

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

LEONARDO NOBORU TAKEDA

EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA MÓVEL ATÉ 2013

Guaratinguetá

2013

LEONARDO NOBORU TAKEDA

EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA MÓVEL ATÉ 2013

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. José Feliciano Adami

Guaratinguetá

2013

T136e Takeda, Leonardo Noboru
Evolução da tecnologia móvel até 2013 / Leonardo Noboru Takeda –
Guaratinguetá : [s.n], 2013.
51 f : il.
Bibliografia: f. 49-51

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual
Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.
Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Adami

1. Comunicação móvel 2.Sistemas de comunicação sem fio I. Título

CDU 621.395

EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA MÓVEL ATÉ 2013

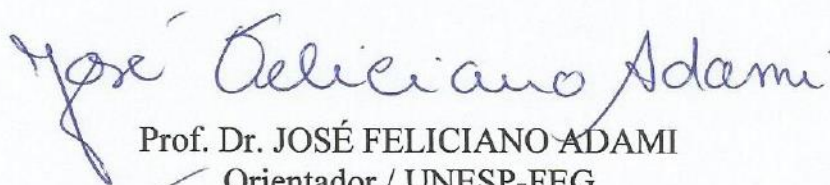
LEONARDO NOBORU TAKEDA

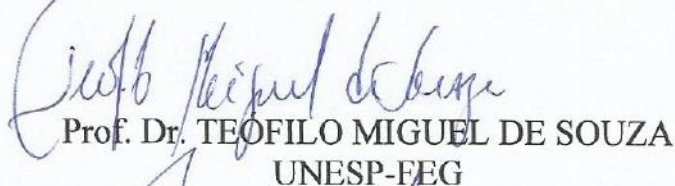
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO
DIPLOMA DE **GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

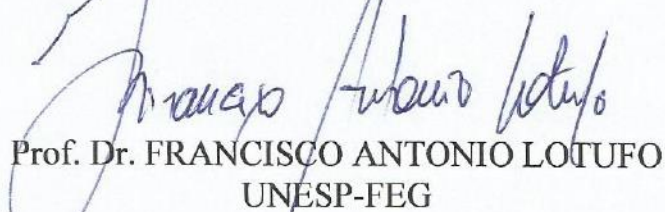
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI
Orientador / UNESP-FEG


Prof. Dr. TEOFILO MIGUEL DE SOUZA
UNESP-FEG


Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO LOTUFO
UNESP-FEG

Dezembro de 2013

TAKEDA, L. N. **Evolução da tecnologia móvel até 2013**. 2013. 51 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Neste trabalho são abordadas as principais fases ou gerações do processo evolutivo da comunicação móvel sem fio, enfatizando suas características e mudanças ao longo do período. O principal benefício de todo este processo é a taxa de transferência de dados lembrando sempre da capacidade espectral e métodos de aproveitamento e melhoramento da eficiência deste. A rede mais atual hoje é a 4G e as tecnologias mais desenvolvidas seguindo os requerimentos da ITU são: Long Term Evolution Advanced (LTE-Advanced) e WirelessMAN-Advanced que faz parte do Wimax IEEE 802.16m também descrita neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: comunicação móvel sem fio. 4G. LTE. Wimax.

TAKEDA, L. N. **Evolution of mobile technology up to 2013**. 2013. 51 f. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

In this paper expounds on the major phases or generations of the evolutionary process of wireless mobile communication, emphasizing their characteristics and changes over time. The main benefit of this process is the rate of data transfer remembering capacity spectral and methods of harnessing and improving its efficiency. The current network today is 4G and the technologies developed over the following requirements of the ITU are: Long Term Evolution Advanced (LTE-Advanced) and WirelessMAN-Advanced as part of the WiMAX IEEE 802.16m also described in this graduate work.

KEYWORDS: wireless mobile communication. 4G. LTE. Wimax.

FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura simplificada de um sistema de telecomunicação móvel	12
Figura 2 - Ilustração de uma transmissão full-duplex	16
Figura 3 - Par de portadoras (downlink e uplink) no domínio da frequência	16
Figura 4 - Técnica FDMA empregada ao longo do espectro.....	17
Figura 5 - Divisão das bandas de 20 MHz em Banda A e Banda B	17
Figura 6 - Divisão da banda de frequência resultante	18
Figura 7 - Mantendo as subportadoras ortogonalmente	34
Figura 8 - Tipos do CA (Carrier Aggregation)	38
Figura 9 - Exemplo do funcionamento básico do MIMO (2x2).	39
Figura 10 - Modulação QAM	40
Figura 11 - Aplicações da tecnologia WiMAX	41
Figura 12 - Regiões definidas pelo SMC	43
Figura 13 - Regiões definidas pelo SMP.....	44
Figura 14 - Cobertura 4G no Brasil	45

TABELAS

Tabela I - Primeira Geração de Sistemas de Telefonia Móvel	15
Tabela II - Segunda Geração de Sistemas de Telefonia Móvel (GSM e IS-54/136)	19
Tabela III - Segunda Geração de Sistemas de Telefonia Móvel (PDC e IS-95).....	20
Tabela IV - Parâmetros do WCDMA e cdma2000	28
Tabela V - Faixas de frequências utilizadas para cada Operadora.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CA	Carrier Aggregation
CDMA	Code Division Multiple Access
DCS	Digital Cellular System
DS-CDMA	Direct Sequence Code Division Multiple Access
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EFR	Enhanced Full-rate
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFT	Fast Fourier Transform
FM	Frequency Modulation
GGSN	Gateway GPRS Service Node
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT	International Mobile Telecommunications
ITU	International Telecommunications Union
J-TACS	Japanese Total Access Communication System
LTE	Long Term Evolution
MAN	Metropolitan Area Network
MIMO	Multiple Input Multiple Output

NMT	Nordic Mobile Telephone
NTT	Nippon Telephone and Telegraph
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PCS	Personal Communications Services
PDC	Personal Digital Cellular
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RTT	Radio Transmission Technology
SC-FDMA	Single Carrier FDMA
SGSN	Serving GPRS Service Node
SIM	Subscriber Identity Module
SMC	Serviço Móvel Celular
SMP	Serviço Móvel Pessoal
STFC	Serviço Telefônico Fixo Comutado
TACS	Total Access Communication System
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WCDMA	Wideband CDMA
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 HISTÓRICO SOBRE A EVOLUÇÃO DA TELEFONIA CELULAR	12
3 AS TRÊS PRIMEIRAS GERAÇÕES	15
3.1 PRIMEIRA GERAÇÃO (1G)	15
3.1.1 FDMA.....	16
3.1.2 AMPS.....	17
3.2 SEGUNDA GERAÇÃO (2G)	19
3.2.1 TDMA.....	20
3.2.2 GSM.....	21
3.2.3 CDMA.....	23
3.3 GERAÇÃO DE TRANSIÇÃO 2G PARA 3G (2,5G).....	25
3.3.1 HSCSD.....	25
3.3.2 GPRS	25
3.3.3 EDGE.....	27
3.4 TERCEIRA GERAÇÃO (3G)	28
3.4.1 WCDMA.....	29
3.4.2 CDMA2000.....	29
4 QUARTA GERAÇÃO (4G)	31
4.1 LTE	31
4.1.1 Requisitos e objetivos do LTE.....	32
4.1.2 Tecnologias para LTE.....	33
4.1.2.1 Tecnologia de Multiportadora.....	33
4.1.2.1.1 OFDMA.....	33
4.1.2.1.2 SC-FDMA.....	35
4.1.2.2 Múltiplas antenas.....	35
4.2 LTE-ADVANCED.....	36
4.2.1 <i>Carrier Aggregation (CA)</i>	37
4.2.2 Multiple Input Multiple Output (MIMO)	38
4.2.3 QAM.....	40
4.3 WIMAX.....	40
4.4 WIMAX ADVANCED	41
5 COMUNICAÇÃO MÓVEL NO BRASIL	43
5.1 COBERTURA INICIAL DE REDES 4G NO BRASIL	45

5.2 FREQUÊNCIAS 4G NO BRASIL	46
6 CONCLUSÃO.....	47
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se testemunhado um fenômeno de crescimento da indústria de comunicação móvel, em termos de tecnologia móvel e seus assinantes.

As redes de comunicação móveis necessitam de melhorias nas tecnologias para a implementação de serviços que demandam altas taxas de transmissão e disponibilidade. Essas redes apresentam desempenho dependente da posição do usuário, devido ao ambiente e sua mobilidade.

Devido aos problemas de mobilidade, de capacidade do sistema de conseguir atender toda demanda e ao ambiente urbano (enfraquecimento e/ou interferências do sinal), requer que as redes sejam bem estruturadas e capacitadas para atender o mínimo das exigências de qualidade e demanda do serviço prestado.

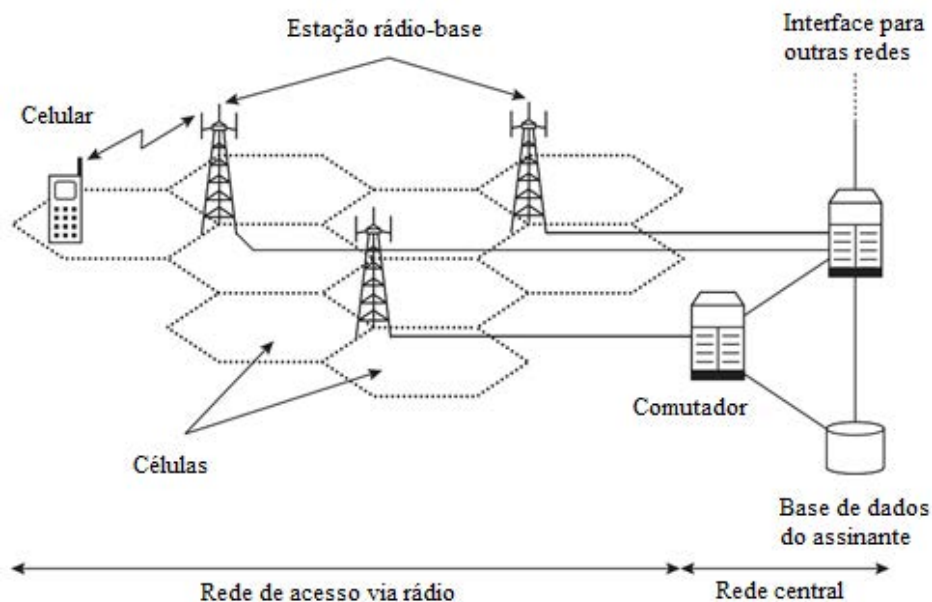
Estudos de técnicas e padrões foram desenvolvidos para criar um sistema apto a identificar o mapeamento das condições do ambiente, da mobilidade do usuário e outros parâmetros.

Com todos esses avanços tecnológicos foi assim possível a existência desde a primeira geração da comunicação móvel sem fio (1G) até a quarta geração (4G) que é a mais atual.

2 HISTÓRICO SOBRE A EVOLUÇÃO DA TELEFONIA CELULAR

O *Long Term Evolution* da UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) é uma das últimas fases de uma série de avanços sobre sistemas de telecomunicações móveis. Provavelmente, a série começou em 1947 com o desenvolvimento do conceito de células por *Bell Labs*, EUA. O uso de células permitiu a capacidade de uma rede de comunicações móveis a ser substancialmente aumentada, dividindo-se a área de cobertura em pequenas células, cada uma com sua própria estação rádio-base operando em uma frequência diferente como ilustra a Figura 1.

