



João Pedro da Silva
Valente Dias

Gestão de Desempenho numa Rede Celular



**João Pedro da Silva
Valente Dias**

Gestão de Desempenho numa Rede Celular

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações (Mestrado Integrado), realizada sob a orientação científica do Professor Dr. Aníbal Manuel de Oliveira Duarte do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

O Júri

Presidente

Professor Doutor José Carlos da Silva Neves
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Vogal – Arguente externo

Professora Doutorada Ana Cristina Costa Aguiar
Professora Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Vogal - Orientador

Professor Doutor Aníbal Manuel de Oliveira Duarte
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Deixo aqui o meu agradecimento ao professor Manuel de Oliveira Duarte pelo apoio, disponibilidade e orientação ao longo da concretização deste trabalho.

Quero, também, agradecer à minha família, principalmente aos meus pais e namorada, pelo carinho, paciência e amor que sempre me deram.

Por último, quero agradecer todo o apoio que me foi dado pelo Engenheiro Paulo Jesus e alguns colaboradores do meu trabalho.

palavras-chave

Evolução, Redes de Nova Geração, UMTS, Arquitetura, Características, Serviços, Planeamento, Otimização, KPIs, Monitorização.

resumo

A realização desta dissertação tem como principal objetivo a análise de indicadores chave de desempenho numa rede celular de terceira geração - *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)*, bem como a aplicação de técnicas matemáticas de previsão como apoio ao respetivo planeamento e otimização.

Para o efeito, foi inicialmente efetuado um estudo sobre a evolução das comunicações de uma forma generalista, até às redes de nova geração, abordando individualmente, as de voz, as de dados e as comunicações móveis, assim como, uma breve descrição das organizações envolvidas nestas mudanças.

No seguimento do estudo inicial, dando enfoque à tecnologia UMTS, foram expostas as suas características, a sua estrutura e arquitetura. Foram ainda elaboradas, duas comparações, com base em diferentes parâmetros, uma com a tecnologia da geração anterior e outra, com a de última geração.

Com base nos conhecimentos adquiridos em diferentes pesquisas, foram estudados, os indicadores chave de desempenho (KPIs), as técnicas de planeamento e otimização, apresentando propostas de prevenção e soluções para problemas existentes na rede.

keywords

Evolution, Next Generation Networks, UMTS, Architecture, Characteristics, Services, Planning, Optimization, KPIs, Monitoring.

abstract

This dissertation aims to analyze key performance indicators in a third generation cellular network - Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), as well as the application of mathematical forecasting techniques to support their planning and optimization.

Towards this aim, a study was initially performed, in a general overview, regarding the development of communications until the newest network, addressing individually, voice, data and mobile communications, as well as a brief description of the organizations involved in those changes.

Following that study and focusing on UMTS technology, its main characteristics, structure and architecture were exposed, ending the evaluation with two comparisons, based on different parameters, one with the previous generation technology and the another with the latest generation.

Based on the knowledge acquired in various researches, key performance indicators (KPIs), technical planning and optimization have been studied, while presenting proposals to prevent unwanted situations and displaying solutions to existing problems in the network.

Índice

Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas.....	xi
Lista de Siglas e Acrónimos.....	xii
1. Introdução.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Metodologia.....	2
1.4 Estrutura do Trabalho	2
2. As Comunicações	4
2.1 Evolução das Comunicações	4
2.2 Comunicações de voz	5
2.3 Comunicações de dados.....	8
2.4 Comunicações móveis	11
2.5 Organizações	15
2.6 RNG – Redes de Nova Geração	18
3. UMTS.....	20
3.1 Características.....	20
3.1.1 Padronização.....	21
3.1.2 Técnicas de acesso múltiplo	22
3.1.3 Frequências e modos de transmissão	28
3.2 Estrutura e Arquitetura	33
3.2.1 <i>Circuit-Switched</i>	35
3.2.2 <i>Packet-Switched</i>	38
3.3 Retrospectiva e prospetiva.....	44
3.3.1 GSM vs UMTS.....	45
3.3.2 UMTS vs LTE	47
4. Aspectos de Planeamento de redes UMTS.....	49
4.1 O Ciclo de Planeamento	49
4.2 O Ciclo de Otimização.....	51
4.3 Indicadores chave de desempenho (KPIs).....	52
4.4 Previsão, Modelos Matemáticos e Tendências	54
4.5 Estudo de caso: Success Ratio	63
5. Considerações Finais	69

5.1 Conclusões.....	69
5.2 Trabalho futuro	70
Referências	71
APÊNDICE A: IMS – <i>Ip Multimedia Subsystem</i>	75
APÊNDICE B: Características, Funcionalidades e Objetivos do IMS	76
APÊNDICE C: Estrutura / Arquitetura IMS	79
APÊNDICE D: Protocolos IMS.....	84
APÊNDICE E: Serviços e Aplicações do IMS	85
APÊNDICE F: Migração	87
APÊNDICE G: Impacto	88
APÊNDICE H: Operadores.....	90
APÊNDICE I: Visão do mercado.....	91
APÊNDICE J: <i>Operations Support Systems (OSS)</i>	93
APÊNDICE K: KPIs Nokia	95
APÊNDICE L: KPIs 3GPP	98
APÊNDICE M: KPIs Ericsson.....	99

Índice de Figuras

Figura 1 - Metodologia.....	2
Figura 2 - Princípio do telefone [1].....	6
Figura 3 - Mesa de operação [2].....	6
Figura 4 - Primeira linha telefónica entre Lisboa e Madrid [1].....	7
Figura 5 - Modelo OSI.....	9
Figura 6 - Modelo TCP/IP.....	11
Figura 7 - Gerações de comunicações móveis.....	12
Figura 8 - Evolução das tecnologias [10].....	14
Figura 9 - Setores de funcionamento da ISO [11].....	16
Figura 10 - Logótipo das organizações [11][12][13][14].....	16
Figura 11 - Convergência nas redes de nova geração [27].....	19
Figura 12 - Mapa-mundo com os diferentes padrões [29][30].....	22
Figura 13 - Recursos existentes nas técnicas de acesso [31].....	23
Figura 14 - Esquema do FDMA [31].....	23
Figura 15 - Esquema do TDMA [31].....	24
Figura 16 - Esquema do GSM (TDMA com “saltos de frequência”) [31].....	24
Figura 17 - Esquema do CDMA [31].....	25
Figura 18 - Processo de transmissão e de receção no UMTS [30].....	26
Figura 19 - Esquema do FDD e TDD [59].....	28
Figura 20 - Canais de FDD e TDD [60].....	30
Figura 21 - Frequências atribuídas aos diversos equipamentos [30].....	30
Figura 22 - Faixas de frequências GSM (900 e 1800 MHz) [30].....	31
Figura 23 - Faixas de frequência UMTS [30].....	31
Figura 24 - Frequências de DL e UP por operador [29][30].....	32
Figura 25 - Interfaces na rede core GERAN [30].....	34
Figura 26 - Interfaces na rede core UTRAN [30].....	34
Figura 27 - Chamada de voz (<i>circuit-switched</i>) - Part I [37][38][39][40][41].....	36
Figura 28 - Chamada de voz (<i>circuit-switched</i>) - Part II [37][38][39][40][41].....	37
Figura 29 - Esquema da troca de mensagens no <i>packet switched</i> entre os elementos de rede [41][42][43][44][45][46].....	38
Figura 30 - Fluxograma da troca de mensagens [41][42][43][44][45][46].....	39
Figura 31 - Elementos de rede e a troca de mensagens [41][42][43][44][45][46].....	40

Figura 32 - Mensagens trocadas entre os elementos de rede [41][42][43][44][45][46].....	40
Figura 33 - Elementos de rede e interfaces da arquitetura UMTS [30].....	41
Figura 34 - Esquema de acesso no LTE [33]	48
Figura 35- O ciclo de planeamento [50].....	50
Figura 36 – O ciclo de otimização [52].....	51
Figura 37 – Definição de KPI [55].....	52
Figura 38 - Estratégia e forma de recolha de dados [54].....	53
Figura 39 - Exemplo gráfico para análise	56
Figura 40 - Diagrama de blocos de um filtro FIR de ordem N	57
Figura 41 - Diagrama de blocos de um filtro IIR de ordem p	58
Figura 42 - Diagrama de blocos de um filtro FIR de ordem q	58
Figura 43 - Diagrama de blocos de um filtro FIR/IIR, modelo ARMA (p,q).....	59
Figura 44 – Diagrama de construção de uma previsão	60
Figura 45 – Acessibilidade do <i>Success Ratio</i> (PS e CS) entre os elementos de rede.....	64
Figura 46 – Elemento de rede em análise da acessibilidade do <i>Success Ratio</i> (PS e CS).....	66
Figura 47 - <i>Voice Call Setup Success Ratio</i> (CSSR).....	67
Figura 48 - <i>Packet Service Setup Success Ratio</i> (CSSR)	68
Figura 49 - Convergência IMS [17]	75
Figura 50 - Convergência das redes para o IMS [16].....	78
Figura 51 - Diferentes camadas do IMS [15].....	79
Figura 52 - Arquitectura IMS [16]	80
Figura 53 - Resumo arquitetura IMS [16].....	83

Índice de Tabelas

Tabela 1- Resumo das diversas tecnologias [7]	15
Tabela 2 - Comparação dos diferentes tipos de acesso [31].....	27
Tabela 3 - Características do FDD e TDD [59]	29
Tabela 4 - Faixas de frequências por país [30].....	32
Tabela 5 - Modelo <i>Holt-Winters</i> Aditivo e Multiplicativo.....	61
Tabela 6 – Fórmula e detalhes do KPI <i>Voice Call Setup Success Ratio</i> [66].....	64
Tabela 7 – Fórmula e detalhes do KPI <i>Packet Service Setup Success Ratio</i> [66]	65
Tabela 8 – Fórmulas lógicas Nokia [66]	97
Tabela 9 – Fórmulas lógicas 3GPP [67][68]	98
Tabela 10 – Fórmulas lógicas Ericsson [69]	100

Lista de Siglas e Acrónimos

3GPP	- 3rd Generation Partnership Project
3GPP2	- 3G Partnership Project 2
AAA	- Authentication, Authorization e Accounting
ACK	- Acknowledge
ADSL	- Asymmetric Digital Subscriber Line
AIEE	- American Institute of Electrical Engineers
ALG	- Application Layer Gateway
AMPS	- Advanced Mobile Phone System
ANSI	- American National Standards Institute
APAC	- Ásia Pacífico
API	- Application Programming Interface
AR	- Auto-Regressive
ARMA	- Auto-Regressive Moving Average Models
ARPANET	- Advanced Research Projects Agency Network
AS	- Application Server
ATM	- Asynchronous Transfer Mode
AuC	- Authentication Center
BOSS	- Business Operations Support Systems
BSC	- Base Station Controller
BTS	- Base Transceiver Stations
CATT	- China Academy of Telecommunications Technology
CDMA	- Code Division Multiplexing Access
CN	- Core Network
COPS	- Common Open Policy Service
CPA	- Central de Programa Armazenado
CS	- Circuit Switched
CS CN	- Circuit-Switched Core Network
CSCF	- Call Session Control Function
CSSR	- Call Setup Success Ratio
DL	- Downlink
DVB	- Digital Video Broadcasting
EDGE	- Enhanced Data for GSM Evolution

EIR	- Equipment Identify Register
EMEA	- Europa, Médio Oriente e África
EPC	- Evolved Packet Core
ETSI	- European Telecommunications Standards Institute
E-UTRAN	- Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network
FDD	- Frequency Division Duplexing
FDMA	- Frequency Division Multiple Access
FTTH	- Fiber-to-the-Home
G	- Geração
GERAN	- GSM EDGE, RAN
GGSN	- Gateway GPRS Support Node
GPRS	- General Packet Radio Service
GSA	- Global mobile Suppliers Association
GSM	- Global System for Mobile Communications
gsmSCF	- GSM Service Switching Function
HDTV	- High-Definition television
HLR	- Home Location Register
HSDPA	- High-Speed Downlink Packet Access
HSPA	- High Speed Packet Access
HSS	- Home Subscriber Server
HTTP	- Hypertext Transfer Protocol
I-CSCF	- Interrogation Call Session Control Function
iDEN	- Integrated Digital Enhanced Network
IEEE	- Institute of Electrical and Electronics Engineering
IETF	- Internet Engineering Task Force
IIR	- Infinite Response Filter
IMS	- Ip Multimedia Subsystem
IM-SSF	- IP Multimedia Service Switching Function
IMT-2000	- International Mobile Telecommunications-2000
IMT-Advance	- International Mobile Telecommunications-Advanced
IP	- Internet Protocol
IPSEC	- IP Security
IPTV	- Television over IP
IRE	- Institute of Radio Engineers
ISO	- International Organization for Standardization

ITU	- International Telecommunication Union
ITU-R	- International Telecommunication Union Radiocommunications Sector
ITU-T	- International Telecommunication Union Telecommunications Sector
KPI	- Key Performance Indicator (Indicadores chave de desempenho)
LANs	- Local Area Network
LTE	- Long Term Evolution
MA	- Moving Average Models
MC-CDMA	- Multicarrier - Code Division Multiple Access
MEGACO	- Media Gateway Control
MGC	- Media Gateway Controller
MGCF	- Media Gateway Control Function
MGW	- Media Gateway
MIMO	- Multiple-Input-Multiple-Output
MMS	- Multimedia Messaging Service
MODEM	- Modulador e Desmodulador
MRF	- Multimedia Resource Function
MRFC	- Media Resource Function Controller
MRFP	- Media Resource Function Processor
MS	- Mobile Station
MSC	- Mobile Services Switching Center
NAT	- Network Address Translator
NGN	- Next Generation Networks
NMT	- Nordic Mobile Telephone
NRT	- Non Real Time
OFDM	- Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
ONU	- Organização das Nações Unidas
OSA-SCS	- Open Service Access - Service Capability Server
OSI	- Open System Interconnection
PC	- Personal Computer
PCM	- Pulse Code Modulation
P-CSCF	- Proxy Call Session Control Function
PDA	- Personal Digital Assistant
PDC	- Personal Digital Cellular
PDP	- Packet Data Protocol
PHS	- Personal Handyphon System

PLMN	- Public Land Mobile Network
PoC	- Push to Talk over Cellular
PRACH	- Physical Random Access Channel
PS	- Packet Switched
PS CN	- Packet-Switched Core Network
PSTN	- Public Switched Telephone Network
QAM	- Quadrature Amplitude Modulation
QOS	- Quality of Service
QPSK	- Quadrature Phase Shift Keying
RADIUS	- Remote Authentication Dial In User Service
RAN	- Radio Access Network
RF	- Radio Frequency
RFC	- Request for Comments
RNC	- Radio Network Controller
RNG	- Redes de Nova Geração
RRM	-Radio Resource Management
RSCP	- Received Signal Code Power
RT	- Real Time
RTCP	- Real-time Transport Control Protocol
RTMS	- Radio Telephone Mobile Systems
RTP	- Real-time Transport Protocol
RTT	- Radio Transmission Technology
SAE	- System Architecture Evolution
SC-FDMA	- Single Carrier – Frequency Division Multiple Access
S-CSCF	- Serving Call Session Control Function
SDMA	- Space-Division Multiple Access
SDP	- Session Description Protocol
SGSN	- Serving GPRS Support Node
SGW	- Signaling Gateway
SIGTRAN	- Signaling Transport
SIP	- Session Initiation Protocol
SIP AS	- Session Initiation Protocol Application Server
SLA	- Service-Level Agreement
SLF	- Subscriber Location Function
SMS	- Short Message Service

TACS	- Total Access Communications System
TCP	- Transmission Control Protocol
TCP/IP	- Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TDD	- Time Division Duplexing
TDM	- Time Division Multiplexing
TDMA	- Time Division Multiplexing
TD-SCDMA	- Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access
TIC	- Tecnologias de Informação e Comunicação
TISPAN	- Telecoms & Internet Converged Services & Protocols for Advanced Network
TrGW	- Transition Gateway
UA	- User Agent
UDP	- User Datagram Protocol
UE	- User Equipment
UL	- Uplink
Um	- User Mobile
UMB	- Ultra Mobile Broadband
UMTS	- Universal Mobile Telecommunication System
UTRAN	- UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	- Visitor Location Register
VoIP	- Voice over Internet Protocol
VPN	- Virtual Private Network
WAP	- Wireless Application Protocol
W-CDMA	- Wideband - Code Division Multiple Access
WiFi	- Wireless Fidelity
WiMax	- Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	- Wireless Local Area Network

1. Introdução

1.1 Motivação

Os serviços de comunicações são parte integrante dos hábitos de vida das populações e das organizações em geral. Podem-se enumerar os serviços mais relevantes e com maior impacto tais como: o telefone, a Internet, a televisão e a radiodifusão (ou simplesmente rádio). A maior ou menor utilização destes serviços pode servir como indicador sobre o estado de desenvolvimento das populações e, conseqüentemente, o nível de vida associado às mesmas.

Ao longo dos últimos anos tem-se assistido a uma revolução dos sistemas de informação. Pode denotar-se que, tanto as pessoas como as organizações, desde empresas privadas a entidades de administração pública recorrem, de forma crescente, às Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) incorporando-as, assim, no seu quotidiano (quer na vida pessoal, quer na vida profissional), dando-lhes um carácter imprescindível para o desenvolvimento das sociedades modernas.

Devido ao constante desenvolvimento das tecnologias celulares e dos seus serviços posso constatar a necessidade de aprofundar os meus conhecimentos nesta área.

Assim sendo, esta dissertação apresenta o *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) e as suas técnicas de planeamento e otimização da rede como principal foco tendo em conta que é um sistema implementado com sucesso e que está bem inserido no mercado. De salientar, ainda, que esta dissertação ostenta a análise de alguns indicadores chave de desempenho de determinados elementos de rede, de forma a prever e minimizar o impacto causado na rede.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal contribuir para uma melhor compreensão acerca dos indicadores chave de desempenho de redes celulares. Mais especificamente, tomando como referência a tecnologia de terceira geração (3G) - UMTS, procuram-se identificar os principais elementos de rede, os processos envolvidos no seu funcionamento e alguns dos indicadores de desempenho com significado mais relevante.

Compreender os ciclos de planeamento e de otimização das redes são, ainda, objetivos deste trabalho.

Com esta dissertação pretende-se ainda, recorrer a técnicas matemáticas de previsão para apoiar os mecanismos de gestão das redes.

1.3 Metodologia

A metodologia utilizada nesta dissertação está ilustrada na seguinte figura:

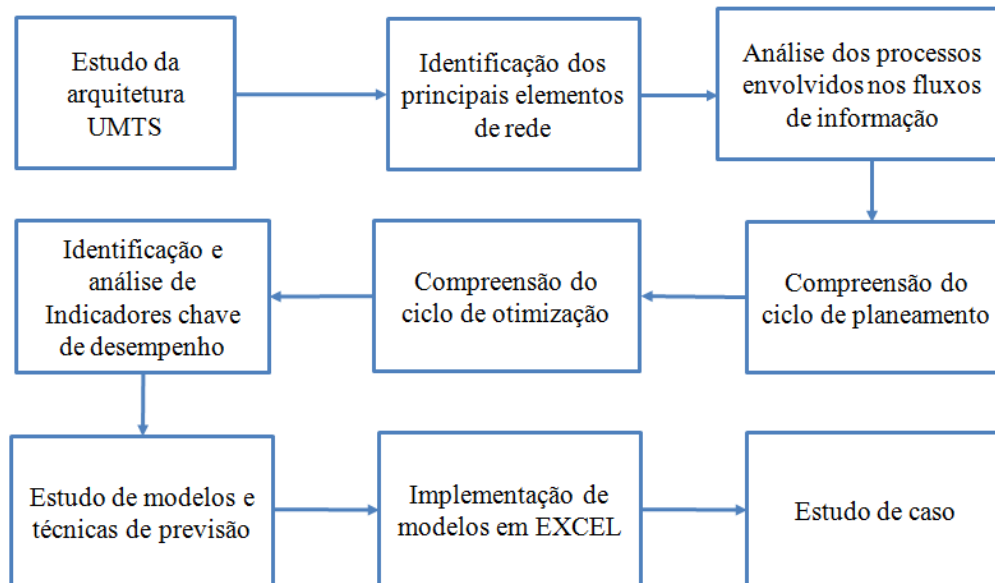


Figura 1 - Metodologia

1.4 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação é constituída por 5 capítulos, referências bibliográficas e apêndices, cuja estrutura é apresentada da seguinte forma:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Neste capítulo é apresentado o enquadramento desta dissertação, objetivos a atingir e metodologia utilizada;
- **Capítulo 2 – As Comunicações:** Esta fase apresenta um panorama geral sobre o percurso evolutivo das comunicações e organizações de normalização envolvidas;
- **Capítulo 3 – UMTS:** Foca as características do UMTS, bem como, a sua estrutura e arquitetura. Este capítulo contém, ainda, uma retrospectiva e prospetiva das tecnologias existentes;
- **Capítulo 4 – Aspetos de Planeamento de redes UMTS:** No desenvolvimento deste capítulo são abordados os seguintes tópicos: o ciclo de planeamento, o ciclo de otimização, indicadores chave de desempenho (do inglês, *Key Performance Indicator* - KPIs) e modelos matemáticos de previsão. Alguns destes modelos matemáticos serão usados no caso de estudo: análise de séries temporais do indicador *success ratio* e estimativa de sua previsão num determinado período de tempo futuro.

- **Capítulo 5 – Considerações Finais:** Apresentam-se algumas conclusões gerais resultantes do trabalho desenvolvido e as perspectivas para um trabalho futuro;
- **Referências bibliográficas;**
- **Apêndices de A a J:** São referentes ao *Ip Multimedia Subsystem* (IMS) onde são focadas as suas características, funcionalidades e objetivos. Destaca-se, ainda, a sua estrutura e arquitetura, bem como, os seus protocolos, serviços e aplicações. Para finalizar esta lista de apêndices são, ainda, focados os seguintes tópicos alusivos ao IMS: migração, impacto, operadores, visão de mercado e operações;
- **Apêndices de K a M:** Estes apêndices são alusivos a alguns KPIs de duas operadoras (Nokia e Ericsson) e de uma organização (*3rd Generation Partnership Project - 3GPP*).

2. As Comunicações

Este capítulo apresenta a evolução das comunicações, fazendo-se referência aos principais “marcos” da sua história. Assim sendo, focar-se-á os principais aspetos que levaram ao desenvolvimento das redes de comunicação – também conhecidas como Redes de Nova Geração (RNG) - e o seu futuro. Serão, ainda, descritas as tecnologias e os pontos mais importantes do desenvolvimento das redes de telecomunicações e organizações envolvidas.

2.1 Evolução das Comunicações

Desde de muito cedo que o homem utilizou diversas formas para comunicar. Ao longo de muitos anos as pinturas rupestres foram a forma de comunicação entre os homens, onde eram retratadas as suas caçadas, conquistas e histórias. É de salientar, que os sinais de fumo efetuados com fogueiras e os sons que reproduziam com os tambores e sinos foram, ao longo de muito tempo, os meios de comunicação utilizados.

A eletricidade revelou-se como um marco importante na história do homem tal como na evolução das telecomunicações. Assim sendo, a chegada da eletricidade, permitiu a Samuel Morse, em 1837, a criação do telégrafo elétrico, que se regista como a primeira forma de comunicação elétrica, possibilitando este o envio de mensagens.

A primeira comunicação por voz regista-se em 1876, obtida por Alexander Graham Bell, com a criação do telefone pois, até então, eram utilizados códigos que precisavam ser convertidos para linguagem humana, como se verificava no telégrafo. Com o aparecimento do telefone tornou-se possível comunicar de uma forma mais natural – diretamente através da voz humana.[1]

O seguinte diagrama apresenta a evolução temporal das comunicações.

1837 – Telégrafo

1844 – Código de Morse

1866 – 1º Cabo submarino transatlântico

1875 – 1º Cabo submarino Lisboa - Brasil

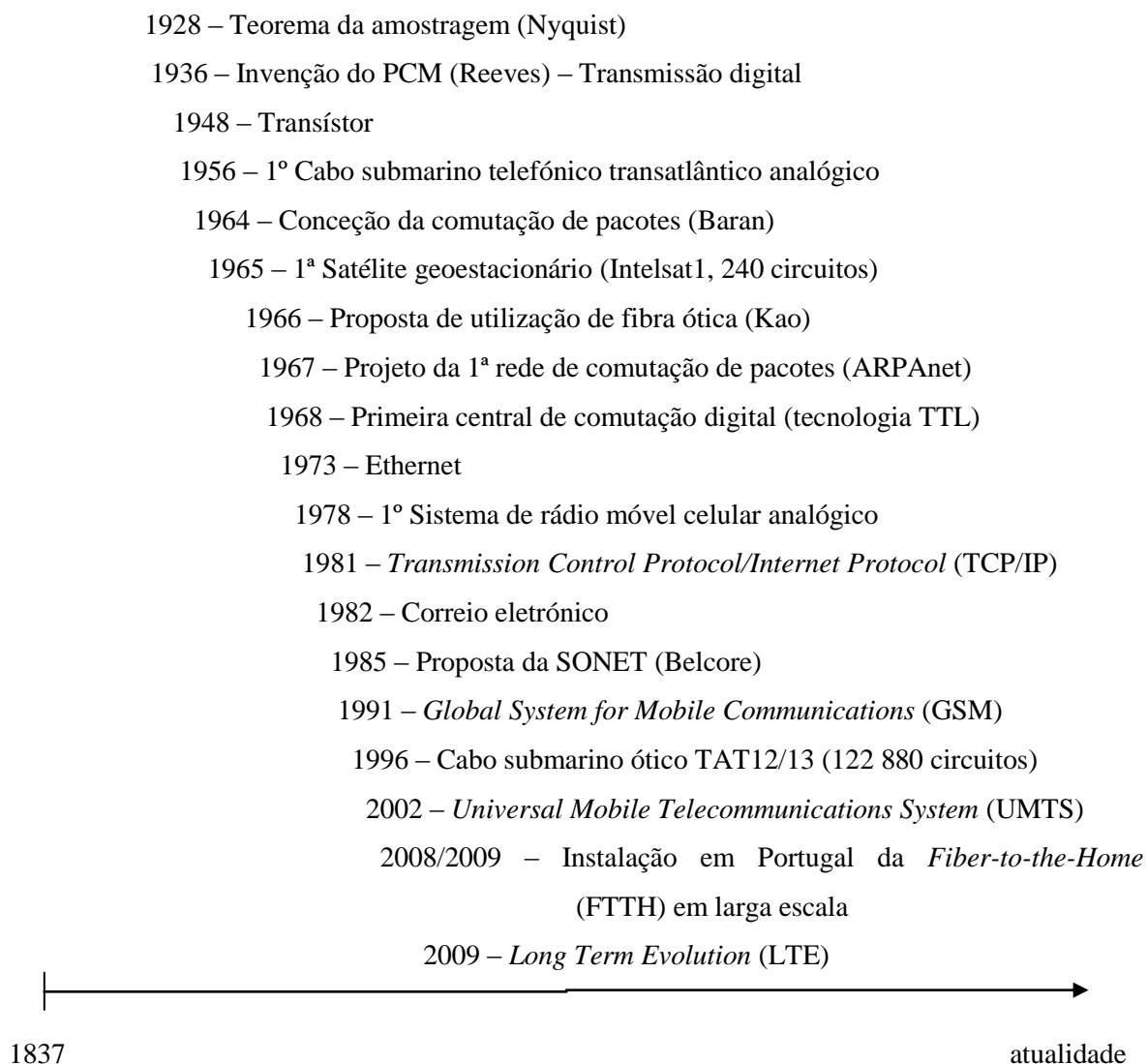
1876 – Telefone (Bell)

1882 – Primeira rede telefónica em Portugal (concessão)

1891 – Comutação automática (Strowger)

1894 – Telegrafia sem fios (Marconi)

1925 – Transmissão de imagens em movimento (Bird) – televisão



A cronologia apresentada anteriormente, dá destaque aos principais marcos da evolução das comunicações, em que se salienta o facto de em 1966 ter sido feita a proposta de utilização da fibra ótica e somente em 2008 é que esta foi instalada em Portugal.

Será abordado, seguidamente, de forma detalhada a evolução das comunicações de voz, de dados e móveis, bem como, as organizações envolvidas nestas evoluções, culminando nas Redes de Nova Geração.

2.2 Comunicações de voz

O telefone tornou-se, rapidamente, a forma mais popular de comunicação. As comunicações de voz são, atualmente, a forma de comunicação mais comum e usual.

Nos primórdios, para haver conversação era necessária uma ligação direta de fios entre o “emissor” e o “recetor”, como se pode observar na Figura 2.

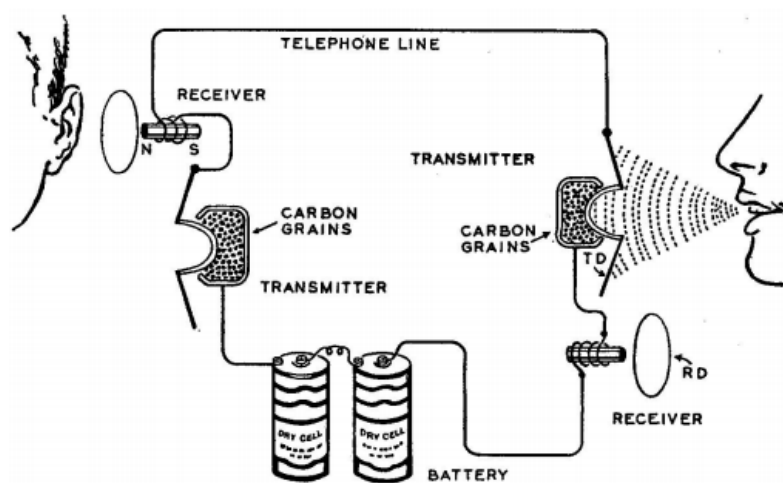


Figura 2 - Princípio do telefone [1]

Para colmatar esta metodologia foi criada uma estrutura intermédia - uma mesa de operação para efetuar a ligação. Assim sendo, a ligação iniciava-se quando determinado utilizador levantava o auscultador, o que gerava uma corrente elétrica e permitia comunicar com uma telefonista que se encontrava na mesa de operações. A telefonista fazia a correspondência entre o utilizador e o destinatário desejado através de um fio, como se pode observar na Figura 3.



Figura 3 - Mesa de operação [2]

Com a evolução dos serviços telefónicos, surgiu a necessidade de instalação de mais centrais e linhas telefónicas em diversas áreas geográficas. Constatou-se então, a necessidades de interligação entre as diversas centrais telefónicas existentes nas diferentes localidades, devido ao rápido crescimento dos serviços telefónicos.



Figura 4 - Primeira linha telefónica entre Lisboa e Madrid [1]

Contudo, verificou-se que seria inviável interligar todas as centrais diretamente umas às outras o que levou à criação de hierarquias em que, as centrais de níveis inferiores faziam as ligações com os telefones dos clientes e as centrais dos níveis superiores faziam as ligações entre as centrais dos níveis inferiores. Esta metodologia, é ainda, a base da rede telefónica fixa comutada, também conhecida por *Public Switched Telephone Network* (PSTN).

Com o decorrer do tempo, as comunicações de voz evoluíram de forma sistemática e contínua, o que permitiu que os serviços se tornassem mais robustos e confiáveis. As primeiras centrais automáticas de comutação foram construídas por Almon B. Strowger em 1891 e dispensavam operador/telefonista para completar a ligação - estas ligações eram conhecidas por serem passo-a-passo e do tipo eletromecânicas. Seguidamente, estas centrais foram substituídas pelas *Cross Bar* (“Barras cruzadas”, também eletromecânicas) e a partir dos anos 70 surgiram as “Central de Programa Armazenado” (CPA), ou seja, os computadores com um software interno que visam interligar os terminais, aos quais se dão o nome de centrais digitais.[2]

O aparecimento da tecnologia *Time Division Multiplexing* (TDM) baseado no conceito de modulação *Pulse Code Modulation* (PCM) trouxe algumas melhorias no que diz respeito à conversação tendo em conta que:

- permite várias chamadas em simultâneo entre os meios de comunicação;
- regenera o sinal e melhora a relação sinal/ruído mesmo a longas distâncias;
- cria níveis hierárquicos para conseguir transportar grande volume de canais de conversões
 - o sinal analógico é convertido para um código binário para ser transmitido digitalmente.

2.3 Comunicações de dados

A criação do computador permitiu o desenvolvimento da comunicação de dados, sendo que, a comunicação de dados significa troca de informações entre sistemas informatizados.

Após a Segunda Guerra Mundial, na década de 50, a Marinha dos Estados Unidos conjuntamente com a Universidade de Harvard produziram os primeiros computadores e, seguidamente, estes foram introduzidos para comercialização.

Na década de 1960, a *AT&T Corporation* desenvolveu o primeiro Modulador e Desmodulador (MODEM), que permitiu a transformação dos sinais elétricos das interfaces que ligavam os computadores em sinais acústicos de voz, possibilitando a sua transmissão através da rede telefónica. Este avanço tecnológico gerou a comunicação de dados, pois havia a necessidade de ligar os computadores a terminais remotos que ficavam em locais distintos. Com a evolução, tanto em *hardware* como em *software*, os computadores passaram a trocar informações entre si, o que permitiu o desenvolvimento do conceito de rede de computadores.

Após alguns anos surgiu a rede *Advanced Research Projects Agency Network* (ARPANET), que foi uma das primeiras redes da história da Internet. Com a rede ARPANET verificou-se que a rede funcionava com transmissão de pacotes, isto é, os pacotes eram transmitidos através da rede de dados.

Posteriormente à década de 1970, foram desenvolvidos vários protocolos de comunicação de dados, sendo que, o primeiro a surgir foi o X.25 seguido do *Frame Relay* e, seguidamente, o *Asynchronous Transfer Mode* (ATM). Nesta mesma década, segundo o *Computer History Museum*, surgiu o primeiro computador pessoal (do inglês PC – *Personal Computer*). De salientar ainda que, começaram a surgir as *Local Area Network* (LANs) ou redes locais de computadores.

Um passo importante na inovação das redes de comunicação de dados foi a criação de modelos de referência para transmissão na rede, na qual definiam a forma de os computadores se conectarem, isto é, criaram determinadas regras e protocolos de aceitação para a comunicação entre duas ou mais entidades (foi necessário estabelecer normas). Esta comunicação teve que reunir determinadas funcionalidades, como por exemplo: o controlo de acesso e utilização dos meios de comunicação; a identificação correta do emissor e recetor; o encaminhamento adequado da informação; a garantia de entrega da informação e deteção dos erros. Houve, ainda, a necessidade de criar modelos para

tratar estas funcionalidades e, surgiu então, o modelo OSI (*Open System Interconnection*) e o modelo TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*), como se observar na Figura 5 e Figura 6, respetivamente.[3][4][5]

A arquitetura do modelo OSI é dividida em sete camadas facilitando, assim, a separação entre as diferentes funcionalidades, no entanto, cada camada usa funções dela própria ou da camada anterior.



Figura 5 - Modelo OSI

A primeira camada, que se designa por camada Física, é responsável pelas características elétricas e físicas do sistema. Esta camada define a relação entre um dispositivo (interface de rede) e um meio de transmissão (canais de comunicação), permitindo uma comunicação simples e confiável. A camada Física é, também, responsável pelo estabelecimento e terminação de uma ligação a um meio de comunicação, por transmitir e receber bits, sincronizar informação (modulação) e, ainda, por definir o tamanho e a forma dos conectores.

