



Faculdade de Tecnologia de Americana

Faculdade de Tecnologia de Americana
Curso de Segurança da Informação

Rede 4G - Implementação

Rubens Jose Alves de Brito

Americana, SP

2011

Rede 4G - Implementação

Rubens Jose Alves de Brito

rubensj.brito@ig.com.br

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido em cumprimento à exigência curricular do Curso de Análise de Sistemas e Tecnologia da Informação - ASTI: Habilitação em Segurança de Redes da Faculdade de Tecnologia de Americana, sob orientação do Prof. Irineu Ambrozano Filho.

Americana, SP

2011

**FICHA CATALOGRÁFICA elaborada pela
BIBLIOTECA – FATEC Americana – CEETPS**

B877r

**Brito, Rubens José Alves de
Rede 4G: implementação / Rubens José Alves de Brito. –
Americana: 2011.
64f.**

**Monografia (Graduação em Análise de Sistemas e
Tecnologia da Informação). - - Faculdade de Tecnologia
de Americana – Centro Estadual de Educação
Tecnológica Paula Souza.**

Orientador: Prof. Irineu Ambrozano Filho

**1. Telecomunicações I. Ambrozano Filho, Irineu II.
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza –
Faculdade de Tecnologia de Americana.**

CDU: 621.39

Bibliotecária responsável Ana Valquiria Niaradi – CRB-8 região 6203

BANCA EXAMINADORA

Prof. Irineu Ambrozano Filho (Orientador)

Prof. Antônio Alfredo Lacerda (Presidente da Banca)

Prof. Rogério Nunes de Freitas (Convidado)

"Se eu pudesse fazer com que uma corrente elétrica variasse de intensidade da mesma forma que o ar varia ao se emitir um som, eu poderia transmitir a palavra telegraficamente".

(Alexander Graham Bell)

Agradecimentos

Acima de tudo agradeço a Deus, que me deu forças para perseverar nas mais diversas dificuldades, nos momentos mais difíceis, onde desistir parecia sempre ser a saída mais aceitável. Agradeço a minha família que esteve ao meu lado durante toda a trajetória traçada até aqui, a todos os incríveis professores e mestres que me ensinaram não só as questões técnicas de uma profissão, mas que também compartilharam de ensinamentos de vida, os quais levarei comigo no desenvolvimento de minha carreira. Agradeço ao meu orientador, Prof. Irineu que, apesar de todas as dificuldades, sempre esteve pronto para ajudar e direcionar no caminho correto para a conclusão deste projeto.

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa Josiane, minha filha Camila e ao meu filho Daniel, os quais durante todo este tempo tiveram muita paciência e sempre me incentivaram a finalizar esta etapa. Dedico este trabalho também aos meus pais que desde muito cedo sempre me apoiaram e me deram as condições necessárias para que eu pudesse estudar, os quais também fazem parte deste momento, pois me conduziram e me deram o exemplo de caráter e cidadania.

Resumo

O presente texto apresenta as tecnologias envolvidas no desenvolvimento do sistema 4G (Quarta Geração) bem como os desafios a serem superados para que a implementação de tal sistema seja viável e acessível tanto do ponto de vista dos consumidores finais quanto das corporações que englobam as operadoras do sistema de comunicação móvel.

Palavras Chave: Quarta Geração; Sistema Global de Comunicação; Mobilidade.

Abstract

This text presents the technologies involved in system development 4G (Fourth Generation) as well as the challenges to be overcome for implementing such a system which should be feasible and accessible both from the standpoint of final consumers and corporations that include operators of mobile communication system.

Keywords: Fourth Generation, Global System for Mobile Communications, Mobility.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

<i>Figura 1 – Motorola Dynatec 8000x</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2 – configuração básica do hardware de um aparelho celular</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3 – Diagrama de uma rede de telefonia celular.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4 – Espectro do FDMA</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5 – Evolução das Tecnologias de Telefonia Celular</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6 – Espectro do TDMA.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7 – Diagrama em Bloco para Tecnologia CDMA.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8 – Rede GSM</i>	<i>31</i>
<i>Figura 9 – Rede 1x EVDO.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 10 – Arquitetura Rede UMTS.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 11 – Esquema de funcionamento do OFDM</i>	<i>45</i>
<i>Figura 12 – Arquitetura básica rede WiMAX</i>	<i>49</i>
<i>Figura 13 – Arquitetura com suporte à conexão LTE.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 1 – Distribuição do Espectro de Freqüência no AMPS.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 2 – Exemplos da implementação 4G nas diversas áreas.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 3 – Faixas de Freqüência FDD.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 4 – Faixas de Freqüência TDD.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 5 – Comparativo LTE - WiMAX</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 6 – Eficiência Espectral da célula.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 7 – Eficiência Espectral na borda da célula.....</i>	<i>57</i>

ABREVIATURAS E SIGLAS

1G	<i>first Generation</i>
2G	<i>second generation</i>
3G	<i>third generation</i>
4G	<i>fourth generation</i>
AAA	<i>authentication authorization and accounting</i>
AES	<i>advanced encryption standard</i>
AMPS	<i>advanced mobile phone system</i>
AP	<i>access point</i>
ASN	<i>access service network</i>
AUC	<i>authentication centre</i>
BER	<i>bit error rate</i>
BS	<i>base station</i>
BSC	<i>base station controller</i>
BSC	<i>base station subsystem</i>
BTS	<i>base transceiver station</i>
BU	<i>binding update</i>
CA	<i>certification authority</i>
CDMA	<i>code division multiple access</i>
CN	<i>core network</i>
CRL	<i>certificate revocation list</i>
CS	<i>circuit switching</i>
CSMA	<i>collision sensing multiple access</i>
CSN	<i>connectivity service network</i>
CTS	<i>clear to send</i>
DCA	<i>dynamic channel allocation</i>
DHCP	<i>dynamic host configuration protocol</i>
DSSS	<i>direct sequence spread spectrum</i>
DSSS	<i>direct sequence spread spectrum</i>
EIR	<i>equipment identity register</i>
ESP	<i>encapsulating security payload</i>
ESSID	<i>extended service set identifier</i>

<i>FCA</i>	<i>fixed channel allocation</i>
<i>FDD</i>	<i>frequency division duplex</i>
<i>FDM</i>	<i>frequency division multiplexing</i>
<i>FDMA</i>	<i>frequency division multiple access</i>
<i>FER</i>	<i>frame error rate</i>
<i>FTP</i>	<i>file transfer protocol</i>
<i>GGSN</i>	<i>gateway GPRS support node</i>
<i>GPRS</i>	<i>general packet radio service</i>
<i>GSM</i>	<i>global system for mobile communications</i>
<i>GSN</i>	<i>GPRS support nodes</i>
<i>HA</i>	<i>home agent</i>
<i>HAN</i>	<i>home access network</i>
<i>HARQ</i>	<i>hybrid automatic request</i>
<i>HLR</i>	<i>home location register</i>
<i>HSDPA</i>	<i>high speed downlink packet access</i>
<i>IEEE</i>	<i>institute of electrical and electronics engineers</i>
<i>IETF</i>	<i>Internet engineering task force</i>
<i>IMEI</i>	<i>international mobile equipment identity</i>
<i>IMT-2000</i>	<i>international mobile telecommunications-2000</i>
<i>IMT-A</i>	<i>international mobile telecommunications-Advanced</i>
<i>IP</i>	<i>Internet protocol</i>
<i>IPsec</i>	<i>IP security</i>
<i>ISDN</i>	<i>integrated services digital network</i>
<i>ISP</i>	<i>Internet service provider</i>
<i>ITU</i>	<i>international telecommunications union</i>
<i>LTE</i>	<i>Long Term Evolution</i>
<i>LMID</i>	<i>local mobile identifier</i>
<i>MAC</i>	<i>medium access control</i>
<i>MIMO</i>	<i>multiple-input-multiple-output</i>
<i>MS</i>	<i>mobile station</i>
<i>MSC</i>	<i>mobile switching centre</i>
<i>MUD</i>	<i>multi user detection</i>
<i>NDS</i>	<i>network domain security</i>
<i>NSS</i>	<i>network and switching subsystem</i>

<i>OFDM</i>	<i>orthogonal frequency division multiplexing</i>
<i>PIN</i>	<i>personal identification number</i>
<i>PKI</i>	<i>public Key Infrastructure</i>
<i>PLMN</i>	<i>public land mobile network</i>
<i>PN</i>	<i>pseudo random noise</i>
<i>PS</i>	<i>packet switching</i>
<i>PSTN</i>	<i>public switched telephone network</i>
<i>PTP</i>	<i>point-to-point</i>
<i>QAM</i>	<i>quadrature amplitude modulation</i>
<i>QoS</i>	<i>quality of service</i>
<i>QPSK</i>	<i>quadrature phase shift keying</i>
<i>RAN</i>	<i>radio access network</i>
<i>RF</i>	<i>radio frequency</i>
<i>RIR</i>	<i>regional Internet registry</i>
<i>RNC</i>	<i>radio network controller</i>
<i>RSN</i>	<i>robust security network</i>
<i>RSS</i>	<i>received signal strength</i>
<i>RTS</i>	<i>request to send RWM</i>
<i>SDMA</i>	<i>space division multiple access</i>
<i>SGSN</i>	<i>service GPRS support node</i>
<i>SIM</i>	<i>subscriber identity module</i>
<i>SIR</i>	<i>signal interference ratio</i>
<i>SMS</i>	<i>short message services</i>
<i>TCP</i>	<i>transport control protocol</i>
<i>TDD</i>	<i>time division duplex</i>
<i>TDMA</i>	<i>time division multiple access</i>
<i>TLS</i>	<i>transport layer socket</i>
<i>UMS</i>	<i>universal mobile station</i>
<i>UMTS</i>	<i>universal mobile telecommunications system</i>
<i>USIM</i>	<i>universal subscriber identity module</i>
<i>UTRAN</i>	<i>UMTS terrestrial radio access network</i>
<i>VLR</i>	<i>visitor location register</i>
<i>W-CDMA</i>	<i>wideband-code division multiple access</i>
<i>WEP</i>	<i>wireless encryption protocol</i>

<i>Wifi</i>	<i>wireless fidelity</i>
<i>WiMax</i>	<i>worldwide interoperability for microwave access</i>
<i>WLAN</i>	<i>wireless local area network</i>
<i>WMAN</i>	<i>wireless metropolitan area network</i>
<i>WPAN</i>	<i>wireless personal area network</i>
<i>WWAN</i>	<i>wireless wide area network</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	15
2.1. TELEFONIA CELULAR	17
2.1.1. COMPONENTES DE UM TELEFONE CELULAR	18
2.1.2. COMPONENTES DE UMA REDE DE TELEFONIA CELULAR	20
2.1.3. TECNOLOGIAS UTILIZADAS NA TELEFONIA CELULAR	22
2.1.3.1. 1º GERAÇÃO – AMPS	23
2.1.3.2. 2º GERAÇÃO – TDMA	26
2.1.3.3. 2º GERAÇÃO – CDMA	28
2.1.3.4. 2º GERAÇÃO – GSM	30
2.1.3.5. 3º GERAÇÃO – EVDO	34
2.1.3.6. 3º GERAÇÃO – UMTS	36
3. REDE CELULAR DE 4º GERAÇÃO	39
3.1. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO SISTEMA	42
3.2. VANTAGENS DA TECNOLOGIA 4G SOBRE A TECNOLOGIA 3G	43
3.3. TECNOLOGIA OFDM DE ACESSO VIA RADIO	44
3.4. DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO	45
3.4.1. CONVERGÊNCIA DE TECNOLOGIAS	47
3.4.1.1. WIMAX	48
3.4.1.2. LONG TERM EVOLUTION (LTE)	51
3.4.1.3. COMPARATIVO ENTRE WIMAX E O LTE	54
3.4.2. EFICIÊNCIA ESPECTRAL	55
3.4.3. BAIXA LATÊNCIA	57
3.4.4. GERENCIAMENTO DO QUALITY OF SERVICE (QOS)	57
3.4.5. HANDOFF	58
3.5. SEGURANÇA DO AMBIENTE	58
4. CONCLUSÃO	62
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de comunicação celular de primeira geração nasceram no final do século XX com a finalidade de proporcionar uma comunicação mais ágil e que estivesse disponível ao usuário independente de sua localização. Os primeiros aparelhos desenvolvidos eram grandes e com baixa autonomia de bateria, devido à tecnologia empregada no desenvolvimento tanto dos sistemas de comunicação, quanto do próprio aparelho. As tecnologias de primeira geração não puderam suportar a crescente demanda e aumento no número de usuários, ocasionado pelo grande sucesso deste novo meio de comunicação. Começaram a ser desenvolvidos então, sistemas que pudessem acomodar um número maior de usuários de forma a atender a procura por este serviço. Surgiram então as tecnologias de segunda geração e posteriormente as tecnologias de terceira geração que trouxeram um ganho na capacidade do sistema, tanto em número de usuários quanto nas taxas de transmissão de dados. Os sistemas de quarta geração tem sido desenvolvidos para fornecer aos usuários uma experiência única no que diz respeito a comunicação sem fio, onde procura-se integrar os diversos sistemas, padrões e tecnologias, de forma que o usuário possa ter serviços tanto de voz quanto de dados a uma velocidade relativamente alta tanto em ambientes indoor quanto ambientes outdoor em qualquer lugar do planeta.

Este trabalho acadêmico tem como objetivo demonstrar:

- A evolução da rede de comunicação sem fio via radio frequência (celular);
- Os principais elementos do sistema de comunicação celular;
- Os desafios e as barreiras a serem superados para a implementação do sistema de comunicação de 4^o geração (4G).

No capítulo 2 é possível ter uma compreensão das diversas tecnologias empregadas no desenvolvimento dos sistemas de comunicação sem fio de acesso via radio frequência, largamente empregados nas telecomunicações móveis. O capítulo 2 também apresenta uma breve história do surgimento e evolução dos meios de comunicação. Neste capítulo também é mostrado a evolução dos sistemas de comunicação móvel, começando pelo sistema de comunicação de primeira geração e finalizando o capítulo com a descrição dos sistema de comunicação de terceira geração.

O capítulo 3 trata especificamente do sistema de comunicação de quarta geração incluindo as tecnologias que estão sendo empregadas no desenvolvimento deste sistema, bem como as características e requerimentos que tais tecnologias devem atender para que possam ser consideradas capazes de serem incorporadas ao sistema 4G.

