

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM
ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO DE REDES DE
TELECOMUNICAÇÕES**

RAFAEL FONSECA VIEIRA

**PROPOSTAS OPERACIONAIS PARA AMBIENTES
VIRTUALIZADOS NO CORE DA REDE 5G**

CAMPINAS

2019

Rafael Fonseca Vieira

**PROPOSTAS OPERACIONAIS PARA AMBIENTES
VIRTUALIZADOS NO CORE DA REDE 5G**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações. Área de Concentração: Engenharia Elétrica. Orientador: Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho

PUC- CAMPINAS

2019

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira CRB 8/8423
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

621.384456 Vieira, Rafael Fonseca.
V658p Propostas operacionais para ambientes virtualizados no núcleo da
rede 5G / Rafael Fonseca Vieira.- Campinas: PUC-Campinas, 2019
78 f.

Orientador: Marcius Fabius Henriques de Carvalho.
Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunica-
ções) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro
de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universi-
dade Católica de Campinas, Campinas, 2019.
Inclui bibliografia.

1. Telefonia celular. 2. Sistemas de comunicação móvel. 3.
Telecomunicações. 4. Interconexão em rede (Telecomunicações). I.
Carvalho, Marcius Fabius Henriques de. II. Pontifícia Universidade
Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de
Tecnologias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III.
Título.

CDD - 22. ed. 621.384456

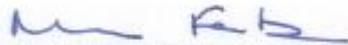
RAFAEL FONSECA VIEIRA

**“PROPOSTAS OPERACIONAIS PARA AMBIENTES
VIRTUALIZADOS NO CORE DA REDE 5G”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

Área de Concentração: Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. MARCIUS FABIUS HENRIQUES DE CARVALHO

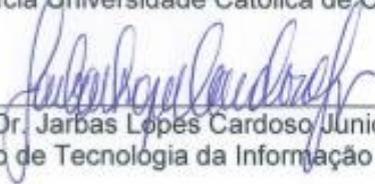
Dissertação defendida e aprovada em 24 de junho de 2019 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Lia Toledo Moreira Mota
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Jarbas Lopes Cardoso Junior
Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer

Agradecimentos

A presente dissertação de mestrado não poderia chegar a bom porto sem o precioso apoio de várias pessoas.

Em primeiro lugar, não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Professor Marcius Fabius Henriques de Carvalho, por toda a paciência, empenho e sentido prático com que sempre me orientou neste trabalho. Muito obrigado por me ter corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus colegas do Mestrado cujo apoio e amizade estiveram presentes em todos os momentos.

Agradeço a empresa a qual trabalho e aos meus superiores que permitiram elaborar esse estudo, em especial ao Daniel Fernando Mechlin Prado que sempre acreditou neste trabalho.

Por último, quero agradecer à minha família e amigos pelo apoio incondicional que me deram, especialmente a paciência e colaboração da minha esposa Michelle Souza Vieira e ao meu pai João Maritniano Vieira Neto pelas revisões deste trabalho.

Resumo

A nova geração da telefonia móvel, 5G, propõe uma revolução nas telecomunicações, entre outras coisas, melhor navegação na Internet, melhora em latência, acesso maciço de dispositivos por metro quadrado, alta confiabilidade, segurança da informação e um menor consumo de energia do sistema. A consolidação desta nova tecnologia exige uma mudança radical na infraestrutura dos prestadores de telefonia móvel que pode ser melhor entendida pela descrição da evolução das gerações da telefonia móvel (1G, 2G, 3G e 4G), apresentação da estrutura atual dos provedores de internet móvel, focando no EPC (*Evolved Packet Core*) até a quarta geração (4G) correlacionando o modelo operacional dos serviços no núcleo (*core*) de pacotes utilizando arquitetura ATCA (*Advanced Telecommunications Computing Architecture*). A partir da revisão da literatura este trabalho identifica a necessidade de um novo modelo operacional para o 5G que utilizará de infraestrutura NFV (*Network Function Virtualization*) /SDN (*Software Define Network*) e normas 3GPP (*Third Generation Partnership Project*). A proposta visa: Pautar-se nos principais requisitos que as operadoras terão no núcleo (*core*) da rede para a próxima geração e estabelecer uma divisão de responsabilidade no âmbito operacional.

Palavras-chave: Telefonia Móvel, Gerações da Telefonia Móvel, Arquitetura das Telecomunicações, Virtualização.

Abstract

The new generation of mobile telephony, 5G, proposes a revolution in telecommunications, among other things, improved internet browsing, improved latency, massive device access per square meter, high reliability, information security and lower system power consumption. The consolidation of this new technology requires a radical change in the infrastructure of mobile telephony providers that can best be understood by describing generations of mobile telephony evolution (1G, 2G, 3G and 4G), current presentation structure of mobile internet providers, focusing on core EPC (Evolved Packet Core) to the fourth generation (4G) correlating the operational model of the services in packet core using ATCA (Advanced Telecommunications Computing Architecture) architecture. From the literature review, this work identifies need for a new operating model for 5G that will use NFV (Network Function Virtualization)/ (SDN) Software Define Network and 3GPP (Third Generation Partnership Project) standards. The proposal aims to: Based the main challenges that operators will have at next generation from core network and establish a division operational responsibility

Keywords: Mobile telephony, Mobile Telephony Generations, Telecommunications Architecture, Virtualization.

Figuras

Figura 1 – Evolução da rede móvel mostrando as principais características de cada tecnologia.....	20
Figura 2 – Estrutura da rede GSM.....	22
Figura 3 – Rede 2.5G com o núcleo GPRS.....	24
Figura 4 – Versões 3GPP e a tecnologia.....	25
Figura 5 – Arquitetura da rede 3GPP versão 99.....	26
Figura 6 – Arquitetura da rede 3GPP versão 4.....	27
Figura 7 – Arquitetura da rede 3GPP Versão 5	27
Figura 8 – Arquitetura da rede 3GPP versão 6.....	28
Figura 9 – Arquitetura da rede 3GPP versão 7.....	29
Figura 10 – Arquitetura da rede 3GPP versão 8.....	31
Figura 11 – Divisão em camadas de uma rede móvel	34
Figura 12 – Estrutura da rede móvel	35
Figura 13 – Evolução do CPCI para o ATCA.....	41
Figura 14 – Arquitetura do 5G.....	45
Figura 15 – Núcleo da rede 5G (NGC).....	46
Figura 16 – Opções de conexão da rede de acesso ao núcleo da rede.....	48
Figura 17 – Núcleo da rede 5G	49
Figura 18 – Estrutura do ETSI para NFV.....	52
Figura 19 – Divisão de camadas em ambientes virtualizados.....	54
Figura 20 – Divisão independente das camadas.....	55
Figura 21 – Divisão atual e proposta de modelo operacional	64
Figura 22 – Divisão das equipes de operação	66
Figura 23 – Divisão entre Telecom e IT.....	69

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparativo entre as tecnologias no acesso.....	36
Tabela 2 – Requisitos mínimos segundo ITU 2020	44
Tabela 3 – Exemplo de serviços típicos X Geração X Núcleo da rede	60
Tabela 4 – Exemplo de serviços típicos para cada subcategoria no Núcleo NGC.....	61

Siglário

1G - *Fist generation*

2G - *Second Generation*

3G - *Third generation*

3GPP - *Third Generation Partnership Project*

4G - *Fourth Generation*

5G - *Fifth generation*

AF - *Aplication Function*

AMF - *Mobility management Function*

AMPS - *Advanced Mobile Phone System*

API - *Application Programming Interface*

APP - *Application*

ARIB - *Association of Radio Industries and Businesses*

ATCA - *Advanced Telecommunications Computing Architecture*

ATIS - *Automatic Terminal Information Service*

ATM - *Assynchronous Transfer Mode*

AuC - *Authentication Center*

AUSF - *Authentication Server Function*

BSC – *Base Station Controller*

BSS - *Base Station Subsystem*

BTS - *Base Transceiver Station*

CA - *Carrier Agregation*

CAPEX - *Capital Expenditure*

CCSA - *China Communications Standards Association*

CDMA IS-95 - *Code Division Multiple Access*

CPCI - *Compact Computer Industrial*

CRAN – *Cloud Radio Access Network*

CS - *Circuit Switch*

CSFB - *Circurit Switch Fall Back*

CUPS - *Control and User Plane Separation*

DN – *Data Network*

DRA - *Diameter Routing Agente*

DSL - *Digital Subscriber Line*

DT - *Direct Tunnel*

EDCH - *Enhanced Dedicated Channel*

EDGE - *Enhanced Data Rates for Global Evolution*

EIR - *Equipment Identity Register*

eMBB - *Enhanced Mobile Broadband*

eNB – *Evolved Node B*

eNodeB - *Evolved Node B*

EPC- *Evolved packet Core*

EPS - *Evolved Packet System*

ETSI - *European Telecommunication Standard Institute*

EUTRAN - *Evolved Terrestrial Radio Access Network*

FDMA - *Frequency Division Multiple Access*

FE - *Front-End*

GERAN - *GSM EDGE Radio Access Network*

GGSN - *Gateway GPRS Support Node*

GMSC - *Gateway Mobile Switching Centre*

gNB - *New Radio Node B*

GPRS - *General Packet Radio Services*

GSM - *Global System for Mobile Communications*

HD - *Hard Disk*

HLR - *Home Location Register*

HSDPA - *High Speed Downlink Packet Access*

HSPA - *High Speed Packet Access*

HSPA+ - *High Speed Packet Access Plus*

HSS - *Home Subscriber System*

HSUPA - *High Speed uplink Packet Access*

IaaS - *Infrastructure as a Service*

IMS - *IP Multimedia Subsystem*

IoT - *Internet of Things*

IP - *Internet Protocol*

ISP – *Internet Service Provider*

ITU - *Institute Telecommunication Union*

KPI - *Key Performance Indicator*

LTE - *Long Terminal Evolution*

M2M - *Machine to Machine*

MANO - *Management and Orchestration*

MBMS - *Multimedia Broadcast Multicast Service*

Mbps - *Megabit Per Second*

MEC – *Mobile Edge Computer*

MGW - *Media Gateway*

MGCF – *Media Gateway Control Function*

MIMO - *Multiple Input Multiple Output*

MMCF – *Mobile Management Control Function*

MME - *Mobility Management Entity*

mMTC - *Massive Machine Type Communications*

MSC - *Mobile Switching Center*

MSS - *Mobile Switching Station*

NE - *Network Element*

NEF - *Network Exposure Function*

NFV - *Network Function Virtualization*

NFVI - *Virtualized Network Function Infrastructure*

NFVO - *Network Function Virtualization Orchestration*

NGC - *New Generate Core*

ng-eNB - *Next generation eNode B*

NGN - *New Generation Network*

NMT 900 - *Nordic Mobile Telecommunications*

NR - *New Radio*

NSA - *Non-Standalone*

NTT - *Nippon Telephone and Telegraph*

O&M - *Operation and Maintenance*

OPEX - *Operational Expenditure*

OSS - *Operational Support System*

OTT - *Over-the-Top*

PaaS - *Platform as a Service*

PCF - *Policy Control Function*

PCRF - *Policy Control Rule Function*

PCSCF - *Proxy-Call Session Control Function*

PDC - *Personal Digital Cellular*

PDSN - *Packet Data Serving Node*

P-GW - *Packet Data Network Gateway*

PICMG - *PCI Industrial Computers Manufacturers Group*

PNF - *Physical Network Functions*

PS - *Packet Switched*

PSTN - *Public Switched Telephone Network*

QAM - *Quadrature amplitude modulation*

RF- *Radio Frequency*

RNC - *Radio Network Controller*

SA - *Standalone*

SaaS - *Software as a Service*

SAE - *Systems Architecture Evolution*

SAE - *Systems Architecture Evolution*

SAE GW - *System Architecture Evolution Gateway*

SCEF - *Capability Exposure Function*

SDBF - *Subscriber Database Function*

SDN - *Software Define Network*

SGSN - *Serving GPRS Support Node*

S-GW - *Serving Gateway*

SMCF - *Session Management Control Function*

SMF - *Session Management Function*

SMP - *Serviço Móvel Pessoal*

SMS - *Short Message Service*

STP - *Signaling Transfer Point*

TACS - *Total Access Communication System*

TDMA - *Time Division Multiple Access*

TI – *Tecnologia da Informação*

TTA - *Telecommunications Technology Association*

TTC - *Telecommunications Technology Committee*

UDC – *User Data Converget*

UDM - *Unified Data Management*

UDR - *User Data Repository*

UE - *User Equipament*

UMTS - *Universal Mobile Telecommunication System*

UPF - *User Plane Function*

URLLC - *Ultra-Reliable and Low Latency Communications*

UTRAN – *UMTS Terrestrial Radio Access Network*

V2X- *Vehicle-to-Everything*

vCPU - *Virtual Central Process Unit*

VDC - *Virtual Data Center*

Wi-Fi - *Wireless Fidelity*

vEPC – *Virtual Envolved Packet Core*

VIM - *Virtual Infrastructure Manager*

vIMS – *Virtual IP Mobile Sysytam*

VLR - *Visitor Location Register*

VM - *Virtual Machine*

VNF - *Virtual Network Function*

VNFD – *VNF Descriptor*

VNFM - *Virtual Network Function Manager*

VoLTE - *Voice over LTE*

VoWi-fi - *Voice over Wi-Fi*

WCDMA - *Wideband Code Division Multiple Access*

WiMax - *Worldwide Interoperability for Microwave Access*

Sumário

1	Introdução.....	16
1.1	Objetivos.....	18
1.1.1	Objetivo geral.....	18
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
1.2	Organização do trabalho.....	18
2	Revisão Bibliográfica.....	20
2.1	Evolução história da rede móvel até a quarta geração.....	20
2.2	Arquitetura da rede na primeira Geração.....	20
2.3	Arquitetura da rede na segunda geração (2G).....	21
2.4	Arquitetura da terceira geração (3G).....	24
2.5	Arquitetura da quarta geração (4G).....	30
3	Estrutura atual da rede móvel no Brasil e o modelo operacional do núcleo EPC até o 4G	34
3.1	Estrutura atual da rede de acesso no Brasil (<i>Access network</i>).....	36
3.2	Estrutura atual do núcleo da rede no Brasil	38
3.3	Estrutura na camada de aplicação.....	39
3.4	Modelo operacional do núcleo da rede	40
4	Quinta Geração (5G).....	43
4.1	Arquitetura do núcleo 5G	45
5	Rede NFV (<i>Network Function Virtualisation</i>) e SDN (<i>Software Defined Networks</i>).....	50
5.1	Divisão da rede NFV em camadas.	54
6	Comparação e tendência no modelo de operação	59
6.1	Comparação segundo 3GPP entre rede legada e o núcleo da rede 5G....	59

6.1.1	Rede legada	59
6.1.2	Núcleo da rede 5G.....	60
6.2	Comparação entre recursos computacionais legados (ATCA) e virtualizados.....	61
6.2.1	Recursos Legados.....	61
6.2.2	Recursos Virtualizados.....	62
7	Proposta para modelo operacional no núcleo da rede 5G (NGC).....	64
7.1	Responsabilidades e requerimentos técnicos nas camadas IaaS e PaaS	66
7.2	Responsabilidades e requerimentos técnicos na camada SaaS (NGC).....	68
7.3	Exemplo de funcionamento do modelo operacional.....	68
8	Conclusão.....	71
	Referências.....	72

1 Introdução

A telefonia celular é o setor de maior crescimento das telecomunicações (CISCO, 2016 e MEI et al., 2014) sendo que as previsões do número de usuários nas redes móveis no mundo são constantemente ultrapassadas. Esse sucesso foi impulsionado com o nascer da Internet em meados de 1993, tornando o serviço de banda larga móvel uma necessidade mundial, (GUIMARÃES, 2001).