A segunda camada, camada Lógica, visa a transmissão e receção de pacotes e controlo de fluxos. Esta é responsável por assegurar a partilha do meio entre máquinas, tratar da identificação das máquinas (endereços), direcionar a informação entre as máquinas, bem como o interface com a camada de rede e, opcionalmente, corrigir erros que ocorram na camada Física.

A camada de Rede identifica diferentes máquinas em domínios lógicos distintos (redes) e fornece os meios funcionais para o endereçamento dos pacotes de rede (datagramas), ou seja, faz a associação dos endereços lógicos em endereços físicos definindo, assim, caminhos de interligação das redes (ou múltiplas redes) encaminhando os pacotes entre elas. Esta camada pode definir as

condições de tráfego da rede e prioridades, bem como, entregar relatórios de erros, sendo utilizada quando há mais do que um caminho para o pacote percorrer.

A quarta camada, camada de Transporte, assegura a ligação entre dois pontos da rede, podendo garantir determinadas características nessa ligação - ordenação de pacotes, controlo do fluxo para evitar congestão da rede e correção de erros. Esta camada divide os dados enviados pela camada de Sessão em pacotes que serão transmitidos para a camada de Rede na transmissão. É também o elo de ligação entre dois grupos (camada Física, Lógica e Rede da camada de Sessão, Apresentação e Aplicação) e determina a classe de serviço.

A camada de Sessão estabelece a noção de sessão, ou seja, o conjunto de ligações partilhadas por uma mesma aplicação. Nessa sessão as aplicações definem o modo como deve ser feita a transmissão dos dados, além de marcar os dados que estão a ser transmitidos, caso se verifique alguma falha na rede e, assim, iniciam a transmissão a partir do último dado marcado.

A camada de Apresentação é responsável pela codificação e segurança dos dados recebidos pela camada de Aplicação para que possam ser usados na transmissão e para que sejam compreendidos pelo protocolo.

Por último, a camada de Aplicação é a camada mais próxima do utilizador final, pois fornece serviços para as aplicações. Esta camada inclui funções de identificação de parceiros de comunicação, disponibilização de recursos e sincronização da comunicação.

Com o modelo OSI, os protocolos definidos demoravam a ser finalizados e eram também, difíceis de entender, implementar (X.400, X.500, FTAM, CLNP, X.25, CMIP, ES-IS, IS-IS, ...) e de obter cópias dos documentos descrevendo os *standards*. Assim sendo, a Internet com um conjunto de protocolos originaram o modelo TCP/IP, o que permitiu a rápida expansão das redes de comunicação de dados e, assim, iniciou-se a mudança dos meios de transmissão à longa distância. O TCP/IP é um conjunto de protocolos que, tendo por base o modelo OSI, é usado na comunicação entre computadores em rede sendo constituído por dois protocolos principais, o *Transmission Control Protocol* (TCP) e o *Internet Protocol* (IP).

Fazendo uma analogia entre o modelo OSI (Figura 5) e o modelo TCP/IP (Figura 6) verifica-se que as divergências existentes entre estes são:

- menor número de camadas (um com 7 outro com 5 níveis), em que a Apresentação está incluída no nível da Aplicação e a Sessão e o Transporte estão fundidos num único nível (Transporte ou “Fim-a-fim”), tendo com isto criado funções de rede muito mais simples;
- nível de Rede não orientado à ligação, ou seja, cada pacote leva a informação de origem e destino e torna-se mais fácil a implementação sobre vários níveis físicos;
- o nível “Extremo a extremo” que leva a complexidade para as camadas superiores, ou seja, para fora dos elementos de rede intermédios;

- os protocolos de transporte flexíveis, como é o caso do TCP que é um protocolo orientado para conexões confiáveis e que permite a entrega, sem erros, de um fluxo de bytes ou o *User Datagram Protocol* (UDP) que fornece integridade de dados, mas não fornece garantia.

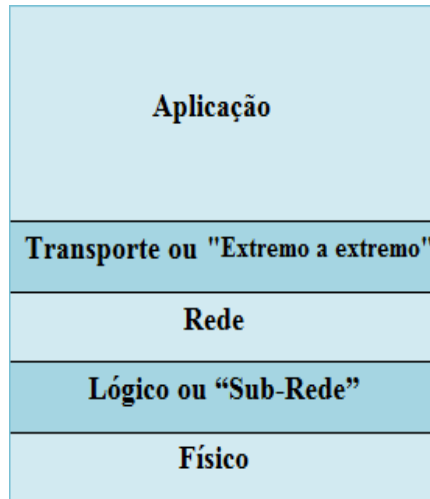


Figura 6 - Modelo TCP/IP

Em suma, o TCP/IP é um modelo mais simples do que o OSI e, atualmente, a maioria dos sistemas operacionais utiliza o modelo TCP/IP como modelo padrão. A Internet atual baseia-se neste conceito.

2.4 Comunicações móveis

O maior desenvolvimento das comunicações móveis surgiu, no final do século XIX, com base no conceito de transmissão de códigos de comunicação através de ondas eletromagnéticas desenvolvidas por Maxweel. As comunicações realizadas através de um aparelho móvel não são mais do que uma transmissão bidirecional através de ondas eletromagnéticas propagadas no espaço.[6]

Para marcar a alteração de um serviço fundamental ou de uma tecnologia, bem como, quando existem novas bandas de frequência ou alteração das existentes, usa-se uma nomenclatura nas redes sem fio que se designa por "G" (Geração). As gerações têm aparecido a cada dez anos e iniciaram-se nos anos 80 em que surgiu a primeira geração (1G) com transmissão analógica. Posteriormente, surgiu a transmissão digital, em 1992, que se denominou por segunda geração (2G). Em 2001 iniciou-se a terceira geração (3G) marcada pelo suporte multimédia e, por último, a quarta geração (4G) que surgiu em 2011 baseada em ligações, totalmente, IP.[7]

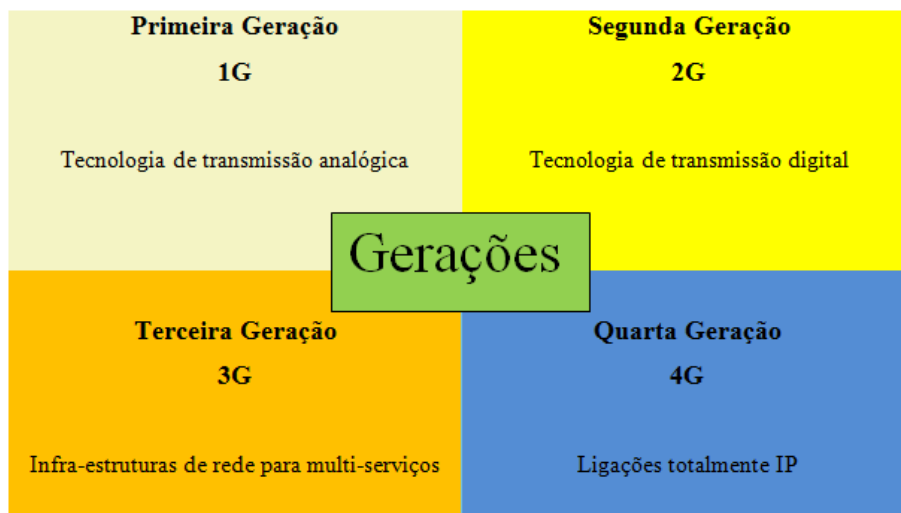


Figura 7 - Gerações de comunicações móveis

O primeiro sistema móvel de comunicação (1G) foi o *Advanced Mobile Phone System* (AMPS, mais popular nos Estados Unidos) que permitia a transferência de dados (apenas voz) através de ondas que variavam de forma contínua. Este sistema apresentava diversas limitações por se tratar de um sistema analógico que não suportava nenhum tipo de encriptação de informação e apresentava uma qualidade de som fraca e uma baixa velocidade de transferência (rondava os 9,6 Kbps). Esta Geração utilizava o múltiplo acesso por divisão de frequências *Frequency Division Multiple Access* (FDMA), que foi adotado por vários países na Europa, como por exemplo o *Total Access Communications System* (TACS) no Reino Unido, Itália, Espanha, Áustria e Irlanda; *Nordic Mobile Telephone* (NMT) em vários países nórdicos; Radiocom 2000 na França; *Radio Telephone Mobile Systems* (RTMS) na Itália e, por último, o C-450 em Portugal e França. Como havia uma grande diversidade de sistemas surgiu a incompatibilidade entre estes, visto que, cada um tinha o seu próprio padrão e não permitia a sua interligação. Surgiu, então, a necessidade de aumento da capacidade, visto que, as bandas existentes não suportavam o número de chamadas, o que levou à criação da 2G.[8]

A segunda geração veio colmatar as limitações existentes na primeira geração substituindo, desta forma, as transmissões analógicas por digitais. A segurança, a qualidade, a robustez/fiabilidade, a utilização eficiente do espectro e o suporte a serviços de dados de baixo débito foram as características mais importantes que marcaram o desenvolvimento desta geração (2G). As tecnologias adotadas pela segunda geração, tendo por base os sistemas *Time Division Multiplexing Access* (TDMA) e *Code Division Multiplexing Access* (CDMA), foram as seguintes:

- *Integrated Digital Enhanced Network* (iDEN), rede da propriedade da Nextel nos Estados Unidos e da Telus Mobility no Canadá;

- TDMA IS-54, padrão americano, que amplifica a capacidade do sistema (em cada canal analógico iam 3 canais digitais TDMA), foi a evolução do AMPS;
- *Personal Handyphon System* (PHS), sistema utilizado inicialmente no Japão pela companhia NTT DoCoMo, com a finalidade de ter um padrão mais focado para a transferência de dados do que o resto de padrões 2G;
- *Personal Digital Cellular* (PDC) baseado no TDMA e usado exclusivamente no Japão;
- CDMA IS-96, foi adotado na América do Norte e também em alguns países da América Latina e da Ásia, em que utilizava a mesma frequência do sistema analógico AMPS e não era compatível com o TDMA IS-54;
- *Global System for Mobile Communications* (GSM) padrão criado na Europa e aceite por todos os países do continente europeu para substituir os sistemas analógicos que não eram compatíveis entre si. Este sistema operava, inicialmente, na faixa de 900 MHz, mas em pouco tempo, começou a operar na banda de 1800 MHz (Europa). Por outro lado, nos EUA foram utilizadas as faixas de 850 MHz e 1900 MHz. O GSM tornou-se, desta forma, um padrão mundial, sendo adotado em toda a Europa, diversos países da Ásia e Canadá, entre outros.

Com esta geração ganhámos um recurso que hoje é trivial: enviar e receber SMS.

As tecnologias 2,5G e 2,75 G, assim definidas pelos *media* e não oficialmente pela União Internacional de Telecomunicações (UIT), foram o degrau de transição entre a tecnologia 2G e 3G. Esta tecnologia fomentou o aparecimento de serviços de transmissão mais rápidos, como a tecnologia *Enhanced Data for GSM Evolution* (EDGE), para o padrão GSM e o 1xRTT (*Radio Transmission Technology*), também conhecido como CDMA2000 para o padrão CDMA.

Por sua vez, a terceira geração veio revolucionar as comunicações móveis, sendo que permitiu às operadoras oferecerem aos seus utilizadores uma ampla gama de serviços (acesso à Internet, aplicações multimédia, correio eletrónico, entre outros). Esta geração (3G) possui uma cobertura com qualidade superior às suas antecessoras devido à melhoria na eficiência espectral. Em dezembro de 2007, o *Global mobile Suppliers Association* (GSA) afirma que 190 redes 3G já operavam em 40 países e 154 redes *High-Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) operavam em 71 países. O HSDPA é um serviço de transmissão de pacotes de dados que funciona dentro do *Wideband - Code Division Multiple Access* (W-CDMA).

A Europa, a Ásia e os Estados Unidos utilizam o W-CDMA sobre a tecnologia *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) que usa conceitos definidos no GSM. O *High Speed Packet Access* (HSPA) foi uma evolução desenvolvida a partir do UMTS e que permite atingir maiores

taxas de transmissão. Esta evolução é conhecida pela geração 3,5 e foi nesta que se desenvolveu o conceito IMS.[9]

Segue-se então a quarta geração (4G) que reporta como principais vantagens o aumento da velocidade, maior largura de banda, melhor cobertura e, ainda, melhor qualidade de rede. Um dos grandes objetivos desta tecnologia é tornar-se num sistema totalmente IP. Com a 4G os utilizadores podem usufruir de maiores débitos de transferência de dados, bem como de uma maior eficiência, obtendo assim, uma melhor performance no acesso aos serviços disponíveis na Internet. É de salientar ainda que, com a 4G os utilizadores podem beneficiar de uma melhor eficiência de utilização do espetro radioelétrico e de uma menor latência, usufruindo de serviços em mobilidade até agora só possíveis através da fibra ótica ou *Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)*. As tecnologias como o *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMax)* ou *Long Term Evolution (LTE)* foram introduzidas no mercado em 2006 e, devido às suas evoluções, têm sido denominadas de tecnologias 4G.

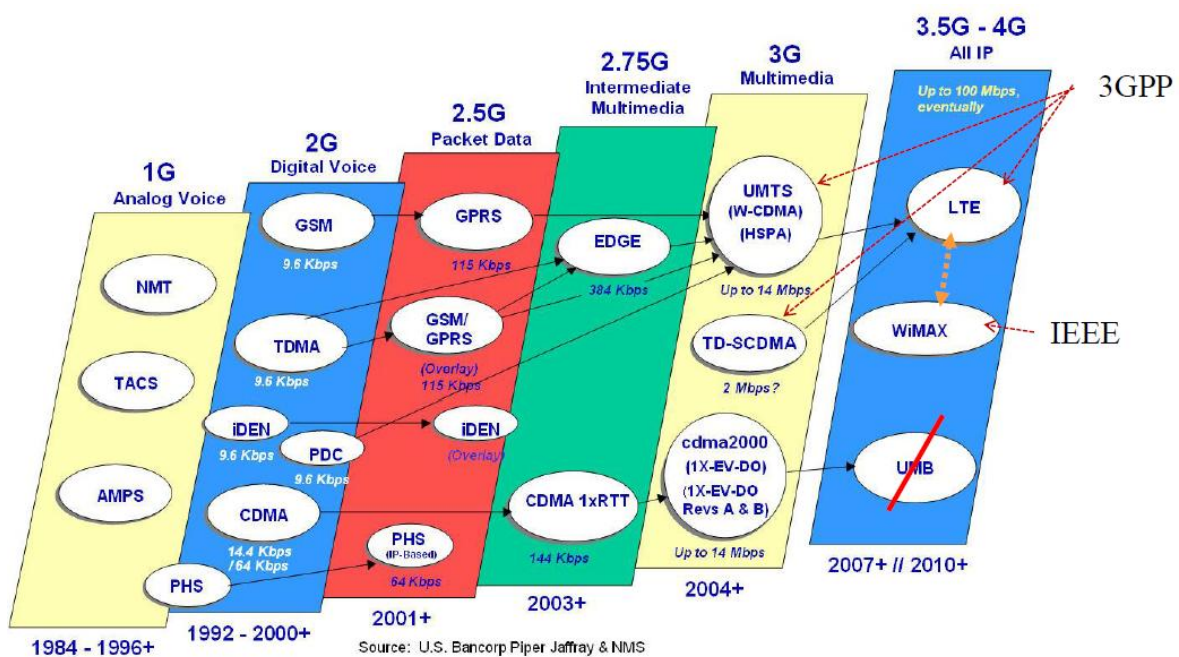


Figura 8 - Evolução das tecnologias [10]

Em suma, com a 4G pretende-se oferecer serviços baseados em banda larga móvel - *Multimedia Messaging Service (MMS)*, vídeo chamadas, *mobile TV*, conteúdo *High-Definition television (HDTV)*, *Digital Video Broadcasting (DVB)*, serviços básicos como voz e dados - baseando-se sempre num conceito de “*always on*”, ou seja, a utilização destes serviços em qualquer altura, independentemente do local onde o utilizador se encontre.

Na tabela que se segue pode observar-se a evolução das gerações, as suas características e as tecnologias adjacentes.

Geração	Características		Tecnologias	Valor real (média)		Valor teórico (máx.)		Disponível
				Download	Upload	Download	Upload	
1G	Só voz	-	-	-	-	-	-	-
2G	Voz e dados, MMS, Web browsing	2,5G 2,75G	GPRS EDGE	32-48Kbps 175Kbps	15Kbps 30Kbps	114Kbps 384Kbps	20Kbps 60Kbps	Atualmente
3G	Acesso universal, portabilidade, vídeo chamadas	3G	UMTS W-CDMA EV-DO Ver. A HSPA 3.6 HSPA 7.2	226Kbps 800Kbps 1Mbps 650Kbps 1.4Mbps	30Kbps 60Kbps 500Kbps 260Kbps 700Kbps	384Kbps 2Mbps 3.1Mbps 3.6Mbps 7.2Mbps	64Kbps 153Kbps 1.8Mbps 348Kbps 2Mbps	Atualmente
		3,5G	WiMAX LTE HSPA+ HSPA	4-6Mbps 5-13Mbps - 2 Mbps	1Mbps 2-5Mbps - 700Kbps	100Mbps+ 100Mbps+ 56Mbps 14Mbps	56Mbps 50Mbps 22Mbps 5.7Mps	Atualmente Fins de 2010 2011 Atualmente
4G	HD streaming, maior portabilidade para roaming mundial	-	WiMAX 2 (802.16m)	-	-	100Mbps dispositivos móvel / 1Gbps dispositivos fixos	60Mbps	2012
			LTE Advanced	-	-	-	-	Atualmente

Tabela 1- Resumo das diversas tecnologias [7]

2.5 Organizações

A normalização em telecomunicações tem um carácter internacional na medida em que é necessário ter em conta aspetos técnicos (qualidade de serviço, interface, etc.), bem como a planificação geral da rede (estrutura da rede, números telefónicos nacionais, internacionais, etc.). É importante referir a normalização das redes nacionais, visto que, à necessidade de garantir a compatibilidade dos sistemas dos diferentes fabricantes, de assegurar uma qualidade de serviço mínima a todos os utilizadores e de respeitar as convenções internacionais.

As principais organizações mundiais de normalização são as seguintes:

- *International Telecommunication Union* (ITU) é uma agência da Organização das Nações Unidas (ONU) responsável por todos os setores das telecomunicações a nível mundial. Os principais órgãos são o *ITU Telecommunications Sector* (ITU-T) que estuda as questões técnicas, métodos de operação e tarifas para as redes de transporte, redes de dados e redes telefónicas e o *ITU Radiocommunications Sector* (ITU-R) que estuda as questões técnicas e operacionais relacionadas com as comunicações rádio, incluindo ligações “ponto-a-ponto”, serviços móveis e de radiodifusão e ligações via satélite. A ITU-T adotou um padrão que se designa por *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT-2000) para a padronização das redes 3G.

- *International Organization for Standardization (ISO)* é um organismo de normalização de vários países. A norma OSI é a mais conhecida desta organização na área das telecomunicações. Quem também tem dado algumas contribuições significativas é a organização americana, *American National Standards Institute (ANSI)*. Em 2012, a ISO continha 163 membros e possuía mais de 19000 normas que abrangiam quase todos os aspetos tecnológicos e de negócios.

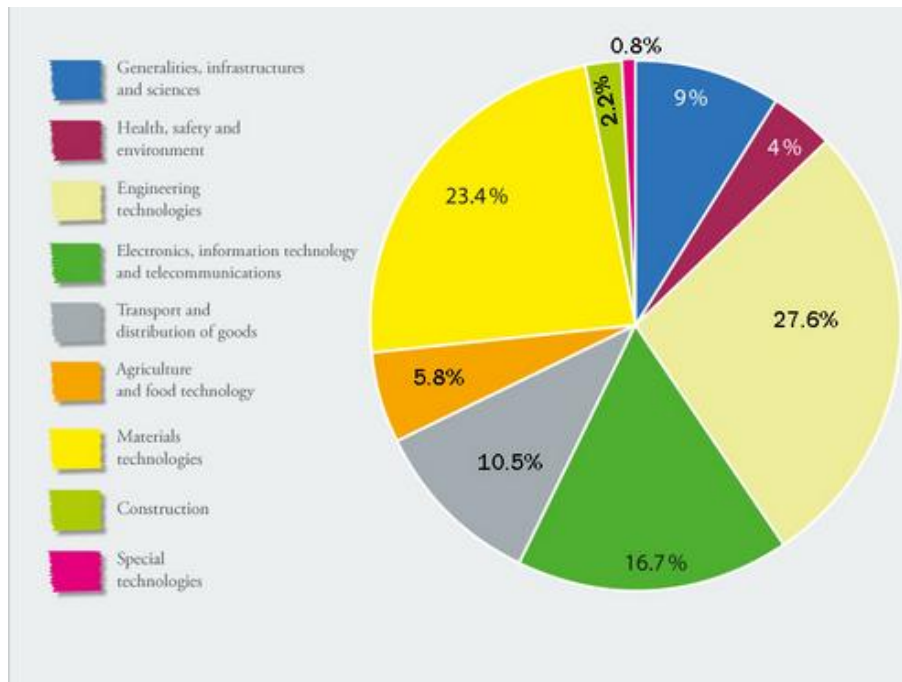


Figura 9 - Setores de funcionamento da ISO [11]

- *Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE)* é a maior organização profissional sem fins lucrativos em todo mundo e foi fundada nos Estados Unidos. Surgiu em 1963 oriunda da fusão entre o *Institute of Radio Engineers (IRE)* e o *American Institute of Electrical Engineers (AIEE)*. Esta organização tem como principal objetivo promover o estabelecimento de padrões para formatos de computadores e dispositivos.



Figura 10 - Logótipo das organizações [11][12][13][14]

- *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) visa desenvolver as normas necessárias para uma rede de telecomunicações *Pan-European*. A ETSI é uma organização sem fins lucrativos e teve um papel importante no desenvolvimento da norma GSM. De salientar ainda que, a mesma criou na Europa o *Telecoms & Internet Converged Services & Protocols for Advanced Network* (TISPAN) para desenvolver as redes NGN, de acesso fixo baseada em IMS.

Das principais organizações mundiais para padronização do IMS devem destacar-se as seguintes:

- *Internet Engineering Task Force* (IETF) é uma organização internacional que une todos os interessados na evolução da Internet e no seu correto funcionamento, isto é, une técnicos, projetistas, operadores, fornecedores e pesquisadores com o intuito de desenvolver a arquitetura, os protocolos e a operação da Internet pública. O IETF desenvolveu a maioria dos protocolos usados hoje em dia na Internet e criou muitos protocolos utilizados pelo IP. Esta organização é descrita pelo *Request for Comments* (RFC) 3160 e as suas recomendações são normalmente documentos denominados por RFC;
- *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) surge em 1998 da colaboração entre vários grupos de padronizações regionais (*Organizational Partners*), mantendo-se ainda ativa nos dias de hoje. Inicialmente, o 3GPP visava desenvolver especificações e relatórios técnicos com o objetivo de poder aplicar em todo o mundo o sistema 3G com base no GSM (responsável pelo corpo padrão por trás do UMTS). Contudo, posteriormente, ampliaram a área de foco e englobaram tecnologias de rádio (*General Packet Radio Service* (GPRS) e EDGE), bem como, tecnologias de acesso de rádio (*UMTS Terrestrial Radio Access* (UTRA) tanto em modo *Frequency Division Duplexing* (FDD) como em *Time Division Duplexing* (TDD)) e a arquitetura de rede *core* e serviços (IMS);
- 3GPP2 surgiu, de igual modo, em 1998 e é também conhecida como *Organizational Partners*, visto ser uma colaboração entre associações de telecomunicações. O seu principal objetivo foi envolver as redes da América do Norte e da Ásia num sistema 3G. O 3GPP2 é o corpo por trás do padrão CDMA2000 e do seu sucessor de quarta geração (projeto *Ultra Mobile Broadband* (UMB)).

Estas três organizações mundiais estabeleceram uma colaboração (“IETF-3GPP/3GPP2”) de modo a se certificarem que o IMS utilizaria protocolos IP e que os protocolos desenvolvidos atendessem às suas necessidades em vez de criarem novos protocolos partindo do zero.

2.6 RNG – Redes de Nova Geração

O termo RNG (em inglês, *Next Generation Networks* (NGN)) é vasto e interpretado de diferentes formas por diversos profissionais envolvidos no “mundo” das telecomunicações, no entanto, todas as operadoras necessitam de uma estratégia para as RNG.

Segundo a UMIC - Agência para a Sociedade do Conhecimento, IP - a designação de RNG refere-se, normalmente, à passagem para redes de banda larga de alta velocidade, à migração de redes comutadas de telecomunicações para redes baseadas no Protocolo da Internet (IP) e a uma maior integração de serviços sobre uma mesma rede. Tecnicamente, as RNG são definidas como redes baseadas na transmissão de pacotes de impulsos para fornecerem serviços de telecomunicações em banda larga de alta velocidade, com Qualidade de Serviço (do inglês, *Quality of Service* (QoS)), em que as funções relacionadas com os serviços são independentes das tecnologias de transporte subjacentes. Estas redes dão acesso aos utilizadores que fornecem diferentes serviços e suportam as comunicações móveis generalizadas.[26]

De uma forma geral, as RNG focam-se na evolução das atuais redes de telecomunicações e nos seus serviços, independentemente da rede, podendo prestar vários serviços, ou seja, serviços de voz, serviços de dados, serviços de multimédia ou, ainda, integrar diversificados serviços. As Redes de Nova Geração procuram ter modelos de arquitetura funcionais, padronizados, com qualidade de serviço, segurança e controlo nas múltiplas redes, de salientar ainda que, visam a mobilidade, a interconectividade e a interoperabilidade internacional entre diferentes redes para tráfego de dados e serviços prestados.

Os utilizadores são cada vez mais exigentes e quando se pensa em criar RNG não nos podemos esquecer dos requisitos dos utilizadores desses serviços. Os utilizadores pretendem sempre alta rentabilidade das redes, serviços móveis com ampla cobertura (internacional), simplicidade na operação dos serviços, qualidade de serviço negociável e *service-level agreement* (SLA) globais.

Por seu lado, os operadores pretendem que os seus serviços sejam rápidos e eficazes, que os utilizadores tenham noção dos serviços disponíveis e visam garantir segurança e qualidade de serviço na rede. O investimento das RNG é ganho quando no processo de migração existe uma redução de custo de operação, manutenção das redes e facilidade na otimização.

Em suma, para as RNG avançarem com os seus princípios verifica-se a necessidade de haver uma conformidade entre as organizações e as operadoras logo, o processo de implementação de uma RNG é um processo complexo e exigente, devido a todos estes requisitos.

Ao longo dos últimos anos, um dos temas mais fluentes e promissores nas telecomunicações foi sem dúvida, a convergência da Internet nas redes móveis e a tecnologia IMS para atingir esse objetivo. O 3GPP definiu a arquitetura IMS para as redes móveis *all-IP* e, a mesma, foi adotada de

forma semelhante pelo 3GPP2, que serviu de base para as redes convergentes sob a normalização no âmbito do *European Telecommunication Standards Institute* (ETSI) e da *Telecoms and Internet converged Services and Protocols for Advance Network* (TISPAN).

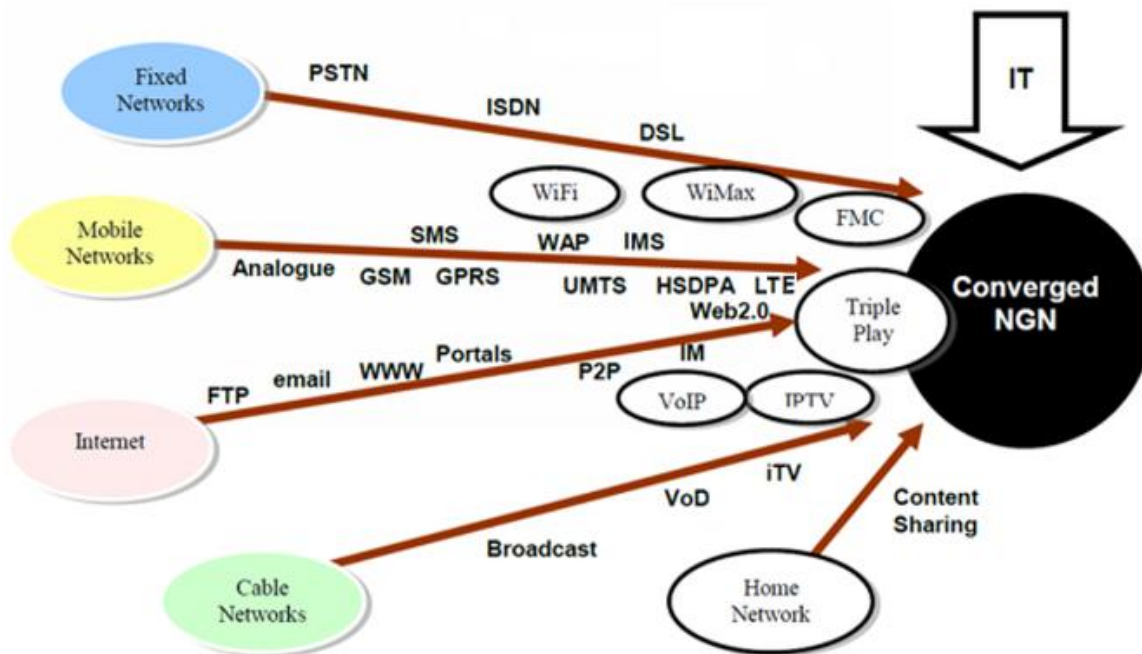


Figura 11 - Convergência nas redes de nova geração [27]

Devido às constantes mudanças existentes no mercado (atualmente, devido às tecnologias como por exemplo o Voice over IP (VoIP)) as operadoras necessitam de um reajustamento dos seus componentes de forma a que possam suportar todos os serviços e funcionalidades que possam vir a surgir. O IMS (APÊNDICE A) desencadeou uma grande evolução, com o intuito de aproximar as telecomunicações fixas das telecomunicações móveis, nomeadamente ao nível dos serviços (APÊNDICE B). O IMS é uma arquitetura de referência (APÊNDICE C) com determinados protocolos (APÊNDICE D) e que visa a entrega de serviços (APÊNDICE E) através de uma rede IP e que usa práticas bem-sucedidas de outras redes.

A convergência das redes de nova geração difere consoante o segmento da rede que é considerado, ou seja, as redes de acesso direccionam-se para infraestruturas sobre fibra e os serviços tendem todos para IP o que deu origem ao *Long Term Evolution* (LTE). No entanto, verifica-se, ainda, a existência de alterações no LTE com o intuito de apresentar melhorias para ser inserido no mercado com sucesso, o que faz com que as operadoras recorram ao UMTS, sendo que, é uma tecnologia que está bem implementada e inserida no mercado. Assim sendo, serão apresentadas seguidamente as características do UMTS, a sua estrutura e arquitetura.

3. UMTS

UMTS – *Universal Mobile Telecommunication System* é uma tecnologia da terceira geração (3G). Este termo foi adotado para designar o padrão da 3ª geração como evolução do GSM. O desenvolvimento de padrões para o GSM foi conduzido pelo ETSI até ao ano de 2000 e, a partir daí, a responsabilidade passou a ser do 3GPP.

Um dos fatores fundamentais para a chegada do UMTS foi o facto de existir uma grande necessidade de serviços móveis e aplicações com acesso à Internet com velocidades superiores das que existiam até então. O mercado das comunicações móveis é muito diferente de utilizador para utilizador, pois existem utilizadores que não estão dispostos a esperar para realizar os seus *downloads*, aceder aos seus mails, proceder a pagamentos de serviços ou até ver televisão. Surge, então, o UMTS para colmatar muitas dessas necessidades.

3.1 Características

O UMTS reúne diversas características em que procura construir e aumentar a capacidade das redes celulares com o intuito de proporcionar um aumento na qualidade e na rapidez da transferência de dados bem como, uma melhoria no acesso via rádio com maior banda larga e um melhor alcance geográfico. Quando as normas 3G foram concebidas, foram definidos diferentes requisitos nas taxas de dados para diferentes ambientes. As **Pico** células foram projetadas para coberturas indoor (*hot spots*) - com taxas de dados até 1,92 Mbit/s; as **Micro** células foram projetadas para áreas urbanas (com algumas centenas de metros) – com taxas de dados até 384 kbit/s; por último, as **Macro** células para áreas urbanas (entre 500m e 5km) – com taxas de dados até 384 kbit/s e uma velocidade máxima de 120 km/h e, nas áreas rurais (entre 5 e 20 km) - com taxas de dados até 144 kbit/s e uma velocidade máxima de 500 km/h. Os atuais sistemas fornecem soluções para as Macro e Micro células.

Ainda assim são necessárias maiores taxas de dados para *download* de serviços como música ou vídeo. As redes 3G existentes podem ser melhoradas para 3.5G com apenas pequenas modificações em que os principais objetivos são o fornecimento de maiores taxas de dados, a utilização de frequências de forma mais eficiente, o aumento da capacidade e da cobertura bem como a redução dos custos.

Em 3G uma antena cria um sinal para todos os utilizadores dentro de uma determinada área e não cria nenhuma distinção entre os utilizadores. A melhoria para o 3,5G remete-nos à implementação de antenas com um sinal para todos os utilizadores de baixa taxa de bits e um outro sinal que incide

sobre os utilizadores com alta taxa de bit. Com a remoção de utilizadores de alto bit do sinal comum, fica disponível mais cobertura e capacidade para todos os outros utilizadores. Uma das maiores vantagens que se pode observar no sistema 3,5G é a comutação de pacotes reduzindo, desta forma, os custos.

Com a finalidade de tornar o sistema de frequência mais eficiente e fornecer maiores taxas de dados, a rede 3G está preparada para suportar o HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*). Em comparação com os atuais 384 kbit/s de *downlink* de velocidade do UMTS, o HSDPA oferece ao utilizador cerca de 1,5 a 2 Mbit/s, ou seja, o suficiente para vídeos em alta qualidade ou jogos interativos de alta resolução. Os utilizadores do UMTS e do HSDPA são servidos, simultaneamente, na mesma célula e na mesma antena. Novas aplicações, como transmissão de TV e *Video On Demand*, exigem um rendimento ainda maior, razão pela qual a alta taxa de dados é definida como um requisito a ser atendido nos sistemas 4G. Esta elevada taxa de dados deve ser alcançada nos sistemas 4G mas dependerá da mobilidade do utilizador, visto que, um utilizador com alta mobilidade deve ter taxas de dados até 2 Mbit/s e um utilizador fixo e com baixa mobilidade deve atingir a taxa de dados até os 200 Mbit/s.

3.1.1 Padronização

A padronização é trabalhada e implementada por diversos organismos. O GSM foi padronizado pelo ETSI, primeiramente por fases e, posteriormente, em versões anuais denominadas de acordo com o ano de lançamento como por exemplo: as Release 96, 97, 98 e 99 na qual todas são referenciadas como fase 2+. A Release 97, 98 e 99 definem, principalmente, a arquitetura GPRS. Uma parte da Release 99 foca-se no UMTS e marca a transição nas especificações do ETSI para 3GPP.

Uma das metas a atingir pelas organizações foi definir o 3G como um sistema de comunicação móvel comum e global. A ITU aprovou diversos padrões que foram utilizados nos sistemas 3G e esses padrões designam-se por *International Mobile Telecommunications at 2000 MHz (IMT-2000)*. Assim sendo, não existe apenas um, mas diversos padrões 3G.

O 3GPP projeta normas para o UMTS, o sucessor do 3G GSM. O UMTS é um padrão 3G que continuou a ser desenvolvido em diversas *Releases* no 3GPP, mas não em bases anuais. Contudo, o HSDPA é abordado na *Release 5*. Atualmente, existem três principais padrões disponíveis:

- **UMTS** - *Universal Mobile Telecommunication System*.
- **TD-SCDMA** - *Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access*.
- **MC-CDMA** - *Multicarrier- Code Division Multiple Access*.