Neste trabalho acadêmico são abordadas também as principais contribuições que o sistema 4G poderá trazer a vida de cada um de nós, assim como os esforços empregados para que a transição de tecnologias seja feita de forma a minimizar os impactos em investimentos por parte das corporações de operadoras de telefonia móvel.

2. EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

A comunicação por voz é o modo mais simples de comunicação. As pessoas também usam expressões faciais e linguagem corporal para se comunicar umas com as outras. Dentre os principais propósitos de um sistema de comunicação podemos destacar os seguintes: [5]

- Entregar o máximo de informação possível a partir da origem para o destino (capacidade do sistema). As Informações podem ser de diferentes tipos, tais como voz, vídeo ou dados produzidos por um computador.
- Fornecer informações em curto espaço de tempo (questões de atraso).
- Redução de erros na entrega de informação (detecção/correção de erros).

Os elementos básicos de um sistema de comunicação são:

- Transmissor;
- Receptor;
- Meio: Terrestre (ex: cabo coaxial, par trançado, fibra óptica,etc.) e *wireless* (ex: transmissão via radio frequência, ondas,etc.)

A expressão “Telecomunicação” vem das palavras “Tele” que é a palavra grega para “à distância” ou “muito longe”, e “Communicare” que em Latim quer dizer “fazer comum”, ou seja, telecomunicações é o processo de comunicação de longa distância. Nos primórdios das telecomunicações o homem utilizava-se de fumaça, bandeiras, tambores e outros métodos, para transmitir mensagens e informações de uma origem para um destino relativamente distante. [5]

O Primeiro meio de comunicação mais sofisticado que se tem notícia foi o telegrafo. Inventado em meados do século 19, ele abriu uma nova era nas

telecomunicações de longa distância. As letras do alfabeto foram codificadas em padrões de pulsos elétricos curtos ou longos. Esta técnica é conhecida como o código Morse. Os pulsos elétricos foram transmitidos através de linhas telegráficas. Para que esse tipo de comunicação seja realizado é necessário que, as duas partes conheçam o código, para que a mensagem possa ser decifrada bem como, uma conexão física real entre o transmissor e o receptor por fio (cabos).

No final do século 19 surge então o telefone, como resultado de muitos esforços e invenções para conseguir que a voz humana fosse transmitida através de longas distâncias. Um telefone é um dispositivo capaz de transmitir e receber ao mesmo tempo. Os dispositivos que possuem tal capacidade são também conhecidos como dispositivos duplex. Quando falamos pelo telefone, nossa voz é convertida em um sinal eletrônico por meio de um componente dentro do telefone conhecido como microfone. Este sinal é então transmitido através do cabo do telefone para então ganhar a rede pública de telefonia. [8]

Para um melhor aproveitamento dos meios físicos de interligação dos dispositivos de telecomunicação foi criado também no final do século 19 o *switch* ou comutador. *Switches* são dispositivos que fazem uma conexão entre aparelhos de transmissão e recepção. Os primeiros dispositivos de comutação eram operados manualmente. Hoje, muitos tipos diferentes de comutadores automáticos são utilizados, os quais tornam possível o estabelecimento rápido de chamadas. Uma conexão entre dois telefones fixos, por exemplo, em um país leva cerca de 1 segundo para ser completada.

Com a invenção do rádio, custos elevados devido ao cabeamento foram eliminados e a comunicação sem fio transoceânica se tornou possível. O rádio foi inventado por um cientista italiano chamado Marconi, em 1895. Na comunicação via rádio a informação é convertida em um sinal de forma de onda eletromagnética e é transmitida no espaço usando dispositivos de radiação conhecidos como antenas. O sinal radiado por uma antena pode ser de dois tipos: Analógico ou Digital. O sinal analógico, como voz, tem componentes de frequência e amplitude. Esses dois componentes definem as características do sinal. A voz de uma mulher, por exemplo, tem frequência mais alta se comparado com a voz de um homem. Já a amplitude do sinal poderá variar se estiver falando em um nível alto ou baixo. Um sistema de comunicação analógico utiliza uma transmissão contínua, que varia em frequência e amplitude. Um sinal digital é uma série de valores discretos. Em

sistemas digitais binário, existem apenas dois valores distintos, que geralmente são representados por "0" e "1". Cada 0 ou 1 é designado como um bit ou dígito. Um sistema de comunicação digital pode usar a transmissão descontínua que pode variar em frequência, amplitude, fase ou polaridade. Com o desenvolvimento da tecnologia digital os sinais analógicos podem ser digitalizados e processados cada vez mais rápidos usando-se máquinas digitais velozes, tais como microprocessadores (computadores). Essa nova capacidade oferece maior qualidade e métodos mais confiáveis para áudio, vídeo e transmissão de dados. [5]

2.1. Telefonia Celular

Ao contrário da telefonia tradicional, que exige conexões de fios entre os dispositivos, a transmissão de telefonia móvel utiliza o ar como meio de transmissão para os seus sinais.

A empresa americana Bell Company, em 1947, desenvolveu um sistema que permitia a utilização de telefonia móvel dentro de uma determinada área utilizando o conceito de células, ou áreas de cobertura, derivando deste, o nome celular. Ainda naquele ano, nos Estados Unidos, a AT&T e a Bell propuseram à FCC (Federal Communication Commission) a alocação de um número de frequência de radio especificamente para comunicação móvel, mas a FCC disponibilizou apenas poucas frequências, possibilitando que somente 23 pessoas se conectassem simultaneamente ao sistema de uma determinada área de cobertura. Isto, na época, tornou a tecnologia inviável comercialmente. [8]

Levou cerca de 20 anos para a FCC reconsiderar o número de frequências destinadas à telefonia móvel e aumentar esse número para suportar mais usuários.

A Bell, em 1973, já possuía um sistema de comunicação instalado em carros de polícia, mas foi a Motorola, naquele mesmo ano, a primeira a incorporar essa tecnologia a um dispositivo móvel de comunicação fora de um veículo, para uso pessoal. Contudo, em janeiro de 1979 o sistema foi realmente testado com 200 pessoas em Chicago.

Mas foi 10 anos depois, em 1983, que surgiu o primeiro celular aprovado pelo FCC, o DynaTAC 8000X, da Motorola - que junto com a empresa Ameritech iniciou o uso comercial da telefonia celular no Estados Unidos e no mundo. Nesse momento a

Motorola já havia investido cerca de US\$ 100 milhões em 15 anos de pesquisas em tecnologia móvel celular.



Figura 1 – Motorola Dynatec 8000x

Fonte: <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/359746>

Passados 20 anos do início da telefonia móvel comercial, o conceito do uso desses dispositivos mudou, hoje os consumidores procuram maneiras de reforçar seus estilos de vida. O celular tornou-se, neste contexto, uma extensão da personalidade do usuário, uma peça capaz de enriquecer relacionamentos, divertir, aumentar a produtividade e expressar individualidade. Isso significa comunicar, dividir, criar e divertir com voz, textos, imagens, músicas e vídeos. [8]

2.1.1. Componentes de um telefone celular

Desde a criação do primeiro aparelho celular comercial, o Motorola Dynatec 8000x, este meio de comunicação tem evoluído de maneira extraordinária e tem mudado a forma como as pessoas se comunicam e se relacionam nos dias de hoje. Porém, apesar desta evolução constante, os aparelhos celulares, de uma forma geral, apresentam uma configuração básica de hardware padrão, a qual pode ser observada na **figura 2** abaixo.

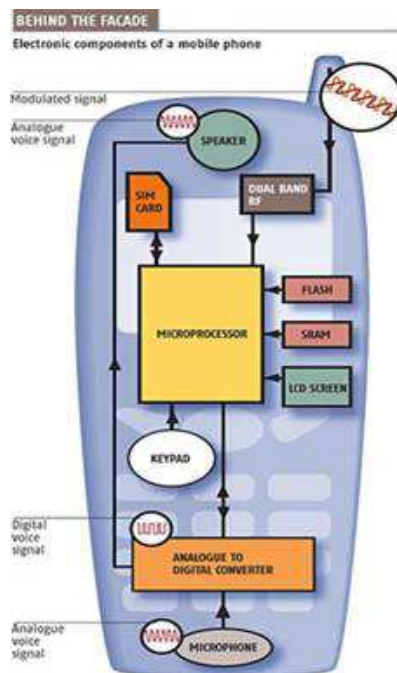


Figura 2 – configuração básica do hardware de um aparelho celular

Fonte: <http://electroschematics.com/wp-content/uploads/2010/03/Inside-the-Mobile.png>

Hoje em dia podemos encontrar no mercado inúmeras marcas e diversos modelos com as mais variadas funcionalidades. A quantidade de componentes em um aparelho celular esta diretamente ligada a complexidade das operações que o aparelho é capaz de executar. Na figura 2 é mostrado as partes mais comuns em um aparelho de comunicação que usa a tecnologia celular. Através da figura 2 podemos identificar as seguintes partes: [8]

- **Microprocessador:** o microprocessador controla todas as funções periféricas do aparelho como o teclado e o LCD (visor de cristal liquido), trata os comandos e os controles de sinalização com a antena da operadora, bem como coordena todas as outras funções do aparelho.
- **Memória FLASH:** é responsável por fornecer espaço de armazenamento de dados para o aparelho. Nesta memória são armazenados informações do sistema operacional do aparelho, bem como informações do usuário como agenda, contatos telefônicos, imagens entre outros dados.

- Memória SRAM: memória volátil de rápido acesso, responsável por fornecer ao microprocessador espaço de armazenamento para as inúmeras operações que este necessita executar.
- LCD Screen: visor ou display constituído na maioria dos casos por um tipo de cristal liquido. O LCD é a principal interface de saída de dados para o usuário.
- Keypad: teclado numérico ou alfanumérico que permite ao usuário fazer a entrada de dados no aparelho.
- Microfone: responsável por captar a voz do usuário transformando-a em pulsos elétricos.
- Speaker: responsável por converter pulsos elétricos em sinal sonoro audível pelo ouvido humano.
- Conversor Analógico/Digital: digitaliza o sinal elétrico proveniente do microfone para que o mesmo possa ser encaminhado ao microprocessador.
- Conversor Digital / Analógico: converte o sinal digital proveniente da saída do microprocessador em um sinal analógico para ser encaminhado ao speaker.
- Antena: responsável por captar o sinal proveniente da antena da operadora bem como irradiar o sinal do aparelho celular para o ar.

2.1.2. Componentes de uma rede de telefonia celular

A arquitetura da maioria dos sistemas celulares pode ser dividida nos seguintes componentes mostrados na **figura 3**: [5]

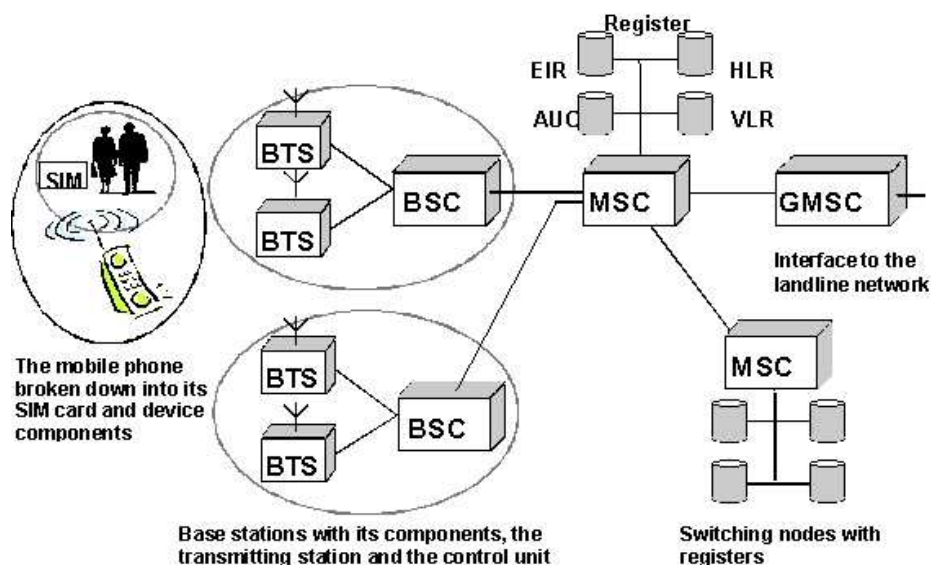


Figura 3 – Diagrama de uma rede de telefonia celular

Fonte: <https://www.bsi.bund.de/ContentBSI/EN/Publications>

- **Mobile Station (MS):** uma estação móvel é basicamente um dispositivo móvel ou sem fio que contém uma unidade de controle, um transceptor e uma antena para transmissão de dados e voz. [8]
- **Air Interface Standard:** existem três protocolos de interface de ar principal ou normas: acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA), acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA) e acesso múltiplo por divisão de código (CDMA). Estas normas são, basicamente, o controle de acesso ao meio (MAC), os quais nada mais são que protocolos que definem as regras de como as entidades podem acessar o meio de comunicação. Estes padrões de interface de ar permitem que varios usuários utilizem simultaneamente a quantidade finita de canais de radio.
- **Base Station (BS):** uma estação de base é uma estação fixa em um sistema móvel celular utilizado para comunicações de radio com unidades móveis. Elas consistem em canais de radio transmissor e receptor e antena montada em uma torre.
- **Bancos de dados:** outro componente integrante de um sistema celular é a base de dados. Há quatro principais bases de dados: o Home

Location Register (HLR), o Visitor Location Register (VLR), o Equipment Identify Register (EIR) e o Authentication Center (AuC). O HLR contém as informações de cada assinante que reside na mesma cidade onde se localiza o centro de comutação móvel (MSC). O VLR armazena temporariamente as informações de cada assinante que visita uma área de cobertura de uma MSC. O VLR é o banco de dados que suporta a capacidade do sistema em realizar o roaming. O EIR identifica telefones roubados ou fraudulentamente alterados que transmitem dados de identidade que não corresponde com as informações contidas tanto no HLR ou VLR. A AUC, por outro lado, gerencia a criptografia real e a verificação de cada assinante.

- Gateway: o gateway é a comunicação entre dois sistemas sem fio ou entre sistemas com e sem fio. Há dois componentes lógicos dentro do Gateway: o centro de comutação móvel (MSC) e a interworking function (IWF). O MSC conecta as estações de base celulares e as estações móveis à rede telefônica pública comutada (PSTN) ou GMSC. No MSC localiza-se os quatro tipos de banco de dados citados anteriormente. A IWF conecta as estações de base celulares e as estações móveis à Internet e realizar a conversão de protocolo, se necessário.
- Mecanismo de Segurança: o mecanismo de segurança é para confirmar que um determinado assinante tem permissão para acessar a rede e também para autenticar o faturamento.