Em 1980, o primeiro terminal móvel foi testado, dando origem à primeira geração de telefonia móvel (1G), provendo, exclusivamente, serviço de voz. Após 10 anos, em 1990, surgiu a segunda geração (2G) já com o conceito digital, diferenciando do 1G analógico, que se mostrava ineficaz para suprir a demanda crescente. A segunda geração, adotada pela maioria dos países, utilizou a tecnologia *Global System for Mobile Communications* (GSM) que, além de prover o serviço tradicional de voz, passou a disponibilizar uma estrutura de conexão de dados, conhecida como *General Packet Radio Services* (GPRS) onde a taxa de *downlink* chegava à 171Kbps. O GSM passou por evoluções tecnológicas, chegando à uma taxa de pico no *downlink* de 474Kbps que ficou conhecido como *Enhanced Data Rates for Global Evolution* (EDGE) (MSHIDOBADZE, 2012)

À medida que o número de assinantes móveis foi crescendo, juntamente com a busca por alta qualidade de conteúdo multimídia com *streaming* de vídeo em alta definição, jogos online, vídeo ao vivo, rede social e trocas de arquivos *Peer2Peer*, a segunda geração mostrou-se ineficiente. Como solução, em 2000, nasceu a rede da terceira geração (3G), destinada a suprir a necessidade da sociedade que utilizava a mesma estrutura de conexão de dados GPRS. A primeira padronização do 3G chegava a uma taxa de pico no *downlink* de 1.2Mbps, que também passou por evolução e, hoje, provê uma taxa de pico no *downlink* de 42Mbps que é conhecido como *High Speed Packet Access Plus* (HSPA+) (SHUKLA et al., 2013).

Neste mesmo tempo, a rede fixa adotou um modelo de banda larga conhecido como *Digital Subscriber Line* (DSL), provendo uma conexão melhor que o 3G atual. A comunidade móvel reconheceu a necessidade de desenvolver um sistema de banda larga móvel que fosse concorrente/compatível com o DSL e

capaz de suportar o rápido crescimento do tráfego IP (*Internet Protocol*). Em 2010, surgiu a quarta geração (4G) de rede móvel, adotando a tecnologia *Long Terminal Evolution* (LTE) e uma estrutura de conexão de dados nova na rede chamada de *Systems Architecture Evolution* (SAE) ou *Evolved Packet Core* (EPC), que iniciou com uma taxa de *downlink* de 100 Mbps. Atualmente, o LTE encontra-se em plena evolução sendo que sua base tecnológica será utilizada para a nova geração que está por vir (SHUKLA et al., 2013).

O crescimento da rede de dados mudou o comportamento da sociedade que passou a necessitar de conectividade todo o tempo e em qualquer lugar. Essa demanda não está somente relacionada a usuários com celulares, mas também à *Internet of Things* (IoT) ou internet das coisas que visa conectar “coisas” que fazem parte de um determinado meio. O crescimento aponta um salto de milhões de dispositivos móveis conectados para bilhões de dispositivos registrados nas redes móveis até 2022(CISCO,2019).

Como a rede de telecomunicações pode se preparar para esse novo modelo de negócio? A rede existente é capaz de suprir a demanda citada no parágrafo anterior? Muitas perguntas surgem quando se leva em consideração os estudos feitos sobre o processo evolucionário e os requerimentos futurísticos.

A chegada da quinta geração (5G) de telefonia móvel, que visa realizar uma conexão de dados cada vez mais eficiente e que terá em sua estrutura requisitos para suprir a nova demanda. Trata-se de uma rede nova, proporcionando interoperabilidade entre padrões e dispositivos, com requisitos que incluem, além de altas taxas de transmissão, baixa latência, alta confiabilidade, segurança da informação, possibilitando conexões massivas de dispositivos por metro quadrado com um menor consumo de energia possível do sistema. Para cumprir todas essas premissas estabelecidas pelo 5G, a rede terá que passar por uma transformação estrutural, mudando de forma drástica a arquitetura atual dos provedores (operadoras) de Internet móvel (GUPTA, 2015 e AL-FALAHY et al., 2017).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho propõe um novo modelo operacional para o funcionamento da tecnologia 5G que possa ser usado como referência pelos provedores de internet móvel no Brasil em um futuro próximo.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar o estado atual da telefonia celular no Brasil.
- Levantar os requisitos para implantação da geração 5G.
- Comparação em nível de gerência entre as estruturas legadas e futura.
- Propor uma nova estrutura operacional.

1.2 Organização do trabalho

O Capítulo 2 revisa a história das redes móveis no mundo, focando nas principais mudanças tecnológicas que cada geração trouxe.

Após essa revisão, o capítulo 3 mostra a estrutura das redes móveis no Brasil até a quarta geração, com foco no *EPC*, levantando o modelo operacional adotado pelas operadoras.

O Capítulo 4 avalia o que está sendo proposto pelos órgãos regulamentadores das redes móveis da quinta geração com o modelo arquitetônico no núcleo da rede, pautando-se em ambientes virtualizados.

Como o núcleo da rede 5G trabalha com ambientes virtualizados, esse trabalho dedica no capítulo 5, descrever tais ambientes pautando-se nas normas internacionais do ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*).

O Capítulo 6 faz uma comparação do modelo operacional, existente

que é adotado pelas operadoras até a quarta geração com o modelo operacional proposto na próxima geração.

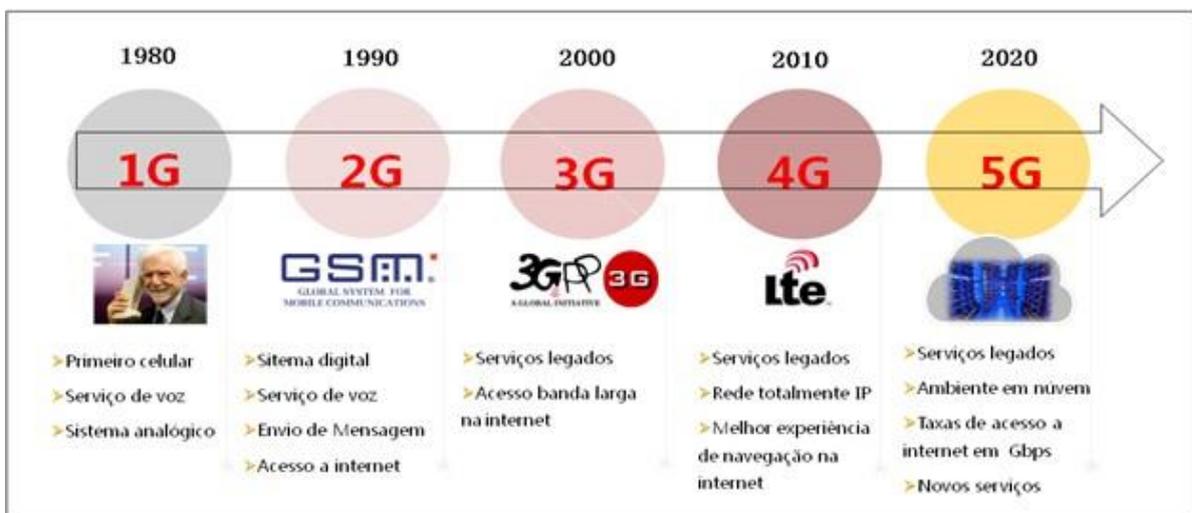
O Capítulo 7, como objetivo da dissertação, é propor um novo modelo operacional dos serviços no núcleo da rede 5G, dividindo as responsabilidades em camadas, sendo que no Capítulo 8 traz as principais conclusões deste trabalho.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Evolução história da rede móvel até a quarta geração

A história do telefone móvel, conhecido como celular, teve seu início na década de 60, quando foi efetuada a primeira chamada de um telefone móvel para um telefone fixo. A partir deste momento as redes móveis não pararam de evoluir. Em meados de 1980 foi lançada a primeira geração de celular, o 1G, seguida de 2G, 3G e 4G sempre buscando aprimoramento tecnológico para prover serviços diversos com melhor qualidade. A figura 1, mostra a evolução no sistema de telecomunicações até 2020, onde está previsto o lançamento comercial do 5G. Limitações e capacidades de cada uma das arquiteturas serão apresentadas a seguir (CISCO, 2016 e SHUKLA et al., 2013).

Figura 1 – Evolução da rede móvel mostrando as principais características de cada tecnologia



Fonte: Produzida pelo ator.

2.2 Arquitetura da rede na primeira Geração

Com a invenção dos microprocessadores e a concepção da comunicação celular nas décadas de 1970 e 1980, a primeira geração das comunicações móveis nasceu (SHUKLA et al., 2013). Esses sistemas eram

essencialmente analógicos e utilizavam o FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) para se comunicar, tendo sido projetados para trafegar somente voz. A estrutura da rede dividia-se na transmissão de dados via estrutura da rede fixa chamada de PSTN (*Public Switched Telephone Network*) conectado diretamente na estação rádio base que provia o sinal sem fio. Os principais sistemas analógicos desenvolvidos foram:

- AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) usado nas Américas, Austrália e alguns outros países;
- TACS (*Total Access Communication System*) usado no Reino Unido, Itália, Kuwait, Emirados Árabes, Malásia, Hong Kong, China e outros;
- NMT 900 (*Nordic Mobile Telecommunications*) usado nos países nórdicos, na Suíça, Holanda, Espanha, Tunísia, Marrocos, Iugoslávia e outros;
- NTT (*Nippon Telephone and Telegraph*) usado no Japão.

Esses sistemas possuíam limitação de capacidade, terminais de usuários grandes e pesados, incompatibilidade entre os sistemas, interfaces não padronizadas, baixa qualidade nas ligações e não havia nenhum tipo de segurança na transmissão das informações.

2.3 Arquitetura da rede na segunda geração (2G)

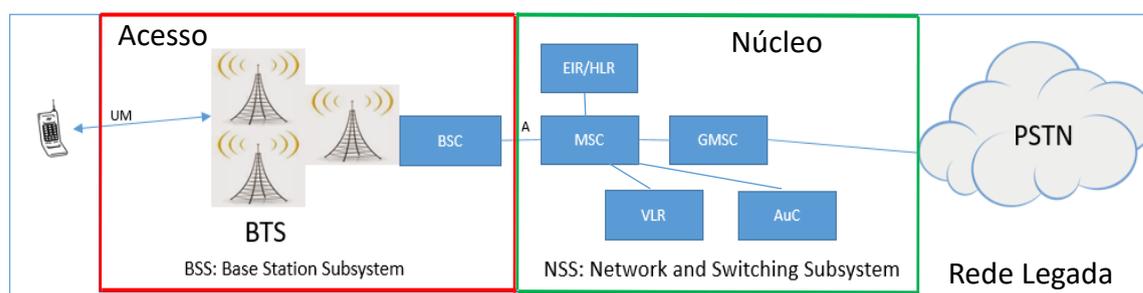
Até o ano de 1991, os sistemas de telefonia móvel sujeitavam-se à classe analógica. O caminho de transmissão entre as centrais e as estações rádio base já havia sido digitalizado. A explosão acelerada das redes celulares analógicas levou o sistema a operar na sua capacidade máxima. A solução para permitir a expansão da rede estava na digitalização da interface aérea (MSHIDOBADZE, 2012 e SHUKLA et al., 2013).

Como não havia um padrão mundial até aquele momento, surgiram tecnologias digitais distintas na interface aérea como GSM, na Europa; o *Time Division Multiple Access* (TDMA), o *Code Division Multiple Access* (CDMA) nos EUA e o *Personal Digital Cellular* (PDC), no Japão (SHUKLA et al., 2013).

Apenas em 1998 o Brasil modernizou sua rede com sistemas digitais TDMA e CDMA. Não muito distante, em 2000 o Brasil abria as suas portas para a tecnologia GSM. Neste trabalho, será dado ênfase à tecnologia GSM, visto que o Brasil e a maior parte do mundo, atualmente, adotam esse padrão tecnológico.

O GSM foi especificado pelo ETSI e entrou em operação comercial em 1992. O sistema especificado deveria possuir interconectividade internacional (*roaming internacional*), interfaces abertas entre os elementos de rede, melhor qualidade de voz e com possibilidade para comunicação de dados. A figura 2 mostra a estrutura da rede GSM dividida em rede de acesso (quadro vermelho), o núcleo (quadro verde) conectado à rede legada (rede fixa) conhecida como PSTN. Neste sistema a rede provia somente serviços de voz e envio de SMS (*Short Message Service*).

