

UFRB - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CETEC - CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
BCET - BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

# DO 1G AO 5G: EVOLUÇÃO DAS REDES DE TELEFONIA MÓVEL

ÍTALA LIZ DA CONCEIÇÃO SANTANA  
SILVA

CRUZ DAS ALMAS

2016

**ÍTALA LIZ DA CONCEIÇÃO SANTANA  
SILVA**

# **DO 1G AO 5G: EVOLUÇÃO DAS REDES DE TELEFONIA MÓVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como  
parte dos requisitos para a obtenção do título de  
Bacharela Graduada em Ciências Exatas e Tecnológicas.

Orientador: Prof. Dr. José Valentim dos Santos Filho  
Coorientador: Prof. Me. Gildeberto de Souza Cardoso

Cruz das Almas  
2016

Ítala Liz da Conceição Santana Silva

Do 1G ao 5G: Evolução das Redes de Telefonia Móvel/ Ítala Liz da Conceição Santana Silva. – Brasil, Agosto de 2016-  
90 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: José Valentim dos Santos Filho

Coorientador: Gildeberto de Souza Cardoso

TCC (Monografica) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CETEC  
Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas - BCET, Agosto de 2016.

1. Telefonia móvel. 2. Evolução. 3. Geração. I. José Valentim dos Santos Filho.  
II. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. III. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. IV. Do 1G ao 5G: Evolução das Redes de Telefonia Móvel

UFRB – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CETEC – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
BCET - BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

## **DO 1G AO 5G: EVOLUÇÃO DAS REDES DE TELEFONIA MÓVEL**

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

EXAMINADORES:

---

Prof. D.r. José Valentim dos Santos Filho  
Orientador

---

Prof<sup>a</sup>. M.e. Karolinne Brito de Brito

---

Prof. M.e. Gildeberto de Souza Cardoso  
Coorientador

Cruz das Almas  
2016

*Dedico este trabalho ao meu tio Sid (in memoriam) por me mostrar que pra vencer na vida a gente tem que ser forte.*

# Agradecimentos

---

Primeiramente e por mais clichê que pareça, a Deus por ter me dado a dádiva da vida, saúde para que com fé pudesse seguir essa jornada e por não me deixar esmorecer nos momentos de tristeza e dificuldade.

Aos meus pais, por todo apoio e amor incondicional. Pelo incentivo, esforço e vontade de me ver vencer. Vocês são a razão de tudo isso! A toda minha família, que de algum modo contribuiu para que eu chegasse até aqui. Em especial, a meu tio Sid (*in memoriam*) que deve vibrando lá de cima orgulhoso do meu amadurecimento e sucesso.

A minha turma 2012.2 pelo acolhimento e amizade, tornando a jornada mais leve e ajudando a tirar as pedras do caminho. Aos amigos que fiz aqui: Diego, obrigada por ser meu ombro amigo, confidente, professor, contato de emergência, moto táxi e sempre me apoiar. Gabriel, por estar sempre pronto a tirar minhas dúvidas (por mais bestas que sejam), por ser prestativo e por se mostrar sempre presente nas dificuldades, saiba que sem você esse TCC não ia sair. Victor, você foi um presente que a UFRB me deu! Obrigada por me salvar quando eu preciso, por me levar para faculdade e por ser um amigo que posso contar todas as horas. Ao meu “quarteto fantástico” (Carol, Gabi e Manu) por sempre ouvirem os meus desabafos, me aturarem e me aconselharem em todas as situações e momentos. A Meg, minha amiga e colega de casa, por estar presente nos momentos mais difíceis, nas horas de estresse e sucesso nesses anos de convivência. Vocês moram no meu coração!

Aos meus professores do ensino médio, por toda dedicação e incentivo na descoberta da afinidade pelos números. A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao corpo docente do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, em especial aos docentes do Secomp, por me provarem que a frase “na universidade, não tão nem aí se você aprendeu ou não” é mentira e ao meu orientador, Valentim, pela orientação no desenvolvimento desse trabalho. Um obrigada mais que especial ao professor João Cláudio, pela atenção, disponibilidade e carinho de sempre e a Gil, meu coorientador, por toda paciência, atenção e dedicação para o êxito desse projeto.

*“Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.”*  
*(Isaac Newton)*

# Resumo

---

O presente Trabalho de Conclusão de Curso apresenta um panorama do processo evolutivo das tecnologias de redes móveis, bem como suas fases e gerações. Faz uma análise de seu comportamento, principais mudanças, características, perspectivas futuras, como também seus impactos e tendências. O crescimento do mercado de comunicações móveis resulta na necessidade de melhoria na velocidade de conexão e transmissão de dados móveis. Hoje as redes móveis possuem características como acesso à *internet* em alta velocidade, segurança, serviços de transferência de mensagens multimídias, televisão móvel em alta definição e vídeo chamadas. A tecnologia atual oferece uma variedade de serviços antes acessados somente com a banda larga fixa. O modo com que os usuários interagem, armazenam e organizam as informações tem como consequência o estudo e desenvolvimento de novas tecnologias que prometem velocidades de transmissão ainda maiores. Com isso, são criados novos serviços e melhorados aqueles já oferecidos.

**Palavras-chave:** tecnologia, geração, padrão, evolução, telefonia móvel.



# Abstract

---

This work presents an overview of the evolutionary process of mobile network technologies, as well as its stages and generations. It analyzes their course, main changes, characteristics, future expectations, impacts and trends. The expansion of the mobile communications market entails the need to improvement in the speed connection and transmission of mobile data. Today Mobile Networks have particulars as Internet access in high speed and security, multimedia message transfer services, mobile TV in high definition and video calls. The current technology offers a variety of services previously accessible only with wired network. The way users interact, store and organize information makes new technologies being studied and developed, promising even higher speed transmission. Therefore, creating new services and improved those already offered.

**Keywords:** technology, generation, device, evolution, mobile.

# Lista de ilustrações

---

Figura 1.1 – <b>Fundamentação Teórica</b> . . . . .	25
Figura 2.1 – <b>Espectro de Frequências</b> . . . . .	27
Figura 2.2 – <b>Transmissão em FDMA</b> . . . . .	29
Figura 2.3 – <b>Canais FDMA</b> . . . . .	29
Figura 2.4 – <b>AMPS - Divisão das bandas</b> . . . . .	30
Figura 2.5 – <b>Canais TDMA</b> . . . . .	33
Figura 2.6 – <b>Arquitetura da rede GSM</b> . . . . .	36
Figura 2.7 – <b>Arquitetura da rede GSM + GPRS</b> . . . . .	37
Figura 3.1 – <b>Arquitetura UMTS</b> . . . . .	42
Figura 3.2 – <b>Arquitetura WCDMA</b> . . . . .	43
Figura 3.3 – <b>Áreas de atuação das operadoras de Banda B no Brasil</b> . . . . .	45
Figura 3.4 – <b>Cobertura da Tecnologia 3G por Região SMC em maio/2016</b> . . . . .	47
Figura 4.1 – <b>Evolução das Tecnologias digitais até a 4G</b> . . . . .	49
Figura 4.2 – <b>Adesão do 2G ao 4G no mundo</b> . . . . .	50
Figura 4.3 – <b>Composição das portadoras e subportadoras no OFDM</b> . . . . .	51
Figura 4.4 – <b>Sistema MIMO 2x2</b> . . . . .	52
Figura 4.5 – <b>Codificação espaço-tempo</b> . . . . .	53
Figura 4.6 – <b>Multiplexação Espacial</b> . . . . .	53
Figura 4.7 – <b>Topologia da rede LTE</b> . . . . .	57
Figura 4.8 – <b>Canais físicos do LTE</b> . . . . .	58
Figura 4.9 – <b>Zona de Fresnel (LOS)</b> . . . . .	65
Figura 4.10 – <b>Propagação do sinal (NLOS)</b> . . . . .	66
Figura 4.11 – <b>Tráfego de <i>downlink</i> e <i>uplink</i></b> . . . . .	67
Figura 4.12 – <b><i>Frequency Division Duplex</i> (FDD)</b> . . . . .	67
Figura 4.13 – <b><i>Time Division Duplex</i> (TDD)</b> . . . . .	67
Figura 4.14 – <b>Topologia da rede WIMAX</b> . . . . .	69
Figura 4.15 – <b>Cobertura 4G no Brasil</b> . . . . .	71
Figura 5.1 – <b>Dimensões do volume de tráfego</b> . . . . .	73

Figura 5.2 – Comparativo de desempenho entre redes fixas e móveis . . . .	74
Figura 5.3 – Redes de multicamadas composta por células maiores . . . . .	75
Figura 5.4 – Diagrama do transceptor do GFDM . . . . .	76
Figura 5.5 – Partição do tempo e da frequência . . . . .	77
Figura 5.6 – Diagrama do transceptor do UPMC . . . . .	78
Figura 5.7 – Filtros para subportadora do FBMC . . . . .	79
Figura 5.8 – Pré-padronizações do 5G no mundo . . . . .	82
Figura 5.9 – Padronização do 5G no mundo . . . . .	83

## Lista de tabelas

---

Tabela 2.1 – Primeira Geração de Sistemas de Telefonia Móvel . . . . .	28
Tabela 2.2 – Características Técnicas dos padrões TDMA . . . . .	32
Tabela 2.3 – Principais diferenças entre as tecnologias GSM, GPRS e EDGE	39
Tabela 3.1 – Operadoras do Brasil em 2016 . . . . .	46
Tabela 4.1 – Principais padrões para redes 4G . . . . .	49
Tabela 4.2 – Principais características do LTE . . . . .	55
Tabela 4.3 – Alocação mundial das faixas licenciadas e isentas de licença .	63
Tabela 4.4 – Faixas de frequência disponíveis para o WIMAX . . . . .	64
Tabela 4.5 – Comparação entre FDD e TDD . . . . .	68
Tabela 4.6 – Aplicações do WIMAX . . . . .	70
Tabela 5.1 – Requisito colaborativo do sistema 5G . . . . .	80
Tabela 5.2 – Comparativo do 1G ao 5G . . . . .	84

# Lista de abreviaturas e siglas

---

1G	Primeira Geração
2G	Segunda Geração
2,5G	Segunda Geração e Meia
3G	Terceira Geração
3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
4G	Quarta Geração
5G	Quinta Geração
ACM	Adaptative Code Modulating
AMPS	Advanced Mobile Phone System
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
AoC	Advice of Charge
AuC	Authentication Center
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BFDM	Bi-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Station Transceiver

CCCH	Common Control Channel
CEPT	Conférence Européene Postes et Télécommunications
CN	Rede Cognitiva
CR	Rádio Cognitivo
D-AMPS	Digital - Advanced Mobile Phone System
DCC	Canal de Controle Digital
DCCH	Dedicated Control Channel
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DMRS	Demodulation Reference Signal
DS-CDMA	Direct Sequence CDMA
DSP	Digital Signal Processor
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EIR	Equipament Identity Register
EPC	Evolved Packet Core
ESN	Eletronic Serial Number
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EU	User Equipment
EV-DO	Evolution - Data Only
EV-DV	Evolution - Data and Voice
FBMC	Filter Bank Multi-carrier
FDD	Frequency Division Duplex
FDM	Frequency Division Multiplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequency Modulation
GFDM	Generalized Frequency Division Multiplexing

GIMCV	Aldeia Global de Informação de Comunicação Multimídia
GPRS	General Packet Radio Services
GPS	Global Positioning System
HLR	Authentication Center
HD	High Definition
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DPCCH	High Speed Dedicated Physical Control Channel
HS-DSCH	High Speed Downlink Shared Channel
HSPA	High Speed Packet Access
HS-PDSCH	High Speed-Physical Downlink Shared Channel
HSS	Home Subscriber Server
HS-SCCH	High Speed Shared Control Channel
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT	International Mobile Telecommunications
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications-Advanced
IP	Internet Protocol
IPv6	Internet Protocol version 6
ITC	Intervalo de Tempo de Canal
ITU	International Telecommunications Union
LMDS	Local Multipoint Distribution Service
LOS	Line of Sight
LTE	Long Term Evolution
MAC	Camada de enlace de dados
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service

MCC	Mobile Country Code
MCCH	Multicast Control Channel
MC-CDMA	Acesso Múltiplo por Divisão de Código de Operadoras
MCE	Mercado Comum Europeu
MCH	Multicast Channel
MCS	Japanese Mobile Cellular System
MCM	Multi Carrier Modulation
MGW	Media GateWay
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MIN	Mobile Identification Number
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Message Service
MNC	Mobile Network Code
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MSIN	Mobile Subscriber Identification Number
MTCH	Multicast Traffic Channel
MU-MIMO	Multi-User MIMO
NAMPS	Narrowband AMPS
NAS	Non-Access Stratum
NGMN	Next Generation Mobile Networks
NLOS	Non-Line-of-Sight
NMT	Nordic Mobile Telephone
NOMA	Not-Orthogonal Multiple Access
NSS	Network and Switching Subsystem
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing



OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OMS	Operations and Maintenance System
PAPR	Peak Average Power Range
PBCH	Physical Broadcast Channel
PCFICH	Physical Control Format Indicator Channel
PCCH	Paging Control Channel
PCH	Paging Channel
PCN	Personal Communication Networks
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDCCP	Packet Data Convergence Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
P-GW	Packet Data Network Gateway
PHICH	Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
PHY	Múltiplas camadas físicas
PMCH	Physical Multicast Channel
PMM	Tecnologia Paralela Multimodo
P-SS	Primary Synchronization Signal
PSTN	Public Switched Telephone Network
PRACH	Physical Random Access Channel
PUCCH	Physical Uplink Control Channel
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QoS	Quality of Service
RAT	Acesso de Tecnologia por Rádio
RF	Radiofrequência
RLC	Radio Link Control
RMC	Controle de Ligação de Rádio

RNC	Radio Network Controller
ROHC	Robust Header Compression
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
RS	Reference Signal
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SDU	Service Data Units
SFBC	Space Frequency Block Coded
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving GateWay
SIM	Subscriber Identity Module
SMC	Serviço Móvel Celular
SMS	Short Messages Service
SON	Self-Organizing Network
SRS	Sounding Reference Signal
S-SS	Secondary Synchronization Signal
SU-MIMO	Single User MIMO
TACS	Total Access Communication System
TDD	Time-Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TM	Transparente Mode
TMC	Tipo de Comunicação de Máquina
TTI	Transmission Time Interval
UE	User Equipament
UFMC	Universal Filtered Multi-carrier

UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN-UMTS	Terrestrial Radio Access Network
UWB	Ultra WideBand
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wide Band Code Division Multiple Access
WiFi	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Networks

# Sumário

---

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>1.1</b>	<b>Considerações Iniciais . . . . .</b>	<b>22</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa . . . . .</b>	<b>23</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos . . . . .</b>	<b>23</b>
1.3.1	Objetivos Gerais . . . . .	23
1.3.2	Objetivos Específicos . . . . .	24
<b>1.4</b>	<b>Metodologia . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>1.5</b>	<b>Organização do Trabalho . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>2</b>	<b>O INÍCIO: 1G E 2G . . . . .</b>	<b>26</b>
<b>2.1</b>	<b>Primeira Geração (1G) . . . . .</b>	<b>26</b>
2.1.1	FDMA . . . . .	28
2.1.2	AMPS . . . . .	29
<b>2.2</b>	<b>Segunda Geração (2G) . . . . .</b>	<b>30</b>
2.2.1	TDMA . . . . .	31
2.2.2	GSM . . . . .	33
2.2.3	CDMA . . . . .	39
<b>3</b>	<b>TERCEIRA GERAÇÃO (3G) . . . . .</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>UMTS . . . . .</b>	<b>41</b>
3.1.1	Arquitetura UMTS . . . . .	41
3.1.2	WCDMA . . . . .	42

3.1.3	HSPA . . . . .	43
<b>3.2</b>	<b>CDMA-2000 . . . . .</b>	<b>44</b>
3.2.1	CDMA 1xEV-DO . . . . .	44
3.2.2	CDMA 1xEV-DV . . . . .	45
<b>3.3</b>	<b>Surgimento do 3G no Brasil . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>QUARTA GERAÇÃO (4G) . . . . .</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>LTE . . . . .</b>	<b>50</b>
4.1.1	Tecnologia da rede LTE . . . . .	51
4.1.2	Arquitetura LTE . . . . .	55
4.1.3	Pilhas de Protocolos LTE . . . . .	57
4.1.4	Canais físicos do LTE . . . . .	58
4.1.5	Sinalizações do LTE . . . . .	59
4.1.6	Canais de Transporte . . . . .	60
4.1.7	Canais Lógicos . . . . .	61
<b>4.2</b>	<b>WIMAX . . . . .</b>	<b>62</b>
4.2.1	Características do WIMAX . . . . .	63
4.2.2	Propagação NLOS contra propagação LOS . . . . .	64
4.2.3	Multiplexação FDD e TDD . . . . .	66
4.2.4	Os padrões do WIMAX . . . . .	68
4.2.5	Características do meio de propagação do WIMAX . . . . .	70
<b>4.3</b>	<b>4G no Brasil . . . . .</b>	<b>70</b>
<b>5</b>	<b>O FUTURO: A QUINTA GERAÇÃO (5G) . . . . .</b>	<b>72</b>
<b>5.1</b>	<b>O padrão 5G . . . . .</b>	<b>72</b>
<b>5.2</b>	<b>Possíveis modulações de radiofrequência para o 5G . . . . .</b>	<b>76</b>
5.2.1	GFDM . . . . .	76
5.2.2	UFMC . . . . .	77
5.2.3	FBMC . . . . .	78

5.2.4	BFDM . . . . .	79
5.3	Inteligência no 5G . . . . .	79
5.4	Arquitetura da rede 5G . . . . .	81
5.5	Novidades na 5G . . . . .	82
6	CONCLUSÃO: CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS . . . . .	85
	REFERÊNCIAS . . . . .	87

# 1 Introdução

---

## 1.1 Considerações Iniciais

A comunicação é um fator indispensável para o convívio em sociedade. Desde sua existência, o homem vem aprimorando as maneiras de se comunicar.

Desde o surgimento do celular, houve uma significativa mudança no modo de comunicação. Os sistemas móveis atualmente possuem diversas aplicações voltadas a transmissão de dados. Ao longo dos anos, foram desenvolvidas diversas tecnologias - conhecidas como gerações, que possibilitaram o tráfego de informações.

Com poucos recursos disponíveis, criar um sistema que fizesse comunicação entre telefones sem fio não foi tarefa fácil. Após testes de diversos fabricantes, em 1973 surgiu o primeiro celular e com ele a Primeira Geração (1G) de telefonia móvel, marcada por celulares grandes, pesados e de preço inacessível para a maioria.

No início dos anos 90, os fabricantes passaram a desenvolver e comercializar novos aparelhos. Sua principal aposta era a redução do tamanho, agregada ao uso de novos padrões de comunicação, nascendo a Segunda Geração (2G). A 2G foi baseada em três tecnologias: TDMA, GSM e CDMA e trouxe como novidade o serviço de mensagem de texto e *displays* policromáticos. Com a possibilidade de visualização de imagens coloridas, logo os aparelhos ganharam serviços de mensagens multimídias e de *internet*, mas a evolução estava apenas começando.

Com a popularização dos telefones celulares, também crescia a criatividade dos seus desenvolvedores. Enquanto as operadoras implementavam novos serviços, os fabricantes inovavam nas funções. Apesar de não reconhecida oficialmente, a Segunda Geração e Meia (2,5G) contou com a adesão de novos padrões, o GPRS e EDGE. Apresentou um aumento considerável na velocidade de acesso à *internet* para atender as novas funções - suporte a arquivos mp3 e implementação da câmera, principais atrativos da época.

Com o surgimento da Terceira Geração (3G) e o uso dos padrões UMTS e CDMA

pouco se ouve o termo “celular”, substituído por “*smartphones*”. O termo “*smartphone*” deve-se ao fato desses celulares usarem sistemas operacionais. Atualmente os desenvolvedores estão investindo cada vez mais nas tecnologias voltadas a esses aparelhos. Eles contam com tecnologias de acesso sem fio (*WiFi*, *Bluetooth*), vídeo chamada, memória interna com alta capacidade de armazenamento, suporte ao 3G/4G, dentre outras funcionalidades.

A Quarta Geração (4G) se trata de uma melhoria na 3G, com a adição de novos serviços e utilização dos padrões LTE e WIMAX. Tem como objetivo fornecer uma rede integrada baseada em IP, onde a conexão não é feita apenas através de celulares, como também por outros dispositivos sem fio. Além disso, investe na melhoria da transmissão de dados e segurança.

Hoje, já se fala no surgimento da Quinta Geração (5G) em 2020. A nova tecnologia promete velocidades superiores a da 4G, mudando o modo de uso dos dispositivos móveis. A grande novidade é o uso de um sistema integrado e dinâmico composto por diversos subsistemas conectados e comunicando-se entre si. Ela ainda não possui padrões definidos, mas já está em fase de testes em alguns países, sendo motivo de grande expectativa nos mais variados campos do conhecimento, como medicina e engenharia.

Esse trabalho se delimita a abordar os conceitos que estão por trás das novidades na telefonia, bem como seu desenvolvimento e evolução.

## 1.2 Justificativa

O interesse pelo tema é devido a sua importância na atualidade e em como o celular vem mudando o cotidiano das pessoas através da *internet*. Quando se fala em telefonia móvel, suas características e avanços tecnológicos são de extrema importância, sendo um dos meios de comunicação mais utilizados atualmente em escala global. A facilidade na comunicação estimula as pessoas a fazerem uso dessa evolução e interagirem das mais diversas formas, como voz, texto e multimídia utilizando altas velocidades. Partindo desse ponto, pode-se dizer que a relevância desse trabalho consiste no entendimento dos conceitos relacionados a essa evolução bem como suas consequências no mundo atual.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral desse trabalho é explorar os conceitos a respeito das tecnologias de telefonia móvel e como se deu sua evolução até os dias atuais.



### 1.3.2 Objetivos Específicos

Como objetivo específico, este trabalho faz um estudo das tecnologias, bem como suas características e padrões, com o intuito de mostrar a necessidade da evolução, parâmetros de desempenho e aplicações, apresentando um comparativo com as tecnologias precursoras através de uma pesquisa exploratória. Vale ressaltar que o trabalho não visa um estudo detalhado das respectivas arquiteturas das tecnologias, explicando-as de forma superficial para o entendimento do leitor acerca de alguns conceitos e características.

## 1.4 Metodologia

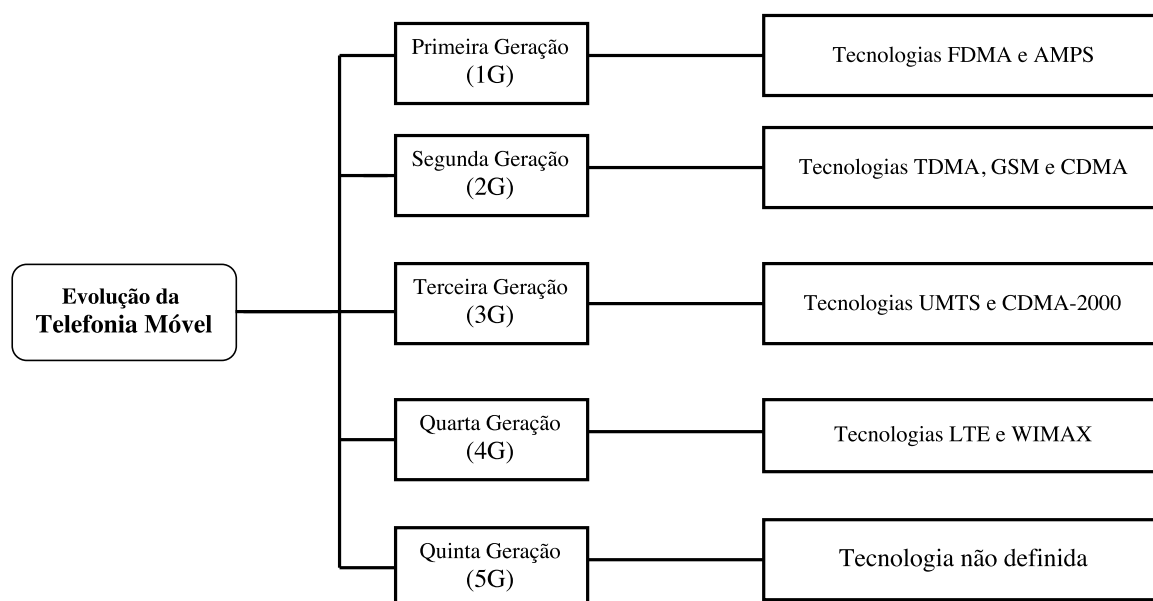
O presente trabalho foi desenvolvido da seguinte forma: foi realizada uma revisão de literatura baseada em informações nacionais e estrangeiras extraídas de livros, artigos científicos, teses, dissertações, como também de meios eletrônicos. Não se trata de uma pesquisa de campo, sendo assim, foi descrito um histórico da evolução da telefonia móvel com o intuito de entender seu processo de desenvolvimento.