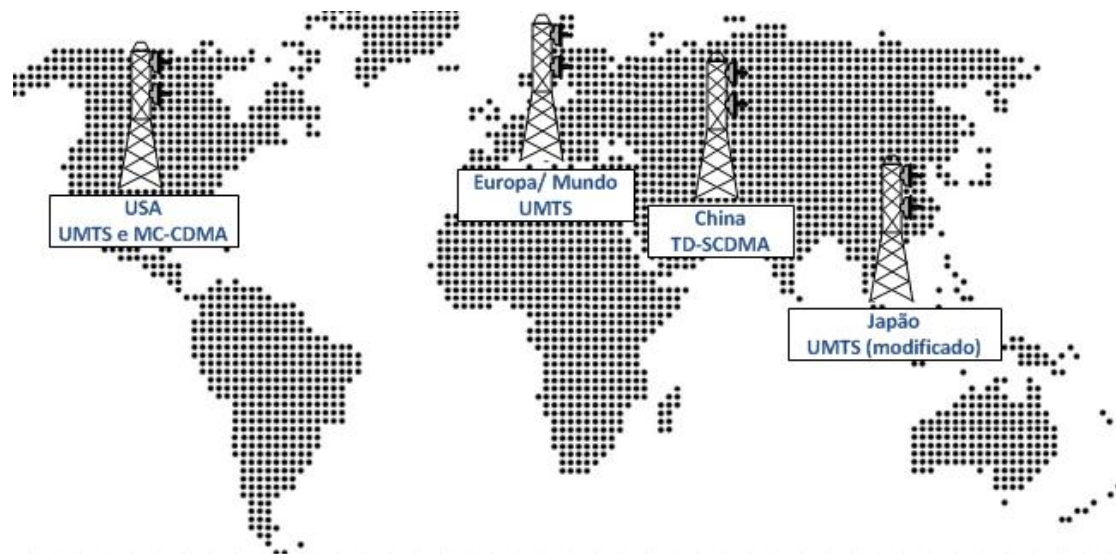


Figura 12 - Mapa-mundo com os diferentes padrões [29][30]

Como se pode observar na Figura 12, o TD-SCDMA é utilizado, principalmente, para criar redes móveis UMTS na China. Este combina a tecnologia SCDMA desenvolvida pelo CATT (*China Academy of Telecommunications Technology*) com a tecnologia TD-CDMA sugerida pela Siemens e outros fabricantes. O “S” em SCDMA refere-se ao modo síncrono em que todas as estações base enviam e recebem de uma forma sincronizada evitando interferências na rede que são inevitáveis em tecnologias assíncronas. A adequação a frequências desemparelhas (*Frequencies, Duplex Distance*) verifica-se como sendo uma das grandes vantagens da tecnologia TD-SCDMA. O *Multicarrier- Code Division Multiple Access*, anteriormente conhecido por CDMA2000 é um modo digital baseado no princípio do CDMA, ou seja, transporta sinais digitais de comutação de pacotes numa largura de banda de 1,25 MHz.

3.1.2 Técnicas de acesso múltiplo

Os recursos de acesso ao meio são o espaço e o espectro (ou tempo), no entanto, compartilhando o espaço (S), o tempo (t), a frequência (f) e os códigos (c) (verificar Figura 13) surgem três diferentes combinações, ou seja, existem três esquemas de acesso:

- *Frequency Division Multiple Access (FDMA)*;
- *Time Division Multiple Access (TDMA)*;
- *Code Division Multiple Access (CDMA)*.

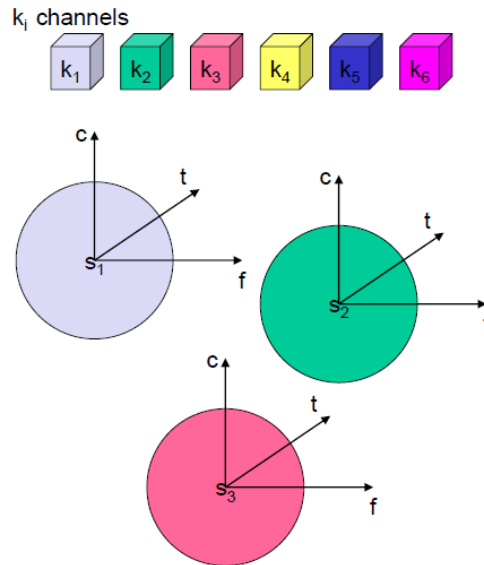


Figura 13 - Recursos existentes nas técnicas de acesso [31]

No FDMA um canal usa determinada faixa do espectro e diferentes canais usam diferentes bandas, ou seja, a cada chamada é atribuída a sua própria faixa de frequência durante a duração da mesma, sendo toda a banda de frequência dividida em pequenos canais individuais para que os utilizadores acessem. O FDMA atribui a cada utilizador uma frequência diferente, isto é, cada assinante tem a sua frequência. Um dos sistemas mais conhecidos que utiliza o FDMA são os rádios FM em que cada estação de rádio pode receber uma certa frequência que pertence exclusivamente a essa estação.

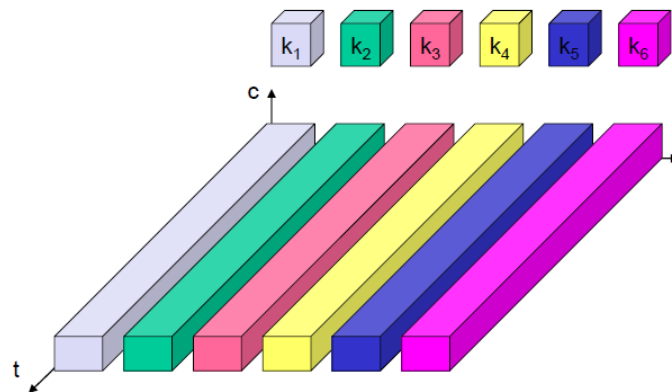


Figura 14 - Esquema do FDMA [31]

No TDMA os utilizadores partilham a mesma faixa de frequência. A cada chamada é atribuído um intervalo de tempo (*timeslot*) diferente para a sua transmissão. Este princípio é amplamente utilizado em redes móveis GSM, onde se verifica que um canal de rádio GSM pode ser utilizado

por oito utilizadores. Cada um dos oito utilizadores está no ar num curto espaço de tempo (cerca de 577 microssegundos em GSM) e saem ficando os outros sete a poder usar a mesma frequência.

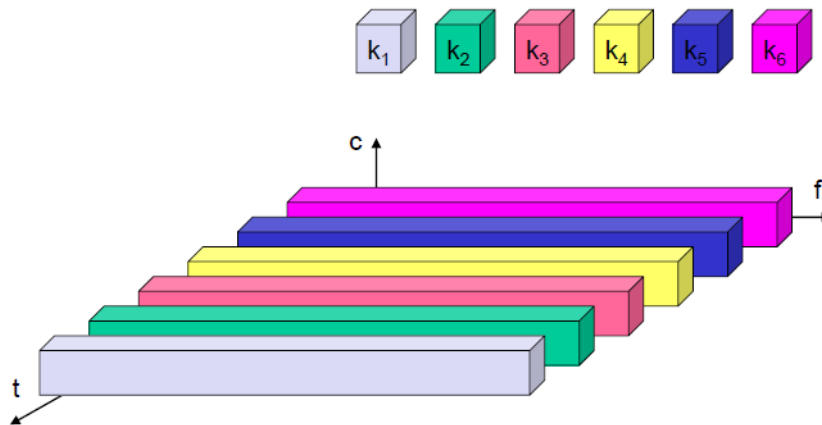


Figura 15 - Esquema do TDMA [31]

No *time multiplexing* o eixo do tempo é dividido em *slots* que são alojados em diferentes canais/utilizadores. Um canal utiliza todo o espectro durante um determinado período e a sua transmissão é organizada em *frames* (um *frame* < > grupo de *timeslots*). Um canal usa uma certa banda dentro de um determinado intervalo de tempo - saltos entre as bandas ("*frequency hopping*") tal como se pode verificar na figura seguinte.

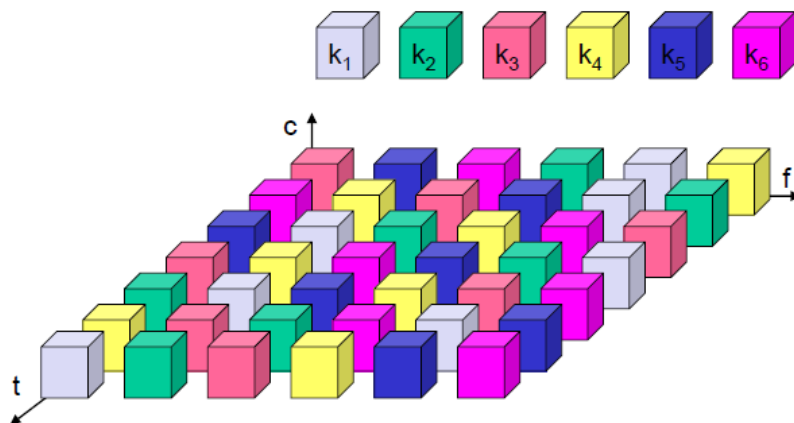


Figura 16 - Esquema do GSM (TDMA com "saltos de frequência") [31]

No CDMA os utilizadores compartilham a mesma faixa de frequências e os mesmos *timeslots*. A cada chamada é atribuído um código único, que pode espalhar o espectro para uma banda inteira de frequência conforme se pode observar pela Figura 17. Todos os canais fazem uso de todo o espectro ao mesmo tempo (existência simultânea do tempo e da frequência). Um canal usa um código que é único e distinto o suficiente dos outros para permitir separá-los.

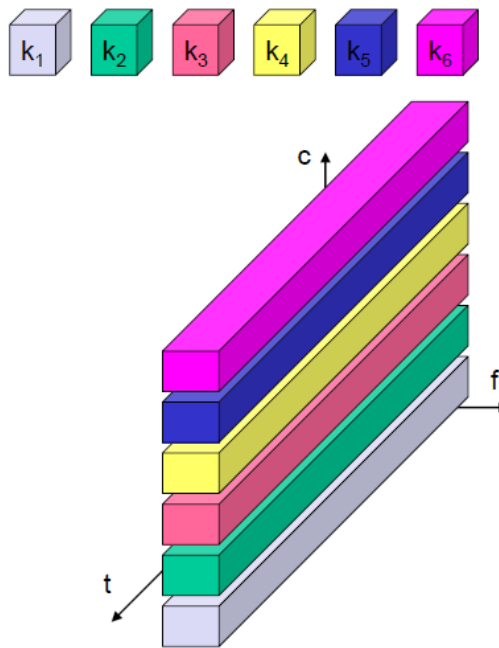


Figura 17 - Esquema do CDMA [31]

Os utilizadores do UMTS distinguem-se por códigos individuais, sendo este método de multiplexação designado por *Code Division Multiple Access* (CDMA). O CDMA é uma tecnologia que compartilha o mesmo canal de transmissão (ou seja, a mesma frequência) entre vários utilizadores ao mesmo tempo, permitindo uma utilização mais eficiente dos recursos existentes de rádio. O princípio básico do CDMA consiste nos pacotes de dados serem transportados através de um canal (digital) cujo endereço ID (código especial) garante que chegue ao destinatário em questão. No CDMA todos os sinais dos telefones são codificados pela primeira vez com um código próprio e único que será combinado com o Node B para a transmissão. O telefone será capaz de reconhecer o seu sinal (respetivo código) e descodificar as frequências que estão a ser transmitidas ao mesmo tempo.

A finalidade do *channelization (spreading) codes* é de separar os canais de um único transmissor em ambas as direções (UL e DL) e o do *scrambling code* é separar os transmissores. No que diz respeito ao *channelization (spreading) codes* na direção UL (o UE transmite e recebe do Node B), estes são utilizados para separar os dados físicos dos dados de controlo (sinalização) que venham do mesmo terminal. Quando se refere aos *channelization (spreading) codes* na direção de DL (o Node B transmite e o UE recebe) estes são utilizados para separar as diferentes ligações dos utilizadores dentro de uma célula (os utilizadores da célula partilham o "*code tree*" da célula). Tendo em conta que o *channelization code* aplica-se ao sinal de informação, a largura de banda do sinal de informação muda (no domínio da frequência) para uma largura de banda superior, ou seja, espalha-se sobre a largura de banda do canal UMTS (espectro de dispersão).

No domínio do tempo o efeito é a alteração da velocidade do sinal de informação. Quando o *channelization code* é aplicado ao sinal de informação verifica-se um sinal com uma taxa de bits igual à velocidade de *chip rate* (o *chip rate* de referência no UMTS é fixo e é 3,84 Megachips/seg e ao variar o número de chips por bit de informações obtemos a diferença de velocidades por utilizadores).

É apresentado de seguida, um esquema que ilustra de uma forma simples o processo de transmissão e receção em UMTS, envolvendo os mecanismos de *spreading code* e *scrambling code* mencionados.

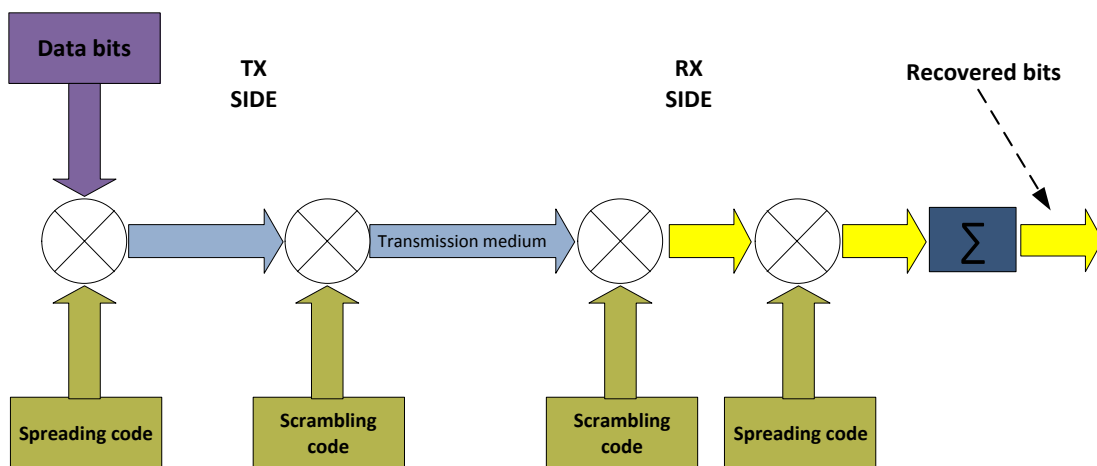


Figura 18 - Processo de transmissão e de receção no UMTS [30]

Os *scrambling codes* separam os diferentes móveis (em *uplink* (UL)) e as diferentes células-Node B/setores (em *downlink* (DL)). Este é um código que não afeta a largura de banda de transmissão pois já foi transformada pela utilização do *channelization code*. Os códigos utilizados para o *scrambling codes* são conhecidos como códigos de ouro e existem duas versões (longa e curta) dependendo das *features* que o terminal/Node B esteja a usar. Em *Uplink* o número de códigos disponíveis é na ordem dos milhões (garantindo desta forma que não falte códigos quando se tenta separar os utilizadores que transmitem) contudo, no *Downlink* este número é limitado a 512 pois caso contrário, não seria possível responder num curto espaço de tempo ao processo de procura de células.

Para melhor compreensão das diversas técnicas de acesso será apresentada uma tabela que compara os diferentes tipos de acesso abordados anteriormente, acrescentando ainda o Space Division Multiple Access (SDMA) que é vantajoso quando combinado com uma das outras técnicas de acesso.

	SDMA	TDMA	FDMA	CDMA
Ideia	O espaço é dividido por células/setores.	O tempo é dividido em <i>timeslots</i> separados.	O espectro é dividido em sub bandas.	Códigos ortogonais ou quase ortogonais são espalhados no espectro.
Terminais	Apenas um terminal pode estar ativo em uma célula/sector.	Todos os terminais podem estar ativos durante intervalos de tempo curtos na mesma faixa de frequência.	Cada terminal tem a sua própria banda de frequência.	Vários terminais podem estar ativos ao mesmo tempo e com a mesma frequência.
Sinal	Antenas direcionais.	Requer sincronização do tempo.	Requer filtragem da frequência.	Códigos e recetores especiais capazes de decifrar os códigos do utilizador.
Vantagens	Simple, aumenta a capacidade por Km ² .	Tecnologia bem conhecida e flexível.	Tecnologia bem conhecida e robusta.	Flexível e reduz as necessidades de planeamento.
Desvantagens	Pouco flexível (Tipicamente as antenas são fixas).	Requer e guarda intervalos de tempo.	Pouco flexível (o espectro é um recurso escasso).	Recetores complexos.
Notas	Só é útil quando combinado com o TDMA, FDMA ou CDMA.	É quase o padrão das redes fixas quando cominado com o FDMA/SDMA usado em redes móveis. O FDMA ortogonal é usado em 4G.	Normalmente combinado com TDMA e SDMA.	Definido para 3G. Questões de patentes impediram de ser adotados no 4G.

Tabela 2 - Comparação dos diferentes tipos de acesso [31]

No que diz respeito às características técnicas, a maior diferença entre os sistemas 2G-2.5G (por exemplo GSM, GSM + GPRS) e o UMTS, é que os sistemas 2G-2.5G usam uma combinação FDMA e TDMA como tecnologia de acesso enquanto, o UMTS utiliza o Wideband CDMA (W-CDMA). Nos sistemas W-CDMA os utilizadores que pertencem a uma célula são separados por códigos (ou seja, sequências especiais de bits) e não por intervalos de tempo como no TDMA. No W-CDMA os utilizadores partilham o mesmo espectro completo de frequências que se aproxima dos 5MHz por canal UMTS durante todo o tempo de comunicação.

O UMTS beneficia de uma qualidade de sinal superior e de taxas de transmissão mais altas o que faz com que as aplicações e os serviços de *streaming* operem em tempo real.

3.1.3 Frequências e modos de transmissão

Todos os sistemas de comunicações móveis utilizam frequências específicas sendo estas limitadas. A comunicação pode realizar-se em duas direções: da estação móvel para antena, ou seja, *UpLink* (UL) e da antena para estação móvel, ou seja, *DownLink* (DL). Existem diferentes formas de controlar a passagem de informação bidirecional podendo variar em termos de complexidade do sistema. Neste contexto pode referir-se o modo *simplex*, o *half duplex* e o *duplex* em que, cada sistema apresenta as suas próprias vantagens e desvantagens. O modo *simplex* é um sistema de transmissão que só pode ocorrer numa direção, o modo *half duplex* é um sistema em que a comunicação é possível nas duas direções no entanto, num sentido de cada vez e, por último, o modo *duplex* em que, a comunicação é possível realizar-se em ambos os sentidos simultaneamente. Os sistemas 1G e 2G dividem o *uplink* e o *downlink* em diferentes faixas de frequência, ou seja, pode verificar-se que a frequência pode ser organizada de diferentes formas. Estes intervalos de frequência podem trabalhar em pares - um princípio de funcionamento que se designa por *Frequency Division Duplex* (FDD). Outra solução para a comunicação duplex é usar apenas um canal de frequência para ambas as direções, ou seja, transmitir *uplink* e *downlink* em pequenos intervalos de tempo, que se designam por *timeslot*. Este princípio é conhecido como *Time Division Duplex* (TDD).

O TDD utiliza apenas uma frequência e partilha o canal entre a transmissão e a receção no espaço por multiplexagem dos dois sinais com base no tempo enquanto, o FDD permite transmitir e receber sinais simultaneamente visto o recetor e o transmissor se encontrarem em frequências diferentes conforme ilustrado na figura seguinte.

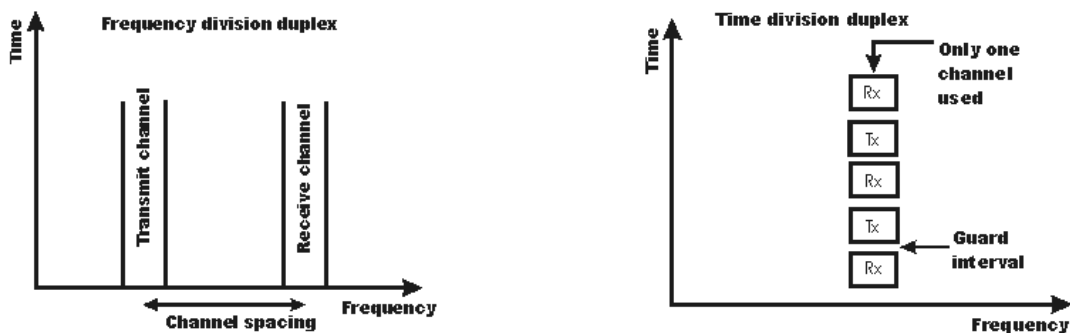


Figura 19 - Esquema do FDD e TDD [59]

No modo de transmissão FDD, para se verificar o funcionamento de forma satisfatória, é necessário que a separação entre as frequências dos canais de transmissão e receção seja suficiente para que o recetor não seja afetado pelos sinais do transmissor (ao qual se chama-se banda de proteção) visto

que, caso contrário, poderá ocorrer um bloqueio. Os sistemas que usam o modo de transmissão FDD recorrem a filtros nas estações base para garantir o isolamento entre bandas (transmissão e recepção). O espectro utilizado nos sistemas FDD é atribuído pelas entidades reguladoras, no entanto, nem sempre a transmissão e recepção é realizada simultaneamente e ambos os canais encontram-se reservados, não fazendo um uso eficiente do espectro. Por outro lado, o modo de transmissão TDD, exige um tempo de proteção (*guard interval*) entre a transmissão e a recepção para permitir que os sinais “viajem” desde um recetor até um transmissor antes que o transmissor inicie a sua transmissão. Nos sistemas de curta distância, o TDD não deve gerar problemas, no entanto, em sistemas de grandes distâncias o tempo de proteção pode gerar alguns problemas devido ao atraso de propagação (o sinal leva 3,3 micro segundos a percorrer um quilómetro), logo o TDD não é o sistema mais adequado para grandes distâncias. Contudo, ambos os modos de transmissão têm as suas vantagens e desvantagens, dependendo das circunstâncias em que se encontram, conforme se demonstra na tabela seguinte.

Atributo	FDD	TDD
Espectro	Requer um canal para transmissão e outro para recepção. A Eficiência espectral pode não ser tão boa visto usar duas bandas.	Usa somente uma única frequência para transmissão e recepção.
Tráfego	A capacidade em ambas as direções só pode ser feita por realocação de canais. Isto normalmente não é fácil de alcançar porque as alocações são feitas pelos reguladores.	É possível ajustar facilmente a capacidade em ambos os sentidos, alterando o número de <i>slots</i> dedicados para qualquer direção. Isto pode ser conseguido de forma dinâmica nos protocolos do sistema.
Distância	Não apresenta problemas com pequenos ou grandes distâncias.	Normalmente é adequado para pequenas distâncias.
Latência	Não introduz atrasos adicionais nem latência nos canais.	Um pequeno grau de latência adicional pode ser adicionado como um resultado da multiplexagem TDD.

Tabela 3 - Caraterísticas do FDD e TDD [59]

O UMTS baseia-se em ambos os modos de transmissão, no TDD e no FDD. O modo TDD requer um único canal de 10 MHz e o modo FDD necessita de um par de canais de 5MHz. No caso do FDD temos 2x5MHz em que a banda larga é 10MHz e todos os dados transmitidos são 5Mbps x 5ms e, no caso do TDD a recepção é feita em metade da *frame* e a transmissão é feita na outra metade da *frame* e os dados transmitidos são 10Mbps x 2,5ms, conforme se pode ver pela Figura 20. Logo, o FDD utiliza metade da largura de banda para o dobro do tempo em comparação com o TDD.

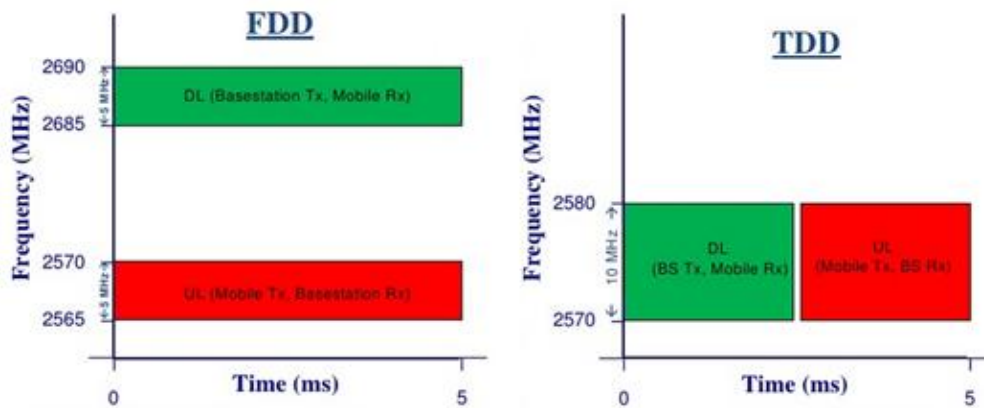


Figura 20 - Canais de FDD e TDD [60]

Como referido anteriormente, as frequências são um recurso limitado e cada sistema requer a sua própria frequência. Essa frequência específica não pode ser utilizada noutros sistemas, sendo esses sistemas por exemplo: o micro-ondas, o rádio, a televisão, entre outros.

A atribuição de frequências é uma tarefa das organizações nacionais sendo estas que decidem quais as frequências que são atribuídas a cada sistema. Alguns países decidiram leiloar as frequências, outros realizaram um *Beauty Contest*. O *Beauty Contest* consistiu na revisão dos planos das diferentes operadoras e seleccionar as quatro melhores. As 12 frequências foram então agrupadas em quatro pacotes de três frequências cada e vendeu-se a relativamente baixo custo às operadoras vencedoras. Por outro lado, os países que leiloaram a cada operadora podem licitar frequências individuais, como se pode verificar no caso da Alemanha, em que seis operadores receberam uma licença de duas frequências cada.

A seguinte imagem demonstra a forma como as frequências são atribuídas:

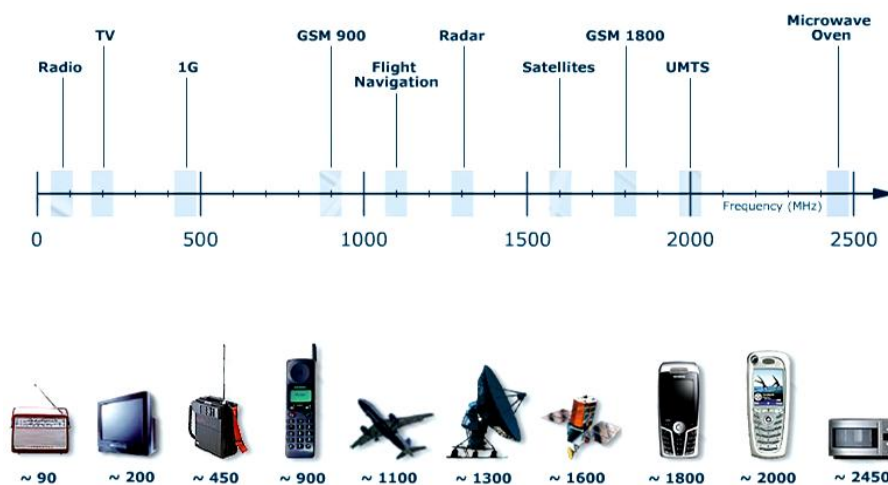


Figura 21 - Frequências atribuídas aos diversos equipamentos [30]

O GSM começou na Europa e todos os países participantes concordaram em reservar determinadas faixas de frequências nos 900 e 1800 MHz.

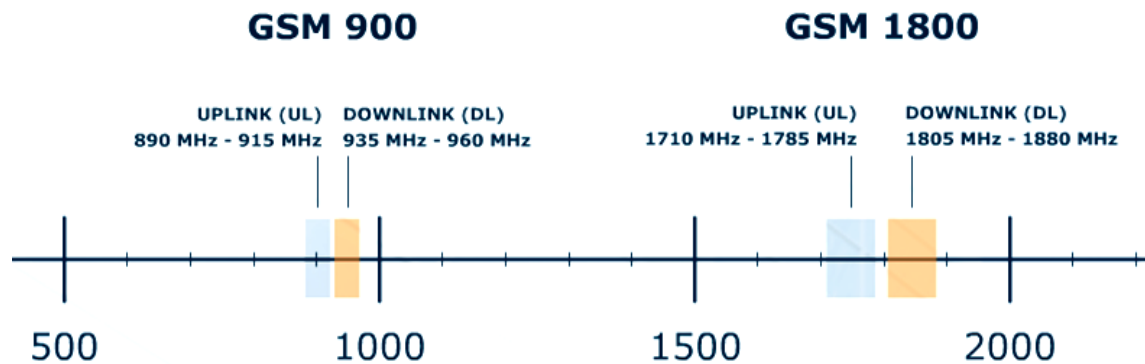


Figura 22 - Faixas de frequências GSM (900 e 1800 MHz) [30]

A primeira atribuição de faixas de frequência para UMTS é na área dos 2000 MHz. Na Europa o espectro de frequência é dividido em doze pares de canais emparelhados e em sete canais desemparelhados com 5 MHz cada. Os canais desemparelhados foram necessários para o modo TDD embora, atualmente, não sejam mais implementados. As atuais redes utilizam o FDD e necessitam dos canais emparelhados.

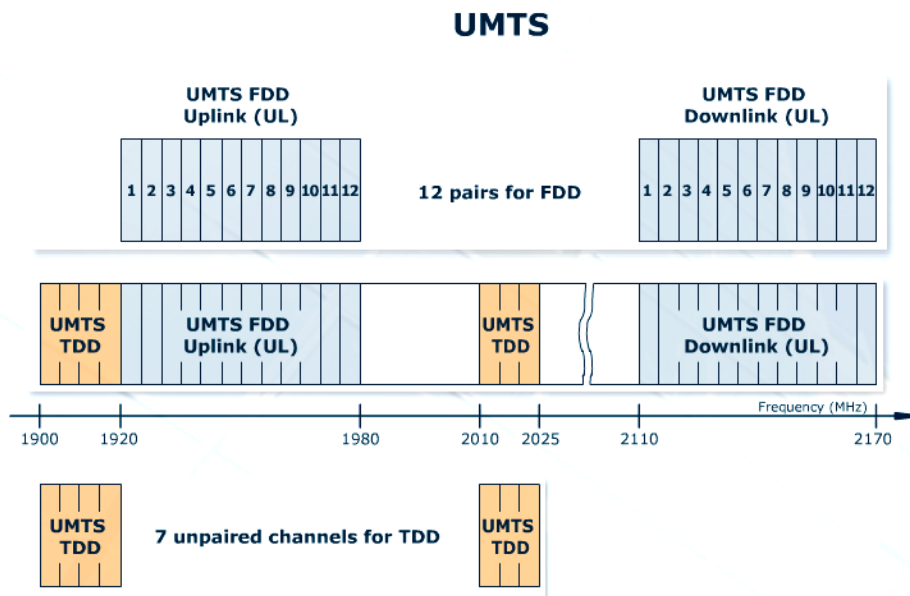


Figura 23 - Faixas de frequência UMTS [30]

Nos EUA o UMTS é implementado na faixa de frequência entre os 850MHz e 1900 MHz. Recentemente, foram adicionadas novas faixas de frequência para a Europa na faixa dos 2600 MHz (UMTS 2600). Dependendo da disponibilidade das frequências dos diferentes países, faixas novas

são libertadas ou não, como por exemplo o Japão, onde existe uma faixa adicional definida apenas neste país.

	DOWNLINK	UPLINK
USA	869 – 894 MHz	824 – 849 MHz
JAPAN (only)	875 – 885 MHz	830 – 840 MHz
USA	1930 – 1990 MHz	1850 – 1910 MHz
EUROPE	2110 – 2170 MHz	1920 – 1960 MHz
EUROPE (new)	2620 – 2690 MHz	2500 – 2570 MHz

Tabela 4 - Faixas de frequências por país [30]

É necessário pelo menos uma frequência para executar uma rede. A mesma frequência pode ser reutilizada em cada célula do UMTS, no entanto, é preferível ter várias frequências disponíveis. O número recomendado por operador é de três gamas de frequências, isto significa, que o operador tem uma frequência diferente à sua disposição para cada tipo de célula, ou seja, uma para Macro células, outra para Micro células e outra para as Pico células permitindo, desta forma, um planeamento independente da rede.

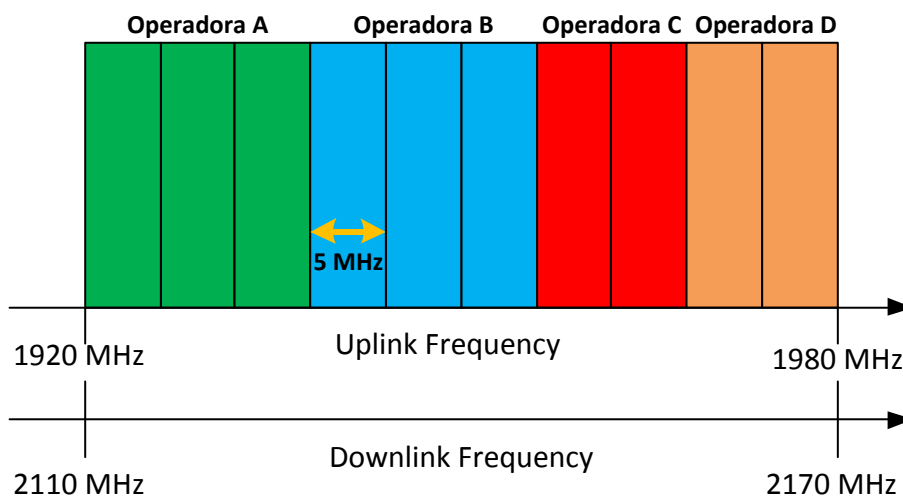


Figura 24 - Frequências de DL e UP por operador [29][30]

Para o UMTS (W-CDMA) foi escolhido o modo FDD, em que se utiliza frequências diferentes tanto para *uplink* como *downlink*, ou seja, as transmissões móveis numa frequência e a receção noutra frequência. O FDD é utilizado em células que se encontram em grandes zonas urbanas porque pode suportar um maior número de utilizadores do que o modo TDD. O modo TDD utiliza

a mesma frequência mas em diferentes intervalos de tempo para cada tipo de conexão (UL-DL) mas, o W-CDMA no modo TDD destina-se a zonas privadas *indoor* com baixa comunicação. Uma operadora para ser capaz de construir uma rede de alta velocidade e de alta capacidade necessita de 2 a 3 canais (2x5x2 ou 2x5x3 MHz) e usa uma abordagem em camadas.

3.2 Estrutura e Arquitetura

Em UMTS um telefone define-se como o equipamento do utilizador (UE – *User Equipment*) que comunica com uma antena (Node B) através de canais de 5 MHz. As mensagens trocadas e o método de transmissão são especificações das normas. Dentro da rede as especificações apresentam, claramente, tarefas distintas, o *Radio Access Network* (RAN) que especifica a interface do ar e o *Core Network* (CN) que realiza as tarefas relacionadas com o serviço logo, o RAN fornece os recursos rádio necessários para um determinado serviço enquanto o CN fornece os serviços. O UE acede aos seus serviços através da RAN. Todas as redes móveis têm uma estrutura idêntica e são compostas por duas partes: a rede core que controla, transmite e encaminha as chamadas e os dados para as redes externas e a rede acesso de rádio que fornece ao utilizador o acesso à rede. A rede de acesso de rádio é constituída por várias antenas e vários controladores de rádio que controlam essas antenas. O utilizador pode aceder à rede através do seu dispositivo móvel e conectar-se à antena mais próxima. A rede de acesso de rádio fornece acesso aos equipamentos dos utilizadores através das várias antenas e, estas antenas são parte integrante das estações base que se designam por *Base Transceiver Stations* – BTS. As estações base são controladas pelo respetivo controlador das estações base, *Base Station Controller* - BSC. Devido à separação da rede core e da rede acesso de rádio, várias soluções são aceites como um sistema 3G.