Figura 1 - Arquitetura simplificada de um sistema de telecomunicação móvel



Fonte: (CAMBRIDGE University Press)

A rede central envia a informação (chamada de voz, mensagem de texto) de um telefone para outro através de componentes chamados comutadores que tem como finalidade de controlar o fluxo de dados, ou seja, interliga as informações vindas do banco de dados para as torres. O comutador também mantém a base de dados que contém informações sobre os usuários da rede, controla e prepara outras tarefas, como por exemplo contas e tarifas.

A rede de acesso via rádio controla a comunicação via rádio entre a rede central e os telefones celulares. Nesta rede encontram-se um número enorme de estações rádio-base, onde cada uma transmite e recebe sinais de aparelhos celular em uma área delimitada. A área que

cobre a estação rádio-base geralmente é dividida em vários setores, onde cada uma se comunica com os telefones celulares correspondentes de cada setor.

A palavra mais comum para definir uma parte da rede de acesso via rádio é a célula. Ela pode tanto se referir a um único setor ou a um grupo de setores que uma estação base controla. Geralmente a célula se refere a um grupo de setores a qual cada uma tem um tamanho máximo que é determinado pela maior distância que o sinal via rádio pode ser recebido. Ela também tem uma capacidade máxima que limita o número de telefones celulares que podem fazer ligações ao mesmo tempo.

Quando um aparelho move de uma célula para outra, ele tem uma parada na comunicação com a célula atual e começa a comunicar-se com a próxima célula. Este processo é conhecido como *handover* e é controlado por mensagens que sinalizam entre o aparelho e a rede. Um telefone celular também pode se mover para fora da região coberta por sua operadora de rede, como por exemplo viajar para outro país, o aparelho ainda pode fazer ligações ao usar recursos através das estações rádio-base na rede visitante, onde encontrará informações da base de dados do usuário na rede que há os registros. Esta situação é conhecida como *roaming*.

Os primeiros sistemas foram confinados dentro das fronteiras nacionais. Eles atraíram apenas um pequeno número de usuários, e como o equipamento que criaram era caro, pesado e necessitava de muita energia, só foi realmente prático em uma viatura policial. Este sistema tinha como objetivo a comunicação remota entre os policiais onde os comandos da central eram emitidas via rádio e chegavam nos receptores das viaturas. Este sistema era caracterizado como *simplex* e foi a base primitiva para o desenvolvimento da comunicação móvel.

Os primeiros sistemas de comunicações móveis que se observou um crescimento comercial em larga escala chegou na década de 1980 e ficou conhecido como sistemas de "primeira geração". A primeira geração usa tecnologia analógica e é composta por uma série de sistemas desenvolvidos de forma independente em todo o mundo, por exemplo: AMPS (*Analogue Mobile Phone System*, usado na América), TACS (*Total Access Communication System*, usado em partes da Europa), NMT (*Nordic Mobile Telephone*, usado em algumas partes da Europa) e J-TACS (*Japanese Total Access Communication System*, utilizado no Japão e Hong Kong)).

O *Roaming* global se tornou uma possibilidade com o desenvolvimento do sistema de "segunda geração" conhecido como GSM (*Global System for Mobile Communications*), que foi baseada na tecnologia digital. O sucesso do GSM foi devido, em parte, ao espírito colaborativo em que foi desenvolvido. Ao aproveitar a experiência criativa de uma série de empresas que

trabalham em conjunto, sob os auspícios do Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações (ETSI), GSM tornou-se um padrão robusto, interoperável e amplamente aceita.

Impulsionado pelos avanços na tecnologia de telefone celular, o que resultou em pequenos terminais com uma bateria de longa duração, a aceitação generalizada do padrão GSM superou as expectativas iniciais e ajudou a criar um novo e vasto mercado. A penetração quase universal resultante de telefones GSM no mundo desenvolvido proporcionou uma facilidade de comunicação como nunca foi possível antes, pela primeira vez por mensagem de voz e texto, e mais tarde também por serviços de dados mais avançados. Enquanto isso, no mundo em desenvolvimento, a tecnologia GSM tinha começado a conectar as comunidades e indivíduos em regiões remotas onde a conectividade de telefonia fixa era inexistente e que seria proibitivamente caro para implantar.

Esta disponibilidade da comunicação móvel *user-friendly*, juntamente com o aumento da familiaridade do consumidor com essa tecnologia e confiança sobre ele, portanto, fornece o contexto para novos sistemas com capacidades mais avançadas. Depois, uma série de progressões onde o GSM é descrito, culminou com o desenvolvimento do sistema conhecido como LTE (*Long Term Evolution*).

Cada geração da comunicação móvel é baseada na tecnologia vigente que tem como características progressivas a capacidade do uso do espectro e velocidade de transmissão de dados.

3 AS TRÊS PRIMEIRAS GERAÇÕES

3.1 PRIMEIRA GERAÇÃO (1G)

A era da telefonia celular teve início em 1980. O primeiro sistema que entrou em operação no mundo foi no Japão pela *Nippon Telephone and Telegraph* (NTT) em 1979. Em seguida, surgiram na Europa e na América do Norte mais dois sistemas: *Nordic Mobile Telephone* (NMT) pela *Ericsson Radio Systems AB* (Suécia) e *Advanced Mobile Phone Service* (AMPS) pela AT&T (EUA). Na Tabela I há uma breve comparação entre os três sistemas 1G.

Tabela I - Primeira Geração de Sistemas de Telefonia Móvel

Característica	NTT	NMT	AMPS
Banda de Frequência	925-940/870-885	890-915/917-950	824-849/869-894
RL/FL ^a (MHz)	915-918,5/860-863,5 922-925/867-870		
Espaço da portadora (kHz)	25/6,25 6,25 6,25	12,5 ^b	30
Número de canais	600/2400 560 280	1999	832
Modulação	FM	FM	FM

^aRL *reverse link*, FL *forward link*

^bEntrelaçamento de frequências usando canais sobrepostos, onde o espaço do canal é metade da largura de banda nominal do canal

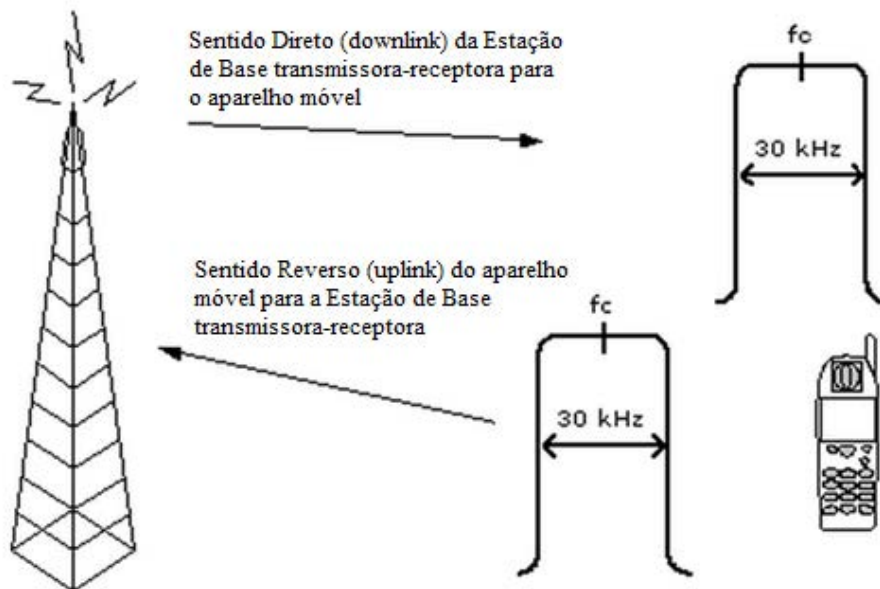
Fonte: (STÜBER, Principles of Mobile Communication)

Todos os sistemas da primeira geração tem como base o FDMA (*Frequency Division Multiple Access*, ou Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência) e a tecnologia analógica FM (Modulação por Frequência).

3.1.1 FDMA

É uma técnica onde a largura de banda ou espectro é dividida em frequências, onde cada uma é chamada de canal (30 kHz cada) e é atribuída a um usuário durante a sua chamada (conexão). Uma característica importante é que apenas um usuário num dado tempo é ligado a um canal e este não consegue participar de outras chamadas até que a conexão termine ou até que seja transferida para um canal diferente. Para uma transmissão “*full-duplex*” (chamada de voz), é necessário dois canais, um para transmissão e outra para recepção como ilustra a Figura 2.

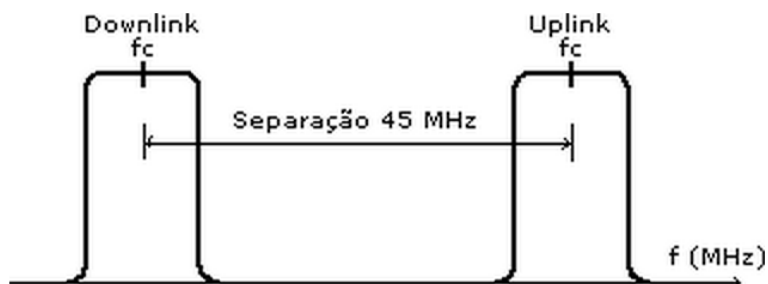
Figura 2 - Ilustração de uma transmissão full-duplex



Fonte: (TELECO)

No domínio da frequência, as bandas são dispostas como segue a Figura 3.

Figura 3 - Par de portadoras (downlink e uplink) no domínio da frequência



Fonte: (TELECO)

Pode-se notar que a técnica FDMA é facilmente observada na Figura 4 de modo que para inserir mais canais, basta preencher o espectro de frequências gradativamente até um limite pré-estabelecido.

Figura 4 - Técnica FDMA empregada ao longo do espectro



Fonte: (TELECO)

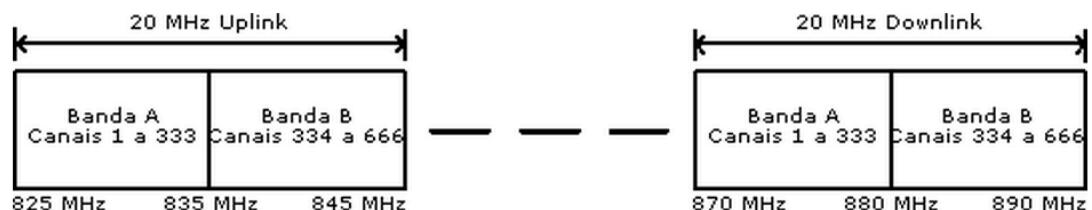
3.1.2 AMPS

Inicialmente nos EUA, foi adotado uma banda de 20 MHz para cada sentido (um para *downlink* e outro para *uplink*). Portanto, havia 666 canais que seriam operados por um sistema numa dada região.

As bandas foram alocadas na região do espectro de 850 MHz devido a faixa de 100 MHz (favorável para operação de sistemas de telefonia móvel) já estar ocupada por outros serviços (TV, FM, etc), o uso de baixas frequências também não era possível pois acarretaria no aumento da dimensão das antenas dos aparelhos celulares e altas frequências (acima de 10 GHz) eram impraticáveis por causa da alta atenuação e *fading*.

Cada banda de 20 MHz foi dividida em duas (banda A e banda B) visando a concorrência entre operadoras (A e B), como segue na Figura 5.

