que não eram originalmente comercializados, assim como o modem da Motorola 18 GHz Altair WIN (*Wireless Information Network*) e o modem para computador waveLAN da Avaya (antiga NCR e Lucent)/ORiNOCO estão sendo disponibilizados como conexões ethernet sem fio desde 1990 e estão começando a penetrar no mercado mundial. À medida que avançamos no século XXI, estão surgindo produtos que permitem aos usuários conectar seus telefones com seus computadores dentro de um escritório, bem como em um ambiente público, como um aeroporto ou uma estação de trens.

Um padrão mundial, o *Future Public Land Mobile Telephone System* (FPLMTS) também denominado (na metade de 1995) *International Mobile Telecommunication 2000* (IMT-2000) foi proposto pela *International Telecommunications Union* (ITU), a qual é o órgão padronizador para as Nações Unidas, com quartel general em Genebra, na Suíça. O grupo técnico TG 8/1 (pertencente ao ITU *Radiocommunications Sector* (ITU-R)) que era antigamente conhecido como *Consultative Committee for International Radiocommunications* (CCIR)) está considerando a forma como as redes de comunicação sem fio mundiais deverão evoluir e como a coordenação das frequências em nível mundial deverá ser implementada para permitir às unidades de assinantes operarem em qualquer lugar do mundo.

O FPLMTS (IMT – 2000) é um sistema de rádio móvel digital globalmente compatível, de terceira geração, multifuncional, que irá integrar sistemas de *paging*, sistemas sem fio e sistemas celulares, assim como satélites de órbita baixa (*Low Earth Orbit – LEO*) em um único sistema móvel universal. Para tal intento, as bandas de frequência de 1885 à 2025 MHz e 2110 à 2200 MHz foram designadas pelo ITU na conferência *World Administrative Radio Conference – WARC* em 1992. Em março de 1999, ITU-R concordou em designar a locação espectral adicional que inclui as bandas de frequência de 806 à 960 MHz, 1710 à 220 MHz, e 2520 à 2670 MHz. A locação adicional de espectro foi aprovada em maio de 2000 na conferência ITU *World Radio Conference – WRC 2000*. Os tipos de modulação, codificação de voz e esquemas de acesso múltiplo a serem utilizados no padrão IMC-2000 foram também definidos pelo ITU *Radio General Assembly* na metade do ano 2000. As interfaces de rádio selecionadas para serviços terrestres sem fio incluem expansões do atual padrão GSM e do padrão IS-95 CDMA, assim como um novo padrão CDMA proposto pela China.

Em 1990 foram desenvolvidos padrões em nível mundial para comunicações em satélites de baixa órbita (*Low Earth Orbit – LEO*). No entanto, estes sistemas falharam comercialmente na virada do século. Apesar disto, os sistemas móveis por satélite devem oferecer no futuro melhorias para sistemas *paging*, dados e tipos de comunicações emergentes assim como para *Global Roaming*. No começo dos anos 90 a indústria aero-espacial realizou com sucesso o primeiro lançamento de um pequeno satélite em um foguete, a partir de um avião a jato. Esta técnica de lançamento foi desenvolvida pela *Orbital Science Corp.* e resultou em uma solução

mais do que uma ordem de grandeza mais barata do que os tipos de lançamento de foguetes convencionais, sugerindo que uma rede de satélites LEO poderá ser rapidamente lançada para comunicações sem fio ao redor do globo. Várias companhias (tais como a companhia Iridium da Motorola) propuseram tais conceitos de sistemas para *paging* em nível mundial e telefonia celular, sem que, porém, os mercados conseguissem suportar estes sistemas móveis via satélite.

Em nações emergentes, onde o serviço de telefonia é praticamente não existente, o sistema de telefonia celular fixa está sendo instalado rapidamente, o que ocorre devido ao fato de que as nações em desenvolvimento estão descobrindo que é muito mais rápido e barato instalar sistemas de telefonia celular para uso fixo em residências, ao invés de instalar cabos em perímetros nos quais ainda não havia rede de telefonia pública comutada.

1.6 Estrutura do Mercado de Telefonia Celular no Brasil

No Brasil, em 1997, com a abertura de mercado de telefonia móvel, o espectro de frequência foi dividido em duas Bandas, a Banda A e a Banda B. Tal divisão objetivava permitir que, dentro de cada região, existissem sempre duas operadoras. Ambas operadoras teriam a concessão do Governo para explorar o serviço de telefonia móvel. Qualquer uma das operadoras poderia disponibilizar sistemas analógicos ou digitais. A divisão original do espectro de frequências foi estabelecida conforme mostra a Figura 1.7.