Para a parte RAN:

- *UMTS Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN);
- *GSM EDGE, RAN* (GERAN);
- *Multi-Carrier CDMA* (MC-CDMA),
- *Time Division Synchronous CDMA* (TD-SCDMA).

No que diz respeito ao CN, várias opções são aceites pela ITU, tendo em conta que, devido à normalização, um operador pode escolher qualquer CN e combiná-lo com qualquer RAN. A rede de acesso de rádio difere do UMTS para o GSM, mas a rede de core permanece similar e com interoperabilidade entre as duas redes. Os equipamentos do core podem ser usados para ambas as tecnologias. Em 2G, a GERAN apresenta duas interfaces na parte da rede core, a interface *Circuit-*

Switched Core Network (CS CN) e a Packet-Switched Core Network (PS CN). O interface para o CS CN é conhecido como o interface A (interface entre o BSS e o MSC). O interface para o PS CN é uma interface de GPRS que é conhecido como interface Gb (interface entre o SGSN e o PCU). O *Mobile Station* (MS) comunica com o GERAN através da interface aérea e é definido como “Um” (User Mobile) conforme se pode verificar na Figura 25.

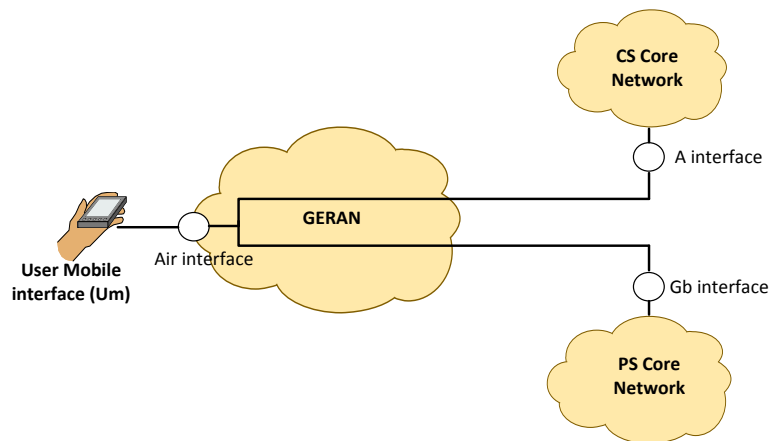


Figura 25 - Interfaces na rede core GERAN [30]

Na Release 99 o UTRAN é adicionado ao CN existente e o equipamento define-se como *User Equipment* (UE), de modo a distinguir o MS do GSM/GPRS. O UE pode realizar chamadas e enviar dados IP logo, o UTRAN apresenta duas interfaces diferentes na *Rede Core*, sendo essas o IuCS e o IuPS. A interface do ar denomina-se de User UMTS (Uu). As chamadas de voz e de vídeo constituem o tráfego em tempo real (*Real Time* (RT)) e é tratado pelo CS CN, enquanto, todo o restante tráfego designa-se por tráfego em tempo não real (*Non Real Time* (NRT)) sendo tratado pelo PS CN.

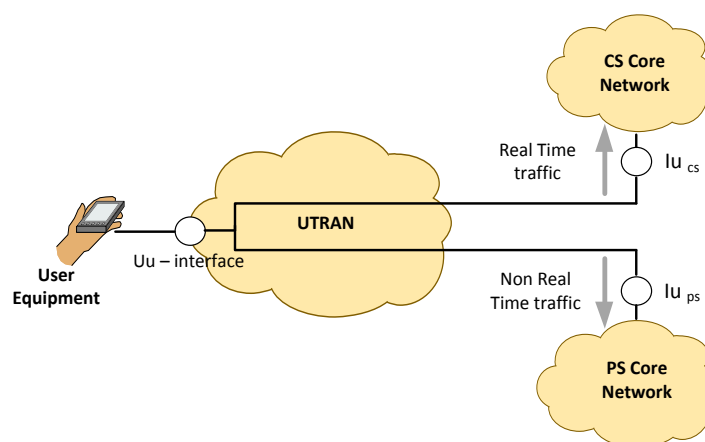


Figura 26 - Interfaces na rede core UTRAN [30]

São apresentados de seguida, dois mecanismos diferentes de funcionamento na rede core em que se aborda o *circuit-switched* numa chamada de voz e o *packet-switched* no acesso de dados a um *web browser*.

3.2.1 *Circuit-Switched*

A seguinte imagem demonstra os elementos de rede envolvidos e quais as mensagens trocadas entre eles no estabelecimento de uma chamada de voz (*circuit-switched*).

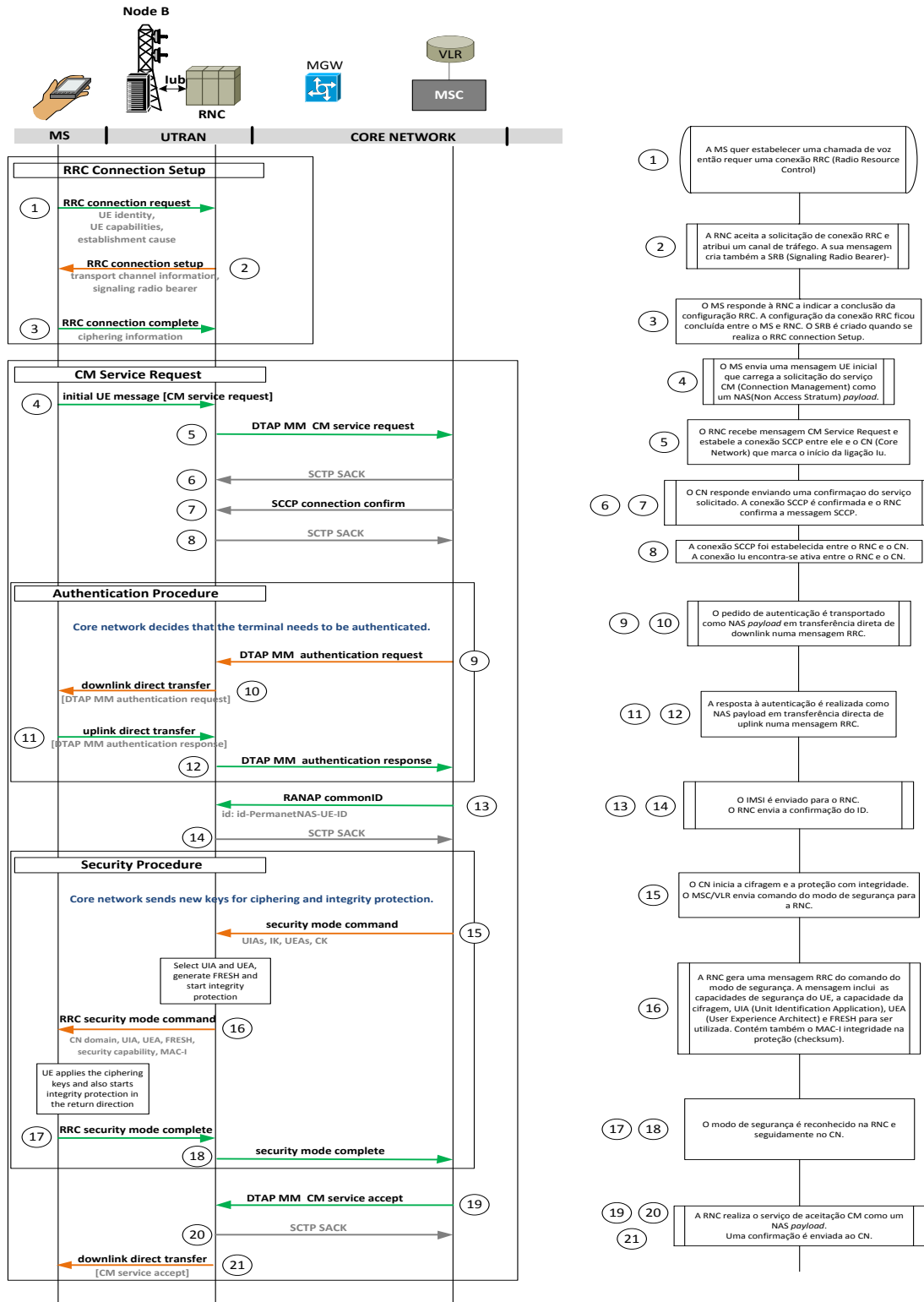


Figura 27 - Chamada de voz (circuit-switched) - Part I [37][38][39][40][41]

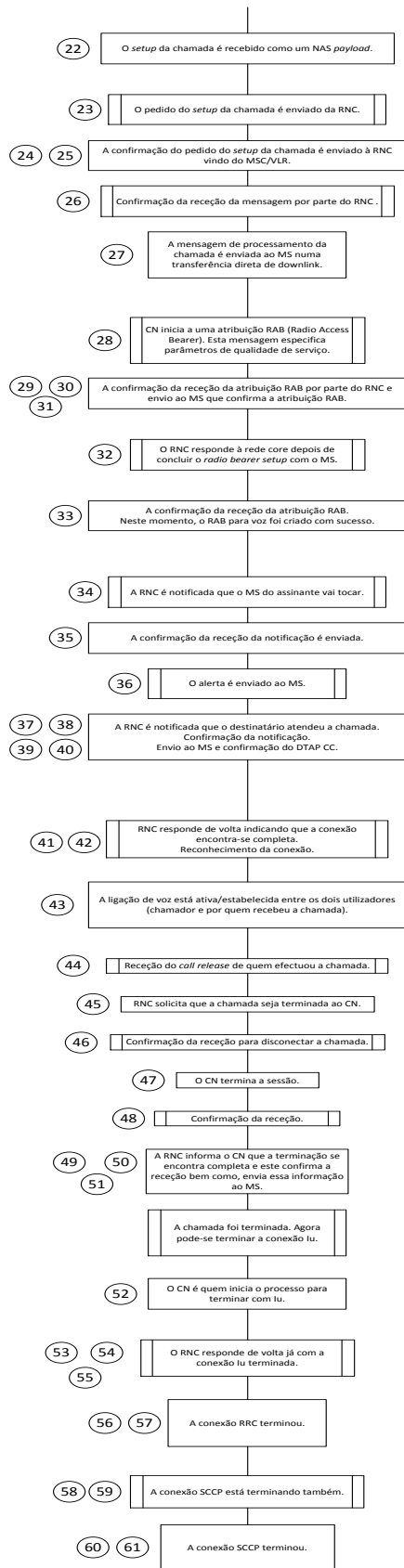
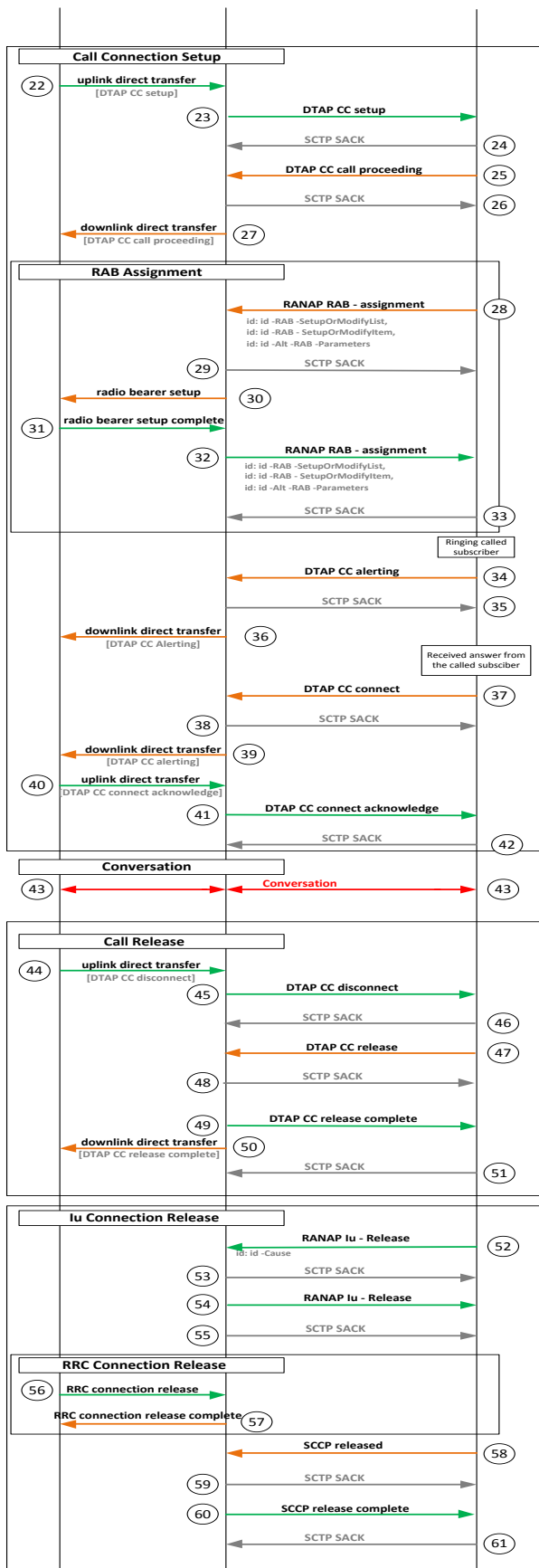


Figura 28 - Chamada de voz (circuit-switched) - Part II [37][38][39][40][41]

3.2.2 Packet-Switched

De seguida será apresentado um esquema que explica a troca de mensagens no *packet-switched* no acesso de dados a um *web browser* e, ainda, um fluxograma que facilita a compreensão do esquema apresentado.

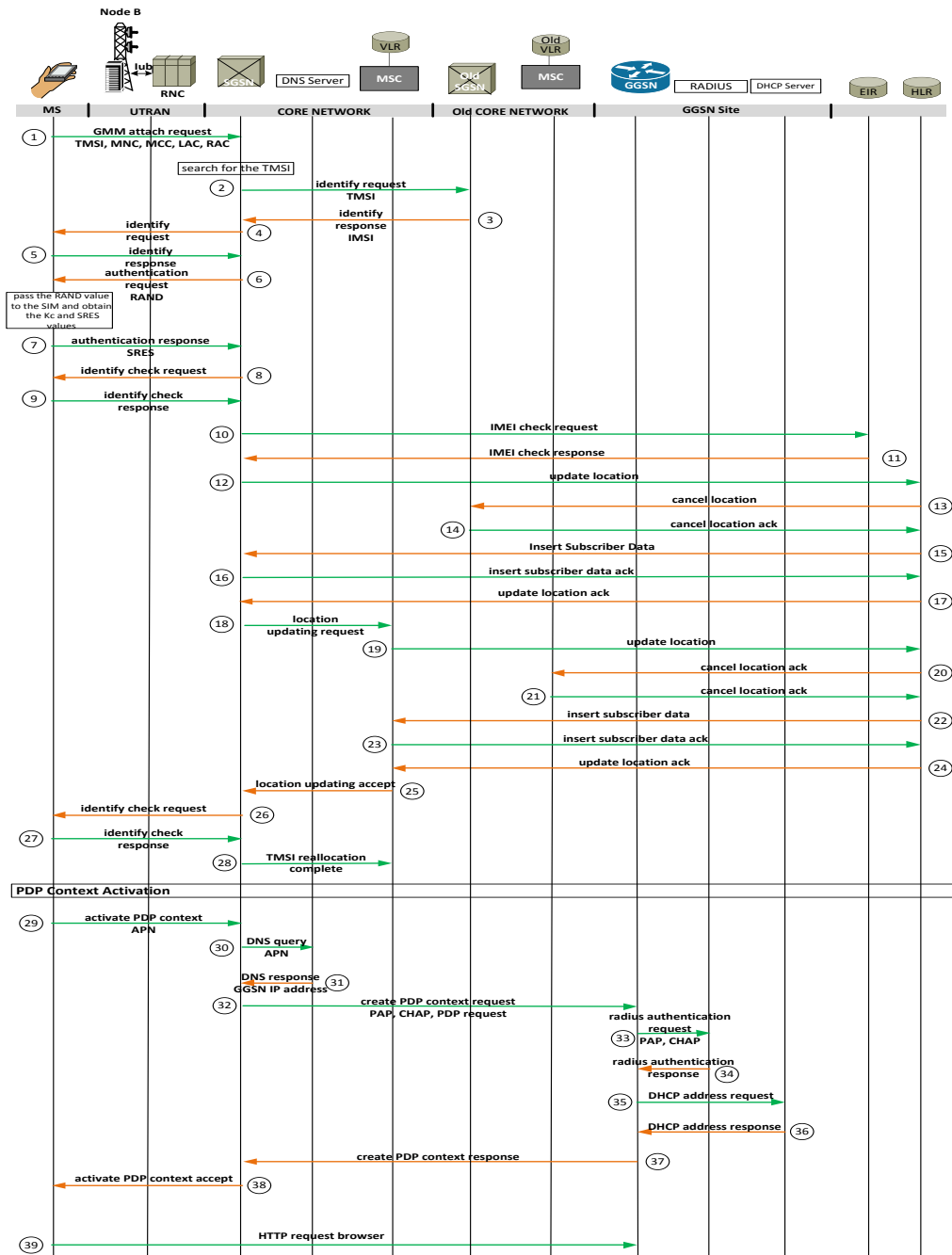


Figura 29 - Esquema da troca de mensagens no *packet switched* entre os elementos de rede [41][42][43][44][45][46]

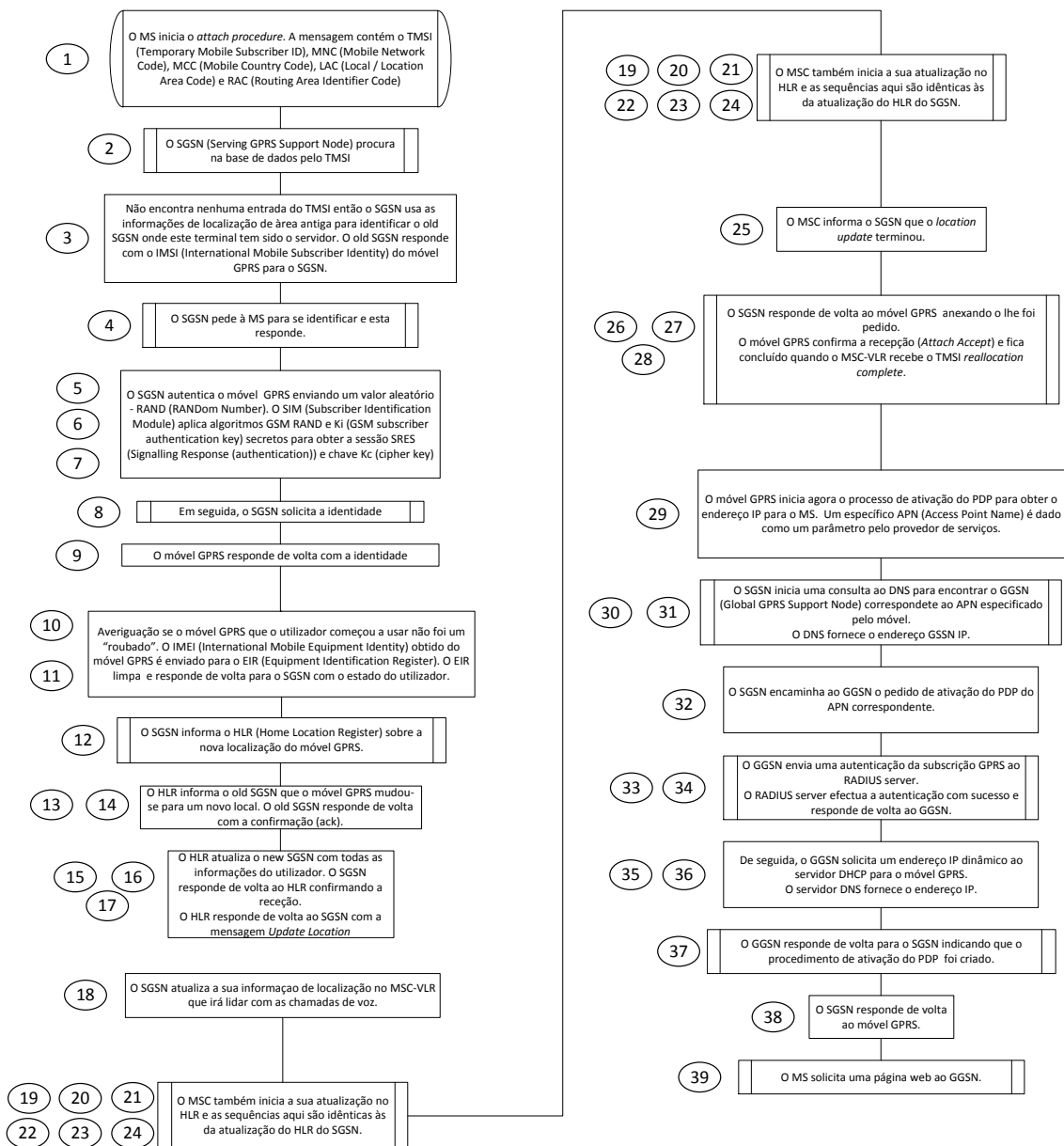


Figura 30 - Fluxograma da troca de mensagens [41][42][43][44][45][46]

De forma a simplificar todo o processo de troca de mensagem no *packet-switch* é apresentado também, uma imagem que demonstra os diversos elementos de rede e as mensagens trocadas entre eles.

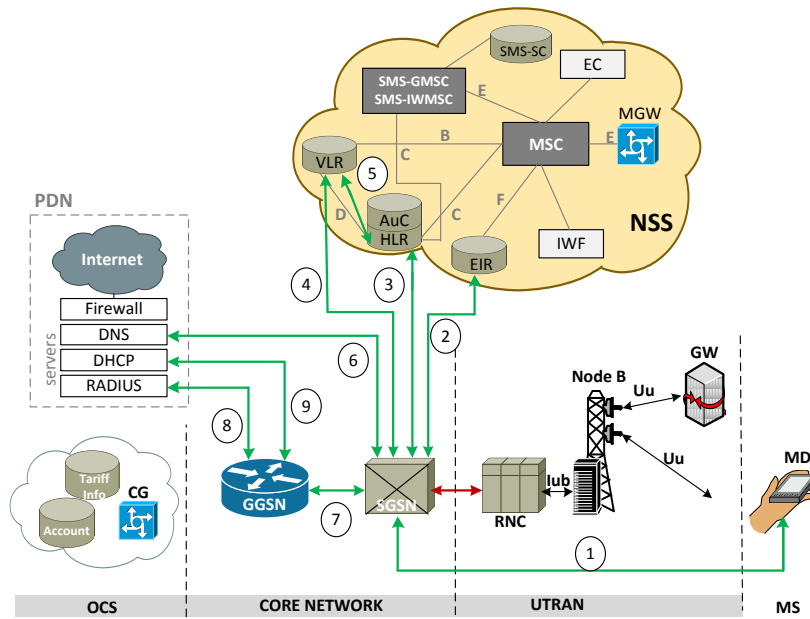


Figura 31 - Elementos de rede e a troca de mensagens [41][42][43][44][45][46]

As mensagens que são trocadas entre os diversos elementos de rede são as seguintes:

- | | | | | | | |
|---|--|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| ① | GMM Attach Request
TMSI, MNC, MCC, LAC, RAC | Identify Request
TMSI | Identify Response
IMSI | Identify Request | Identify Response | Authentication Request
RAND |
| | Authentication Response
SRES | Identify Check Request | Identify Check Response | Activate PDP Context
APN | Activate PDP Context Accept | |
| ② | IMEI Check Request | IMEI Check Response | | | | |
| ③ | Insert Subscriber Data | Insert Subscriber Data Ack | Update Location Ack | Cancel Location | | |
| | Cancel Location Ack | Insert Subscriber Data | | | | |
| ④ | Location Updating
Request | Location Updating Accept | TMSI Reallocation Complete | | | |
| ⑤ | Update Location | Cancel Location Ack | Cancel Location Ack | Insert Subscriber Data | | |
| | Insert Subscriber Data Ack | Update Location Ack | | | | |
| ⑥ | DNS Query
APN | DNS Response
GGSN IP Address | | | | |
| ⑦ | Create PDP Context Request
PAP, CHAP, PDP Request | Create PDP Context Response | | | | |
| ⑧ | Radius Authentication Request
PAP, CHAP | Radius Authentication Response | | | | |
| ⑨ | DHCP Address Request | DHCP Address Response | | | | |

Figura 32 - Mensagens trocadas entre os elementos de rede [41][42][43][44][45][46]

Seguidamente, estão ilustrados os elementos de rede e os interfaces da arquitetura UTMN, incluindo UTRAN e rede *core*.

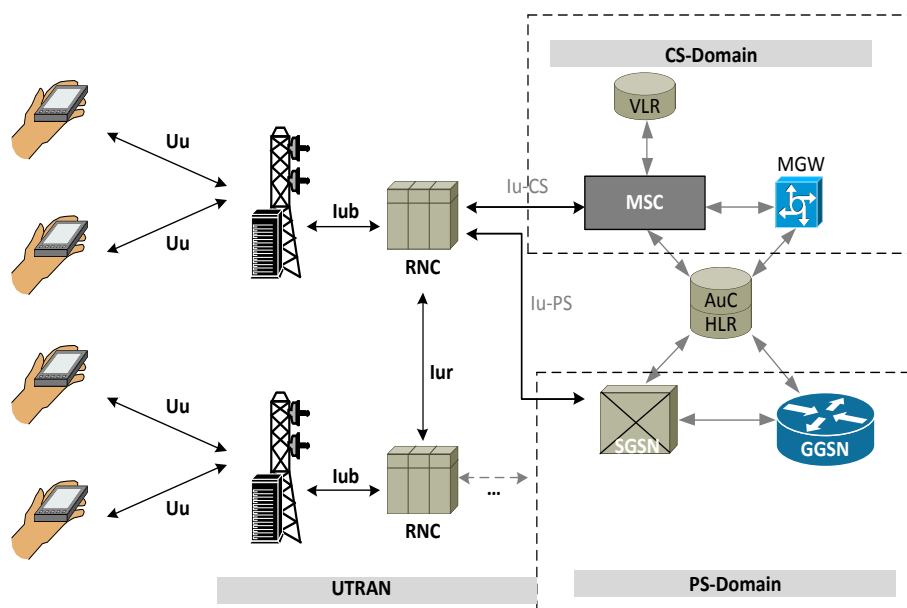


Figura 33 - Elementos de rede e interfaces da arquitetura UMTS [30]

O domínio UTRAN é responsável pela gestão da interface rádio com o equipamento móvel, sendo constituído pela estação base, que se designa por Node B que é controlada pelo *Radio Network Controller* (RNC). O Node B é semelhante à BTS no GSM, tendo em conta que, é responsável por converter bits em *radio frequency* (RF) e vice-versa pois, existem *transceivers* dentro do Node B em que, um *transceiver* define uma célula. A principal tarefa do Node B é a conversão de dados provenientes e destinados ao interface radio Uu. Um Node B serve, normalmente, várias células. Não há distinção entre o tráfego PS e CS no Node B e o UE pode ter tráfego PS e CS simultaneamente. O Node B liga-se com o UE através do interface *radio* Uu e com o RNC através da interface baseado no Iub ATM. O Node B mede a qualidade da ligação e determina a taxa de erros transmitindo esses dados para o RNC.

A RNC separa o tráfego PS do tráfego CS e envia os dados para a *Mobile Services Switching Center* (MSC) ou para o *Serving GPRS Support Node* (SGSN). Uma tarefa importante da RNC é o controlo da entrega, ou seja, decide quando deve realizar uma transferência. O RNC é o componente central do UTRAN e é responsável pela gestão dos recursos de rádio sendo, também, responsável pela cifragem/codificação.

O UMTS define quatro novos interfaces:

- Uu: Interface entre o equipamento do utilizador (UE) e Node B.
- Iu: Interface entre RNC e o *Mobile Services Switching Center/Visitor Location Register* (VLR) ou *Serving GPRS Support Node*:
 - Iu-CS para dados *circuit-switched*
 - Iu-PS para dados *packet-switched*

- Iub: Interface entre o RNC e o Node B.
- Iur: Interface entre RNCs

A rede *core* (CN) tem como principal função a comutação e encaminhamento da informação dos utilizadores que se subdivide em dois domínios: a comutação de circuitos e a comutação de pacotes. A comutação de circuitos (*Circuit Switched –CS*) consiste no MSC/VLR e numa gateway GMSC (*gateway GPRS support node*), por outro lado, a comutação de pacotes (*Packet Switched –PS*), baseada no GPRS, consiste num nó de suporte do GPRS denominado de SGSN e numa *gateway* para as redes comutação de pacotes GGSN. Determinados elementos de rede, como o *Equipment Identify Register* (EIR), o *Home Location Register* (HLR), o VLR e o *Authentication Center* (AuC), são partilhados pelos dois domínios. O elemento de rede MSC tem como principais funções alocar conexões móveis, rastrear informações, gerir handovers de estações base vizinhas e serviços dos assinantes. Assim sendo, o MSC mantém o perfil do assinante no seu VLR por tanto tempo quanto o assinante está dentro da sua área de cobertura e executa a autenticação quando necessário, além disso, recolhe dados e realiza controlo de chamadas. Cada MSC tem um VLR.

O VLR contém informações sobre os assinantes móveis e que estão em *roaming* na sua área de cobertura. Quando a estação móvel verifica uma área de cobertura VLR, esta informação é, também, passada para o Home Location Register (HLR) que é responsável pela informação do utilizador móvel. Por outro lado, o VLR recebe informações atualizadas sobre as autenticações do utilizador móvel a partir do HLR.

O HLR é um banco de dados que contém a principal cópia do perfil do serviço do utilizador. Há, ainda, bancos de dados adicionais, como por exemplo, o AuC que é, geralmente, uma parte do HLR e é utilizado por razões de segurança. Quando um utilizador executa um "*IMSI attach*" e "*GPRS attach*", o HLR fornece o perfil do assinante para os “nós” correspondentes juntamente com a informação de segurança relevante gerada pelo AuC. O AuC lida com toda a segurança de cada assinante e identifica-o. Embora o HLR e VLR executem funções de autenticação, é o AuC que comunica o “OK” e que permite ao assinante proceder ao estabelecimento da comunicação. Há uma outra base de dados que pode ser ou não implementada dentro do HLR - o EIR, que se encarrega de validar o equipamento móvel. O EIR é uma base de dados central antifraude que valida o número IMEI bem como as chamadas que são feitas numa rede móvel. O EIR contém listas negras, brancas ou cinzentas de números de equipamentos com os seguintes significados:

- Negra: o equipamento não está autorizado a ser usado na rede;
- Branco: equipamento está ok;
- Cinza: mantenha este equipamento sob observação.

É de destacar os elementos de rede *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) e o *Serving Gateway Support Node* (SGSN), que têm um papel fundamental na rede. O GGSN é um componente

principal da rede GPRS e é o ponto fixo que permite ao terminal do utilizador a mobilidade entre GPRS/UMTS. O mesmo atua como interface com a rede externa de pacotes, ou seja, é a interface de rede externa para os vários SGSN. O GGSN converte os pacotes GPRS vindos do SGSN em diferentes formatos para um protocolo de dados apropriado, isto é, um *Packet Data Protocol* (PDP) e envia-o para a rede externa correspondente. Um SGSN pode encaminhar os seus pacotes para diferentes GGSNs. O GGSN armazena endereços e *profiles* dos utilizador registrados no atual SGSN. Quando o GGSN recebe dados endereçados a um utilizador específico consegue verificar se o utilizador está ativo e se o utilizador estiver ativo, o GGSN transmite os dados para o SGSN de serviço do utilizador móvel mas, se o utilizador móvel estiver inativo, os dados são descartados. Desta forma, o SGSN entrega pacotes de dados das estações móveis e para as estações móveis dentro da sua área de serviço. O registo de localização do SGSN armazena informações de localização. O SGSN apresenta algumas características de autenticação e mobilidade. Em suma, cada elemento de rede desempenha um conjunto de determinadas funções.

Caso se verifique a existência de falhas em determinado equipamento da rede, esta deve comportar-se de forma semelhante quando não existem erros pois, a maior parte dos equipamentos devem apresentar redundância. A redundância pode ser ao nível local ou pode ser utilizado outro ponto geográfico para a resolução da falha existente.

No que diz respeito às ligações físicas e/ou lógicas existem quase sempre duas ou mais proteções (*main* e *spare*), pois caso se verifique a existência de uma falha numa ligação há sempre uma ligação de *backup* que pode assegurar o normal funcionamento da rede.

Na rede *core*, a maior parte dos equipamentos (SGSN, GGSN, MSC, HLR, EIR, VLR, AuC) devem apresentar também redundância, o que significa que, caso haja algum problema, deve existir outro equipamento que irá suportar/replicar as suas funções. No entanto, quando ocorrem determinadas falhas em determinados equipamentos, como é o caso do HLR, VLR ou EIR, pode correr-se o risco de perder algumas informações ou alguns registos, não conseguindo obter mais essas informações. Se o SGSN apresentar falhas, pode perder-se a troca de pacote de dados no sistema, por outro lado se o GGSN apresentar falhas pode perder-se a interface com a rede externa de pacotes (Internet), ou seja, este equipamento já não irá converter os pacotes GPRS vindos do SGSN para o formato PDP adequado e não os enviará para a rede externa correspondente.

Se ocorrer um problema ao nível da RNC, como por exemplo um problema de uma carta, deverá haver sempre outra carta que assegurará o seu normal funcionamento, o mais importante é monitorizar sempre, o serviço deste equipamento (24 horas por 7 dias por semana) para que o funcionamento seja sempre contínuo. Se o problema for ao nível da célula (Nobe B), o funcionamento desta poderá ser, normalmente, assegurado pelas células vizinhas existindo a

ocorrência de *handovers*, contudo depende do planeamento da rede e das opções da operadora, pois os custos podem-se tornar elevados.

Quando há a criação, exclusão ou modificação de elementos de rede o operador deve certificar-se de que, com a operação, não há um impacto incontrolável na rede e, para isso deve ter sempre em conta os aspetos de segurança e as alterações na configuração de rede devem ser realizadas apenas por pessoal autorizado.

No que diz respeito às mensagens trocadas entre os elementos de rede apresentados anteriormente (chamada de voz CS e acesso a um *web browser*), estas mensagens funcionam com base em *timeouts*. Quando uma mensagem é enviada é iniciada uma contagem no emissor que fica a aguardar confirmação do destinatário. Caso essa informação seja recebida corretamente o destinatário envia um *Acknowledge* (ACK) a confirmar a sua receção. Se o destinatário não enviar um ACK e o contador exceder o tempo previsto, o emissor envia novamente a mensagem, tendo em conta que, existe um limite para o número de vezes que a mensagem pode ser enviada. Se o número de vezes que a mensagem pode ser enviada for atingido, o processo é interrompido e a mensagem será descartada.

É essencial que um operador seja capaz de fazer alterações e corrigir os problemas rapidamente com o mínimo esforço e, essencialmente, se possível, sem afetar os serviços ao utilizador.