Figura 5 - Divisão das bandas de 20 MHz em Banda A e Banda B

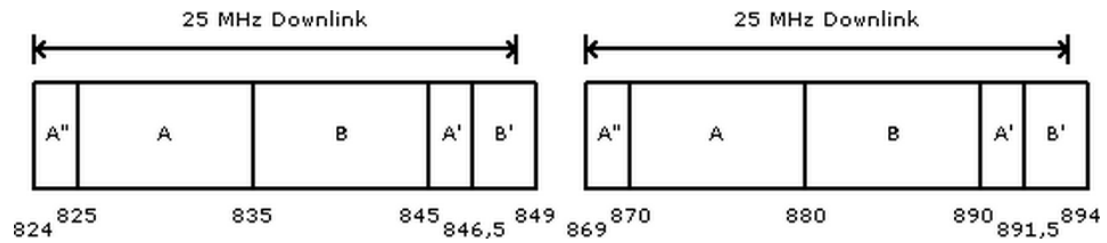


Fonte: (TELECO)

O AMPS obteve tanto sucesso que os canais começaram a se esgotar. Então, houve a necessidade da ampliação das faixas para aumentar o número de canais destinadas a diferentes operadoras (aumentar ainda mais a competição e evitar monopólio). Assim, teve um acréscimo de 25%, ou melhor, uma banda adicional de 2,5 MHz para cada segmento (banda de extensão) e ressalta-se que cada banda não possuía uma faixa contínua devido já haver outros serviços operantes nessas frequências.

Foi possível um segmento contínuo de 2,5 MHz chamado de B' (banda de extensão B) mas para a banda A, isso não foi possível. Os 2,5 MHz disponíveis foram fragmentados em 1,5 MHz denominado sub-banda A1' e em 1 MHz, sub-banda A''. A Figura 6 ilustra a divisão final da banda de frequência naquela época com a tecnologia AMPS.

Figura 6 - Divisão da banda de frequência resultante



Fonte: (TELECO)

3.2 SEGUNDA GERAÇÃO (2G)

A Segunda Geração dos sistemas de telefonia móvel foi introduzido no final dos anos 80. Além do tradicional serviço de voz, foi implementado a capacidade do serviço de dados à baixa velocidade de transmissão.

Ao se comparar com a primeira geração, este novo sistema é digital e utiliza tecnologias como o de Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA) e Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA). Portanto, ao se comparar com o 1G, tem-se maior eficiência de espectro e melhor serviço de dados.

O primeiro sistema 2G surgiu na Europa, chamado de GSM, que ofereceu um padrão naquela época. O GSM usa a tecnologia TDMA para que seja possível suportar múltiplos usuários no sistema. Outros sistemas foram introduzidos na Europa, como: DCS1800 e PCS1900.

O sistema que entrou em vigor no Japão foi o PDC (*Personal Digital Cellular*) e o IS 54/136 e IS-95 nos EUA.

As Tabelas II e III abaixo ilustram as comparações feitas entre os maiores sistemas 2G do momento:

Tabela II - Segunda Geração de Sistemas de Telefonia Móvel (GSM e IS-54/136)

Característica	GSM/DCS1800/PCS1900	IS-54/136
Banda de Frequência	GSM: 890-915/	824-829/
RL/FL ^a	935-960	869/894
(MHz)	DCS1800: 1710-1785/ 1805-1880	1930-1990/ 1850-1910
	PCS1900: 1930-1990/ 1850-1910	
Acesso Múltiplo	F/TDMA	F/TDMA
Espaço da portadora (kHz)	200	30
Modulação	GMSK	$\pi/4$ -DQPSK
Taxa de transmissão (kb/s)	270,833	48,6
Frame size (ms)	4,615	40
Slots/frame	8/16	3/6
Codificação de voz	VSELP(HR 6,5)	VSELP (FR 7,95)

	RPE-LTP (FR 13)	ACELP (EFR 7,4)
	ACELP (EFR 12,2)	ACELP (12,2)
Codificação do canal	Rate-1/2 CC	Rate-1/2 CC
<i>Frequency hopping</i>	Sim	Não
<i>Handoff</i>	<i>Hard</i>	<i>Hard</i>

^aRL reverse link, FL forward link

Fonte: (STÜBER, Principles of Mobile Communication)

Tabela III - Segunda Geração de Sistemas de Telefonia Móvel (PDC e IS-95)

Característica	PDC	IS-95
Banda de Frequência	810-826/	824-829/
RL/FL ^a	940-956	869-894
(MHz)	1429-1453/ 1477-1501	1930-1990/ 1850-1910
Acesso Múltiplo	F/TDMA	F/CDMA
Espaço da portadora (kHz)	25	1250
Modulação	$\pi/4$ -DQPSK	QPSK
Taxa de transmissão (kb/s)	42	1228,8 Mchips/s
<i>Frame size (ms)</i>	20	20
<i>Slots/frame</i>	3/6	1
Codificação de voz (kb/s)	PSI-CELP (HR 3,45) VSELP (FR 6,7)	QCELP (8,4,2,1) RCELP (EVRC)
Codificação do canal	Rate-1/2 BCH	FL: rate-1/2 CC RL: rate-1/2 CC
<i>Frequency hopping</i>	Não	N/A
<i>Handoff</i>	<i>Hard</i>	<i>Soft</i>

^aRL reverse link, FL forward link

Fonte: (STÜBER, Principles of Mobile Communication)

3.2.1 TDMA

É uma técnica que melhora a capacidade do espectro, comparado com o FDMA, dividindo cada frequência em intervalos de tempo. Ela permite que cada usuário tenha acesso total ao canal de frequência por um determinado tempo da chamada. O objetivo dessa

tecnologia é que cada usuário compartilhe o mesmo canal de frequência mas em intervalos de tempo distintos (a estação rádio-base muda continuamente o canal de usuário para usuário).

O TDMA faz parte da evolução dos sistemas analógicos da primeira geração para os sistemas digitais da segunda e terceira geração. Ele foi desenvolvido com base no AMPS, usando-se a mesma banda de frequência de 800 MHz (nos EUA, também opera na banda de 1900 MHz) e pode ser considerado a primeira tecnologia implementada na segunda geração.

Tecnicamente, TDMA aumenta o serviço do AMPS dividindo cada canal analógico de 30 kHz em três canais digitais por divisão de tempo, portanto triplica a capacidade do sistema (também chamado de D-AMPS).

Como o AMPS, o D-AMPS usa o intervalo de frequências do espectro de 800 a 900 MHz. Cada provedor de serviços pode usar metade dos 824-849 MHz para receber sinais de telefones celulares e metade dos 869-894 MHz para transmitir. A divisão do espectro em canais de sub-banda é alcançada usando FDMA. O processamento TDMA é adicionado a cada um dos canais de sub-banda criados com o FDMA para triplicar o número de canais disponíveis.

O TDMA IS-136 primeiro a ser especificado em 1994 e é uma evolução do antigo padrão IS-54 (conhecido como Digital AMPS ou D-AMPS). IS-54 usava três canais de divisão por tempo somente para informação de voz, enquanto o IS-136 também usava TDMA no canal de controle.

O TDMA suporta mensagem de texto e identificação de chamada. Usando uma estrutura celular hierárquica, é possível uma capacidade extra de alguns *hotspots* particulares (máquinas virtuais) e oferecer serviços diferentes para usuários particulares ou áreas dentro da rede.

O IS-136 sustenta uma variedade de serviços digitais ao mesmo tempo sendo capaz de coexistir com a rede AMPS. A própria compatibilidade entre AMPS e TDMA, alinhado com outros desenvolvimentos, garantiu o acesso à internet para os usuários em áreas de serviço tanto analógica como digital.

3.2.2 GSM

O GSM é um padrão da segunda geração da telecomunicação móvel digital que usa uma variação do TDMA e foi o mais usado na época dentre as tecnologias existentes. O GSM digitaliza e comprime dados de voz, e então envia para um canal com mais dois outros fluxos de dados de usuários, cada um no seu intervalo de tempo e opera tanto nas bandas de frequências de 900, 1800 ou 1900 MHz.

O GSM foi inicialmente desenvolvido como uma colaboração pan-européia, com a intenção de possibilitar o *roaming* entre os países membros. Em março de 2003, serviços digitais sem fio GSM foram oferecidos de alguma forma para 193 países. Em junho de 2002, 69% de todos assinantes digitais móveis no mundo usavam telefones GSM em redes GSM.

A rede GSM pode ser dividida em três partes principais:

- O assinante carrega a estação rádio-base (cartão SIM);
- O subsistema da estação rádio-base controla a conexão via rádio com a estação rádio-móvel;
- O subsistema da rede realiza a troca de chamadas entre os usuários e outros telefones e usuários da rede fixos.

A estação rádio-móvel é constituído por equipamento móvel (o aparelho e um *smart card* chamado *Subscriber Identity Module* (SIM). O SIM fornece mobilidade pessoal, então o usuário pode ter acesso a serviços assinados independente de um terminal específico. Ao inserir o cartão SIM em outro terminal GSM, o usuário é capaz de receber e realizar chamadas deste terminal e receber outros serviços assinados.

O equipamento móvel é unicamente identificado pelo *International Mobile Equipment Identity* (IMEI). O cartão SIM contém o *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI) usado para identificar o assinante no sistema, a chave secreta para autenticação e outras informações. O IMEI e o IMSI são independentes e o cartão SIM pode ser protegido contra uso não autorizado por senha ou número de identidade pessoal.

A subestação da estação rádio-base é composta por duas partes, a estação rádio-base do transceptor e o controlador da estação rádio-base. Eles se comunicam através de uma interface padronizada *Abis*, permitindo a operação entre componentes fabricados por diferentes fornecedores.

A estação base do transceptor abriga os transceptores de rádio que definem a célula e controla os protocolos de conexão via rádio com a estação móvel. Em uma grande área urbana, existirão um número grande de estações rádio-base de transceptores implantados, então os requerimentos para uma estação rádio-base de transceptores são: robustez, confiabilidade, portabilidade e custo mínimo. O controlador da estação rádio-base orienta os recursos de rádio para um ou mais estações rádio-base de transceptores. Isto é a conexão entre a estação móvel e o centro de comutação de serviços móveis.

Como o espectro para radiofrequências é um recurso limitado para todos usuários, um método teve que ser desenvolvido para dividir a largura de banda entre a maior quantidade de usuários possível. O método escolhido pelo GSM foi a combinação entre FDMA e TDMA. A

parte do FDMA envolve a divisão por frequência por largura de banda de no máximo 25 MHz em 124 frequências portadoras espaçadas de 200 kHz. Uma ou mais portadora são atribuídas para cada estação base.

Cada uma dessas portadoras é então dividida em intervalos de tempo, usando TDMA. A unidade fundamental de tempo neste esquema TDMA é chamado de período de rajada (*burst period*) e dura 15/26 ms (ou aproximadamente 0,577 ms). Oito períodos de rajada são agrupados em um quadro (120/26 ms, ou aproximadamente 4,615 ms), que constitui a unidade de base para a definição dos canais lógicos. Um canal físico é um período de rajada por quadro TDMA.

Canais são definidos pelo número e posição dos seus correspondentes períodos de rajada. Todas estas definições são cíclicas, e o padrão todo se repete aproximadamente a cada três horas. Os canais podem ser divididos em canais dedicados, que são alocados a uma estação móvel, e canais comuns, que são usados em estações móveis em modo inativo (*idle mode*).

O GSM é um sistema digital que é inerentemente analógico, assim deve ser digitalizado. O grupo GSM estudou vários algoritmos de codificação de voz com base em qualidade de voz subjetiva e complexidade (que está relacionado com o custo, processamento de atraso e consumo de energia, uma vez implementado) antes de chegar à escolha do *Regular Pulse Excited - Linear Predictive Coder* (RPE-LPC) com um circuito de preditor de longo prazo. Basicamente, a informação a partir de amostras anteriores, o que não muda muito rapidamente, é usado para prever a amostra de corrente. Os coeficientes da combinação linear das amostras anteriores, além de uma forma codificada do resíduo, a diferença entre a amostra previsto e real, representam o sinal. A fala é dividida em amostras de 20 ms, cada um dos quais é codificado como 260 bits, dando uma taxa de bits total de 13 kbps. Esta é a chamada codificação de voz de taxa completa. Um *enhanced full-rate* (EFR), um algoritmo de codificação para fala foi implementada por alguns GSM1900 operadores norte-americanos. Isto é dito para proporcionar uma melhor qualidade de voz utilizando a taxa de bits de 13 kbps existente.