## 1.5 Organização do Trabalho

Para um melhor entendimento acerca dos temas abordados no presente trabalho, o mesmo foi dividido em capítulos.

Nesse capítulo, foi apresentada as considerações iniciais, os objetivos que ressaltam sua importância e os pontos de motivação - justificando o tema para o desenvolvimento da pesquisa, a metodologia usada e por fim a estrutura do trabalho.

Os Capítulos 2 a 5 são de fundamentação teórica, onde será exposto todo o levantamento bibliográfico feito e sua relevância, da seguinte forma:

Figura 1.1 – **Fundamentação Teórica**

Fonte: Elaborado pela autora, 2016

No Capítulo 2, será explorado o início da telefonia móvel, as características e padrões utilizados na 1G e 2G, bem como a ascensão da Primeira para Segunda Geração e o que a motivou.

No Capítulo 3, será feito um estudo da Terceira Geração como um todo, os padrões utilizados e suas respectivas arquiteturas, como também sua situação no nosso país.

O Capítulo 4 explora os conceitos da Quarta Geração, bem como suas características, deficiências e desenvolvimento no Brasil.

A Quinta Geração é explorada no Capítulo 5, nele consta todas as informações acerca de como vem sendo desenvolvida a tecnologia do futuro, quais as expectativas e possíveis aplicações.

Por fim, o Capítulo 6 foi reservado para as considerações finais e também fazer um direcionamento para possíveis trabalhos futuros, concluindo assim este trabalho.

## 2 O início: 1G e 2G

---

### 2.1 Primeira Geração (1G)

Os primeiros aparelhos móveis foram propostos em 1977, nos Estados Unidos (EUA). Em 1981, na Suécia, foi ofertado o primeiro serviço de telefonia móvel. Quando em 1973, a Motorola patenteou o protótipo do primeiro celular, comercializado uma década depois.

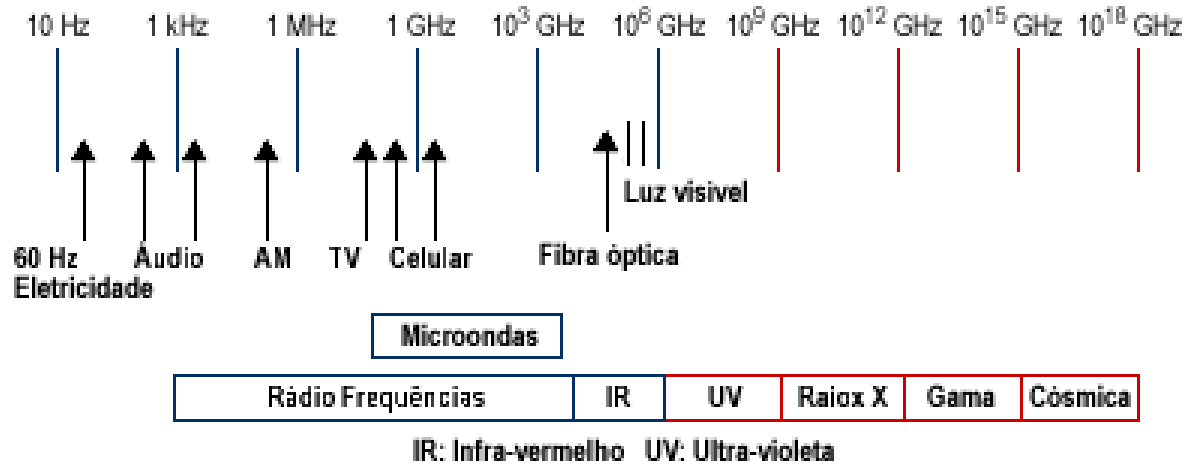
A comunicação sem fio é formada por dois usuários, o transmissor e receptor. Seus componentes principais são: o microfone – que faz a conversão do sinal de voz de quem está transmitindo a informação em sinais elétricos, o alto-falante - que converte o sinal elétrico em sinal de voz para o receptor ouvir a mensagem que fora transmitida, o transmissor - responsável pelo envio dos sinais gerados pelo microfone para o receptor, que por sua vez recebe esses sinais e os envia para o alto-falante. Ainda a antena, que converte sinais elétricos em ondas de rádio enviando-os de um local a outro de maneira ágil e segura (SANTOS, 2008).

Para um melhor entendimento acerca dos sistemas celulares, alguns conceitos são importantes:

- ★ Banda: é o intervalo entre duas frequências. Sua largura é definida pela diferença entre a maior e a menor frequência.

Um espectro de frequências pode ser visto na Figura 2.1:

Figura 2.1 – Espectro de Frequências



Fonte: TELECO, 2016

Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/spectro.asp](http://www.teleco.com.br/spectro.asp)

- ★ Modulação: é responsável pela modificação do sinal eletromagnético gerado, antes de ser propagado. A informação é transportada através de uma onda portadora caracterizada pela frequência, amplitude e fase. A informação transmitida é recuperada através da demodulação.
- ★ Espaço de portadora: é um sinal analógico em forma de uma onda senoidal que será modulado, refletindo a informação que está sendo transmitida.
- ★ Canal: é o meio de transporte usado para que a mensagem emitida chegue até o receptor.
- ★ *Base Station Transceiver* (BTS): a estação transceptora de base é um conjunto de antenas e transceptores presentes em cada célula (SANTOS, 2008).
- ★ Enlace: quando a informação modulada é gerada em um ponto, depois transmitida e recebida em outro ponto temos a comunicação entre *Mobile Station* (MS) e BTS. Cada portadora possui sua frequência definida e o transmissor tem que modular toda a informação nessa frequência. Entretanto, a informação pode estar contida em uma frequência principal, como também em frequências maiores ou menores e devido a essa variação, o canal possui uma largura de frequências, a largura do canal. Portanto, pode-se dizer que o enlace faz a conexão entre a estação transceptora de base e a estação móvel. Quando a informação viaja da BTS para a MS, chama-se enlace direto e de enlace reverso, se a informação parte da MS (SANTOS, 2008).
- ★ Célula: é a região comportada por cada BTS, limitada conforme as capacidades físicas da BTS. A região que abrange um conjunto de células é chamada de *cluster* (SANTOS, 2008).

A Primeira Geração da telefonia celular, conhecida como 1G, foi um marco na história das telecomunicações, afinal surgia o primeiro telefone sem fio. Seu sucesso foi devido ao fato de todos os sistemas precursores serem centralizados, com baixa capacidade de tráfego e custo elevado.

A 1G possuía tecnologia AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) - sistema analógico padrão com múltiplo acesso por divisão de frequência FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). Utilizava modulação em frequência (*Frequency Modulation* -FM) e operava na faixa UHF (*Ultra High Frequency*) de 800 MHz (SVERZUT, 2005 apud CARDOSO, 2008, p. 14).

Pela falta de conhecimento acerca do sistema AMPS, houve certa dificuldade de aceitação do mercado e padronização entre países. Isso influenciou tanto na implantação de arquiteturas diferentes no mesmo país quanto no surgimento de outros padrões, como por exemplo o *Nordic Mobile Telephone* (NMT) na Noruega e outros países nórdicos e o *Nippon Telephone and Telegraph* (NTT) no Japão. O Brasil adotou o padrão norte-americano, o AMPS (PAULA; ABE, 2013). As principais características dessa geração são mostradas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Primeira Geração de Sistemas de Telefonia Móvel

Característica	NTT	NMT	AMPS
Banda	925-940/870-885	890-915/917-950	824-849/869-894
RL/FL <sup>1</sup>	915-918,5/867-870		
Espaço da portadora	25/6,25	12,5 <sup>2</sup>	30
Frequência (kHz)	6,25 6,25		
Número de canais	600/2400 560 280		
Modulação	FM	FM	FM

Fonte: STÜBER, 2011

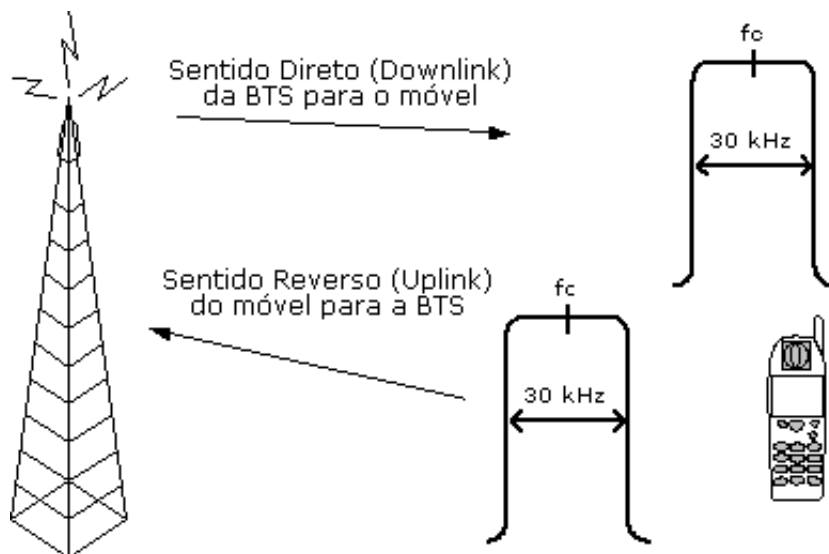
### 2.1.1 FDMA

Todos esses sistemas de Primeira Geração são baseados em FDMA. O FDMA é uma técnica onde a largura de banda é dividida em frequências. Cada telefone possuía um canal de voz e um par de frequências de rádio, um para recepção e outro para o envio de informações. Esse tipo de transmissão recebe o nome de *full-duplex*. Tanto os canais de voz quanto os de sinalização ocupam individualmente a largura na faixa de 30 kHz (canal), como mostra a Figura 2.2 (ALENCAR, 2013).

<sup>1</sup> RL - *reverse link* e FL - *forward link*.

<sup>2</sup> Entrelaçamento de frequências usando canais sobrepostos, onde o espaço do canal é metade da largura de banda nominal do canal.

Figura 2.2 – Transmissão em FDMA

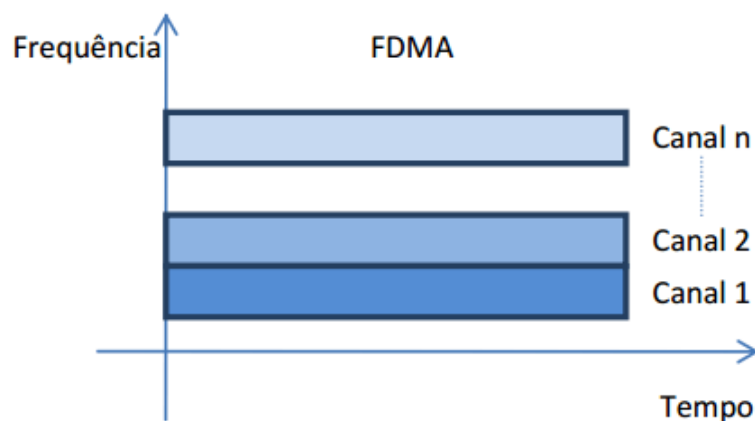


Fonte: ULBRICH, 2008

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialbandcel/pagina3.asp>

Entretanto, esse canal não pode ser usado simultaneamente por mais de um usuário, nem outras conexões podem ser feitas a menos que seja transferida para outro canal. Assim, o FDMA diferencia a conversação dos diferentes usuários, colocando cada um em uma subfaixa de frequência diferente. A disposição dos canais pode ser observada na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Canais FDMA



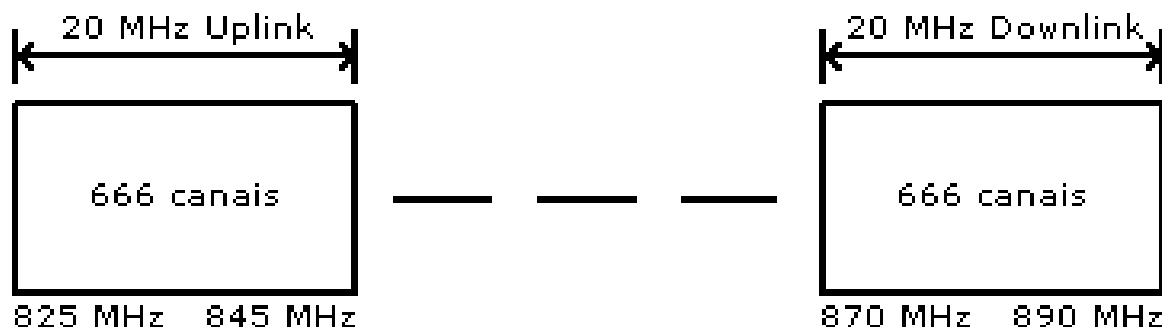
Fonte: SENA, 2012

### 2.1.2 AMPS

Com a configuração AMPS, também conhecida por IS-54, foi adotada uma banda de 20 MHz, tanto para emissão quanto para recepção dos dados. As bandas foram alocadas na região do espectro de 800 MHz, pois o uso de frequências baixas implicaria no aumento

da dimensão das antenas dos aparelhos e frequências muito altas acarretaria numa alta atenuação (TAKEDA, 2013). Cada canal possui a banda de enlaces direto (*downlink*) e reverso (*uplink*).

Figura 2.4 – AMPS - Divisão das bandas



Fonte: ULBRICH, 2008

Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialbandcel/pagina3.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialbandcel/pagina3.asp)

A Figura 2.4 mostra a divisão das bandas AMPS, onde cada banda possui largura de 20 MHz e 666 canais tanto para *downlink* quanto *uplink* e cada canal só suporta um usuário por vez.

Graças ao sucesso, os canais foram se esgotando. Daí, houve uma ampliação das faixas para suprir à quantidade de usuários. No entanto, essa medida foi ineficaz.

Ainda, a preocupação com a segurança era um fator preponderante. A segurança era considerada fraca, pois não possuía criptografia e a frequência podia ser facilmente manipulada. Além de outras desvantagens como limitação do espectro de frequência - exigência da largura de banda considerável para usuários simultâneos, linhas cruzadas e interferências causadas por ruídos. Com a utilização de equipamentos especializados, podia-se escutar e reproduzir conversas alheias, ou ainda, capturar o *Electronic Serial Number* (ESN) e o *Mobile Identification Number* (MIN) que faziam a autenticação do usuário ao sistema, gerando transtornos aos usuários.

Devido a proporção tomada por essas vulnerabilidades e pelo aumento significativo do número usuários, as operadoras chegaram a conclusão que os sistemas analógicos tornaram-se inviáveis. Surgindo assim a Segunda Geração de telefonia móvel.

## 2.2 Segunda Geração (2G)

Com a saturação dos sistemas analógicos na década de 90, a Segunda Geração (2G) é marcada pela introdução dos sistemas digitais. Os EUA precisavam de uma maior capacidade e a Europa queria padronizar os sistemas para o Mercado Comum Europeu (MCE). Houve melhoria nos aspectos técnicos e comerciais, bem como na oferta de serviço. Apresentando maior capacidade de transmissão, sinais de voz de qualidade – agora livres

de ruídos e comunicação de dados com possibilidade de criptografia em sua transmissão (FERNANDES, 2010).

O espectro de radiofrequência tornou-se mais eficiente, possibilitando a oferta de novos serviços, como a criação de envio de dados como o *Short Messages Service* (SMS) e *e-mail*. Novidades também na transmissão de voz: comunicação simultânea de chamada, permitindo que duas chamadas pudessem ser feitas ao mesmo tempo ou até mesmo colocar uma chamada em espera e envio de notificação caso o dispositivo estivesse ocupado (MENDES, 2013).

No final de 1994, o serviço de celular digital era utilizado por cerca de 5 milhões de usuários. Como resultado, surgiram os sistemas *Time Division Multiple Access* (TDMA) - IS-136 e *Groupe Speciale Mobile/Global System for Mobile Communications* (GSM) na Europa, *Code Division Multiple Access* (CDMA) - IS-95 nos EUA e o *Japanese Personal Digital Cellular* (PDC) no Japão (WIRELESSBR, 2010 apud CORNÉLIO, 2011, p. 25).

### 2.2.1 TDMA

O TDMA, também conhecido como *Digital - Advanced Mobile Phone System* (D-AMPS) foi desenvolvido com base no AMPS, utilizando a mesma banda de frequência de 800 MHz e podendo ser considerada a primeira tecnologia de Segunda Geração. Foi o padrão adotado no Brasil, fazendo uso da mesma largura de canal (30 kHz) que seu antecessor, com aumento na capacidade e desempenho do sistema.

Quando comparada ao FDMA, o TDMA apresenta uma melhoria em relação ao espectro. A frequência é dividida em até seis intervalos de tempo onde um desses espaços é utilizado para impedir interferências.

Cada canal analógico com largura de banda de 30 kHz é dividido em três canais digitais, triplicando a capacidade desse sistema. Dessa forma, é possível realizar três chamadas simultâneas utilizando o mesmo canal e permitido que cada usuário durante sua chamada tenha acesso total ao seu canal de frequência.

Assim como o AMPS, o D-AMPS usa o intervalo de espectro de 800 MHz (1900 MHz para EUA), onde metade da banda é usada para receber o sinal dos telefones e a outra metade para enviá-lo, os dois padrões principais são mostrados na Tabela 2.2.



Tabela 2.2 – Características Técnicas dos padrões TDMA

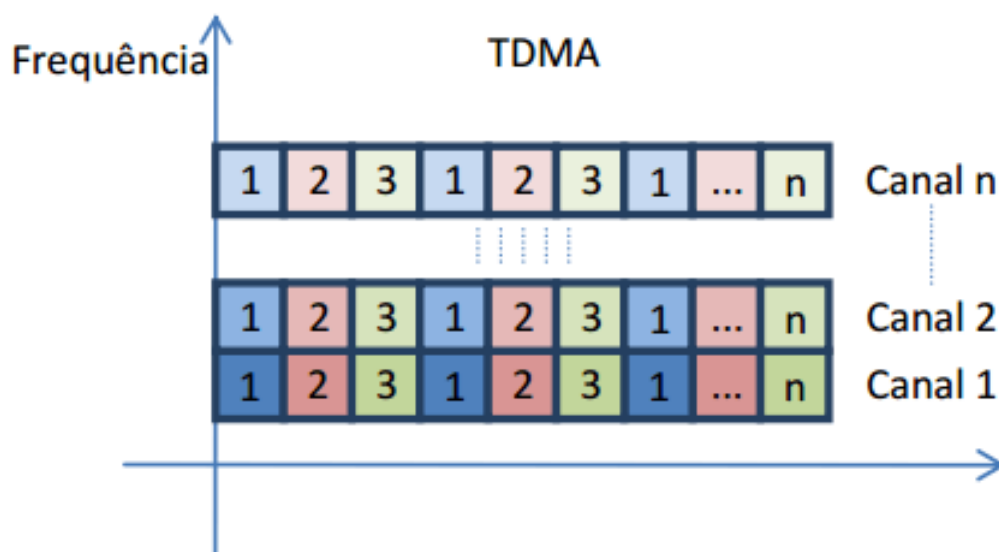
Características	TDMA	AMPS
Largura do canal	30 kHz	30 kHz
Frequência do enlace direto	869 a 894 MHz	869 a 894 MHz
Frequência do enlace reverso	824 a 849 MHz	824 a 849 MHz
Largura de banda disponível	25 MHz	25 MHz
Espaçamento entre canais	45 MHz	45 MHz
Número máximo de canais	2496	2496
DCC	Sim	Não

Fonte: STÜBER, 2011

Como mostrado acima, os padrões IS-136 e IS-54 possuem as mesmas características, exceto que o IS-136 possui um canal de controle digital (DCC) que oferece suporte para transferência de mensagens curtas, mensagens de *broadcast*, endereçamento de grupo, grupos de usuários privados e estruturas hierárquicas de células. Há uma economia de energia maior quando comparado com o IS-54, pois os canais são divididos em *slots* de energia, fazendo economizar bateria e consequentemente aumentar sua duração (SVERZUT, 2005 apud MENDES, 2013, p. 5).

Um canal TDMA possui 1944 *bits*, ou seja, cada divisão de canal conta com 324 *bits*. Esses canais são classificados em *full-rate* ou *half-rate*. Os canais *full-rate* reservam dois *slots*, um para o *uplink* e o outro para o *downlink*. Portanto, ao invés de seis usuários, são suportados apenas três. Nos canais *half-rate*, cada *slot* alterna entre *downlink* e *uplink*, fazendo com que a taxa de transmissão de dados se reduza a metade e o número de usuários seja duplicado. Os canais são divididos da seguinte forma:

Figura 2.5 – Canais TDMA



Fonte: SENA, 2012

O sistema *Personal Digital Cellular* (PDC), por exemplo, é um padrão utilizado no Japão e tem como base o TDMA. Com estrutura e características semelhantes ao TDMA ele opera nas frequências de 800 MHz e 1500 GHz, possui 3 *slots* multiplexados em cada portadora - como o IS-54, espaçamento dos canais de 25 kHz e taxa da sinalização de 42 kbps (PDC, 2013).

A compatibilidade entre as redes AMPS e TDMA garantiu que usuários tanto da rede analógica quanto da digital pudessem se comunicar entre si.

## 2.2.2 GSM

Nos anos 80, os países europeus utilizavam tecnologias diferentes e incompatíveis entre si. A tentativa de padronização e o aumento da demanda por serviços de telecomunicações fez com que fosse criada a *Conférence Européenne Postes et Télécommunications* (CEPT) tendo como resultado o surgimento da tecnologia GSM, que foi lançada na Europa em 1991 e adotada por boa parte do mundo.

Ao conseguir atingir uma grande demanda de usuários, a maioria dos investimentos foram voltados a tecnologia GSM, aumentando sua produção e atraindo investidores. Com isso, o mercado tornou-se competitivo, fazendo os preços caírem e aumentando a acessibilidade. No Brasil, esse padrão foi implantado em 2002.