O ciclo de vida de uma rede pode ser dividido em 3 fases:

1. Instalação da rede e colocação, da mesma, em serviço;
2. Modificação da rede de forma a satisfazer alguns requisitos e essas modificações podem perturbar a estabilidade da rede e pode ser necessário a realização de otimização da rede novamente;
3. Com base na performance da rede, esta é ajustada para atender às necessidades a longo prazo tendo em conta a capacidade e o número de utilizadores.

O operador deve ser capaz de resolver incidentes que surjam no imediato, como por exemplo, se for necessário uma reconfiguração dos parâmetros dos elementos de rede e/ou conseguir adaptar-se às exigências do dia-a-dia, como será abordado no capítulo 4 - parâmetros de otimização e KPIs.

3.3 Retrospectiva e prospetiva

Uma nova era na comunicação móvel teve início em 1990 pois, foram implantados pela primeira vez os sistemas de segunda geração. A principal diferença entre os sistemas 2G e 1G é que a transmissão através do ar passou a ser digital, assim os serviços de dados passaram a ser facilmente integrados e, além disso, a qualidade dos sistemas digitais são melhores e mais eficientes devido à

utilização de frequências. No entanto, os sistemas 2G foram projetados para voz visto apresentarem uma taxa de dados bastante baixa.

3.3.1 GSM vs UMTS

O *Global System for Mobile* (GSM) é o sistema 2G mais bem-sucedido pois fornece recursos avançados, bem como, serviços complementares. Este permite o encaminhamento de chamadas, a visualização de quem está a ligar, o acesso à Internet e o envio de SMS's. Para aumentar a velocidade de dados, a rede GSM é reforçada pelo *General Packet Radio Service* (GPRS), o que resulta numa rede 2.5G.

Os novos serviços podem beneficiar de taxas de transferência muito mais elevadas, bem como de uma evolução dos serviços e de novos modelos de telefones. Os sistemas 2.5G introduziram a transferência de pacotes para aumentar as taxas de dados. Por outro lado, os sistemas 3G integraram e melhoraram a qualidade dos serviços existentes, bem como, permitiram a integração de novos serviços sendo estes mais flexíveis. O 3G foi padronizado globalmente e foram tomadas considerações especiais para reduzir os custos nos dispositivos e nas redes móveis.

As redes UMTS com base em TDD e FDD encontram-se implementadas na Europa e visam oferecer serviços multimédia (videochamadas, videoconferência e acesso rápido à Internet) devido às altas taxas de transferência de dados. Para além das altas taxas de transferência de dados em tempo real e do seu rendimento, o UMTS oferece maior qualidade nos novos serviços e aplicações. O sistema de GSM é uma banda estreita e o UMTS é um sistema de banda larga. O 3G utiliza uma largura de banda de canal superior sobre a interface de ar em comparação ao sistema GSM. O 3G usa uma largura de banda de 5 MHz (*Mega Hertz*) nos canais enquanto, o GSM usa apenas 0,2 MHz por canal. No que diz respeito aos serviços, o sistema 3G introduz um conceito novo - o *Bandwidth On Demand*, ou seja, o uso da banda larga se necessário, desta forma, a largura de banda não será desperdiçada e as taxas de dados são flexíveis (cada utilizador pode obter no acesso à Internet até 384 kbit/s). Por outro lado, um utilizador de voz terá uma largura de banda entre 4,75 kbits/s e 12,2 kbits/s.[47]

Quando se utiliza o UMTS para se realizar uma chamada de voz, pode-se ter uma conexão até três antenas, o que faz com que a qualidade da chamada seja alta, ou seja, se perdemos a conexão a uma das antenas as outras duas asseguram a chamada. Isto significa que sempre que a cobertura UMTS existe, o utilizador está conectado à rede UMTS. Se nenhuma rede UMTS se encontrar disponível é a rede GSM/GPRS que é utilizada. Ao entrar na rede UMTS a chamada é transferida de GSM para

UMTS sem interrupção, para usar o aumento da largura de banda do UMTS, o que faz com que o utilizador tenha total mobilidade em diferentes regiões.

O GSM foi destinado, principalmente, para o transporte de voz, da qual advém o nome *circuit switched*, que significa que uma conexão fixa é estabelecida e é, também, fixa uma largura de banda reservada durante toda a chamada. Estes recursos não podem ser utilizados por diferentes utilizadores e a taxa máxima possível de dados na rede GSM sem GPRS é de 14,4 kbit/s enquanto, o GPRS atinge um valor máximo teórico de 53,6 kbit/s. Uma característica muito importante no UMTS são as altas taxas de bits. A combinação de CDMA e a utilização de uma banda de frequência relativamente larga de 5 MHz, permite taxas de bits até 384 kbit/s. Devido à combinação do CDMA e de uma grande largura de banda de frequência, o UMTS é muitas vezes referido como *Wideband-CDMA* (W-CDMA). O W-CDMA, também conhecido como *Frequency Division Duplex* (FDD), é uma tecnologia de transmissão de rádio que consiste na variação do princípio do CDMA mas com grandes larguras de banda. Este é, principalmente, utilizado na Europa quando se migra de GSM para UMTS. Todos os telefones UMTS são compatíveis com a rede de rádio UMTS e, também, com as redes de rádio GSM/GPRS existentes.

Em GSM cada equipamento móvel mantém a ligação a uma única antena e, quando se deslocam para a área de cobertura de uma outra antena, esta conexão tem que ser transferida para uma nova antena. Quando as conexões sofrem más condições na interface de rádio ou algo der errado durante o processo de mudança ocorre uma queda. Contudo, no CDMA, todos os móveis usam a mesma frequência de modo que, uma conexão pode ser mantida no máximo com três antenas, sendo especialmente vantajoso quando existem as transições móveis entre a antena (*soft-handover*) em que recebe alta qualidade, além disso, é muito improvável, ter três ligações a falhar ao mesmo tempo.

O UMTS e o GSM atribuem recursos de uma maneira diferente aos respetivos utilizadores e conectam vários utilizadores a uma estação base ou Node B. A forma como os recursos de uma estação base ou Node B são atribuídos aos vários utilizadores designa-se por multiplexação. O GSM utiliza uma combinação de TDMA e FDMA em que até oito utilizadores compartilham uma frequência dividida no tempo e uma antena suporta até doze frequências. A cada utilizador é atribuído um determinado *timeslot* numa determinada frequência e esta combinação representa o canal de transmissão do utilizador individual. Para chamadas de voz em GSM, cada utilizador recebe um canal exclusivo atribuído para a duração da chamada. O GPRS utiliza os mesmos canais de transmissão de voz GSM para o transporte de dados, no entanto, em GPRS estes canais de transmissão não são atribuídos exclusivamente a um utilizador mas sim a vários utilizadores se necessário, ou seja, os utilizadores compartilham os canais de transmissão e o GPRS atinge maiores

taxas de dados do que GSM, tendo em conta que, são combinados vários canais para a transmissão paralela.

Os sistemas 3G reutilizam recursos de segurança 2G e melhoram-nos incluindo, por exemplo, uma codificação que torna os algoritmos utilizados mais fortes, seguros e mais difíceis de decifrar.

O UMTS revolucionou as redes móveis, da mesma forma que, a Internet transformou o mundo das tecnologias de informação.

3.3.2 UMTS vs LTE

O LTE foi o nome designado para o sistema 4G especificado pelo 3GPP. Em 2004, mesmo sem o HSDPA implementado, o 3GPP iniciou o seu trabalho no *Long Term Evolution* (LTE) começando por definir as suas metas para estar pronto no momento necessário. Nos EUA, o sistema 4G está associado à *International Mobile Telecommunications-Advanced* (IMT-Advanced) embora, o 4G seja um termo mais amplo e pode incluir padrões externos ao IMT-Advanced.[48][49]

Como objetivos primordiais desta tecnologia destacam-se as baixas latências, a melhoria da eficiência espectral, o débito elevado e a arquitetura plana que permitirá uma melhoria nos serviços e, também, a diminuição/otimização na estrutura dos custos para o operador e, conseqüentemente, para o utilizador. O requisito maior é sempre o *Quality of Service* (QoS) que deve ser fornecido nas aplicações, em mensagens multimédia (MMS), video chat, mobile TV, conteúdo HDTV e DVB. Desta forma, no LTE espera obter-se:

- maiores taxas de dados tanto em *downlink* como em *uplink* (superior a 100Mbps de pico no *downlink* e 50Mbps no *uplink*);
- uma maior eficiência espectral 2-4 vezes mais do que no HSPA (Release 6);
- um *round trip delay* <10ms;
- uma comutação de pacotes otimizada (redução da latência nos pacotes);
- planeamento de rádio flexível (arquitetura *flat*: com base em IP, interfaces abertas, rede simplificada e otimização no terminal de alimentação);
- alta eficiência espectral;
- experiência do utilizador mais ágil;

Um sistema 4G pode melhorar as redes de comunicação existentes e espera-se que forneça uma solução IP segura nos equipamentos, dando aos utilizadores taxas de dados muito mais elevadas ("*Anytime, Anywhere*") em comparação com as gerações anteriores. Logo, o LTE visa ser confiável e com melhor desempenho em comparação com as redes 3GPP existentes.

No que diz respeito ao modo de acesso em LTE, esta tecnologia utiliza em *downlink* o *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access* (OFDM) em que as modulações utilizadas são o *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), o 16QAM (QAM- *Quadrature Amplitude Modulation*) e o 64QAM. Em *uplink*, o LTE utiliza o *Single Carrier – Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) com modulações de 64QAM, QPSK e 16QAM. Com o LTE pretende-se aumentar o ritmo binário e obter melhor cobertura, como tal, utiliza uma tecnologia *Multiple-Input-Multiple-Output* (MIMO) que consiste em utilizar múltiplos transmissores e recetores.

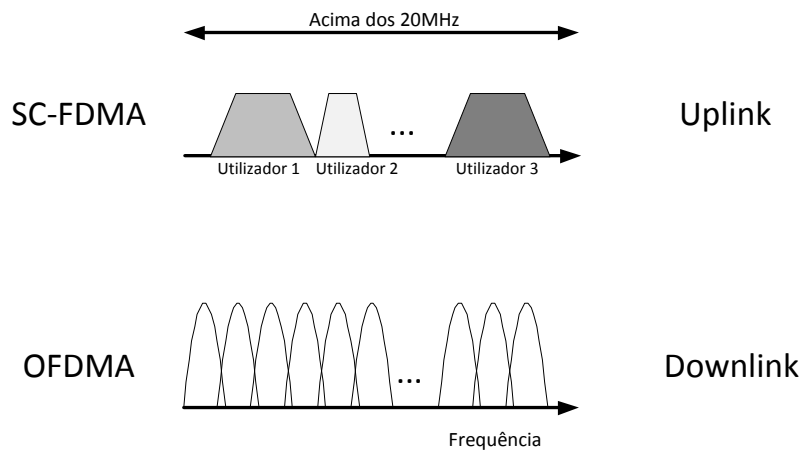


Figura 34 - Esquema de acesso no LTE [33]

A rede de acesso no LTE e a rede de pacotes de *core* estão a evoluir para uma arquitetura plana *System Architecture Evolution* (SAE) com o objetivo de simplificar a rede, otimizar o seu desempenho com o uso de serviços IP obtendo, assim, melhores custos. A arquitetura plana reduz o número de nós entre ligações sendo uma mais-valia no LTE. Os domínios que sofreram grandes alterações foram o *Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) e o *Evolved Packet Core* (EPC) em que, as eNode B (antigos Node B) conseguem comunicar diretamente com outras eNode B sem a ajuda de um elemento concentrador e/ou controlador (*Radio Network Controller* - RNC) visto possuírem essa função. O EPC apresenta também grandes alterações, visto que agora trabalha somente com transmissão IP, pois retiraram a comutação por circuitos de forma a obter uma economia de recursos e a voz é tratada como pacote.

4. Aspetos de Planeamento de redes UMTS

Aquando da criação de uma rede UMTS é necessário realizar um bom planeamento para obter o melhor desempenho da mesma, sendo que, para analisar esse desempenho será necessário recolher os índices de performance (KPIs) que permitem a visualização do comportamento da rede. Com base na análise dos KPIs de desempenho da rede pode verificar-se a necessidade de se realizar uma otimização para obter o desempenho desejado. Tendo em conta a performance da rede surge, por vezes, a necessidade de se efetuar a previsão de um comportamento futuro da mesma com o intuito de antecipar um desempenho indesejável da rede. De forma a antecipar esses comportamentos indesejáveis e tendo por base o histórico de dados, pode recorrer-se à utilização de modelos matemáticos.

Neste seguimento, importa referir que, dentro dos vários aspetos de planeamento e das várias formas de otimização apresentadas, a que vai ser considerada no caso de estudo está relacionada com a otimização de uma rede já existente que pretende tentar prever qual será a evolução dessa mesma rede num futuro próximo. Assim sendo, a previsão será realizada com base num histórico de dados referente a um período de duas a três semanas, tendo em conta que, na análise dos dados poderá verificar-se um regime de funcionamento diferente da rede. Esta diferença de regime de funcionamento da rede pode estar relacionada com vários fatores que condicionam as alterações de comportamento da rede como por exemplo as épocas festivas, a sazonalidade ou a construção de grandes superfícies nas imediações na zona de análise, entre outros. Assim sendo, será necessário prever o comportamento da rede com o intuito de minimizar o impacto causado por esses fatores. Assim sendo, neste capítulo, serão abordados os seguintes tópicos: o ciclo de planeamento; o ciclo de otimização; índices de desempenho (KPIs); previsão, modelos matemáticos e tendências e, por último, casos de estudo tendo por base os KPIs de *success ratio* (Voz e Dados).

4.1 O Ciclo de Planeamento

O planeamento de uma rede é um processo complexo e que consiste em várias fases. A dificuldade do planeamento da rede é combinar todos os requisitos de forma a otimizar o seu desempenho com um baixo custo para o operador. Antes do planeamento deve ser feito um estudo de mercado com base nas principais informações: a zona geográfica alvo, a área de cobertura, os serviços necessários, os custos dos equipamentos, os utilizadores alvo, entre outras. Com base nesses fatores e na situação atual do mercado é possível criar uma estratégia de implementação de uma rede, tendo em conta que, os requisitos básicos são a qualidade e a cobertura. Dependendo da zona

geográfica verifica-se que a propagação das ondas via rádio varia, ou seja, deve ter-se em conta se é uma zona rural, suburbana ou urbana e quais as principais diferenças entre as mesmas (os requisitos de cobertura e de capacidade são diferentes). Cada zona pode apresentar áreas de planeamento distintas e, tendo em conta a área planeada, as interferências internas e externas causadas por edifícios, estradas e outros locais são fatores que podem ter impacto no planeamento da gama de frequências e que podem levar à minimização da propagação. Pode, também, verificar-se que os fatores ambientais afetam o planeamento da rede. A faixa de frequência é um recurso limitado e por isso, deve ter-se em conta esse fator a quando do planeamento de uma rede.[50]

Todos os fatores mencionados anteriormente - a análise de mercado, as exigências do operador, fatores ambientais - ajudam a definir os parâmetros para o planeamento e construção da rede. Devido a vários fatores e parâmetros no processo de planeamento da rede é necessária uma otimização com o intuito de obter uma rede que apresente o máximo desempenho possível. Por outro lado, há sempre o custo-eficiência, ou seja, o dinheiro que o operador quer investir que se traduz no custo e se o investimento se verifica rentável e benéfico, que se traduz na eficiência. A eficiência da rede pode refletir-se na qualidade do serviço através do investimento que, posteriormente irá gerar lucros através das receitas.[51]

De seguida é apresentado um esquema que resume os passos efetuados no planeamento de uma rede.

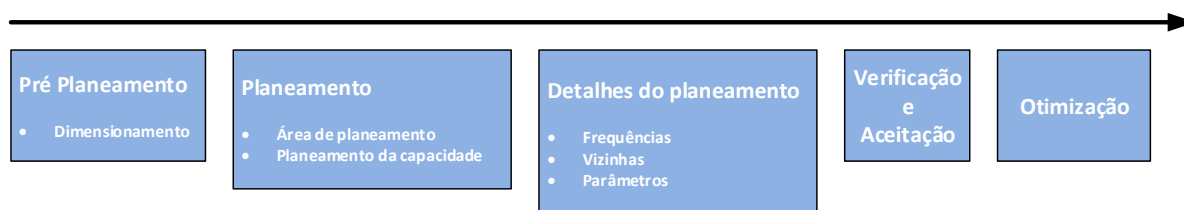


Figura 35- O ciclo de planeamento [50]

As cinco etapas principais no processo de planeamento de rede são: o pré planeamento, o planeamento, os detalhes do planeamento, a verificação e aceitação e, por fim, a otimização. No seguinte tópico dar-se-á destaque ao ciclo de otimização de uma rede com foco nos contadores (KPIs).

4.2 O Ciclo de Otimização

A otimização de uma rede UMTS visa melhorar a qualidade da rede e assegurar que os recursos de rádio sejam utilizados eficientemente para uma boa prestação de serviços aos utilizadores. Uma tarefa de otimização na rede envolve um grande número de variáveis que pode ser vista como um ciclo realimentado conforme se verifica na seguinte figura - ciclo de otimização.

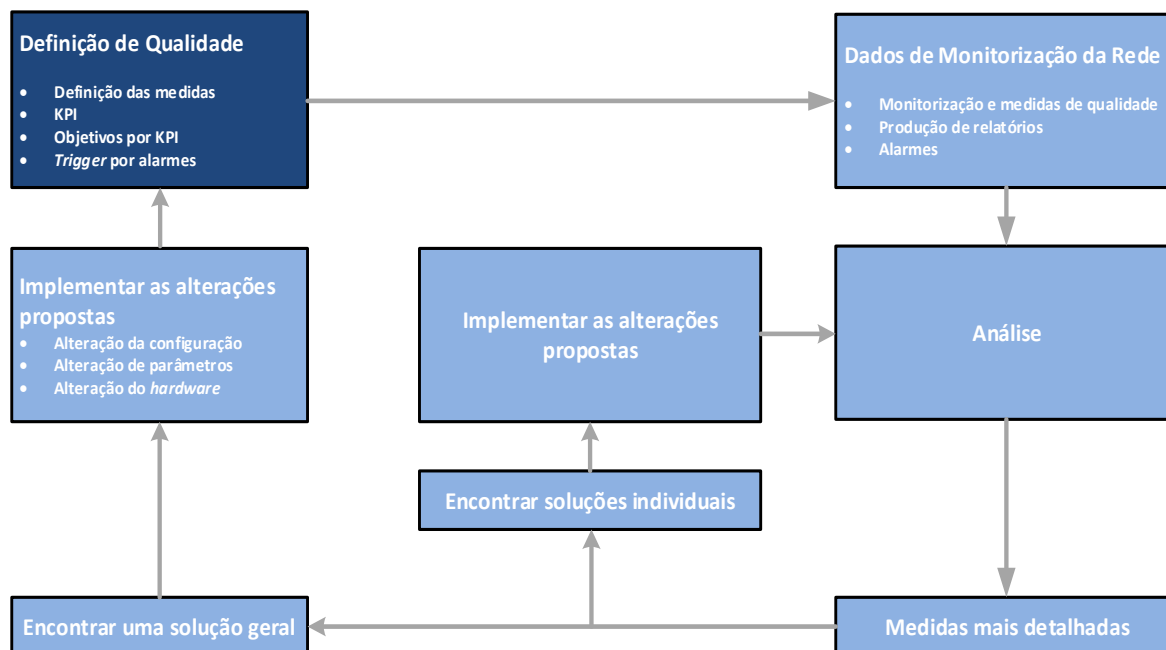


Figura 36 – O ciclo de otimização [52]

O ciclo inicia-se na definição de qualidade e termina quando esses critérios de qualidade propostos pelo operador são alcançados. Na definição de qualidade, existem vários critérios que são requisitados, tanto ao nível do serviço como ao nível dos indicadores chave de desempenho (KPIs). A fase seguinte é a fase dos dados de monitorização da rede em que, os relatórios de KPIs são produzidos e os dados de performance (por exemplo: *Drive Tests*) são recolhidos para posterior análise. Com base nessa análise pode-se verificar a existência de áreas problemáticas na rede e encontrar soluções para otimizar a rede.[52]

As alterações na rede podem ser ao nível de parâmetros *soft* (*Radio Resource Management* – RRM, como por exemplo, as janelas de *handovers* ou nível máximo do fator de carga) ou *hard* (*hardware* como por exemplo, alteração do *tilt* da antena, número de setores, introdução de nova portadora ou de novos sites). A alteração ao nível de *hardware* só deve ser considerada quando não for possível atingir os objetivos através da otimização de parâmetros, visto ser uma solução mais dispendiosa. Desta forma, são realizadas as correções que afetam a qualidade reportada após a análise até que a qualidade desejada seja atingida (definida pelo operador). Após a otimização ser realizada e as

alterações na rede serem efetuadas é necessário comparar ambas as performances (antes e após as alterações), pois estas podem causar impacto na rede e esse impacto pode ser ao nível das células adjacentes e/ou noutros subsistemas de células.[53]

A otimização é, desta forma, um ciclo contínuo de monitorização e de correção.

4.3 Indicadores chave de desempenho (KPIs)

As redes UMTS requerem eficiência e qualidade nos serviços que fornecem, devendo demonstrar-se mais inteligentes, eficientes e capazes para encarar o crescimento das necessidades do utilizador, ou seja, na qualidade de serviço ao nível do tráfego, do software, entre outros. Nas redes móveis são necessários indicadores que permitam medir o funcionamento da rede identificando falhas e problemas existentes. Para que se possa caracterizar a rede móvel são necessários indicadores e métricas que permitam realizar essa análise de forma mais profunda para se obter um melhor desempenho da rede.

Os KPIs fornecem informações úteis para analisar o serviço prestado, em que esta análise permite a resolução dos problemas existentes e, desta forma, alcançar a qualidade do serviço para obter o desempenho desejado na rede.[54]

Antes de escolher qualquer KPI é importante que as operadoras apresentem as suas estratégias de negócios e quais os objetivos, pois deve ser estabelecido um processo de definição de KPIs, como se pode verificar na seguinte figura.



Figura 37 – Definição de KPI [55]

Em primeiro lugar as operadoras devem ser claras ao definir as necessidades de modo a identificar os KPIs que irão ser necessários para satisfazer esses requisitos e conduzir todo o processo.

O passo seguinte é construir os KPIs ou utilizar KPIs já criados com base nas necessidades da operadora, no entanto, é importante considerar três aspetos: primeiro, é necessário verificar se os tipos de KPIs são desejáveis para a operadora; segundo, é necessário identificar se o processo de recolha dos dados para a construção de KPIs reúne as condições necessárias e, por fim, é necessário garantir que os KPIs atendam às expectativas desejadas em termos de qualidade. Pode, então, referir-se a importância de estabelecer processos internos adequados para garantir a disponibilidade e confiabilidade dos dados.[56]

Uma vez que os dados são registados e armazenados, existem KPIs para medir o desempenho de uma rede ou dos elementos de rede num determinado período de tempo. Com base nos dados recolhidos, a operadora está preparada a definir as suas métricas de acordo com as suas necessidades. A definição de métricas e a análise correta de KPIs permite que as operadoras possam identificar as suas lacunas e facilitar a sua tomada de decisão na otimização da rede.

Dependendo da ferramenta de recolha de dados os operadores podem ou não, ter a capacidade de projetar, plenamente, a sua estratégia de otimização. A ferramenta pode identificar quando certos parâmetros estão fora da faixa desejada ou se está para atingir determinados limites.[57]

A figura seguinte pretende apresentar a estratégia e a forma de recolha de dados.

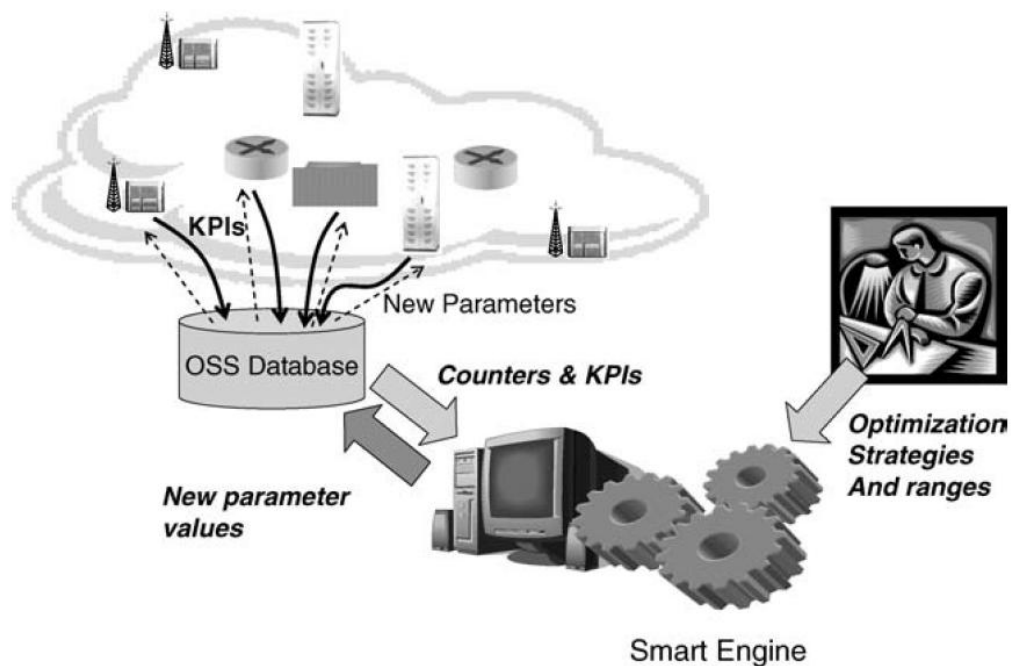


Figura 38 - Estratégia e forma de recolha de dados [54]

O desempenho da rede é muito dinâmico devido a uma série de fenômenos conforme mencionado anteriormente, entre os quais se destacam os atmosféricos/ambientais, a alteração das necessidades, a mobilidade dos utilizadores, as funções da rede e uma série de outras restrições dos utilizadores. Portanto, os operadores de rede devem analisar as tendências e o desempenho das redes para obter melhores resultados. Para obter o desempenho desejado deve ter-se em atenção determinadas situações e determinados pontos geográficos nomeadamente, épocas festivas/eventos, jogos de futebol, zonas balneares (épocas sazonais), entre outros. De certa forma, devem antecipar-se e tomar certas providências para o desempenho da rede ser sempre o melhor possível. Tendo em conta estes aspetos serão apresentados, de seguida, alguns modelos matemáticos e respetivas explicações nas previsões dos dados.[58]

4.4 Previsão, Modelos Matemáticos e Tendências

No quotidiano verifica-se, muitas vezes, a necessidade de efetuar uma previsão para poder reagir de forma antecipada a determinada incerteza (por exemplo: condições climatéricas). Ao realizar uma previsão num determinado elemento de rede o objetivo é semelhante, ou seja, antecipar as incertezas.

Neste tópico serão abordadas algumas características dos modelos matemáticos, problemáticas existentes na previsão e na análise de dados que irão ser posteriormente utilizadas nos casos de estudo.

Os dados expostos no caso de estudo advém de uma base de dados de um fornecedor de telecomunicações real (Nokia), assim sendo, o mesmo vai-se concentrar em métodos quantitativos. A ferramenta utilizada para implementação dos modelos e apresentação gráfica foi o EXCEL. Os modelos de previsão quantitativos são usados para prever dados futuros em função dos dados passados.

Dentro dos modelos e métodos existentes, o método ingénuo/simple (*Naïve method*) define que a previsão de todos os valores futuros são iguais aos da última observação. Embora à primeira vista este método possa parecer muito simples não deixa de ser uma ferramenta legítima de previsão. Outro método de previsão é o método sazonal de *Naïve* que é semelhante ao método ingénuo/simple mas a previsão é feita com base na última observação dessa época/altura.[61]

Pode, também, ser utilizado o método da média que indica que todas as previsões de todos os valores futuros são iguais à média dos dados históricos, ou seja, se \hat{y} for os valores de previsão e T o número total de observações então têm-se,

$$\hat{y} = \bar{y} = (y_1 + \dots + y_T)/T$$

O método da média dá uma previsão do valor médio nos períodos futuros e é possível verificar se a média aumenta ou diminuiu em relação ao período passado.[62][63]

Existe um grande número de métodos para a avaliação da precisão da previsão mas, o cálculo de qualquer um deles requer o conhecimento do erro de previsão. O erro de previsão e_t é dado pela diferença entre a observação real no período t e o valor previsto, ou seja,

$$e_t = y_T - \hat{y}$$

A estimativa de previsão mais comum é, provavelmente, o erro quadrado médio (MSE), em que se têm,

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n-1} e_t^2$$

em que n é o número de elementos numa sequência. Como esta fórmula apresenta o valor de erro ao quadrado é, muitas vezes, apontada como uma desvantagem devido à sua extrema sensibilidade a erros individuais ocasionais de grande valor. Em alternativa, é aconselhável usar nesses casos o erro absoluto (MAE) em que, o erro ao quadrado é substituído pelo valor absoluto do erro, ou seja,

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=0}^{n-1} |e_t|$$

Antes de aplicar qualquer modelo no estudo de qualquer série temporal é importante analisar o gráfico da série, tendo em conta que, pode revelar padrões de comportamento importantes e muitas das vezes ser facilmente identificável. Na Figura 39 pode observar-se a presença de valores incomuns no dia 12 de Junho e 21 de Junho onde se verifica uma tendência na diminuição do rendimento do tráfego CS. Quando numa observação gráfica se verifica a existência de um valor extremo, denomina-se de valor discrepante o que significa que poderemos estar na presença de *outliers* (dia 16 de Junho e 24 de Junho).

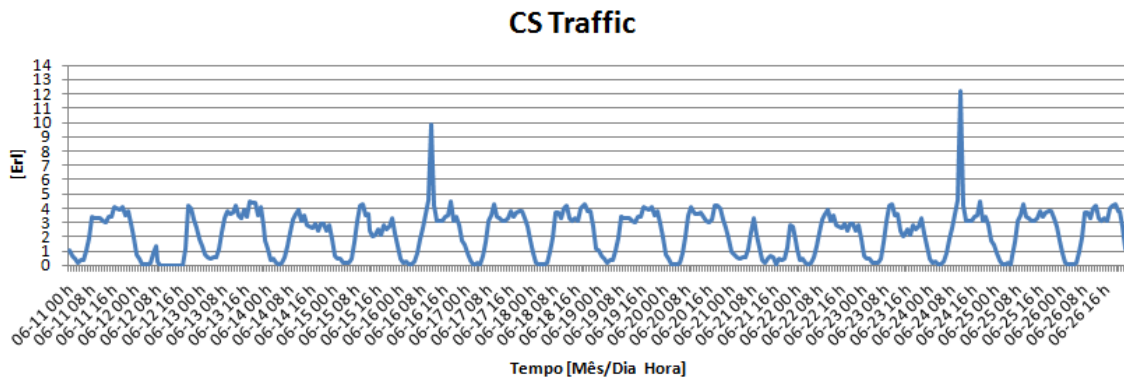


Figura 39 - Exemplo gráfico para análise

Após a análise gráfica é importante efetuar uma análise pormenorizada de uma série uma vez que a série pode apresentar uma grande variedade de padrões, ou seja, deve-se verificar a sua tendência, sazonalidade, ciclo e a componente aleatória.

Seja Y uma série temporal então temos:

- Modelo adição

$$Y = T + S + C + I$$

- Modelo multiplicação

$$Y = T \times S \times C \times I$$

Em que:

- T – é a componente de tendência que verifica no decorrer do tempo o sentido do deslocamento da série;
- S – é a componente sazonal que representa a mudança ondulatória devido a fatores sazonais;
- C – é a componente cíclica que desempenha um movimento ondulatório ao longo do que tende a ser periódico;
- I – é a componente aleatória ou ruído, também designada por componente dos resíduos ou erros, que surge devido à instabilidade nos dados.

Cada modelo apresenta determinados métodos para o cálculo de cada componente, no entanto, para calcular a componente de tendência em ambos os modos (adição e multiplicação), é utilizada a técnica de média móvel.[64]

A técnica de média móvel é um outro procedimento que é englobado na classe de filtragem. Os filtros são utilizados para detetar tendência de séries altamente inconstantes e se transformar numa série básica.[65]

O filtro de médias móveis (em inglês, *Moving Average Filter*) é uma representação alternativa de um filtro *Finite Impulse Response* (FIR) e a sua expressão pode ser apresentada da seguinte forma:

$$y(t) = \frac{1}{k} \sum_{j=0}^{k-1} x_{t-j}$$

em que x são os dados de entrada e y os dados de saída.

Para facilitar a compreensão da expressão é apresentado, de seguida, um diagrama de blocos de um filtro FIR de ordem N .

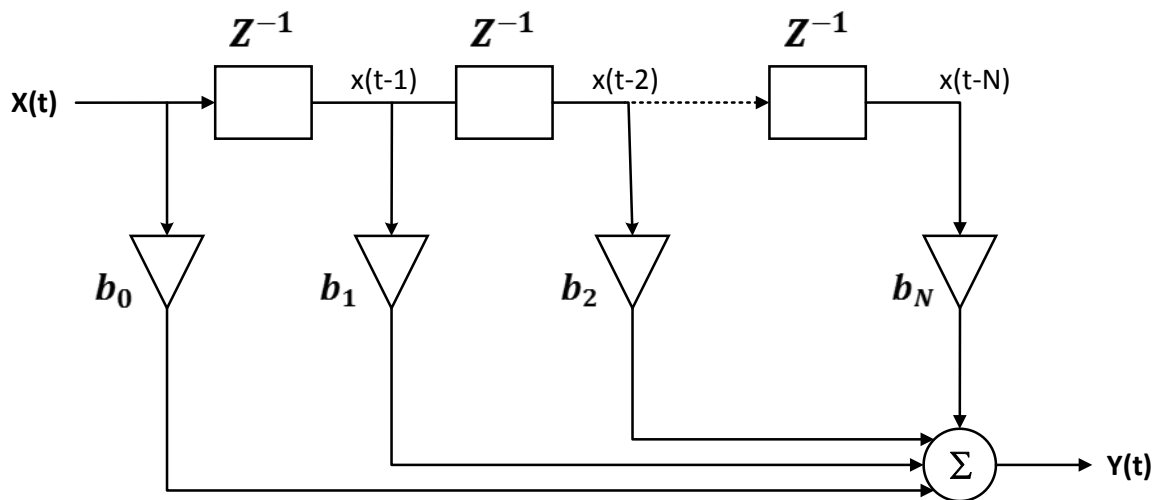


Figura 40 - Diagrama de blocos de um filtro FIR de ordem N

A estrutura de um filtro FIR é muito regular e pode ser completamente especificado uma vez definidos os coeficientes do filtro.

Na análise de séries temporais é também muitas vezes utilizado o modelo auto regressivo de médias móveis (ARMA – *Auto-Regressive* (AR) *Moving Average Models* (MA)), podendo ser utilizadas três metodologias distintas: o AR (p), o MA (q) e a combinação das duas – ARMA (p, q).

No modelo AR os valores de saída são calculados com base na regressão dos valores de saída anteriores e a sua expressão pode ser apresentada da seguinte forma:

$$y_t = \sum_{p=1}^N \phi_p y_{t-p} + e_t$$

em que:

- ϕ_p é o coeficiente de auto regressão;
- N é ordem do filtro (ou do processo AR);
- e_t é o resíduo.