2.1.3. Tecnologias utilizadas na telefonia celular

Com o desenvolvimento de aparelhos celulares cada vez dotados de mais recursos e, favorecido pelo aperfeiçoamento da nanotecnologia, o mercado para a telefonia celular foi ganhando espaço e tornando-se mais acessível aos mais diversos consumidores, pois os aparelhos móveis cada vez mais convergem em si

novos recursos conquistando novos adeptos, bem como perdem cada vez mais em peso e custo para o consumidor.

No início, quando da criação dos primeiros aparelhos móveis, a telefonia celular era algo elitizado onde somente as classes econômicas mais favorecidas tinham acesso a mesma. Naquele momento a infra-estrutura da telefonia celular utilizava-se da tecnologia que atendesse de forma satisfatória aquele cenário existente. Na medida em que o acesso a telefonia celular foi se popularizando novas tecnologias precisaram ser desenvolvidas de forma a aproveitar o meio existente (espectro de frequência) da melhor forma possível, para que o sistema de telefonia celular pudesse comportar a crescente demanda de novos usuários.[8]

Como já sabemos, sistemas de comunicação sem fio usam ondas eletromagnéticas para transmitir sinais através do ar. As operadoras do sistema de telefonia celular compram a matéria prima para que possam trabalhar com ela e assim, gerar lucro para seus investidores. [5] Neste caso, a matéria prima de que estamos falando é o espectro de frequência que cada operadora compra do órgão regulamentador em cada país.

Com a crescente demanda pelo serviço de telefonia celular, as operadoras se depararam com um problema para resolver. A interferência gerada no ar pelo crescente aumento de usuários tendo que compartilhar o mesmo meio físico.

As tecnologias desenvolvidas a partir de então e que serão apresentadas no decorrer deste trabalho buscam, em sua essência a solução para o problema da interferência gerada pelo crescimento do número de usuários, bem como fornecer soluções que maximizem o uso dos recursos disponíveis para cada operadora na sua faixa de frequência. A solução encontrada desde então para estes problemas foi a criação das técnicas de Múltiplo acesso.

2.1.3.1. 1º Geração – AMPS

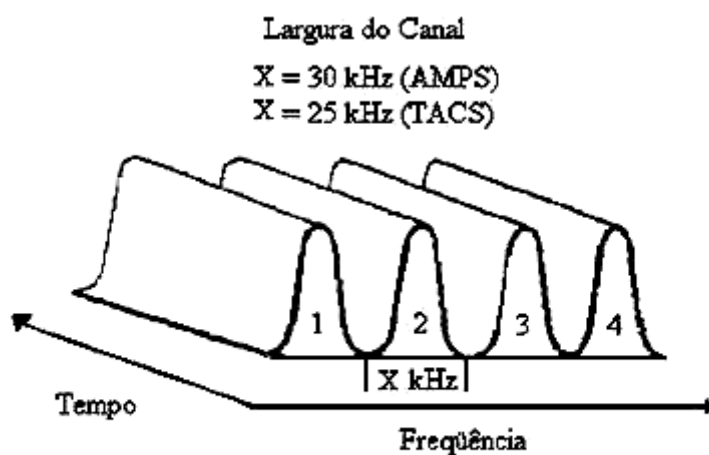
A primeira Geração de Sistemas Celulares, formada por sistemas analógicos, estabeleceu a estrutura e funcionalidades básicas associadas a estes sistemas como *roaming* e *handover* entre células. [5]

O AMPS (Advanced Mobile Phone System) desenvolvido pelo Bell Labs nos Estados Unidos (1979) entrou em operação naquele país em 1983 tornando-se o

sistema analógico dominante a nível mundial. Foi padronizado pela EIA-553 e serviu de base para os demais sistemas analógicos como o TACS no Reino Unido.

O AMPS foi padronizado para a frequência de 800 MHz alocada nos Estados Unidos para sistemas Celulares. [18]

O AMPS é um sistema que utiliza o múltiplo acesso por divisão de frequência (FDMA). A **figura 4** abaixo mostra o esquema de distribuição de frequência para um sistema FDMA.



1 Usuário por Canal de Banda Estreita

Figura 4 – Espectro do FDMA

Fonte: http://www.del.ufms.br/PCI_T1/G3/CDMATDMA.htm

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

A Banda do AMPS é dividida em canais de RF, onde cada canal consiste de um par de frequências (Transmissão e Recepção) com 30 kHz de banda cada. Cada Banda (A ou B) ocupa 12,5 MHz e é composta por 416 canais, sendo 21 canais de controle e os demais de voz. Os canais no AMPS utilizam modulação FM. No AMPS, um canal de voz é alocado e permanece dedicado a uma chamada durante toda a sua duração. [18] Na **tabela 1** abaixo é possível visualizar a forma como foi distribuída o espectro de frequência para a utilização no AMPS.

Tabela 1 – Distribuição do Espectro de Freqüência no AMPS.

Fonte: <http://www.teleco.com.br/tutoriais> Pagina 2

(Freqüências em MHz)	Banda A	Banda B	PCS 1900
Estação Móvel -> ERB	824-835 845-846,5	835-845 846,5-849	1850-1910
ERB -> Estação Móvel	869-880 890-891,5	880-890 891,5-894	1930-1990
Espaçamento entre Freqüências (Transmissão e Recepção)	45	45	80

O sistema AMPS utiliza geralmente um plano de freqüência com reuso de 7 por 21, ou seja, cada célula é dividida em três setores formando 21 grupos de freqüências (canais de voz do AMPS) reutilizados em cada grupo de 7 células. No AMPS cada uma destas freqüências (ou par) é utilizada por uma chamada. [5]

A possibilidade de roaming, ou seja, o assinante de um sistema celular continuar falando do seu terminal móvel em outro sistema, como visitante, foi implementada para sistemas AMPS através do protocolo IS-41. O IS-41, utilizado também por sistemas CDMA (IS-95), pode ser implementado tendo como base para transferência de dados o protocolo X.25 ou o SS7 (ANSI). [18]

No Brasil, a rede nacional de roaming, que possibilita o roaming automático entre celulares das Bandas A e B é baseada no protocolo IS-41. Quando os sistemas digitais de segunda geração (CDMA e TDMA) foram implantados, o AMPS passou ser utilizado como uma alternativa para complementar a cobertura destes sistemas, devido a sua extensa cobertura. Isto é possível pois os terminais móveis são duais TDMA/AMPS e CDMA/AMPS, podendo passar a operar automaticamente em AMPS quando o sistema digital não está disponível. No Brasil todas as operadoras de Banda A mantêm canais AMPS em toda a sua área de cobertura, de modo a garantir o roaming nacional para todos os assinantes. Assim, um assinante da Telefonica Celular (Vivo), que utiliza o CDMA, ao viajar para o Rio Grande do Sul utilizará o serviço no modo AMPS, pois as operadoras de Banda A e B naquele estado têm sistemas TDMA. Da mesma forma, um assinante de uma operadora de TDMA ao se dirigir a uma pequena cidade do interior de São Paulo, coberta apenas pela antiga Telesp Celular (padrão CDMA), terá que operar em modo AMPS. O roaming do TDMA ou do AMPS com sistemas GSM exigiria terminais **duais**, ou com três modos, e não está implementado no Brasil.

O AMPS foi o padrão dominante para os sistemas celulares no Brasil sendo hoje utilizado basicamente para roaming. Em dezembro de 2002 existiam ainda em operação no Brasil 800 mil terminais celulares AMPS. Os sistemas AMPS oferecem um número limitado de serviços além de voz. [18] Tendo em vista isso, inúmeras pesquisas foram desenvolvidas para que o sistema celular pudesse ser ampliado utilizando-se do recurso a ele determinado, ou seja, o espectro de frequência designado para operação em cada banda onde as operadoras possuem suas respectivas licenças para operar. Como resultado destas pesquisas surgiram então as tecnologias de 2º geração.

A **figura 5** abaixo mostra a evolução das tecnologias ao longo do tempo, distribuídas e organizadas de acordo com a geração a qual cada uma pertence respectivamente até a convergência das tecnologias para o LTE *Evolution*, considerada atualmente como padrão para o sistema de comunicação celular de 4º geração.

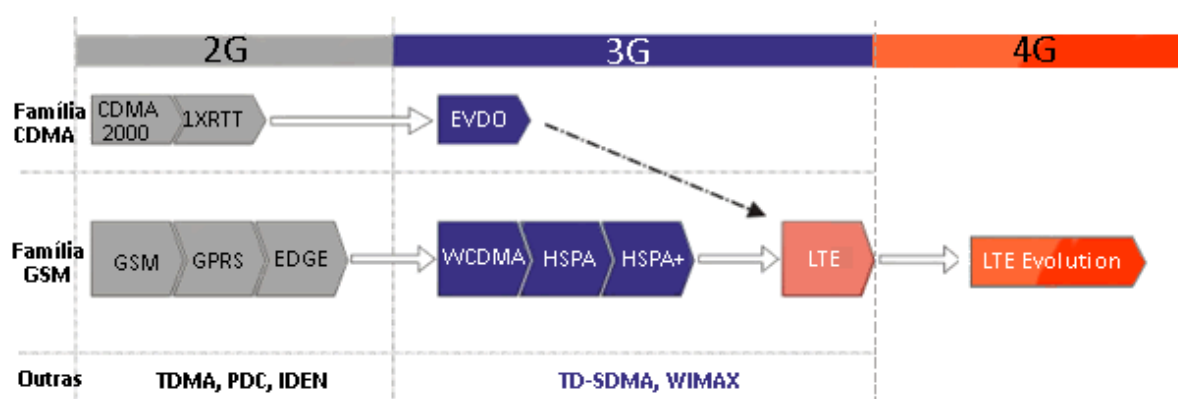


Figura 5 – Evolução das Tecnologias de Telefonia Celular

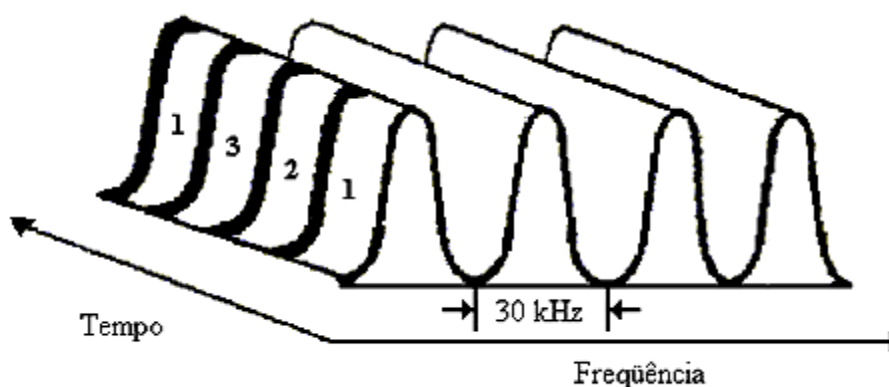
Fonte: <http://www.teleco.com.br/tecnocel.asp>

2.1.3.2. 2º Geração – TDMA

Uma solução de tecnologia Digital de Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA) surgiu como uma opção que mantinha compatibilidade com a arquitetura e canalização utilizada pelos sistemas AMPS, tendo sido inicialmente chamada de DAMPS ou Digital AMPS. O TDMA (IS-136) foi padronizado pela TIA (*Telecommunications Industry Association*). O TDMA (IS-136) mantém toda a estrutura de canalização do AMPS mas, permite que um canal seja compartilhado no tempo por vários usuários através de múltiplo acesso por divisão no tempo (TDMA).

No TDMA é usada uma parte discreta do espectro de RF, porém múltiplos usuários compartilham a mesma portadora de RF, cada um em um determinado tempo. Cada um dos usuários alterna seu uso do canal de RF. A divisão de frequência ainda é empregada, mas estas portadoras são agora subdivididas dentro de algum número de vezes em partes por portadora. A um usuário é atribuído uma parte de tempo particular da portadora e pode somente enviar ou receber informações naqueles tempos. [18]

A estrutura de transmissão de dados é implementada através de um frame de 40 ms com 6 intervalos (Slots) de tempo com 6,66 ms cada. Cada chamada telefônica utiliza dois intervalos de tempo sendo, portanto, possíveis até três conversações utilizando a mesma banda de 30 kHz de um canal de voz do AMPS. Cada conversação tem uma taxa bruta de 16,2 kbit/s e a modulação utilizada no canal é do tipo $\pi/4$ -DPSK. O canal de controle no TDMA (IS-136) é digital e permite a implantação de serviços de mensagens curtas (SMS). Uma versão anterior do TDMA, o IS-54, apresentava canal de controle analógico. Na **figura 6** abaixo é possível visualizar a estrutura do espectro de frequência com a divisão de tempo que deve ser atribuído a cada usuário.



3 Usuários por Canal Banda Estreita

Figura 6 – Espectro do TDMA

Fonte: http://www.del.ufms.br/PCI_T1/G3/CDMATDMA.htm

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

O TDMA (IS-136) permitiu oferecer dezenas de serviços suplementares, tais como identificação do número chamador, chamada em espera, siga-me e conferência. [18]

A transmissão digital do TDMA e outros sistemas de segunda geração, como o GSM e o CDMA (IS-95), permitem uma considerável economia de energia em relação ao AMPS, pois não precisam estar transmitindo de forma contínua. Esta característica, aliada a evolução da tecnologia de baterias dos terminais móveis, possibilitou um grande incremento no tempo de operação dos terminais sem necessidade de recarga. [18]

O TDMA (IS-136) era em dezembro de 2002 o padrão dominante no Brasil com 20,9 milhões de terminais e 60% dos assinantes.