Inicialmente, a maioria das operadoras da Banda A oferecia serviços a partir de sistemas analógicos, utilizando o padrão AMPS – *Advanced Mobile Phone System*, obedecendo rigorosamente a formatação em uso nos Estados Unidos.

As operadoras da Banda B, por sua vez, iniciaram as operações disponibilizando serviços a partir de sistemas digitais, nos padrões TDMA (*Time Division Multiple Access*) e CDMA (*Code Division Multiple Access*). Estes padrões foram adotados devido à compatibilidade com o padrão AMPS já existente, pois tanto aparelhos CDMA quanto TDMA operam em modo duplo (analógico e digital), permitindo também a comunicação através de uma rede AMPS quando o assinante estiver fora de sua região (*roaming*).

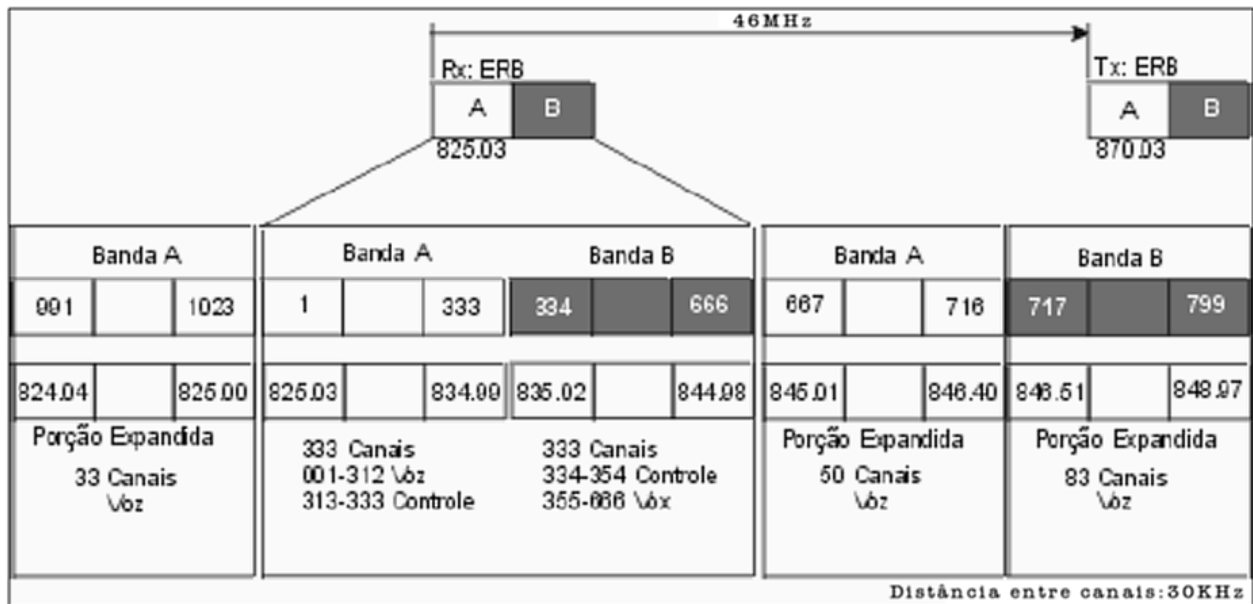


Figura 1.7: Divisão original do espectro de frequências para celular no Brasil.

A Banda A consistia de uma faixa de frequências destinadas à telefonia celular, a serem exploradas pelas empresa públicas de telecomunicações brasileiras pré-existentes à privatização do sistema nacional de telecomunicações (as 27 empresas do antigo Sistema Telebrás), enquanto que a Banda B consistia de uma faixa de frequências também destinadas à telefonia celular, a serem exploradas pela iniciativa privada, concorrendo com as operadoras da banda A.

Originalmente, as operadoras de telefonia móvel no Brasil ficaram divididas entre Banda A e Banda B, conforme mostra a Tabela 1.7.