O mesmo pode ser representado por diagrama de bloco de um filtro *Infinite Response Filter* (IIR) como ilustrado na figura seguinte:

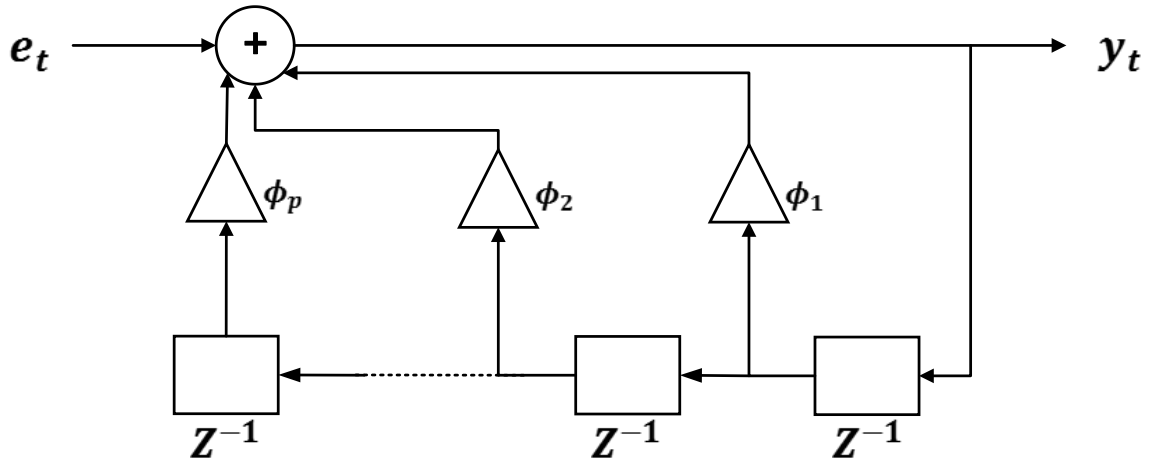


Figura 41 - Diagrama de blocos de um filtro IIR de ordem p

O modelo MA utiliza a previsão de erros passados no seu modelo. Ao representar um modelo MA de ordem q – MA (q), pode-se verificar a seguinte expressão:

$$\hat{y}_t = \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q} + e_t$$

em que:

- e_{t-q} são os resíduos do atraso q;
- θ_q são os coeficientes de média móvel (restrição de processo estacionário, $-1 < \theta_q < 1$);

Este modelo pode ser representado pelo diagrama de blocos de um filtro FIR, semelhante ao ilustrado na Figura 42 mas de ordem q:

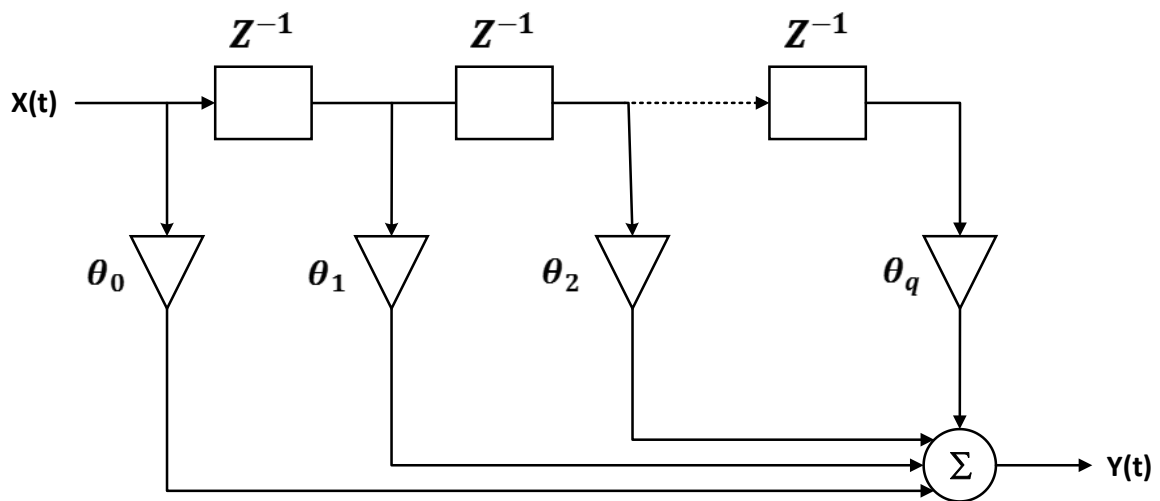


Figura 42 - Diagrama de blocos de um filtro FIR de ordem q

A combinação do modelo AR com o modelo MA, conforme abordado anteriormente, originou o modelo ARMA. O modelo ARMA pode ser apresentado pela seguinte expressão (sem sazonalidade):

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q} + e_t,$$

em que, como se pode observar, esta expressão utiliza valores desfasados de y_t e valores desfasados dos resíduos (e_t).

Se incluir a sazonalidade, o modelo ARMA representa-se por $ARMA(p,q)_s$ e a sua expressão é:

$$y_t = \phi_1 y_{t-1s} + \phi_2 y_{t-2s} + \dots + \phi_p y_{t-ps} + \theta_1 e_{t-1s} + \theta_2 e_{t-2s} + \dots + \theta_q e_{t-qs} + e_t,$$

em que:

- ϕ_p é o coeficiente AR para p -atraso;
- θ_q é o coeficiente MA para q -atraso;
- e é o resíduo;
- y_{t-ps} é a observação do atraso $p \times s$;

A construção deste modelo é influenciada pelos dados em questão e pode ser representada pelo seguinte diagrama de blocos de um filtro FIR/IRR:

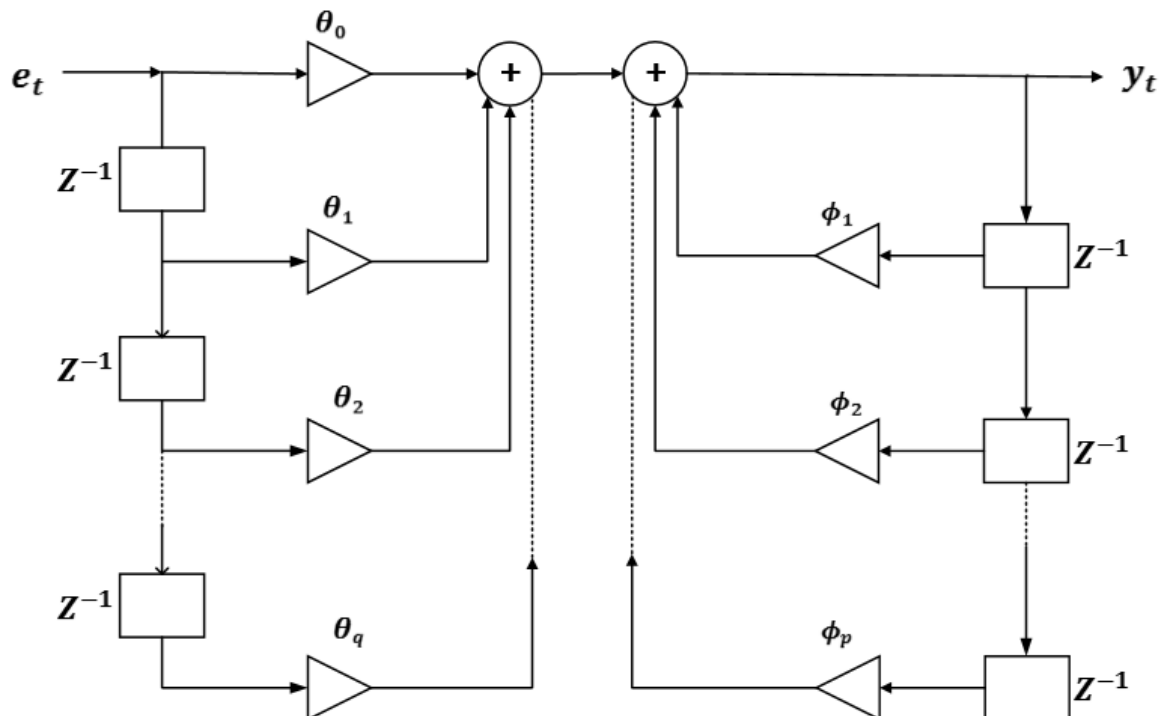


Figura 43 - Diagrama de blocos de um filtro FIR/IRR, modelo ARMA (p,q)

Quando se concretiza a diferenciação e a combinação AR (p) e MA (q) designa-se por ARIMA (p, d, q) onde:

- p - representa a ordem da componente autorregressiva(AR);
- d - representa o grau de diferenciação;
- q - representa a ordem da componente média móvel (MA).

Este método é muitas vezes utilizado na análise de séries temporais e previsões. Há uma enorme diversidade de modelos ARIMA, sendo normalmente representados por ARIMA (p,d,q), dando este origem a três modelos básicos que podem ser identificados na sua metodologia: o AR (p) (auto-regressivo), o MA (q) (média móvel) e a combinação de ambos, o ARMA (p, q).

Se um modelo não apresentar uma componente autorregressiva (AR), não envolver nenhuma diferenciação e também não apresentar a componente média móvel intitula-se por modelo de ruído branco e é classificado como ARIMA(0,0,0).

A metodologia Box-Jenkins, que tornou popular os modelos ARIMA, emprega uma estratégia de construção de um modelo de forma iterativa que consiste na seleção de um modelo inicial, no cálculo dos coeficientes do modelo e, por último, na análise dos resíduos conforme se pode observar pelo seguinte diagrama.

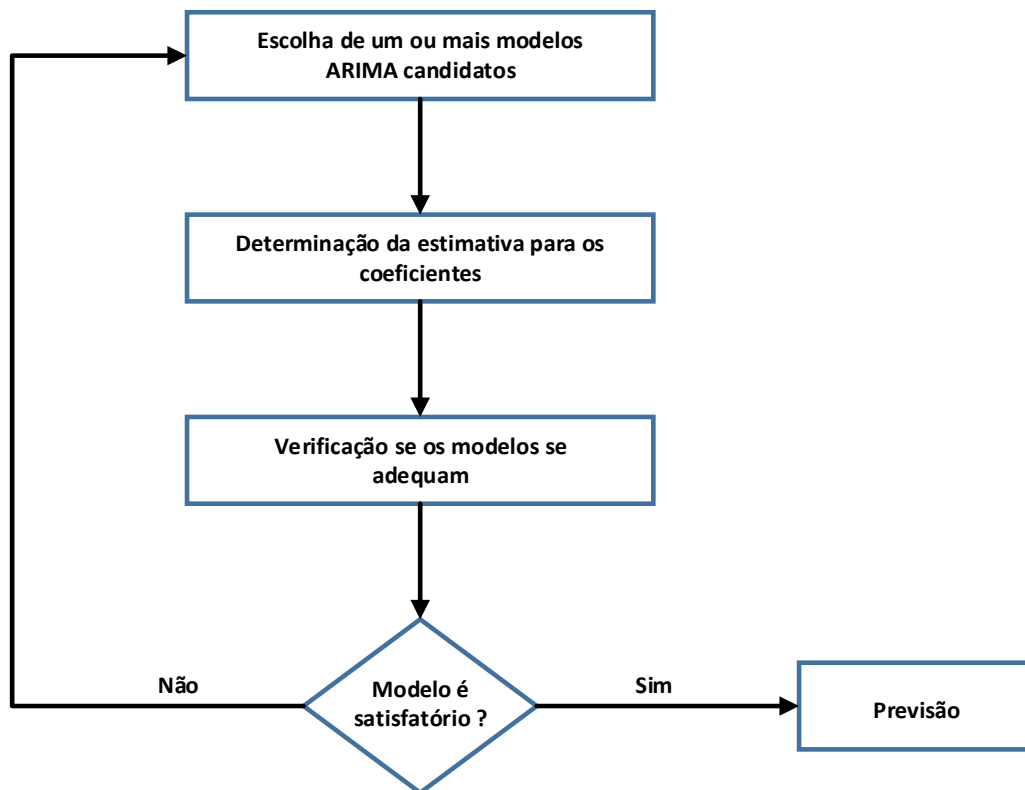


Figura 44 – Diagrama de construção de uma previsão

É de realçar, ainda, o método *Holt-Winters* sendo este um dos modelos utilizado para prever séries sazonais e que gera, em grande parte dos casos, boas previsões. O modelo de amortecimento de *Holt-Winters* é um procedimento bastante popular e permite lidar com séries que contém tendências e variações sazonais. Existem duas variantes para este método que diferem na natureza da componente sazonal - o método aditivo, que é escolhido quando as variações sazonais são mais ou menos constantes na série e o método multiplicativo, que é utilizado quando as variações sazonais se mudam proporcionalmente ao nível da série. As equações básicas para ambos os modelos são apresentadas na seguinte tabela:

	<i>Holt-Winters</i> Aditivo	<i>Holt-Winters</i> Multiplicativo
Nível (L_t)	$L_t = \alpha (y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$	$L_t = \alpha \frac{y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$
Tendência (T_t)	$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$	$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$
Sazonalidade (S_t)	$S_t = \gamma (y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-m}$	$S_t = \gamma \frac{y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-m}$
Previsão	$\hat{y}_{t+k} = L_t + kT_t + S_{t+k-m}$	$\hat{y}_{t+k} = (L_t + kT_t)S_{t+k-m}$
Observações: <ul style="list-style-type: none"> ▪ y_t → valor observado no período t ▪ $k = 1, 2, \dots, h$ ▪ \hat{y} → valor previsto no período $t + k$ ▪ m → período da sazonalidade ▪ h → previsão horizonte ▪ α, β e γ → parâmetros de amortização 		

Tabela 5 - Modelo *Holt-Winters* Aditivo e Multiplicativo

A escolha de um modelo matemático, bem como a análise do histórico de dados é importante para apoiar o planeamento de uma rede com base na previsão. É, ainda, necessário calibrar os coeficientes dos modelos de previsão de forma a obter valores mais desejáveis conforme se pretende demonstrar no próximo tópico.

4.4.1 Calibração dos Modelos

Para seleccionar um modelo deve-se dar atenção ao facto de este poder necessitar de ajustes e alterações de forma a se efetuar uma previsão mais apropriada. Desta forma, existem vários métodos matemáticos para se adequar o modelo utilizado.

Aquando da obtenção de uma série de dados estáveis deve-se identificar a forma do modelo a ser utilizado. Esta identificação da forma do modelo é possível através da comparação entre a *Autocorrelation Function* (ACF) e *Partial Autocorrelation Function* (PACF) dos dados originais e das ACF e PACF dos vários modelos ARMA em análise. Para se tornar possível efetuar associações dos valores originais com as tendências teóricas verifica-se que a cada modelo ARMA

corresponde um único grupo de ACF e PACF. O modelo escolhido inicialmente é considerado uma tentativa, tendo em conta que, à determinação do modelo ARMA está associada uma incerteza.

A ordem dos elementos *Auto-Regressive e Moving Average Models* pode ser estabelecida a partir da contagem efetuada das autocorrelações e das autocorrelações parciais significativas dos dados. É de salientar que as previsões efetuadas por estes modelos podem verificar-se fracas, tendo em conta que, a variação dos dados estará relacionada com a modelação do erro aleatório. Assim sendo, o intuito será desenvolver modelos mais simplificados que consigam facultar uma descrição adequada das características dos dados primordiais.

Não se deve deixar de referir o Critério de Informação de Akaike (AIC, do inglês Akaike information Criterion) e o Critério de Informação de Bayesian (BIC, do inglês Bayesian Information criterion), devendo estes modelos ser utilizados como complemento à análise ACF e PACF.

Assim sendo, o AIC não informa sobre a qualidade do modelo mas pode minimizar os modelos a seleccionar dentro de um número de candidatos, sendo definido como:

$$AIC = \ln(\hat{\sigma}_\varepsilon^2) + \frac{2k}{T}$$

em que:

- $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ é a variância dos resíduos, ou seja, o quociente entre o resíduo da soma dos quadrados e o número de observações;
- T é o número de observações;
- k é o número de parâmetros estimados ARMA ($p+q$).

Por outro lado, o BIC é dado pela seguinte expressão:

$$BIC = \ln(\hat{\sigma}_\varepsilon^2) + \ln\left(\frac{2T}{T}\right)k$$

Em suma, o modelo que gerar o AIC e o BIC com valores menores é o modelo que melhor se adapta à série temporal em causa contudo, não significa que este gere os melhores resultados de previsão. Em alternativa ou em complemento a estes métodos pode ser utilizado o Critério da Soma dos Quadrados dos Erros (SSE, do inglês Sum of Squared Errors) que é definido por:

$$SSE = \sum_{t=1}^n e^2(t)$$

em que e_t , como referido anteriormente, é a diferença do erro entre o valor real e o valor previsto tendo por base a minimização do valor de SSE.

Para o modelo ARMA que se pretende estudar, o SSE é definido da seguinte forma:

$$SSE(\phi, \theta) = \sum_{t=1}^n e^2(t)$$

em que o erro tem a seguinte expressão:

$$e_t = y_t - [\phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 e_{t-1} + \theta_2 e_{t-2} + \dots + \theta_q e_{t-q}]$$

Para obter o valor de e_t é necessário ter conhecimento dos valores de $e_{t-1}, e_{t-2}, \dots, e_{t-q}$ pelo que, a convenção será atribuir zero aos valores anteriores a e_t .

É de realçar, ainda, o método estatístico Durbin-Watson que é utilizado para detetar a presença de autocorrelação (dependência) nos resíduos de uma análise de regressão e define-se pela seguinte expressão:

$$w = \frac{\sum_{t=2}^T (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T e_t^2}$$

em que T é o número total de observações e W deve retornar um valor entre 0 e 4. Caso W seja igual a 2 significa que não existe correlação, no entanto, se apresentar valores baixos significa que os termos sucessivos de erro estão próximos uns dos outros, ou seja, correlacionados positivamente. No entanto, se W apresentar valores próximos de 4 significa que os erros sucessivos são muito diferentes, ou seja, correlacionados negativamente.

A escolha do modelo adequado para se efetuar a realização da previsão depende da experiência do analista pois à medida que este ganha mais prática o número de tentativas para chegar ao modelo adequado será menor.

4.5 Estudo de caso: Success Ratio

Com base nos modelos referidos anteriormente, pretende-se apresentar agora uma previsão do comportamento no Node B (estação base). Assim sendo, este trabalho foca-se no desempenho da acessibilidade de *Success Ratio* para voz (*Circuit Switched* - CS) e dados (*Packet Switched* - PS), conforme ilustrado na figura seguinte.

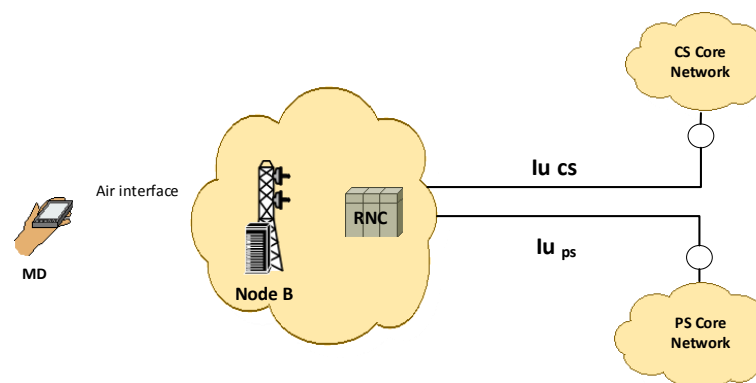


Figura 45 – Acessibilidade do Success Ratio (PS e CS) entre os elementos de rede

Seguidamente, são apresentados os KPIs e a fórmula lógica de desempenho da acessibilidade do Success Ratio para voz (CS) e dados (PS) segundo o fornecedor de serviços - Nokia.

Voice Call Setup Success Ratio (CSSR)	
Fórmula Lógica	$\frac{(MOC\ Conv\ attempts - MOC\ Conv\ failures + MTC\ Conv\ attempts - MTC\ Conv\ failures + emergency\ call\ attempts - emergency\ call\ failures - RRC\ access\ releases\ Conv)}{(MOC\ Conv\ attempts + MTC\ Conv\ attempts + emergency\ call\ attempts - RRC\ setup\ attempts\ Conv - RRC\ access\ releases\ Conv - RRC\ setup\ rejects)} \times \frac{RAB\ access\ completions}{RAB\ setup\ attempts}$ <p>Note: (Call related RRC success ratio) * (RAB success ratio)</p>
Descrição	AMR Call Setup Success Ratio [%] durante determinado período de tempo.
KPI Classe	Acessibilidade
Valores típicos	99.2%
Detalhe da fórmula (elementos de rede)	<pre> 100* sum([MOBILE ORIGINATING CONVERSATIONAL CALL ATTEMPTS] - [MOBILE ORIGINATING CONVERSATIONAL CALL FAILURES] + [MOBILE TERMINATING CONVERSATIONAL CALL ATTEMPTS] - [MOBILE TERMINATING CONVERSATIONAL CALL FAILURES] + [EMERGENCY CALL ATTEMPTS] - [EMERGENCY CALL FAILURES] - [RRC ACCESS RELEASE EMERGENCY CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MO CONVERSATIONAL CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MT CONVERSATIONAL CALL]) / sum([MOBILE ORIGINATING CONVERSATIONAL CALL ATTEMPTS] + [MOBILE TERMINATING CONVERSATIONAL CALL ATTEMPTS] + [EMERGENCY CALL ATTEMPTS] - [RRC SETUP ATT REPEAT MO CONVERSATIONAL CALL] - [RRC SETUP ATT REPEAT MT CONVERSATIONAL CALL] - [RRC SETUP ATT REPEAT EMERGENCY CALL] - [RRC ACCESS RELEASE EMERGENCY CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MO CONVERSATIONAL CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MT CONVERSATIONAL CALL] - [RRC SETUP REJECT DUE TO EMERGENCY CALL REDIRECTION]) * sum([RAB ACCESS COMPLETIONS FOR CS VOICE]) / sum([RAB SETUP ATTEMPTS FOR CS VOICE]) </pre>

Tabela 6 – Fórmula e detalhes do KPI Voice Call Setup Success Ratio [66]

Packet Service Setup Success Ratio (CSSR)	
Fórmula Lógica	$100 \times \frac{(MOC\ I\ \&\ B\ attempts - MOC\ I\ \&\ B\ fail. - RRC\ access\ releases\ I\ \&\ B)}{(MOC\ I\ \&\ B\ attempts + MOC\ I\ \&\ B\ attempts - RRC\ access\ releases\ I\ \&\ B)} \times \frac{RAB\ access\ completions\ (I\ \&\ B)}{RAB\ setup\ attemps\ (I\ \&\ B)}$ <p>Note: (Call related RRC success ratio) * (RAB success ratio)</p>
Descrição	Packet Service Setup Success Ratio [%] durante determinado período de tempo.
KPI Classe	Acessibilidade
Valores típicos	99.5%
Detalhe da fórmula (elementos de rede)	<pre> 100 * sum([MOBILE ORIGINATING INTERACTIVE CALL ATTEMPTS] - [MOBILE ORIGINATING INTERACTIVE CALL FAILURES] + [MOBILE ORIGINATING BACKGROUND CALL ATTEMPTS] - [MOBILE ORIGINATING BACKGROUND CALL FAILURES] + [MOBILE TERMINATING INTERACTIVE CALL ATTEMPTS] - [MOBILE TERMINATING INTERACTIVE CALL FAILURES] + [MOBILE TERMINATING BACKGROUND CALL ATTEMPTS] - [MOBILE TERMINATING BACKGROUND CALL FAILURES] - [RRC ACCESS RELEASE MT INTERACTIVE CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MO BACKGROUND CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MO INTERACTIVE CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MT BACKGROUND CALL]) / sum([MOBILE ORIGINATING INTERACTIVE CALL ATTEMPTS] + [MOBILE ORIGINATING BACKGROUND CALL ATTEMPTS] + [MOBILE TERMINATING INTERACTIVE CALL ATTEMPTS] - [MOBILE TERMINATING BACKGROUND CALL ATTEMPTS] - [RRC SETUP ATT REPEAT MT INTERACTIVE CALL] - [RRC SETUP ATT REPEAT MO INTERACTIVE CALL] - [RRC SETUP ATT REPEAT MO BACKGROUND CALL] - [RRC SETUP ATT REPEAT MT BACKGROUND CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MT INTERACTIVE CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MO BACKGROUND CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MO INTERACTIVE CALL] - [RRC ACCESS RELEASE MT BACKGROUND CALL]) * sum([RAB ACCESS COMPLETIONS FOR PS DATA INTERA]+[RAB ACCESS COMPLETIONS FOR PS DATA BACKG]) /sum([RAB SETUP ATTEMPTS FOR PS DATA INTERA]+[RAB SETUP ATTEMPTS FOR PS DATA BACKG]) </pre>

Tabela 7 – Fórmula e detalhes do KPI Packet Service Setup Success Ratio [66]

A visualização dos esquemas apresentados nos capítulos 3.2.1 *Circuit-Switched* e 3.2.2 *Packet-Switched* pode facilitar a compreensão destes KPIs.

Os dados que irão ser apresentados têm por base dados reais retirados ao nível do NodeB para acessibilidade de *Voice Call Setup Success Ratio* e *Packet Service Setup Success Ratio*. No entanto, os dados reais foram sujeitos à adição de um aleatório por razões de proteção de privacidade, havendo o cuidado de garantir que este não alterava as características essenciais da série temporal (tendência, sazonalidade, média, etc).

O NodeB foi o elemento de rede escolhido porque verifica-se, muitas vezes, a necessidade de otimizar o desempenho em determinado local onde o NodeB se encontra. No entanto, é também possível recolher dados ao nível da RNC para posteriormente decifrar quais os NodeBs que apresentam degradação.

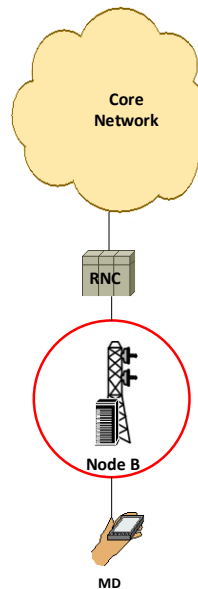


Figura 46 – Elemento de rede em análise da acessibilidade do *Success Ratio* (PS e CS)

De seguida, são apresentados os casos de estudo com base nos modelos matemáticos de previsão ARMA e Holt Winters apresentados anteriormente para acessibilidade de *Voice Call Setup Success Ratio* e *Packet Service Setup Success Ratio* respetivamente, comparando os valores previstos com os valores reais. Os valores reais foram obtidos ao nível do NodeB com base num histórico de dados referentes a um período de duas a três semanas, tendo sido estes valores retirados por hora.

Antes de aplicar cada método foi necessário estudar a sazonalidade e a tendência dos dados, ou seja, verificar qual o seu comportamento diário/semanal para sua melhor compreensão.

A figura seguinte apresenta os valores de *Voice Call Setup Success Ratio* comparando os valores reais com os valores previstos segundo o modelo ARMA(10,10), com base nas fórmulas matemáticas e técnicas de calibração apresentadas anteriormente. Foram realizados alguns testes e a escolha do modelo ARMA (10,10) foi o que apresentou melhores resultados.

Os valores encontram-se entre o dia 22 de setembro e o dia 2 de outubro e a sua escala temporal é de oito em oito horas. Os valores previstos foram alcançados com base no histórico de dados das 3 semanas anteriores ao que é apresentado nesta representação gráfica. A média e o desvio padrão são, respetivamente:

- Valores reais: $\bar{y} = 98,8591$ e $\tau = 0,4866$;
- Valores previstos: $\bar{y} = 98,9396$ e $\tau = 0,5509$.

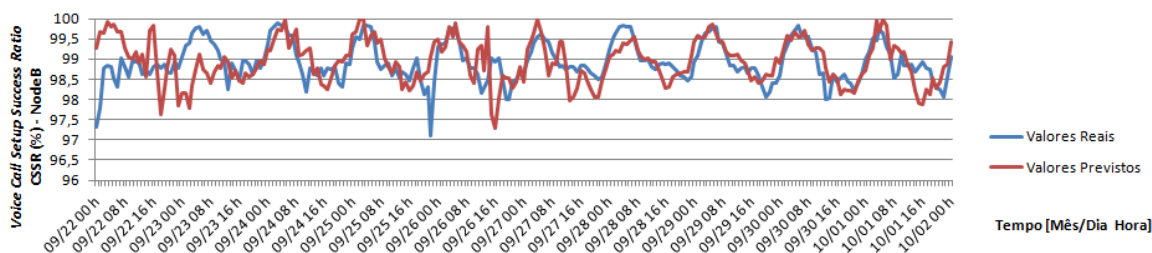


Figura 47 - Voice Call Setup Success Ratio (CSSR)

Se os modelos matemáticos forem usados diretamente, apresentam valores muitas vezes desapropriados. Neste modelo ARMA os valores reais da série temporal são estacionários pois caso contrário os valores previstos poderiam dar maus resultados na sua previsão.

Neste caso de estudo foi criada uma condição para quando os valores previstos apresentavam valores superiores a 100% esta fazia com que o seu valor fosse de 100%.

Com o modelo ARMA, quando se tem uma evolução dos dados que é “bem comportada” como por exemplo, sem *outliers*, o modelo funciona relativamente bem, mas se houver *outliers*, estes vão afetar as previsões nos períodos posteriores, conforme se pode observar pela Figura 47. De destacar ainda, que quanto maior for a variação nos valores reais maior é a alteração do comportamento dos valores previstos.

No início da série os valores reais e previstos andam desencontrados, contudo, a partir do dia 24 de setembro os valores começam a deslocar-se mais próximos um do outro até aparecer uma variação nos dados reais que faz com que haja uma alteração nos valores previstos.

Com base neste caso de estudo, o modelo ARMA apresenta bons valores de previsão no entanto, são necessários alguns ajustes. De destacar ainda, a sua sensibilidade na presença de *outliers* e o facto de inicialmente os valores previstos não acompanharem os valores reais.

No segundo caso são apresentados os valores de *Packet Service Setup Success Ratio* em que os dados expostos vão desde o dia 22 de setembro a dia 2 de outubro e a sua escala temporal é de oito em oito horas tal como, no modelo ARMA. Para a obtenção dos valores de previsão deste caso foi usado o modelo Holt Winters multiplicativo e o cálculo dos parâmetros foi com base nas fórmulas apresentadas anteriormente. Os valores previstos foram alcançados com base no histórico de dados das 3 semanas anteriores ao que é apresentado na Figura 48. Tal como no modelo ARMA, o modelo Holt Winters quando usado diretamente pode retornar valores descabidos sendo necessário alguns ajustes. A média e o desvio padrão são, respetivamente:

- Valores reais: $\bar{y} = 98,8594$ e $\tau = 0,4868$;
- Valores previstos: $\bar{y} = 98,9155$ e $\tau = 0,3610$.

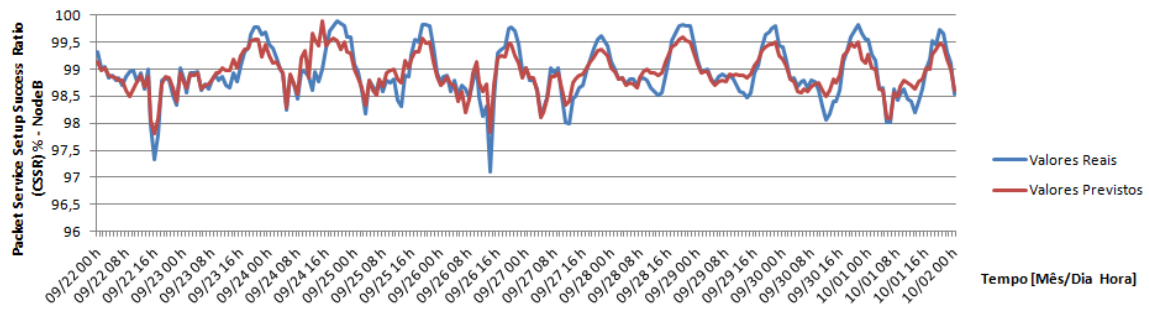


Figura 48 - Packet Service Setup Success Ratio (CSSR)

Foram realizados alguns testes e, na presença de valores discrepantes e outliers, este método se verificou eficaz, apresentando bons resultados.

Foi necessário verificar o comportamento do ciclo de forma a compreender a tendência e sazonalidade da série.

Quando os valores reais se apresentam elevados, na ordem dos 99,9% os valores previstos encontra-se sempre ligeiramente a baixo desses valores e, em contra partida, quando os valores reais apresentam pior performance, os valores previstos indicam valores superiores aos reais. De destacar ainda que, este modelo respondeu de uma forma positiva à presença de outliers.

Em suma, ambos os modelos apresentam as suas potencialidades mas também têm os seus defeitos.

5 Considerações Finais

Os casos de estudo analisados tiveram por base aspetos de acessibilidade, no entanto, o Node B e a RNC podem apresentar outros problemas de desempenho onde se verifica a degradação desses elementos. Os principais problemas no Node B podem verificar-se ao nível da capacidade, do *Received Signal Code Power* (RSCP), do rendimento (*throughput*), do *Physical Random Access Channel* (PRACH), dos *tilts* (elétrico e mecânico), dos parâmetros, das vizinhas e da potência. No que diz respeito à RNC, os principais problemas de degradação são ao nível da capacidade, da falta de licenças, da mobilidade, da encriptação dos dados, entre outros.

Para obter mais KPIs de desempenho segundo o 3GPP e a Ericsson, consultar o APÊNDICE L e APÊNDICE M, respetivamente.

Poder-se-ia aplicar outros modelos matemáticos bem como, efetuar uma análise noutra elemento de rede.

5.1 Conclusões

Esta dissertação teve como foco vários aspetos de Engenharia, principalmente a análise do desempenho de uma rede UMTS em que se deu destaque ao nível do Node B na acessibilidade das ligações de voz e dados (*success ratio*).

Tendo em conta que os utilizadores solicitam aos operadores serviços confiáveis, robustos e que estejam sempre disponíveis em todos os lugares, em qualquer dispositivo e em qualquer rede, é fundamental dar-se especial atenção à existência de falhas na rede. Como tal, é deveras importante que todos os serviços sejam testados cuidadosamente antes de serem implementados e oferecidos aos utilizadores.

Desta forma, deve ser realizado um bom planeamento da rede, bem como, uma boa otimização e, por fim conseguir efetuar uma previsão com base no histórico de dados de forma a reagir antecipadamente com o intuito de minimizar os danos que possam vir a surgir. Os modelos matemáticos e as técnicas abordadas ao longo desta dissertação apresentam-se como um trunfo para a previsão de dados no entanto, podem haver diversos fatores que prejudiquem o bom funcionamento da mesma. Tendo em conta que, a realização de uma previsão exata sobre o futuro é impraticável, a aplicação dos modelos matemáticos de previsão deve ser realizada de forma cautelosa.

Em suma, planeamento e otimização são críticos para uma boa qualidade de serviço e monitorização e controlo são críticos para uma boa gestão de desempenho.

5.2 Trabalho futuro

Como a área das redes de telecomunicações é uma área em permanente expansão e em constante evolução, existe sempre uma aprendizagem contínua. Dito isto, existem vários tópicos que poderiam ser considerados de modo a melhorar a análise e o desempenho de uma rede nomeadamente:

- Inclusão de mais métodos e modelos matemáticos para a análise e previsão do desempenho de uma rede;
- Utilização de outras ferramentas para simulação dos dados estatísticos;
- Inclusão de mais KPIs e análise em diferentes segmentos da rede;
- Adição de um maior número de operadores e mecanismos utilizados no mercado para melhorar o desempenho de uma rede;

Como o mercado está sempre em constante evolução, é importante estar atento para poder prever e antecipar os problemas que possam vir a surgir no desempenho da rede com intuito de minimizar o impacto causado.