2.1.3.3. 2º Geração – CDMA

A tecnologia CDMA, *Code Division Multiple Access* ou em português acesso múltiplo por divisão de código, caracteriza-se pelo fato de que todos os usuários dividem o mesmo canal ou frequência. Todos os usuários estão alocados na mesma frequência e utilizam o canal no mesmo tempo. Para entendermos melhor o princípio de funcionamento da tecnologia CDMA torna-se mais fácil quando fazemos uma analogia desta tecnologia com um saguão de aeroporto. Imaginemos agora que este saguão do aeroporto seja o nosso canal ou a frequência que cada usuário utiliza. Na tecnologia analógica AMPS, é como se todo o saguão do aeroporto estivesse ocupado por duas pessoas apenas que estão comunicando entre si. Estas pessoas poderiam falar a vontade sem interferência alguma, pois teriam todo o espaço ou recurso disponível somente para elas. Mas como já foi dito anteriormente, o sistema celular precisava expandir e o número de usuários crescia gradativamente. Então surgiu a tecnologia TDMA, onde o saguão do aeroporto foi dividido em salas menores. Agora cada par de pessoas que desejasse se comunicar era então direcionado para uma sala específica dentro do mesmo saguão. Por isso que observamos no capítulo anterior sobre a tecnologia TDMA a divisão do canal de frequência em *Slots* de tempo, ou seja, todos os usuários ocupam o mesmo canal mas, cada par de usuários utilizam este canal em um tempo específico designado somente a este par. Após este tempo, o canal é então utilizado por outro par de usuários. Na tecnologia CDMA todos os pares de usuários utilizam o saguão do aeroporto ao mesmo tempo, porém cada par de usuário se comunica em uma língua diferente, assim, um par de usuário que se comunica em português não irá atrapalhar um outro par de usuário que esteja se comunicando em inglês, por

exemplo. [5] A linguagem diferente, no CDMA seria o código. Cada par de usuários no CDMA recebe um código único, de forma que somente estes dois usuários conseguem decifrar a mensagem enviada e recebida por ambos. Assim como na analogia ao saguão de aeroporto, na tecnologia CDMA todos escutam a conversa, mas somente aqueles que conhecem o código são quem pode decifrar e entender a mensagem.

Na **figura 7** abaixo é possível observar os passos para se gerar um sinal CDMA e transmiti-lo em um sinal de radio frequência.

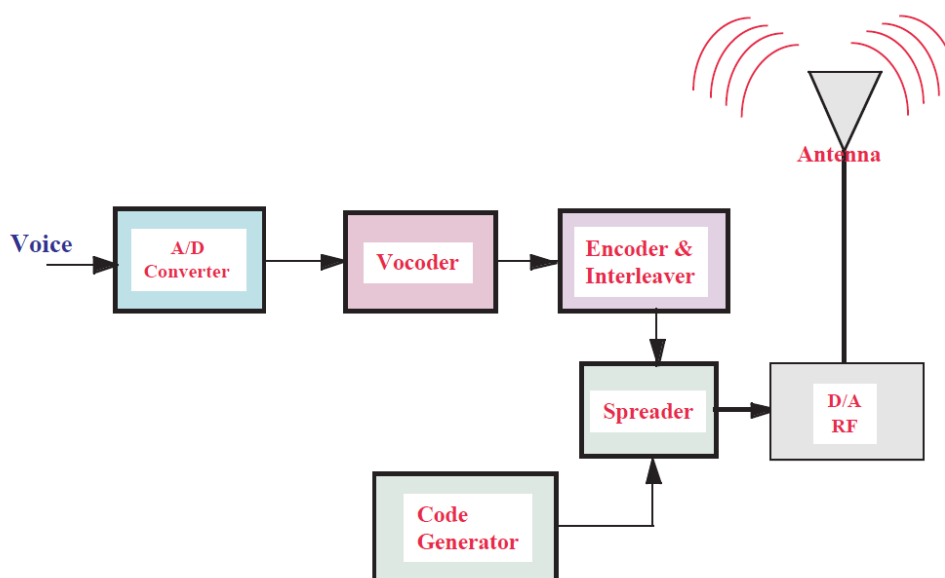


Figura 7 – Diagrama em Bloco para Tecnologia CDMA

Fonte: Fundamentals of Wireless Communications & CDMA CDMA-050

Multiple Access Systems 80-13127-1 X6

O primeiro passo na geração do sinal CDMA é a digitalização da voz. Para realizar esta etapa utiliza-se uma tecnologia chamada Pulse-code modulation (PCM) ou Modulação por código de pulsos. O PCM é uma representação digital de um sinal analógico no qual a magnitude do sinal é obtida em intervalos regulares e então transformados em uma série de símbolos em código digital (geralmente binário). O objetivo da modulação PCM é fazer com que um sinal analógico possa ser transmitido através de um meio físico com transmissão digital.

O segundo passo para produzir um sinal CDMA é chamado de Vocoder. O vocoder é um instrumento analisador e capaz de sintetizar a voz humana. O vocoder, usado em um sistema CDMA, comprime o sinal de voz em várias taxas de

dados. A taxa de dados é determinada dinamicamente pela atividade de fala do usuário durante uma chamada.

O terceiro passo na produção de um sinal CDMA é o Encoder / Interleaver. O objetivo do Encoder é a construção de redundância no sinal enquanto que o Interleaver é um método simples, mas poderoso, de reduzir os efeitos do *burst error* recuperando os bits que possam ser perdidos decorrentes destes erros.

O quarto passo consiste em se realizar o Coding e o spreading ou embaralhamento do sinal. Esse processo, conhecido como canalização, vai espalhar os símbolos codificados em toda a largura de banda do canal CDMA. Os dados provenientes da saída desta etapa são então convertidos em um sinal de RF analógico para que possa ser transmitido através do AR.

O CDMA é um sistema proprietário desenvolvido pela empresa Qualcomm. Foi originalmente utilizado pelos militares para espalhar o sinal em uma faixa de espectro bastante larga, tornando as transmissões difíceis de interceptar ou mesmo interferir. As vantagens do CDMA são: [18]

- Mais qualidade e privacidade na comunicação,
- Maior autonomia de baterias,
- Redução no nível de interferência,
- Serviços mais velozes de transmissão de voz e dados

2.1.3.4. 2º Geração – GSM

Global System for Mobile Communications, ou Sistema Global para Comunicações Móveis é o padrão mais popular para telefones celulares do mundo. Telefones GSM são usados por mais de um bilhão de pessoas em mais de 200 países. Nascido nos anos 80 foi fruto de uma cooperação sem precedentes dentro da Europa, o sistema partilha elementos comuns com outras tecnologias utilizadas em telefonia celular, como a transmissão feita de forma digital e a utilização de células para que assim, as unidades móveis não perdessem as características obtidas já em outros sistemas como a redução de tamanho e aumento de eficiência da bateria. [5]

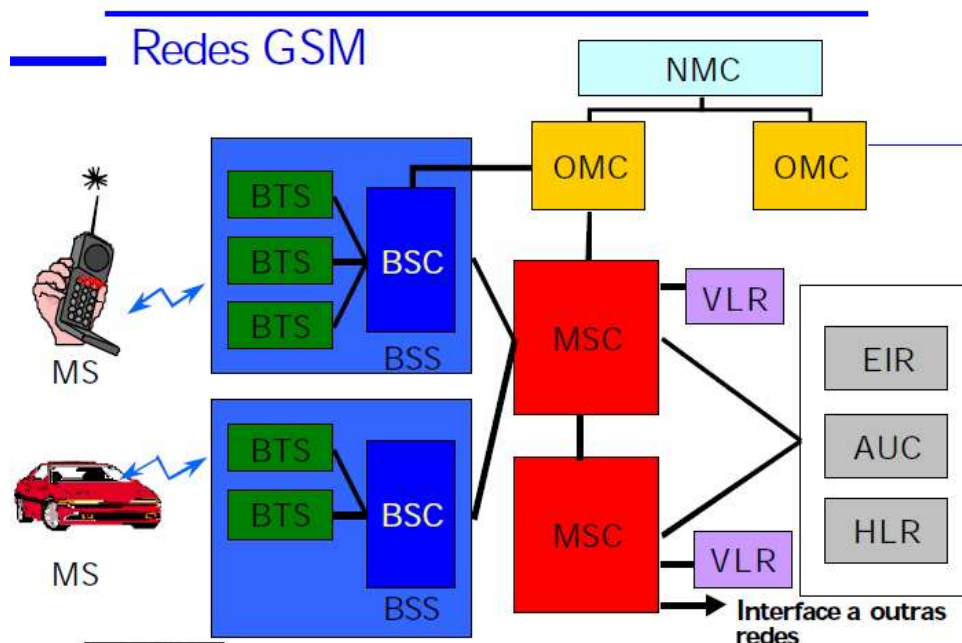


Figura 8 – Rede GSM

Fonte: Treinamento Tecnologia GSM – Agilent Technologies

Este é um sistema GSM. As estações móveis (MS), sejam telefones celulares (e portáteis) e as tradicionais unidades móveis instaladas em automóveis, falam com o Sistema da Estação Base (BSS) pela interface aérea de RF. O Sistema de Estação Base (BSS) é formado por uma Estação Transceptora Base (BTS) e um Controlador de Estação Base (BSC). É comum que diversas BTS estejam localizadas em um mesmo local, criando de 2 a 4 células setorizadas ao redor de uma torre de antena comum. As BSC são freqüentemente ligadas à BTS por links de microondas. O link do BSC à BTS é chamado de interface Abis. Tipicamente, de 20 a 30 BTS serão controladas por um BSC. Por sua vez, diversas BSS são subordinadas a uma Central de Comutação e Controle (MSC), que controla o tráfego entre diversas células diferentes. Cada Central de Comutação e Controle (MSC) terá um Registro de Localização de Visitante (VLR), no qual as unidades móveis que estiverem fora das células de sua área local serão listadas, de forma que a rede saiba onde encontrá-las. A MSC será também conectada ao Registro de Localização de Unidade Móvel Local (HLR), a Central de Autenticação (AUC) e ao Registro de Identidade do Equipamento (EIR), de forma que o sistema possa verificar se os usuários e equipamentos são assinantes em situação legal. Isto ajuda a evitar o uso de unidades móveis roubadas ou fraudadas. Há também instalações dentro do

sistema para as organizações de Operações e Manutenção (OMC) e de Gerenciamento da Rede (NMC). A Central de Comutação e Controle (MSC) também possui uma interface para outras redes, como as Redes Privadas Fixas de Telefonia Móvel (PLMN), Redes Públicas de Telefonia Comutada (RPTC) e redes RDSI.

As células podem ter um raio de até 35 km no GSM900 e 2 km no DCS1800 (devido à menor potência das unidades móveis do DCS1800). A parte mais óbvia da célula GSM é a estação base e a sua torre de antena. É comum ter diversas células setorizadas ao redor de apenas uma torre de antena. A torre terá diversas antenas direcionais, cada uma destas cobrindo uma área em particular. Esta co-alocação de diversas BTS é às vezes denominada estação radiobase, ou simplesmente uma estação base. As BTSs são conectadas aos seus BSC pela interface Abis, por cabo ou fibras ópticas. As redes DCS1800 muitas vezes usam um link de microondas para a interface Abis. Cada BTS possuirá um certo número de pares Tx/Rx ou módulos transceptores. Este número determinará o número de canais de frequência que poderão ser usados na célula, o que dependerá do número esperado de usuários. Todas as BTSs produzem um BCH (Canal de Broadcast). O BCH é como um farol ou sinal luminoso. Ele está ligado todo o tempo e permite que as unidades móveis encontrem a rede GSM. [5]

As unidades móveis em chamada usam um TCH (Canal de Tráfego). O TCH é um canal bidirecional usado para a troca de informações de conversação entre a unidade móvel e a estação base. As informações são divididas em uplink e downlink, dependendo da direção do fluxo.

O GSM usa o TDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo) e o FDMA (Acesso Múltiplo por Divisão da Frequência). As frequências disponíveis são divididas em duas bandas. O uplink é utilizado para a transmissão da unidade móvel e o downlink é usado para a transmissão da estação base. Cada banda é dividida em slots de 200 kHz, denominados ARFCN (Número Absoluto de Canal de Radiofrequência). Além de dividir em fatias a frequência, nós também dividimos o tempo. Cada ARFCN é compartilhado por 8 unidades móveis, sendo usado por uma delas por vez. Cada unidade móvel usa o ARFCN por um TS (timeslot) e, em seguida, aguarda a sua vez de usá-lo novamente. As unidades móveis usam o ARFCN uma vez por quadro do TDMA.

Um dos principais recursos do sistema GSM é a segurança. Isto acontece devido ao uso da criptografia ou cifragem. A estação base controla se a cifragem

está ativada ou desativada. A criptografia dos dados ocorre após os dados terem sido intercalados e arranjados em oito blocos de dados (antes que os bursts finais sejam montados). Os algoritmos de criptografia são controlados com bastante rigor. Estes algoritmos são bastante similares às técnicas usadas por muitos dos principais órgãos de inteligência em todo o mundo. A segurança destes algoritmos é aumentada pelo fato do sistema trocar de algoritmo de criptografia a cada chamada (mesmo se um algoritmo for decifrado em uma chamada, a criptografia usada na próxima chamada será diferente).

Outra característica bastante interessante do GSM é utilização do SIM card. Os SIMs (Módulos de Identificação do Assinante) são encaixados na unidade móvel GSM. O SIM contém todas as informações relacionadas a um assinante. Por exemplo:

- Seu número exclusivo de assinante ou IMSI (Identificação Internacional de Assinante Móvel)
- As redes e países em que o assinante pode receber o serviço (MCC e MNC)
- Quaisquer outras informações específicas do usuário, como números de discagem rápida e memórias.

Sem ter um SIM instalado, todas as unidades móveis GSM são idênticas. É o cartão SIM que dá à unidade móvel a sua identidade. Se um usuário (Fred) levar a sua SIM em uma viagem de negócios e encaixá-la em uma unidade móvel instalada em seu automóvel alugado, o telefone do automóvel usará a identidade presente no SIM. Os direitos de acesso à rede de Fred, suas memórias de discagem rápida e quaisquer outras características armazenadas, serão transferidas ao telefone do automóvel alugado. A característica realmente interessante dos SIMs é que eles também transportam o seu número telefônico. Se o escritório de Fred quiser lhe telefonar, eles simplesmente disarão o seu número móvel normal. A rede sabe a localização do telefone que está com a SIM de Fred e desta forma, direciona a chamada diretamente ao automóvel alugado. [5]

A evolução do GSM para serviços de terceira geração com taxas de dados de até 2 Mbit/s vem sendo padronizada pelo 3rd Generation Partnership Project

(3GPP). Esta evolução exigiu a definição de um novo padrão para a interface entre Estação Móvel e ERB com canais de RF de 5 MHz. Este novo padrão (WCDMA) implica em mudanças na estrutura de canalização do GSM exigindo uma banda adicional de freqüências para implementação do serviço por parte das operadoras, mantendo no entanto, a compatibilidade e demais interfaces da arquitetura GSM.