Figura 2 – Estrutura da rede GSM



Fonte: Adaptada de (MSHIDOBADZE, 2012)

A rede de acesso é conhecida como BSS (*Base Station Subsystem*) contemplando a interface "UM" entre o móvel (dispositivo) e a antena chamada de BTS (*Base Transceiver Station*). As antenas são conectadas e controladas pela central de acesso BSC (*Base Station Controller*) (MSHIDOBADZE, 2012 e SHUKLA et al., 2013).

O núcleo da rede ou *Network and Switching Subsystem* é conectado a BSC via interface "A" com a *Mobile Switching Station* (MSS) ou MSC (*Mobile Switching Center*) que faz o controle da rede GSM. Esse conjunto de elementos no núcleo da rede provê serviços de voz e envio de mensagens de texto (SMS) onde cada caixa na figura 2 tem suas funções específicas:

HLR: "*Home location Register*" é responsável pela base de dados do

usuário ou perfil do móvel.

EIR: “*Equipment Identity Register*” é utilizado para verificar se o aparelho móvel é roubado ou não.

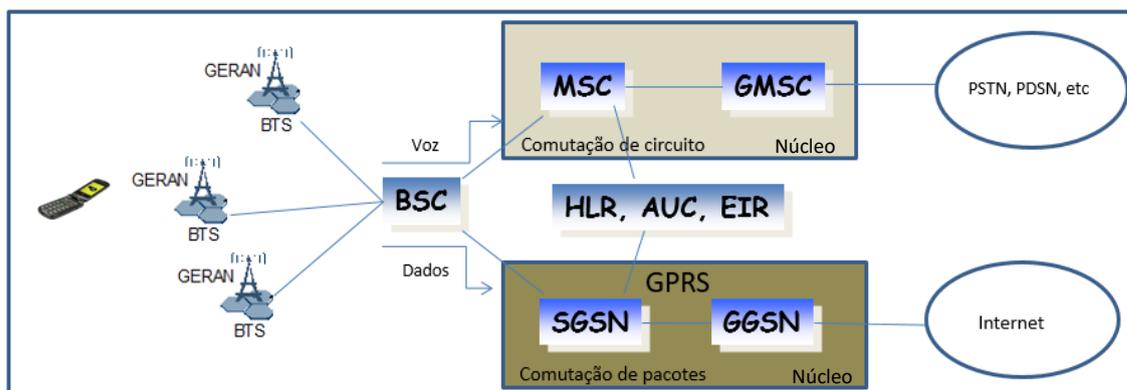
VLR: “*Visitor Location Register*” é o perfil do usuário salvo de maneira dinâmica dentro da MSC.

GMSC: “*Gateway Mobile Switching Centre*” faz a conexão entre a rede móvel e outras redes (por exemplo, a rede fixa).

AUC: “*Authentication Center*” faz a autenticação de usuário para evitar clones na rede. É uma base de dados responsável pela autenticação dos assinantes que tentam utilizar a rede, provendo ao HLR os parâmetros de autenticação e as chaves de cifragem utilizadas para garantir a segurança da rede.

A evolução do GSM para redes 3G acrescentou, gradualmente, novas funcionalidades para melhorar a capacidade de dados oferecida aos seus usuários. A evolução começou com uma atualização da rede GSM para 2.5G, onde a tecnologia GPRS (*General Packet Radio Services*) introduziu um serviço orientado a pacotes, permitindo às estações móveis enviar e receber pacotes IP sobre o sistema de voz existente. O GPRS introduziu um novo domínio na arquitetura das redes móveis, conhecido como comutação de pacotes PS (*Packet Switched*). Na rede de acesso, voz e dados compartilham o mesmo caminho, mas na parte central da rede, cada serviço é separado e segue o seu respectivo domínio. A figura 3 representa, de forma geral, o sistema 2.5G, onde o acesso se dá pelas antenas (BTS), responsável por irradiar o sinal de rádio na tecnologia GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*), que são controladas pela central de acesso BSC. O núcleo da rede agora é representado por dois domínios diferentes, comutação de circuitos conectados a PSTN/PDSN (*Packet Data Serving Node*) e computação de pacotes conectados à internet (MSHIDOBADZE, 2012).

Figura 3– Rede 2.5G com o núcleo GPRS



Fonte: Adaptado de (SHUKLA et al.,2013)

A tecnologia GPRS ofereceu, inicialmente, apenas taxas em torno de 171Kbps. Logo após o GPRS surgiu a tecnologia *Enhanced Data Rates for Global Evolution* (EDGE), capaz de lidar com mais assinantes de dados do que o GPRS, atingido a capacidade máxima teórica de até 384kbps, com modulações de maior eficiência espectral e codificação dentro da mesma fonte (SHUKLA et al., 2013).

Considerada como a geração 2.75G, a tecnologia EDGE tangenciou a evolução para redes de terceira geração. Foi o primeiro passo no sentido de facilitar a transição para redes de terceira geração com maior largura de banda e altas velocidades de dados.

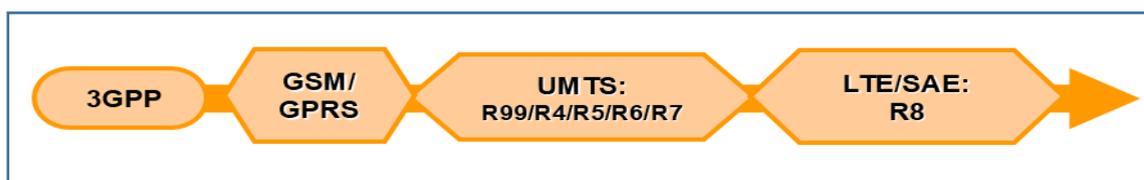
2.4 Arquitetura da terceira geração (3G)

Antes de entrar nas características da terceira geração, é importante salientar a existência do grupo *Third Generation Partnership Project* (3GPP) que surgiu, nesse período, e tem como objetivo padronizar, de forma internacional as telecomunicações móveis.

A criação do grupo 3GPP foi consolidada em dezembro de 1998 por cinco empresas de tecnologia móvel, a ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) da Europa, ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) / TTC (*Telecommunications Technology Committee*) do Japão, CCSA (*China Communications Standards Association*) da República Popular da China, ATIS (*Automatic Terminal Information Service*) da América do Norte e TTA (*Telecommunications Technology Association*) da Coreia do Sul. Após a definição

dos parâmetros de uma tecnologia, o órgão disponibiliza todas as suas normas através de documentos conhecidos como *releases* (versão) do 3GPP, entendido como versão de um documento (padrão). Essas versões não estão atreladas somente a uma nova geração (2G, 3G e 4G) de tecnologia, pois mesmo dentro de uma mesma topologia pode haver características evolutivas, objetivando melhorar/ otimizar o sistema atual. Um bom exemplo para mostrar a relação entre as versões do 3GPP com a tecnologia está na Figura 4 que ilustra a primeira versão (*Release 99*) definido o sistema UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) como padrão para a terceira geração e na versão 8 (*Release 8*) a tecnologia LTE (*Long Terminal evolution*) para o 4G.

Figura 4 – Versões 3GPP e a tecnologia



Fonte: adaptado de (MSHIDOBADZE, 2012).

A figura 4 mostra o surgimento do grupo 3GPP, onde a tecnologia adotada nas redes móveis na época era o GSM/GPRS (2G). Entre as tecnologias UMTS (3G) e LTE/SAE (4G), o órgão internacional publicou versões (*Releases*), buscando uma melhoria dentro da tecnologia 3G (R4, R5, R6 e R7).

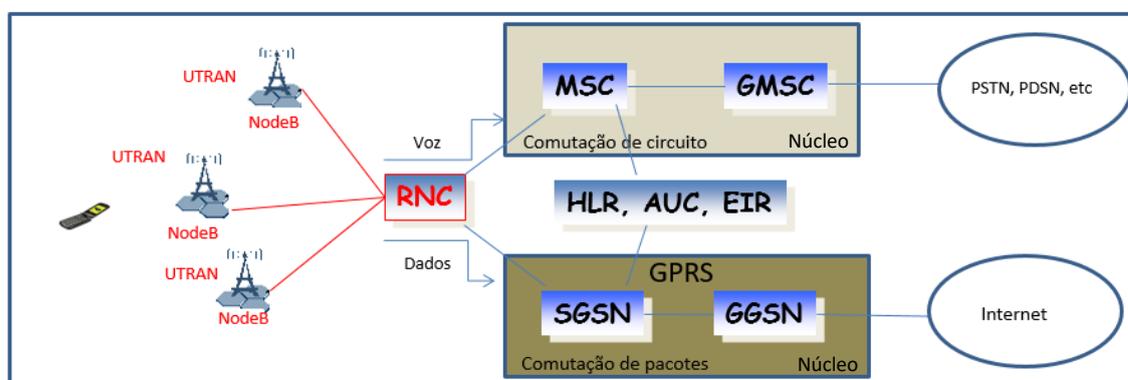
O UMTS versão-99 (Rel-99) (3GPP, 2000) define a interface de rádio de um sistema de terceira geração móvel. A tecnologia TDMA utilizada na interface de rádio pelo GSM é substituída pela tecnologia WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) com largura de banda maior que o 2G.

As características que mais se destacam nas redes de terceira geração são a nova interface aérea capaz de proporcionar maiores taxas de dados e larguras de faixa mais largas e mais flexíveis, e compatibilidade em escala mundial (GUPTA, 2015; MSHIDOBADZE, 2012 e SHUKLA et al., 2013).

Na rede de acesso os elementos do BSS GSM (*Base Station Subsystem*) como a BTS e BSC foram substituídos pelo nodeB e RNC (*Radio*

Network Controller), respectivamente, formando um novo sistema, o UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*), utilizando inicialmente as tecnologias ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) na rede de transporte (NodeB ao RNC). No núcleo da rede, já existente, utilizado pelo GSM, apenas algumas melhorias foram introduzidas. A figura 5 ilustra a primeira arquitetura da terceira geração conhecida como UMTS na versão 99. É importante destacar que a diferença na arquitetura do 2G para o 3G está na rede de acesso (destacado em vermelho).

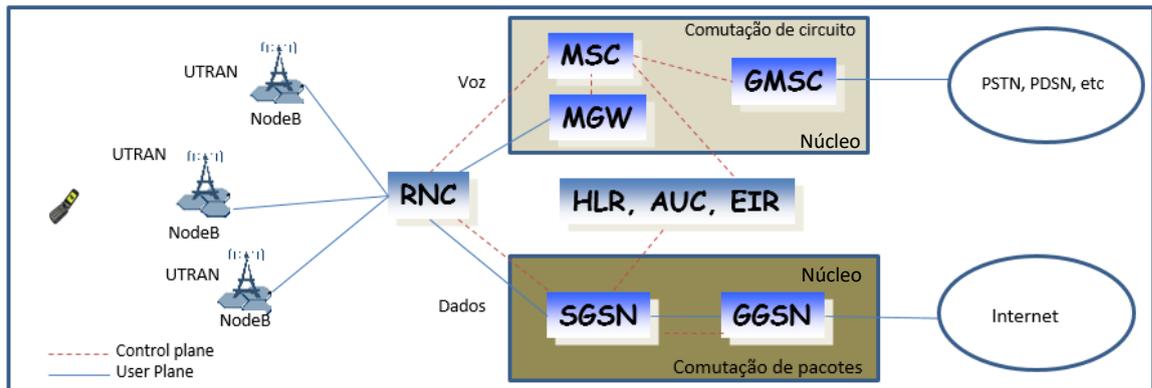
Figura 5 – Arquitetura da rede 3GPP versão 99



Fonte: Adaptada de (3GPP, 2000)

Como mostrado na figura 5, a terceira geração passou por evolução tecnológica, objetivando otimizar o sistema padronizado na versão 99 (*Release 99*). A próxima versão foi a 4 que, diferente das outras versões, introduziu uma modificação no núcleo da rede, a separação do MSC em dois novos elementos no Domínio CS (*Circuit Switch*): *MSC Server (Mobile Station Controller Server)*, responsável pelo controle da sinalização (plano de controle) das chamadas e *MGW (Media Gateway)* responsável por manter a capacidade da conexão (plano do usuário) e conexões físicas com os demais elementos da rede (Figura 6). Isso permitiu que os dados do usuário (plano do usuário) e de sinalização (plano de controle) fossem separados logicamente de modo a possibilitar a prestação de serviços por diferentes recursos de transporte, como por exemplo, o IP (*Internet Protocol*) (SHUKLA et al., 2013). Na figura 6, o plano de controle, que tem como função fazer todo o controle do usuário à nível de sinalização, é representado por linhas vermelhas e o plano do usuário, que é de fato a mídia que o usuário trafega na rede, é representado pela linha azul.

Figura 6 – Arquitetura da rede 3GPP versão 4



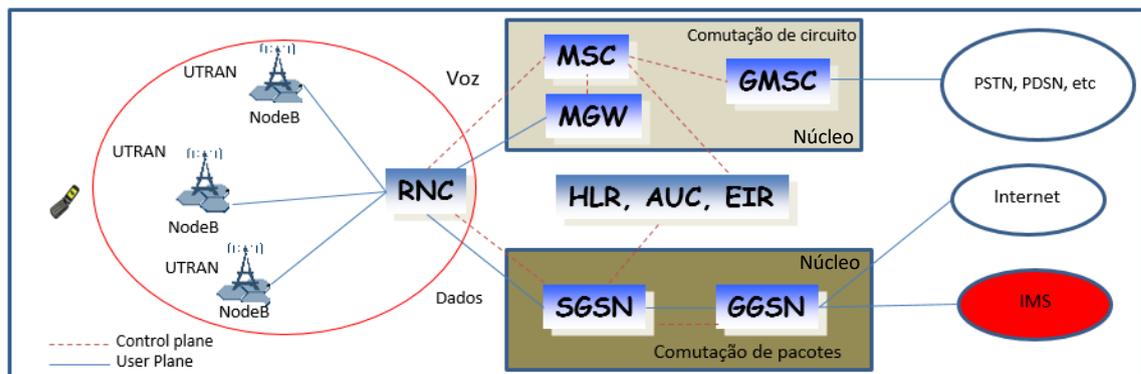
Fonte: Adaptada de (3GPP, 2003)

O plano do usuário pode agora ser transportado em IP entre as MGW e a PSTN o que se tornou uma alternativa mais econômica e flexível.