Referências

- [1] https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779576260903/Cap1_RT_10.pdf, acessido a 14 de agosto de 2013.
- [2] <http://ronaldofotografia.blogspot.pt/2010/08/telefonistas-da-companhia-uniao.html>, acessido a 14 de agosto de 2013.
- [3] http://www.redes.etc.br/wiki.php?id=modelos_de_referencia:modelo_osi:as_7_camadas, acessido a 29 de setembro de 2013 acessido em 20 de setembro de 2013.
- [4] http://paginas.fe.up.pt/~mrs01003/TCP_IP.htm, acessido a 29 de setembro de 2013.
- [5] http://moodle.ua.pt/file.php/6151/Theoretical_Classes_20122013/1_Redets.pdf, acessido a 30 de setembro de 2013.
- [6] <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=361>, acessido a 8 outubro de 2013.
- [7] <http://pplware.sapo.pt/networking/tecnologias-1g-2g-2-5-g-3g-e-4g-sabe-a-diferenca/>, acessido a 17 de outubro de 2014.
- [8] <http://danielvsantana.wordpress.com/2009/02/11/os-g%C2%B4s-da-vida/>, acessido a 18 de outubro de 2014.
- [9] <http://www.slideshare.net/pratikaloni/analysis-of-1g-2g-3g-4g>, acessido a 20 de outubro de 2013.
- [10] Duarte, A. Manuel Oliveira, “Cellular Basic Concepts”, Universidade de Aveiro, 2011.
- [11] http://www.iso.org/iso/home/about/the_iso_story.htm, acessido a 9 de novembro de 2013.
- [12] <http://www.ieee.org/index.html>, acessido a 10 de novembro de 2013.
- [13] <http://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>, acessido a 10 de novembro de 2013.
- [14] <http://www.etsi.org/about>, acessido a 10 de novembro de 2013.
- [15] Silva, Luís Filipe Carvalho da Silva, “Plataformas de Serviços em Redes de Próxima Geração (IMS), dissertação de Mestrado em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro, 2009.
- [16] Poikselkä, Miikka & Mayer, Georg, “THE IMS IP MULTIMEDIA CONCEPTS AND SERVICES, THIRD EDITION”, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2009.
- [17] http://webdav.sistemas.pucminas.br:8080/webdav/sistemas/sga/20121/525161_Redets%20Multisservi%C3%A7os-Redes-IMS-v4.pdf, acessido a 17 de novembro de 2013.
- [18] <https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/151204/1/dissertacao.pdf>, acessido a 18 de novembro de 2013.
- [19] <http://grenoble.ime.usp.br/~gold/cursos/2008/movel/slides/IMS-SeminarioMAC5743.pdf>, acessido a 20 de novembro de 2013.
- [20] Ip Multimedia Subsystem, <http://encyclopedia.thefreedictionary.com/IP+Multimedia+Subsystem>, acessido a 21 de novembro de 2013.
- [21] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123200_123299/123228/05.04.01_60/ts_123228v050401p.pdf, acessido a 2 de dezembro de 2013.
- [22] http://iscte.pt/~rhcl/material/IGRS/ims/11i_IMS_Intro.pdf, acessido a 5 de dezembro de 2013.
- [23] <http://ims.no.sapo.pt/ims2.htm>, acessido a 6 de dezembro de 2013.
- [24] http://www.macapuna.com.br/index/phocadownload/userupload/trabalhos-academicos/Artigos-disciplina/ims_carlos_macapuna.pdf, acessido a 18 de dezembro de 2013.

- [25] <http://www.rivier.edu/journal/ROAJ-Spring-2008/J134-Jujuru.pdf>, acessado a 18 de dezembro de 2013.
- [26] http://www.unic.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=3516&Itemid=187, acessado a 10 de janeiro de 2014.
- [27] <http://www.fokus.fraunhofer.de/en/ngni/index.html>, acessado a 15 de janeiro de 2014.
- [28] <http://www.f5networks.com.br/pdf/white-papers/introducao-ao-subsistema-multimedia-ip-ims-conceitos-basicos-de-ims-e-terminologia-wp.pdf>, acessado a 10 de dezembro de 2013.
- [29] http://www.google.pt/imgres?imgurl=http://adesivosdecorativos.files.wordpress.com/2008/08/mapamundi.jpg&imgrefurl=http://adesivosdecorativos.wordpress.com/2008/08/31/adesivo-mapa-mundi/&h=1456&w=3065&sz=746&tbnid=0Rw30Zf_9xiHKM:&tbnh=90&tbnw=189&zoom=1&usq=__rdRdMSLGukuinvRw_2KhgLMzW3Q=&docid=go81YAG_C_q8qM&sa=X&ei=JUYUrCPN4HctAa23YDoBw&ved=0CDUQ9QEwAg, acessado a 13 de janeiro de 2014.
- [30] Training Nokia UMTS, “3G UMTS Network Solution”, 2013.
- [31] Duarte, A. Manuel Oliveira, “Cellular Networks Wireless LANs”, Universidade de Aveiro, 2012-2013.
- [32] http://www.academia.edu/5336059/Performance_Comparison_of_UMTS_and_LTE_on_The_Basis_of_Data_Rates, acessado a 24 de janeiro 2014.
- [33] Holma, Harri & Toskala, Antti, "LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access", Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2009.
- [34] <http://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/1216>, acessado a 12 de janeiro de 2014.
- [35] http://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/umts/lte.html, acessado a 24 de fevereiro de 2014.
- [36] A White Paper from the UMTS Forum, “Towards Global Mobile Broadband Standardising the future of mobile communications with LTE (Long Term Evolution)”, 2008.
- [37] <https://pt.scribd.com/doc/54495209/UMTS-3G-WCDMA-Call-Flows>, acessado a 15 de março de 2014.
- [38] <https://pt.scribd.com/doc/46732808/Umts-Call-Flow-Cs>, acessado a 20 de março de 2014.
- [39] <http://www.slideshare.net/kirank29/gsm-and-umts-protocols-and-callflow>, acessado a 31 de março de 2014.
- [40] <http://telecomacademy.blogspot.pt/2013/01/3gumts-complete-mo-cs-call-setup-flow.html>, acessado a 2 de abril de 2014.
- [41] http://www.syrus.ru/files/docs/control/tech/Tech%20Note%20UMTS_A4%20screen_2.pdf, acessado a 13 de abril de 2014.
- [42] <http://www.google.com/patents/US20090175215?hl=pt-PT>, acessado a 24 abril de 2014.
- [43] http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles-digitales/contenidos/Documentos/gprs_attach_pdp_sequence_diagram.pdf, acessado a 24 de maio de 2014.
- [44] <http://etutorials.org/Mobile+devices/gprs+mobile+internet/Chapter+7+Signaling+Plane/PDP+Context+Management/>, acessado a 25 abril de 2014.
- [45] <http://www.google.com/patents/US20040205247>, acessado a 22 de maio de 2014.
- [46] <http://www.mcl.hu/micromob/download/resources/unsorted/wcmc.pdf>, acessado a 24 de junho de 2014.
- [47] <http://www.infowester.com/3g4g.php>, acessado a 8 de julho de 2014.
- [48] http://folk.uio.no/kaiiv/3g4g_ktv2011.pdf, acessado a 18 de julho de 2014.

- [49] Duarte, Arthur Delfino & Nunes, Daniel Andrade, “Comparação entre as redes de pacotes dos padrões WCDMA/HSPA+ e LTE”, INCITEL, 2012
- [50] Mishra, Ajay R "ADVANCED CELLULAR NETWORK PLANNING AND OPTIMISATION 2G/2.5G/3G...EVOLUTION TO 4G", Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [51] http://bdm.unb.br/bitstream/10483/8211/1/2014_FelipedosSantosCuboIglesias.pdf, acessido a 20 de julho de 2014.
- [52] <http://www.aroma-ist.upc.edu/publicdocuments/magazines/P1.pdf>, acessido a 25 de julho de 2014
- [53] Mishra, Ajay R., "CELLULAR TECHNOLOGIES FOR EMERGING MARKETS 2G,3G AND BEYOND", Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2009.
- [54] Holma, Harri & Toskala, Antti "HSDPA/HSUPA for UMTS High Speed Radio Access for Mobile Communications", Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [55] http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/4B/04/T4B0400000B0009PDFE.pdf, acessido a 2 de agosto de 2014.
- [56] http://www.nt.tuwien.ac.at/mobile/theses_finished/PhD_Gerdenitsch/paper.pdf, acessido a 14 de agosto de 2014.
- [57] <http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archives-2014/July-2014/134.pdf>, acessido a 19 de agosto de 2014.
- [58] http://www.anacom.pt/streaming/qos_vozvideotelefoneia_gsm_wcdma_2011.pdf?contentId=1126593&filed=ATTACHED_FILE, acessido a 23 de agosto de 2014.
- [59] http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/cellular_concepts/tdd-fdd-time-frequency-division-duplex.php, acessido a 10 de setembro de 2014.
- [60] <http://www.slideshare.net/fullscreen/darcypoulin/tdd-versus-fdd/1>, acessido a 13 de setembro de 2014.
- [61] <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61870/1/000138365.pdf>, acessido a 15 de setembro de 2014.
- [62] Forecasting, <http://en.wikipedia.org/wiki/Forecasting>, acessido a 20 de setembro de 2014.
- [63] “Modelos de Previsão em Telecomunicações: Aplicação ao Estudo da Adopção e Utilização de Tecnologias, Produtos e Serviços; à Evolução de Preços e ao Planeamento de Capacidade”, A.Manuel de Oliveira Duarte, Hugo S. Félix e Manuel D. Montenegro, Universidade de Aveiro, versão preliminar, 2014.
- [64] <http://books.google.pt/books?id=dIG-1xcaLYgC&pg=PA296&lpg=PA296&dq=ARMA+filter&source#v=onepage&q=ARMA%20filter&f=false>, acessido a 30 de setembro de 2014.
- [65] http://en.wikipedia.org/wiki/Autoregressive%20moving-average_model#ARMA_model, acessido a 2 de outubro de 2014.
- [66] <http://nop-i.nokiasiemensnetworks.com/docs/jump.htm> (acesso restrito via intranet Nokia, necessário credenciais internas).
- [67] ETSI TS 132 410, “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; Telecommunication management; Key Performance Indicators (KPI) for UMTS and GSM”, 2012

[68]ETSI TS 132 451, “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE;Telecommunication management; Key Performance Indicators (KPI) for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Requirements”, 2012

[69]“WCDMA Network Performance Basic Analysis and Troubleshooting Part – 1,2,3,4”, 2009, Ericsson

APÊNDICE A: IMS – *Ip Multimedia Subsystem*

Segundo o 3G Partnership Project (3GPP) (cit. in Salchow, Jr.) o *Ip Multimedia Subsystem* é definido como “... um novo ‘domínio’ principal da rede (ou seja, uma nova estrutura móvel de rede composta por um número de elementos distintos)”. [28] Esta definição é bastante vaga e não faz justiça ao IMS, no entanto, foi usada pelo 3GPP e também pelo *3G Partnership Project 2* (3GPP2), bem como pelo ETSI e pelo Fórum WiMax. O IMS é uma forma completamente diferente de distribuir multimídia (voz, vídeo, dados, etc.), independentemente do dispositivo (telefone fixo, telemóvel, Internet, etc.) ou do meio de acesso (PSTN, *Public Land Mobile Network* (PLMN), *Wireless Fidelity* (WiFi), banda larga, etc.). Este novo ‘domínio’ principal da rede mudará o modo como todos se relacionam com o mundo, tornando-o cada vez mais digital.

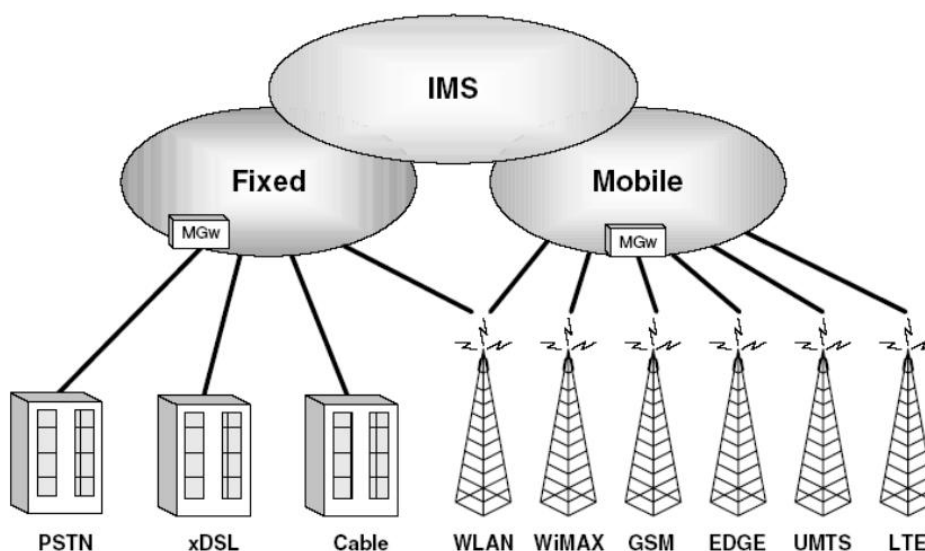


Figura 49 - Convergência IMS [17]

O IMS é uma arquitetura de referência que visa a entrega de serviços através de uma rede IP e que usa práticas bem-sucedidas de outras redes, ou seja, não é um novo conceito de redes de transmissão de serviços mas sim, uma solução particular desenvolvida para melhorar a qualidade dos serviços já existentes e gerar receitas às operadoras. O IMS não impõe um modelo de taxaço ao operador, mas possibilita que o operador determine o modelo que irá usar e que obtenha informações sobre o serviço que foi solicitado pelo utilizador. Com base nestas informações, o operador decide que tipo de taxaço aplica ao serviço que foi solicitado. O IMS pode ser visto como uma plataforma de tecnologias que possibilita reutilizar os diversos protocolos que são comuns a todos estes serviços.

APÊNDICE B: Características, Funcionalidades e Objetivos do IMS

Os utilizadores de telecomunicações estão cada vez mais exigentes pois são mais individualistas, independentes, informados e mais envolvidos do que nunca no mundo das telecomunicações. Por outro lado, as operadoras procuram formas mais rápidas e flexíveis para responder às novas oportunidades de negócios. Se, por um lado, os utilizadores querem expandir o seu comportamento nos serviços multimédia, por outro lado, os operadores querem ser capazes de oferecer uma perfeita ligação, logo verifica-se a necessidade de acolher serviços que visam apelar tudo o que os mesmos pretendem.

O IMS fornece os seus serviços de uma forma arquitetónica entre camadas, de uma maneira bem estruturada e padronizada. Esta arquitetura encontra-se em constante evolução e visa resolver as crescentes necessidades, exigências e frustrações dos utilizadores e das operadoras. Nestes últimos anos assistiu-se a um crescimento exponencial da Internet e, face a esse crescimento, houve a necessidade de fornecer serviços e entretenimento aos utilizadores. Os serviços como o correio eletrónico e os *web sites* tornaram-se possíveis devido à utilização de protocolos abertos que estão disponíveis a qualquer utilizador. Com a Internet, os usufruidores destes serviços podem estar sempre conectados (“*always-on*”), o que hoje se tornou numa necessidade para as pessoas.

As comunicações móveis, principalmente os telemóveis, também se popularizaram notoriamente e desenvolveram-se muito nestes últimos tempos. Para além das chamadas telefónicas, os telemóveis permitiam enviar serviços como as *Short Message Service* (SMS) mas, com o desenvolvimento das redes de nova geração, o telemóvel conseguiu oferecer mais serviços, ou seja, os serviços de dados (como por exemplo o envio de MMS e o acesso à Internet). Os serviços de dados só foram possíveis com o desenvolvimento do Serviço de Rádio de Pacote Geral (GPRS) que permitiu o aumento das taxas de transferência de dados nas redes GSM em que, o transporte de dados é feito por pacotes (comutação por pacotes). Com o GPRS conseguiu-se obter uma boa velocidade de acesso à Internet nos telemóveis com um custo razoável visto que, a taxação é feita em função da quantidade de pacotes de dados que são transmitidos e não pela duração da conexão à rede.

Com a chegada do GPRS, para além da Internet móvel surgiu, também, o acesso *Wireless Application Protocol* (WAP), ou seja, o protocolo para aplicações sem fio e o acesso às redes *Virtual Private Network* (VPN). Nesta medida, foram feitos altos investimentos na rede móvel com comutação por pacotes com o intuito de se tornarem cada vez mais eficazes e seguras e para aumentarem a sua cobertura de acesso. Esta solução que visa a convergência das redes móveis com a Internet foi denominada por terceira geração (3G). As redes 3G possuem taxas de transmissão maiores e uma maior largura de banda para aceder à Internet com base na comutação de pacotes de forma rápida e eficiente comparativamente com as redes 2G, que fazem uso da comutação de

circuitos. Desta forma, os utilizadores deste serviço podem ler o correio eletrónico, fazer *download* de arquivos, realizar vídeo chamadas e realizar outras inúmeras tarefas que só eram capazes de fazer através de uma ligação de banda larga a partir de casa. A terceira geração (3G e 3,5 G) e a sua evolução (LTE) estão a permitir que as taxas de dados e os serviços multimédia sejam cada vez mais rápidos. A título de exemplo, um utilizador pode instalar um serviço VoIP no telemóvel e realizar chamadas não pagando a ligação mas sim a transferência de dados.

Um dos principais problemas da transmissão por pacotes era garantir os serviços multimédia em tempo real mas, com o aparecimento do IMS, todo este cenário se tornou possível visto que, ficam com acesso à Internet móvel com uma maior eficácia.

O IMS foca-se, principalmente, na qualidade de serviço (QoS), na taxação e na integração de vários serviços, isto é, o IMS visa a sincronização das várias ligações dotadas de qualidade de serviço, sendo estas, taxadas pelos bytes transmitidos. No entanto, é importante realçar que o IMS dá liberdade às operadoras para estas decidirem como preferem taxar os seus serviços, ou seja, apenas fornece informação sobre os serviços requisitados pelos utilizadores deixando a tarifação ao cargo das operadoras. O IMS faz uso de protocolos e da rede IP e, com este serviço, torna-se possível o estabelecimento de diferentes sessões ao mesmo tempo e em diversos lugares.

Portanto, o grande trunfo do IMS é prover serviços de acesso à Internet (incluindo serviços multimédia em tempo real) com QoS a um preço justo e aceitável. O objetivo do IMS não é apenas fornecer novos serviços mas sim, todos os serviços atuais e futuros que a Internet possa vir a proporcionar tendo por base a interligação e mobilidade na Internet e a criação de uma plataforma comum para desenvolver serviços multimédia diversificados com mecanismos que permitam aumentar a performance.

O IMS rege-se sobre alguns pontos chaves, sendo eles:

- O estabelecimento de sessões multimédia IP, visto que é um serviço de grande importância para os utilizadores;
- A criação de mecanismos para a negociação da qualidade de serviço. Uma operadora deve oferecer qualidade numa sessão multimédia e deve ser igual para o utilizador, independentemente da tecnologia da rede onde se encontra, no entanto, pode efetuar um controlo da qualidade decidindo a qualidade do serviço que cada utilizador usufruiu e diferenciar certos grupos de usufruidores do serviço;
- Os diferentes métodos de conexão, que torne possível a conexão à Internet e que também suporte o PSTN;
- A capacidade que um utilizador tem em obter conectividade em áreas fora da localidade geográfica onde está registado (*Roaming*), tornando-se, assim, inerente uma vez que a rede móvel 2G suporta esse serviço;

- O acesso universal nos diferentes tipos de redes de acesso (*Wireless Local Area Network* (WLAN), ADSL, CDMA, PSTN, 3G, etc.) em que, o modo de transmissão é distinto para as diferentes tecnologias;
- As políticas gerais ou individuais que levam a um controlo rigoroso dos utilizadores de uma rede, por outras palavras, o tipo de política que possa depender dos termos contratuais;
- Os serviços no IMS são criados de forma mais fácil, não dependendo de padronizações, o que significa que, o IMS é responsável por uniformizar as capacidades do serviço em vez do serviço em si.

A figura seguinte demonstra a convergência das redes para o IMS:

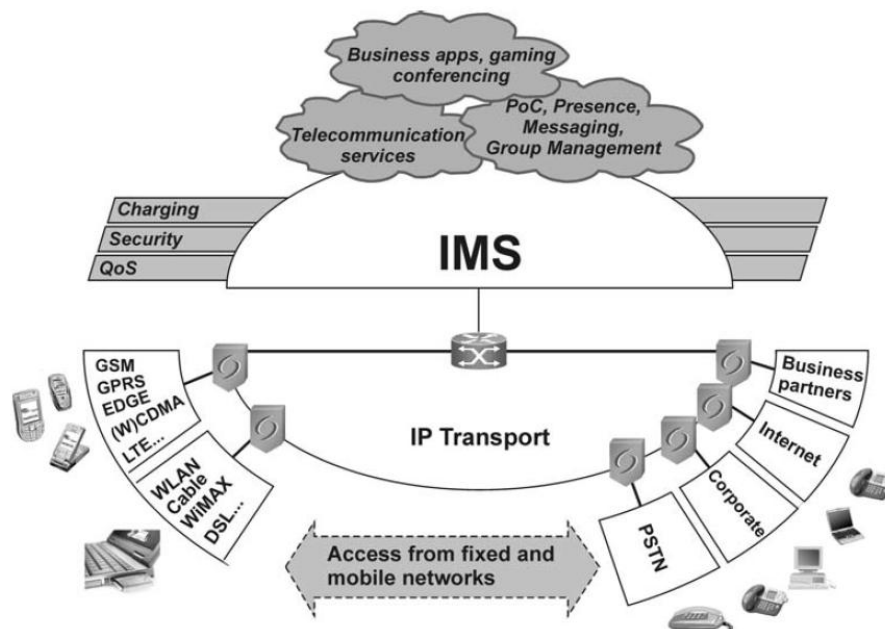


Figura 50 - Convergência das redes para o IMS [16]

O IMS é considerado único uma vez que é capaz de oferecer serviços completos com vantagens como a mobilidade e a capacidade de combinar diferentes serviços. Assim sendo, o IMS será capaz de abrir novas formas de estruturar negócios revolucionando os modelos de negócio das operadoras e proporcionando o aparecimento de uma nova geração de serviços com mais conteúdo, informação e entretenimento.

APÊNDICE C: Estrutura / Arquitetura IMS

A arquitetura IMS apresenta-se como a solução para a convergência entre redes fixas e redes móveis - terminais, redes e serviços. Esta foi desenhada para permitir a migração gradual da atual infraestrutura de telecomunicações para uma nova infraestrutura baseada em IP que permitirá o lançamento de novos serviços reduzindo a complexidade e os custos. Estas reduções tendem a ter benefícios tanto para os operadores como para os utilizadores dos mesmos.[17][18]

O facto de a camada de transporte e de controlo estarem desassociadas dos serviços fornecidos das redes de acesso faz com que esta arquitetura apresente um grande poder, o que significa que, o seu maior foco é o fornecimento dos serviços e não a forma como este está a ser utilizado (WiFi, PSTN, *Fiber to the Home* (FTTH)).

A arquitetura IMS prevê três camadas distintas: a camada de transporte, a camada de controlo e a camada de aplicação ou camada de serviços.

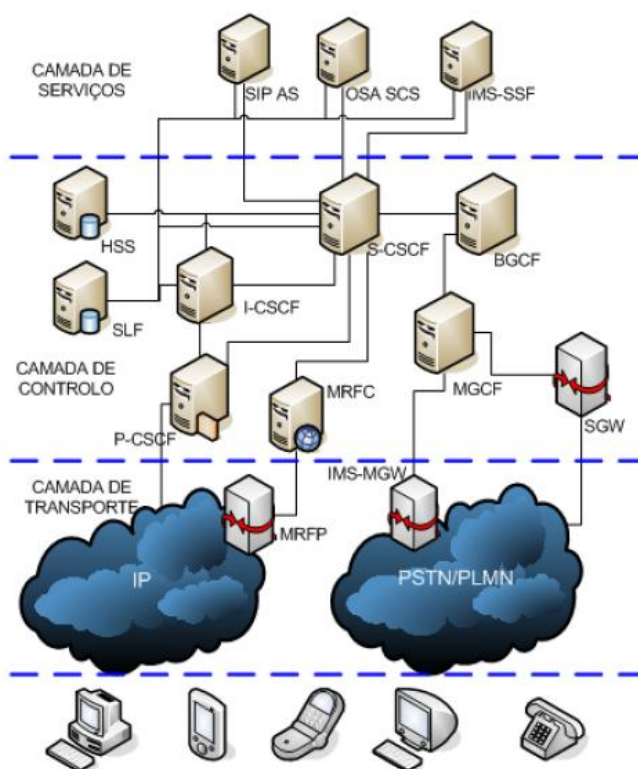


Figura 51 - Diferentes camadas do IMS [15]

A camada de transporte tem a seu cargo a homogeneização dos diversos protocolos, fluxos multimédia e interfaces da rede de acesso para um ambiente IP, normalizando-os para todos os tipos de utilizadores. Esta camada comporta-se como uma camada de transporte de todos os fluxos

multimédia sobre a rede IP. Na camada de controlo encontramos os equipamentos que realizam o controlo dos serviços. E, por último, a camada de aplicação permite que os serviços sejam introduzidos na rede sem alterar a infraestrutura das outras camadas.[19]

Antes de explorar a arquitetura geral do IMS é necessário ter em conta que o 3GPP não normaliza os elementos físicos da arquitetura IMS mas sim, as funcionalidades e interfaces entre estes mesmos elementos. Isto significa que a arquitetura IMS é uma compilação de funcionalidades interligadas por interfaces normalizadas. Os fabricantes têm a possibilidade de combinar diferentes funcionalidades num único elemento da arquitetura (isto é, num único elemento físico). É importante referir que, a arquitetura IMS foi definida, inicialmente, para o uso exclusivo da IPv6 e para as suas redes. Porém, durante os últimos anos, o progresso do IPv4 para o IPv6 não foi muito significativo, sendo que, o trabalho realizado relativo a problemas de *Network Address Translator* (NAT) no *Session Initiation Protocol* (SIP) progrediram substancialmente. Desta forma, para permitir a integração das redes IPv4 tradicionais foi necessário definir dois novos elementos, o *Application Layer Gateway* (ALG) e o *Transition Gateway* (TrGW). O primeiro realiza a interoperabilidade entre IPv4 e IPv6 no plano de sinalização (mensagens SIP e *Session Description Protocol* (SDP)), enquanto o TrGW processa o tráfego dos *media* (por exemplo, *Real-time Transport Protocol* (RTP)).[20]

De seguida, é apresentada a arquitetura IMS, a sua divisão lógica nas três camadas funcionais e, ainda, os seus principais elementos segundo 3GPP/TISPAN.

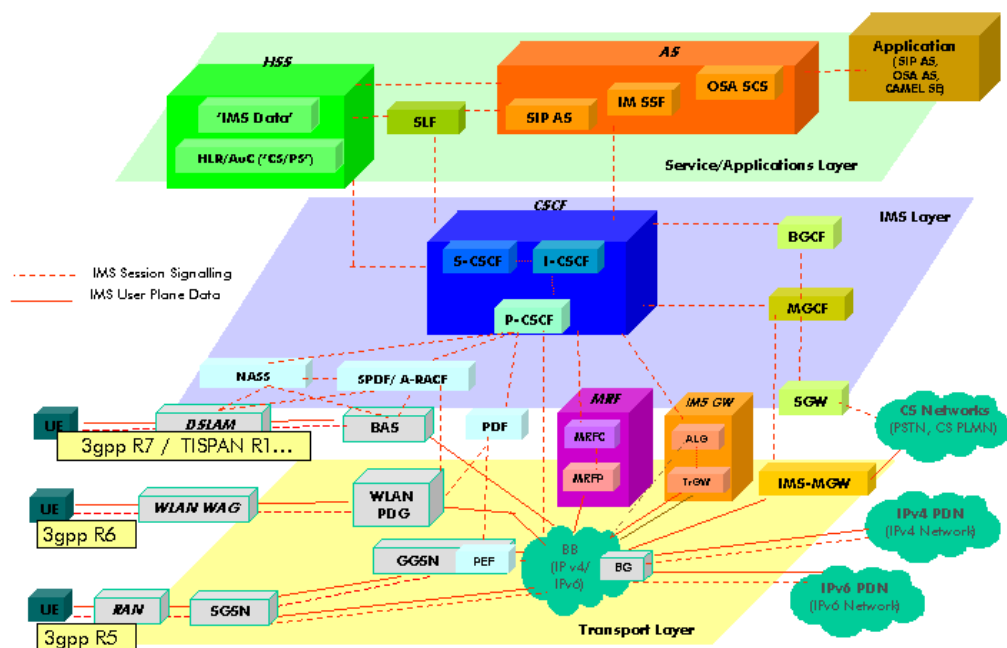


Figura 52 - Arquitectura IMS [16]

Após observação da Figura 52 serão abordados os elementos mais influentes das diferentes camadas do IMS.

Pode então referir-se que o IMS-MGW (*Media Gateway*) é responsável por realizar a conversão entre as redes IMS e outras redes de comutação de circuitos ou de comutação de pacotes, isto é, realiza a tradução entre um formato e outro permitindo ao terminal IMS receber e fazer chamadas. Num lado do IMS-MGW existe o ambiente IMS com fluxos multimédia sobre o protocolo RTP e, no outro lado, existem os componentes multimédia que são tratados por um ou mais canais PCM num ambiente de comutação de circuitos. O controlo do MGW é feito pelo *Media Gateway Control Function* (MGCF) usando o protocolo H.248. O MGCF é o elemento responsável por controlar e administrar os recursos do MGW incluindo o *transcoding* e o processamento de *media* usando H.248. O MGCF controla, também, a conversão de protocolos de *call control* feita pelo *Signaling Gateway* (SGW). O SGW é responsável pela interface de sinalização e pelas redes IP. As sinalizações são convertidas para o transporte baseado em IP, ou seja, o *Signaling Transport* (SIGTRAN). De salientar ainda que, o SGW tem como principal função transportar a sinalização do MGCF.[21][22][23]

O *Multimedia Resource Function* (MRF) está dividido em dois elementos, o *Media Resource Function Processor* (MRFP) e o *Media Resource Function Controller* (MRFC). O MRFP implementa todas as funções relacionadas com os diversos *media* - executar e agregar conforme as instruções recebidas do MRFC. O MRFC atua como um *SIP User Agent* (UA) e contém uma interface SIP com o *Serving Call Session Control Function* (S-CSCF) e, ainda, controla os recursos do MRFP via interface H.248.

Há três tipos de *Call Session Control Function* (CSCF) mediante a funcionalidade a fornecer, sendo eles: o *Proxy Call Session Control Function* (P-CSCF), o *Interrogation Call Session Control Function* (I-CSCF) e o S-CSCF.

O controlo das sessões é feito através dos CSCF, que são servidores SIP que processam pacotes de sinalização SIP controlando as sessões, serviços e alocando recursos, isto é, são responsáveis por estabelecer, monitorizar e finalizar as sessões. O P-CSCF, como o nome indica, é um *proxy* SIP e é o primeiro ponto de contacto entre os terminais IMS e a rede IMS. Este encaminha todas as mensagens SIP (enviadas e recebidas) na direção apropriada (terminal IMS ou para a rede IMS) e inclui, também, a compressão e descompressão das mensagens.

O P-CSCF é responsável pela autenticação do utilizador garantindo a identidade para os restantes nós da rede, estabelece um protocolo *IP Security* (IPSEC) com o terminal e gera os registos de utilização para taxação. Deve-se fazer referência que, este *proxy* SIP, implementa qualidade de serviço e efetua uma verificação de segurança do cliente através dos dados existentes no *Home Subscriber Server* (HSS).

O I-CSCF opera como um servidor *proxy* SIP no domínio IMS e localiza-se sempre na orla de um domínio administrativo. Quando se efetua o registo IMS, o I-CSCF consulta o HSS para seleccionar o S-CSCF que irá atender o utilizador. Este elemento é responsável por encaminhar as consultas e/ou respostas SIP da própria rede ou de redes de outras operadoras para o S-CSCF, como por exemplo, as mensagens SIP recebidas do P-CSCF são encaminhadas para o S-CSCF que estará a servir o utilizador. Desta forma, o I-CSCF é o principal ponto de contacto da rede para todas as ligações IMS destinadas a um utilizador ou para utilizadores em *roaming* que, atualmente, se encontram dentro da área de serviço da operadora. O I-CSCF possui interface com o *Subscriber Location Function* (SLF) e o HSS.

O S-CSCF é o elemento central da arquitetura IMS tendo em conta que, toda a informação passa por este, sendo considerado o cérebro do IMS. O mesmo é responsável pelos registos SIP, por tomar decisões de encaminhamento e por manter o estado das sessões. Assim sendo, o S-CSCF tem as funcionalidade SIP *server* e SIP *register* e passam por ele todas a sinalizações dos terminais IMS. Este elemento controla todos os aspetos dos serviços dos utilizadores (inibindo ou autorizando operações) enquanto dura o registo na rede. De salientar ainda que, o S-CSCF troca informações com os diversos elementos da rede do utilizador para verificar, entre outras coisas, quais os serviços e privilégios que o utilizador possui ao realizar procuras no HSS.

O *Home Subscriber Server* é a base de dados central dos utilizadores numa rede IMS, pois contém a informação de autenticação, autorização, localização e o perfil do utilizador. Este faculta, ainda, o suporte à gestão da mobilidade, estabelece chamadas e/ou sessões, gera informação de segurança dos utilizadores e, ainda, identifica e autoriza os acessos.

Uma rede pode conter mais do que um HSS quando o número de utilizadores for muito elevado, pelo que, redes com apenas um HSS não necessitam de um SLF. O *Subscriber Location Function* é uma simples base de dados adicional que “mapeia” os endereços dos utilizadores aos HSSs. Este elemento faz com que o I-CSCF, o S-CSCF e o *Application Server* (AS) descubram qual o endereço HSS que possui a informação do utilizador nas redes que contêm mais do que um HSS.

O *Application Server* é uma entidade SIP que permite a execução de serviços, sendo estes servidores responsáveis pelo armazenamento e execução dos serviços na rede IMS. Esta entidade realiza a interface com o S-CSCF usando o SIP. O *Session Initiation Protocol Application Server* (SIP AS) é responsável pela execução dos serviços IP multimédia baseados em SIP.

Por outro lado, o *Open Service Access-Service Capability Server* (OSA-SCS) tem a capacidade de aceder ao IMS de forma segura a partir de redes externas e é o nó que age com um AS num lado (responsável por fazer a interface com o S-CSCF com SIP) e com um interface no outro (entre o *OSA Application Server* e o *OSA Application Programming Interface* (API)).

Por último, o *IP Multimedia Service Switching Function (IM-SSF)* permite a um *GSM Service Switching Function (gsmSCF)* controlar uma sessão IMS.