3.2.3 CDMA

É uma técnica baseada na “propagação” do espectro. Desde quando foi permitido transmissões criptografadas, a princípio atribuiu-se a proposições militares. O CDMA aumenta a capacidade do espectro permitindo que todos os usuários possam ocupar todos os canais de frequência ao mesmo tempo. As transmissões são propagadas por toda a banda e cada dado ou voz da chamada é atribuído a um código específico para diferenciar de outras chamadas no

mesmo espectro. Isso significa que o CDMA pode fornecer maior eficiência de largura de banda e conseqüentemente maior número de canais potenciais.

Apesar de ser mais utilizado nos EUA, o sistema CDMA contava com 12% das assinaturas digitais no mundo em Junho de 2002. O CDMA compartilha a frequência da largura de banda de 1900 MHz com o GSM no EUA e espalha por todo espectro dividido em códigos.

O TDMA no GSM, apenas um único usuário em um determinado tempo é atribuído para cada pedaço (*slot*) de tempo ou canal. Nenhuma outra conversa pode acessar este canal até que a chamada do assinante termine, ou até que a chamada original seja remanejada para um canal diferente pelo sistema. Por exemplo, o sistema GSM cria oito canais de divisão por tempo em 200 kHz.

Com o CDMA, todos usuários compartilham a mesma frequência de 1250 kHz, mas códigos únicos são associados a diferentes assinantes. Os códigos são compartilhados por ambas estação rádio-base e base móvel e são chamados de “sequência de códigos pseudo-aleatórios”.

Para assegurar a funcionalidade desses códigos, estações CDMA devem manter sincronizados a uma referência de tempo comum. O Sistema de Posição Global (GPS) fornece esta referência precisamente. O GPS é um sistema de navegação base-satélite via rádio, capaz de fornecer um significado prático e acessível para determinar uma posição contínua, velocidade e tempo para um número ilimitado de usuários.

A conexão padrão do CDMA tem como taxa de transmissão digital de dados 9,6 kbps, igual no GSM. Já a da transmissão de voz é de 8 kbps. Todas conexões são compartilhadas em todo espectro de dispersão com a taxa de transmissão máxima de 1,23 Mbps, teoricamente permitindo um máximo de 131 conexões, comparado com as 48 conexões do GSM com largura de banda similares.

O CDMA suporta conexões com larguras de banda variáveis, com padrões de 13 kbps e 64 kbps para qualidades superiores de conversação e conexões rápidas de dados.

Uma outra característica da tecnologia CDMA é a privacidade. As chamadas com CDMA são seguras, ao contrário da analógica, um receptor de rádio simples, não será capaz de captar conversas digitais individuais em uma faixa de frequência. Os sistemas TDMA e GSM devem adicionar um estágio extra de criptografia para assegurar privacidade ao sinal, enquanto criptografia é inerente ao sistema CDMA.

3.3 GERAÇÃO DE TRANSIÇÃO 2G PARA 3G (2,5G)

A “geração 2,5” é uma designação que inclui amplamente todos aprimoramentos das redes 2G. Essas melhorias podem fornecer quase as mesmas capacidades dos sistemas 3G.

Geralmente, um sistema GSM 2,5G inclui pelo menos as seguintes tecnologias: *High-Speed Circuit-Switched Data* (HSCSD), *General Packet Radio Services* (GPRS) e *Enhanced Data Rates for Global Evolution* (EDGE). E um sistema IS-136 se torna 2,5G com a introdução do GPRS e EDGE.

3.3.1 HSCSD

O HSCSD é essencialmente uma implementação da transmissão de dados do GSM. Ele é quatro vezes mais rápido que o GSM, com a taxa de transmissão de até 57,6 kbps a qual é alcançada através da alocação de oito intervalos de tempo para um único usuário. Esta velocidade de transferências de dados permite que os usuários consigam ter acesso à Internet ou outros serviços de dados via rede GSM.

Esta tecnologia opera lado-a-lado com a rede GSM, portanto não é necessário hardware extra para a operação da comunicação móvel nesse sistema, somente necessita de uma melhoria na rede de software e celulares com a tecnologia vigente.

Um dos problemas é o uso do escasso recurso via rádio. O HSCSD funciona como um circuito de comutação e aloca os intervalos de tempo constantemente mesmo quando não é transmitido nada. Ao mesmo tempo, isto torna o HSCSD uma ótima escolha para aplicações em tempo real, permitindo que a transmissão seja feita com poucos atrasos.

Os usuários HSCSD tipicamente empregam estes serviços em áreas onde as redes móveis já estão congestionadas, então a capacidade desta nova tecnologia certamente não irá tornar a situação melhor ou resolver o problema. Um outro fator é que os fabricantes não têm muito interesse em implementar o HSCSD, a maioria vai diretamente para o GPRS mesmo que estes dois sistemas sejam um pouco diferentes.

3.3.2 GPRS

O GPRS é um serviço de comunicação de dados sem fio baseado em pacotes projetado para substituir os serviços de comutação de circuitos disponíveis no sistema global de segunda geração de comunicações móveis (GSM) e *Time Division Multiple Access* (TDMA). Redes

GSM e TDMA foram concebidos para comunicação de voz, dividindo a largura de banda disponível em vários canais, cada um dos quais é constantemente atribuída a uma chamada individual (circuito de comutação). Estes canais podem ser utilizados para fins de transmissão de dados, mas apenas proporcionam uma velocidade máxima de transmissão de cerca de 9.6 kbps.

O GPRS distribui pacotes de dados a partir de vários terminais diferentes no sistema através de múltiplos canais, fazendo um uso mais eficiente da largura de banda disponível para aplicações de "bursty" (rajada), tais como acesso à Internet. Em teoria, utilizando todos os oito canais de uma rede GSM, ao mesmo tempo, uma ligação GPRS pode alcançar uma taxa de transferência de dados para 114 kbps. Essas maiores taxas de dados vão permitir que os usuários interajam com sites multimídia e aplicações semelhantes utilizando um aparelho celular ou computador. Em teoria, os serviços GPRS devem ser mais baratos do que as conexões comutadas por circuito, com a rede sendo usada somente quando os dados estão sendo transmitidos.

A comunicação GPRS foi projetado para complementar, mas não substituir as redes de comutação existentes, sendo utilizado apenas como um meio adicional de comunicação de dados. Na prática, as velocidades de ligação será significativamente menor do que o máximo teórico, dependendo da quantidade de tráfego da rede e sobre o número de canais simultâneos suportados pelos aparelhos. Na prática, GPRS é um passo evolutivo para dados avançados para a evolução global (EDGE) e sistemas IMT-2000.

Como uma tecnologia de comutação de pacotes, GPRS suporta o protocolo de internet (IP) e X.25, normas de comutação de pacotes atualmente usados nas comunicações de telefonia fixa. Como tal, qualquer serviço que é usado na Internet fixa também será capaz de ser utilizada através de GPRS pois ele utiliza os mesmos protocolos que a internet, as redes podem ser vistas como subconjuntos da internet, com os dispositivos GPRS como hospedeiros, potencialmente com os seus próprios endereços IP.

O GPRS é baseado em uma técnica de modulação chamada *Gaussian minimum-shift keying* (GMSK). Isto é, onde os impulsos retangulares correspondentes ao fluxo de bits (*bitstream*) são filtrados, utilizando um filtro de resposta de impulso com forma gaussiana, produzindo lóbulos laterais mais baixas do que seria o caso. Esta técnica de modulação não permite tão alta taxa de bits através das interfaces aéreas como a modulação de *eight phase-shift keying* (8 PSK), que é introduzida em sistemas EDGE (*Enhanced Data for Global Evolution*).

3.3.3 EDGE

O EDGE é um padrão de dados móveis de alta velocidade, destinado para os sistemas globais da segunda geração para redes de comunicação móvel GSM e TDMA para transmitir dados em até 384 kbps.

O EDGE fornece melhorias na velocidade através da alteração do tipo da modulação usada e faz um melhor uso da portadora, como por exemplo a portadora de 200 kHz no sistema GSM e também fornece um caminho evolutivo para os sistemas de terceira geração (UMTS) através da implementação de algumas mudanças.

O EDGE se baseia em melhorias oferecidas pelo GPRS e HSCSD que naquele momento estavam sendo testadas e implantadas. Ele permite uma maior velocidade de transmissão de dados em boas condições, especialmente perto das estações-base, através da implementação da modulação 8 PSK em vez do GMSK.

Para o EDGE ser eficaz, deve ser instalado junto com as atualizações de comutação de pacotes utilizados pelo GPRS. Isto implica a adição de dois tipos de nós para a rede: o *Gateway GPRS Service Node* (GGSN) e o *The Serving GPRS Service node* (SGSN). O GGSN se conecta a redes de comutação de pacotes, tais como IP (Internet Protocol) e X.25, juntamente com outras redes GPRS, enquanto o SGSN fornece o link de comutação de pacotes para estações móveis.

A implementação adicional do sistema EDGE exige apenas um transceptor a ser adicionada a cada célula, com as estações de base recebendo atualizações de software remotas. EDGE pode coexistir com o tráfego GSM existente, mudando para o modo EDGE automaticamente.

O GPRS é baseado em uma técnica de modulação chamado GMSK. Esta técnica de modulação não permite alta taxa de bits através das interfaces aéreas como a modulação 8 PSK se for introduzido em sistemas EDGE. A modulação 8 PSK se adapta automaticamente às condições de rádio locais, oferecendo taxas de transferência mais rápidas perto das estações rádio-base, em boas condições. Ele oferece até 48kbps por canal, em comparação com 14kbps por canal com GPRS e 9,6kbps por canal para GSM. Por também permitir a utilização simultânea de múltiplos canais, a tecnologia permite taxas de até 384 kbps, utilizando todos os oito canais GSM.

3.4 TERCEIRA GERAÇÃO (3G)

Os sistemas 3G foram desenvolvidos mediante o acesso a serviços de maneira que nunca tinham sido vistos antes: chamadas ativadas por voz, comunicações usando voz sobre IP (VoIP), acesso à Internet a alta velocidade, acesso contínuo onipresente, entre outros.

A evolução para o 3G tem como base os fundamentos das tecnologias IS-95 e IS-95B. Os sistemas mais importantes são o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), também chamado de UMTS e o CDMA2000.

Existem algumas características do WCDMA e CDMA2000 em comum:

- Fornecimento de serviços de multitaxa de transmissão;
- Propagação complexa;
- Serviço com pacote de dados;
- Detecção multiusuário.

A Tabela IV mostra as principais características do WCDMA e CDMA2000.

Tabela IV - Parâmetros do WCDMA e cdma2000

Característica	WCDMA	CDMA2000
Acesso Múltiplo	DS-CDMA	DS-CDMA
<i>Chip rate</i> (Mcps)	3,84	1,2288
Espaço da portadora (MHz)	5	1,25
<i>Frame length</i> (ms)	10	5/20
Modulação	FL: QPSK RL: BPSK	FL: BPSK/QPSK RL: BPSK <i>64-ary orthogonal</i>
Codificação	Rate-1/2, 1/3 K = 9 CC Rate-1/3 K = 4 <i>turbo code</i>	Rate-1/2, 1/3, 1/4, 1/6 K = 9 CC Rate-1/2, 1/3, 1/4, 1/5, K = 4 <i>turbo code</i>
<i>Interleaving</i>	<i>Inter/Intraframe</i>	<i>Intraframe</i>
<i>Spreading</i>	FL: BPSK RL: QPSK	<i>Complex</i>
<i>Inter BS</i>	Assíncrono	Síncrono
Sincronização		

Fonte: (STÜBER, Principles of Mobile Communication)

A grande diferença entre essas duas tecnologias é que o CDMA2000 utiliza uma operação de rede síncrona e o WCDMA, assíncrona. Onde a operação síncrona do CDMA2000 é alcançada usando uma referência, o GPS.