A partir da versão 5 (3GPP, 2003), ocorreram grandes mudanças na rede UMTS. Uma das principais alterações foi a introdução do IMS (*IP Multimedia Subsystem*) no núcleo PS (*Packet Switch*) para permitir serviços multimídia em tempo real (Figura 7).

Para atingir as altas taxas requeridas pelos novos serviços agora disponíveis, no 3GPP versão-5 foram implementadas na interface aérea o HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) uma melhoria nos recursos de rádio (destacado em vermelho) no enlace de descida (*downlink*) proporcionando uma melhor navegação na rede de dados conforme a figura 7 (SHUKLA et al., 2013; GUPTA, 2015 e MSHIDOBADZE, 2012).

Figura 7 – Arquitetura da rede 3GPP Versão 5



Fonte: Adaptada de 3GPP (3GPP, 2003)

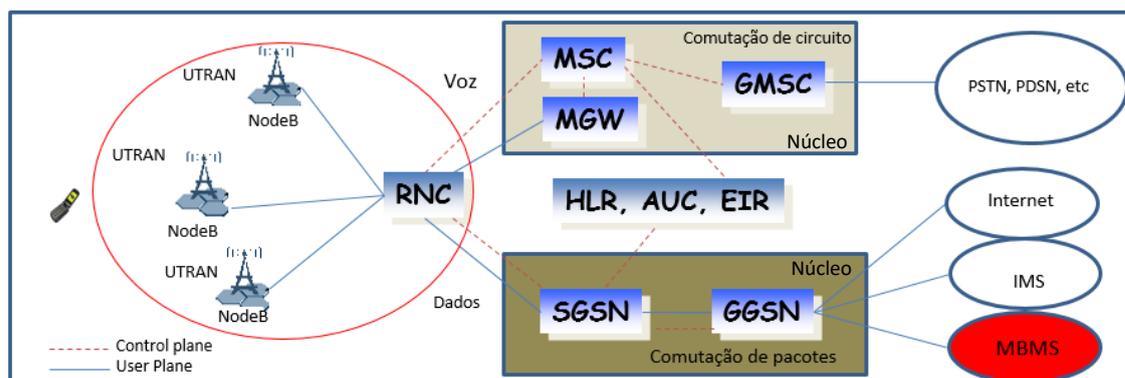
Graças a essas melhorias, tornou-se possível atingir taxas de transmissão entre 10 e 14 Mbps (*Megabit Per Second*). No enlace reverso (*uplink*), preservou-se a modulação das versões anteriores, mantendo a taxa de enlace reverso em torno dos 384Kbps (MSHIDOBADZE, 2012 e SHUKLA et al., 2013).

A evolução da tecnologia UMTS continuou com a versão-6 do 3GPP (3GPP, 2006). Lançado no primeiro trimestre de 2005, a versão-6 foi capaz de introduzir, na interface aérea, melhorias significativas na velocidade de dados de pico de enlace reverso através do uso de um canal de transporte dedicado denominado EDCH (*Enhanced Dedicated Channel*) com atraso muito baixo (Figura 8).

Além de canais de transporte dedicados para diminuir os atrasos de transmissão melhorando a cobertura e aumentando a taxa de transferência para até 5,76 Mbps no *uplink*, o HSUPA (*High Speed uplink Packet Access*), introduziu o MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*) que define a capacidade para lidar com a mesma informação para muitos usuários de uma célula utilizando os mesmos recursos de rádio. O MBMS é um serviço unidirecional, ponto a multiponto, em que os dados são transmitidos a partir de uma única fonte para múltiplos destinatários. Ao se transmitir os mesmos dados para vários destinatários há compartilhamento da rede com ênfase na eficiência do uso na interface de rádio (GUPTA, 2015; MSHIDOBADZE, 2012 e SHUKLA et al., 2013).

A Figura 8 mostra em destaque (vermelho) o novo serviço disponível na rede móvel da terceira geração.

Figura 8 – Arquitetura da rede 3GPP versão 6`

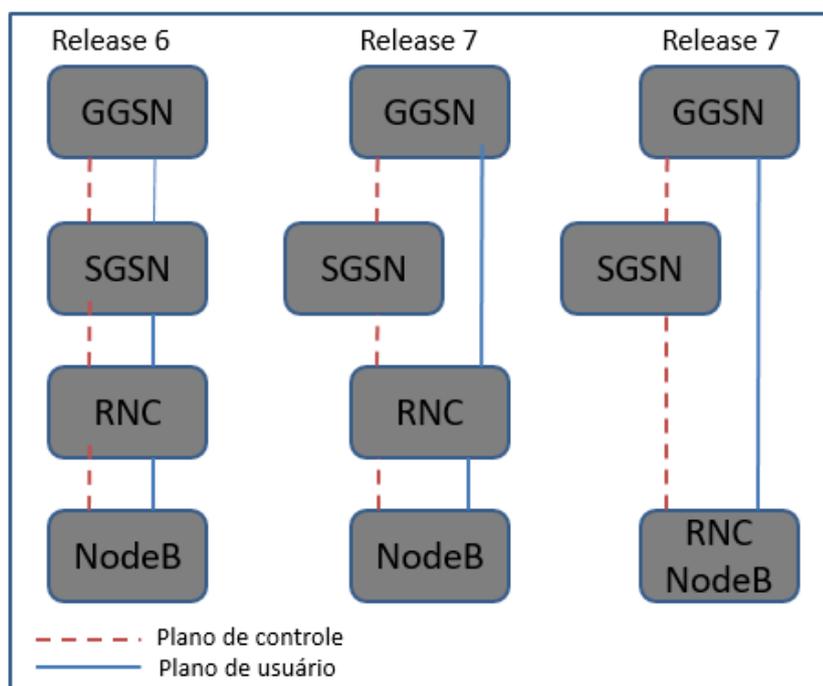


Fonte: Adaptada de 3GPP (3GPP, 2006)

O 3GPP na versão-7 publicado em junho de 2007 introduziu melhorias substanciais na tecnologia de acesso UMTS (3GPP, 2007). A versão 7, por vezes referido como HSPA+ (*High Speed Packet Access Plus*), contém uma série de características adicionais que melhoram a capacidade do sistema, (figura 9). As seguintes técnicas mais importantes incluídas no HSPA+ podem ser divididas na interface de rádio e no núcleo GPRS. Para o rádio foram criados modulação de alta ordem e MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) para alcançar altas taxas de dados, operação com *Dual-Portadora* no *downlink*, conectividade contínua de pacotes para melhorar o tempo de vida da bateria e no núcleo GPRS foram separados os planos do usuário e o plano de controle chamado de *one tunnel* ou *direct tunnel* (DT), diminuindo assim, o atraso na rede. Não houve nesta versão proposta de serviços novos e sim uma melhoria na arquitetura (SHUKLA et al., 2013).

A Figura 9 faz um comparativo entre as versões do 3GPP, mostrando a evolução da arquitetura da rede. É possível notar que dentro da Versão 7 existem dois modelos arquitetônicos que melhoraram a transferência de dados (em azul) diminuindo a quantidade de equipamentos entre o móvel (usuário que está abaixo da rede de acesso (NodeB) e a saída para internet (acima do GGSN).

Figura 9– Arquitetura da rede 3GPP versão 7



Fonte: Adaptada de 3GPP (3GPP, 2007)

Na versão 6, pode-se notar o GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), SGSN (*Serving GPRS Support Node*) e o RNC (*Radio Network Controller*) suportam tanto o plano de controle quanto o plano do usuário. Já na versão 7, observa-se que o SGSN já não suporta mais o plano de usuário e oferece suporte apenas no plano de controle (imagem central da figura), enquanto que as funções do RNC passam a ser desempenhadas pelo NodeB diminuindo assim o atraso no envio e no recebimento dos pacotes (imagem a direita da figura) (MSHIDOBADZE, 2012 e SHUKLA et al., 2013).

2.5 Arquitetura da quarta geração (4G)

Como a adoção de linhas fixas de banda larga começou a crescer rapidamente em todo o mundo, a comunidade móvel reconheceu a necessidade de desenvolver um sistema de banda larga móvel que fosse concorrente/compatível com DSL (*Digital Subscriber Line*) e capaz de suportar o rápido crescimento do tráfego *IP*.

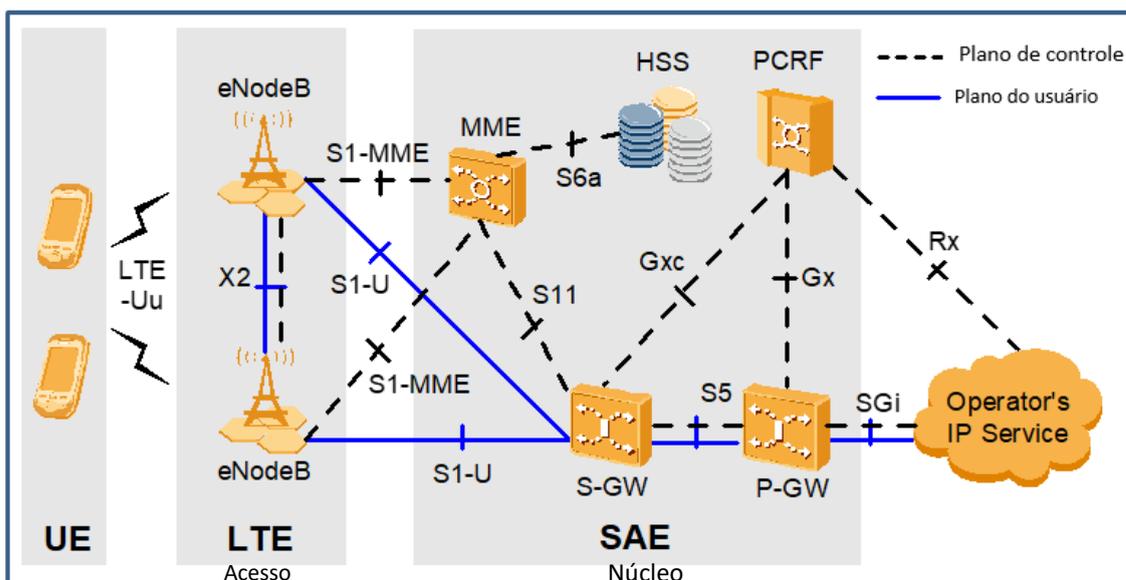
Por volta de 2005, dois grupos dentro do 3GPP começaram a trabalhar no desenvolvimento de um padrão para suportar o esperado crescimento do tráfego de dados *IP* dentro da rede móvel. Um grupo trabalhou na tecnologia da interface de rádio e desenvolveu o projeto LTE (*Long Term Evolution*); o outro grupo desenvolveu o projeto de arquitetura da rede denominado SAE (*Systems Architecture Evolution*). No final de 2008, os estudos evoluíram e as especificações estavam suficientemente estáveis para o lançamento da versão-8 do 3GPP (MSHIDOBADZE, 2012 e SHUKLA et al., 2013).

O LTE versão 8 (3GPP,2009) popularmente chamado de 4G, introduz uma nova terminologia para descrever a arquitetura. O Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN) consiste no equipamento do usuário (UE, *User Equipment*), *Evolved Node B* (eNodeB) e suas interfaces associadas. O EUTRAN (*Evolved Terrestrial Radio Access Network*) também é conhecido como Long Term Evolution (LTE) (MSHIDOBADZE, 2012 e SHUKLA et al., 2013).

O *Evolved Packet Core* (EPC) foi padronizada para trabalhar somente com IP, não suportando outro tipo de tecnologia na rede de transporte. O EPC é uma rede de comutação de pacotes que consiste basicamente de (figura 10):

- MME (*Mobility Management Entity*), responsável pela sinalização, incluindo funções de segurança e mobilidade dos terminais registrados na rede LTE. Comparada à rede GPRS, tem funções semelhantes a do SGSN e se conecta com o acesso via interface S1-MME
- SAE GW (*System Architecture Evolution Gateway*), que é a combinação de dois Gateways, o S-GW (*Serving Gateway*) e o P-GW (*Packet Data Network Gateway*), ambos definidos para o suporte do plano do usuário no EPC (*Evolved Packet Core*). Comparando com a rede GPRS, o P-GW exerce função semelhante ao GGSN, e o S-GW é um elemento com objetivos não vistos na rede GPRS que utiliza da interface S1-U para conectar-se a rede de acesso.
- eNodeB (*Evolved NodeB*), responsável pelo gerenciamento de mobilidade, protocolos de rádio, retransmissões e compressão do cabeçalho.

Figura 10 – Arquitetura da rede 3GPP versão 8



Fonte: Adaptado de (3GPP,2009)

A figura 10 mostra, além dos elementos MME, S-GW, P-GW e eNodeB, os equipamentos de base de dados onde são salvos o perfil do usuário como

HSS (*Home subscriber system*) e o PCRF (*Policy Control Rule Function*). Esses dois últimos, não são características exclusivas do 4G. Os mesmos já tinham sido implementados em versões anteriores.

A interface SGI e a Rx, estão conectadas na nuvem *Operator's IP service* representando todos os tipos de serviços IP como internet, IMS, etc.

O conjunto entre UE, LTE e SAE é conhecido também como EPS (*Evolved Packet system*).

A busca por menor latência e, principalmente, maiores taxas de dados motivou a sequência desta evolução. As versões seguintes à versão 8 do 3GPP introduziram uma série de novos recursos juntamente com novos desenvolvimentos para a arquitetura de rede. O primeiro passo importante na evolução do LTE, também conhecido como *LTE-Advanced*, que comercialmente é chamada de 4G+ ou 4.5G, ocorreu como parte da versão 11 (3GPP, 2013). A versão 11 do 3GPP ampliou e aprimorou a tecnologia de acesso por rádio LTE em vários aspectos. A técnica de *Carrier Aggregation* é um dos recursos definidos nesta versão que ajudaram a proporcionar estes avanços. Nela, as portadoras são agregadas para promover a possibilidade de uso de espectro fragmentado e suportar uma largura de banda maior e, conseqüentemente, maiores taxas de dados do que as versões iniciais do LTE. (MSHIDOBADZE, 2012)

A padronização das especificações propostas na versão 13 do LTE, conhecida como *LTE Advanced Pro*, assim como o LTE Advanced, que utiliza de agregação de portadoras, tem um diferencial ao propor MIMO 4x4, modulação 256 QAM no downlink, entre outros, tornando-se um marco da sua evolução (3GPP, 2016). Como enfatizado anteriormente, a demanda por tráfego de dados em redes de telecomunicações cresce continuamente e não há indícios de que este crescimento irá desacelerar. Atender as expectativas crescentes do usuário em termos de latência, confiabilidade e taxas de dados é o principal desafio na evolução do LTE. Além disso, não apenas altas taxas de dados são desejáveis, mas também a disponibilidade de taxas de dados suficientemente elevadas, em qualquer lugar (MSHIDOBADZE, 2012).