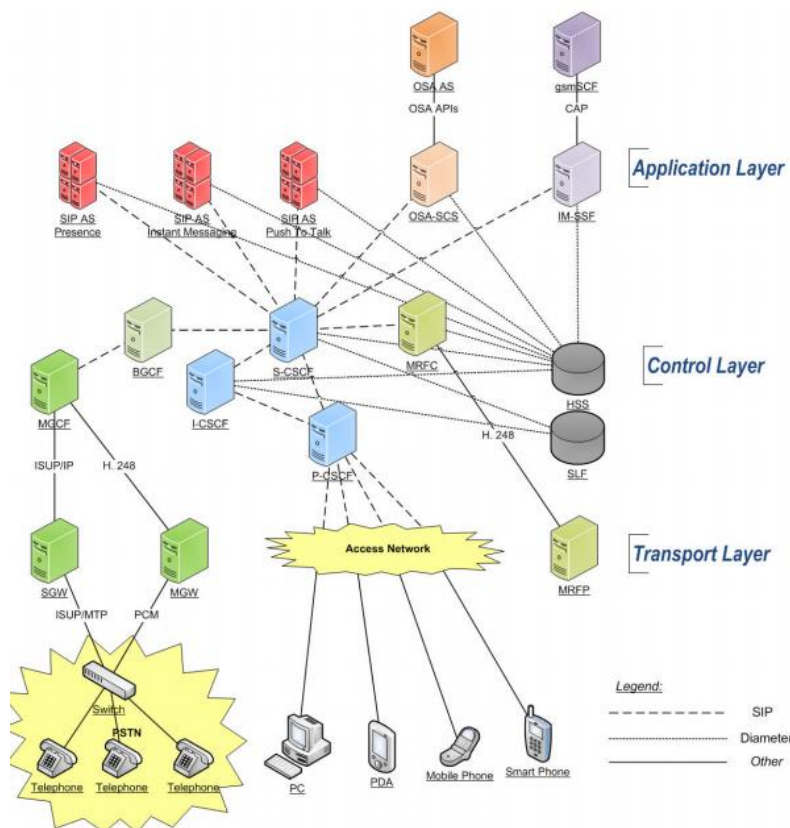


Figura 53 - Resumo arquitetura IMS [16]

Em suma, a arquitetura IMS contempla a convergência entre as camadas de controlo e de aplicação ficando, assim, o controlo de acesso e as suas aplicações transparentes à tecnologia de acesso. Esta característica proporciona um ganho em escala na aquisição e dimensionamento das plataformas da rede que podem ter as suas funcionalidades e recursos acedidos por diversos tipos de utilizadores. Com as camadas de controlo e aplicação unificadas para todos os tipos de utilizadores é possível reduzir os investimentos e o tempo de implementação de novos serviços, pois pode fazer-se uso da infraestrutura existente, adicionando-se à arquitetura apenas novos *Application Server*. O motivo para esta simplicidade na implantação de novos serviços é que todo o controlo das sessões é baseado em SIP - protocolo que se tornou o padrão da indústria para o controlo das sessões multimédia e dos processos de telecomunicações - permitindo a perfeita integração entre os serviços tradicionais de telecomunicações e novos serviços baseados no ambiente da Internet.

APÊNDICE D: Protocolos IMS

O 3GPP optou por usar protocolos desenvolvidos pelo IETF e ITU-T e apoiou-se na experiência do IETF e do ITU-T para a criação de protocolos robustos, reduzindo o tempo de padronização e os custos de desenvolvimento.

Entre outros, o SIP, o *Diameter*, o *Common Open Policy Service (COPS)*, o RTP e o *Real-time Transport Control Protocol (RTCP)* foram alguns dos protocolos escolhidos para o IMS.

O SIP (definido no RFC 3261) é o protocolo de sinalização do IMS e permite criar, de uma forma mais fácil, um novo serviço, uma vez que é baseado em *Hypertext Transfer Protocol (HTTP)*. Este foi descrito pelo IETF como um protocolo para estabelecer e gerir sessões multimédia sobre redes IP.[24][25]

O *Diameter* (definido no RFC 3588) foi escolhido para fazer o protocolo *Authentication, Authorization e Accounting (AAA)* do IMS. Este é uma evolução do *Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS)* (definido no RFC 2865) que é utilizado nas funções de AAA na Internet. O IMS define uma aplicação *Diameter* para interagir com o SIP quando este efetua uma sessão e uma outra aplicação para executar o controlo de taxaço.

Por seu lado, o protocolo COPS (definido no RFC 2748) é responsável por transferir políticas com o objetivo de controlar e de impor restrições ao utilizador.

O RTP e o RTCP (definido no RFC 3550) são utilizados para transmitir áudio ou vídeo em sessões de tempo real, possibilitando o controlo estatístico dos pacotes.

De salientar ainda que, o ITU-T **H.248** (definido no RFC 2805) é usado para sinalização e controlo dos nós no plano *media (Media Gateway Controller (MGC) controlando um media gateway)*. O H.248 foi desenvolvido juntamente pelo ITU-T e IETF, também referido como protocolo *MEdia Gateway COntrol (MEGACO)*.

APÊNDICE E: Serviços e Aplicações do IMS

O IMS possui inúmeros benefícios tanto para os utilizadores como para os fornecedores de serviços na medida em que facilita a criação de novas aplicações e serviços, já que as interfaces são normalizadas. A complexidade das aplicações e dos serviços será mais reduzida, pois as aplicações são mais fáceis e abertas e os serviços de rede são partilhados. A vantagem mais apelativa para os fornecedores de serviços será a possibilidade de criar novos serviços multimédia, ou seja, ter acesso a recursos multimédia (voz, vídeo e dados) disponíveis durante uma chamada.

Com o IMS verifica-se a convergência de redes e a convergência de terminais. Na convergência de redes a camada de abstração IMS é vista de igual forma para todas as redes (móvel, fixa e de banda larga), logo todos os serviços de rede são oferecidos independentemente do tipo de acesso (acesso aos perfis do utilizador, autenticação, faturação, serviços de localização, entre outros). Por outro lado, na convergência de terminais verifica-se que é possível aceder à rede independentemente do terminal (terminal móvel ou fixo, *Personal Digital Assistant* (PDAs), televisores, computadores pessoais, etc.).

Desta forma, as redes IMS são vistas como redes das próximas gerações pois, terão como grande vantagem uma convergência de serviços, aplicações, redes e terminais. Outra grande vantagem será a reutilização dos recursos já existentes e a possível partilha dos recursos das redes com terceiros por parte dos operadores, tornando possível obter um aumento da simplicidade da operação e manutenção das redes dado que os sistemas de gestão, aprovisionamento e faturação são comuns a todas.

Em suma, a implementação de redes IMS originará numa redução de custos e disponibilizará conteúdos aos utilizadores em qualquer formato, dispositivo ou rede.

Há alguns serviços básicos de uma rede IMS que se devem realçar, entres eles: serviços baseados na localização, convergência fixo-móvel, evolução dos atuais serviços de conferência e *push-to-talk*, vídeo e *messaging* móvel bidirecional, transferência de conteúdos entre dispositivos e serviços *quadruple Play* (ou simplesmente *quad Play*) em que engloba TV, Internet, telefone e telemóvel. Os serviços *quad Play* não possuem precedentes e com o IMS a *Television over IP* (IPTV) irá tornar as *set-top box* como qualquer outro dispositivo terminal (PC, telemóvel, etc.) permitindo, assim, aos utilizadores usufruírem de uma vasta gama de serviços entre as redes de acesso. Os serviços de voz e dados de um terminal fixo ou móvel podem ser expandidos ao IPTV da mesma forma. O serviço de dados na TV permitirá realizar a partilha de informação (partilha de fotos e *upload* para blogs ou *webpage*), o visionamento da lista de amigos e de quem se encontra presente e a troca de mensagens (*chat – instant Messaging*). No que diz respeito aos serviços de voz na TV

será possível visualizar o número de quem está a ligar - *click-to-talk* - possibilitando rejeitar e encaminhar chamadas, realizar chamadas de vídeo e videoconferência. Todas estas novas capacidades vão enriquecer as experiências do utilizador. A combinação do vídeo com os serviços de comunicação oferecerá uma maior produtividade (versatilidade) e/ou entretenimento trazendo mais-valias em todas as soluções.

Os operadores podem rapidamente utilizar o IMS para eliminar a complexidade das plataformas e dos serviços das diferentes redes.

APÊNDICE F: Migração

O IMS é a tecnologia eleita por grande parte dos operadores e fornecedores de tecnologia de comutação, nomeadamente, os que fornecem suporte às redes atuais.

Como se pretende migrar para uma solução simples e unificada, estas redes devem ser básicas em todos os seus principais aspetos e princípios para os utilizadores finais. A rede deve oferecer acessibilidade a qualquer pessoa ou serviço, independentemente daquela a que os utilizadores estão conectados. O IMS apresenta-se como uma solução que reúne diversos aspetos, entre eles, a segurança, a autenticação, a autorização, a cobrança, a confiança e a escalabilidade.

O IMS oferece uma estrutura para a construção de serviços com qualidade (QoS), segurança e interoperabilidade, dando aos utilizadores finais uma forma inovadora e consistente de gestão dos seus dispositivos e experiências de comunicação. Este deve ser entendido como uma parte integrante da prestação de serviços de um operador. Para justificar o investimento dos operadores na infraestrutura IMS, este não deve ser limitado a um conjunto específico de serviços e modelos de negócio específico, ou seja, deve atuar como um quadro de prestação de serviços para permitir relacionar os vários serviços multimédia (comunicação, conteúdo e dados). Assim sendo, não deve agir apenas como um hospedeiro para alguns serviços, mas sim, operar de forma a facilitar e a agregar valores aos serviços.

APÊNDICE G: Impacto

Uma das principais preocupações de implantação dos operadores de rede e da perspectiva do provedor de serviços é a complexidade da tecnologia IMS e da sua padronização. Os operadores pretendem atualizar as habilidades IP dos seus utilizadores e para isso é necessário que haja um espaço de endereçamento ainda maior na sua arquitetura, não podendo ser fornecida somente pelo endereçamento IPv4, ou seja, deve também contemplar o endereçamento IPv6. Existem outros desafios relacionados com o IP que são enfrentados pelos operadores quando implementam o IMS, que são:

- a necessidade de planejar e gerir o caminho de migração do IPv4 para o IPv6;
- a interoperabilidade decorrente da coexistência das duas redes;
- a tradução de endereços de rede (NAT) que coloca uma carga adicional sobre a interação entre as redes de acesso e a rede do núcleo IMS.

Existem, ainda, outras questões que precisam de ser abordadas para uma implementação de sucesso das quais se destacam a confiabilidade, a segurança, a taxaço, o *roaming* e a acessibilidade que se definem como aspetos fundamentais para a receita dos operadores.

Tendo em conta que o futuro dos serviços de multimédia é maciçamente influenciado pela regulação, concorrência e economia global denota-se, de forma não surpreendente, que os negócios do IMS nem sempre são fáceis de se concretizar. A falta de serviços multimédia inovadores e a falta de largura de banda dos *links* de acesso móvel são considerados, por vezes, um impedimento para a implantação do IMS.

No entanto, o IMS permite otimizar a rede existente para melhorar as margens de tráfego de voz e a experiência do utilizador e, assim sendo, prepara a migração para “*all-IP*”. Além disso, permite a evolução e a convergência das redes para oferecer serviços de voz e multimédia com um curto tempo de colocação no mercado e com uma forma de custo - benefício. O IMS apresenta uma arquitetura aberta e centrada, construída para as redes móveis, fixas e convergentes. Esta arquitetura de rede baseada no futuro contém interfaces abertas que garantem a interoperabilidade em ambientes de múltiplos fornecedores e uma evolução suave com a máxima reutilização de equipamentos de rede existentes. De salientar ainda que, o IMS gere o tráfego da Internet de forma rentável para oferecer serviços de banda larga em todas as redes IP e para maximizar o desempenho, reduzindo o risco e proporcionando, assim, uma boa solução *end-to-end*.

Desta forma, o sistema operacional IMS oferece com maior rapidez o tempo de serviço, reduzindo o tempo de integração e também os riscos durante o processo na identificação e validação de um modelo de destino operacional para as operações de IMS. Esta solução reduz os custos da empresa de infraestrutura e complexidade, aumenta as receitas de transporte de novos serviços e melhora a

agilidade competitiva. O IMS permite, ainda, que os operadores cobrem as sessões multimédia de forma adequada, pois fornece informações sobre o tipo de serviço que está a ser usado pelo utilizador e, assim, permite que os operadores possam determinar o que cobrar aos utilizadores com base nos tipos de serviços (duração de sessão por tempo, número de bytes transferidos, entre outros).

Um dos maiores desafios nas redes de comunicação de hoje é a melhoria do longo e caro processo da criação de um novo serviço. A infraestrutura de IMS resolve este problema proporcionando uma plataforma padronizada e componentes reutilizáveis. A interface padronizada e as características comuns fornecidas pela infraestrutura IMS permitem que os operadores possam adotar facilmente um serviço criado por terceiros e criar um serviço que se integra com muitos serviços de forma eficaz. Além disso, com a interface normalizada fornecida pelo IMS, o serviço já não é apenas fornecido por um único fornecedor pois qualquer fornecedor que implementa a interface normalizada pode fornecer um serviço. Outro desafio inerente ao IMS é a qualidade de serviço (QoS) que visa proporcionar certos níveis de largura de banda da rede durante a transmissão, contudo, o IMS tende a melhorar a qualidade de serviço dentro da rede e aproveita o mecanismo de QoS para garantir a melhor qualidade da transmissão. De focar ainda, como problema existente, o facto de alguns serviços não estarem disponíveis quando o utilizador está em *roaming* noutro país. Para resolver este problema o IMS utiliza tecnologias e protocolos da Internet com o intuito de permitir que os utilizadores se movam em todos os países sendo capazes de executar todos os serviços como se fossem as suas redes.

Assim sendo, o IMS possui capacidades intrínsecas para a integração dos serviços de distribuição, reutilização de serviços e transparência do serviço global.

APÊNDICE H: Operadores

Os operadores estão a sentir, cada vez mais, a evolução das tecnologias a um ritmo crescente e, conseqüentemente, um aumento das oportunidades de negócio. O objetivo dos operadores é a criação de formas para expandir as ofertas de serviços e aumentar as suas capacidades, com o intuito de se protegerem e, assim, desenvolverem receitas. Uma forma de apoiar a expansão do serviço é apostar na evolução da infraestrutura de comutação de pacotes que permite a criação e a entrega dos múltiplos serviços ao utilizador.

Para proteger o modelo de negócio, os operadores devem gerar sempre novas receitas, isto é, competir com o mercado de forma eficaz reduzindo os seus custos operacionais e de rede. Assim sendo, devem responder de forma rápida e flexível às novas oportunidades de negócios e gerir de forma eficaz os serviços para permitir mudanças no acesso, na taxação e no provisionamento de acordo com as necessidades do mercado-alvo e da alteração dos padrões de uso. Desta forma, necessitam de exercer um elevado grau de controlo do utilizador de acordo com os recursos, dispositivos, aplicações e funções oferecidas. Devem ainda, ir de encontro às necessidades dos utilizadores, tentando adaptar-se às novas aplicações e oferecendo serviços que combatam as lacunas existentes.

O IMS foi introduzido como solução para os operadores obterem oportunidades de receitas imediatas, sendo um elemento chave da evolução para “all-IP”. Este permite um acesso contínuo a uma ampla gama de serviços e que estes sejam prestados de forma padronizada e de maneira bem estruturada entre as camadas da arquitetura de rede. Desta forma, o IMS nunca foi visto como uma “mera” ferramenta para transformar a tecnologia de comutação de circuitos existentes para a tecnologia de comutação de pacotes.

Os operadores apresentam diversas soluções para implementação do IMS, como se pode verificar no caso da Ericsson IMS *Solution* que apresenta uma infraestrutura convergente do núcleo IMS, ou seja, podem reutilizar as funções existentes nas múltiplas aplicações fixas e móveis e nos servidores e serviços.

Como principais preocupações dos operadores verificam-se a necessidade de minimizar os custos de operação e uma boa relação custo-eficácia no que diz respeito à migração, ou seja, os serviços devem ser cobrados a um custo aceitável para que os utilizadores e os rendimentos esperados sejam alcançados.

Em suma, o IMS permite uma migração para uma arquitetura totalmente IP e segura na medida em que atende às necessidades do utilizador final e enriquece os seus serviços.

APÊNDICE I: Visão do mercado

Hoje em dia, há uma forte necessidade de se ter uma “solução madura” para a prestação de serviços baseada em IP para as diversas tecnologias. Algumas dessas novas tecnologias, como por exemplo o LTE e as tecnologias 3G, evoluíram associando o IMS aos projetos de controlo de serviços. Assim, os procedimentos e os serviços IMS são extremamente otimizados para os ambientes futuros. Outra necessidade a ter cada vez mais em conta é o aspeto ecológico e, assim sendo, o IMS veio contribuir para o princípio verde pois reduz o consumo de energia e permite a utilização da infraestrutura existente, ou seja, ao compartilhar a infraestrutura os requisitos de aquecimento, a iluminação e o ar condicionado serão reduzidos.

O IMS não deve apenas preocupar-se com a satisfação do utilizador final em relação ao serviço utilizado, mas também oferecer uma maior variedade de novos serviços para que os utilizadores finais estejam dispostos a usar e a pagar. Os sinais positivos dos serviços IMS dependem do facto do sistema de negócios se encontrar pronto, isto é, se a tecnologia se encontra “madura”, se existe interoperabilidade entre operadoras, se os vários organismos cooperam e se existe aceitação do utilizador final.

Os utilizadores solicitam aos operadores serviços valiosos, mas somente estão interessados e dispostos a pagar pelos serviços que lhes são úteis. Os serviços devem ser de fácil acesso e intuitivos para o utilizador e caso se verifique um grau de dificuldade superior devem conter instruções para tornarem o acesso mais facilitado. Para além disso, os serviços devem ser confiáveis, robustos e devem estar disponíveis logo à primeira tentativa do utilizador pois é improvável que o mesmo tente novamente aceder, ou seja, é importante que os serviços sejam testados cuidadosamente antes de serem implementados e oferecidos aos utilizadores. Por fim, os utilizadores solicitam que haja o mesmo serviço em todos os lugares, em qualquer dispositivo e em qualquer rede. Hoje em dia, cada utilizador pode ter vários dispositivos e o serviço deve aparecer semelhante e de forma contínua em ambos, mesmo que o utilizador se encontre em movimento.

Por outro lado, os operadores direcionam-se para redes da próxima geração e querem consolidar as suas redes de voz tradicionais e outras redes de prestação de serviços numa única rede convergente baseada em IP, pois os custos de funcionamento e de gestão são menores devido à abertura do equipamento IP.

As RNG na Europa são baseadas no IMS e no protocolo SIP para a iniciação da sessão dos serviços de voz. Embora o IMS tenha sido originalmente projetado para redes móveis deve ser, também, utilizado para redes fixas.

Uma das exigências dos operadores é que se torne possível integrar o IMS na infraestrutura sem a existência de qualquer problema proporcionando, assim, a mesma qualidade de serviço antes da mudança, exigindo um investimento menor nos equipamentos de telecomunicações.

Os operadores pretendem, ainda, ter a possibilidade de distinguir os serviços e cobrar cada um de forma diferente, consoante as suas especificidades e aspiram que o serviço de *roaming* seja suportado para que o utilizador consiga ter acesso aos serviços IMS, independentemente da sua localização ou da rede que utilizam.

É de salientar que a gestão do perfil do serviço deve ser fornecida de forma a permitir a fácil modificação desse mesmo serviço e que a gestão da interface do utilizador e dos fluxos de aplicação devem ser flexíveis e permitir uma atualização remota.

O mercado das telecomunicações na Europa está saturado e os preços estão a deteriorar-se. Os serviços de dados exigem muito mais largura de banda e este facto não foi tido em conta no mercado. Os serviços apresentados têm de ser inovadores e o IMS deve surgir como uma tecnologia facilitadora. Não é suficiente promover o IMS somente como um serviço VoIP, pois o IMS deve ser desenvolvido como uma comunicação mais rica e deve ser fornecido em vários meios de comunicação (voz, vídeo, texto, conteúdo digital, etc.).

Na primeira fase de implementação, o foco está nos novos serviços como VoIP, *Push to Talk over Cellular* (PoC) e compartilhamento de vídeo, mas deverá ser possível introduzir gradualmente novos serviços à medida que o tempo vai avançando. Para um operador o principal requisito é a rentabilidade, ou seja, manter os custos baixos e as receitas num mercado muito competitivo. A rentabilidade está intimamente ligada ao número de assinantes e ao uso dos serviços.

O IMS não passou por um período de rápida aprovação o que remota a um crescimento demorado. Algumas regiões da América do Norte registaram um maior crescimento em 2010 e 2011, enquanto, as regiões Europa, Médio Oriente e África (EMEA) e Ásia Pacífico (APAC) revelaram o seu “grosso” crescimento nestes últimos anos. A falta de cumprimento de normas e o Apoio Operacional do Sistema (*Business Operations Support Systems* -BOSS) de integração são as principais barreiras para a adoção por parte dos operadores. A complexidade da arquitetura IMS faz também com que muitas operadoras sejam cautelosas em relação à migração completa das suas plataformas de serviços.

APÊNDICE J: *Operations Support Systems* (OSS)

O IP *Multimedia Subsystem* (IMS) define uma arquitetura baseada em padrões para uma rede baseada em IP. Do ponto de vista de operações, o IMS dá mais flexibilidade aos serviços e ao mercado. A flexibilidade vem da capacidade dos serviços oferecidos e das diferentes opções de ambientes. O IMS permite aos clientes solicitar e ativar os serviços diretamente tipo “*self-service*” dando, deste modo, aos clientes um maior controlo e gratificação quase instantânea pois, em muitos casos, podem ter um serviço de entrega quando é pedido. Desta forma, há uma maior satisfação do cliente e conseqüentemente um maior consumo de serviços.

A integração OSS é vital para o IMS ter sucesso pois caso contrário, os clientes não podiam configurar automaticamente os novos serviços e não possuíam a capacidade de monitorizar de forma proativa. Os operadores podem alocar, ativar e garantir recursos físicos e lógicos para a entrega de um serviço de uma forma rentável no entanto, esses serviços devem reunir alguns requisitos e têm de ser cumpridos para assegurar o seu atendimento.

O OSS tem de fornecer uma plataforma que se estenda a todos os requisitos funcionais das operações, incluindo o planeamento, a realização e a garantia de QoS para todas as tecnologias e todos os serviços. O OSS apresenta também uma única fonte de informação em todas as funções e integridade dos dados, dando uma maior consistência e permitindo, assim, um aumento da produtividade e, conseqüentemente, uma minimização do custo de trabalhos adicionais causados por erros de imprecisão.

Há desafios significativos na prestação de serviços através de uma plataforma convergente e ainda maiores desafios na migração dessas redes e serviços para redes de próxima geração baseadas no IMS. A flexibilidade para modelar e gerir esses serviços em várias tecnologias é fundamental para apoiar os serviços e as operações convergentes das redes de próxima geração na migração. Assim sendo, o OSS deve provisionar, monitorar, configurar e gerir os equipamentos de forma a obter QoS.

A gestão das políticas precisa de ser apoiada pelo OSS de modo a que as políticas possam ser criadas e geridas nos seus serviços. Com o IMS os clientes podem usar uma infinidade de serviços, cada um com as suas próprias políticas e, potencialmente, em diversos dispositivos. Desta forma, existiu a necessidade de haver uma fonte central de dados e nesse sentido, os fornecedores de serviços fortaleceram a identificação, autenticação e autorização dos dados.

Com o IMS os processos operacionais já não são apenas desejáveis, mas sim necessários. Há uma relação implícita entre a política e os serviços sendo o OSS necessário para fazer essa ligação. O OSS desempenha um papel bastante importante na gestão da compatibilidade das políticas permitindo a interoperabilidade dos serviços do assinante. É preciso garantir sempre QoS e se

necessário adotar medidas de retificação. Desta forma, as operações devem ser mais eficientes e automatizadas para reduzir os custos e o volume dos novos serviços face às novas necessidades essencialmente na gestão de serviços, gestão de políticas, gestão de dispositivos e dos assinantes.

APÊNDICE K: KPIs Nokia

KPI Category	KPI	Nokia Fórmula Lógica	Target
Availability	Cell Availability	$\frac{\text{time the cell is in working state}}{\text{time the cell exists in RNC RNW DB}}$	>99.9%
Accessibility	Voice Call Setup Success Ratio (CSSR)	$\frac{(\text{MOC Conv attempts} - \text{MOC Conv failures} + \text{MTC Conv attempts} - \text{MTC Conv failures} + \text{emergency call attempts} - \text{emergency call failures} - \text{RRC access releases Conv})}{(\text{MOC Conv attempts} + \text{MTC Conv attempts} + \text{emergency call attempts} - \text{RRC setup attempts Conv} - \text{RRC access releases Conv} - \text{RRC setup rejects})} \times \frac{\text{RAB access completions}}{\text{RAB setup attempts}}$ <p>Note: (Call related RRC success ratio) * (RAB success ratio)</p>	>99.2%
	RAB Setup and Access Complete Ratio for Voice	$\frac{\text{RAB access completions for CS Voice}}{\text{RAB setup attempts for CS Voice}}$	>99.5%
	Packet Service Setup Success Ratio (CSSR)	$100 \times \frac{(\text{MOC I \& B attempts} - \text{MOC I \& B fail.} - \text{RRC access releases I \& B})}{(\text{MOC I \& B attempts} + \text{MOC I \& B attempts} - \text{RRC access releases I \& B})} \times \frac{\text{RAB access completions (I \& B)}}{\text{RAB setup attempts (I \& B)}}$ <p>Note: (Call related RRC success ratio) * (RAB success ratio)</p>	>99.5%
	RAB setup and access complete ratio for PS	$100 \times \frac{\text{sum}(\text{RAB_ACC_COMP_PS_STREA} + \text{RAB_ACC_COMP_PS_INTER} + \text{RAB_ACC_COMP_PS_BACKG})}{\text{sum}(\text{RAB_STP_ATT_PS_STREA} + \text{RAB_STP_ATT_PS_INTER} + \text{RAB_STP_ATT_PS_BACKG})}}$	open

Retainability	<i>RRC Success Ratio</i>	$\frac{(RRC \text{ active releases due to pre - emption} + RRC \text{ active failures})}{(RRC \text{ active completions} + RRC \text{ active releases} + RRC \text{ active failures})}$	>99.5%
	<i>RAB Success Ratio, Voice (CSR)</i>	$100 - 100 \times \frac{(RAB \text{ ACTIVE REL. due to pre - emption for CS voice} + RAB \text{ ACTIVE FAIL. CS Voice})}{(RAB \text{ ACTIVE COMP. CS Voice} + RAB \text{ ACTIVE REL. CS Voice} + RAB \text{ ACTIVE FAIL. CS Voice})}$	>99.5%
	<i>Packet Session Success Ratio</i>	$\frac{\begin{matrix} HS - DSCH/E - DCH & \text{packet call failure releases (I\&B\&Stream)} \\ + HS - DSCH/DCH & \text{packet call failure releases (I\&B\&Stream)} \\ + DCH/DCH & \text{packet call failure releases (I\&B\&Stream)} \\ HS - DSCH/E - DCH & \text{packet call total releases (I\&B\&Stream)} \\ + HS - DSCH/DCH & \text{packet call total releases (I\&B\&Stream)} \\ + DCH/DCH & \text{packet call total releases (I\&B\&Stream)} \end{matrix}}{\begin{matrix} HS - DSCH/E - DCH & \text{packet call failure releases (I\&B\&Stream)} \\ + HS - DSCH/DCH & \text{packet call failure releases (I\&B\&Stream)} \\ + DCH/DCH & \text{packet call failure releases (I\&B\&Stream)} \\ HS - DSCH/E - DCH & \text{packet call total releases (I\&B\&Stream)} \\ + HS - DSCH/DCH & \text{packet call total releases (I\&B\&Stream)} \\ + DCH/DCH & \text{packet call total releases (I\&B\&Stream)} \end{matrix}}$	<i>open</i>
Mobility	<i>Soft Handover Success Ratio</i>	$\frac{\text{Successful AS updated on SHO (RT + NRT)}}{\text{(Cell addition request SHO (RT + NRT))} + \text{Cell replacement request SHO (RT + NRT)} + \text{Cell deletion request SHO (RT + NRT)}}$	>96%
	<i>IFHO SR Inter Frequency HO success ratio</i>	$100 \times \frac{\begin{matrix} \text{sum(succ_intra_intra_hho_att_rt +} \\ \text{succ_intra_inter_hho_att_rt +} \\ \text{succ_inter_hho_att_rt+)} \\ \text{succ_intra_intra_hho_att_nrt +} \\ \text{succ_intra_inter_hho_att_nrt +} \\ \text{succ_inter_hho_att_nrt)} \end{matrix}}{\begin{matrix} \text{sum(intra_intra_hho_att_rt +} \\ \text{intra_inter_hho_att_rt +} \\ \text{inter_hho_att_rt+)} \\ \text{intra_intra_hho_att_nrt +} \\ \text{intra_inter_hho_att_nrt +} \\ \text{inter_hho_att_nrt)} \end{matrix}}$	<i>open</i>
	<i>Inter System Hard Handover Success Ratio</i>	$\frac{\text{Successful RT + NRT Inter - System HHO}}{\text{RT + NRT Inter - System HHO attempts}}$	
CQI	<i>Average reported CQI</i>	$\frac{\text{sum of all reported CQIs}}{\text{number of reported CQIs}}$	
CE	<i>Channel element availability change indication</i>	<i>Maximum number of available CEs - Minimum number of available CEs</i>	

Usage	<i>Average PRACH (Physical Random Access Channel) preambles during RRI period</i>	$\frac{\text{number of acknowledged PRACH preambles}}{\text{number of measurement reports}}$	
--------------	---	--	--

Tabela 8 – Fórmulas lógicas Nokia [66]

APÊNDICE L: KPIs 3GPP

KPI Category	KPI	3GPP Fórmula Lógica
Availability	Cell Availability	$\frac{\text{measurement_period} - \sum_{\text{cause}} \text{RRU.CellUnavailableTime.[cause]}}{\text{measurement_period}}$
Accessibility	Voice Call Setup Success Ratio (CSSR)	$\text{RabEstabSR} \times \left(\frac{\sum_{\text{cause,cell}} \text{RRC.SuccConnEstab.[cause,cell]}}{\sum_{\text{cause,cell}} \text{RRC.AttConnEstab.[cause,cell]}} \right)$
	Packet Service Setup Success Ratio (CSSR)	cause* = Originating Conversational Call, Originating Streaming Call, Originating Background Call, Terminating Conversational Call, Terminating Streaming Call, Terminating Interactive Call, Terminating Background Call (only causes for call related in 3GPP 25.331)
Accessibility	RAB Setup and Access Complete Ratio for Voice	$\text{RabEstabSR} = \frac{\sum_{\text{type}} \left(\text{RAB.SuccEstabCSNoQueuing.[type]} + \text{RAB.SuccEstabCSQueuing.[type]} + \text{RAB.SuccEstabPSNoQueuing.[type]} + \text{RAB.SuccEstabPSQueuing.[type]} \right)}{\sum_{\text{type}} \left(\text{RAB.AttEstabCS[type]} + \text{RAB.AttEstabPS[type]} \right)}$
	RAB setup and access complete ratio for PS	Type ε {Conv, Strm, Intact, Bgrd}
Retainability	RRC Success Ratio	$\text{RrcEstabSR} = \frac{\sum_{\text{cause}} \text{RRC.SuccConnEstab.[cause]}}{\sum_{\text{cause}} \text{RRC.AttConnEstab.[cause]}}$
	RAB Success Ratio, Voice (CSR)	$\text{RabEstabSR.CS} = \frac{\sum_{\text{type}} \left(\text{RAB.SuccEstabCSNoQueuing.[type]} + \text{RAB.SuccEstabCSQueuing.[type]} \right)}{\sum_{\text{type}} \text{RAB.AttEstabCS[type]}}$
	Packet Session Success Ratio	$\text{RabEstabSR.PS} = \frac{\sum_{\text{type}} \left(\text{RAB.SuccEstabPSNoQueuing.[type]} + \text{RAB.SuccEstabPSQueuing.[type]} \right)}{\sum_{\text{type}} \text{RAB.AttEstabPS[type]}}$
Mobility	Soft Handover Success Ratio	$\text{SHOSR} = \frac{\text{SHO.SuccRLAddUESide}}{\text{SHO.AttRLAddUESide}}$
	Inter System Hard Handover Success Ratio	$\text{HHOSR} = \frac{\left(\text{HHO.SuccOutIntraNodeB} + \text{HHO.SuccOutInterNodeBIntraRNC} + \text{HHO.SuccOutInterRNCIntraRNC} + \text{HHO.SuccOutInterRNCIntraRNC} \right)}{\left(\text{HHO.AttOutIntraNodeB} + \text{HHO.AttOutInterNodeBIntraRNC} + \text{HHO.AttOutInterRNCIntraRNC} + \text{HHO.AttOutInterRNCIntraRNC} \right)}$

Tabela 9 – Fórmulas lógicas 3GPP [67][68]

APÊNDICE M: KPIs Ericsson

KPI Category	KPI	Fórmula Lógica
Availability	Cell Availability	$\text{Cell Availability (Auto)} = 100 \times \frac{\text{pmCellDowntimeAuto}}{[\text{Measurement time duration in seconds}]}$ $\text{Cell Availability (Manual)} = 100 \times \frac{\text{pmCellDowntimeMan}}{[\text{Measurement time duration in seconds}]}$
Accessibility	Voice Call Setup Success Ratio (CSSR)	$\text{Call Setup Success Rate } \langle \text{rab} - \text{cs} \rangle =$ $\text{RRC Connection Success Rate CS} \times \frac{\text{Iu-CS Sign. Conn. Establishment Success Rate}}{100} \times$ $\frac{\text{Rab Establishment Success Rate } \langle \text{rab} - \text{cs} \rangle}{100}$ <p><rab-cs>= Speech, Cs64, Cs57</p>
	Packet Service Setup Success Ratio (CSSR)	$\text{Call Setup Success Rate } \langle \text{rab} - \text{ps} \rangle =$ $\text{RRC Connection Success Rate PS} \times \frac{\text{Iu-PS Sign. Conn. Establishment Success Rate}}{100} \times$ $\frac{\text{Rab Establishment Success Rate } \langle \text{rab} - \text{ps} \rangle}{100}$ <p><rab-ps>= PacketInteractive, PacketInteractiveHS, PacketInteractiveEul, PacketStream, PacketStream128</p>
	RAB Setup and Access Complete Ratio for Voice RAB setup and access complete ratio for PS	$\text{RabEstabSR} = \frac{100 \times \text{pmNoRabEstablishSuccess } \langle \text{rab} \rangle}{\text{pmNoRabEstablishAttempt } \langle \text{rab} \rangle}$ <p>< rab >= Speech, Cs64, Cs57, PacketInteractive, PacketInteractiveHS, PacketInteractiveEul, PacketStream, PacketStream128, PacketStreamHs</p>
Retainability	RAB Success Ratio, Voice (CSR)	$\frac{100 \times \text{No of abnormal RAB releases}}{\text{No of abnormal RAB releases} + \text{No of normal RAB releases}}$

	<i>Packet Session Success Ratio</i>	$\frac{100 \times pmNoSystemRabReleasePacket \text{ (at any phase)}}{pmNoSystemRabReleasePacket + pmNoNormalRabReleasePacket}$
Mobility	<i>Soft Handover failure rate</i>	$\frac{100 \times pmNoTimesCellFailAddToActSet}{pmNoTimesCellFailAddToActSet + pmNoTimesRIAddToActSet}$
	<i>Percentage of IF Ho lost (dropped)</i>	$\frac{100 \times (pmAttNonBlindInterFreqHo < RAB > - pmSuccNonBlindInterFreqHo < RAB > - pmFailNonBlindInterFreqHoRevert < RAB >)}{pmAttNonBlindInterFreqHo < RAB >}$
	<i>Interfrequency handover failure rate</i>	$\frac{100 \times (pmAttNonBlindInterFreqHo < RAB > - pmSuccNonBlindInterFreqHo < RAB >)}{pmAttNonBlindInterFreqHo < RAB >}$

Tabela 10 – Fórmulas lógicas Ericsson [69]