OPERADORAS DE TELEFONIA MÓVEL		
Estado	Banda A	Banda B
Acre	Tele Centro Oeste	Americhel
Alagoas	Tele Nordeste	BCP
Amapá	Tele Norte	NBT
Amazonas	Tele Norte	NBT
Bahia	Tele Leste	Maxitel
Ceará	Tele Nordeste	BCP
Distrito Federal	Tele Centro Oeste	Americhel
Espírito Santo	Tele Sudeste	ATL - Algar
Goiás	Tele Centro Oeste, CTBC Telecom	Americhel
Maranhão	Tele Norte	NBT
Mato Grosso	Tele Centro Oeste	Americhel
Mato Grosso do Sul	Tele Centro Oeste, CTBC Telecom	Americhel
Minas Gerais	Telemig Celular, CTBC Telecom	Maxitel
Paraíba	Tele Nordeste	BCP
Paraná	Tele Celular Sul, Sercomtel	Global Telecom
Pará	Tele Norte	NBT
Pernambuco	Tele Nordeste	BCP
Piauí	Tele Nordeste	BCP
Rio de Janeiro	Tele Sudeste	ATL - Algar
Rio Grande do Norte	Tele Nordeste	BCP
Rio Grande do Sul	CRT, Telefonica-RS, Tele Celular Sul	Telet
Rondônia	Tele Centro Oeste	Americhel
Roraima	Tele Norte	NBT
Santa Catarina	Tele Celular Sul	Global Telecom
Sergipe	Tele Leste	Maxitel
São Paulo (interior)	Telesp, CTBC Telecom, Ceterp	Tess
São Paulo (capital e cidades próximas)	Telesp	BCP
Tocantins	Tele Centro Oeste	Americhel

Tabela 1.7: Distribuição original das operadoras de telefonia móvel no Brasil.

Segundo o ANEXO À RESOLUÇÃO N.º 268, DE 28 DE JUNHO DE 2001, que estabelece o PLANO GERAL DE AUTORIZAÇÕES DO SERVIÇO MÓVEL PESSOAL (PGA-SMP), editado com fundamento no art. 22, VI da Lei n.º 9.472, de 16 de julho de 1997, Lei Geral de Telecomunicações - LGT, de responsabilidade da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), o espectro de rádio-freqüências destinado à prestação de SMP fica subdividido nas seguintes sub-faixas:

I - Sub-faixa “A”:

(I.1) Transmissão da Estação Móvel: 824 MHz a 835 MHz e 845 MHz a 846,5 MHz

Transmissão da Estação Rádio-Base: 869 MHz a 880 MHz e 890 MHz a 891,5 MHz

(I.2) Transmissão da Estação Móvel: 1900 MHz a 1905 MHz

Transmissão da Estação Rádio-Base: 1980 MHz a 1985 MHz

II - Sub-faixa “B”:

(II.1) Transmissão da Estação Móvel: 835 MHz a 845 MHz e 846,5 MHz a 849 MHz

Transmissão da Estação Rádio-Base: 880 MHz a 890 MHz e 891,5 MHz a 894 MHz

(II.2) Transmissão da Estação Móvel: 1905 MHz a 1910 MHz

Transmissão da Estação Rádio-Base: 1985 MHz a 1990 MHz

III - Sub-faixa “C”:

Transmissão da Estação Móvel: 1725 MHz a 1740 MHz

Transmissão da Estação Rádio-Base: 1820 MHz a 1835 MHz

IV - Sub-faixa “D”:

Transmissão da Estação Móvel: 1710 MHz a 1725 MHz

Transmissão da Estação Rádio-Base: 1805 MHz a 1820 MHz

V - Sub-faixa “E”:

Transmissão da Estação Móvel: 1740 MHz a 1755 MHz

Transmissão da Estação Rádio-Base: 1835 MHz a 1850 MHz

1.7 Referências Bibliográficas

- [1] Yacoub, M., *Celular Communication Systems*, Prentice Hall, 1992.
- [2] Waldman, H. e Yacoub, M. D., *Telecomunicações - Princípios e Tendências*, Editora Érica, 1997.
- [3] Brodsky, I., *Wireless – The Revolutions in Telecommunications*, Artech House, 1995.
- [4] Wong, P. & Britland, D., *Mobile Data Communication Systems*, Artech House, 1995.
- [5] Bedell, P., *Wireless Crash Course*, McGraw-Hill, 2001.
- [6] A. B. Carlson, *Communication Systems*, McGraw-Hill, 1965.
- [7] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 2001.
- [8] H. Taub and D.L. Schilling, *Principles of Communications Systems*, McGraw-Hill, 1986.