Neste contexto, os avanços na banda larga móvel e a expansão para

novos casos de uso fazem parte do escopo da versão 13. Mais especificamente, os aprimoramentos relacionados à capacidade da rede e à experiência de navegação do usuário.

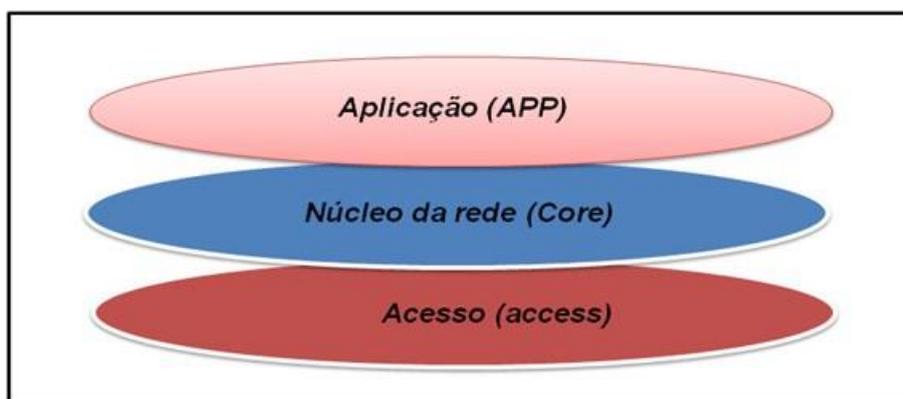
3 Estrutura atual da rede móvel no Brasil e o modelo operacional do núcleo EPC até o 4G

Este capítulo descreve a arquitetura da rede com seus principais serviços prestados pelas operadoras brasileiras com enfoque no EPC, buscando correlacionar o modelo operacional realizado pelos profissionais da área, descrevendo as principais atividades realizadas.

Entender a estrutura atual das operadoras será de suma importância para o passo posterior, onde será comparada a estrutura tecnológica com o modelo operacional das operadoras brasileiras. Vale ressaltar que o objetivo principal deste trabalho será apontar e propor um novo modelo operacional, visto que a tecnologia esperada para 2020 (data para o lançamento comercial do 5G) trará mudanças significativas em sua estrutura funcional (SOLDANI et al., 2014)

Hoje a rede móvel está dividida, basicamente, em 3 pilhas ou 3 camadas, como na Figura 11.

Figura 11 – Divisão em camadas de uma rede móvel



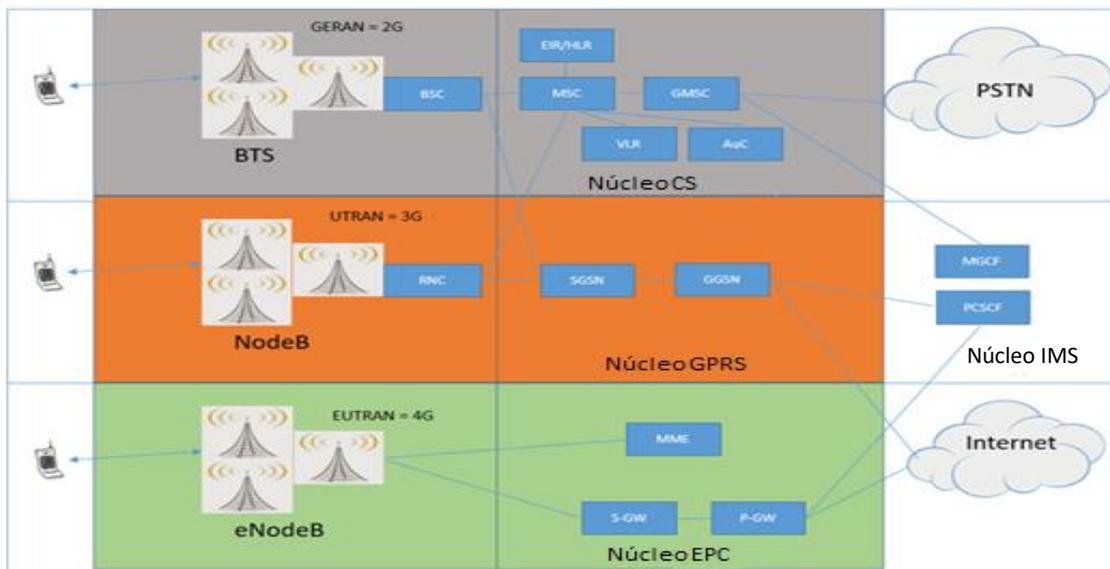
Fonte: Feita pelo autor

Certamente, serão necessárias outras áreas para construir uma rede completa, como transmissão e *backbone* IP. Não será dada ênfase, neste trabalho, a estas duas camadas de atuação devido a não participação do 3GPP,

podendo enxergá-las somente como premissas básicas para o funcionamento da rede.

A figura 12 mostra a distribuição entre a camada de acesso representada pelas siglas *GERAN* (2G), *UTRAN* (3G) e *EUTRAN* (4G) conectada aos núcleos *Circuit Switch* (CS), *packet switch* (PS) e *Evolved Packet Core* (EPC) via interfaces padronizadas pelo 3GPP. O núcleo *IMS* (*IP mobile subsystem*), evolução da rede fixa NGN (*New Generation Network*), também participa da estrutura da rede e está conectado aos elementos do núcleo PS/EPC e CS. Quando o IMS participa juntamente com os outros núcleos da rede é possível prover chamada de voz mesmo sobre uma cobertura 4G. O *MGCF* (*Media Gateway Control Function*) e o *PCSCF* (*Proxy-Call Session Control Function*) são elementos que está contido na solução da rede IMS e participam diretamente de uma chamanda entre dois usuários, onde, por exemplo, um assinante está na rede 4G e o outro em um acesso 2G ou 3G (SHUKLA et al., 2013).

Figura 12: Estrutura da rede móvel



Fonte: Adaptado (3GPP,2009)

- Acesso 2G e núcleo CS
- Acesso 3G e núcleo GPRS
- Acesso 4G e núcleo EPC
- Núcleo IMS representado pelo MGCF e PCSCF

3.1 Estrutura atual da rede de acesso no Brasil (*Access network*)

A rede de acesso, como o próprio nome diz, provee acesso ao usuário. Está entre o terminal do assinante e a BSC no 2G, entre usuário e RNC no 3G e entre usuário e eNodeB no 4G. Tem como objetivo prover o acesso/conectividade para o usuário, utilizando rádio frequência (RF) além de conectar via um sistema de transmissão e *datacom* ao núcleo da rede. As operadoras no Brasil têm nos seus sistemas irradiantes as 3 tecnologias citadas anteriormente (2G, 3G e 4G). É importante destacar que, até o presente momento, todas as tecnologias são utilizadas e não substituídas por uma mais nova.

Falar da área de acesso, remete a algumas indagações, tais como: Qual é a tecnologia de rádio mais adequada e suas características? Qual a frequência de operação? E outras. Não são esses os únicos parâmetros que definem uma área de acesso, porém, para facilitar o entendimento é de bom cunho dividir as funcionalidades de cada área. A Tabela 1 representa alguns parâmetros relacionados à rede de acesso (parâmetros de rádio frequência) além das citadas anteriormente.

Tabela 1 – Comparativo entre as tecnologias no acesso

Geração	Versão 3GPP	Taxa pico no download	Taxa pico no upload	Latência
GPRS	97/99	40-80Kbps	40-80Kbps	700ms
EDGE	4	237-474Kbps	237kbps	450ms
UMTS	4	384Kbps	384kbps	<200ms
HSDPA	5	1,8Mbps	384kbps	<120ms
HSPA	6	3,6-7,2Mbps	2Mbps	<100ms
HSPA+	7	28-42Mbps	11,5Mbps	<80ms
LTE	8	173-326Mbps	86Mbps	<10ms

É importante salientar que atualmente no Brasil existe um comportamento onde todas as tecnologias de rádio estão funcionando ao mesmo tempo. Atualmente o foco das operadoras está na ampliação da cobertura de rádio LTE (4G), principalmente por sua potencialidade com usuários de celulares (*smartphones*) e por ter sido a última a ser lançada no mercado.

As redes 2G e 3G ainda têm uma importância relevante para o contexto brasileiro, devido a abrangência na cobertura atual, comparada ao 4G, devido ao tempo que está no mercado, por trabalhar em frequência mais baixa (possibilitando uma maior cobertura de rádio), falta de investimentos das operadoras na Quarta Geração em regiões cujo interesse comercial não as atraem, entre outros.

Ao citar serviços de dados, não é exclusividade o acesso a rede Internet, que buscam em sua normalidade, uma alta taxa de transferência de dados. Existem também usuários conhecidos como M2M (*Machine to Machine*), que em sua grande maioria, não demandam uma alta taxa de dados. Para esse modelo de negócio é mais importante a área de cobertura do que a banda larga disponível. Os usuários M2M, normalmente, são oriundos do mundo corporativo (exemplo: máquinas de cartão de crédito). O tráfego gerado por essas aplicações é pequeno, sendo o 2G suficiente para o funcionamento das mesmas (DOMENICO et al., 2018).

A chamada de voz utilizando o núcleo CS (*Circuit Switch*) é outro exemplo da importância da rede legada. A figura 13 mostra que o acesso a este núcleo se faz pela rede 2G e 3G.

As operadoras brasileiras têm uma equipe especializada para operar a rede de acesso, monitorando o desempenho por meio de contadores da interface de rádio, buscando a manutenção e otimização dos serviços prestados.

A área de acesso também compreende os equipamentos que provee os acessos 2G, 3G e 4G. Os operadores neste campo são responsáveis, além do monitoramento do serviço, pela infraestrutura relacionada à capacidade dos equipamentos (carga de processamento), estrutura de energia, atualização de *software*, restabelecimento do serviço em caso de falha, etc.

3.2 Estrutura atual do núcleo da rede no Brasil

O núcleo está entre a rede de acesso e as diversas aplicações ao qual está disponível para o usuário como, por exemplo, serviço de voz, Internet, entre outros; faz a gestão do usuário no plano de controle (faz o controle da sinalização da rede) e no plano do usuário (faz o controle das mídias/conteúdo que são transferidos entre aplicação e assinante). É no núcleo que se verifica, na camada 4 do modelo TCP/IP, quem é o usuário que está acessando a rede, dando toda a tratativa necessária para preparar a conexão do usuário à aplicação que deseja. Como o nome diz, é o núcleo de uma rede móvel. Hoje, no Brasil, as principais operadoras têm os 3 núcleos implementados: núcleo *CS* (*Circuit Switch*), núcleo *GPRS/EPC* e núcleo *IMS* (MSHIDOBADZE, 2012).

No cronograma aplicado às operadoras brasileiras, deu-se, primeiramente, a implantação do núcleo *CS*, provendo serviços de voz e *SMS* (*Short Message Service*). Depois, foi implementado o núcleo *GPRS* no 2.5G, fornecendo serviços de dados móveis. Com a versão 8 do 3GPP (4G), as operadoras implementaram o núcleo *EPC*, provendo, unicamente, uma melhora significativa relacionada a conexão à internet. Para realizar ou receber chamadas de voz, quando o usuário está sobre cobertura 4G, a solução adotada pelas operadoras foi utilizar o *CS Fall Back* (*CSFB*), onde o usuário ao receber ou fazer uma chamada de voz é redirecionado para a rede 2G ou 3G para se conectar ao núcleo *CS*, enquanto sua conexão de dados para internet é redirecionada para o núcleo *GPRS*. A solução *CSFB* permite que ao término da chamada o móvel volte para o núcleo *EPC* (UDOH et al., 2018 e WAKIEL et al., 2016).

No ano de 2017, as operadoras brasileiras iniciaram o projeto *VoLTE* (*Voice over LTE*). O núcleo *IMS* foi implementado possibilitando que o novo modelo de chamada de voz fosse estabelecido sem a necessidade de mudança para o núcleo *CS*. A implementação da rede *IMS* traz outros benefícios para a operadora e para os usuários que passam a ter a possibilidade de uma chamada via rede *wi-fi* (*wireless fidelity*) conhecida como *VoWi-fi* (*Voice over Wi-Fi*). Essa característica é provida pelo núcleo *EPC* que pode conectar diferentes tipos de acessos, incluindo redes 3GPP e não 3GPP (*non-3GPP*) (NATARAJAN et al., 2019 e WAKIEL et al. 2016).

Um dos temas atuais nas operadoras nos anos de 2018 e 2019 é a consolidação dos serviços VoLTE e VoWi-Fi. Atualmente esses serviços estão em funcionamento, porém em poucas regiões devido à capacidade da rede IMS implantada, pouco conhecimento e experiência dos operadores para esse novo serviço, entre outros. As operadoras estão buscando primeiramente consolidar pouco a pouco essa nova aplicação dentro da rede EPC e IMS, buscando uma maneira sólida de monitorar performance e criando fluxos para solucionar problemas em caso de falhas.

3.3 Estrutura na camada de aplicação

A camada de aplicação dentro da operadora pode ser chamada também de área de plataformas. É responsável por prover serviços agregados disponíveis em uma operadora. De forma mais clara, as aplicações estão relacionadas aos serviços disponibilizados aos usuários de telefonia móvel. Os principais, nos dias de hoje, para clientes que são conhecidos como SMP (Serviço Móvel Pessoal) estão relacionados basicamente a chamada de voz (sistema tradicional e VoLTE) e acesso à internet.