O GSM opera na faixa de 900 a 1800 MHz e utiliza uma combinação de técnicas de acesso FDMA e TDMA. Possui largura de banda de 120 kHz subdividida em oito intervalos de tempo, permitindo até oito conversas simultâneas, ou seja, oito usuários em

cada canal. Sua faixa de operação depende do padrão GSM implantado (RODRIGUES; AZEVEDO, 2015). Os principais padrões são mostrados a seguir:

- ★ Padrão P-GSM: faz uso de frequências na banda de 900 MHz, variando de 890 a 960 MHz. Possui distância entre o *uplink* e *downlink* de 20 MHz, largura de banda com 25 MHz e suporta 125 canais de radiofrequência. É também chamado de GSM primário (SANTOS, 2008).
- ★ Padrão E-GSM: conhecido como GSM estendido, esse padrão passa a utilizar frequências de 880 MHz. A distância entre o *uplink* e *downlink* é de 10 MHz, gerando uma largura de banda maior que a do padrão anterior. Assim, tem 50 canais extras, ou seja, suporte de até 175 canais de radiofrequência (SANTOS, 2008).
- ★ Padrão R-GSM: seu principal objetivo é aumentar a capacidade dos canais de radiofrequência. É também chamado de GSM 900 ampliado e faz uso de um espectro que varia de 876 a 960 MHz. A distância entre os enlaces direto e reverso é de apenas 6 MHz, com 39 MHz de banda passante, suportando 195 canais de radiofrequência (SANTOS, 2008).
- ★ Padrão GSM 1800: foi o padrão implantado no Brasil. É também conhecido como DCS 1800 e trata-se de uma adaptação do sistema GSM 900. Houve ampliação de banda para 75 MHz e sua faixa de operação é de 1,9 GHz, com variação de 1710 a 1880 MHz. Possui 375 canais de RF e foi criado para implementar Redes de Comunicações Pessoais (PCN - *Personal Communication Networks*) (SANTOS, 2008).
- ★ Padrão PCS 1900: opera na faixa de 1,9 GHz, variando entre 1850 e 1990 MHz e oferece um maior número de serviços aos usuários. A distância entre os enlaces direto e reverso é de 20 MHz, gerando 300 canais de RF (SANTOS, 2008).

Dentre as características do GSM, o grande destaque é o uso de cartões de memória *Subscriber Identity Module* (SIM), que permitem a portabilidade de dados como o número da linha e agenda. A segurança era uma vantagem em relação as outras tecnologias, pois o equipamento móvel agora possuía identificação por *International Mobile Equipment Identity* (IMEI) e o cartão SIM possuía *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI). Ainda era possível o uso de senhas pessoais para acesso (TAKEDA, 2013). Os principais elementos presentes na arquitetura GSM são mostrados a seguir e esquematizados na Figura 2.6:

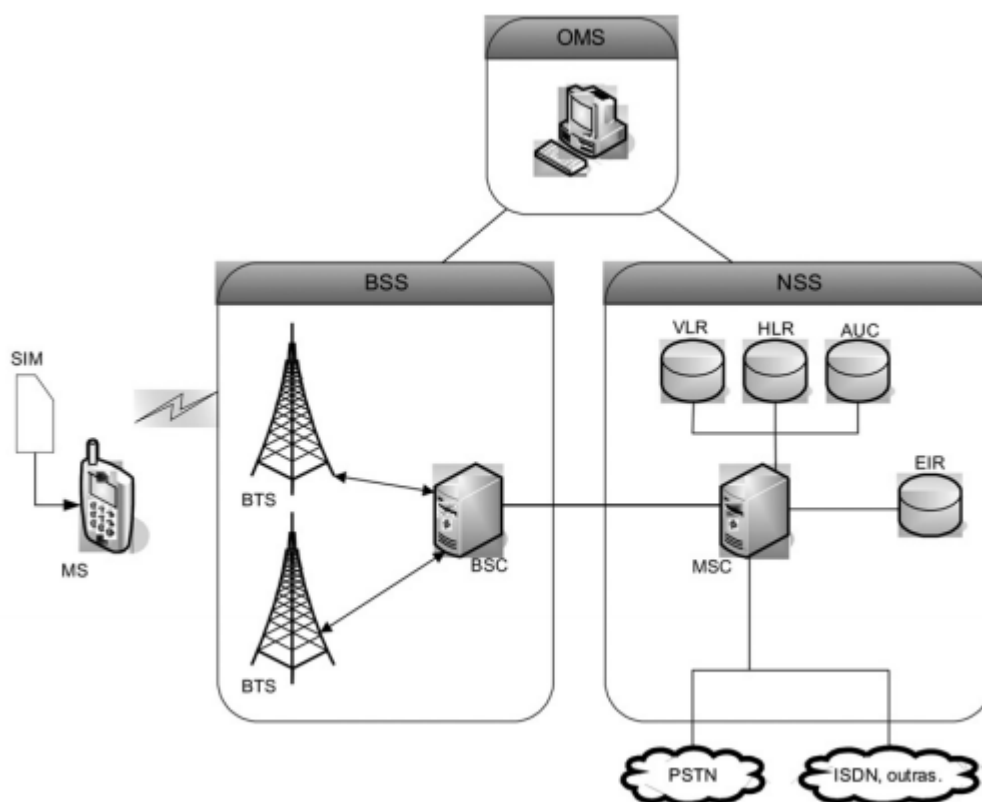
- ★ *Mobile Station* (MS): é o equipamento responsável pela comunicação, podendo ser um celular ou qualquer outro equipamento que faça uso da rede GSM para o envio

e recepção de dados. Sua movimentação ao longo das células é capaz de medir a potência do sinal e solucionar possíveis problemas (ALENCAR, 2013).

- ★ *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI): a identidade internacional do assinante móvel é o número que faz a identificação do usuário na rede. Está armazenado no cartão SIM e é transmitido na inicialização da chamada. É formado pelos códigos MCC (*Mobile Country Code*), MNC (*Mobile Network Code*) e MSIN (*Mobile Subscriber Identification Number*) (ALENCAR, 2013).
- ★ *Subscriber Identity Module* (SIM): é basicamente a “identidade” do usuário e fornece a identificação da MS para conexão na rede. O número do assinante é armazenado na operadora de telefonia celular (ALENCAR, 2013).
- ★ *Base Station Controller* (BSC): o controlador de estação base faz o controle e gerenciamento dos BTSs. Controla a frequência, gerencia o *handover* (troca de células) e o nível de potência das BTSs. Ainda, faz a interconexão entre os canais de radiofrequência com as estações móveis (ALENCAR, 2013).
- ★ *Network Switching System* (NSS): o sistema de comutação da rede gerencia a base de dados dos usuários, funções de comutação e controle de mobilidade. Possui uma central de comutação móvel, registro de localização local, de visitante, identidade do equipamento e centro de autenticação (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009).
- ★ *Mobile services Switching Center* (MSC): a central de comunicação móvel é responsável por processar as chamadas, supervisionar o sistema GSM, tarifação e interconexão entre a rede GSM e as demais redes (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009).
- ★ *Home Location Register* (HLR): administra a base de dados dos assinantes de determinado local. Cada operadora possui seu HLR onde os assinantes são cadastrados. Nesse cadastro, constam informações como IMSI, chave de autenticação, bem como a localização do aparelho (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009).
- ★ *Visitor Location Register* (VLR): o registro de localização de visitante mantém informações sobre os assinantes visitantes que estiverem conectados à rede durante determinado tempo (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009).
- ★ *Authentication Center* (AuC) – o centro de autenticação é instalado junto ao HLR e faz a autenticação e criptografia na rede (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009)..
- ★ *Equipment Identity Register* (EIR) – é a base de dados onde fica localizado o IMEI e pode ser de três tipos. A chamada “lista branca”, contendo todos os IMEIs e MSs que podem fazer uso do sistema, a “lista negra” onde seus usuários não podem usar o sistema por motivos de roubo de MS, por exemplo. E por fim, a “lista cinza” onde consta os usuários com pendências (PIROTTI; ZUCCOLOTTO, 2009).

- ★ *Base Station Transceiver (BTS)*: a estação transceptora base é um conjunto de antenas e transceptores presentes em cada célula da rede GSM. Fica localizada no centro da célula e seu tamanho é de acordo com a necessidade. Cada célula pode conter até dezesseis transceptores, onde cada transceptor representa um canal GSM (ALENCAR, 2013).
- ★ *Operations and Maintenance System (OMS)*: é o sistema de operação e manutenção que inspeciona remotamente os elementos presentes na rede GSM (ALENCAR, 2013).
- ★ *Public Switched Telephone Network (PSTN)*: a rede pública de telefonia comutada faz a identificação da rede telefônica designada ao serviço telefônico. Inicialmente era uma rede de linhas fixas e analógicas. Agora é digital e inclui serviços de telefonia móvel.

Figura 2.6 – Arquitetura da rede GSM



Fonte: PIROTTI, 2009

Conforme o aumento da demanda, a necessidade na melhoria e oferta de novos serviços foi crescendo. Com isso, essa tecnologia pôde ser dividida em três fases. A primeira fase consistia em apenas serviços básicos como telefonia (voz), chamadas de emergência, SMS ponto a ponto e ponto multiponto, dados síncronos/assíncronos com transmissão desses pacotes de dados. A fase dois é marcada pela melhoria no serviço SMS e criação de serviços de e-mail, serviços de dados, transmissão síncrona e dedicada a pacotes e adição de

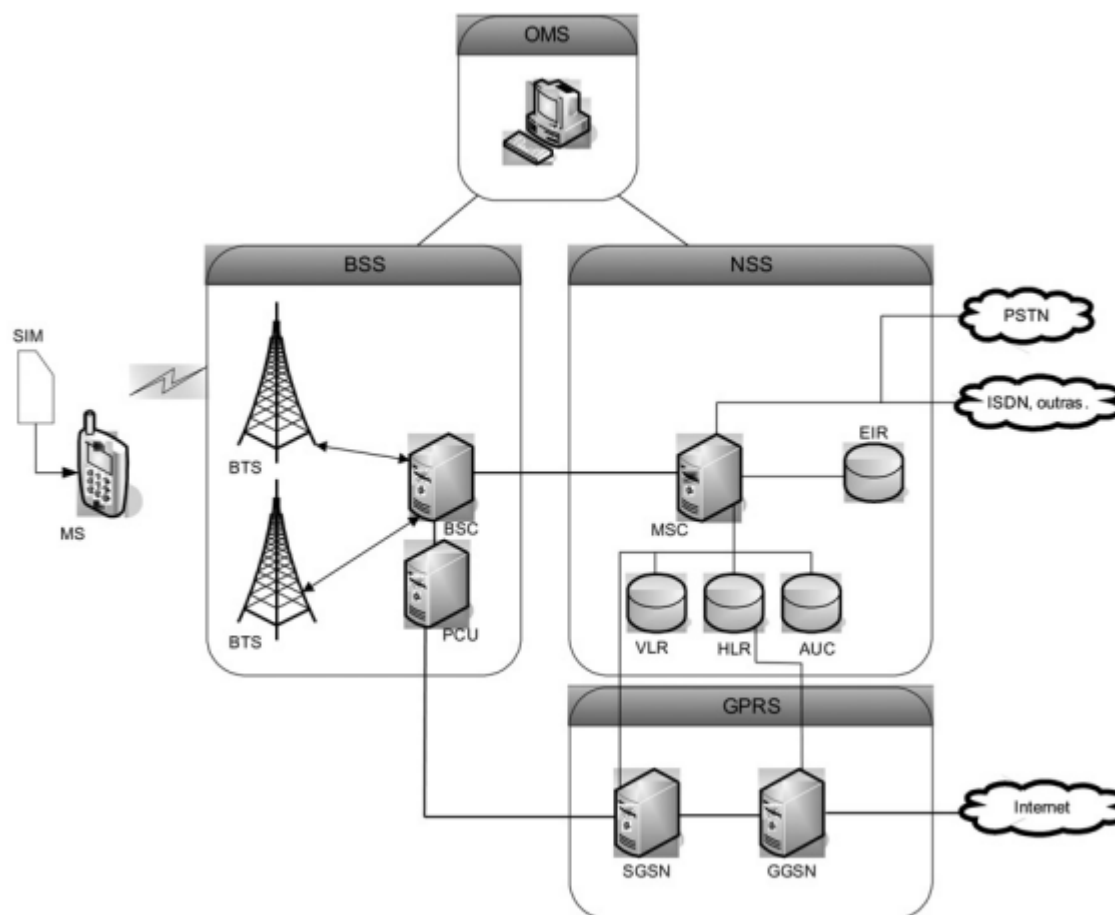
serviços como identificador de chamadas, chamada restrita e teleconferência. Já a terceira fase é aquela que introduziu o serviço de dados por pacotes em altas taxas de transmissão, originando o *General Packet Radio Service* (GPRS) e *Enhanced Data Rates for Global Evolution* (EDGE) (SANTOS, 2008).

### 2.2.2.1 GPRS

No GPRS os dados são divididos em pacotes, oferecendo velocidades máximas de 115 kbps e taxa de transferência de 30 a 40 kbps. Assim, permite uma conexão permanente sem necessidade de entrar no sistema toda vez que desejar o acesso, dessa forma os usuários pagam apenas pelos dados e não pelo tempo de uso.

A criação da rede GSM fez com que as operadoras pudessem testar e implementar novos serviços. Para isso, foram feitas algumas modificações na rede GSM, apelidada de rede GSM + GPRS e mostrada na Figura 2.7.

Figura 2.7 – Arquitetura da rede GSM + GPRS



Fonte: PIROTTI, 2009

- ★ *Packet Control Unit* (PCU): a rede GPRS ao ser usada faz a transferência de pacotes de dados através da PCU, os enviando para o SGSN. Já o tráfego de voz se mantém

como no GSM, passando do PSC para o MSC (SVERZUT, 2005).

- ★ *Serving GPRS Support Node* (SGSN): é responsável pelo acesso das MS à rede GSM. Gerencia a mobilidade da MS e registra informações a nível de localização e segurança (SVERZUT, 2005).
- ★ *Gateway GPRS Support Node* (GGSN): faz a conexão da rede GPRS com as redes de dados externas. Direciona o pacote de dados de acordo com as informações de roteamento dos usuários conectados, fazendo a manutenção dessas informações, mapeamento de endereço de rede e assinante, como também das classes de qualidade do serviço (QoS) (SVERZUT, 2005).

Atualmente, é responsável pelo acesso à *internet* da maioria dos *smartphones* e celulares, oferecendo a maior cobertura móvel (RODRIGUES; AZEVEDO, 2015).

#### 2.2.2.2 EDGE

A EDGE é uma extensão do GPRS, com uma modulação modificada que permite o aumento da capacidade de transmissão do canal. Surgiu por volta de 2003 na América do Norte, também conhecida como *Enhanced General Packet Radio Services* (EGPRS). Pode transmitir dados a até 384 kbps, com taxas de 110 e 120 kbps, o que permite serviços de dados mais avançados como transmissão de áudio e vídeo e acesso à *internet* em alta velocidade, se comparado as tecnologias antecessoras. Ainda, pode ser adotada em áreas rurais devido a sua qualidade de propagação, podendo ser implementada nas bandas mais comuns (NIKOLOFSKI, 2011).

Sua implantação em infraestruturas GSM e GPRS é simples, com mudanças apenas na MS e BTS. Esse sistema não precisa de alterações a nível de *hardware* ou *software*, apenas a instalação de transceptores compatíveis com o padrão, sendo necessária a troca do aparelho. Utiliza nove esquemas de codificação por voz, que permite otimizar o sistema e aumentar a taxa de transmissão de dados.

Embora não reconhecido como um novo sistema de rede móvel pela União Internacional de Comunicações (UIT), o uso do GPRS e EDGE ficou conhecido como Segunda Geração e Meia (2,5G), pois essas duas tecnologias ofereceram aos usuários maior cobertura, melhoria na qualidade do sinal e na velocidade de transferência de arquivos.

As principais diferenças entre o GSM, GPRS e EDGE são mostradas na Tabela 2.3:

Tabela 2.3 – Principais diferenças entre as tecnologias GSM, GPRS e EDGE

Tecnologia	Serviço de dados	Taxa de Transmissão Máxima por ITCs <sup>4</sup> (kbits/s)	Taxa de Transmissão Máxima por 8 ITCs (kbits/s)
GSM	Voz por comutação de circuito	13 - 14,4	13 - 14,4
GPRS	Voz por comutação por pacotes	13 - 21,4	13 - 171,2
EDGE	Voz por comutação por pacotes	13 - 59,2	13 - 473,6

Fonte: SANTOS, 2008

### 2.2.3 CDMA

O CDMA foi desenvolvido nos EUA. A princípio, essa tecnologia era de uso militar, sendo utilizada para comunicação entre aviões de caça e rádio controle de mísseis teleguiados.

Tem como base a propagação de espectros, permitindo que todos os usuários possam ocupar os canais de frequência simultaneamente. Assim, para cada dado de voz é atribuído um código, permitindo a diferenciação dos assinantes no mesmo espectro. As transmissões são propagadas por toda a banda, permitindo maior eficiência de largura de banda e maior número de canais potenciais (TAKEDA, 2013).

Possui a frequência da largura de banda de 1900 MHz, semelhante ao GSM nos EUA. Esse sistema permite que todos os usuários tenham a taxa de transmissão de dados de 9,6 kbps e façam uso da mesma frequência de 1250 kHz, como no GSM. Seu espectro possui a taxa de transmissão máxima de 1,23 Mbps, permitindo 131 conexões, enquanto o GSM faz apenas 48 (TAKEDA, 2013).

As chamadas com CDMA são seguras, garantindo a privacidade dos assinantes. Esse tipo de criptografia pode ser feito nos sistemas GSM e TMDA, entretanto, se faz necessário adicionar as suas arquiteturas um estágio extra de criptografia, inerente no CDMA.

Buscando melhoria na velocidade das transmissões de dados e oferta de serviços mais complexos, surge a Terceira Geração de telefonia móvel.

<sup>3</sup> Intervalo de Tempo de Canal



### 3 Terceira Geração (3G)

---

Em 2000, foi realizado no Reino Unido o primeiro leilão de espectro de 3G na Europa. Entretanto, nem todos os países atribuíram suas licenças dessa forma. A venda da nova tecnologia possibilitou a criação de um novo mercado, mas os serviços oferecidos ainda estavam abaixo das expectativas.

Pode-se dizer que a Terceira Geração é a ascensão da tecnologia 2G e se caracteriza pela oferta de banda larga sem fio. O perfil dos usuários sofreu uma mudança, eles não mais se contentavam em realizar chamadas e enviar mensagens. Visando adaptar-se as novas necessidades dos assinantes, a 3G permite acesso à *internet* e serviços de multimídia, havendo um aumento significativo na capacidade de voz e suporte a serviços, como também taxas de dados muito superiores se comparada com a 2G.

A *International Telecommunications Union* (ITU) começou a solicitar propostas para os sistemas 3G ainda nos anos 90. Tinha como objetivo padronizar a nível mundial a comunicação móvel, visando reduzir os custos tanto para as operadoras quanto para os assinantes. Para isso, foi escolhido o CDMA como técnica de acesso na maioria dos sistemas 3G, que ficou conhecido como *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT-2000).

A oferta de novos serviços implica em uma melhoria na eficiência espectral, ou seja, maior taxa de transmissão por faixa de frequência, prevendo velocidades de até 2 Mbps. Possui largura de banda 5 – 20 Mbps, frequência de banda 16 – 25 GHz, 64 - 144 kbps em ambientes veiculares, 384 kbps em ambientes pedestres e 2 Mbps para o terminal parado. Permite transferência de arquivos via *internet*, possui melhoria na qualidade de voz e serviços *online* semelhantes às redes fixas de banda larga (MENDES, 2013).

No quesito segurança, a tecnologia 3G mostrou avanços como adição de novas técnicas de autenticação, aumento no tamanho das chaves - de 64 para 128 *bits* e a criação de algoritmos de autenticação, cifragem e integridade.

A 3G se baseia em dois sistemas de transmissão, o *Universal Mobile Telecommu-*

*nications System* (UMTS) e o CDMA-2000. A diferença entre esses sistemas é que o CDMA-2000 opera de modo síncrono, alcançado devido ao uso de uma referência - o *Global Positioning System* (GPS), enquanto o UMTS utiliza uma operação de rede assíncrona. O UMTS e o CDMA-2000 possui características em comum como propagação complexa, serviço com pacote de dados, detecção multiusuário e multitaxa de transmissão (TAKEDA, 2013).

## 3.1 UMTS

A UMTS tem como principal objetivo realizar a padronização das comunicações pessoais, mantendo a qualidade dos serviços da rede fixa. Sua arquitetura foi desenvolvida pelo grupo *Third Generation Partnership Project* (3GPP), aliança norte-americana, europeia e asiática voltada a produção e viabilização do padrão. Foi lançado no Japão em 2002 e de acordo com o fórum AMPS, já possuía cerca de 33 milhões de usuários em 2005.

Nesse sistema, há um reconhecimento das aplicações que se adaptam a taxa de transmissão necessária, possibilitando seu uso em tempo real. Utiliza uma banda que apresenta a mesma capacidade tanto para *upload* quanto para *download*, melhorando serviços de conversas em tempo real, por exemplo.

Faz uso do CDMA de Sequência Direta (DS-CDMA) como método de múltiplo acesso, possui vários terminais na mesma banda de frequência, mas com códigos diferentes no espectro. Tem como modo de operação o *Frequency Division Duplex* (FDD), com canais de 5 MHz separados operando numa faixa de 1900 MHz com velocidades médias de 220 a 320 kbps e ainda possui compatibilidade com as tecnologias GPRS e EDGE. Permite o uso de alguns protocolos de transporte, empregados de acordo com a disponibilidade, qualidade da recepção e aparelho: o WCDMA e o *High Speed Packet Access* (HSPA) (MENDES, 2013).

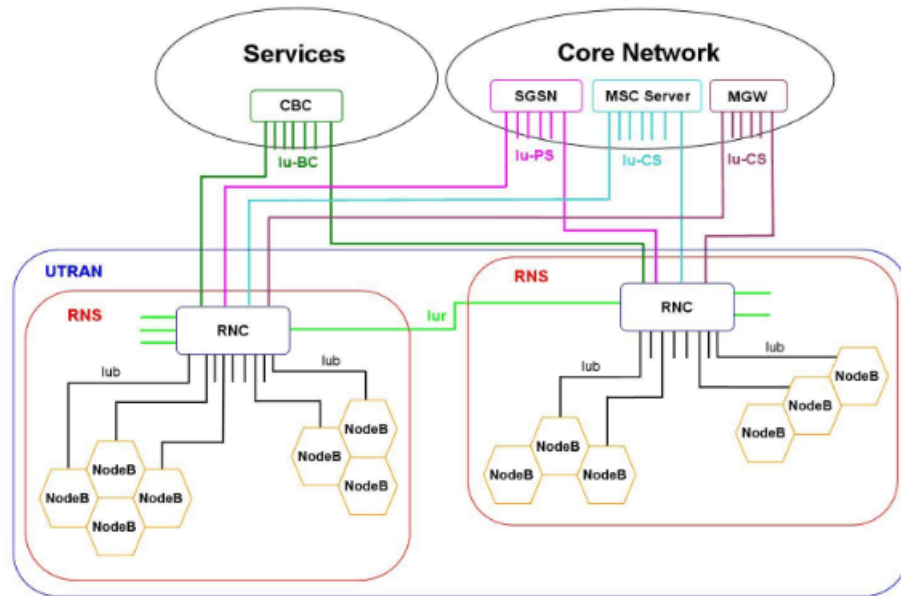
### 3.1.1 Arquitetura UMTS

A arquitetura das redes UMTS pode ser dividida em duas partes: o sistema de rádio terrestre *Radio Access Network*) e a CN *Core Network* (UTRAN - UMTS) (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).

O UTRAN é formado por BTSs (também chamado de *node-B*) que faz a comunicação com os usuários, não tendo função no sistema UMTS. O controle é feito através de *Radio Network Controller* (RNC), que também é responsável pela comunicação com a *Core Network*. A *Core Network* por sua vez, é formada pela *Media GateWay* (MGW), pelo *Serving GPRS Support Node* (SGSN) e pelo *Mobile Switching Center Server* (MSC Server). Suas funções são gerenciamento de tráfego, roteamento e comunicação dentre múltiplos protocolos (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).