3.4.1 WCDMA

O WCDMA é um padrão de interface de rádio da terceira geração de telecomunicações móveis padronizado pela ITU (*International Technology Union*). O WCDMA utiliza como método de múltiplo acesso o CDMA de Sequência Direta (DS-SS-CDMA), com os vários terminais compartilhando a mesma banda de frequência mas utilizando códigos diferentes ao longo do espectro. E este padrão possui como modo de operação o *Frequency Division Duplex* (FDD), no qual os enlaces de subida e descida utilizam canais de 5 MHz diferentes e separados por uma frequência de 190 MHz.

Por definição, a largura de banda do sistema WCDMA é no mínimo 5 MHz, o que é uma distinção importante dos outros padrões 3G. Esta banda foi escolhida pois:

- É suficiente para fornecer uma taxa de transmissão de dados de 144 e 384 kbps e até 2Mbps em boas condições (para usuário estacionário);
- A largura de banda é sempre escassa, e a menor alocação possível deve ser usada, especificamente se o sistema usar as bandas de frequência já ocupadas pelos existentes sistemas 2G;
- Cada canal pode dar suporte a algo entre 100 e 350 chamadas de voz simultâneas, dependendo da divisão da antena em setores, condições de propagação, velocidade do usuário e polarização da antena (melhor desempenho).

3.4.2 CDMA2000

O CDMA2000 foi desenvolvido pela 3GPP2 (*Third Generation Partnership Project 2*) e foi a primeira tecnologia IMT-2000 implantada no mundo. Este padrão permite que as prestadoras de serviços sem fio introduzam novas capacidades de acesso à internet com alta taxa de dados de uma maneira gradual dentro dos sistemas já existentes.

A primeira interface foi o CDMA2000 1xRTT, implica que um único canal de rádio de 1,25 MHz seja utilizado (1x significa uma vez a largura de banda de canal CDMAOne original ou seja, um modo multiportadora com apenas uma portadora).

O CDMA2000 1x fornece uma taxa de dados de até 307 kbps para um usuário no modo pacote e também pode admitir até o dobro dos usuários de voz do padrão 2G CDMA, e oferece à unidade do assinante até duas vezes o tempo de *stand by* para ter uma maior duração da bateria.

As melhorias no 3G CDMA2000 1x em relação aos CDMA 2G e 2,5G são conquistadas através das taxas de sinalização de banda base rapidamente adaptáveis, taxas de *chipping* para cada usuário e chaveamento multinível dentro da mesma estrutura do padrão CDMAOne original.

O CDMA2000 1xEV é um avanço para o CDMA, desenvolvido inicialmente pela *Qualcomm* como um padrão de proprietário de pacote com alta taxa de dados a ser sobreposto às redes IS-95, IS-95B e CDMA2000 existentes. Mas mais tarde a ITU reconheceu o CDMA2000 1xEV como parte do IMT-2000.

O CDMA2000 1xEV oferece às prestadoras de CDMA a opção de instalar canais de rádio somente para dados (CDMA2000 1xEV-DO) ou para dados e voz (CDMA2000 1xEV-DV). Usando a mesma tecnologia, canais individuais de 1,25 MHz podem ser instalados em estações base para oferecer acesso de alta velocidade a pacotes específicos de dados dentro das células selecionadas. A opção para somente dados dedica o canal de rádio estritamente para os usuários de dados, admitindo mais de 2,4 Mbps de transmissão de dados.

4 QUARTA GERAÇÃO (4G)

A quarta geração de padrões sem fio para sistemas celulares é o 4G, o sucessor planejado para o padrão 3G. A ITU (*International Telecommunications Union*) especificou que os requisitos de velocidade de pico para o padrão 4G devem ser 100 Mbps para a conexão móvel e 1 Gbps para conexões fixas. O serviço 4G oferece uma solução de banda larga móvel em *roaming* rápido e seguro para dispositivos como laptops com modems 4G sem fio, telefones celulares (*smartphones*) 4G e outros dispositivos móveis 4G que necessitam de acesso à Internet, incluindo sob demanda televisão HD, *on-demand* de jogo e, obviamente acesso à Internet de alta velocidade.

As tecnologias atualmente comercializadas, como LTE e WiMAX estão no mercado a alguns anos e estão sendo comercializados como 4G embora não preencha a todos os requisitos estabelecidos pela ITU (tecnicamente não oferecem taxa de transmissão de dados à 1 Gbps utilizando-se conexão fixa).

A ITU reconheceu dois padrões que são planejadas para atender aos requisitos do 4G da IMT-Advanced apresentados pelos dois grupos, 3GPP e IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Estes são os padrões LTE Advanced e WirelessMAN-Advanced (WiMAX-Advanced).

4.1 LTE

Com a vinda do LTE, não significa que o desenvolvimento das outras tecnologias de acesso via rádio da 3GPP, ou seja, da terceira geração, acabou. As melhorias do UMTS com novos lançamentos de especificações continuam na medida do possível assegurando compatibilidade com versões anteriores.

A primeira versão do LTE foi lançado como *Release 8* da série de especificações da 3GPP. Esta tecnologia pode operar em FDD (*Frequency-Division Duplex*) e em TDD (*Time-Division Duplex*) como também foi desenvolvido para suportar a evolução do TD-SCDMA (*Time-Division Synchronous Code Division Multiple Access*), que foi desenvolvido pela 3GPP como um adicional da tecnologia UMTS, essencialmente para o mercado chinês.

A segunda versão do LTE foi como *Release 9*, e o *Release 10* continua o progresso com o começo de um novo passo, conhecido como LTE-Advanced.

4.1.1 Requisitos e objetivos do LTE

A discussão dos requisitos chaves para o novo sistema LTE levou a criação de um estudo formal da 3GPP, especificando o objetivo da evolução do acesso da tecnologia via rádio frequência. Tais requisitos para LTE (*Release 8*) foram decididos em Junho de 2005.

Eles são apresentados como segue abaixo:

- aumento da taxa de transferência de dados do usuário;
- redução do atraso, em termos de estabelecimento de conexão e latência de transmissão;
- redução do custo por bit, implicando na melhoria da eficiência espectral;
- aumento da taxa de bits por área da célula, para uniformidade do serviço de fornecimento;
- arquitetura de rede simplificada;
- maior flexibilidade do uso do espectro, nas novas e pré-existentes bandas;
- Consumo de energia justo para os terminais móveis;
- Mobilidade contínua, incluindo diferentes tecnologias de acesso via rádio.

A melhoria do desempenho do sistema comparado aos existentes é um dos principais requisitos para garantir competitividade e aumentar o investimento no mercado. As altas taxas de transmissão de dados são muito mais rápidas ao se comparar com tecnologias da terceira geração.

O primeiro parâmetro que se diferencia sobre as demais tecnologias de acesso via rádio e que tem muita importância no mercado da telefonia é a taxa máxima de transmissão de dados que a quarta geração pode proporcionar. A taxa máxima de transmissão de dados geralmente é proporcional a quantidade de espectro usada e, para sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output), é de acordo com o número mínimo de antenas de transmissão e recepção.

Então a taxa de transmissão de dados por usuário se define máxima assumindo toda largura de banda sendo alocada para um único usuário com a maior modulação e o número máximo de antenas que pode suportar. Para sistemas TDD, esta taxa é geralmente calculada separadamente para o *downlink* e *uplink*. No LTE (*Release 8*), encontram-se taxas de transmissões de dados máxima de 100 Mbps e 50 Mbps para *downlink* e *uplink* respectivamente com uma largura de banda de 20 MHz, ou seja, uma eficiência máxima espectral de 5 e 2,5 bps/Hz.

Como os usuários estão localizados em distâncias variáveis da estação rádio-base, as condições de propagação de sinais via rádio para usuário individual são raramente ideais, e os

recursos presentes devem ser compartilhados entre vários usuários. Portanto, na realidade, é raro que um assinante consiga atingir a taxa máxima de transferência de dados.

Um diferenciador da arquitetura do sistema LTE, comparado com outros sistemas, tem sido o reconhecimento das localizações onde os usuários se encontram. Durante o processo de *design*, não somente era importante a taxa máxima de transferência de dados em condições boas, mas também era relevante um bom desempenho em diversas outras condições. Para isso simulações foram feitas considerando alguns parâmetros como: distribuição do cenário, modelo de tráfego, canais e configuração do sistema.

4.1.2 Tecnologias para LTE

Para estar de acordo com todos os requerimentos para LTE, três tecnologias foram fundamentais: multiportadoras, múltiplas antenas e a aplicação do *packet-switching* para a interface de rádio.

4.1.2.1 Tecnologia de Multiportadora

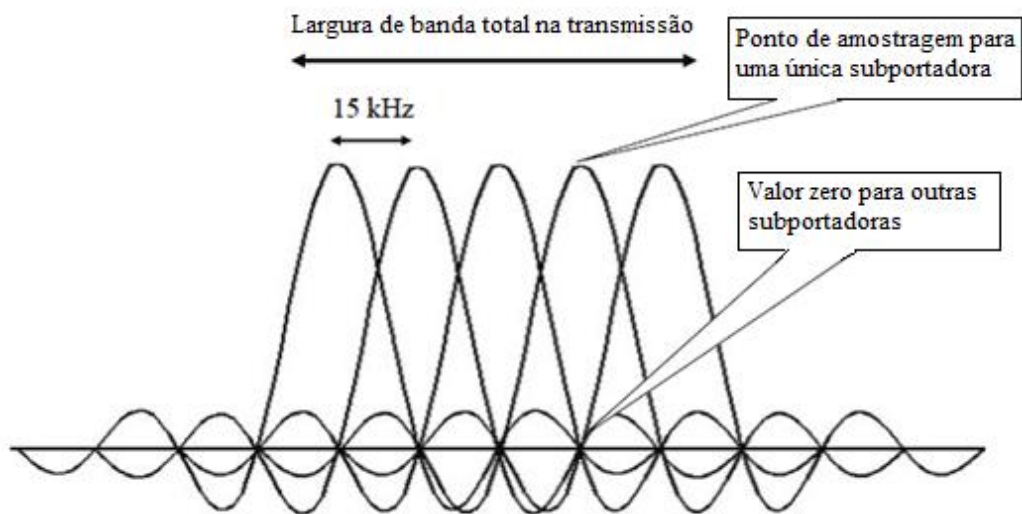
Adotando uma abordagem da multiportadora para o múltiplo acesso em LTE foi a primeira grande escolha para esta nova tecnologia. Após a consolidação inicial da apresentação das propostas, os melhores candidatos para as técnicas para o *downlink* foram o *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access* (OFDMA) e *Multiple WCDMA*, enquanto para o *uplink* foram *Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access* (SC-FDMA), OFDMA e *Multiple WCDMA*. As escolhas foram feitas em Dezembro de 2005, com OFDMA para o *downlink* e SC-FDMA para o *uplink*. Ambos abrem o domínio da frequência como uma nova dimensão de flexibilidade no sistema.