A busca por novos serviços dentro da operadora é o grande desafio. Após o advento da INTERNET, os provedores de conteúdos, basicamente fomentados pelas OTTs (*Over-the-Top*), como exemplo do *facebook* e *whatsapp*, dominaram o mercado de serviços, transformando as operadoras somente em ISP (*Internet Service Provider*). Os serviços que eram prestados pela prestadora de telefonia (SMS, Fax, Voz, Vídeoconferência, serviços de localização, etc) estão sendo substituídos devido a esta concorrência. (SUJATA et al., 2015).

Para elucidar o impacto que as OTTs geraram na camada de serviços da operadora, de acordo com *Informa's World Cellular* (Informa's, 2013) houve uma queda de receita anual com SMS em todo o mundo, onde em 2013 eram gerados US\$120 bilhões de faturamento com SMS; no ano de 2017, foram gerados US\$ 96,7 bilhões.

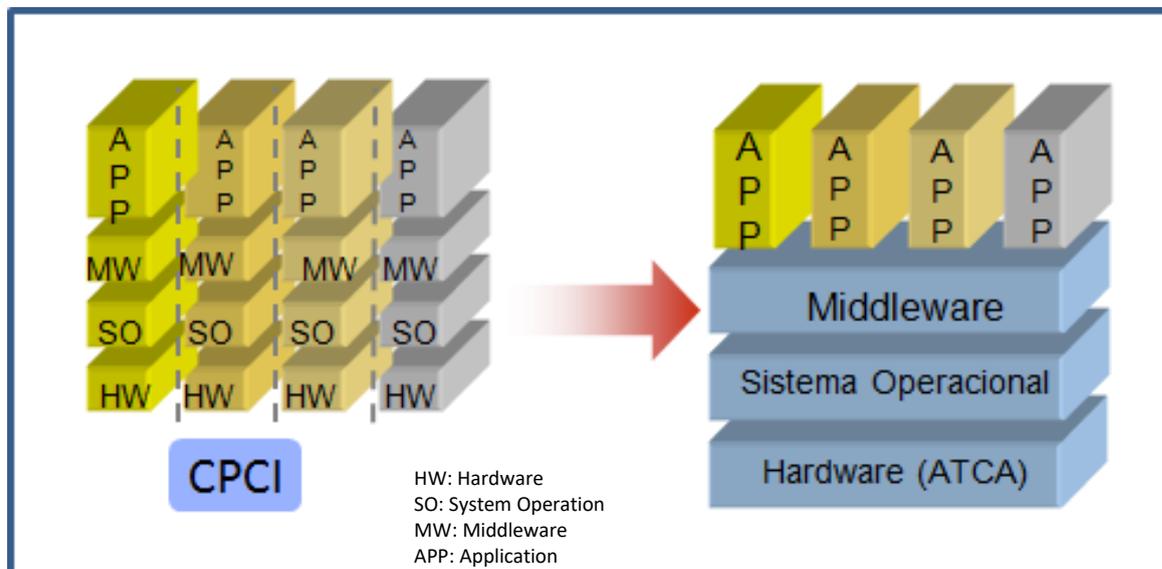
3.4 Modelo operacional do núcleo da rede

O modelo de operação e manutenção adotado pelas operadoras brasileiras para os núcleos da rede está dividido em três grupos: aquele que opera o núcleo EPC/GPRS, o segundo, conhecido como comutação de circuitos, que opera o núcleo CS, e o último, que opera o núcleo IMS (oriundo da rede fixa).

Todos os três núcleos da rede, atualmente, utilizam, em suas centrais (equipamentos computacionais), a arquitetura de *hardware* ATCA (*Advanced Telecommunications Computing Architecture*). O ATCA é uma série de padrões abertos que especifica uma plataforma de computação, originalmente desenvolvida para atender às necessidades de comunicações em nível de equipamentos, para as operadoras no mundo (DENIES et al., 2006).

O modelo ATCA não é o único adotado na rede, porém é a solução predominante nas centrais que realizam o plano de controle como HLR, MME, SGSN, GMSC, etc. Para o plano do usuário o modelo de roteadores (*routers*) são as soluções adotadas como: GGSN, S-GW, P-GW, etc. A figura 13 mostra a evolução dos modelos legados CPCI (*Compact computer industrial*) que já não são mais adotados pelas operadoras brasileiras para o modelo padrão ATCA, especificada pelo grupo *PCI Industrial Computers Manufacturers Group* (PICMG) (DENIES et al., 2006).

Figura 13 – Evolução do CPCI para o ATCA



Fonte: Adaptado de (DONG, 2016)

O modelo antigo CPCI é baseado puramente em *hardware*. Este tipo de equipamento tem soluções não compactadas em sua estrutura física. Cada interface lógica, padronizada pelo 3GPP entre os elementos da rede conhecidos como NE (*network element*), tem no CPCI uma placa (*hardware*) dedicada. Utilizando a figura 13 como referência, cada pilha na vertical (modelo CPCI) é dedicada para processar uma interface descrita pelo 3GPP.

Com o surgimento do modelo ATCA buscou-se otimizar o sistema CPCI. A figura 13 mostra diferentes aplicações sendo processadas no mesmo *hardware*, que são comumente chamados de servidor *blade*. Os principais avanços estão relacionados à melhoria de capacidade de processamento, alta disponibilidade, melhor escalabilidade e melhor gerenciamento (visto que múltiplas aplicações podem ser geridas por um centro de gerencia) (DONG, 2006).

Um operador do EPC é responsável por operar o sistema fim-a-fim. Além de monitorar os contadores e KPIs (*Key Performance Indicator*) das aplicações é encarregado, também, por monitorar o *hardware*, tais como: Carga de CPU, alimentação de energia, atualização do sistema operacional, conexão de cabos como fibras ópticas, cabos *ethernet*, entre outros.

Este modelo operacional está passando por transformações,

impulsionadas pelas novas regras estabelecidas pelo 3GPP no 5G (HAYASHI, 2016). No próximo capítulo essa nova arquitetura será mostrada com detalhes.

4 Quinta Geração (5G)

A importância da evolução em sistemas de telecomunicações é cada vez mais notável. Hoje, os usuários utilizam, cada vez mais, diversas aplicações disponíveis em seus dispositivos móveis, unindo o acesso à Internet banda larga com *streaming* de áudio e vídeo em alta definição, *download* de arquivos, serviços de localização, jogos em tempo real e serviços multimídia em geral (AL-FALAHY, 2017 e SHAFI et al., 2017).

Atualmente, ao se falar de comunicações móveis, torna-se iminente a necessidade de conexões cada vez mais eficientes. Esta eficiência não diz respeito apenas a elevar a taxa de transmissão, mas também em uma série de requisitos e desafios que surgem com a crescente demanda dos usuários. Pode ser citada a criação de uma rede onipresente, proporcionando interoperabilidade entre padrões e dispositivos, com requisitos que incluem, além de altas taxas de transmissão, baixa latência, alta confiabilidade, segurança da informação e o menor consumo de energia possível do sistema. Por técnicas de transmissão que buscam a utilização eficiente do espectro, a exemplo de rádios cognitivos, são possíveis soluções para contornar os problemas de congestionamento do espectro (AL-FALAHY, 2017 e SHAFI et al., 2017).

O advento da Internet das Coisas (*Internet of Things*) e ainda a possibilidade de processamento na nuvem de rede (*Cloud Computing*) são algumas das inúmeras projeções que podem ser entrelaçadas com a quinta geração de telefonia móvel celular (5G) (AL-FALAHY, 2017 e SHAFI et al., 2017).

Os principais desafios da rede 5G estão divididos em 3 áreas de atuação.

Enhanced Mobile Broadband (eMBB): Melhor experiência do usuário com a rede de dados móvel. Esse cenário visa melhorar as taxas de dados atuais fornecidas para os usuários da rede móvel (AL-FALAHY, 2017 e SHAFI et al., 2017).

Ultra-reliable and Low Latency communications (URLLC): Aqui são estabelecidos requisitos rigorosos para confiabilidade, latência e disponibilidade. São citados algumas aplicações a saber: sistemas de transporte inteligentes, V2X (*vehicle-to-everything*), cirurgia médica realizada remotamente, redes

inteligentes, proteção pública, controle sem fio de fabricação industrial, etc (AL-FALAHY, 2017 e SHAFI et al., 2017).

Massive Machine Type Communications (mMTC): Uma família de aplicações para as quais os padrões de tráfego não são totalmente caracterizados. No entanto, é sabido que uma implantação de mMTC pode consistir em um grande número de dispositivos com um volume relativamente baixo (ou relativamente alto) de dados não sensíveis a atrasos. É necessário que os dispositivos sejam de baixo custo e tenham uma duração de bateria muito longa (AL-FALAHY, 2017 e SHAFI et al., 2017).

O núcleo da rede 5G fornecerá suporte simultâneo para todas as premissas definidas na tabela 2.

A tabela 2 mostra os requisitos mínimos segundo a ITU (*Institute Telecommunication Union*) para o ano de 2020 (AL-FALAHY, 2017 e SHAFI et al., 2017).

Tabela 2 – Requisitos mínimos segundo ITU 2020

Desempenho	Grupo	Valores
Taxa de pico	eMBB	DL: 20Gbps, UL: 10Gbps
Experiência do usuário	eMBB	DL:100Mbps, UL: 50Mbps
Latência no plano do usuário	eMBB, URLLC	eMBB = 4ms; URLLC= 1ms
Latência no plano de controle	eMBB, URLLC	eMBB/URLLC = 20
Número de conexões por quilometro quadrado	mMTC	1 000 000 Km ²
Interrupção nos dados	eMBB, URLLC	0% de interrupção.
Mobilidade	eMBB	Até 500 Km/h sem afetar o serviço
Largura de banda no acesso	eMBB	Mínimo de 100 MHz, podendo chegar até 1GHz em frequência de 6 GHz

Fonte: adaptado de (SHAFI et al., 2017)

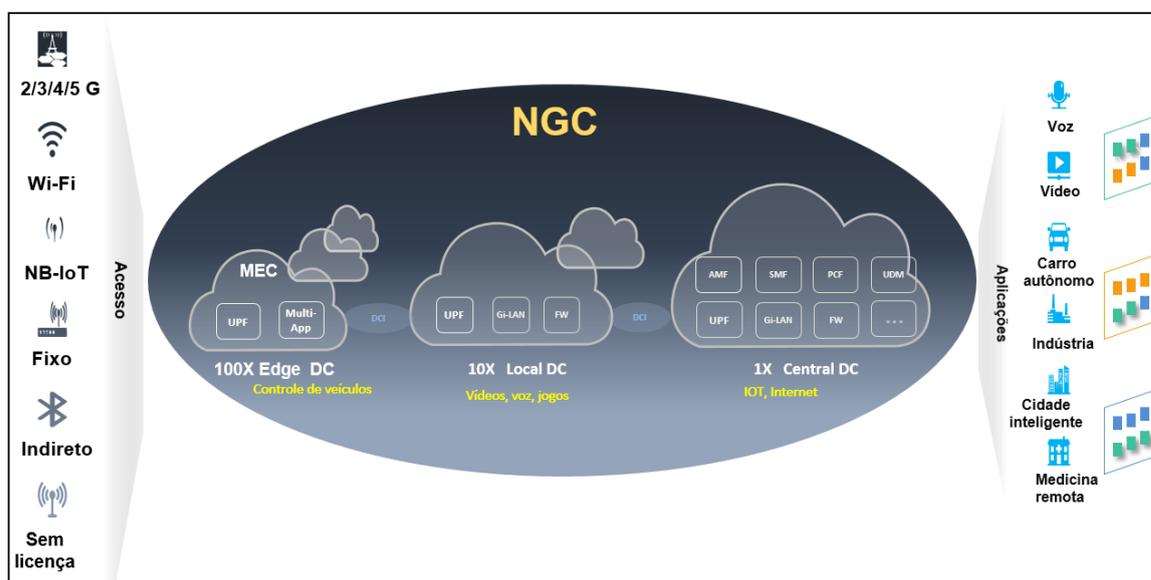
4.1 Arquitetura do núcleo 5G

Existem desafios significativos para o núcleo da rede 5G. Estes são discutidos nesta seção.

Foi padronizado um novo núcleo na rede, que terá o papel de integrar todas as redes de acesso, seja 3GPP (2G, 3G, 4G e 5G) e não 3GPP (exemplo: *Wi-Fi*, rede Fixa, *WiMax*, etc). Este núcleo irá prover, também, controle de todos os diferentes tipos de serviços existentes hoje e os futuros. Esse novo núcleo chamado de NGC (*New Generate Core*) foi planejado para ser único, integrando todas as redes de telecomunicações (móvel e fixa) em um único núcleo (3GPP, 2018 e SHAFI et al., 2017).

A Figura 14 mostra a arquitetura da rede NGC onde a esquerda aparece os tipos diferentes de acesso e a direita a conexão com os aplicativos e no centro o próprio núcleo da rede.