A Figura 3.1 mostra um esquema da arquitetura UMTS:

Figura 3.1 – Arquitetura UMTS



Fonte: GUEDES e VASCONCELOS, 2009

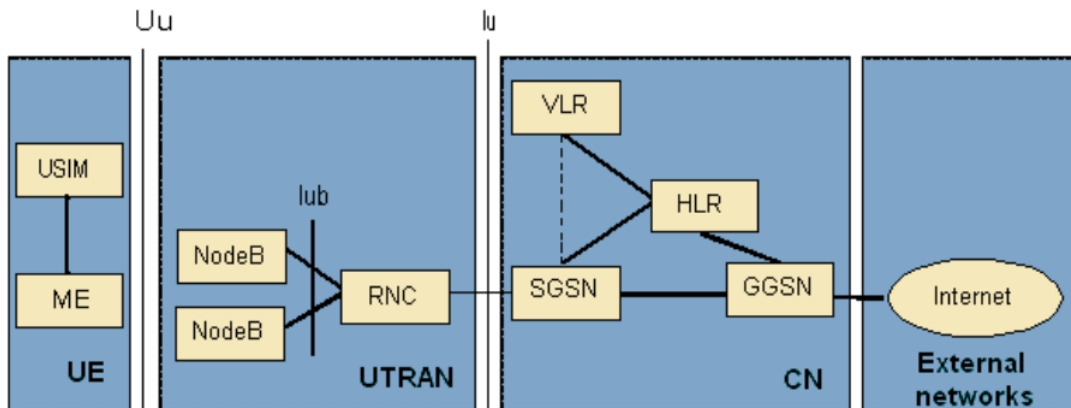
### 3.1.2 WCDMA

O WCDMA é uma tecnologia de banda larga de alta capacidade que faz uso de comunicações via rádio digital, baseada em *Internet Protocol* (IP). Quando comparada com a Segunda Geração, possui custo reduzido para serviços de voz e dados e maior capacidade de rede. Se comparado com a tecnologia EDGE, o WCDMA oferece bom tempo de latência, sendo o padrão utilizado por oito das dez maiores operadoras do mundo (MENDES, 2013).

Utiliza um método de acesso por código, com suporte de voz e dados a taxas máximas de até 2 Mbps e um canal de rádio portador de 5 MHz. Possui faixas de frequência de 1900 MHz, permitindo até 100 usuários simultâneos. É considerado a melhor opção para o grande volume de dados e usuários, pois apresenta menor custo por *bit* transmitido para taxas de *bits* mais elevadas.

Sua arquitetura tem como referência o modelo 3GPP, possuindo os seguintes componentes: *User Equipment* (UE), UTRAN, CN e redes externas ao WCDMA (CARDOSO, 2008). A arquitetura WCDMA é mostrada na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Arquitetura WCDMA



Fonte: CARDOSO, 2008

Sendo “Uu” a interface de rádio entre o equipamento do usuário (UE) e sua UTRAN e “Iu” a interface entre a UTRAN e CN. Já o GGSN se trata de uma interface com a *internet* (CARDOSO, 2008).

### 3.1.3 HSPA

O HSPA é uma evolução da tecnologia UMTS. Possui melhoria na velocidade de acesso à rede e transmissão de dados, como também aumento de sua capacidade.

É considerado como a junção de duas melhorias: a taxa de *download* e a taxa de *upload*. A taxa de *download* é chamada de *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) e a de *upload* de *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA) especificadas nas versões 5 e 6 do 3GPP, respectivamente.

#### 3.1.3.1 HSDPA

O HSDPA é um protocolo que permite maior taxa de dados e menor atraso, ou seja, reduz a latência e aumenta a taxa de *download* da rede. Permite que o WCDMA utilize taxas de até 10 Mbps usando a mesma banda de 5 MHz. Para isso, adota modulação superior ao WCDMA e possuem *smart antennas*, que se adequam aos ruídos e interferências (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).

Avanços nas capacidades técnicas:

- ★ *Transmission Time Interval* - TTI: menor intervalo no tempo de transmissão, acarretando em maior sensibilidade para detectar variações na rede (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).
- ★ *High Speed Downlink Shared Channel* (HS-DSCH): é um canal que pode ser usado por múltiplos usuários simultâneos, transmitidos sempre na mesma potência. É

adotado em conjunto com outros três canais: o *High Speed Shared Control Channel* (HS-SCCH), o *High Speed Dedicated Physical Control Channel* (HS-DPCCH) e o *High Speed-Physical Downlink Shared Channel* (HS-PDSCH). Os sinais de controle são enviados pelo HS-SCCH para o HS-DSCH e a codificação usada resulta na melhoria do sincronismo. O HS-DPCCH é usado pelo usuário e transmite as informações sobre a qualidade do sinal e o HS-PDSCH carrega os dados do usuário mapeados pelo HS-DSCH (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).

- ★ Escalonamento rápido de pacotes: faz a adaptação da rede de acordo com a qualidade e disponibilidade do sinal (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).
- ★ *Adaptative Code Modulating* - ACM: realiza o ajuste da taxa de transmissão de acordo com a qualidade e disponibilidade do sinal (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).

### 3.1.3.2 HSUPA

Tem como objetivo melhorar a taxa de *uplink*. Possui as seguintes características: retransmissão rápida, *Transmission Time Interval* (TTI) de 2 ms, canal dedicado ao *uplink* e escalonamento rápido de pacotes.

Nesse protocolo, o usuário envia um pedido de transmissão e o escalonador, localizado na BTS, regula esse envio. Sua taxa de *upload* pode atingir cerca de 5,76 Mbps e suas transmissões possuem melhor adaptação em relação a dados sensíveis a atraso (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).

## 3.2 CDMA-2000

Desenvolvido pela *Third Generation Partnership Project 2* (3GPP2), o CDMA-2000 foi a primeira tecnologia *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT-2000) implantada no mundo. Esse padrão permite a introdução de novas capacidades de acesso à *internet* com alta taxa de dados, fazendo uso de sistemas existentes (TAKEDA, 2013).

### 3.2.1 CDMA 1xEV-DO

O *Evolution - Data Only* (1xEV-DO) 1xRTT, onde 1xRTT significa uma vez a largura do canal, faz uso de apenas um canal de rádio de 1,25 MHz. Possui taxa de dados de até 307 kbps para um usuário e admite até o dobro dos usuários de voz do padrão CDMA e uma maior duração da bateria, sobrepondo as redes IS-95, IS-95B e CDMA-2000 precursoras.

### 3.2.2 CDMA 1xEV-DV

O CDMA *Evolution, Data and Voice* (1xEV-DV) é conhecida como a segunda fase do CDMA 1xEV. A principal mudança em relação a primeira é que agora a mesma portadora pode ser utilizada tanto para voz quanto para dados, sendo que a primeira era dedicada somente a dados (TAKEDA, 2013).

## 3.3 Surgimento do 3G no Brasil

Nos anos 90, a telefonia celular do Brasil contava apenas com o sistema Telebrás. Devido a falta de concorrência e consequentemente a estagnação do mercado, viu-se a necessidade de criar mecanismos para melhorar o setor das telecomunicações. Como primeiro passo, foi dado início ao processo de privatização do sistema Telebrás, o que causou grande mudança no mapa da telefonia brasileira.

Com a privatização do sistema Telebrás e leilão de bandas, surgem as primeiras operadoras de telefonia móvel no país. Fazendo uso da tecnologia AMPS, as operadoras estaduais passaram a operar na banda A e eram divididas por áreas de atuação.

Em 1997 surge a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), responsável por garantir a universalização e competição no setor, estabelecendo a padronização do sistema no Brasil. Devido ao crescimento astronômico no número de usuários, nesse mesmo ano, foram vendidas licenças da banda B. Um esquema da divisão das áreas de atuação da banda B é mostrado na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Áreas de atuação das operadoras de Banda B no Brasil



Fonte: GUEDES e PEREIRA, 2004

Com o passar dos anos, as bandas A e B, pertencentes a modalidade de Serviço Móvel Celular (SMC), tornaram-se insuficientes. Por esse motivo, surgiram as bandas C, D e E operando com frequência de 1,8 GHz, a mesma utilizada nos países europeus. A frequência adotada favorecia o uso da tecnologia GSM, tornando-o cada vez mais comum, pois possuía um grande atrativo - o *roaming*<sup>4</sup>.

Devido ao crescimento desenfreado dos usuários e com o objetivo de otimizar a oferta de serviços de voz e dados, surge a Terceira Geração no Brasil. A Vivo, em 2004, foi a primeira operadora a oferecer a tecnologia 3G, ofertando-a em apenas algumas cidades.

Apesar de seu lançamento em 2004, atualmente a tecnologia 3G é limitada e mesmo abrangendo todo país possui cobertura de baixa qualidade. As cidades do interior são as mais prejudicadas, já que as mesmas possuem menos antenas em comparação as capitais. Esse contraste resulta em quedas de sinal, cortes durante as chamadas e uma conexão com grande instabilidade (SILVA; JUNIOR, 2007).

A tecnologia 3G permite o uso de funcionalidades como GPS, mapas, serviços de localização, entre outros. Possui alcance de até 21 Mbps, porém as operadoras vendem planos de até 4 Mbps e garantem apenas 10 % da velocidade adquirida. Ainda possui limite de *download*, ou seja, quando o usuário atinge o que foi permitido, a velocidade é reduzida, tornando-se quase inútil (SILVA; JUNIOR, 2007).

Segundo a Anatel, atualmente existem nove operadoras operando no Brasil, como mostra a Tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Operadoras do Brasil em 2016

Operadora	Controlador	Celulares (milhares)
Vivo	Telefônica	73.271
Tim	Telecom Itália	67.269
Claro	América Móvil	65.289
Oi	AG, LaFonte, BNDES, Fundos e Portugal Telecom	47.749
Nextel	Nil Nextel	2.435
Algar	Algar	1.313
Porto Seguro	Porto Seguro	364
Sercomtel	Prefeitura Londrina/Copel	67
Outras	Datora e Terapar (MVNO)	54

Fonte: TELECO, 2016

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/opcelular.asp>

A Figura 3.4 mostra a cobertura da tecnologia 3G no Brasil:

<sup>4</sup> *Roaming* é a possibilidade de obter conectividade através de uma outra rede onde é visitante.

Figura 3.4 – Cobertura da Tecnologia 3G por Região SMC em maio/2016



Mapa	Região	Municípios	% Municípios	População	% População
1 e 2	SP (capital e interior)	645	100,00 %	44.396.484	100,00 %
3	RJ/ES	170	100,00 %	20.479.935	100,00 %
4	MG	755	88,51 %	20.135.315	96,48%
5	PR/SC	663	95,12 %	17.734.294	98,51 %
6	RS	419	84,82 %	11.011.773	98,08 %
7	C. Oeste	465	68,38 %	17.888.542	91,60 %
8	Norte	379	83,48 %	18.619.282	91,62 %
9	BA/SE	429	87,20 %	16.692.748	95,68 %
10	Nordeste	761	70,14 %	29.671.825	92,12 %

Fonte: TELECO, 2016

Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/3gcobertura.asp](http://www.teleco.com.br/3gcobertura.asp)

A transferência de dados nos dispositivos móveis vem facilitando a vida dos usuários devido a sua praticidade. Fazendo uma análise da Figura 3.4, podemos afirmar que atualmente cerca de 4.686 municípios (84,13 %) e 196.630.198 pessoas, o que equivale a 96,16 %, possui em cobertura 3G. Entretanto, apesar de possuir cobertura nacional, a qualidade do serviço, ainda é precária (SILVA; JUNIOR, 2007).



## 4 Quarta Geração (4G)

---

A tecnologia de Quarta Geração começou a ser usada no Japão em 2007. Ela permite a comunicação bilateral de voz, vídeo e dados, apresentando maior qualidade no serviço aos usuários móveis. Assim, mesmo que o usuário esteja em movimento, seu sinal de *internet* não é significativamente reduzido.

Tem como principal vantagem altas taxas de transferências de dados, podendo atingir velocidades na ordem de dezenas de *megabits*. Faz uso do IP, sendo composta por redes de celulares e outras redes sem fio (*wireless*) - computadores e operadoras de televisão (CORDEIRO, 2012). O IP agrega técnicas de segurança que antes eram somente usadas no *core* da rede e permite que diversos usuários possam acessar à *internet* afim de obter serviços como dados, fotos e vídeos em qualquer local, e ainda poder realizar chamadas de alta qualidade, através da tecnologia *Voice over Internet Protocol* (VoIP).

A ITU especificou que os requisitos de velocidade para o padrão 4G devem ser de 100 Mbps para conexões móveis e 1 Gbps para conexões fixas com taxas de transmissão de 20 a 40 Mbps, bem como possuir maior eficiência espectral, melhor latência e mobilidade (TAKEDA, 2013).

A tecnologia é considerada 4G quando for reconhecida como um sistema *International Mobile Telecommunications - Advanced* (IMT - *Advanced*). Apesar de não preencher todos os requisitos da ITU, em 2010, as tecnologias *LTE (Long Term Evolution) - Advanced* e *WirelessMAN - Advanced* foram comercializadas no mercado como sendo de Quarta Geração, fazendo parte do *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WiMAX) *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.16 e do 3GPP.

A Tabela 4.1 mostra os dois principais padrões para redes 4G:

Tabela 4.1 – Principais padrões para redes 4G

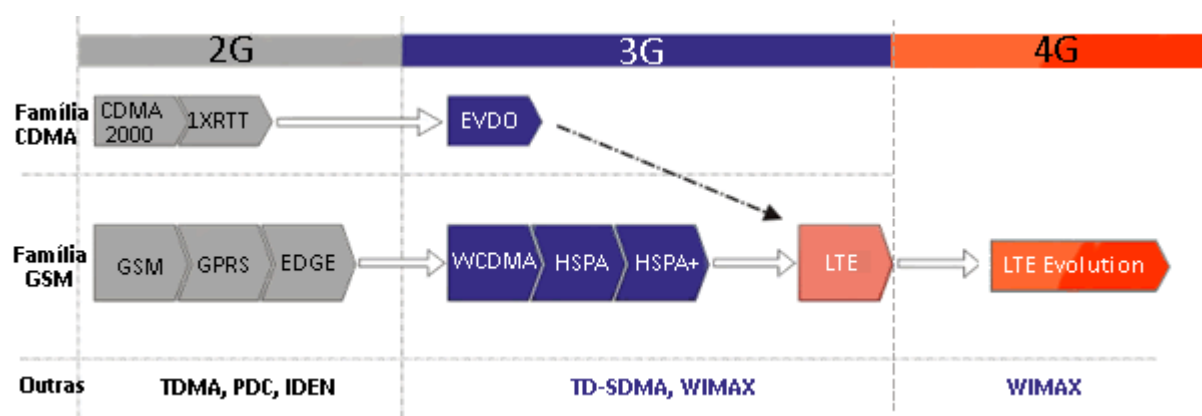
Características	UMTS	Outras
Interface Rádio	LTE	WIMAX
Banda por portadora	20 MHz	20 MHz
Evolução das operadoras que utilizam	GSM	TDMA
Orgão que define a padronização	3GPP	3GPP2

Fonte: TELECO, 2012

Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/4tecnologia.asp](http://www.teleco.com.br/4tecnologia.asp)

O padrão IEEE 802.16 foi criado com a finalidade de atender os requisitos mínimos necessários da rede 4G, sendo compatível com as versões anteriores. Possui suporte de frequências em todas as faixas IMT abaixo de 6 GHz e foi projetado para ser usado em ambientes cujas características de propagação são instáveis com modulação adaptativa. A Figura 4.1 mostra a evolução das tecnologias digitais até alcançar o 4G.

Figura 4.1 – Evolução das Tecnologias digitais até a 4G

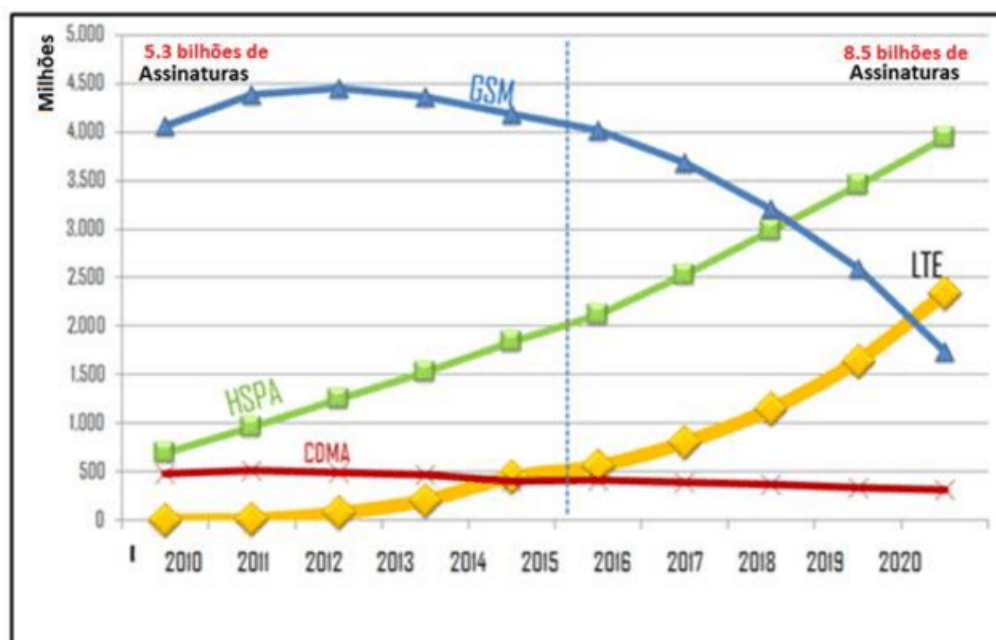


Fonte: TELECO, 2012

Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/4tecnologia.asp](http://www.teleco.com.br/4tecnologia.asp)

O gráfico a seguir mostra a adesão das tecnologias por parte dos usuários do 2G ao 4G em escala global.

Figura 4.2 – Adesão do 2G ao 4G no mundo



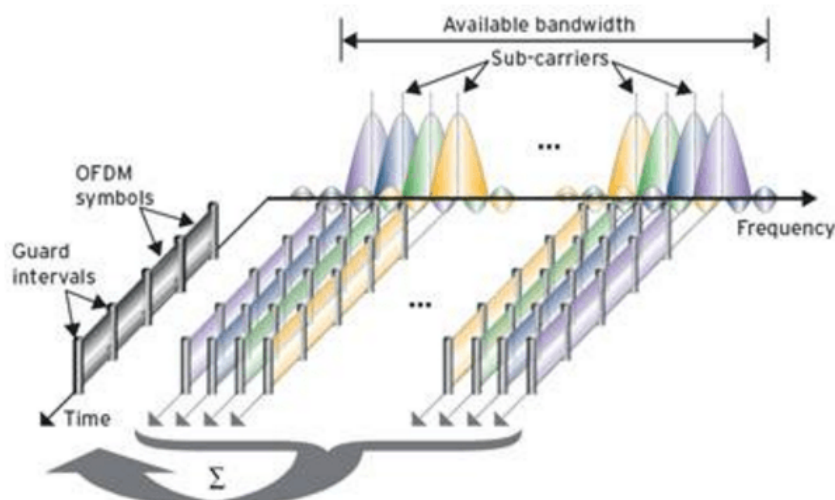
Fonte: DIAS, 2016

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina4.asp>

## 4.1 LTE

O LTE é uma evolução do HSPA. Criado pela 3GPP, ele é o primeiro padrão que apresenta o OFDMA como técnica de acesso. O OFDMA possui diversas aplicações como padrões de TV e rádio digital, redes *Wireless Fidelity* (*WiFi*) e WIMAX - consiste na divisão de banda em diversas subportadoras, se tornando mais resistente a interferências. A divisão das portadoras em subportadoras é mostrada na figura que segue:

Figura 4.3 – Composição das portadoras e subportadoras no OFDM



Fonte: HSDPA and Beyond p.25 *apud* TELECO, 2009

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriale4g/pagina4.asp>

O LTE oferece taxas de *download* que podem alcançar cerca de 100 *megabits* por canal, utilizando uma faixa de frequência de 20 MHz que pode sofrer alterações, pois o LTE foi especificado para trabalhar também com canais de 1.4, 3.5, 10 e 15 MHz. Seu grande destaque quando comparado ao 3G é a melhoria no desempenho, tendo como objetivo aumentar a competitividade e o investimento do mercado.

Por ter como base o protocolo IP, a arquitetura do LTE possui uma estrutura simples e integrada com as demais redes baseadas no IP, conhecida como *Evolved Packet Core* (EPC). Essa tecnologia também possui automação nos processos de rede - o *Self-Organizing Network* (SON), que permite a configuração e sincronização com redes adjacentes. Outra característica importante é que o uso do LTE torna a transmissão em vídeo *High Definition* (HD) viável, assim como aplicações por meio da *internet* móvel (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).

#### 4.1.1 Tecnologia da rede LTE

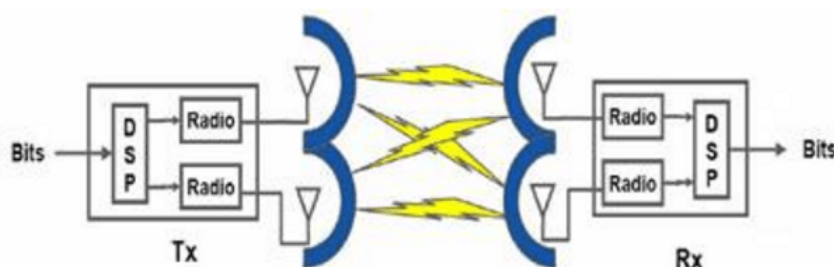
Sua criação contou com os seguintes requisitos: aumento da taxa de transferência de dados do usuário, redução do atraso - em termos de latência de transmissão e tempo de conexão, redução do custo por *bit* - implicando na melhoria da eficiência espectral, aumento da taxa de *bits* por área da célula, arquitetura de rede simplificada, melhoria no consumo de energia e mobilidade contínua - levando em consideração diferentes tecnologias de acesso via rádio (TAKEDA, 2013). Alguns aspectos do sistema LTE são citados abaixo:

- ★ Nova interface aérea: a nova interface é baseada na *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM), tecnologia que possibilita alcançar alta velocidade na transmis-

são de dados a baixo consumo de energia e baixo custo (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).

- ★ Flexibilidade no espectro: possui banda entre 1,4 MHz e 20 MHz. Sua flexibilidade ocasiona em maior resistência a interferências entre células de transmissão de dados, o que gera o aumento de usuários por célula. Seu suporte a FDD permite que sejam usadas duas faixas de frequência distintas possibilitando o envio e recepção de dados simultâneos na mesma plataforma e o *Time-Division Duplex* (TDD) faz a transmissão e envio de dados em tempos diferentes utilizando a mesma faixa de frequência (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).
- ★ Alcance de rádio: possui células de até 5 km, resultando em uma boa performance. Seu desempenho é considerado bom em células de até 30 km de raio e reduzido para raios próximos a 100 km (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).
- ★ Latência reduzida: o tempo de transmissão, tanto na ida quanto na volta passa a ser reduzido a menos de 10 ms, gerando serviços com alta qualidade em tempo real (GUEDES; VASCONCELOS, 2009).
- ★ MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*): permite o envio de dados através de diferentes caminhos, que ocupam a mesma banda RF simultaneamente, resultando em taxas de transferência elevadas garantidas pelo uso de *Digital Signal Processor* (DSP). O sistema de antenas MIMO permite maior capacidade para os serviços de banda larga móvel graças ao mecanismo de limites imposto pela Lei de *Shannon*. A Lei de *Shannon* limita a quantidade de informação que é transmitida em um canal de comunicação devido a presença de ruídos e é aplicável a apenas um canal de transmissão (GUEDES; VASCONCELOS, 2009). A Figura 4.4 mostra um sistema MIMO utilizando uma configuração 2x2.