4.1.2.1.1 OFDMA

O OFDMA vem da tecnologia multiportadora OFDM e fornece um cenário muito flexível para o acesso múltiplo. OFDM subdivide a largura de banda disponível para transmissão de sinal numa multiplicidade de subportadoras de banda estreita, dispostos para serem mutuamente ortogonais que seja individualmente ou em grupo e podem transportar fluxos de informação independentes. Em OFDMA, esta subdivisão da largura de banda disponível é explorado para compartilhar as subportadoras entre vários usuários. Então, para diferentes transmissões, criam-

se subportadoras que não se interferem entre si mas seus espectros podem se sobrepor no domínio da frequência. Isto é conseguido com o princípio de OFDMA, onde cada uma das frequências centrais para as subportadoras é selecionada a partir do conjunto que tem essa diferença no domínio da frequência onde as subportadoras vizinhas têm o valor zero no instante da amostragem da subportadora desejada, como mostrado na Figura 7. Para o LTE, a diferença de frequência constante entre as subportadoras foi escolhida para ser de 15 kHz no *Release 8*.

Figura 7 - Mantendo as subportadoras ortogonalmente



Fonte: (HOLMA e TOSKALA, Nokia Siemens Network, 2009)

A tecnologia OFDMA tem sido usada no *uplink* do múltiplo acesso do LTE para atingir alta eficiência espectral e as seguintes propriedades:

- Larguras de banda do espectro diferentes podem ser utilizadas sem mudar os parâmetros fundamentais do sistema ou arquitetura dos equipamentos;
- Recursos de transmissão de largura de banda variável pode alocar usuários diferentes e programar livremente no domínio da frequência;
- Reuso da frequência fracionada e coordenação da interferência entre as células são facilitadas;
- Compatibilidade com tecnologias de receptores e antenas avançadas (com técnicas MIMO).

Tem-se ganhado grandes experiências com o OFDM através dos sistemas de áudio digital e transmissão de vídeo. Estas experiências são observadas devido a algumas vantagens do OFDM como:

- Receptores de baixa complexidade, através da exploração da equalização no domínio da frequência;
- Robustez nos canais de rádio de tempo de dispersão (resistência à distorções/ruídos), graças à subdivisão do sinal transmitido em múltiplas subportadoras.

4.2.1.1.2 SC-FDMA

O *Single Carrier FDMA* (SC-FDMA) é uma técnica de acesso múltiplo que utiliza a modulação de uma única portadora. Tem uma estrutura similar e desempenho que o OFDM e é adotado no *uplink* do LTE da 3GPP.

No OFDM, cada pacote de dado é transportado por subportadoras individuais, já o transmissor SC-FDMA transporta pacote de dado através de um grupo de subportadoras transmitindo simultaneamente. Em outras palavras, o grupo de subportadoras que carregam os dados podem ser vistos como uma largura de frequência transportando dados sequencialmente no padrão FDMA.

Ambos OFDMA e SC-FDMA são muito relacionados em termos de execução técnica e contam com o uso de FFT / IFFT (*Fast Fourier Transform/Inverse Fast Fourier Transform*) no transmissor e implementação da cadeia do receptor. A SC-FDMA é usada para otimizar o alcance e consumo de energia no *uplink* enquanto o OFDMA é usado na direção *downlink* para minimizar a complexidade do receptor, especialmente com grandes larguras de banda, e para ativar a programação no domínio da frequência com flexibilidade na alocação de recursos. Operação de múltiplas antenas com multiplexação espacial tem sido uma tecnologia fundamental do LTE, desde o início, e é bem adequado para várias soluções de acesso LTE.

4.2.1.2 Múltiplas antenas

O uso da tecnologia de múltiplas antenas permite a exploração do ambiente onde a rede sem fio se encontra de forma proveitosa e eficiente. Isto torna-se essencial na busca de uma maior eficiência espectral. Com o uso de antenas múltiplas, teoricamente a eficiência espectral aumenta com o aumento do número antenas utilizadas para transmissão e recepção, pelo menos em ambientes adequados de propagação de rádio.

A tecnologia de múltipla antena abre as portas para muitas variedades de aspectos e aplicações, mas nem todos entregam na prática, a teoria prometida. As múltiplas antenas podem ser usadas de maneiras diferentes, principalmente baseadas em três princípios:

- *Diversity gain*: uso da diversidade espacial fornecida pelas múltiplas antenas para melhorar a robustez da transmissão contra o enfraquecimento do sinal;
- *Array gain*: concentração da energia em uma ou mais direções através do pré-código. Isto também permite usuários múltiplos localizados em diferentes direções para serem servidos simultaneamente (chamado de *multi-user MIMO*);
- *Spatial multiplexing gain*: transmissão de sinais múltiplos para um único usuário em camadas multiespaciais criadas pelas combinações das antenas disponíveis.

4.2 LTE-ADVANCED

O IMT-Advanced é o atual supervisor que fornece maiores taxas que o IMT-2000 pode fornecer. É esperado que o IMT-Advanced tenha as seguintes características:

- Flexibilidade na largura do canal de banda, entre 5 e 20 MHz;
- Taxa de transferência de dados com pelo menos 100 Mbps entre dois pontos quaisquer no mundo;
- Pico de taxa transferência de dados de 100 Mbps em movimento e 1 Gbps em ambientes estacionários;
- Eficiência da largura de banda até 15 bit/s/Hz no *downlink* e 6,75 bits/s/Hz no *uplink*;
- Eficiência espectral até 3 bits/s/Hz/cell no *downlink*;
- Plano de fundo compatível com o padrão existente da rede sem fio;
- Toda rede de pacote de Protocolo de Internet (IP);
- Conectividade contínua e roaming de dados para múltiplas redes.

Basicamente, todas propostas 4G são baseadas em duas tecnologias: LTE-A da 3GPP e IEEE 802.16m da IEEE.

A LTE-Advanced tem como finalidade ser uma tecnologia com uma maior taxa de bits atentando em sua eficiência e ao mesmo tempo cumprindo todas os requisitos necessários impostos pela ITU para o IMT-Advanced.

Ele tem como foco a maior capacidade de:

- Aumento da transmissão de taxa de dados, *downlink* até 3 Gbps e *uplink* até 1,5 Gbps;
- Maior eficiência do espectro;
- Suporte para nós de retransmissão;
- Configuração de rede e operação autônoma e automática;
- OFDMA híbrido e SC-FDMA no *uplink*;

- Melhora no desempenho da banda das células através do MIMO com pelo menos 2,4 bps/Hz/cell;
- Controle e supressão de interferências;
- Aumento simultâneo no número de usuários ativos;
- Agregação de portadoras.

As novas funcionalidades introduzidas na LTE-Advanced são a agregação de portadoras (*Carrier Aggregation* - CA) realçado com o uso de técnicas com multi-antenas e suporte para nós de retransmissão (*Relay Nodes* – RN).

4.2.1 *Carrier Aggregation* (CA)

A agregação de portadora ou agregação de canal aciona múltiplas portadoras no LTE para ser usada em conjunto para fornecer alta transmissão de dados. É necessário, portanto, aumentar as larguras de banda daquelas que conseguem ser suportadas por uma única portadora ou canal. O método proposto é conhecido como *Carrier Aggregation* (CA) e assim é possível utilizar mais de uma portadora e assim aumentar a transmissão na largura de banda.

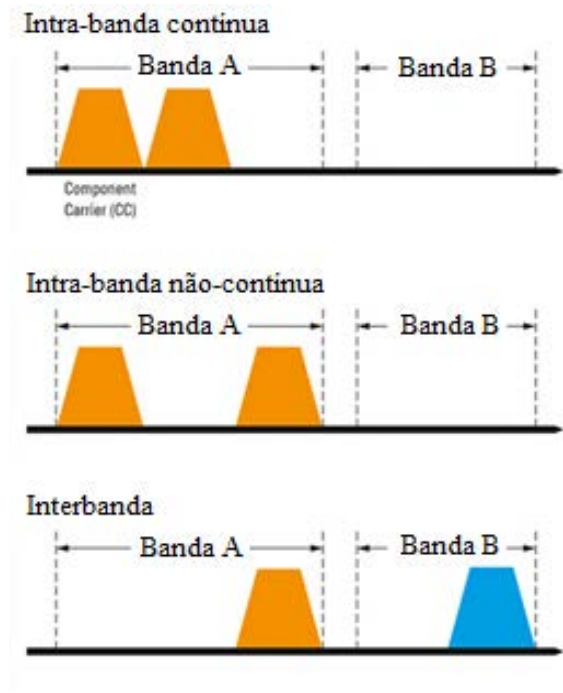
Esta característica permite que a combinação de dois ou mais canais de portadora para dentro de um único canal agregado, permitindo assim um maior rendimento, bem como o uso mais eficiente do espectro do LTE altamente fragmentado. Os operadores de rede LTE podem ter canais não contínuos de tamanhos diferentes dentro da mesma faixa de frequências, ou canais adjacentes do mesmo tamanho na mesma faixa de frequências, ou canais do mesmo tamanho, em diferentes bandas de frequência. Com o CA, os operadores estão aliviados das limitações desta fragmentação e desfrutam de inúmeros outros benefícios.

Os operadores não só serão capazes de oferecer maior produtividade aos usuários individuais e gerir melhor o seu espectro, mas serão capazes de controlar melhor a interferência e otimizar o agendamento para carregar efetivamente e equilibrar suas redes. Ter acesso a 40 MHz de largura de banda agregada para esses fins oferece muito mais benefícios do que ter apenas 20 MHz.

Nem todas as soluções são as mesmas e os fabricantes de *chips* LTE estão implementando agregação da portadora de diferentes maneiras. As melhores soluções são as mais flexíveis e podem agregar maiores quantidades de largura de banda. *Chipsets* LTE que permitem a combinação de quaisquer duas portadoras de qualquer tamanho até 20 MHz cada, contínuas ou não-contínuas, inter-banda ou intra-banda, para um total de 40 MHz em geral, irá fornecer

operadores com o maior valor do seu espectro, mesmo as mais pequenas faixas. As ilustrações da Figura 8 mostram os três tipos do CA (*Carrier Aggregation*).

Figura 8 - Tipos do CA (Carrier Aggregation)



Fonte: (Rohde&Schwarz)

Mesmo com melhorias feitas na eficiência do espectro, ainda não é possível fornecer um *downlink* de 1 Gbps requerido pela LTE-Advanced. É necessário um conjunto de melhorias e aproveitamento para atingir tal proposta.

4.2.2 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

O MIMO é uma tecnologia que abrange uma técnica de transmissão para sistemas de comunicação sem fio que transmite dois ou mais fluxos de dados no mesmo canal de frequência e ao mesmo tempo e o sistema entrega duas ou mais vezes a taxa de transmissão de dados por canal. É uma aproximação da competência da comunicação sem fio que enfrenta o enfraquecimento de sinal, aumento da interferência e limite de espectro.

O sistema MIMO divide o fluxo de dados em vários outros fluxos únicos onde cada um é modulado e transmitido por diferentes cadeias de antena de rádio no canal de mesmo tempo e frequência. Cada MIMO recebe uma cadeia de antena de rádio que é uma combinação linear dos múltiplos fluxos de dados transmitidos. Os dados são separados no receptor com o uso de

algoritmos que dependem das estimativas sobre todos canais entre cada transmissor e cada receptor.

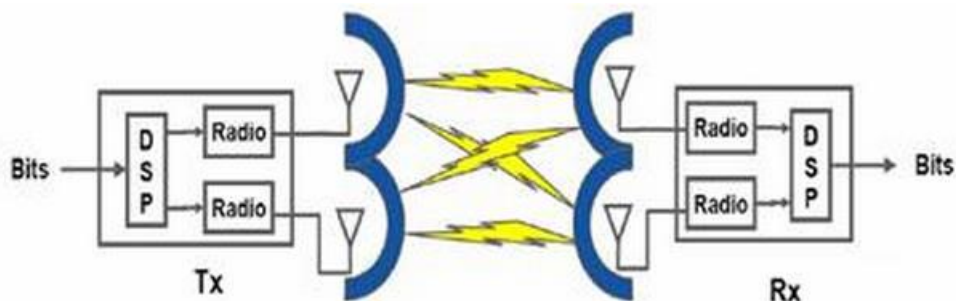
Algumas das vantagens do MIMO são: “*multipath*” (multiplexação espacial) e reflexões dos sinais. Cada MIMO emprega múltiplas e espaçadas antenas separadas para criar esses caminhos de fluxo e transferem mais dados. E o alcance também aumenta por causa da diversidade das antenas, onde cada receptor tem o cálculo de cada transmissão de fluxo de dados.