Figura 14 – Arquitetura do 5G



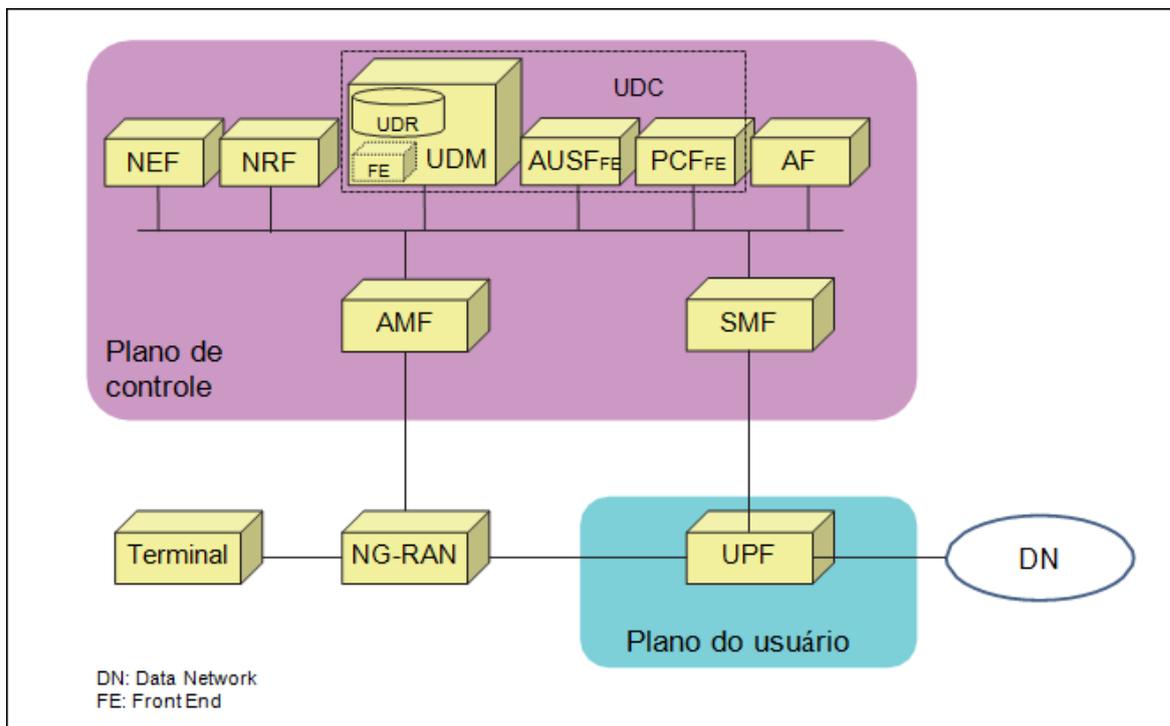
Fonte: Adaptado de (SHAFI et al., 2017)

É importante salientar que o NGC está dividido em três nuvens diferentes: *Edge DC (Data center)*, *Local DC* e *Central DC*. Esta arquitetura foi desenvolvida para atender os requisitos mínimos estabelecido pelo ITU (tabela 2) nas três áreas citadas (eMBB, uRLLC e mMTC), como por exemplo, para

atender os requerimentos de baixa latência no grupo uRLLC, as aplicações devem ser executadas mais perto do acesso onde estão os usuários/terminais, diminuindo assim, a distância entre o móvel e o destino (Aplicação). Assim irão funcionar o controle de veículos que é conhecido como carro autônomo. Já para o grupo uRLLC, que permite uma latência de rede maior, as aplicações podem ser executadas mais longe do usuário/terminal/sensor, sendo possível utilizar o *Central DC* (SHAFI et al., 2017).

No 5G, a configuração do sistema é dividida em Terminal do usuário, acesso e núcleo, além das aplicações. A divisão das 3 primeiras funções citadas são as mesmas da rede 4G, mas a configuração do núcleo principal foi alterada totalmente. Cada elemento que compõem núcleo do 5G é mostrada na Figura 15.

Figura 15 – Núcleo da rede 5G (NGC)



Fonte: adaptado de (MINOKUCHI et al., 2017).

Para começar, a função do plano do usuário (*user plane*) ou **UPF (User Plane Function)**, está claramente separada do grupo de funções do plano de controle. Este esquema reflete o conceito de separação do plano do usuário e plano de controle sob o nome **CUPS (Control and User Plane Separation)**. Esta

nova arquitetura ou funcionalidade é um aprimoramento do *Evolved Packet Core* (EPC) (SHAFI et al., 2017).

Recursos do UPF: O UPF no núcleo do 5G fornece funções específicas para o processamento no plano do usuário, da mesma forma que o S-GW (*Serving Gateway*) e P-GW (*Packet data network Gateway*) no núcleo da rede 4G EPC.

Separação entre os elementos AMF e SMF: As funções no plano de controle foram reorganizadas se comparado com o EPC. As entidades responsáveis pela gerência de mobilidade e gerência de sessão são os AMF (*Mobility management Function*) e SMF (*Session Management Function*) respectivamente. No Núcleo da rede 5G, a ideia é realizar o gerenciamento do terminal em um local centralizado (plano de controle) e manipular o tráfego (plano do usuário) em várias fatias da rede, buscando melhorar a experiência do usuário na navegação, custo operacional, etc (3GPP,2018 e SHAFI at al., 2017).

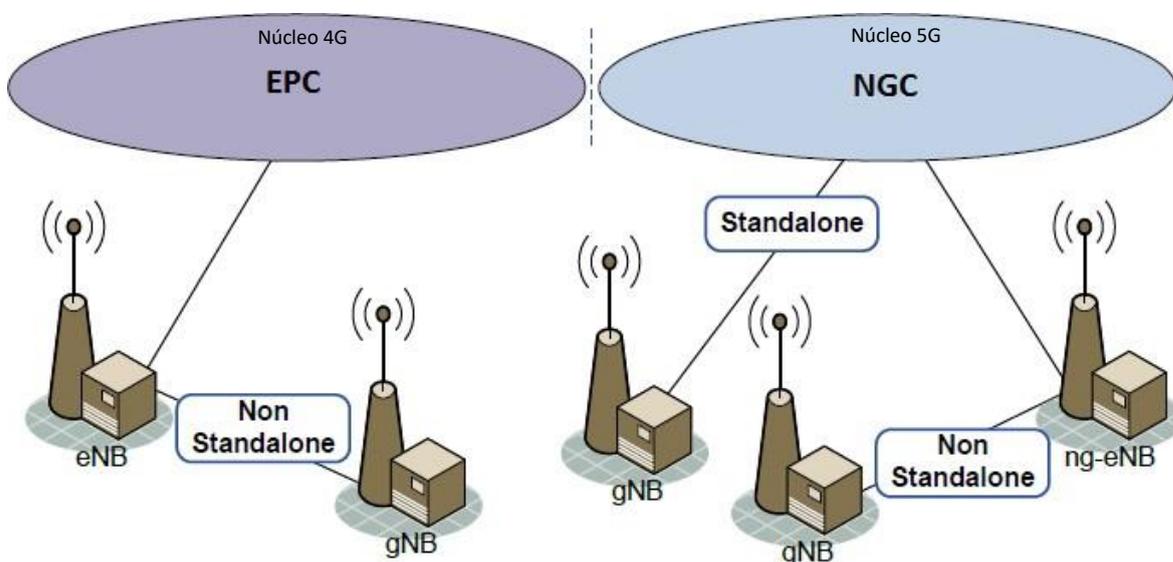
Especificação de novos nós na rede: O UDM (*Unified Data Management*), que é análogo ao HSS (*Home Subscriber Server*) da rede EPC, introduz o conceito de UDC (*User Data Convergence*) que separa o UDR (*User Data Repository*) armazenando e gerenciando informações do assinante das informações oriundos do FE (front-end). Os FEs também incluem novas especificações para o AUSF (*Authentication Server Function*) que é dedicado ao processamento de autenticação e o PCF (*Policy Control Function*) correspondente ao PCRF (*Policy and Charging Rule control Function*) no EPC. O NEF (*Network Exposure Function*) tem uma função similar ao SCEF (*Service Capability Exposure Function*) na rede EPC que é prover uma interface padrão para provisionar serviços oriundos dos provedores de conteúdo. O AF (*Application Function*) que cumpre a função de um servidor de aplicativos também foi especificado (3GPP, 2018 e SHAFI et al., 2017).

Dentro da arquitetura definida pelo 3GPP, item de estudo, existem atualmente estratégias de implementação da nova geração. Primeiramente é proposto uma melhoria somente na interface de rádio, saindo da tecnologia de rádio LTE para o 5G NR (*new radio*) utilizando o mesmo núcleo de dados EPC existente. Essa topologia de rede é conhecida como NSA (*Non-Standalone*) onde é proposto somente serviços no campo eMBB. Outra opção que aborda todas as

3 áreas propostas pelo 5G é conhecida como SA (*standalone*) ao qual a nova interface de rádio é conectada diretamente ao novo núcleo da rede NGC (*New Generate Core*) (3GPP, 2018 e SHAFI et al., 2017).

A Figura 15 mostra essas opções, segundo o 3GPP, de conexão do acesso ao núcleo da rede.

Figura 16 – Opções de conexão da rede de acesso ao núcleo da rede



Fonte: Adaptado de (3GPP,2018)

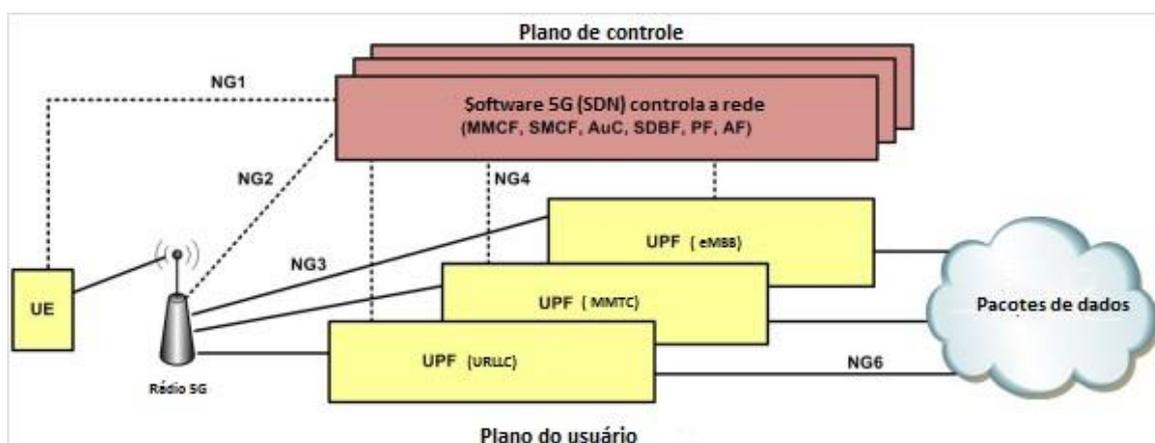
A conectividade SA é uma implementação direta na qual a gNB (*New Radio NodeB*) conecta-se diretamente à rede utilizando o núcleo 5G NGC. Outra opção é o NSA quando a gNB se conecta à rede EPC via eNB (*eNode B*). Outra opção, para melhor aproveitar a utilização entre núcleo e acesso, é o NSA conectando ao núcleo NGC através da evolução da *eNodeB* (antena para 4G) conhecida como ng-eNB (*Next generation eNode B*) (3GPP, 2018 e SHAFI et al., 2017).

A flexibilidade e adaptabilidade são características-chave da rede 5G para cumprir todas as premissas estabelecidas na tabela 2. Contudo, uma evolução adicional é necessária para a verdadeira flexibilidade e isso é conseguido pela adoção de rede definida por *Software Defined Networking*

(SDN), *Network Function Virtualisation* (NFV), *Network Slicing*, *Cloud RAN*, CUPS, etc (SHAFI et al., 2017).

A figura 16 intenta exemplificar, no núcleo da rede, a divisão entre plano do usuário e plano de controle (CUPS), *Network Slicing* onde cada plano do usuário representado pelo UPF aloca recursos diferentes para cada categoria/área de serviço, SDN definindo as funcionalidades de cada elemento da rede (MMCF, SMCF, AF, AuC, UPF, etc.) e NFV onde tudo isso ocorre dentro da mesma infraestrutura computacional (SHIN et al., 2017).

Figura 17 – Núcleo da rede 5G



Fonte: Adaptado do artigo *A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice* (SHAFI et al., 2017)

5 Rede NFV (*Network Function Virtualisation*) e SDN (*Software Define Network*)

Com os avanços recentes e contínuos na computação em nuvem (*Cloud Computing*) e seu apoio a serviços virtualizados, tornou-se viável projetar um sistema 5G flexível, escalável e elástico, utilizando de técnicas de NFV. O potencial inerente e os recentes avanços na área de virtualização tornaram-se os principais facilitadores para o cumprimento das premissas estabelecidas pelo órgão 3GPP no sistema 5G. O ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) foi formado para padronizar vários aspectos de uma rede NFV, incluindo o gerenciamento e orquestração utilizando a solução conhecida como MANO (*Management and Orchestration*) (YOUSAF et al, 2016, ABDELWAHAB et al., 2016 e SHIN et al., 2017).

É necessário destacar que tanto o SDN quanto o NFV são tecnologias voltadas para a concretização do processo de virtualização de *softwares* de forma que, quando juntas, permitem estabelecer soluções de redes diferenciadas (HAYASHI, 2016).

As operadoras se beneficiam desta tecnologia que tem como premissa aspecto de redução em nível de CAPEX (*capital expenditure*) e OPEX (*operational expenditure*), sendo que esses conceitos ainda garantem soluções funcionais mesmo com padrões de tráfego de usuários mutáveis. Assim, com a aplicação desses dois conceitos, as operadoras podem otimizar os investimentos em infraestruturas de rede e a agilidade nos serviços prestados aos usuários finais (HAYASHI, 2016).

O SDN e NFV trabalhando em conjunto acabam estabelecendo um sistema mútuo de valorização: redes definidas por *software* tornam possível a automação das infraestruturas, garantindo a tomada de decisão com base em políticas de controle e estruturação de tráfego de rede, enquanto a virtualização das funções de rede permitem um aumento da capacidade dos serviços seja alinhada com os elementos da rede (HAYASHI, 2016 e ABDELWAHAB et al., 2016).