Figura 4.4 – Sistema MIMO 2x2



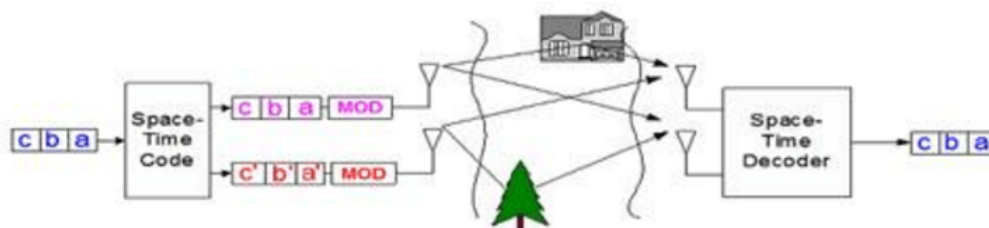
Fonte: 3G Americas *apud* ALMEIDA, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina3.asp>

As técnicas de transmissão que utilizam o MIMO padronizadas pelo 3GPP são as seguintes:

Codificação espaço-tempo: os múltiplos percursos causam um desvanecimento de sinal, combatido pelo MIMO. Fazendo uso desse sistema, o sinal é copiado. A cópia e o sinal original são codificados de formas diferentes e enviados ao mesmo tempo para diferentes antenas. Como se trata da mesma quantidade de dados, a força do sinal cresce. Essa configuração é mostrada abaixo:

Figura 4.5 – Codificação espaço-tempo



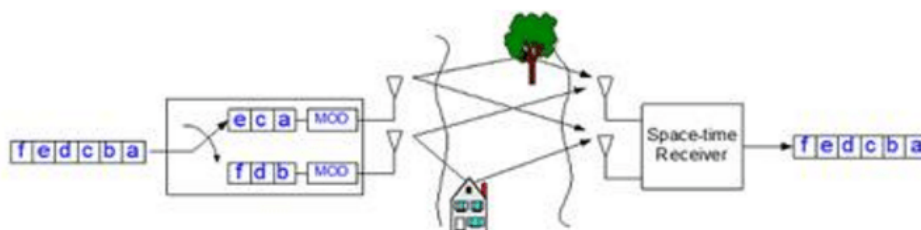
Fonte: 3G Americas *apud* DIAS, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina3.asp>

O LTE também conta com uma outra técnica similar a esta, denominada *Space Frequency Block Coded* (SFBC). A diferença é que essa técnica precisa de apenas uma antena na recepção, pois o sinal original e a cópia são transmitido em diferentes frequências.

Multiplexação Espacial: o envio de sinais é feito em forma de feixe. Nessa técnica, há exploração do ambiente no transporte do sinal, onde os obstáculos no caminho podem acarretar em atrasos, compensados por algoritmos presentes nas antenas de recepção. As antenas por sua vez, possuem filtros capazes de recuperar o sinal original. Sua configuração é mostrada na Figura 4.6.

Figura 4.6 – Multiplexação Espacial



Fonte: 3G Americas *apud* DIAS, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina3.asp>

Ainda, o MIMO pode ser classificado por *Multi-User* MIMO (MU-MIMO) ou *Single User* MIMO (SU-MIMO) e ambos os recursos podem ser usados tanto para *downlink* quanto para *uplink*. Embora o SU-MIMO não seja indicado para o *uplink* por questões financeiras, nele um único usuário transmite dados para o receptor, enquanto no

MU-MIMO diversos usuários transmitem dados para o receptor ao mesmo tempo (ALMEIDA, 2013).

- ★ OFDMA: é uma modulação bastante utilizada por tecnologias sem fio, pois possui boa eficiência espectral e tolerância contra interferência inter-simbólica, além de baixo custo. Se baseia em Modulação por Multiportadoras (*Multi Carrier Modulation* - MCM), onde a banda do sinal é dividida em subportadoras e Multiplexação por Divisão de Frequência (*Frequency Division Multiplex* - FDM).

Já o OFDM utiliza subportadoras ortogonais entre si, permitindo o envio de informações por subportadoras sobrepostas, diminuindo a interferência e aumentando a eficiência espectral, como dito acima (ALMEIDA, 2013).

A diferença entre o OFDM e o OFDMA consiste na quantidade de usuários que a banda de frequência é destinada. No OFDM, a banda de frequência se destina a apenas um usuário, enquanto no OFDMA diversos usuários compartilham da mesma banda de frequência simultaneamente.

- ★ SC-FDMA: essa modulação melhora o desempenho quando comparada com o OFDMA e possui menor custo dos amplificadores, sendo considerada uma alternativa viável. Primeiro o fluxo de dados é convertido de serial para paralelo - cada *bit* é modulado e transformado do domínio do tempo para o domínio da frequência através da Transformada Rápida de *Fourier* e o resultado é mapeado nas subportadoras. Depois disso, é feita a Transformada Inversa de *Fourier* e no final o sinal é convertido de paralelo para serial (ROHDE; SCHWARZ, 2009 apud ALMEIDA, 2013, p. 4). A diferença entre o SC-FDMA e o OFDMA é que no SC-FDMA cada subportadora utilizada na transmissão contém informações de todos os símbolos modulados, já a subportadora do OFDMA contém apenas a informação do símbolo em uso.

As principais características da rede LTE estão resumidas na Tabela 4.2:

Tabela 4.2 – Principais características do LTE

Pico de taxa de dados	DL: 100 Mbps UL: 50 Mbps (para o espectro de 20 MHz)
Suporte a mobilidade	A eficiência máxima encontra-se nas baixas velocidades 0-15 km/h, mas pode chegar a 500 km/h.
Latência para o Plano de Controle	< 100 ms (do modo idle para o ativo)
Latência para o Plano de Usuário	< 5ms
Capacidade do Plano de Controle	> 200 usuários por célula (para o espectro de 5 MHz)
Cobertura (tamanho das células)	5-100 km com pequena degradação após os 30 km
Espectro	1.25, 2.5, 5, 10 e 20 MHz.

Fonte: 3GPP *apud* TELECO, 2013Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina4.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina4.asp)

### 4.1.2 Arquitetura LTE

O LTE foi criado pois o 3GPP precisava explorar mais as bandas com frequências acima de 5 MHz.. Quando se trata de bandas maiores, o LTE oferece um desempenho superior: o uso do OFDMA no *downlink* e SC-FDMA no *uplink*, com o intuito de reduzir o alto *Peak Average Power Range* (PAPR) é responsável por elevar o custo dos amplificadores, que são ineficientes, pois não apresentam alto ganho.

Uma mudança na arquitetura LTE foi necessária devido as suas características. Essa nova arquitetura recebeu o nome de SAE (*System Architecture Evolution*). A arquitetura LTE é construída de modo que permite a integração com outras redes baseadas no protocolo IP, fazendo uso da comutação por pacotes e com a presença dos seguintes domínios: UE contendo a *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) e *Evolved Packet Core* (EPC).

A UE é responsável pelo funcionamento da junção equipamento x SIM *card*, assegurando que possam ser configurados de acordo com as preferências dos usuários e podendo ser controlado remotamente. O sistema é composto pelos seguintes blocos:

- ★ E-UTRAN: é composta pelo BTS (*node B*) e pelo *Radio Network Controller* (RNC). As BTSs executam procedimentos na camada física e o RNC faz o controle e gerenciamento de todos os recursos de rádio ao seu alcance. Diversas ERBs podem ser ligadas em apenas um RNC, que é considerado o ponto de acesso a todos os serviços providos pela UTRAN à rede fixa. Essa configuração permite que o *node B* seja capaz de fazer gestão de recursos de rádio (RRM - *Radio Resource Management*), controle da ligação de rádio (*Radio Link Control* - RLC), controle de recursos de



rádio (RRC - *Radio Resource Control*) e protocolo de convergência de pacotes de dados - *Packet Data Convergence Protocol* (PDCP) (IGLESIAS, 2014).

- ★ EPC: possui diversos equipamentos como *Mobility Management Entity* (MME), *Serving GateWay* (S-GW) dentre outros, que fazem as aplicações e serviços baseados em IP como segurança e autenticação, gerenciamento de mobilidade e perfil do usuário e conexão e autorização dos serviços (CORNÉLIO, 2011).

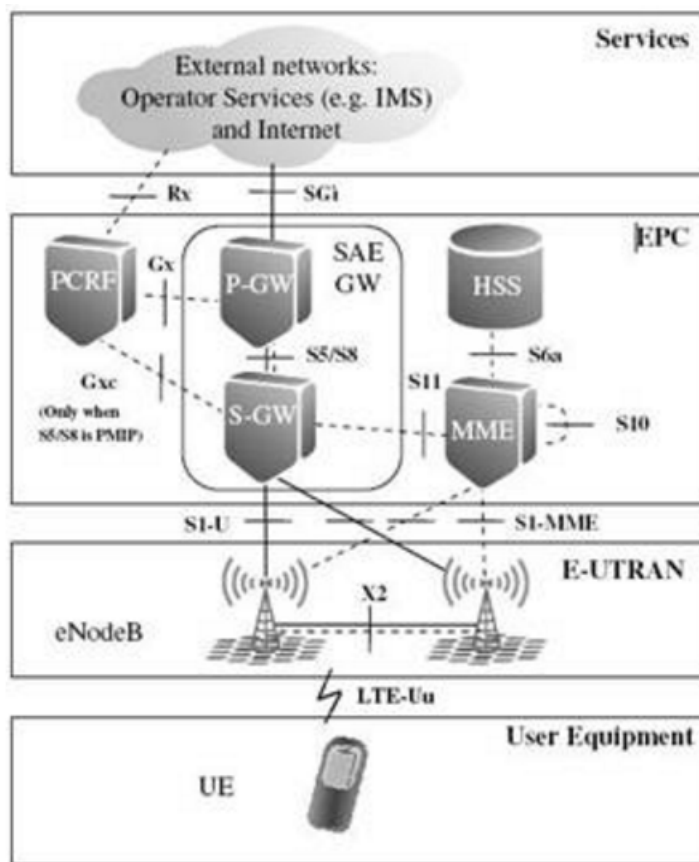
*Packet Data Network Gateway* (P-GW): é responsável pela filtragem e controle dos pacotes requisitados para os serviços. Aloca os endereços de IP para os dispositivos dos usuários com o intuito de fazer a comunicação com dispositivos localizados em outras redes (IGLESIAS, 2014).

*Home Subscriber Server* (HSS): contém dados do perfil de inscrição do usuário. Seus registros mantêm o MME - que serve como base para o UE (IGLESIAS, 2014).

- ★ *Services*: faz a comunicação dos serviços do LTE com outras redes.

Esta arquitetura permite uma redução de custos relativos a operação e aquisição de equipamentos, pois o E-UTRAN pode ser compartilhado por várias operadoras. Já no EPC, cada uma possui seus próprios equipamentos e define a sua própria topologia. Seus elementos de núcleo da rede contam com o MME, S-GW e P-GW (ALMEIDA, 2013). A topologia da rede LTE é mostrada na figura que segue:

Figura 4.7 – Topologia da rede LTE



Fonte: D'ÁVILA apud ALMEIDA, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina4.asp>

Os *drivers* LTE fazem uso de novas tecnologias inerentes a sua arquitetura para o desenvolvimento de plataformas na *internet*, que tem como finalidade oferecer acessos rápidos com diversas aplicações locais (CORNÉLIO, 2011).

### 4.1.3 Pilhas de Protocolos LTE

As pilhas de protocolos LTE são divididas da seguinte forma:

- ★ *Non-Access Stratum* (NAS): funciona entre o MME e a UE para controle, responsável pela conexão de rede, autenticação e mobilidade, onde todas as mensagens são cifradas e integridade garantida (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Radio Resource Control* (RRC): mede o nível do sinal das células vizinhas e toma decisões de *handover*. Faz o envio de mensagens de *broadcast* relacionadas ao sistema e o controle da periodicidade do *Channel Quality Information* (CQI) (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Packet Data Control Procol* (PDCP): no plano do usuário, essa camada comprime e descomprime os cabeçalhos dos pacotes IP utilizando o *Robust Header Compression*

(ROHC). Essa prática permite uma maior eficiência do uso da largura de banda na interface aérea. O PDCP é ainda responsável pela criptografia tanto no plano de controle quanto no plano de usuário (ALMEIDA, 2013).

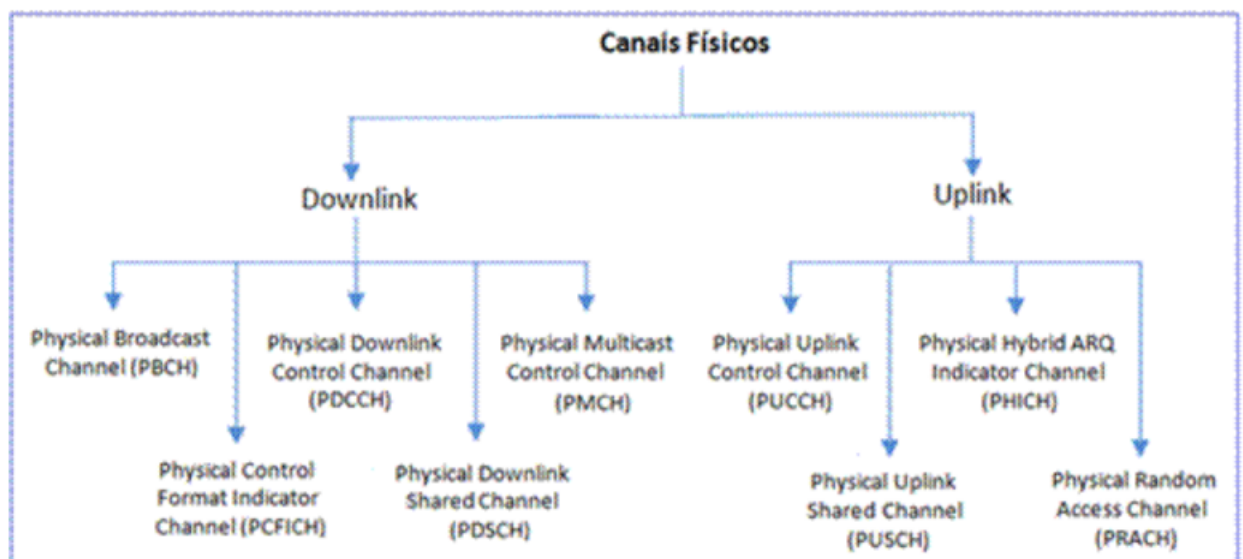
- ★ RLC: faz o transporte e formatação de dados entre o *node B* e a UE. Possui três modos de transporte: o Modo Reconhecido (*AM-Acknowledged*) - é o melhor método para transmissões que não são feitas em tempo real, como *downloads*, por exemplo. O Modo Não Reconhecido (*UM - Unacknowledged*) - faz o transporte de serviços em tempo real, não é sujeito a atrasos e não faz retransmissões e o Modo Transparente (*TM - Transparent Mode*), utilizado quando já se tem conhecimento do tamanho dos quadros - como por exemplo em mensagens de *broadcast*. Ainda, ele oferece entrega sequencial das *Service Data Units* (SDUs), eliminando as informações que por erro estiverem duplicadas, podendo particioná-las (ALMEIDA, 2013).

Os canais LTE são divididos em canais físicos e sinais físicos. Os canais físicos nada mais são que um conjunto de elementos realizando o transporte de informações vindas das camadas mais altas (NAS). Já os sinais físicos são utilizados somente pela camada física (PHY), não fazendo o transporte das informações presentes nas NAS.

#### 4.1.4 Canais físicos do LTE

Os canais físicos são classificados como de *uplink* e *downlink* e dispostos da seguinte forma:

Figura 4.8 – Canais físicos do LTE



Fonte: ALMEIDA, 2013

Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina4.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina4.asp)

Os canais físicos do *uplink* são:

- ★ *Physical Uplink Control Channel* (PUCCH): faz o transporte de informações de controle como forma de resposta de *downlink* a pedidos do *uplink* (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Physical Uplink Shared Channel* (PUSCH): é responsável por armazenar os dados dos usuários (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Physical Hybrid ARQ Indicator Channel* (PHICH): responde as transmissões do *uplink* e carrega as informações ACK/NACK (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Physical Random Access Channel* (PRACH): é o canal utilizado para funções de acesso, feito de forma aleatória (ALMEIDA, 2013).

Os canais físicos do *downlink* são:

- ★ *Physical Broadcast Channel* (PBCH): em determinado período esse canal realiza o envio de informações à respeito do sistema de modo que possibilite o usuário se conectar com a rede (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Physical Downlink Control Channel* (PDCCH): permite que os UEs capturem os recursos de alocação tanto para o *downlink* quanto para o *uplink* (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Physical Control Format Indicator Channel* (PCFICH): utiliza modulação QPSK e faz a transmissão de *frames*. É responsável por informar ao UE a quantidade de símbolos OFDM usados para transmissão do PDCCH (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Physical Downlink Shared Channel* (PDSCH): nele está contido os dados dos usuários. É mapeado no canal de transporte DL-SCH, explicado mais adiante (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Physical Multicast Channel* (PMCH): possui vários canais de modulação e é responsável pelo armazenamento e envio de informações *multicast* aos UEs simultaneamente (ALMEIDA, 2013).

#### 4.1.5 Sinalizações do LTE

Assim como os canais, os sinais são divididos em sinais físicos de *uplink* e sinais físicos de *downlink*.

Os sinais físicos do *uplink* são o *Demodulation Reference Signal* (DMRS) - utilizado para a estimativa de canal e para a desmodulação junto ao PUSCH e PUCCH e o *Sounding Reference Signal* (SRS) que relata a qualidade do canal e utiliza as informações do *node B* para atribuir funções, sendo de uso opcional.

Os sinais físicos do *downlink* são: *Reference Signal* (RS) - usados para estimar o canal de *downlink*, resultado de uma sequência ortogonal aleatória, podendo haver 504 possibilidades segundo a 3GPP e o P-SS e S-SS (*Primary Synchronization Signal* e *Secondary Synchronization Signal*, respectivamente) que sincronizam as *frames* e solicitam informações como frequência e ID da célula, por exemplo (ALMEIDA, 2013).

#### 4.1.6 Canais de Transporte

A diferença entre os canais de transporte são basicamente as características de transmissão de dados por meio da interface de rádio. A camada de enlace de dados (MAC) faz o mapeamento dos canais de transporte nos canais lógicos e seleciona o formato mais adequado de transporte.

Assim como os canais físicos os canais de transporte também são classificados como canais de transporte de *downlink* e *uplink*.

Os canais de *downlink* são:

- ★ *Broadcast Channel* (BCH): possui um formato pré-definido de transporte e carrega as informações de *broadcast* (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Downlink Shared Channel* (DL-SCH): possui suporte para o HARQ e para *link* adaptativo dinâmico. O que torna possível a variação da modulação, codificação e potência, podendo ser usado como canal de *broadcast* (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Multicast Channel* (MCH): envia as informações *multicast* para o UE, podendo elas serem enviadas ao mesmo tempo para diversos dispositivos (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Paging Channel* (PCH): fornece suporte para uma recepção descontínua, melhorando o consumo de energia, pode ser usado tanto como canal de tráfego como de controle (ALMEIDA, 2013).

Os canais de transporte do *uplink* são:

- ★ *Uplink Shared Channel* (UL-SCH): fornece suporte para o HARQ e para o link adaptativo dinâmico, possibilitando a variação da modulação, codificação e potência transmitida (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Random Access Channel* (RACH): canal responsável por prover o acesso ao sistema, permitindo apenas o envio de uma identificação temporária e a razão do acesso (ALMEIDA, 2013).

### 4.1.7 Canais Lógicos

Os canais de transporte são encapsulados pelos canais lógicos. Esses canais são divididos em canais de controle - usado no plano de controle para transferência de informação e os canais de tráfego - usado no plano de usuário para transferência de informação (ALMEIDA, 2013).

Os canais de controle são:

- ★ *Broadcast Control Channel* (BCCH): responsável por fazer o *broadcast* das informações do sistema, utilizado no *downlink* (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Paging Control Channel* (PCCH): faz a localização do UE na célula e é responsável pela transferência das informações de *paging*, sendo um canal de *downlink* (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Common Control Channel* (CCCH): adquire informações de acesso (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Multicast Control Channel* (MCCH): faz a transmissão de informações de controle MBMS da rede para o UE. É utilizado somente por dispositivos que possuem suporte para o *Multimedia Broadcast Multicast Service* (MBMS). (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Dedicated Control Channel* (DCCH): transmite informações de controle entre a rede e o UE. É um canal bidirecional ponto-a-ponto, utilizado pelos dispositivos quando eles fazem uma conexão RRC. (ALMEIDA, 2013).

Os canais de tráfego são:

- ★ *Dedicated Traffic Channel* (DTCH): é um canal usado para transferir informações do usuário tanto no *uplink* quanto no *downlink* (ALMEIDA, 2013).
- ★ *Multicast Traffic Channel* (MTCH): faz a transmissão do tráfego de dados da rede para o UE. É um canal de *downlink* ponto-a-ponto usado apenas por dispositivos que têm suporte para MBMS (ALMEIDA, 2013).

No caminho do desenvolvimento dos sistemas móveis, a telefonia celular vem evoluindo a cada dia com o objetivo de fornecer cada vez mais largura de banda sem fio aos seus usuários. A exigência do mercado por serviços de qualidade e a competição entre a telefonia fixa e móvel são prova da importância do LTE.

## 4.2 WIMAX

Atualmente, com a popularização das redes de computadores vem crescendo o uso das redes sem fio, que utilizam o ar para a propagação das ondas de RF e fazem a transmissão e recepção dos dados através de um conjunto de antenas que compõem o sistema *wireless*. Dentre as redes *wireless* podemos destacar o *WiFi* e o *WIMAX*. Para um melhor entendimento do *WIMAX*, inicialmente será feita uma comparação com o *WiFi*, devido a sua popularidade.

As tecnologias do mundo atual que utilizam redes locais sem fio *Wireless Local Area Networks* (WLANs) permitem taxas de transmissão relativamente altas se comparada com outras redes sem fio, como o *Bluetooth*, por exemplo. Visando uma melhoria nas taxas de transmissão, as operadoras estão cada vez mais interessadas nas redes IEEE 802.11, como forma de complementar suas redes à baixo custo (SOARES; SILVA, 2008).

Empresas como a *Microsoft*, Intel e Motorola junto com outros 230 membros criaram o *WIMAX*, em 2003. Essa tecnologia surgiu da necessidade de se ter uma tecnologia sem fio, de banda larga, com longo alcance e altas taxas de transmissão.

O *WIMAX* pode ser usado para criação de *links* de longa distância e oferta de serviços via *web* em grandes áreas utilizando um formato semelhante aos padrões de telefonia. É um padrão criado pelas redes de telefonia, também conhecido como 802.16, possuindo maior cobertura que a das redes *WiFi* (802.11g e 802.11n), fazendo uso de um menor volume de pontos de acesso.

O modo de funcionamento do *WIMAX* é parecido com o *WiFi*, a diferença é que ele opera em distâncias maiores, com velocidades superiores e um maior número de usuários. Seu sistema é formado por duas partes: a primeira possui uma torre - responsável pela cobertura do sinal com alcance de até 8000  $km^2$  e podendo ser conectada a outra torre ou diretamente à *internet* e a segunda contém um receptor que faz a distribuição do sinal. O *WiFi* pode transmitir no máximo 54 mbps e possui um alcance de até 30 m, enquanto o *WiMAX* transmite até 70 mbps (NIKOLOFSKI, 2011). Além disso, o *WIMAX* possui diversos avanços tecnológicos capazes de melhorar o tráfego, garantindo melhor qualidade na transmissão de voz/vídeo e de segurança, como também transmissões em ambientes metropolitanos.