2.1.3.5. 3º Geração – EVDO

1xEV-DO é um sistema de dados sem fio com alta velocidade e alta capacidade que combina a conveniência da mobilidade com o desempenho de uma rede de dados fixa. É verdadeiramente uma tecnologia 3G uma vez que permite transmissão de dados com taxas acima de 2.4Mbps e ao mesmo tempo permite serviço de dados multimídia bastante avançados. O 1xEV-DO foi desenvolvido para operar em uma portadora de 1,25MHz, ocupando a mesma quantidade de espectro utilizado nos sistemas CDMA anteriores. Devido às características similares de RF, é bastante natural a integração do 1xEV-DO com as redes CDMA existentes reutilizando infra-estrutura das ERBs, antenas e equipamentos de transmissão e recepção. Já que a tecnologia 1xEV-DO somente suporta a transmissão de dados por pacote, a estrutura de circuito utilizada pelas redes de voz não se faz necessária (MSC, HLR, VLR, etc). A arquitetura da rede é simples e facilmente se integra às redes legadas, incluindo os sistemas não-CDMA (por ex. TDMA e GSM). Os elementos de rede são: estações-radio-base (BTS), controladoras de estação-radio-base (BSC), Packet Control Function (PCF) que normalmente se integram com a BSC e Packet Data Serving Node (PDSN), que é o elemento que faz a interface da rede de acesso wireless com a Internet, além de estabelecer as sessões de usuário (normalmente implementado em roteadores). Para uma rede existente cdma2000 1x, a integração é bastante natural já que BTSs e BSCs normalmente suportam ambos modos de operação necessitando de simples upgrades de software e cartões de canal. [14] O PSDN normalmente suporta ambas as tecnologias sem necessidade de upgrade. Um diagrama simplificado da rede 1xEV-DO é mostrado na **figura 9** abaixo:

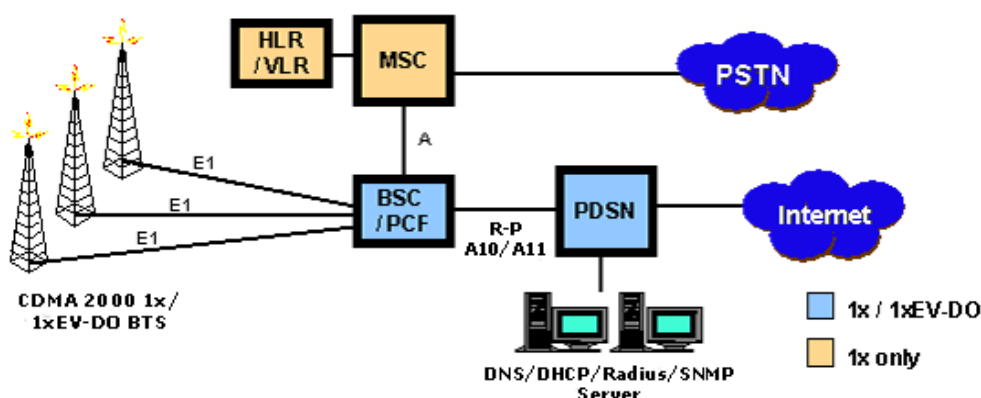


Figura 9 – Rede 1x EVDO

Fonte: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcdma2000/pagina_3.asp

O sistema 1xEV-DO usa o Protocolo da Internet (IP) como transporte, suportando assim todas as aplicações e protocolos que sejam compatíveis com IP. A rede do 1xEV-DO usa servidores comuns da Internet que são tipicamente combinados com os utilizados no sistema 1x, incluindo os servidores RADIUS, DNS e DHCP. O BSC e PDSN se comunicam com o servidor RADIUS para autenticar e autorizar o dispositivo e também receber pacotes com informações para tarifação. O servidor DNS é usado para correlacionar nomes de domínios aos seus endereços IP. O servidor DHCP pode ser usado para designar endereços IP para o usuário. Ao estabelecer uma sessão de dados para um terminal, o PDSN solicita ao servidor DHCP um novo endereço IP para aquele terminal. O terminal 1xEV-DO pode receber endereço IP privado ou público, esta definição fica a cargo do endereçamento da operadora. [7]

Apesar do 1xEV-DO ser uma tecnologia madura, novas funcionalidades estão sendo criadas, por upgrades de software ou adições no padrão, para adaptar às necessidades futuras das operadoras de serviços e aumento de capacidade. Um ponto importante ao prover um bom desempenho para os usuários é diferenciar suas necessidades de qualidade de serviço (QoS). Alguns usuários estão dispostos a pagar por um tratamento prioritário em seu acesso, criando assim os chamados serviços ouro, prata e bronze. Por outro lado, aplicações tem em geral diferentes necessidades de latência e jitter (variação do atraso). Para suportar diferentes níveis de QoS, novas facilidades estão sendo desenvolvidas como a Inter-User QoS (para diferenciar usuários) e a Intra-Users QoS (para diferenciar aplicações). Novos tipos

de pacotes com tamanhos menores estão também sendo introduzidos para minimizar ainda mais a latência dos serviços. [7]

2.1.3.6. 3º Geração – UMTS

Diante do processo de globalização, em especial nas telecomunicações internacionais, a ITU (International Telecommunication Union), considerada como padrão para os sistemas globais de comunicação móvel de terceira geração emitiu um conjunto de orientações em diferentes aspectos da comunicação móvel. Flexibilidade e cobertura global são os maiores requerimentos especificados pela ITU. Um dos alvos principais do programa é a criação de uma plataforma de suporte independente dos serviços e que permita qualquer tipo de aplicações de comunicações móveis. Estes esforços levaram a ITU a definir os requisitos de um sistema celular de 3ª Geração como sendo:

- Altas taxas de dados: 144 kbit/s em todos os ambientes e 2 Mbit/s em ambientes "indoor" e de baixa mobilidade.
- Transmissão de dados simétrica e assimétrica.
- Serviços baseados em comutação de circuitos e comutação de pacotes.
- Qualidade de voz comparável à da telefonia fixa.
- Melhor eficiência espectral
- Vários serviços simultâneos para usuários finais, para serviços multimídia.
- Incorporação suave dos sistemas celulares de 2º geração.
- Roaming global.
- Arquitetura aberta para a rápida introdução de novos serviços e tecnologias.

De modo a minimizar os custos na transição das tecnologias de 2º geração para as tecnologias de 3º geração buscou-se desenvolver padrões de 3ª Geração que facilitassem a evolução dos padrões existentes de 2ª Geração, sendo assim surgiu então o UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). O UMTS segue a idéia de proporcionar uma plataforma genérica de comunicação móvel.

Os principais elementos de um sistema UMTS são: [19]

- Core Network (CN) responsável por oferecer a comutação de serviços e o gateway para outras redes de comunicação. O CN suporta serviços baseados em comutação de circuitos e comutação de pacotes.
- UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network, ou rede terrestre de acesso radio do UMTS baseada no Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA).
- User Equipment, ou equipamento do usuário (UE) representa o assinante de telefonia móvel. Oferece interfaces de aplicação para o usuário e fornece o link de radio para a rede. É o terminal móvel e seu módulo de identidade de serviços do usuário (USIM) equivalente ao SIM card dos terminais GSM.

A **figura 10** abaixo apresenta uma visão mais detalhada da arquitetura de rede utilizada nos sistemas UMTS.

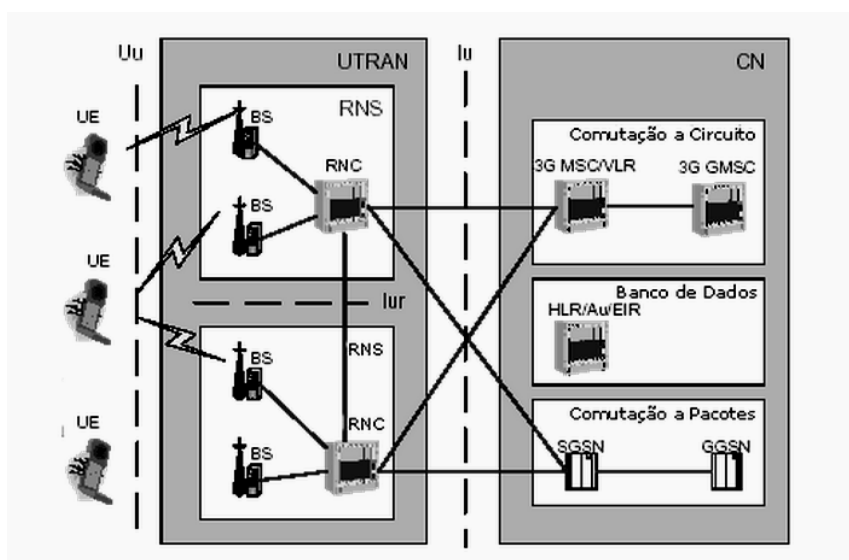


Figura 10 – Arquitetura Rede UMTS

Conforme citado acima o UMTS utiliza a tecnologia W-CDMA para comunicação de radio entre o terminal móvel do usuário (UE) e a estação Radio Base (BS). Assim como nos CDMA o WCDMA utiliza o sistema de múltiplo acesso por divisão de código, ou seja, os vários terminais compartilham uma mesma banda de frequências mas utilizam códigos diferentes de espalhamento espectral. O WCDMA pode trabalhar em 2 modos de operação: O FDD e o TDD. No FDD (Frequency Division Duplex) os enlaces de subida e descida utilizam canais de 5 MHz de diferença e são separados por uma frequência de 190 MHz. Já no TDD (Time Division Duplex) os links de subida e descida compartilham a mesma banda de 5 MHz. [19]

O sistema UMTS pode oferecer ao usuário taxas de transmissão de dados de até 384 kbits com o WCDMA. O UMTS também possui suporte a outro protocolo de comunicação entre o terminal de usuário e a estação Radio Base conhecido como HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access). Considerado como uma tecnologia de 3.5G, o HSDPA foi projetado para acelerar a capacidade da rede e a taxa de transmissão de dados de telefones celulares. Atualmente, o HSDPA pode suportar taxa de transmissão de dados de 1,8 Mbps a 14,4 Mbps.

3. REDE CELULAR DE 4º GERAÇÃO

As Redes 2,5 e 3G permitiram aos diversos usuários ao redor do mundo acesso a dados em seus celulares e laptops. No entanto, como os serviços de dados móveis vêm aumentando e mais usuários de PC começam a usar os mesmos aplicativos de Internet de banda larga "em movimento", da mesma forma como fazem em casa, a expectativa é de que a demanda por tráfego de dados móveis cresça a um fator de 10 vezes entre 2010 e 2015. E esta expectativa pode facilmente ser superada devido ao aumento de aplicações, como redes sociais que combinam multimídia e mobilidade na Internet. Embora as redes 2,5 e 3G continuem a prover serviços de voz e dados móveis, no futuro próximo essas redes se tornarão limitadas no que se diz respeito a capacidade de uso de dados de banda larga móvel. Assim, a implantação de novas redes para descarregar aplicações intensivas de dados de banda larga móvel é inevitável. Junto com o aumento da capacidade de dados, estas novas redes serão capazes de suportar novos modelos de internet aberta e distribuição de dispositivos. [5]

4G ou 4-G representa a quarta geração de tecnologia para a telefonia móvel e serviços de internet. O 4G surgiu a partir de uma comunidade de pesquisas voltadas e dedicadas a investigação para invenção de novas tecnologias que atendessem a demanda mundial para redes de comunicação sem fio que possam suportar altas taxa de transmissão de dados bem como serviços de voz nos diversos tipos de ambientes, tais como ambientes indoor ou outdoor, sendo capaz de manter a qualidade do serviço tanto em longas distâncias quanto em movimento.

A evolução da comunicação sem fio está fortemente ligada aos rápidos avanços das tecnologias digitais, como componentes digitais com alto poder de processamento de dados. O acesso via radio em um sistema que implementa tecnologia 4G emprega diversas técnicas de multiplexação, entre as quais podemos citar a multiplexação por divisão de frequência ortogonal (VSB-Spread OFDM) e a multiplexação com método de multiple-input-multiple-output (MIMO) as quais possibilitam que o sistema possa alcançar uma taxa de transmissão de dados de 1Gbps com uma largura de banda no downlink de 100Mhz. [16]

O 4G não é apenas a definição de um padrão, mas um novo conceito de comunicação onde possa existir um ambiente que suporte os diversos métodos de

acesso e que possa haver interoperabilidade entre eles. Muito mais que mais uma nova tecnologia, o 4G trará um grande impacto para toda a cadeia de comunicação sem fio. A tecnologia 4G pode ser implementada em diversas áreas e setores de nossas vidas. Para estar habilitado e poder usar a tecnologia 4G os diversos tipos de dispositivos deverão atender a vários requisitos, entre eles serem capaz de selecionar dinamicamente o tipo de sistema sem fio ao qual irão se conectar. Isto se deve ao fato da natureza heterogênea da tecnologia 4G e é exatamente esta natureza heterogênea que traz diversos desafios para sua implementação, mas que por outro lado faz desta tecnologia algo extraordinário do ponto de vista das possibilidades que ela pode trazer para a vida das pessoas.

Na **tabela 2** abaixo é possível observar alguns exemplos de áreas de aplicação e as respectivas soluções de implementação da tecnologia 4G.

Tabela 2 – Exemplos da implementação 4G nas diversas áreas.

Fonte: Transition from 3G to 4G, Motorola

AREA	SOLUÇÃO DE IMPLEMENTAÇÃO
Saúde	O 4G pode trazer soluções de monitoramento remoto de pacientes através de dispositivos de comunicação com maior poder de transmissão 2-way que proporcionam transmissão de maior qualidade e em velocidade maior de dados médicos vitais.
Mobilidade pessoal e presença.	O 4G oferece comunicação personalizada para o mercado de massa independente da localização, rede ou do tipo de terminal utilizado. Maior largura de banda e capacidade de comunicação global aumentarão a oferta de aplicações úteis tanto a consumidores quanto a empresas.
Rastreamento	Sistemas de localização virtual serão capazes de fornecer a exata posição de uma pessoa nos caso dela necessitar ser contactada. Para o sistema penitenciário, por exemplo, poderá ajudar na verificação se os presos estão onde realmente devem estar. Para o sistema de logística mundial, o 4G pode trazer soluções que permitam localização e rastreamento em tempo real com precisão, das cargas e pacotes a nível global.
Rede e <i>roaming</i> global	O 4G permitirá que os diversos dispositivos móveis possam se conectar as mais deferentes tecnologias de rede sem fio de forma automática utilizando para isso um software inteligente para gerenciar de forma transparente para o usuário o <i>hand-off</i> entre redes. Com isso as pessoas poderão se conectar em qualquer lugar do globo e tendo acesso a um srviço de voz sobre IP de maior qualidade alem de outros serviços de mensagem mais avançados daqueles existentes na atualidade.