Na multiplexação espacial, os sinais são enviados em vários feixes que exploram o ambiente para alcançar o destino. Este recurso considera as mudanças de direção do sinal quando este colide e desvia nos obstáculos que podem existir no caminho entre o transmissor e receptor. As mudanças de percurso podem gerar atrasos em partes do sinal, que são compensados por algoritmos utilizados nas antenas receptoras que se baseiam na reflexão sofrida pelo sinal ao longo do percurso e também os receptores possuem filtros que recuperam o sinal original.

Além disso, o MIMO fornece ganho de diversidade para combater o desvanecimento do sinal. Para isto, é feito uma cópia do sinal, porém codificado de forma diferente da original e ambos sinais são enviados simultaneamente por diferentes antenas. O fato de enviar a mesma quantidade de informação por diferentes fontes ao mesmo tempo, aumenta a força do sinal enviado.

A Figura 9 ilustra o funcionamento de um MIMO (2x2) onde dois fluxos de dados são transmitidos por 2 antenas TX e recebidos por 2 antenas RX, usando a mesma frequência e tempo, diferenciados somente pelo uso da referência do sinal.

Figura 9 - Exemplo do funcionamento básico do MIMO (2x2).



Fonte: (3G Américas, 2009)

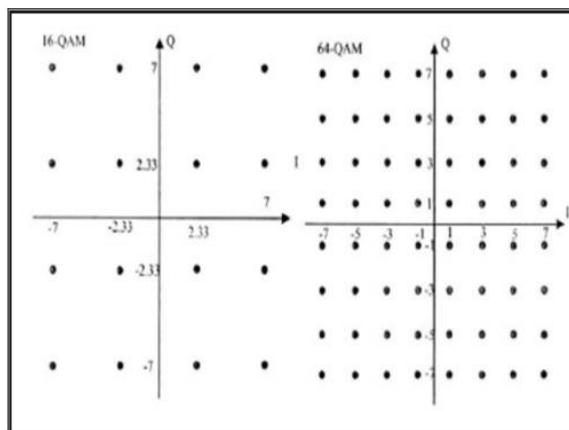
O LTE-Advanced pode usar até 8x8 antenas MIMO e 128 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) para fornecer um alto desempenho.

4.2.3 QAM

O QAM é uma forma de modulação onde os símbolos são mapeados em um diagrama de fase e quadratura e cada símbolo apresenta uma distância específica da origem do diagrama que representa a sua amplitude (as informações são inseridas nos parâmetros de amplitude e quadratura da onda portadora). E cada uma dessas variações em amplitude e fase traduz um conjunto de bits.

No caso do 16 QAM, apresentam-se 16 símbolos, sendo 4 em cada quadrante do diagrama, o que significa que cada símbolo representa 4 bits. Como também, no modo 64 QAM, apresentam-se 64 símbolos, cada um representando 6 bits. Na Figura 10 mostra o 16 QAM e 64 QAM respectivamente.

Figura 10 - Modulação QAM



Fonte: (TELECO)

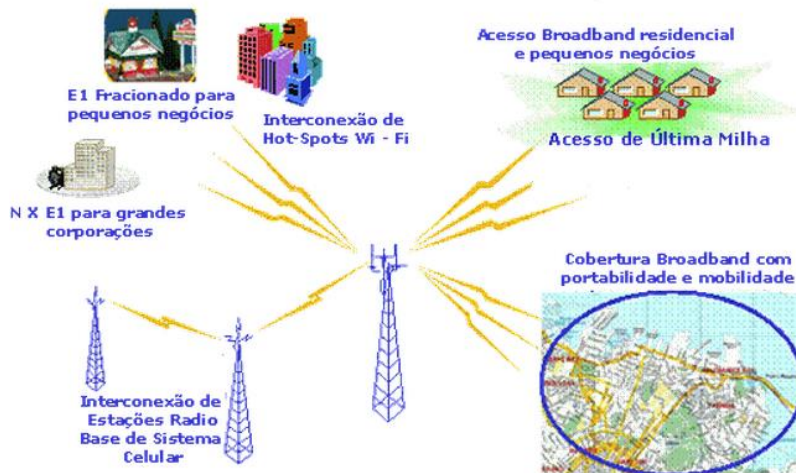
4.3 WIMAX

O WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) ainda é pouco conhecido no mercado comparado ao LTE e foi desenvolvida para oferecer acesso à banda larga a distâncias típicas de 6 a 9 km com custo reduzido para os assinantes. O padrão 802.16 é também conhecido como interface aérea da IEEE para Wireless MAN (*Metropolitan Area Network*), ou seja, da rede metropolitana sem fios.

O WiMAX Fórum é uma organização sem fins lucrativos, formada por empresas fabricantes de equipamentos e de componentes, tem como objetivo promover em larga escala a utilização de redes ponto-multiponto, operando em frequências entre 2 GHz e 11 GHz garantindo a compatibilidade e interoperabilidade dos equipamentos que adotarem este padrão.

Esta tecnologia facilita o desenvolvimento de uma série de aplicações *Wireless Broadband* como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Aplicações da tecnologia WiMAX



Fonte: (WiMAX Fórum)

O WiMAX utiliza principalmente as técnicas OFDM e OFDMA, otimizado para mobilidade, suporta *handoffs* entre células e roaming similarmente ao 4G.

4.4 WIMAX ADVANCED

O padrão WiMAX (IEEE 802.16e) oferece taxas de dados de 128Mbps para *downlink* e 56Mbps para *uplink* sobre canais de 20MHz de largura, enquanto o novo padrão de desenvolvimento, 4G *Wimax-Advanced* (802.16m) tem como alvo os requisitos para ser totalmente 4G usando 64 QAM, BPSK e tecnologias MIMO para alcançar a taxa de 1Gbps. Prevê-se que em uma implementação real, usando 4X2 MIMO em uma aplicação microcélula urbana usando um canal de 20 MHz TDD, o sistema 4G *Wimax-Advanced* será capaz de suportar 120Mbps de *downlink* e 60Mbps de *uplink* por local simultaneamente. Aplicações WiMAX já estão em uso em muitos países no mundo, mas uma pesquisa em 2010 apresentou resultados que mostraram que apenas pouco mais de 350 instalações estavam realmente em uso.

O WiMAX Forum divulgou em 2012 que o WiMAX Advanced, que aproveita as capacidades de rede de WiMAX all-IP de banda larga de dados para permitir que os operadores destes possam acessar um ecossistema mais amplo de dispositivos e tecnologias de acesso via rádio para operar mais facilmente dentro de uma rede de acesso de ambiente multirádio. WiMAX Advanced permite uma flexibilidade de operações dando suporte às tecnologias de

acesso à banda larga sem fio e dispositivos adicionais para além do WiMAX *Release 1* e *Release 2.0*.

5 COMUNICAÇÃO MÓVEL NO BRASIL

Em 1984 iniciou-se estudos e análise sobre sistemas de tecnologia celular no Brasil. Definiu-se então o padrão norte americano, o AMPS, para ser o modelo introduzido.

No começo dos anos 90, o Rio de Janeiro tornou-se a primeira cidade brasileira a usar a telefonia celular móvel. Em seguida foi criada os sistemas da Telebrasil em 1991 e Telefonia Móvel Celular (São Paulo) em 1993.

Em 1997 começa a operar o primeiro serviço celular. Com a abertura do mercado da telefonia móvel, o espectro de frequências foi dividido primeiramente em duas Bandas: Banda A (825,03 – 834,99 MHz, canais de 1 a 333) e Banda B (835,02 – 844,98 MHz, canais de 334 a 666). E ambas possuem também faixa expandida, para a Banda A, varia de 824,04 a 825,00 MHz, e para a Banda B, de 991 a 1023.

Neste mesmo ano foi definido um modelo para as telecomunicações e telefonia celular regulamentada como Serviço Móvel Celular (SMC). A Figura 12 apresenta as dez regiões definidas para a prestação do SMC.

Figura 12 - Regiões definidas pelo SMC



Fonte: (TELECO, 2002)

As operadoras de SMC da Banda A foram separadas das operadoras de telefonia fixa e depois privatizadas e houve a passagem da operadora do Rio de Janeiro (Telerj Celular) para a Banda A que inicialmente utilizava a Banda B.

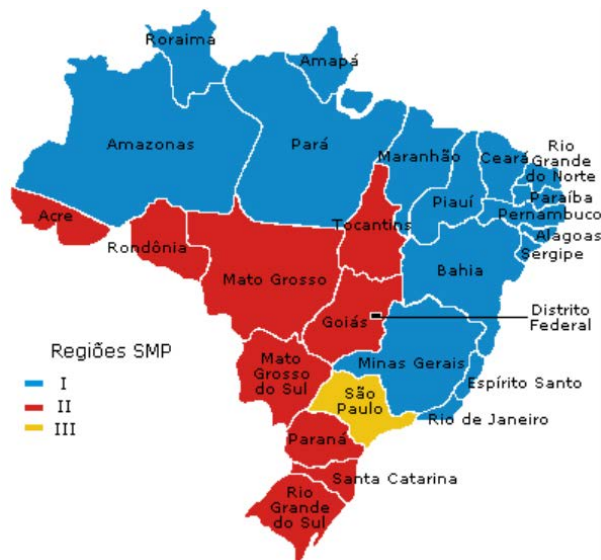
As licenças da Banda B foram licitadas e as operadoras entraram em operação em 1998 e com exceção da Global TELECOM (região 5), implantaram sistemas com tecnologia TDMA.

As operadoras da Banda A privatizadas migraram para o CDMA nas regiões 1, 2, 3 e 9 (Portugal Telecom e Telefônica Celular) e para TDMA nas outras regiões.

Em 2001, a Anatel criou um novo serviço chamado de Serviço Móvel Pessoal (SMP) como substituto do SMC. Assim, todas operadoras migraram para este novo serviço devido a possibilidade de transferência de controle. E sem a migração, as empresas SMC só poderiam alterar o capital de controle após 5 anos.

Assim foram definidas novas áreas de prestação de serviço para o SMP de modo a compatibilizar com o Serviço telefônico fixo comutado (STFC) como ilustra a Figura 13.

Figura 13 - Regiões definidas pelo SMP



Fonte: (TELECO, 2002)

O serviço de telefonia móvel está disponível ao consumidor dos grandes centros urbanos desde 1990, mas foi a partir de 1998 que a telefonia celular passou a crescer de maneira vigorosa, tendo outro ponto de inflexão em 2003 com a entrada de novos concorrentes no mercado.

O principal padrão utilizado na segunda geração no Brasil foi o GSM que ocupava bandas D e E e subfaixas de extensão (1700 e 1800 MHz). E as frequências de 1900 e 2100 MHz foram destinadas na sua maior parte para os sistemas 3G e sua principal tecnologia empregada é o WCDMA. E atualmente a rede 3G é a mais difundida pelo país, consta com 80,72 milhões de acesso via aparelhos 3G (WCDMA).