Pode operar em diversas faixas de frequência, possuindo alcance de até 50 km para áreas abertas e 12 km em áreas com obstáculos utilizando canais de 20 MHz. A velocidade de transmissão é inversamente proporcional a distância do usuário e pode variar também de acordo com a sensibilidade da antena utilizada. Outra vantagem do uso do *WIMAX* são os custos, pois sua instalação não exige o uso de cabos, otimizando o tempo de instalação e os investimentos. Além das aplicações tradicionais, ao se explorar o diferencial dessa tecnologia é possível realizar grandes aplicações em termos de multimídia em dispositivos

especializados ou integrados em *notebooks* e celulares, por exemplo.

Possui padrões tanto para acesso fixo (802.16 d) quanto móvel (802.16 e). O padrão fixo não tem suporte para comutação, logo a conexão é perdida ao sair da área de cobertura do transmissor. Já no padrão móvel, esse deslocamento é possível, pois os dispositivos se conectam automaticamente a próxima antena disponível, evitando a queda da conexão.

A versão mais atual do padrão IEEE 802.16 possui a camada de enlace de dados (MAC) e múltiplas camadas físicas (PHY). A MAC é responsável pelo controle de acesso e de garantia do nível QoS na interface aérea, fazendo reserva de banda e priorizando tráfegos. O suporte a PHY juntamente com os mecanismos de sincronismo e segurança formam o conjunto principal de funcionalidades que a MAC especifica nesse padrão. O padrão IEEE 802.16m oferece taxas de transmissão mais altas e compatibilidade retroativa com o padrão original. Faz uso da faixa de 20 MHz e pode oferecer 120 Mbps em *download* e 60 Mbps em *upload*, concorrendo com o LTE (NIKOLOFSKI, 2011).

#### 4.2.1 Características do WIMAX

Devido as suas altas taxas de transmissão, fornece conectividade sem fio em banda larga a usuários de diversos tipos - tanto fixos quanto portáteis, empresas ou residências.

Dentre suas características, tem como destaque: QoS incluída, alto desempenho - com antenas inteligentes e menor custo de infraestrutura, criação de uma rede de cobertura de conexão com a *internet* parecida com a de cobertura de celular, tornando o acesso à *internet* de qualidade mesmo em movimento, oferta em regiões sem infraestrutura para cabamentos e independência das redes de concessionárias de telefonia (SOARES; SILVA, 2008).

As faixas de frequência variam de país para país e são determinadas pelo governo, podendo haver ou não a necessidade de uma licença. Com o objetivo de cumprir requisitos regulamentares globais e permitir o uso de espectros disponíveis nessas faixas, o padrão 802.16-2004 possui canais entre 1,5 MHz e 20 MHz. A Tabela 4.3 mostra algumas regiões regulamentadas para o uso do WIMAX.

Tabela 4.3 – Alocação mundial das faixas licenciadas e isentas de licença

País/Área Geográfica	Faixas Utilizadas
América do Norte, México	2,5 GHz e 5,8 GHz
América Central e do Sul	2,5 GHz, 3,5 GHz e 5,8 GHz
Europa Ocidental e Oriental	3,5 GHz e 5,8 GHz
Oriente Médio e África	3,5 GHz e 5,8 GHz
Ásia e Pacífico	3,5 GHz e 5,8 GHz

Fonte: INTEL *apud* SOARES e SILVA, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina3.asp>



A faixa licenciada tem como vantagem uma maior potência disponível para *downlink* em relação as faixas não licenciadas. Já a faixa não licenciada apresenta uma ativação mais rápida, menor custo e mais opções de frequência quando comparada as faixas licenciadas. A Tabela 4.4 mostra a distribuição das faixas de frequência.

Tabela 4.4 – Faixas de frequência disponíveis para o WIMAX

Faixa	Frequências	Requer licença?	Disponibilidade
2,5 GHz	2,5 a 2,69 GHz	Sim	Alocada no Brasil, México, alguns países do sudeste asiático e nos EUA (o WiMax Fórum também inclui 2.3 GHz nesta categoria de faixa, pois “se espera que o [2,3 GHz] seja coberto pelo rádio de 2,5 GHz”.)
3,5 GHz	3,3 a 3,8 GHz, porém principalmente de 3,4 a 3,6 GHz	Sim, em alguns países.	Na maioria dos países, a faixa de 3,4 GHz a 3,6 GHz é alocada para o <i>wireless</i> de banda larga.
5 GHz	5,25 a 5,85 GHz	Não	Na porção de 5,725 GHz a 5,85 GHz, muitos países permitem uma potência maior, o que pode melhorar a cobertura.

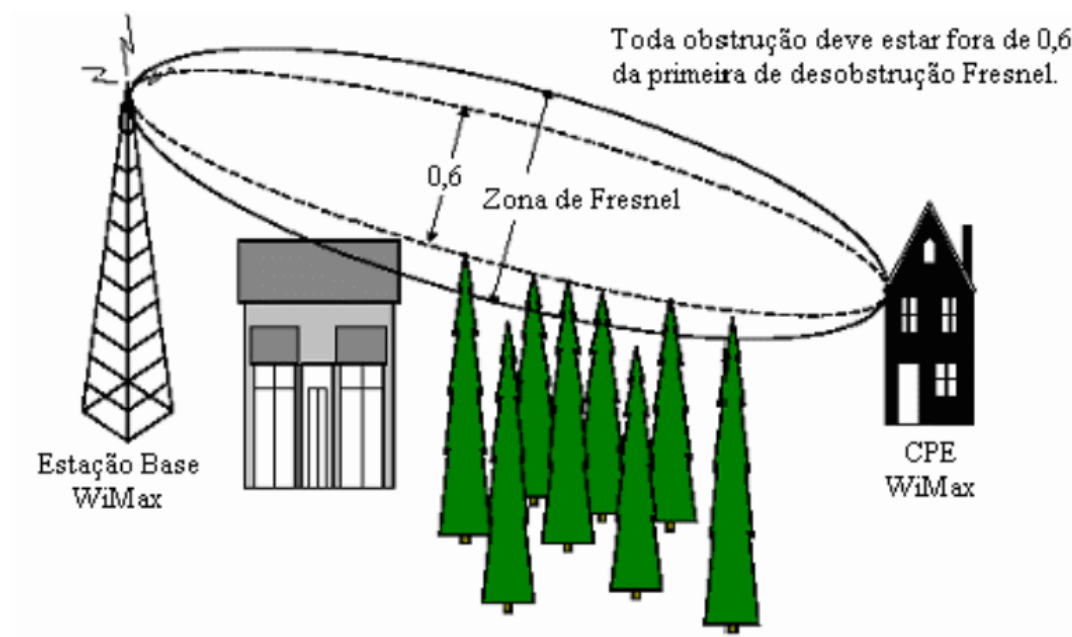
Fonte: INTEL *apud* SOARES e SILVA, 2013

Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina3.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina3.asp)

### 4.2.2 Propagação NLOS contra propagação LOS

O canal de rádio é um sistema de comunicação sem fio classificado como Linha de visão (LOS) ou *Non-Line-of-Sight* (NLOS). No protocolo LOS, o sinal de rádio percorre um caminho direto do transmissor para o receptor. Um *link* LOS requer que o caminho esteja absolutamente livre, esse caminho é conhecido como Zona de Fresnel, mostrado na Figura 4.9.

Figura 4.9 – Zona de Fresnel (LOS)

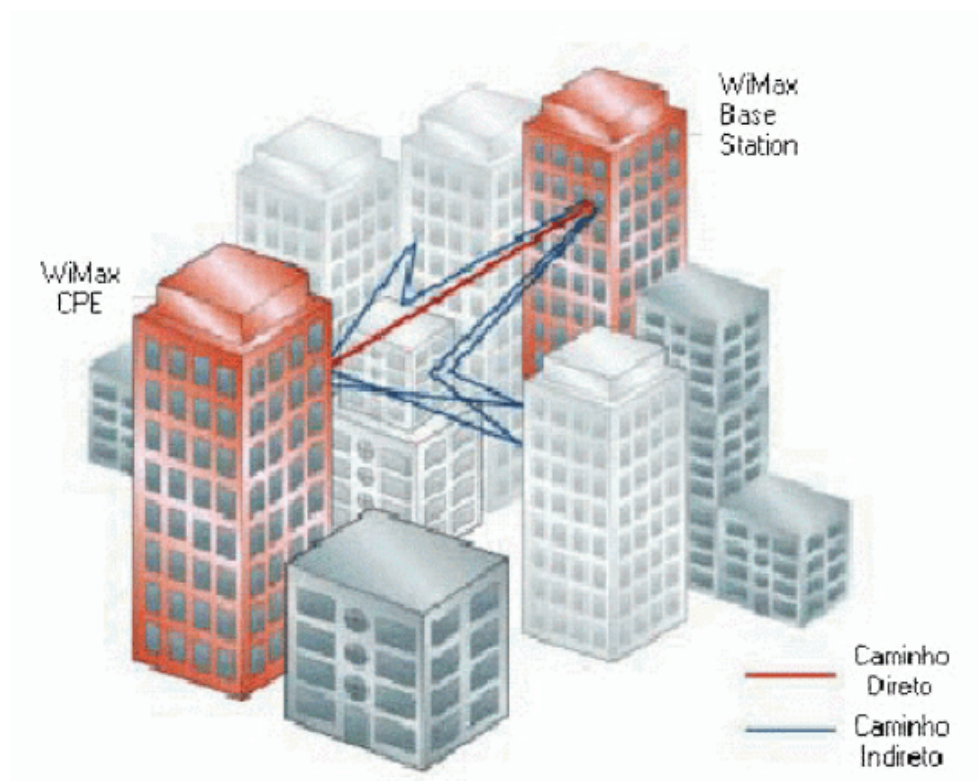


Fonte: FÓRUM WIMAX, 2005  
Disponível em: <http://wimaxforum.org/>

Na Figura 4.12 pode-se observar um campo dentro de um elipsóide (Zona de Fresnel). Quanto menos obstáculos existirem nesse campo, melhor será o sinal recebido. Esse sinal admite perdas de no máximo 20 %, perdas superiores acarretam num sinal muito fraco, não permitindo a comunicação do transmissor com o receptor.

Já no *link* NLOS, o sinal é localizado por meio de reflexões, difusão e difração. Os sinais que chegam ao receptor podem ser partes do caminho direto, reflexão de múltiplos caminhos ou energia difundida. Esses sinais diferenciam expansões de atraso, atenuação, polarização e estabilidade relativa para o caminho direto. Sua propagação é mostrada na Figura 4.10.

Figura 4.10 – Propagação do sinal (NLOS)

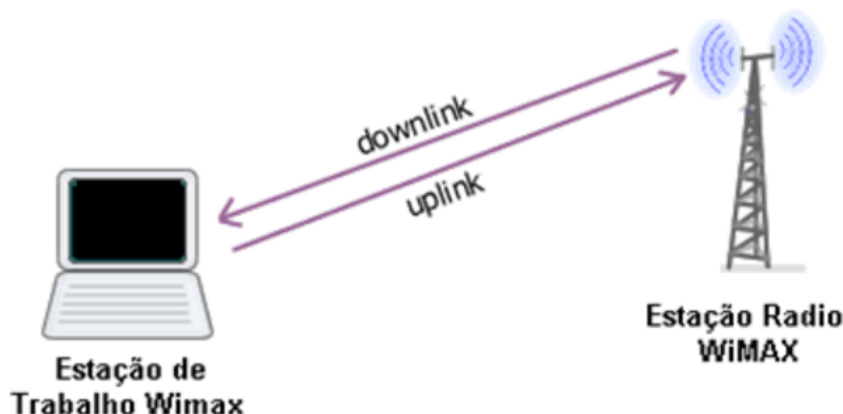


Fonte: FÓRUM WIMAX, 2005  
Disponível em: <http://wimaxforum.org/>

Devido a possibilidade de múltiplos caminhos, pode haver mudança na polarização do sinal, podendo ser um problema do NLOS quando comparado ao LOS. Em compensação, tem como vantagem o uso de múltiplos caminhos para a emissão do sinal.

### 4.2.3 Multiplexação FDD e TDD

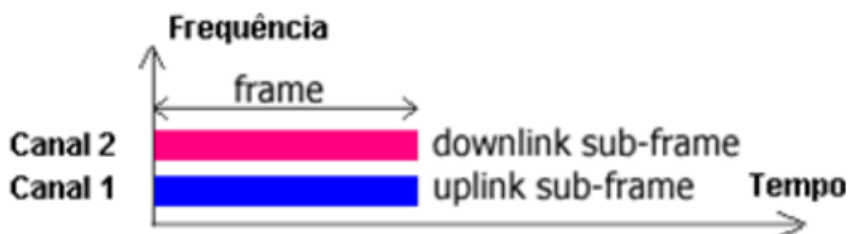
O WIMAX possui suporte tanto para multiplexação TDD quanto FDD.

Figura 4.11 – Tráfego de *downlink* e *uplink*

Fonte: INTEL *apud* SOARES e SILVA, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina3.asp>

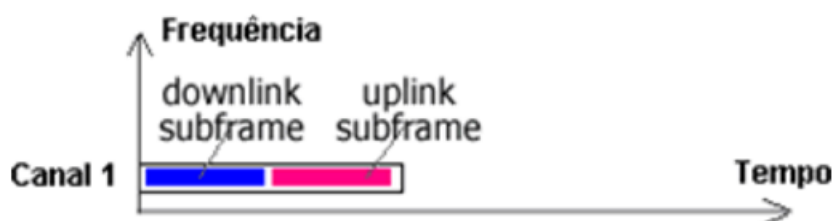
O padrão FDD faz uso de duas bandas separadas, possibilitando o terminal móvel de transmitir o sinal em uma frequência (*downlink*) e receber em outra (*uplink*). O uso de duas bandas implica no uso de dois canais separados por uma frequência de 50 a 100 MHz no WIMAX, como mostra a Figura 4.12:

Figura 4.12 – *Frequency Division Duplex* (FDD)

Fonte: INTEL *apud* SOARES e SILVA, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina3.asp>

No padrão TDD, a mesma faixa de frequência é utilizada para transmissão e recepção em tempos diferentes, portanto a faixa é dividida. Pode alocar largura de banda dinamicamente entre o *downlink* e *uplink*, como mostra a Figura 4.13:

Figura 4.13 – *Time Division Duplex* (TDD)

Fonte: INTEL *apud* SOARES e SILVA, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina3.asp>

A Tabela 4.5 faz uma comparação entre o FDD e o TDD.

Tabela 4.5 – Comparação entre FDD e TDD

	TDD	FDD
<b>Descrição</b>	Uma técnica de duplexação utilizada em soluções isentas de licença que utiliza um único canal tanto para <i>uplink</i> quanto para <i>downlink</i> .	Uma técnica de duplexação utilizada em soluções licenciadas que utilizam um par de canais no espectro, um para <i>uplink</i> e outro para <i>downlink</i> .
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior flexibilidade, pois não é um par de espectros;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologia comprovada para voz;</li> <li>• Projetado para tráfego simétrico;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior facilidade de equiparação com tecnologias de antenas inteligentes;</li> <li>• Assimétrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não requer tempo de guarda.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não pode transmitir e receber sinais simultaneamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não pode ser implementado onde o espectro não for par;</li> <li>• O espectro é geralmente licenciado;</li> <li>• Custos mais elevados associados à compra de espectro.</li> </ul>
<b>Utilização</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicações de dados que apresentam picos e são assimétricas;</li> <li>• Ambientes com padrões variados de tráfego;</li> <li>• Onde a eficiência de RF for mais importante que o custo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ambientes com padrões de tráfego previsíveis;</li> <li>• Onde os custos do equipamento forem mais importantes do que a eficiência de RF.</li> </ul>

Fonte: INTEL *apud* SOARES e SILVA, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina3.asp>

Assim como no LTE, o WIMAX conta com as tecnologias de OFDM e OFDMA.

#### 4.2.4 Os padrões do WIMAX

- ★ IEEE 802.16: versão desenvolvida em 2002, conhecida como *WirelessMAN* e criada com o intuito de prover a padronização das redes de banda larga sem fio. Operava em frequências de 10 a 66 GHz e utilizava o LOS (SOARES; SILVA, 2008).
- ★ IEEE 802.16a: utiliza baixas frequências, em torno de 2 a 11 GHz, possui taxas de transmissão de até 75 Mbps e um alcance de 50 km (SOARES; SILVA, 2008).
- ★ IEEE 802.16b: sua criação teve como objetivo melhorar a qualidade de serviço.
- ★ IEEE 802.16c: fazia a padronização de protocolos, interoperabilidade e especificação de testes de confirmação (SOARES; SILVA, 2008).
- ★ IEEE 802.16d: foi lançado para substituir os padrões IEEE 802.16a e IEEE 802.16c, tornando-os apenas um. Possui suporte para antenas MIMO, melhorando a confiabilidade e o alcance. Seu padrão de acesso sem fio é o ponto-multiponto, com frequências

de 10 a 66 GHz e 2 a 11 GHz. Seus primeiros equipamentos foram disponibilizados em 2006, fazendo transmissões a uma taxa de até 70 Mbps. Faz uso da camada MAC para um ambiente de acesso sem fio, projetada para taxas de transmissão de até 268 Mbps. Suporta modulação adaptativa, ajustada de acordo com a transmissão, resultando em melhoria no espectro. A estrutura aceita um dinamismo na ligação aos terminais dos clientes (SOARES; SILVA, 2008). A topologia da rede WIMAX é mostrado na Figura 4.14:

Figura 4.14 – Topologia da rede WIMAX



Fonte: MEYER *apud* SOARES e SILVA, 2013

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina3.asp>

- ★ IEEE 802.16e: foi publicado em 2005 e é o padrão de acesso sem fio de banda larga do WIMAX. É considerado uma solução de banda larga sem fio que possibilita a convergência de redes banda larga, tanto móvel quanto física, com arquitetura flexível e tecnologia *Metropolitan Area Network* (MAN). Utiliza o OFDMA e tem como característica altas taxas de dados, uso da técnica MIMO, codificação avançada, canal de 10 MHz com picos de *download* de 63 Mbps e *uplink* de 28 Mbps. Contem diversas possibilidades de faixas podendo variar de 1,25 e 20 MHz, partindo do pressuposto que o padrão se adapte às diferentes condições de alocação de frequência.

No quesito segurança, possui autenticação EAP, criptografia AES-CCM e esquemas usuário/senha (SOARES; SILVA, 2008).

As principais aplicações do WIMAX são mostradas na tabela abaixo:

Tabela 4.6 – Aplicações do WIMAX

Classe	Aplicação	Requisito estimado de banda	Requisito estimado de latência	Requisito estimado de variação do atraso
1	Jogos interativos multiplayer	Baixo - 50 kbps	Baixo: < 25 ms	N/D <sup>7</sup>
2	VoIP e videoconferência	Baixo - 32 a 64 kbps	Baixo: < 160 ms	Baixo: < 50 ms
3	<i>Streaming</i>	Baixo a alto: 5 kbps a 2 Mbps	N/D	Baixo: < 100 ms
4	<i>Web</i> e IM ( <i>Instant Messaging</i> )	Moderado: 10 kbps a 2 Mbps	N/D	N/D
5	<i>Downloads</i> de mídia	Alto: > 2 Mbps	N/D	N/D

Fonte: Rodrigues *apud* SOARES e SILVA, 2013 - adaptado pela autora

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina4.asp>

### 4.2.5 Características do meio de propagação do WIMAX

Para uma tecnologia WIMAX ser desenvolvida, há uma necessidade de se conhecer os ambientes onde esses sinais serão propagados.

Modelos de propagação: o sistema adotado pela rede sem fio depende da escolha dos modelos de propagação, que podem ser empíricos, semi-empíricos ou teóricos.

- ★ Modelos Empíricos: é resultado de um estudo do ambiente com faixas específicas de valores dos parâmetros como frequências e altura das antenas, por exemplo. Quanto mais próximo da região do projeto, mais fiel é o modelo (SOARES; SILVA, 2008).
- ★ Modelos Semi-empíricos: também é resultado de medidas de campo, entretanto os valores dos parâmetros são obtidos teoricamente (SOARES; SILVA, 2008).
- ★ Modelos Teóricos: são modelos inteiramente teóricos. Possui aplicações nos enlaces de ponto-a-ponto e na análise das configurações de efeitos de difração e reflexão, por exemplo (SOARES; SILVA, 2008).

## 4.3 4G no Brasil

Atualmente, o padrão LTE é predominante em todo o país, sendo adotado por todas as operadoras. Sua implantação passou por desafios como a necessidade de adoção da fibra óptica e alto custo da tecnologia para distribuição.

<sup>5</sup> N/D: não disponível

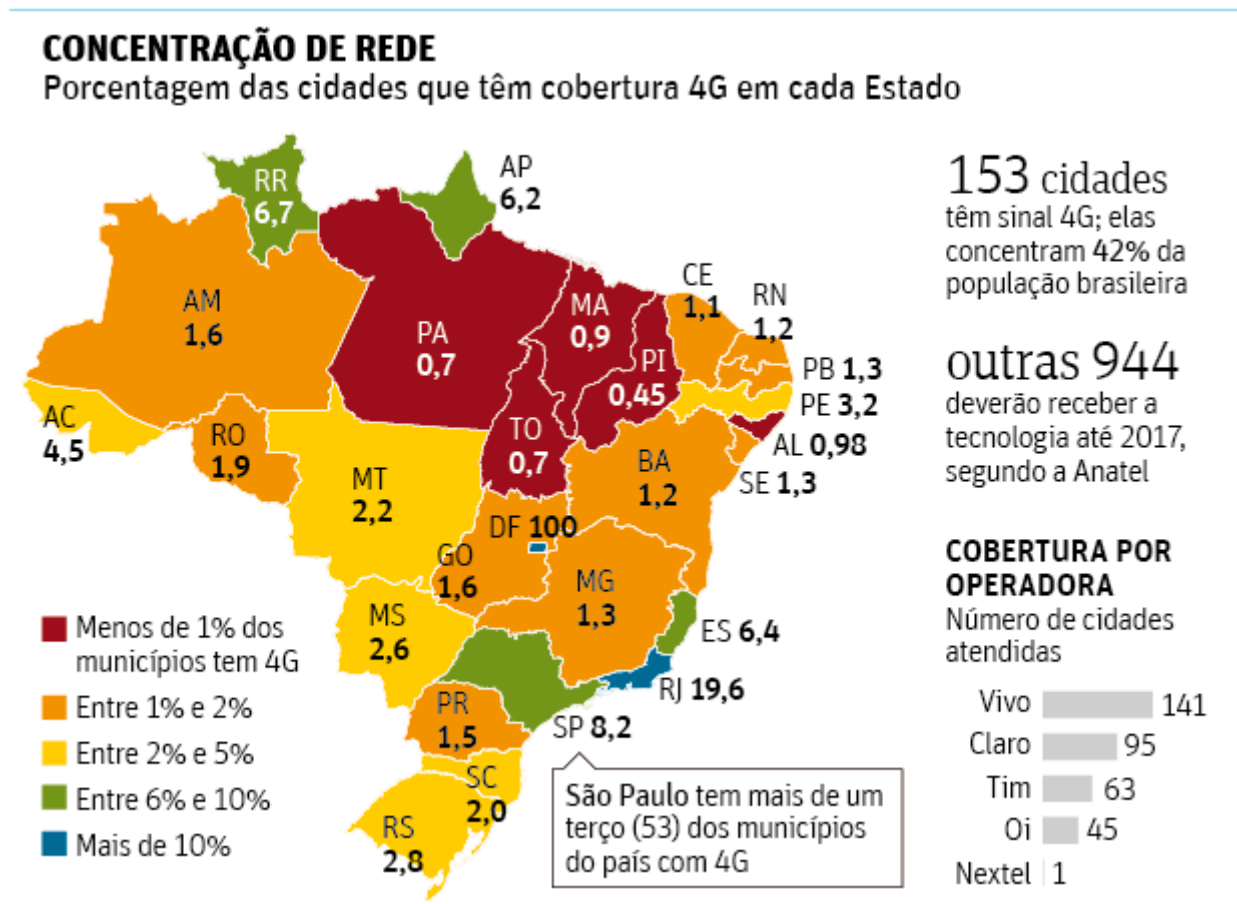
Inicialmente a faixa de frequência adotada foi de 2,5 GHz, diferente da dos EUA (700 MHz). Os fabricantes garantiram a compatibilidade entre os equipamentos, causando a redução de custos. Em 2014, a Anatel licitou a faixa de frequência de 700 MHz, liberada apenas após a transição da TV aberta analógica para digital (TELECO, 2016).