3.1. Características principais do Sistema

Um sistema de quarta geração necessita ter determinadas características que viabilizem seu desenvolvimento, implementação e operação. Essas características determinam a forma de trabalho e os principais objetivos a serem atendidos por parte dos desenvolvedores de qualquer tecnologia, que venha a se candidatar para prover soluções para um sistema 4G. Como características principais podemos citar: a simplificação das diversas operações e seus respectivos procedimentos, evitar ao máximo a repetição de uma mesma funcionalidade em múltiplos níveis, reduzir a complexidade no gerenciamento, reduzir o número de pontos concentrados de falhas, bem como o custo total para as operadoras através de soluções que forneçam uma maior escalabilidade e uma camada de transporte comum. [5]

O ITU criou um conjunto de requisitos que um sistema 4G deve atender com a intenção de que exista uma maior integração entre as diversas famílias de tecnologia, atendendo assim às características citadas acima. [17]

Os requisitos e recursos gerais que um sistema 4G precisa suportar são:

- Maior eficiência espectral e taxas de pico de dados;
- Baixa latência para permitir novas aplicações sensíveis a atrasos;
- Suporte a mobilidade: sistemas celulares são obrigados a suportar os ambientes descritos abaixo:
 - Estacionária (aplicações fixas);
 - Pedestre (velocidades de até 10 km/h);
 - Veicular (velocidades de até 120 km/h);
 - Alta Velocidade Veicular (velocidades de até 500 km/h);
 - Desempenho do sistema otimizado para ambientes de baixa mobilidade;

- Perfeita conectividade com redes móveis e redes IP (capacidade de roaming global);
- Suporte para tamanhos maiores de células e performance melhorada para a borda da célula;
- Baixo custo e complexidade dos terminais para o uso em todo o mundo;
- Acesso Global;

O sistema 4G deve ser concebido para proporcionar melhor desempenho dos atributos, tais como taxas de pico e taxa de dados estáveis, corresponder satisfatoriamente a eficiência espectral, capacidade, latência, complexidade da rede global e no gerenciamento do Quality of Service (QoS), suportar aplicações que estejam em conformidade com padrões abertos e protocolos possibilitando ao usuário uma experiência sem igual em aplicativos como: e-mail, serviços de upload e download sem limitações de tamanho (por exemplo FTP), streaming de vídeo e áudio streaming, IP Multicast, serviços baseados em localização, conexões VPN, VoIP, mensagens instantâneas e jogos on-line multiplayer. O sistema também deverá suportar conexões sem visada direta em ambiente *outdoor*, bem como conexões em ambientes *indoor*. [16]

3.2. Vantagens da tecnologia 4G sobre a Tecnologia 3G

A tecnologia 4G oferece maior largura de banda e altas taxas de bits. Atualmente os serviços 3G estão trabalhando, para permitir transações de comunicações sem fio, como os serviços baseados em localização, compras, serviços pessoais, e-mail e transferência de dados de multimídia, a velocidades muito inferiores em relação aos 100 Mbps e 1 Gbps que a tecnologia 4G esta oferecendo em sua proposta. A taxa de transmissão de 1Gbps de pacotes em tempo real foi realizada através de um acesso de radio utilizando multiplexação OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) e a multiplexação MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output). A tecnologia de comunicação sem fio 4G pode ser integrada com a rede de

backbone IP para fornecer suporte a QoS (Quality of service) para aplicações multimídia. Isto irá suportar programação dinâmica em tempo real, adaptação de link e seleção de frequência, assim como capacidade de roaming completo. [10] O 4G também proverá telefonia móvel a uma taxa de dados de 100Mbps, globalmente, entre quaisquer dois pontos do mundo em ambientes com alta mobilidade e 1 Gbps localmente, em ambientes com baixa mobilidade. O 4G é uma tecnologia mais adequada para banda larga sem fio e onipresença. Isso ocorre porque a velocidade de download de dados atual para o serviço móvel 3G de internet é de 9,6 kbps teoricamente, enquanto que o 4G renderá novos aumentos nas taxas de download, atingindo de 20 a 40Mbps. Os Serviços 4G permitirão velocidades de transferência de dados de até 20MB/s para uplink e 100MB/s de downlink, o que corresponde a aproximadamente ser 260 vezes mais rápido do que os populares serviços de 3G, que permitem atualmente downlinks na ordem de 384kB/s. [23]

Outra vantagem importante a se destacar é o fato do sistema 4G utilizar a tecnologia OFDM para acesso a rede sem fio. Através desta tecnologia o 4G envia os dados através de múltiplos canais de radio, cada um com um taxa menor em relação ao outro (mais detalhes serão abordados no próximo tópico). Enquanto que a grande maioria dos sistemas 3G são baseados na tecnologia CDMA e GSM, que possuem uma grande sensibilidade a interferência o que se torna inviável quando se trabalha com taxa de dados elevadas. [14]

Em comparação com o 3G, o sistema 4G também se mostra favorável, uma vez que permite às operadoras introduzir novas tecnologias de forma gradual, evitando-se que seja necessário realizar grandes investimentos na infraestrutura antes que se tenham os clientes para usufruir de tais tecnologias, gerando assim receita para as operadoras.

3.3. Tecnologia OFDM de acesso via radio

O OFDM utiliza conceitos da tecnologia FDM onde uma determinada frequência aloca uma portadora de sinal. O FDM é bastante conhecido e associado a transmissão de radio e TV, onde cada frequência possui um canal de transmissão de um emissor. Basicamente o OFDM subdivide o canal em múltiplos sinais com menor ocupação espectral. Um sinal OFDM é a soma de várias subportadoras

ortogonais. [14] As subportadora são chamadas ortogonais por não possuírem sobreposição de frequência, dessa forma não interferindo umas com as outras. O princípio básico da OFDM é a conversão de um fluxo de dados serial de taxa de transmissão elevada em múltiplos sub-fluxos paralelos de taxa de transmissão baixa. Por exemplo, um conjunto de símbolos seriais é transformado em um símbolo OFDM, representando dados em paralelo. Após a conversão serial-paralelo, cada sub-fluxo de dados é modulado em uma subportadora. Cada uma dessas subportadoras carrega um conjunto de dados modulados independentemente, desta forma, caso ocorra algum problema com o sinal, somente uma pequena parcela de bits será afetadas e estes bits estarão distantes um do outro em relação ao sinal original. A **figura 11** abaixo nos mostra um esquema prático do funcionamento da técnica OFDM.

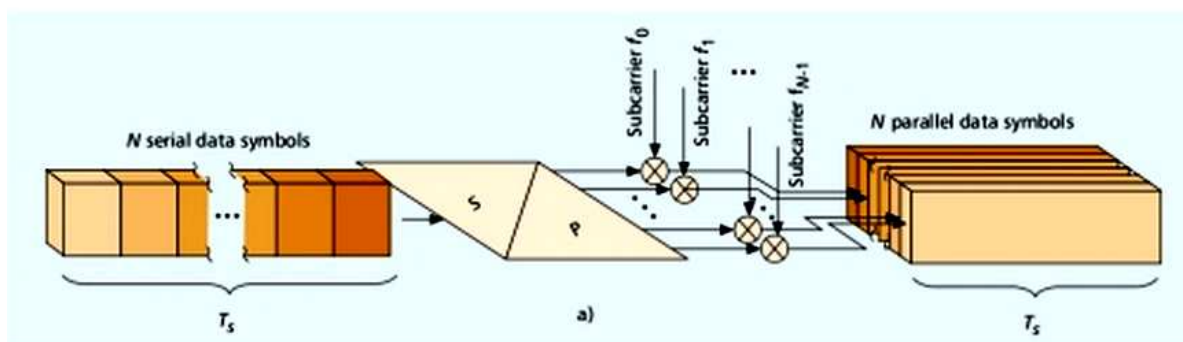


Figura 11 – Esquema de funcionamento do OFDM

Fonte: http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/coutinho/OFDM.OFDMA
(OrthogonalFrequencyDivisionMu.html)

A principal vantagem do uso de OFDM em relação a técnicas que utilizam uma única portadora é que ela pode obter a mesma taxa de transferência, devido ao paralelismo de subportadoras de taxas baixas, com maior resistência a condições ruins do meio, como atenuação de altas frequências, interferência inter-símbolo, interferência causada por múltiplos caminhos (comum em redes sem fio, devido à reflexão). [14]

3.4. Desafios para implementação

Como já sabemos, todo o sistema de comunicação não está baseado em um único padrão. Desde a criação dos primeiros sistemas de comunicação sem fio via radio inúmeras propostas surgiram e fizeram com que todo o sistema se tornasse

heterogêneo nas tecnologias empregadas para prover soluções que atendessem as solicitações de operadoras no mundo inteiro devido a demanda crescente de usuários. Desta forma o ambiente prático e real que encontramos hoje traz inúmeros desafios para o desenvolvimento e o estabelecimento de um sistema que possa atender a proposta de prover uma experiência de conectividade, para o usuário final, jamais vista antes.

Por outro lado as diferenças socioeconômicas existentes no mundo fizeram com que as diversas regiões avançassem em velocidade diferente em relação à implantação das tecnologias emergentes. Um bom exemplo podemos encontrar na tecnologia 3G que começou a ser estudada e desenvolvida a praticamente uma década atrás, mas apenas recentemente as operadoras começaram a verificar um aumento na demanda dos serviços de banda larga por parte dos usuários. Em consequência disso, muita operadoras ainda trabalham com sistemas 2G em regiões como Oriente Médio, África, Ásia e Américas. Essas regiões têm limitado os gastos com sistemas 3G à espera de crescimento da banda larga móvel.

Em face de todo este cenário podemos constatar que existem inúmeros desafios e barreiras a serem superados para que o sistema 4G possa vir a se tornar uma realidade cada vez mais presente em nossas vidas. Dentre estes desafios podemos destacar: [5]

- Convergir as mais diversas tecnologias de modo que os impactos decorrentes de investimentos em infraestrutura por parte das operadoras sejam minimizados.
- Aumento da eficiência espectral de forma a proporcionar uma redução no valor cobrado por bit possibilitando assim um crescimento em massa do uso de serviço móvel de dados, de forma a possibilitar e justificar maiores investimentos em infraestrutura por parte das operadoras.
- A latência deve ser reduzida em relação aos sistemas 3G para todos os aspectos do sistema, incluindo a interface aérea, o atraso na transição de estado, o atraso no acesso e o atraso durante o handover.

- Sistema de gerenciamento de QoS (Quality of Service) especialmente para aquelas aplicações que não toleram atrasos na transmissão de dados.
- Suporte a handoff para facilitar a prestação de serviços de forma contínua para terminais móveis em deslocamento.

3.4.1. Convergência de Tecnologias

Um dos maiores questionamentos existentes entre os desenvolvedores para prover soluções que atendam as necessidades para um sistema 4G é: Qual tecnologia adotar de forma que os diversos tipos de infraestrutura existentes, os quais pudemos tomar conhecimento no capítulo 2 deste trabalho, possam migrar para o sistema 4G minimizando ao máximo grandes investimentos por parte das operadoras? Desse questionamento nasce uma disputa para se ter um padrão que possa fazer a convergência de forma satisfatória. A tecnologia móvel WiMAX, também conhecido como 802.16e, e o Long Term Evolution (LTE) são as duas tecnologias que estão emergindo como duas opções possíveis para o sistema 4G.

Estudos de operadoras sugerem que o modelo WiMAX é mais eficiente em cidades com grandes populações de alunos, áreas onde o transporte coletivo de grande massa é usado para deslocamentos em detrimento de automóveis particulares e em áreas onde o uso de vídeo on-line tem sido bem socializado entre os usuários de banda larga fixa. Por outro lado, em local onde grande parte da população se desloca de carro, onde o usuário possui idade mais avançada e são menos prováveis a ver conteúdo online em casa e onde um grande segmento da população de uma determinada área pode estar se movendo em um dos diferentes modelos de área, a evolução móvel ou LTE mostra-se mais eficiente. [4]

O numero de operadoras que utilizam a tecnologia WiMAX hoje no mundo já somam mais de 500 e em cada uma delas pode-se observar um gigantesco aumento na média de utilização de dados entre 10GB e 30GB por mês por parte dos usuários. Face a este crescente aumento na demanda por dados, estas operadoras vem considerando três opções para suprir esta necessidade. A primeira opção é o de maximizar seus investimentos em WiMAX através da implementação de melhorias

através do padrão 802.16e e, depois atualizar para WiMAX 2, também conhecido como 802.16m. A segunda opção seria a de aproveitar o espectro existente para adicionar LTE em suas redes WiMAX já existentes e a terceira opção seria a de migrar diretamente para o LTE, dado o fato de que a maioria das operadoras de telefonia móvel do mundo também estão migrando para o LTE. Graças à introdução de uma estação radio base conhecida como *Radio Access Network* (RAN), as operadoras podem acomodar várias interfaces sem fio em uma única estação radio base, e assim podem ter uma boa relação custo-benefício para atualizar as suas redes, preservando o capital e protegendo os investimentos. Usando uma única solução RAN as operadoras podem reutilizar quase que a maioria de uma estação base para vários cenários de migração e reutilizar até 100 por cento de outros componentes da rede principal. E pontos de acesso podem ser facilmente atualizados para 802.16m, TD-LTE, LTE FDD ou LTE Advanced. [4]

Diante do cenário que temos atualmente, o que podemos observar é que as tecnologias WiMAX e LTE podem coexistir ou facilitar a transição de um para o outro. Trata-se de determinar as tecnologias adequadas para apoiar modelos de negócios peculiares de cada região.