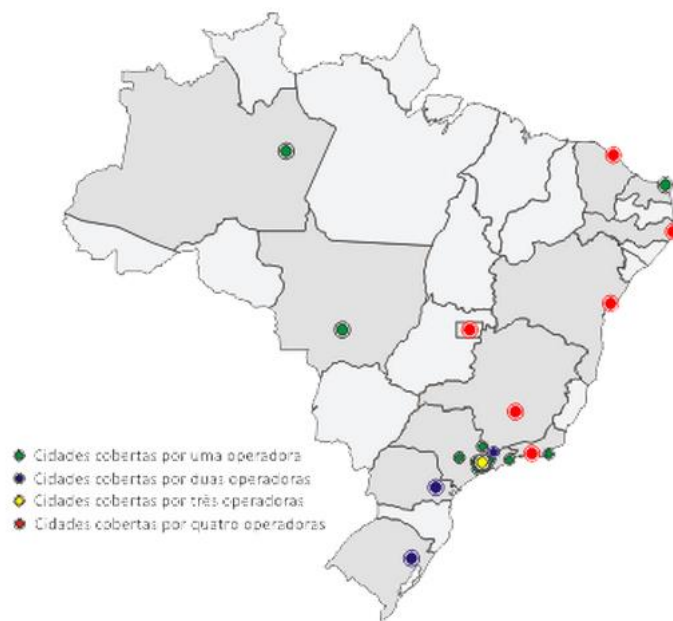
A quarta geração (4G) da comunicação móvel no Brasil ainda é muito recente porém o padrão adotado é o LTE por todas as operadoras.

A ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) realizou em 2012 uma licitação de frequências em 2500 MHz para a implementação das redes 4G. As empresas que adquiriram estas frequências foram a Vivo, Tim, Claro, Oi Sky e Sunrise.

5.1 COBERTURA INICIAL DE REDES 4G NO BRASIL

A operadora Vivo, atualmente, é líder em cobertura 4G com 64 municípios cobertos e 28,3 % da população atendida. A Figura 14 representa o mapa nacional da cobertura 4G das principais operadoras.

Figura 14 - Cobertura 4G no Brasil



Fonte: (TELECO,2013)

5.2 FREQUÊNCIAS 4G NO BRASIL

A melhor faixa de frequência para a implementação do 4G é a de 700 MHz, que será liberada com o fim da transição da TV aberta analógica para a TV aberta digital que provavelmente irá ocorrer em 2016.

O MINICOM (Ministério das Comunicações) publicou um documento em Fevereiro de 2013 que estabelece diretrizes para a aceleração do processo da transição da TV aberta analógica para a TV aberta digital e determina que a Anatel inicie os estudos para disponibilizar a faixa de 698 MHz a 806 MHz para o 4G. Ainda a Anatel divulgou neste mesmo mês um regulamento sobre a nova destinação da faixa de 700 MHz onde ela recomenda a adoção do plano de banda da APT (Ásia-Pacífico) que permitiu o uso de 90 MHz (45 + 45 MHz) de espectro.

Enquanto a liberação desta faixa de frequência não acontece, destinou-se a faixa de frequências de 2500 MHz a 2690 MHz. As faixas de frequências entre 2500-2570 e 2620-2690 MHz (Subfaixas P, W, V e X) foram destinadas para a operação FDD (canais separados para a transmissão e recepção que está entre 2570 e 2620 MHz. Já as subfaixas T e U para operação TDD (utilizam a mesma subfaixa de frequência para transmissão e recepção dos sinais) o que se observa na Tabela V abaixo.

Tabela V - Faixas de frequências utilizadas para cada Operadora

Subfaixa (MHz)	Largura de Banda (MHz)	Transmissão da		Operadora
		Estação Móvel	Estação Rádio-Base	
P	10+10	2500-2510	2620-2630	Claro/Tim/Oi
W	20+20	2510-2530	2630-2650	Claro
V1	10+10	2530-2540	2650-2660	Tim
V2	10+10	2540-2550	2660-2670	Oi
X	20+20	2550-2570	2670-2690	Vivo
T	15	2570-2585		-
U	35	2585-2620		Sky/Sunrise

Fonte: (TELECO, 2013)

6 CONCLUSÃO

Nos últimos anos observou-se um crescimento elevadíssimo no mercado de aparelhos celulares e inovações nas tecnologias para as redes de comunicações móveis. Com isto, as demandas dos usuários alavancaram pesquisas para melhorar o desempenho dos sistemas de comunicação móvel já existentes e desenvolvimento de novas técnicas visando sempre a aumentar a taxa de transmissão de dados e conexão mundial.

A primeira geração (1G) foi caracterizada somente pelas chamadas de voz. Na segunda geração (2G), implementou-se uma maior capacidade de transmissão de dados com a vinda também da mensagem de texto, porém a segurança da informação ainda não era completa.

Os assinantes que usam recursos das operadoras, sejam elas ao acesso à internet, chamadas ou comunicação em geral ainda se encontram em maior parte na rede 3G.

A rede 4G já existe há alguns anos na maioria dos países do mundo, principalmente com o padrão LTE que promete vários avanços quando comparados com as gerações anteriores.

Com o LTE, podem ser oferecidos serviços de banda larga móvel de elevado desempenho (chamadas, mensagens, acesso à internet com alta qualidade e velocidade de navegação e videoconferências), por meio de uma combinação de elevadas taxas de transferência de dados, tanto no *uplink* como no *downlink*.

Ao analisar com cuidado as técnicas apresentadas na escala evolutiva, observou-se a preocupação com dois aspectos complementares: o aumento da eficiência espectral a partir de técnicas de modulação de alta complexidade, como o 128 QAM e a utilização de técnicas de acesso como o OFDMA, e por outro lado a tentativa de melhorar a transmissão de dados assegurando a qualidade e a segurança com a adoção de técnicas como o MIMO, a diversidade de recepção, o cancelamento sucessivo de interferência e técnicas de múltiplas antenas. Com o aumento de ordem da modulação, tende-se a aumentar a vulnerabilidade do receptor no caso de ocorrência de interferências, porém isto é compensado pelo uso do FDMA. Já o MIMO tenta minimizar o efeito da interferência percebida, viabilizando o uso mais eficiente do espectro de frequência.

A infra-estrutura LTE é projetada para ser a mais simples possível de implementar e operar, por meio de tecnologia flexível que pode utilizar várias faixas de frequência. O LTE oferece larguras de banda escalonáveis, de menos de 5MHz a 20MHz, com suporte a espectros de FDD e TDD. A arquitetura LTE reduz o número de nós, suporta configurações flexíveis de

rede e fornece um alto nível de disponibilidade de serviço. Além disso, tem interoperabilidade com GSM, WCDMA e CDMA.

Outra tecnologia que divide o mercado com o LTE mas não é muito conhecida e que foi desenvolvida pela IEEE foi o WiMAX. Seu sistema se assemelha a um “*wifi*” porém com o alcance muito maior e utiliza-se da tecnologia OFDMA como o LTE.

Essas duas tecnologias serviram como base para a vinda do LTE-Advanced e WiMAX-Advanced que prometem taxas de transmissão de dados ainda maiores com um maior uso eficiente do espectro através de técnicas como o CA (*Carrier Aggregation*) e uma união de tecnologias como MIMO e modulação QAM juntamente com alta tecnologia e estudos sobre a transmissão e recepção de antenas.

REFERÊNCIAS

COX, CHRISTOPHER. **Essentials of UMTS**: Cambridge wireless essentials series. Cambridge University Press, 2008.

STÜBER, G. L. **Principles of mobile communication**. 3.ed Springer, 2011, p. 3-10.

HOLMA, H.; TOSKALA A. **LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA based radio access**. John Wiley & Sons, Ltd, 2009, p. 67-80.

SESA, S.; TOUFIK, I.; NAKER, M. **LTE: the UMTS long term evolution from theory to practice**. 2.ed Wiley, 2011, p. 1-20 e p. 123-137.

KORHONEN, J. **introduction to: 3G mobile communications**. 2.ed Artech House, 2003, p. 1-24.

ULBRICH, H. J. G. **Formação e ocupação de bandas para telefonia celular**. Jul. 2006. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialbandcel/default.asp>> Acesso em: 10 set. 2013.

GOES, A. **Aplicação de modelos de propagação**. Jul. 2008. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/DVD/PDF/tutorialredes4g.pdf>> Acesso em 18 set. 2013.

ITU. **All about the technology**. Abr. 2011. Disponível em: <[http://www.itu.int/osg/spu/ni/3G/technology/#Cellular Standards for 1G and 2G](http://www.itu.int/osg/spu/ni/3G/technology/#Cellular_Standards_for_1G_and_2G)> Acesso em 19 set. 2013.

ALMEIDA, M. A. F. R. **Introdução ao LTE – long term evolution**. Nov. 2013. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/default.asp>> Acesso em 15 nov. 2013.

4G AMÉRICAS. **LTE-advanced**. Set. 2012. Disponível em: <<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=352>> Acesso em 16 nov. 2013.

ROHDE&SCHWARZ. **LTE-advanced carrier aggregation**. Disponível em: <http://www.rohde-schwarz.com/en/solutions/wireless-communications/lte/in-focus/lte_advanced_carrier_aggregation_73018.html> Acesso em 12 nov. 2013.

TUDE, E.; SOUZA, J. L. **Telefonia celular no Brasil**. Dez. 2002. Disponível em:
<<http://www.teleco.com.br/pdfs/tutorialcelb.pdf>> Acesso em 5 out. 2013.

MOBILECOMMS. **CDMA IS-95 (code division multiple access)**. Disponível em:
<http://www.mobilecomms-technology.com/projects/cdma_is95/> Acesso em 10 out. 2013.

TELEBRASIL. **Consulta à base de dados**. Disponível em:
<<http://www.telebrasil.org.br/panorama-do-setor/consulta-a-base-de-dados>> Acesso em 28 out. 2013.

PARKVALL, S.; DAHLMAN, E.; FURUSKÄR, A.; JADING, Y.; OLSSON, M.; WÄNSTEDT, S.; ZANGI, K. **LTE-advanced – evolving LTE towards IMT-advanced**. Ericsson Research. Disponível em: <<http://tech-books-pdf.googlecode.com/git/LTE/lte1.pdf>> Acesso em 15 nov. 2013.

FRENZEL, L. **Electronic design: fundamentals of communications access technologies: FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA, AND SDMA**. Jan. 2013. Disponível em:
<<http://electronicdesign.com/communications/fundamentals-communications-access-technologies-fdma-tdma-cdma-ofdma-and-sdma>> Acesso em 13 out. 2013.

MOTOROLA. **TDMA technology: bringing increased capacity and functionality to professional digital two-way radio**. Disponível em:
<http://www.motorolasolutions.com/web/Business/_Documents/static%20files/Why%20Digital%20White%20Paper%205%2008.pdf> Acesso em 28 ago. 2013.

CISCO. **Wimax**. Disponível em:
<http://www.cisco.com/web/BR/solucoes/sp/mobile_internet/wimax.html#~overview> Acesso em 18 nov. 2013.

XAVIER, J.; MUZZI, M.; CAMARGO, E.; CAETANO, R.; MATOS, F. **Estudo da evolução da telefonia móvel no Brasil**. Disponível em:
<http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2006/inic/inic/07/INIC0000860.ok.pdf> Acesso em 3 nov. 2013.

ALVES, G. S.; PAVAN, W.; FERNANDES, J. M. **Estrutura da rede celular: um meio de acesso à web**. Out. 2003. Disponível em: <<http://arquivo.ulbra-to.br/ensino/43020/artigos/anais2003/anais/estruturaredecelular-enconfo2003.pdf>> Acesso em 29 ago 2013.

QUALCOMM. **What MIMO delivers**. Disponível em:
<<http://airgo.sevendesign.com/mimo/delivers/>> Acesso em 8 nov. 2013.

4GAMERICA. **GPRS:** general packet radio service. Disponível em:
<<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=243>> Acesso em 6 out.
2013.