Tanto os usuários de banda larga móvel como do LTE contaram com velocidades de até 200 Mbps, facilitando a vida dos brasileiros tanto no uso doméstico como no trabalho (CORNÉLIO, 2011).

Em abril de 2016, o Brasil contava com 34,9 milhões de acessos via 4G (LTE), apresentando um crescimento de 232 % em relação a abril de 2015, que possuía cerca de 10,5 milhões (TELECO, 2016).

A Figura 4.15 mostra um panorama da tecnologia 4G no Brasil:

Figura 4.15 – Cobertura 4G no Brasil



Após a exploração das tecnologias 4G (WIMAX e LTE) e implantação em grande parte do mundo, já existem estudos relacionados a Quinta Geração de redes sem fio (5G), a próxima grande fase dos padrões de telecomunicações (NIKOLOFSKI, 2011).



## 5 O futuro: a Quinta Geração (5G)

---

Devido a evolução da telefonia móvel, hoje as redes móveis possuem um grande tráfego de informações, causando congestionamento e lentidão. A tecnologia de Quinta Geração é apelidada pela mídia como “A tecnologia do futuro”. Autores ainda afirmam que a 5G vai mudar a vida do usuário. Com previsão para ser lançada em 2020, a expectativa é que a 5G traga a estrutura necessária para que a “*internet* das coisas” seja uma realidade no mundo, prevendo dispositivos conectados e comunicando-se entre si, como carros autônomos e casas inteligentes<sup>6</sup>.

Assim como as tecnologias precursoras, a implantação das redes 5G também contam com dificuldades como o grande crescimento de usuário por área, problemas na transmissão por estação de rádio base e cobertura das células, falta de manutenção nas estações ocasionando em problemas no envio de sinal, além das dificuldades burocráticas para a instalação de novas estações (MENDES, 2013).

Os primeiros aparelhos compatíveis com a tecnologia 5G estão previstos para serem comercializados em 2022 no Reino Unido e até em 2024 nos demais países (RODRIGUES; AZEVEDO, 2015).

### 5.1 O padrão 5G

Essa tecnologia será uma mistura de níveis de rede de diferentes tamanhos, garantindo transmissão de conexão inteligente, acessada por um grande número de dispositivos interconectados. Conterá com maior capacidade, pois terá com aprimoramento da arquitetura e presença de uma comunicação física avançada (MENDES, 2013).

As tecnologias de CDMA, OFDM, *Acesso Múltiplo por Divisão de Código de Operadoras* (MC-CDMA), *Ultra WideBand* (UWB), *Local Multipoint Distribution Service* (LMDS) e *Internet Protocol version 6* (IPv6) são integradas e possuem suporte entre si,

---

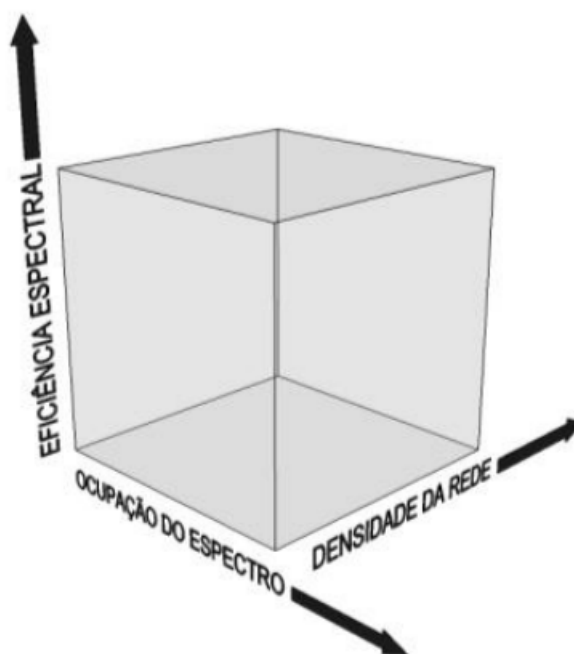
<sup>6</sup> Disponível em: <http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/o-que-e-o-5g-e-como-ele-vai-mudar-a-sua-vida>

permitindo alta capacidade de transmissão de dados e volumes de chamadas ilimitadas (MENDES, 2013).

Estima-se um aumento exponencial no volume de tráfego até 2020. Estudos feitos mostram que até lá, o número de conexões que temos hoje em dia poderá ser 10 vezes maior. Nos países desenvolvidos, pode-se considerar que a proporção de usuários donos de *smartphones* e outros dispositivos que fazem uso da banda larga vêm crescendo de maneira significativa.

A capacidade do tráfego de uma rede é definida com base em três fatores: ocupação do espectro, eficiência espectral e densidade de elementos por área, como mostra a Figura 5.1.

Figura 5.1 – Dimensões do volume de tráfego



Fonte: LIMA e DANTAS, 2014

Existe ainda uma deficiência na disponibilidade do espectro para o tráfego de dados. Uma possível solução para este problema seria a reorganização das bandas existentes, tornando-as mais eficientes ou a adesão de novas bandas. Apesar dos esforços, o espectro sempre será considerado um problema, pois as baixas frequências - que permitem maior capacidade de cobertura e menor investimento já são usadas em rádios e TVs e o uso de altas frequências acarreta em uma limitação da cobertura e custo elevado (LIMA; DANTAS, 2014).

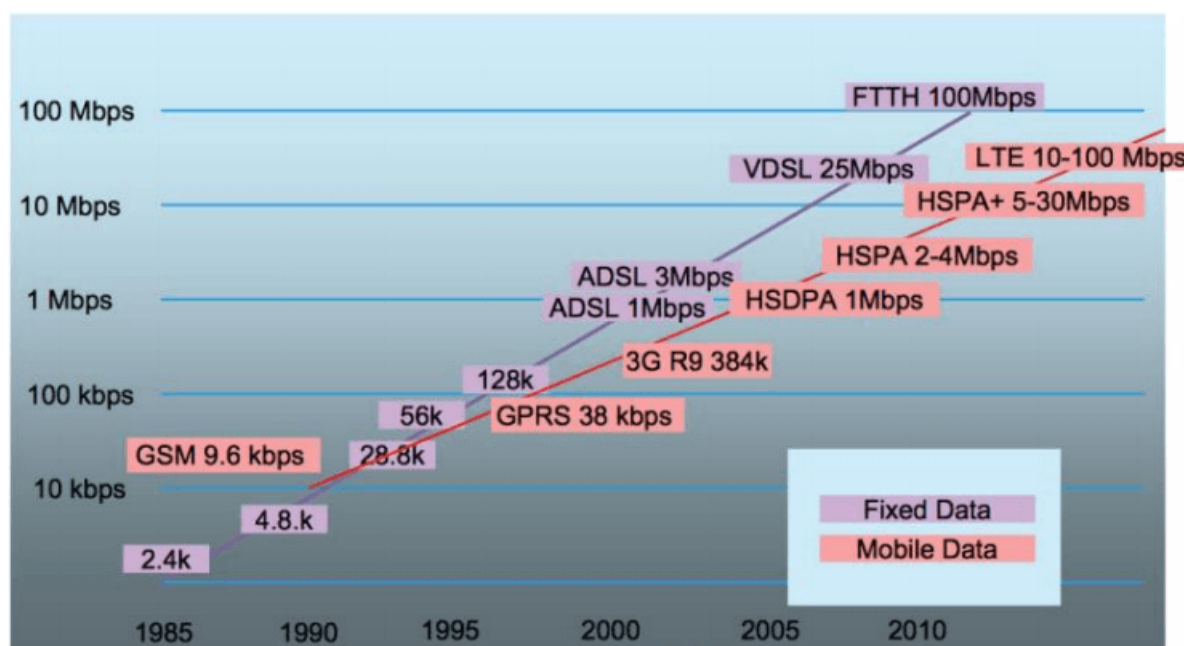
Segundo a *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), estima-se que em 2020 será necessário no mínimo um acréscimo de 500 MHz de espectro para atender a demanda, por isso será necessário o uso de frequências acima de 6 GHz.

Com o intuito de aumentar a largura da faixa disponível, utiliza-se diversas sub-bandas que fazem parte das faixas de frequências, acarretando no crescimento da taxa de transferência. Esse mecanismo é chamado de *carrier aggregation*.

O aumento da velocidade e quantidade de dados transferidos se deve a uma série de mecanismos já presentes na 4G, como o Limite de *Shannon* - que aumenta a modulação e o MIMO - conjunto de antenas transmissoras e receptoras responsáveis por aprimorar o desempenho da transmissão. Além deles, conta também com o *Not-Orthogonal Multiple Access* (NOMA) - responsável pela multiplexação de vários usuários no domínio da potência do lado do transmissor, separando o sinal do receptor através de cancelamento sucessivo de interferência (LIMA; DANTAS, 2014).

Devido a infraestrutura das redes móveis, observa-se a necessidade da utilização de uma rede fixa, mostrando uma interdependência entre elas. Ao analisar a Figura 5.2, pode-se perceber que as redes fixas sempre foram superiores as redes móveis em termos de capacidade. A necessidade de melhoria na capacidade é considerada um dos principais desafios da Quinta Geração (LIMA; DANTAS, 2014).

Figura 5.2 – Comparativo de desempenho entre redes fixas e móveis

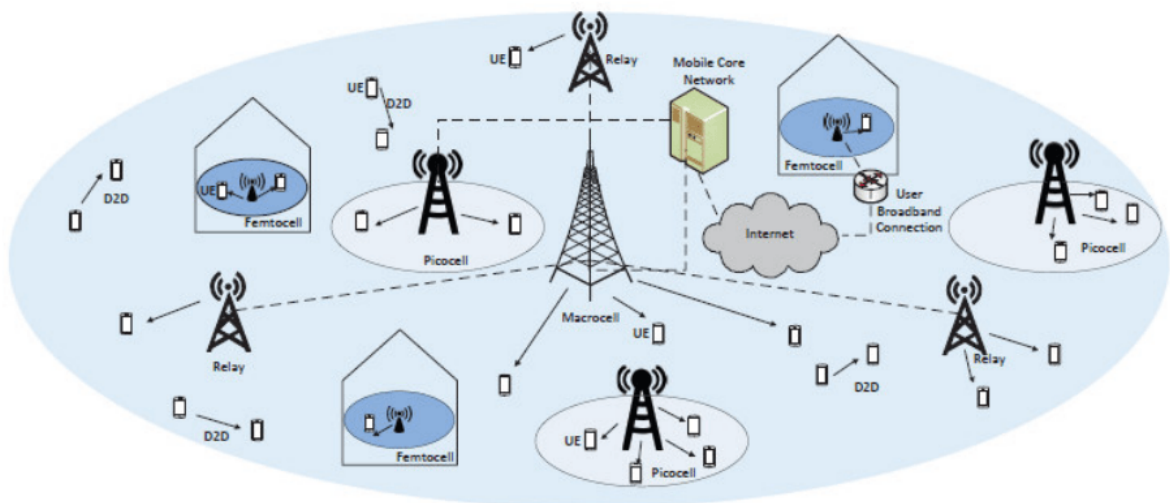


Fonte: LIMA e DANTAS, 2014

As redes 5G contarão com bastante interferência, devido a alguns fatores que afetam a dinâmica do *downlink* e *uplink* como a diversidade dos dispositivos que serão conectados - causando um desequilíbrio da cobertura devido a suas diferentes potências de transmissão das BSs no *downlink*, restrições de acesso em diferentes níveis de interferência e prioridades de acesso aos canais que possuem frequências diferentes (MENDES, 2013). Esses fatores possuem os seguintes desafios:

- ★ Métodos de controle de potência para redes de múltiplas camadas: são utilizadas técnicas como acesso para usuário no *uplink* ou acesso de transmissão das BSs no *downlink*. Essas técnicas têm o intuito de aumentar o desempenho do sistema e reduzir interferências, aumentando o rendimento - fazendo diminuir o consumo de energia. Para a redução de interferências se faz necessária uma melhoria na eficiência espectral. Já para um consumo de energia mais eficiente é necessário diminuir a potência. A potência de transmissão do *uplink*, diferentemente do *downlink*, depende apenas da bateria, não se preocupando com o tipo de BS que os usuários estão conectados. Como a energia da bateria não sofre mudanças significativas, não existem problemas relacionados a desequilíbrio de carga de tráfego no *uplink*. Por esse motivo, é necessário promover soluções conjuntas tanto para *downlink* quanto para *uplink*. Concomitantemente, quando se trata da assimetria, deve-se utilizar soluções separadas para o *downlink* e *uplink*, pois devem ser usados dois BSs distintos para transmissão. Essa ideia seria uma possível solução para o padrão 5G, mostrada na Figura 5.3 (MENDES, 2013).

Figura 5.3 – Redes de multicamadas composta por células maiores



Fonte: HOSSAIN *apud* MENDES, 2013

- ★ Métodos eficientes para apoiar associação simultânea de múltiplas BSs: se for levado em consideração que cada usuário se associe a apenas um BS, a conectividade simultânea nas redes multicamadas no 5G apresentaria melhoria no rendimento do sistema e diminuiria a queda de interrupção. Deve haver suporte para se tenha uma associação simultânea de um usuário em várias BSs, assim como também poder determinar em que condições uma UE qualquer está associada a que BSs no *uplink* e/ou *downlink* (MENDES, 2013).
- ★ Métodos de cooperação eficientes na coordenação entre vários níveis: a interferência nas redes 5G serão amenizadas através da cooperação e coordenação entre diferentes

níveis. O LTE propôs a cooperação entre uma célula maior e outra menor, no qual os UEs possuem uma ligação dupla simultânea entre essas células na comunicação de um *uplink* e *downlink*. Essa cooperação entre BSs em diferentes níveis deve se adaptar de acordo com a localidade do usuário e as condições do canal, com o intuito de maximizar a eficiência espectral de energia da rede (MENDES, 2013).

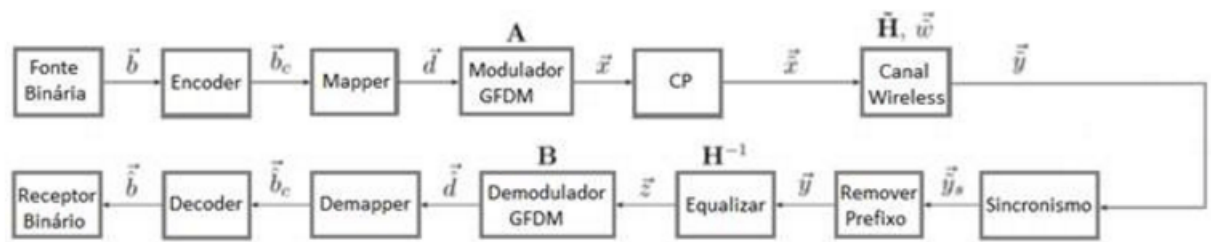
## 5.2 Possíveis modulações de radiofrequência para o 5G

Estão sendo feitos estudos e simulações de diversas tecnologias a serem usadas como prováveis modulações de RF nas redes 5G como o *Generalized Frequency Division Multiplexing* (GFDM), *Universal Filtered Multi-carrier* (UFMC), *Filter Bank Multi-carrier* (FBMC) e o *Bi-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (BFDM).

### 5.2.1 GFDM

O GFDM é um sistema de multiportadoras, pois oferece mais liberdade do que o OFDM. A diferença entre eles se deve a divisão do tempo e da frequência em  $K$  subportadoras e  $M$  sub-símbolos. Os esquemas do diagrama de blocos e da diferença entre o GFDM e OFDM são mostrados respectivamente nas Figuras 5.4 e 5.5.

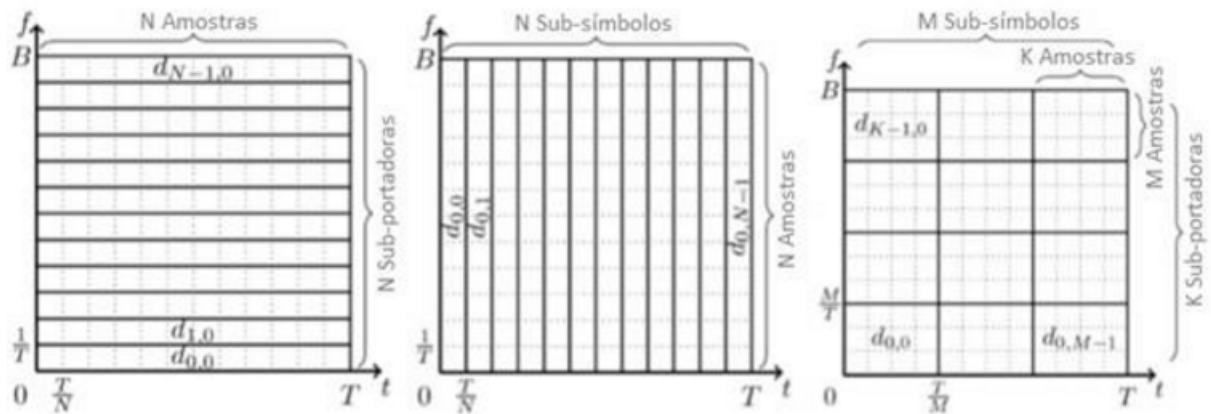
Figura 5.4 – Diagrama do transceptor do GFDM



Fonte: KASPARICK *et al*, apud DIAS, 2016

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina2.asp>

Figura 5.5 – Partição do tempo e da frequência



Fonte: KASPARICK *et al.* apud DIAS, 2016

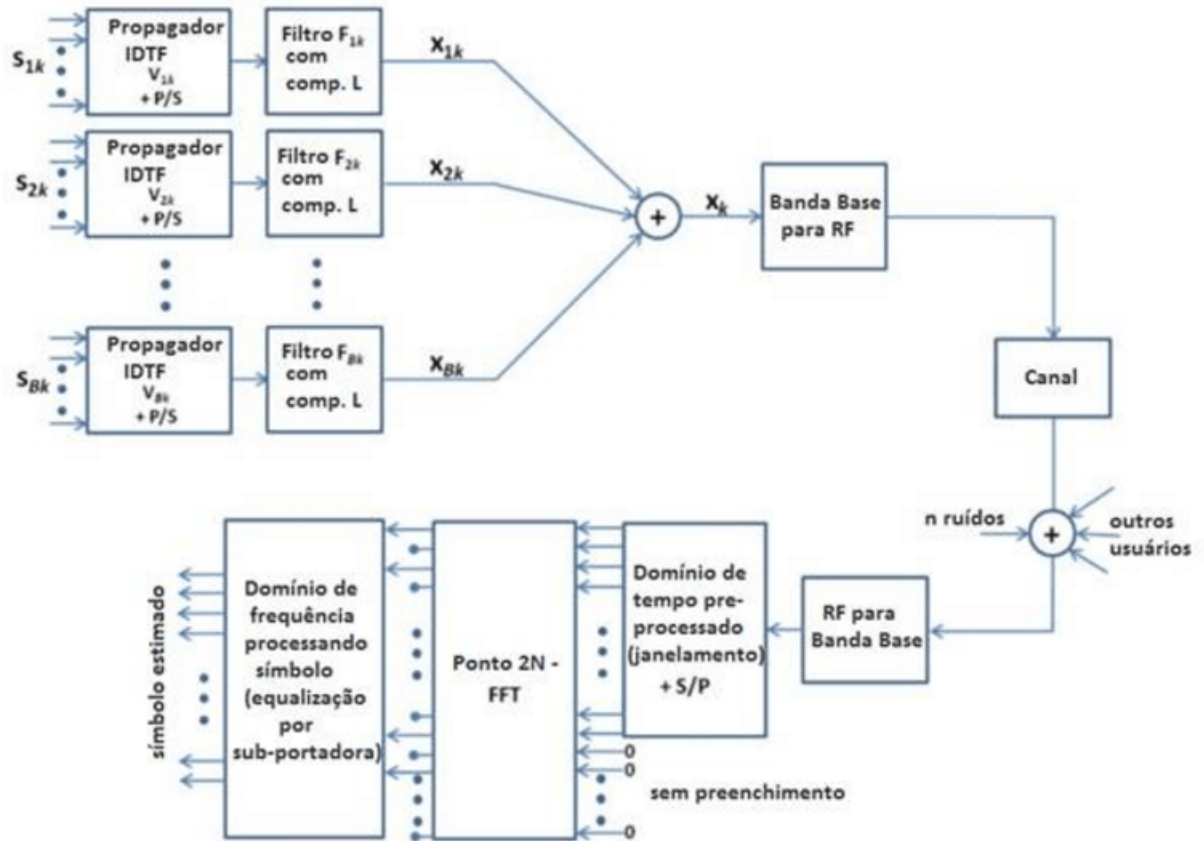
Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina2.asp)

A partir disso, o espectro pode ser projetado de acordo com a necessidade. Ainda, o GFDM pode ser programado para fazer a cobertura de uma parte da banda larga com um número significativo de subportadoras. Daí, conclui-se que o GFDM tem como base a aproximação e acréscimo de filtros, melhorando o endereçamento de usuários de diferentes localidades fazendo uso de baixa.

### 5.2.2 UPMC

É formado por multiportadoras ortogonais. Possui um espectro melhorado quando comparado ao OFDM, o que acarreta em uma perda de ortogonalidade do lado do receptor. Ainda, possui mais filtros de sub-bandas - responsáveis pela redução do nível de lóbulo lateral fora da sub-banda, gerando robustez contra interferência entre as portadoras. O diagrama do transceptor do UPMC é mostrada a seguir:

Figura 5.6 – Diagrama do transceptor do UPMC



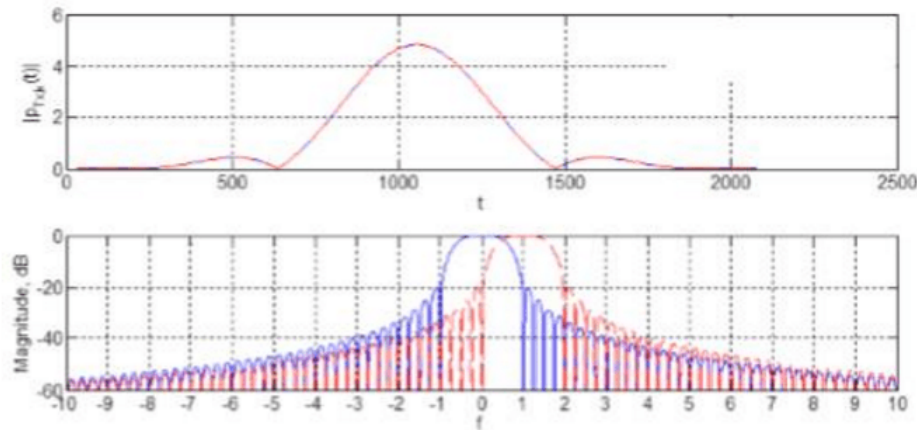
Fonte: KASPARICK *et al*, apud DIAS, 2016

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina2.asp>

### 5.2.3 FBMC

O protótipo do filtro é projetado de modo que satisfaça as limitações existentes. Possui portadoras adjacentes sobrepostas, de modo que para manter esse formato o lado do transmissor apresenta valores reais e imaginários oscilando, processo esse denominado de OQAM, como mostra na Figura 5.7.

Figura 5.7 – Filtros para subportadora do FBMC



Fonte: KASPARICK *et al.* apud DIAS, 2016

Disponível em: [http : //www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina2.asp)

Como consequência, o FBMC apresenta melhoria no espectro fora da banda utilizando filtros sobre as bases de subportadoras.