3.4.1.1. WiMAX

O WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ou em português Interoperabilidade Global para Acesso por Microondas surgiu com o objetivo de atender as características listadas abaixo:

- A alta velocidade de serviço de banda larga;
- Serviço wireless (sem fio) ao invés dos tradicionais modelos de acesso com fios, como o cabo e o DSL, tornado assim muito mais fácil de levar serviços de banda larga a áreas de subúrbio e até mesmo a regiões rurais mais afastadas;
- Ampla cobertura como na rede de telefonia celular ao invés de pequenos hot spots WiFi.

Na prática, o WiMAX possui um funcionamento parecido com o WiFi, mas a velocidades bem mais altas, em distâncias maiores e para um número bem maior de usuários. Um sistema WiMAX consiste basicamente das seguintes partes: [9]

- Uma torre WiMAX, parecida em seu conceito com a torre de telefonia celular. Uma única torre WiMAX pode fornecer cobertura para uma área de aproximadamente 8.000 m²;
- Um receptor WiMAX, o receptor e a antena poderiam ser uma pequena caixa ou um cartão PCMCIA, ou poderiam ser integrados ao laptop como o WiFi o é hoje.

Uma torre WiMAX pode se conectar diretamente à Internet usando uma conexão com fio de alta largura de banda ou se conectar a outra torre WiMAX usando um link de microondas em linha de visão [9]. Na **figura 12** abaixo é possível observar de uma forma macro o esquema de funcionamento da tecnologia WiMAX.

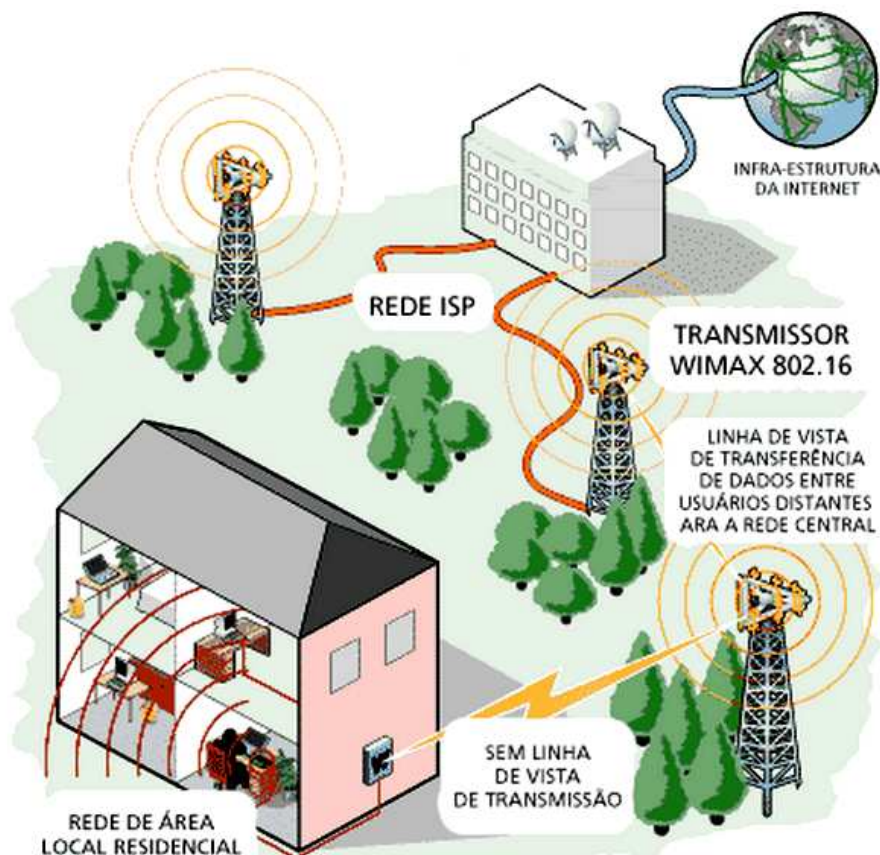


Figura 12 – Arquitetura básica rede WiMAX

Fonte: <http://informatica.hsw.uol.com.br/wimax1.htm>

A primeira implementação comercial de WiMAX baseada em OFDM e no padrão IEEE 802.16-2004 para interface aérea ocorreu em 2006. O WiMAX rapidamente ganhou aceitação no mercado como uma alternativa à banda larga fixa e serviços de telefonia fixa. Em 2007, sistemas comerciais de WiMAX Móvel versão 1.0 que ainda não incorporavam a tecnologia MIMO, mostraram uma melhora consistente na capacidade da ordem de 3x em relação a outras soluções móveis sem fio que utilizam a mesma quantidade de espectro. Em 2008, com a habilitação da tecnologia MIMO os Sistemas WiMAX ofereceram ganhos de 50%. Em 2010, com a implementação da versão 1.5 que aumentou a largura de banda do canal as taxas de pico de dados chegaram a alcançar valores acima de 100 Mbps. No futuro, quando o equipamento WiMAX suportar configurações MIMO 4x4, as taxas máximas de dados poderão ultrapassar os 300 Mbps. [22]

WiMAX, 2G e 3G são complementares. O circuito de comutação de voz oferecido pelas redes 2G e 3G é altamente eficiente e o nível de cobertura de muitas destas redes é excelente. Esses fatores tem levado as operadoras tomarem a decisão de manter a infraestrutura 2G e 3G existentes para voz e dados em banda estreita, e implantar WiMAX para obter mais capacidade para as aplicações de uso intensivo de dados. [21] A tendência é que as Operadoras ofereçam celulares multi-modo e modems para fornecer o melhor dos dois mundos - a cobertura abrangente para serviços de voz + alta velocidade de dados para seus assinantes, enquanto constroem as suas redes 4G durante os próximos anos. Para dispositivos portáteis tais como laptops, a combinação de multi-modo de WiMAX + Wi-Fi será a solução mais comum para assegurar a cobertura.

A interface aérea do WiMAX R1.5 também introduziu novos perfis de frequência, tanto para o TDD quanto para o FDD, para atender às diferentes alocações de espectro existentes no globo. [22]

A taxa de pico do canal ou o desempenho da taxa de pico do usuário é uma das métricas mais citadas na comparação das mais variadas tecnologias de acesso. A velocidade de transmissão dos dados varia entre 1 Mbps e 75 Mbps, dependendo das condições de propagação. Outro parâmetro a ser considerado também nos sistemas WiMAX é a capacidade que este sistema tem de alterar o tipo de modulação para atender picos de demandas ou suprir deficiências na comunicação provocadas por perdas de bits devido a distancia do dispositivo móvel com a antena. Caso a comunicação apresente falhas ou aconteça congestionamento na célula o

WiMAX pode dinamicamente alterar o esquema de modulação de maior ordem 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) , reduzindo para 16 QAM ou QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), o que reduz o throughput , porém aumenta o alcance do sinal. [22]

3.4.1.2. Long Term Evolution (LTE)

Long Term Evolution (LTE), também conhecido como Enhanced-UTRA (E-UTRA) foi iniciado em 2004 com o objetivo de definir a próxima fase da migração do 3GPP. As especificações LTE foram inicialmente identificados em 3GPP Rel-8 com outras melhorias previstas na 3GPP Rel-9. Alguns dos objetivos-chave de desempenho inicialmente estabelecido pelo 3GPP para LTE são: [6]

- Taxa de pico de dados no downlink(DL): 100 Mbps para um canal com largura de banda de 20 MHz e MIMO (2x2) na estação radio base, eficiência de pico no downlink de 5 bps/Hz;
- Taxa de pico de dados no up link(UL): 50 Mbps para um canal com largura de banda de 20 MHz e SIMO (1x2) na estação radio base, eficiência de pico no downlink de 2.5 bps/Hz;
- Média de vazão de dados no DL: 3 a 4 vezes do HSDPA (3GPP Rel-6) na velocidade de um pedestre;
- Média de vazão de dados no UL: 3 a 3 vezes do HSUPA (3GPP Rel-6) na velocidade de um pedestre;
- Largura de banda do canal: Canal Escalável até uma largura de banda de 20Mhz (em contraste com canais fixos de 5 MHz para UTRA).

O desempenho do LTE foi avaliado nos assim chamados pontos de checagem e os resultados foram acordados em seções plenárias do 3GPP, em maio e junho de 2007, na Coreia do Sul. Os resultados mostram que o LTE atende, e em alguns casos excede, as metas para os picos das taxas de dados, throughput de usuário na borda da célula e eficiência espectral, bem como VoIP e desempenho de MBMS – Multimedia *Broadcast Multicast Service*. [20]

A arquitetura Flat All IP e o acesso via radio baseado na tecnologia OFDM oferecidos pelo LTE fazem esta tecnologia atender de forma satisfatória e eficiente a crescente demanda por serviços de banda larga sem fio, além de possibilitar que as operadoras possam entregar os serviços de banda larga a um menor custo por bit. Outro aspecto bastante atraente para as operadoras 2G é a flexibilidade de espectro da tecnologia LTE, onde é possível que tais operadoras possam implantar o LTE em paralelo com a rede GSM existente destas operadoras. [13]

O LTE pode ser usado nos modos FDD – Frequency Division Duplex e TDD – Time Division Duplex. Os primeiros lançamentos de produto suportarão ambos os esquemas duplex. Em geral, o FDD é mais eficiente e representa volumes mais elevados do dispositivo e infra-estrutura, enquanto o TDD é um bom complemento, por exemplo, nos gaps centrais do espectro. [20] Até o momento, dez diferentes faixas de frequência FDD e quatro diferentes faixas de frequência TDD foram definidas no 3GPP, que podem ser usadas para LTE. Estas faixas de frequência podem ser vistas nas **tabelas 3 e 4** abaixo:

Tabela 3 – Faixas de Frequencia FDD

Fonte: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallte/pagina_3.asp

Bandas FDD	
Banda	Freqüências UL/DL (MHz)
I	1920 – 1980 / 2110 – 2170
II	1850 – 1910 / 1930 – 1990
III	1710 – 1785 / 1805 – 1880
IV	1710 – 1755 / 2110 – 2155
V	824 – 849 / 869 – 894
VI	830 – 840 / 875 – 885
VII	2500 – 2570 / 2620 – 2690
VIII	880 – 915 / 925 – 960
IX	1749.9 – 1784.9 / 1844.9 – 1879.9
X	1710 – 1770 / 2110 – 2170

Tabela 4 – Faixas de Frequencia TDD

Fonte: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallte/pagina_3.asp

Bandas TDD	
Banda	Frequências UL/DL (MHz)
a	1900 – 1920 2010 – 2025
b	850 – 1910 1930 – 1990
c	1910 – 1930
d	2570 – 2620

Operadoras de todo o mundo têm visto um grande sucesso com seus sistemas de voz 2G e eles devem continuar a investir nestas redes. O 2G é uma solução viável em longo prazo para suportar voz e permitir a mobilidade para os três a quatro bilhões de assinantes do serviço móvel de voz. Desta forma poderemos ver o sistema 2G continuar a suportar os serviços de voz enquanto o 4G substitui os serviços de dados, hoje suportados pelo sistema 3G.

A arquitetura LTE reduz o número de nós, suporta configurações flexíveis de rede e fornece um alto nível de disponibilidade de serviço. Além disso, terá interoperabilidade com GSM, WCDMA/HSPA, TD-SCDMA e CDMA. O LTE estará disponível não apenas nos telefones móveis de próxima geração, mas também nos notebooks, câmeras fotográficas, câmeras de vídeo, terminais sem fio fixos e outros dispositivos que se beneficiam da banda larga móvel. [20]

A **figura 13** abaixo mostra um esquema básico de uma arquitetura com suporte a conexão ao LTE.

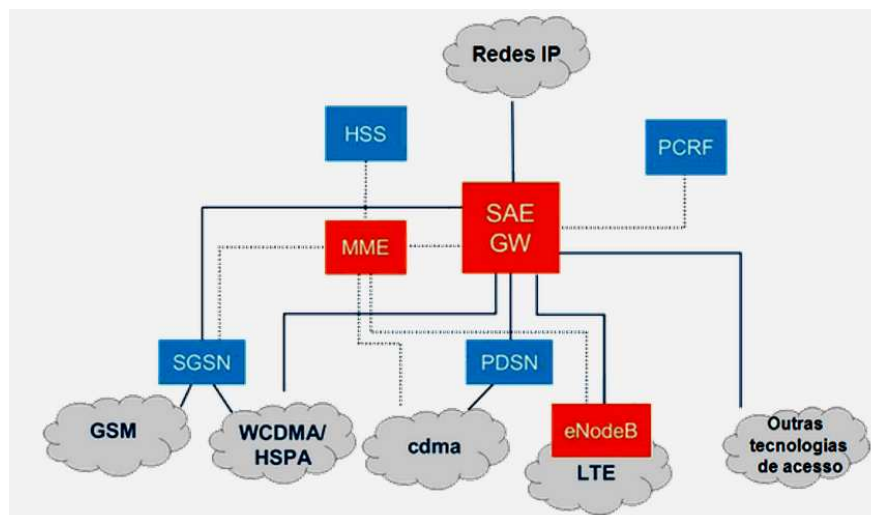


Figura 13 – Arquitetura com suporte à conexão LTE

Fonte: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallte/pagina_3.asp

3.4.1.3. Comparativo entre *WiMAX* e o LTE

As projeções de desempenho para LTE mais citadas no domínio público assumem a divisão de frequência duplex (FDD), com pares de canais com 20 MHz de largura de banda. Para fornecer uma comparação mais aproximada do mundo real entre LTE e WiMAX em FDD assume-se então, canais de 20 MHz de largura de banda para ambos os casos. Taxas de dados de pico para o LTE são geralmente apresentados sem transmitir a correção de erros de codificação. [22] As taxas de pico do LTE na **tabela 5** abaixo estão apresentadas com similares de codificação com o WiMAX para representar um cenário de implantação mais realista e fornecer uma comparação 1-1 com WiMAX.

Tabela 5 – Comparativo LTE - WiMAX

Fonte: <http://www.wimaxforum.org/>

	LTE		WiMAX (Interface aérea R1.5)	
Duplex	FDD		FDD	
Largura de banda do canal	2x20 Mhz		2x20Mhz	
Tipo de antena da estação radio base	(2x2) MIMO		(2x2) MIMO	
Modulação no <i>down link</i>	64QAM		64QAM	
Codificação no <i>down link</i>	5/6		5/6	
Taxa de pico de dados no down link	144.0 Mbps		144.4 Mbps	
Antena estação móvel	(1x2) SIMO		(1x2) SIMO	
Modulação no <i>up link</i>	16QAM	64QAM	16QAM	64QAM
Codificação no <i>up link</i>	3/4	5/6	3/4	5/6
Taxa de pico de dados no up link	43.2 Mbps	72.0 Mbps	82.9 Mbps	138.2 Mbps

3.4.2. Eficiência Espectral

A eficiência espectral será um fator determinante para que o sistema 4G seja difundido e tenha aceitação a nível mundial. Independentemente da tecnologia utilizada, o sistema 4G precisa garantir que o espectro de frequência possa ser usado de forma maximizada, obtendo assim uma relação custo por bit que favoreça a massificação do uso e acesso a recursos de dados através dos dispositivos móveis por parte dos usuários.