#### 5.2.4 BFDM

Como o próprio nome já diz, no *Bi-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (BFDM) os pulsos presentes no receptor e transmissor são bi ortogonais, a forma mais frágil da ortogonalidade, o que permite uma maior flexibilidade no desenvolvimento do protótipo do transmissor. Tem como principal vantagem a responsabilidade de controlar a degradação de performance ocasionada pelos *offsets* de tempo e frequência (DIAS, 2016).

### 5.3 Inteligência no 5G

Nas redes 5G, o termo “inteligência” se deve ao fato de sua infraestrutura permitir a comunicação sem fio com taxas de dados que podem chegar a 1 Tbps. Essa rede sem fio será diretamente conectada a uma rede dinâmica, graças a sua arquitetura maleável.

Para que seu objetivo seja alcançado, esse sistema deve possuir as seguintes características:

- ★ Uma arquitetura de rede que proporcione uma boa interação entre a camada de enlace e a camada física. Que não faça apenas a interação global do sistema, mas também seja capaz de ofertar a conexão com fio e *links* de satélite (MENDES, 2013).
- ★ A presença de Aplicação para redes de Aldeia Global de Informação de Comunicação Multimídia (GIMCV) - capaz de fazer a interconexão das aplicações, de modo que satisfaça a necessidade dos usuários independente da situação (MENDES, 2013).



- ★ Possuir capacidade de aplicação inteligente, de modo a fornecer comunicação via rádio de ampla cobertura e a uma taxa de até 1 Tbps, independente de onde esteja localizado o usuário (MENDES, 2013).

Estruturalmente falando, a inteligência é construída de forma que possua uma divisão do espectro da rede em células menores e mais eficientes. Como também, dinamismo no espectro, consequência da aplicação de diferentes tecnologias.

A melhor maneira de se implementar a inteligência é utilizando o conceito de Rádio Cognitivo (CR) e Rede Cognitiva (CN), pois ele faz uso de uma frequência superior. Essa cognição é mantida por técnicas de alta performance, capazes de atingir a comunicação global (MENDES, 2013).

O CR pode ser definido como sendo um transceptor que assimila e responde a determinado ambiente comunicando-se por meio de um sistema inteligente, de modo que atenda as necessidades requisitadas.

Em suma, uma rede inteligente tem o poder de conectar o usuário independente de sua localização, fazendo uma junção entre a comunicação com e sem fio baseando-se em IP.

A Tabela 5.1 a seguir reflete a importância das tecnologias antecessoras para o avanço da telefonia móvel.

Tabela 5.1 – **Requisito colaborativo do sistema 5G**

<i>Generation</i>	<i>Frequency</i>	<i>Radio</i>	<i>Authentication</i>	<i>Devices</i>	<i>Applications</i>
1G	450, 900 MHz	Analog	Credential	Handset	Voice
2G	900, 1800 MHz	TDMA	SIM, EAP-SIM	Handset	"1G" and SMS (data)
3G	2100 MHz (1800 MHz)	WD-CDMA	$\mu$ SIM EAP-AKA	"2G" and modem	"2G" and multimedia
4G	450 - 2700 MHz	OFDMA SC-FDMA	UMTS-AKA and FutureSIM	"3G" and imbuilt	"3G" and broadband
5G	450 - 5800 MHz	Collaborative radio	Service continuity "4G" and Diameter++	"4G" and mobile, TV others	Service continuity

Fonte: MENDES, 2013

Daí, pode-se concluir que a tecnologia 5G necessita dos seguintes requisitos:

- ★ Taxa de dados de latência: áreas urbanas densas com taxa de dados de 300 Mbps no *downlink* e 60 Mbps no *uplink*, em cerca de 95% dos lugares (MENDES, 2013).
- ★ Deve possuir um Tipo de Comunicação de Máquina (TMC) e dispositivos, pois o número de dispositivos usados em veículos, eletrodomésticos, sensores e dispositivos de vigilância podem superar o dos dispositivos tradicionais - *smartphones* e *tablets*.

- ★ A comunicação deverá ser feita através de ondas milimétricas, pois um maior tráfego devido ao incremento no número de dispositivos e serviços acarreta no aumento da área espectral. Essas ondas devem estar na faixa de 28 a 38 GHz, o que permite a transmissão de bandas maiores do que as usadas no 4G.
- ★ Melhoria nas tecnologias GSM, HSPA+ e LTE no quesito desempenho, fornecendo assim diversidade em RATs (Acesso de Tecnologia por Rádio).
- ★ Priorizar o acesso tanto em tráfego quanto em camadas, devido as diferenças na necessidade dos usuários, garantindo sua proteção.
- ★ Criação de mecanismos para melhorar a eficiência em termos de energia e prolongar a vida útil das baterias.

## 5.4 Arquitetura da rede 5G

Como citado anteriormente, a rede 5G é versátil e dinâmica, e deve se adequar as necessidades dos usuários em qualquer local e a qualquer hora. A capacidade de atualização tendo como base o CR, faz com que os dispositivos móveis transmitam informações relacionadas ao ambiente, como temperatura, por exemplo. Para fazer a adaptação, os espectros utilizados pelos dispositivos circundantes realizam uma mudança de frequência, ajuste de potência de saída e altera os parâmetros de transmissão.

A arquitetura no plano IP contará com maior eficiência, pois diminuirá a carga no ponto de agregação do tráfego e passará diretamente das BSs para os *gateways* de mídia. Assim, todos os operadores de rede terão o poder de se conectar a um único super núcleo de alta capacidade, diferente das telecomunicações existentes - que possuem uma hierarquia de tráfego, enviando as informações para o ponto de agregação (BSC/RNC) e então direciona-as para os *gateways*. O conceito de super núcleo é capaz de reduzir a latência e excluir tarifas cobradas, além de outros problemas enfrentados pelas operadoras hoje em dia (MENDES, 2013).

A nova tecnologia também conta com um direcionamento para a nanotecnologia: a Tecnologia Paralela Multimodo (PMM), a computação em nuvem, o CR e uma plataforma de IP, essa junção é chamada de núcleo mestre. O núcleo mestre é responsável pelo gerenciamento das funções de diversas tecnologias que o sistema engloba. Como se trata de uma tecnologia que se auto adapta as condições e está sob constante mudança, ela deve satisfazer a um determinado conjunto de exigências com o intuito de sempre oferecer o melhor serviço aos seus usuários.

Com o objetivo de facilitar a interação dos usuários e seus dispositivos, a 5G propõe não só altas taxas de transferência e sincronização em tempo real como também

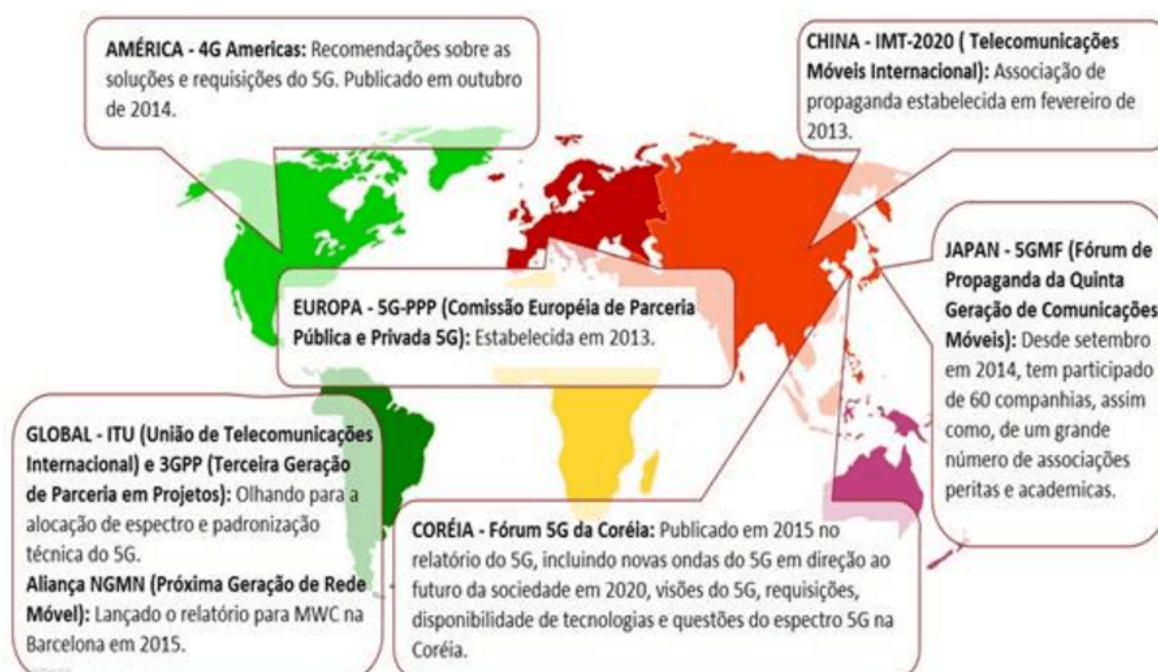
os seguintes serviços: interoperabilidade entre as operadoras, menor consumo de bateria, melhor cobertura, maior segurança e menores tarifas (MENDES, 2013).

## 5.5 Novidades na 5G

Muitas empresas de vários lugares do mundo estão investindo na tecnologia 5G. Para manter todos os envolvidos alinhados no desenvolvimento da nova tecnologia de rede móvel, deve-se seguir como mapa as requisições do *Next Generation Mobile Networks* (NGMN) (DIAS, 2016).

A Figura 5.8 à seguir mostra como caminha o desenvolvimento da padronização da nova tecnologia mundialmente.

Figura 5.8 – Pré-padronizações do 5G no mundo



Fonte: GSMA *apud* DIAS, 2016

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina3.asp>

A 5G ainda conta com um cronograma com datas e eventos específicos, mostrados na Figura 5.9:

Figura 5.9 – Padronização do 5G no mundo



Fonte: GSMA *apud* DIAS, 2016

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina3.asp>

“Em julho de 2016, foi anunciada pela 5G Americas – associa-

ção setorial e voz da 5G e LTE para as Américas, uma atualização do progresso do 5G. Publicou-se um relatório que contém informações como a visão geral das várias entidades setoriais, acadêmicas, privadas e públicas que trabalham nos requisitos necessários para o desenvolvimento da 5G. Ainda, a Comissão Federal de Comunicações (FCC) dos EUA propôs a liberação de espectros de frequências mais altas para redes e aplicativos 5G, proposta sujeita a votação. Essa liberação tornaria os EUA o primeiro país do mundo a oferecer espectro de frequências mais altas para o setor das redes móveis sem fio<sup>7</sup>”.

Até agora, o maior desafio agregado ao uso do 5G é o baixo alcance de sinal. “A Samsung em 2014 obteve velocidades de 7,5 Gbps em pontos fixos e uma taxa de 1,2 Gbps no interior de um veículo a 100 km/h. Desde então, a empresa vem trabalhando para minimizar a perda de sinal. Recentemente, foram apresentados alguns testes onde se observou significativa melhoria de sinal modificando a forma de como a estrutura trabalha com a emissão. No teste, ao invés da transmissão ser feita em ondas, ela foi feita emitindo feixes diretamente para os dispositivos. Como resultado, houve aumento significativo do alcance, sendo possível obter uma taxa constante de *downloads* ao se movimentar com velocidade de 25 km/h. Os especialistas explicam que ao se afastar de uma antena, o dispositivo era rapidamente conectado a outra, mantendo a qualidade da conexão mesmo durante a troca, diminuindo assim a perda do sinal<sup>8</sup>”.

<sup>7</sup> Disponível em: <http://www.segs.com.br/info-ti/23781-organizacoes-globais-constroem-nova-fronteira-de-5g.html>

<sup>8</sup> Disponível em: [canaltech.com.br/noticia/telecom/samsung-faz-avanco-significativo-na-transmissao-5g-71587/](http://canaltech.com.br/noticia/telecom/samsung-faz-avanco-significativo-na-transmissao-5g-71587/)

“Esse ano, foi apresentado no “5G World 2016” pela *Ericsson e King’s College* de Londres o “*Remote Control and Intervention*”. Essa implementação do 5G na área médica mostra uma sonda com formato de um dedo que auxilia o médico cirurgião num procedimento cirúrgico. Ela envia dados em tempo real sobre a localização de nódulos, podendo identificar tecidos cancerígenos, por exemplo. Nesse evento, pôde-se avaliar a latência 5G controlando os movimentos da sonda através de uma luva com características táteis. Esse feito se tornou possível graças ao uso de uma rede definida por *software* implementando uma rede de múltiplas configurações ponta-a-ponta<sup>9</sup>”.

A expectativa em torno do 5G é grande. Com diversas aplicações nas mais diversas áreas, ela promete popularizar o conceito de “*internet das coisas*”.

A tabela a seguir mostra um comparativo das tecnologias até a 5G com o intuito de apresentar um panorama geral da grande evolução que teve a telefonia móvel desde o seu surgimento.

Tabela 5.2 – Comparativo do 1G ao 5G

GERAÇÃO	REQUISIÇÃO	COMENTÁRIOS
1G	Requisições não oficiais; Tecnologia Analógica.	Desenvolvido em 1980.
2G	Requisições não oficiais; Tecnologia Digital.	Primeiros sistemas digitais; Desenvolvido em 1990; Novos serviços como SMS e baixa taxa de dados; Primeiras tecnologias incluindo IS-95, CDMA e GSM.
3G	O IMT-2000 da ITU requereu 144 Kbps para aparelhos móveis, 384Kbps para pedestres e 2 Mbps para ambientes <i>indoor</i> .	Primeiro desenvolvimento em 2000; As primeiras tecnologias incluem CDMA-2000 1X/EV-DO e UMTS - HSPA; WIMAX.
4G	As requisições IMT-Advanced da ITU, incluem a habilidade de operar em cima dos canais de rádio de 40MHz e com muita eficiência espectral. Sistemas que significativamente excederam a performance das redes 3G iniciais. Sem requisições quantitativas.	Primeiro desenvolvimento em 2010; Requisições pela IEEE 802.16m e LTE-Advanced  As redes HSPA+, LTE e WIMAX de hoje, encontram-se nessas requisições.
5G	As requisições IMT-Advanced da ITU, estão em progresso e podem representar requisições técnicas iniciais para o 5G.	Esperado no prazo de 2020; Termo aplicado para geração de tecnologia que segue o LTE-Advanced.

Fonte: 4G AMERICAS *apud* DIAS, 2016 - Adaptada pela autora

Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina4.asp>

<sup>9</sup> Disponível em: <http://www.bitmag.com.br/2016/07/ericsson-testa-cirurgia-robotica-tatil-com-5g/>

## 6 Conclusão: Considerações Finais e Trabalhos Futuros

---

A evolução tecnológica marcou a história das telecomunicações. A rede de telefonia móvel, desde o seu surgimento, vem passando por constantes transformações. Houve melhorias como a miniaturização dos componentes, tornando os aparelhos menos espessos e mais leves, bem como um aumento na capacidade de processamento e surgimento das mais variadas funcionalidades. Concomitantemente, as redes que os conectam contam com maior capacidade de voz e maior velocidade na transmissão de dados.

O presente trabalho apresentou as 5 gerações de redes sem fio, suas características e evolução ao longo dos anos. O sinal analógico se transformou em sinal digital, os telefones fixos cederam espaço aos dispositivos móveis que, com sua grande capacidade de armazenamento e número de funcionalidades vem proporcionando aos seus usuários uma conexão sem fio de alta qualidade, possibilitando-os novas formas de interação e acesso rápido a diversos serviços *online*. Essa gama de funcionalidades abre espaço para futuramente ser feita uma análise da interação dos usuários, bem como suas relações sociais, familiares, afetivas e profissionais, salientando a atual dependência que hoje existe entre os usuários e seus celulares, mostrando quais os impactos causados nessas relações.

Fazendo um comparativo dos sistemas digitais percebeu-se que a 3G tem maior usabilidade, pois oferece serviços de dados por pacotes e maior taxa de transmissão se comparada ao 2G. A 4G possui melhor desempenho se comparada ao 3G, mas ainda não foi plenamente distribuída e mesmo sem explorar a 4G por completo, já se ouve falar na 5G. A 5G não tem como propósito ser uma nova tecnologia, e sim agregar as qualidades da Terceira e Quarta gerações. Oferecerá melhorias a nível de *hardware*, o que permitirá serviços ininterruptos, mantendo a qualidade da conexão e prometendo revolucionar a “internet das coisas”.

Vale ressaltar que tudo dito à respeito da tecnologia de Quinta Geração não passa de especulação, tendo como base os estudos e testes que vêm sendo desenvolvidos. Especula-se

ainda, que serão grandes as dificuldades para o desenvolvimento dos sistemas de telecomunicação sem fio para a sociedade do futuro, desde as limitações físicas e técnicas, até restrições econômicas e governamentais. Se de fato esse projeto da 5G se concretizar, será um grande avanço da Rede de Comunicação de Telefonia Móvel.

## Referências

---

- ALENCAR, M. S. de. **Telefonia Celular Digital**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2013.
- ALMEIDA, M. A. F. R. de. Introdução ao lte – long term evolution. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Novembro 2013.
- ALONSO, F. L. Tecnologia 3g: uma junção de todas as mídias. Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora, Minas Gerais, Maio 2009.
- BRANDÃO LIDIA CERQUEIRA, M. M. P. C. V. S. F.; LOPES, V. A revolução das comunicações móveis: Evolução dos serviços nas redes móveis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- CARDOSO, M. A. C. Tecnologias 3g: uma visão prática. Instituto de Informática Curso de especialização em tecnologias, gerência e segurança de redes de computadores, Dezembro 2008.
- CARRIEL, V. S. Evolução do lte até o padrão 4g de 1 gbits/s. Departamento de Teste e Medição, Rohde e Schwarz - SP, São Paulo, Outubro 2013.
- COBERTURA 3G. In: . [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/3g-cobertura.asp>>. Acesso em: 22 de jun 2016.
- COBERTURA 4G. In: . [s.n.], 2012. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/4g-tecnologia.asp>>. Acesso em: 01 de jul 2016.
- CORDEIRO, G. R. 4g, quarta geração de telefonia móvel. Universidade Federal do Paraná, 2012.
- CORNÉLIO, J. B. M. Inovações tecnológicas no setor de telecomunicações no brasil: Desafios e oportunidades do lte para a expansão da telefonia móvel. 2011.
- DIAS, P. H. S. Redes 5g ii: A nova geração da rede celular. In: \_\_\_\_\_. [s.n.], 2016. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredes5g2/pagina_2.asp)>. Acesso em: 08 de jul 2016.
- FERNANDES, J. C. L. Tecnologias de rede: aplicabilidade e tendências mercadológicas para redes sem fio e a utilização do 3g, wimax e lte. Faculdade de Tecnologia de São Caetano do Sul, São Paulo, Junho 2010.



- GUEDES, L. C. dos S.; VASCONCELOS, R. R. de. Umts, hspa e lte. In: \_\_\_\_\_. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/grad/09\\_1/versao-final/umts/umts.html](http://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/umts/umts.html)>. Acesso em: 21 jun 2016.
- GUEDES, L. G. de R.; PEREIRA, M. M. Evolução da tecnologia móvel até 2013. Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília, Janeiro 2004.
- GUTIERREZ, R. M. V.; CROSSETTI, P. de A. A indústria de teleequipamentos no brasil: evolução recente e perspectivas. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, Setembro 2003.
- IGLESIAS, F. dos S. C. Análise da viabilidade de indicadores e infraestrutura e confiabilidade de redes móveis 4g. Universidade de Brasília, Dezembro 2014.
- JUNIOR, C. P. N. A evolução recente do setor de telefonia móvel: oportunidades e restrições para o desenvolvimento endógeno brasileiro. Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara, São Paulo, Dezembro 2013.
- LIMA, L. C. T. D. P. P.; DANTAS, S. Quinta geração das redes móveis. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Dezembro 2014.
- LIMA MATHEUS IWAO OSHIKIRI, E. A. K. D. P. P.; JOÃO, B. do N. Reflexões acerca da evolução das redes de telecomunicações móveis e seus impactos nos consumidores. Pontifícia Universidade Católica - São Paulo, São Paulo, Outubro 2008.
- MENDES, J. R. R. 5g: A quinta geração. Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, Portugal, 2013.
- NETO, F. L. I. C.; STRAUBHAAR, J. D. Informação 4g: os desafios que as tecnologias móveis colocam no campo da informação. Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade, Universidade do Minho, Dezembro 2013.
- NIKOLOFSKI, D. R. F. A quarta geração das redes sem fio: benefícios e evolução. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Departamento de Informática, Curitiba, 2011.
- O que é o 5G e como ele vai mudar sua vida. In: . [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/o-que-e-o-5g-e-como-ele-vai-mudar-a-sua-vida>>. Acesso em: 07 de jul 2016.
- OLIVEIRA, T. R. B. Origem e utilização da tecnologia 3g. Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Tecnologia, São Paulo, Dezembro 2011.
- PAULA, M. A. B. Alisson Stadler de; ABE, T. Segurança em redes móveis. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Fevereiro 2013.
- PDC. In: . [s.n.], 2013. Disponível em: <<http://www.gta.ufrj.br/~flavio/commovel/PDCJp.htm>>. Acesso em: 20 maio 2016.
- PIROTTI, R. P.; ZUCCOLOTTO, M. Transmissão de dados através de telefonia celular: arquitetura das redes gsm e gprs. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Junho 2009.
- PREÇO da internet 4G cai, mas conexão e cobertura são falhas. In: . [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/tec/2015/04/1622998-preco-da-internet-4g-cai-mas-conexao-e-cobertura-sao-falhas.shtml>>. Acesso em: 01 de jul 2016.

- REDES 3G e Evolução para as Redes 4G. In: . [s.n.]. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialev4g/default.asp>>. Acesso em: 20 maio 2016.
- RIBEIRO, J. C. R. L. F. J. L.; PEDROZA, A. de C. P. Análise dos processos de segurança em sistemas móveis de 3ª geração. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dezembro 2005.
- RODRIGUES, D. b. F. Danusa dos S.; AZEVEDO, J. P. de A. Telefonia móvel: Evolução e dependência. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes - Rio de Janeiro, 2015.
- SANTOS, R. D. L. Redes gsm, gprs, edge e umts. In: \_\_\_\_\_. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos\\_vf\\_2008\\_2/ricardo/2\\_1.html](http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/2_1.html)>. Acesso em: 18 jun 2016.
- SENA, F. R. Evolução da tecnologia móvel celular e o impacto nos resíduos de eletroeletrônicos. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Novembro 2012.
- SILVA, R. P.; JUNIOR, E. C. Origem e utilização da tecnologia 3g. Faculdade Integradas Antônio Eufrásio de Toledo, Dezembro 2007.
- SISTEMAS Wireless. In: . Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgon0AH/sistemas-wireless>>.
- SOARES, B. T. Álvares; SILVA, A. P. da. Comparações entre as tecnologias wifi e wimax: Um breve estudo exploratório. Universidade Presbiteriana Mackenzie, Abril 2008.
- STÜBER, G. L. **Principles of mobile communication**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2011.
- TAKEDA, L. N. Evolução da tecnologia móvel até 2013. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Dezembro 2013.
- TELECO. In: . [s.n.], 2016. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgerswap1/pagina\\_4.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialgerswap1/pagina_4.asp)>. Acesso em: 15 maio 2016.
- TUTORIAIS Telefonia Celular: 1G e 2G. In: . [s.n.], 2015. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialbandcel/pagina\\_3.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialbandcel/pagina_3.asp)>. Acesso em: 18 de maio 2016.
- TUTORIAIS Telefonia Celular: Operadoras de celular no Brasil. In: . [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/opcelular.asp>>. Acesso em: 15 de jun 2016.