A ITU (International Telecommunication Union) definiu alguns padrões para eficiência espectral, os quais um sistema 4G deve atender de forma a garantir que seja qual for a tecnologia empregada, os desenvolvedores possam agregar a cada uma delas tais requisitos.

Os principais requisitos para eficiência espectral são: [17]

- Pico de Eficiência Espectral: é a máxima taxa de dados teórica que pode ser atribuída a uma estação radio base. Teórica porque o cálculo é feito desconsiderando os erros nos bits recebidos e assumindo uma condição em que todos os recursos de radio frequência estejam disponíveis. Os requisitos mínimos para as medidas de pico de eficiência espectral são:
 - 15 bit/s/Hz para pico de eficiência espectral no Downlink
 - 6.75 bit/s/Hz para pico de eficiência espectral no Uplink
- Eficiência Espectral da Célula: é definida como a taxa de vazão de dados de todos os usuários em uma determinada célula (levando-se em conta o número de bits recebido corretamente e que são entregue à camada 3, durante um determinado período de tempo) dividido pela largura de banda do canal, dividido pelo número de células. A eficiência espectral da célula é medida em bit/s/Hz/cell;
- Eficiência Espectral na borda da Célula: utiliza a mesma regra de cálculo mostrada para a eficiência espectral da célula porém levando-se em conta os dados obtidos na borda da célula.

Na **tabela 6** abaixo é possível observar os valores de referência para as medidas de Eficiência Espectral da Célula, enquanto que na **tabela 7** são mostradas as medidas de referência para Eficiência Espectral na borda da Célula.

Tabela 6 – Eficiência Espectral da célula

Fonte: REPORT ITU-R M.2134

Ambiente de teste	Downlink (bit/s/Hz/cell)	Uplink (bit/s/Hz/cell)
Interiores	3	2.25
Células Pequenas	2.6	1.80
Radio Base de cobertura urbana	2.2	1.4
Alta Velocidade	1.1	0.7

Tabela 7 – Eficiência Espectral na borda da célula

Fonte: REPORT ITU-R M.2134

Ambiente de teste	Downlink (bit/s/Hz)	Uplink (bit/s/Hz)
Interiores	0.1	0.07
Células Pequenas	0.075	0.05
Radio Base de cobertura urbana	0.06	0.03
Alta Velocidade	0.04	0.15

3.4.3. Baixa Latência

Os requisitos de latência a seguir devem ser atendidos pelo sistema, em condições de carga: [17]

Latência de dados: os requisitos para latência de enlace de dados são especificados em termos de tempo para a entrega na camada MAC da estação base e da estação cliente. A máxima latência na camada MAC é de 10ms tanto para o *downlink* quanto para o *uplink*;

Latência na transição de estado: os requisitos de latência na transição de IDLE STATE para o ACTIVE STATE definem que a máxima latência nesta transição não deve ser maior que 100ms;

Latência e taxas de erro de pacote: o sistema deve suportar a configuração de um conjunto de classes de tráfego com latência diferente e um desempenho variável, de acordo com a taxa de erro de pacote, a fim de atender os requisitos de QoS para o usuário final nas mais variadas aplicações.

3.4.4. Gerenciamento do Quality of Service (QoS)

O sistema 4G deve apoiar as classes de QoS, permitindo uma excelente combinação de aplicações, serviços e exigências do protocolo e as características de acesso via rádio. Isso permite que o sistema inclua aplicativos que suportem, por exemplo, jogos interativos. Quando possível o suporte a QoS deve ser preservado durante a interligação entre redes com tecnologia de acesso via rádio diferente. O

sistema deve conter um conjunto de parâmetros comum que atendam todas as classes de serviços e os parâmetros de QoS para estes. Outros fatores de QoS a serem incluídos são: [23]

- Suporte as resoluções de QoS habilitados para IPV4 e IPV6, com gerenciamento eficiente dos recursos de radio;
- Resolver conflitos de demanda entre todos os terminais móveis nos recursos do sistema e, ao mesmo tempo satisfazer os compromissos de QoS para cada terminal individual.

3.4.5. Handoff

Os métodos de handoff devem permitir os terminais móveis a manterem a conectividade ao se mover entre as células, entre sistemas, entre as frequências, e na camada mais alta entre as sub-redes IP.

Com relação ao suporte à conectividade em alta velocidade em uma rede “all IP” a interface aérea do sistema 4G deve suportar usuários das redes IPV4 móveis, IPV6 móvel e IP simples. [17]

3.5. Segurança do Ambiente

O Sistema 4G deve fornecer funções de autenticação e privacidade, as quais devem prover os meios necessários para alcançar:

- Proteção da integridade do sistema, como por exemplo: sistema de acesso, estabilidade e disponibilidade;
- Proteção e confidencialidade do tráfego gerado pelo usuário e dos dados pessoais dos mesmos, como por exemplo, privacidade de localização e identidade do usuário;
- Acesso seguro aos serviços prestados pelo sistema.

Alguns exemplos de procedimentos adotados para que os requisitos acima sejam alcançados são: autenticação do usuário/dispositivo, proteção da integridade dos controles e das mensagens de sinalização e controle, aperfeiçoamento do gerenciamento e distribuição de chaves e encriptação dos dados relacionados ao usuário. O impacto destes procedimentos, no desempenho de outros procedimentos do sistema, deve ser minimizado. [23]

Devido a complexidade das redes celulares, onde podemos encontrar várias entidades executando função de gerenciamento juntas, o desafio de prover segurança a informação em todos os caminho possíveis, se torna ainda maior.

Assim como na internet conforme conhecemos hoje, o sistema de rede sem fio de quarta geração também necessita garantir que as seguintes características sejam atendidas quanto ao tráfego de informações provenientes de protocolos e sistemas seguros:

- **Confidencialidade:** processo de prevenir que usuários sem permissão tenham acesso ao conteúdo da informação;
- **Autenticação:** processo de comprovação ou verificação de que determinada informação recebida realmente veio do remetente reconhecido pelo destinatário;
- **Integridade:** processo de assegurar que as informações não podem ser excluídas ou modificadas por aqueles que não têm devida autorização para tal;
- **Disponibilidade:** garantia de que a informação estará acessível a todo o momento em que seja necessário consultá-la.

Para que o sistema 4G obtenha sucesso e alcance os mais variados níveis do sistema de comunicação, as questões de segurança da informação devem ser abordadas adequadamente, além de integrar métodos de criptografia robustos ao sistema. Os requisitos para segurança da informação e comunicação em um sistema 4G são: [23]

- **Cartão USIM válido:** A unidade móvel do usuário deve ter um cartão USIM válido para acessar qualquer serviço 4G exceto para chamadas

de emergência, onde a rede deve ser autorizada a decidir se deve ou não permitir chamadas de emergência sem um cartão USIM;

- Notificação de serviço disponível: o usuário deve ser informado, no início ou durante a prestação do serviço, da disponibilidade do sistema 4G;
- Autenticação de usuários: as operadoras devem ser munidas de mecanismos de autenticação de forma a validar cada usuário no início ou durante a prestação de serviço em um sistema 4G;
- Autenticação de dados: o servidor da rede deve ser capaz de autenticar a origem do tráfego do usuário, dados de sinalização e dados de controle em todas as interfaces de rádio;
- Proteção à informações críticas: o sistema deve proteger dados críticos contra alterações intencionais ou não intencionais, como por exemplo, configurações críticas da rede, como banco de dados de roteadores;
- Segurança da rede de gerenciamento de sinalização: a infraestrutura da rede pode ser mantida e gerenciada automaticamente. Todos os dados de sinalização devem ter as características de autenticação, confidencialidade, integridade e anti-repetição;
- Disponibilidade da infra-estrutura de rede: todos os nós críticos da infraestrutura da rede devem ser protegidos contra ataques de negação de serviço, além de proteger as mídias de comunicação, incluindo o link de comunicação sem fio.

Grandiosos esforços de pesquisa têm sido abordados, principalmente nas áreas de autenticação e criptografia para o sistema 4G e o desafio se torna ainda maior, pelo fato deste sistema ter uma característica heterogênea, onde sua principal atribuição será a integração flexível e adaptável de tecnologias de rede para permitir que a estação móvel possa transitar entre as diversas redes de acesso. Cada uma

destas tecnologias têm o seu conjunto exclusivo de características e capacidades em relação a segurança , fazendo com que os requisitos de segurança para o sistema 4G citados acima ganhem fundamental importância e complexidade no desenvolvimento e adaptação para a realidade e prática quando da implementação destes requisitos no sistema.

4. CONCLUSÃO

Devido ao volume e a velocidade das taxas de transferência de dados, os serviços de quarta geração já estão despertando grande interesse comercial entre os especialistas da indústria de tecnologia e das operadoras de sistemas de comunicação sem fio. Com o advento do sistema de quarta geração os terminais móveis terão a capacidade de trazer aos usuários finais experiências inéditas em todos os diversos tipos e segmentos de serviços, os quais possibilitarão que estes usuários estejam permanentemente conectados ao mundo virtual e ao mundo real. Estes serviços irão prover acesso fácil a outras pessoas e dispositivos em torno da rede 4G. De fato, o 4G pode também ser descrito como sendo uma abreviação para multimídia móvel, a qualquer momento em qualquer lugar, suporte a mobilidade global, soluções integradas de acesso a rede sem fio e serviços pessoais customizados.

Diversas tecnologias têm sido propostas, porém poucas têm passado pelos critérios e exigências até então exigidos para que uma tecnologia possa ser considerada como uma tecnologia de quarta geração. Dentre as tecnologias propostas duas têm se despontado como principais tecnologias para sistema de quarta geração. O Wimax e o LTE, já estão presentes em algumas redes ao redor do mundo e vem se aperfeiçoando para atender as necessidades da crescente demanda por dados, com a tarefa de reduzir os custos de implementação e a média do custo por bit para o usuário final.

Neste momento é ainda prematuro afirmar qual tecnologia irá prevalecer como solução mais aceita a nível mundial, ou mesmo se haverá uma única preferência. Mas o que podemos afirmar é que qual seja essa tecnologia, a mesma deverá atender principalmente ao requisito de unificar globalmente padrões de acesso a rede de comunicação sem fio, de forma que para o usuário seja transparente e praticamente imperceptível a transição entre os diversos padrões e protocolos de acesso.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Citação:** NBR-10520/ago - 2002. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- [2] _____ . **Referências:** NBR-6023/ago. 2002. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- [3] Basic Components of Cellular Systems, disponível em: <http://www.buzzle.com/articles/basic-components-of-cellular-systems.html>. Acessado em 27/04/2011 às 23:00hs.
- [4] Dan Locke, **WiMAX and LTE: The Case for 4G Coexistence**. Pyramid Research, 2010.
- [5] DAVID T., PRAMOD V. **Fundamentals of Wireless Communication**. Reino Unido: Cambridge University Press, 2005.
- [6] Ericsson, **Long Term Evolution (LTE) - An Introduction**, disponível em: http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/lte_overview.pdf, Acessado em 16/04/2011 às 19:00hs.
- [7] Esteves Eduardo, **1xEV-DO (Evolution Data Optimized)**, disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcdma2000/default.asp>, Acessado em 10/05/2011 às 21:00hs.
- [8] História e Evolução dos Telefones Celulares, disponível em: http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0310214_05_cap_02.pdf, Acessado em 25/04/2011 às 02:00hs.
- [9] HowStuffWorks-**WiMAX** disponível em: <http://informatica.hsw.uol.com.br/wimax1.htm>. Acessado em 21/05/2011 às 20:00hs.
- [10] IEEE 802.16e-2005, "**Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems**", February 28, 2006.
- [11] IEEE 802.20-2008, "**Air Interface for Mobile Broadband Wireless Access Systems Supporting Vehicular Mobility— Physical and Media Access Control Layer Specification**", August 29, 2008.
- [12] IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 42, No 3, August 1993.

- [13] Mobile Broadband Features - **Motorola Long Term Evolution** disponível em: <http://business.motorola.com/experiencelte/lte-depth.html>, Acessado em 20/05/2011 às 22:00hs.
- [14] **OFDM/OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing / Multiple Access)**, disponível em: [http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/coutinho/OFDM_OFDMA_\(OrthogonalFrequencyDivisionMultiplexing/MultipleAccess\).html](http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/coutinho/OFDM_OFDMA_(OrthogonalFrequencyDivisionMultiplexing/MultipleAccess).html) , Acessado em 20/05/2011 às 21:00hs.
- [15] **Qualcomm web papers** disponível em: http://www.qualcomm.com/products_services/airlinks/evdo_revb.html. Acessado em 09/05/2011 às 23:00hs.
- [16] REPORT ITU-R M.2133, "**Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-Advanced**", 2008.
- [17] REPORT ITU-R M.2134, "**Requirements related to technical performance for IMT-Advanced radio interface(s)**", 2008.
- [18] Tude Eduardo, **Conceitos básicos de Sistemas Celulares AMPS e TDMA**, disponível em: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtdma/pagina_1.asp, Acessado em 28/04/2011 às 13:00hs.
- [19] Tude Eduardo, **Conceitos básicos para o Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)**, disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwcdma/default.asp>. Acessado em 19/05/2011 às 19:00hs.
- [20] White Paper Ericsson, **Long Term Evolution (LTE) - An Introduction**, disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallte/Default.asp>, Acessado em 17/05/2011 às 23:00hs.
- [21] WiMAX Forum, **Deployment of Mobile WiMAX™ Networks by Operators with Existing 2G & 3G Networks**. September, 2008.
- [22] WiMAX Forum, **WiMAX™, HSPA+, and LTE: A Comparative Analysis**. November, 2009.
- [23] ZARAI Faouzi, Quality of Service and Security in Wireless Fourth Generation Networks, CN&S research lab. Engineering school of communications, October 2007