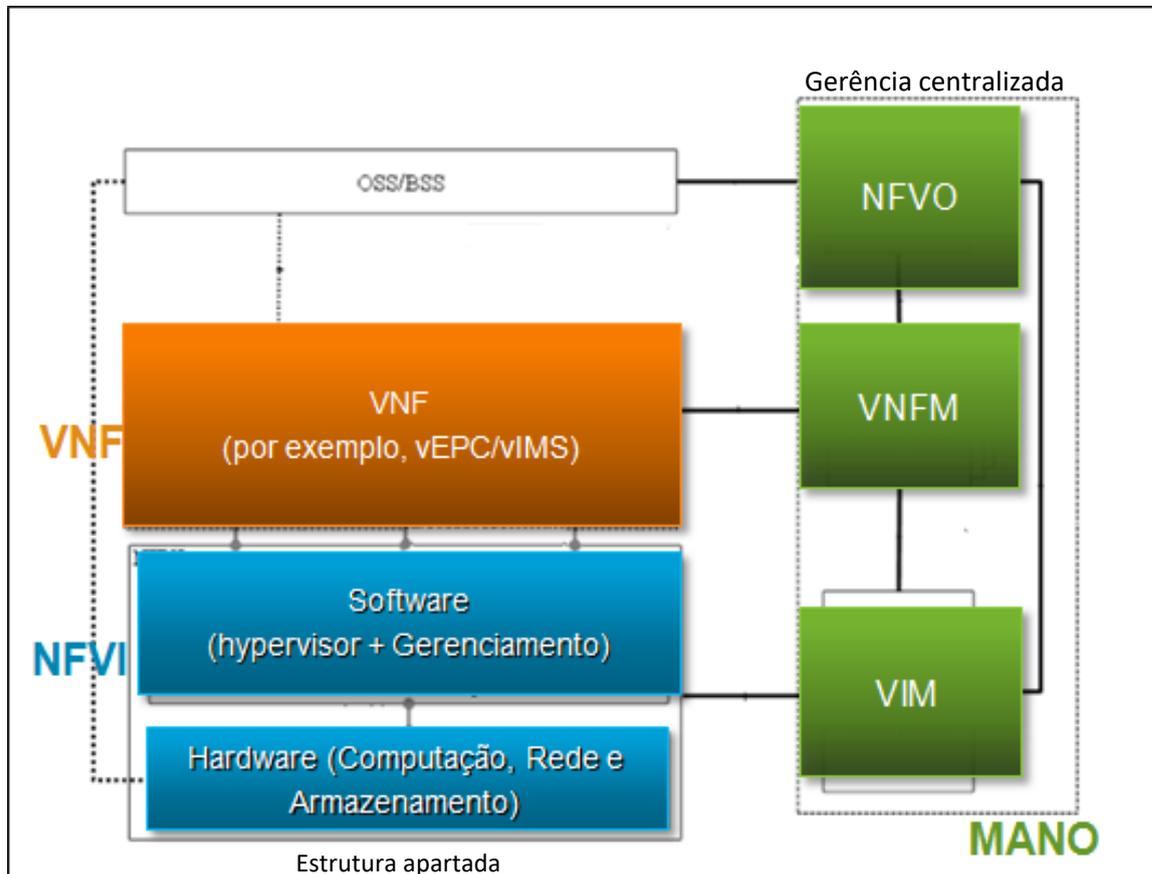
Esclarecendo as diferenças entre NFV e SDN, pode-se apontar que o

Network Functions Virtualization tem como foco principal dissociar as funções de rede de dispositivos especializados e o *Software Defined Networks* objetiva um controle de gerenciamento de rede separado da própria rede.

Arquitetura NFV quando aplicado ao NGC define como o software virtualizado funciona, por exemplo, o nó da rede chamado de MMCF que faz o controle da mobilidade dos usuários) podendo compartilhar recursos físicos comuns de computação, armazenamento e rede através da criação de VMs (*Virtual Machines*). As VMs são instâncias criadas estaticamente ou dinamicamente através de funções de controle definidas na gerência centralizada chamada MANO oriundo da estrutura NFV. Embora seja possível, em teoria, virtualizar todos os FEs (*Front Ends*) na arquitetura e implementá-las em máquinas virtuais, esta pode nem sempre ser a melhor abordagem. Pesquisa atual sugere que a rede principal da próxima geração consistirá nas funções de rede virtualizadas e físicas, onde a última é denominada de PNFs (*Physical Network Functions*) (YOUSAF et al., 2016; HAYASHI, 2016 e SHIN et al., 2017).

A figura 18 apresenta o padrão adotado pelo ETSI para ambientes em NFV.

Figura 18 – Estrutura do ETSI para NFV



Fonte: Adaptado de (SHIN et al., 2017)

NFVI (Virtualized Network Function Infrastructure): Fornece *hardware* e *software* exigidos por VNFs. O *hardware* inclui recursos de computação, rede e armazenamento. O *software* inclui ferramentas como o *hypervisor*, controlador de rede e gerenciador de armazenamento. O NFVI virtualiza recursos físicos e fornece recursos virtuais para VNFs (YOUSAF et al., 2016).

VNF (Virtualized Network Function): Consiste nas funções/aplicações da rede. Nesta camada é onde fica instalado o *software* da aplicação do novo núcleo da rede 5G (NGC).

MANO (Management and Orchestration domain of NFV): Gerência centralizada da infraestrutura dos ambientes virtualizados. É constituído do VIM (Responsável por gerenciar os recursos da infraestrutura), VNFM (Fazer a

gerencia das VNFs/aplicações da rede) e NFVO (faz a orquestração da rede como um todo).

OSS (Operation Support System/Business Support System): Fornece a função de gerenciamento das aplicações. Não é um componente da estrutura do NFV; No entanto, o MANO (principalmente o NFVO) deve ter interface para o OSS.

A arquitetura de referência do NFV (Fig. 17) suporta uma ampla gama de serviços representados pelas VNFs que são gerenciados e orquestrados através do centro de gerência MANO. Como mostrado na figura 17, os recursos de computação e armazenamento são comumente agrupados e interconectados por recursos de rede. As VNFs podem se conectar via redes externas com elementos não virtualizados, permitindo a integração de tecnologias existentes com funções de rede 5G virtualizadas. A gestão e orquestração NFV compreende módulos de provisionamento de recursos automatizado alcançando assim os benefícios prometidos padronizado pelo ETSI (VALENCIA et al., 2015).

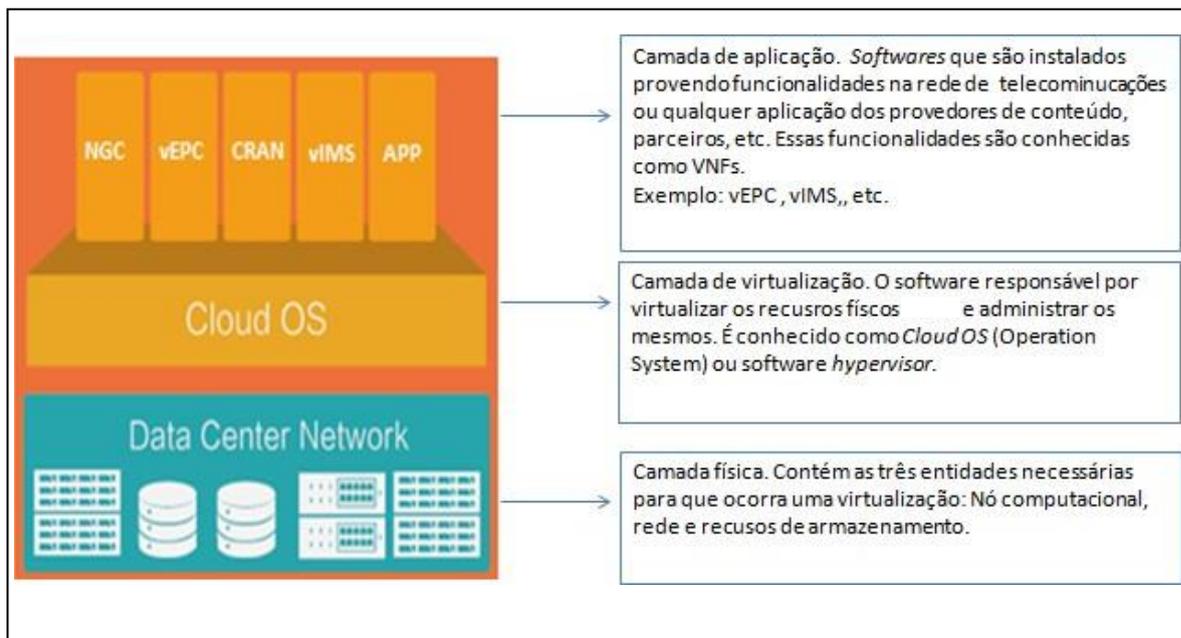
O módulo *VNF Manager* (figura 17) executa duas funções principais: operação e provisionamento de recursos. A operação da (s) *VNF* (s) consiste em administrar a infraestrutura, gerenciar as falhas, gerenciamento de performance e planejamento/otimização de recursos. O provisionamento garante uma ótima alocação de recursos (por exemplo, alocar máquinas virtuais), garante economia de energia e recuperação dos recursos (serviços) em caso de falha. O modelo proposto pelo ETSI foi desenhado para ter eficiência na administração das VNFs (serviços) reduzindo o CAPEX (*capital expenditure*) e OPEX (*operational expenditure*) no 5G por meio de alocação dinâmica de recursos, tráfego, balanceamento de carga e operação/manutenção centralizada (VALENCIA et al., 2015).

5.1 Divisão da rede NFV em camadas.

O NFV refere-se à virtualização de funções de rede ou conhecido como nós da rede. Permite a implantação de serviços tradicionais de telecomunicações em uma plataforma conhecida como nuvem. Para que isso ocorra, é necessário um desacoplamento entre as camadas, dividindo os recursos físicos, o *software* de virtualização e aplicação (MANZALINI et al., 2018).

A Figura 18 mostra essa divisão em camadas, existindo o desacoplamento entre a aplicação e os recursos físicos (*data center*) onde estão sendo processados os serviços (VNFs).

Figura 19 – Divisão de camadas em ambientes virtualizados



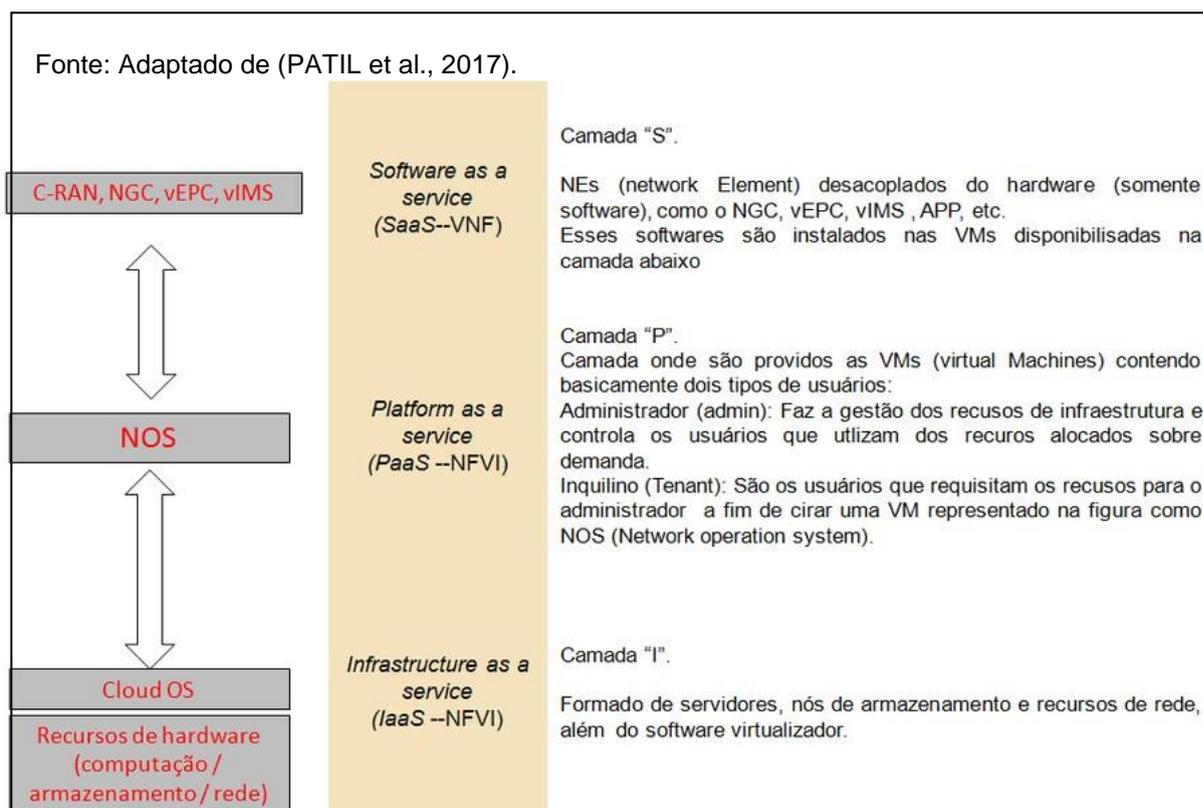
Fonte: Adaptado de (SHIN et al., 2017)

A camada representada pelo *Data Center Network* é conhecida como camada de infraestrutura contendo os recursos computacionais, redes e armazenamento. Essa camada é conhecida como camada “I” referenciando a Infraestrutura. A camada contendo o *Cloud OS* é conhecida como camada “P” referenciando a Plataforma onde serão administrados os recursos virtualizados da camada abaixo. A última camada é chamada de camada “S” referenciando a

qualquer tipo de Serviço (VNF) que venha a ser executado (MANZALINI et al., 2018 e PATIL et al., 2017).

A figura 19 representa a divisão destas camadas, passando uma visão um pouco mais específica sobre a função de cada uma:

Figura 20 – Divisão independente das camadas



Para esse trabalho será de suma importância o entendimento destas camadas.

Por isso, será detalhada cada uma delas em subtópicos a seguir.

•Camada "I"

IaaS é uma maneira de entregar computação em nuvem, onde a infraestrutura de servidores, sistemas de rede, armazenamento, e todo o ambiente necessário para o funcionamento estão fisicamente em um *data center*.

O IaaS é a parte responsável por prover toda a infraestrutura

necessária para a PaaS e a SaaS. O principal objetivo do IaaS é tornar mais fácil e acessível o fornecimento de recursos, tais como servidores, rede, armazenamento e outros recursos de computação fundamentais para construir um ambiente sob demanda, que podem incluir sistemas operacionais e aplicativos. A IaaS possui algumas características, tais como: Interface única para administração da infraestrutura, *Application Programming Interface* (API) para interação com *hosts*, *switches*, roteadores, além de suportar adição de novos equipamentos de forma simples e transparente (PATIL et al., 2017).

As operadoras, ao invés de comprar *hardware* e *softwares* acoplado de um fornecedor, podem comprar, por exemplo, um *hardware* agnóstico (dentro dos padrões internacionais) e disponibilizar esses recursos para qualquer aplicação ou serviços novos de forma totalmente escalável e sob demanda (PATIL et al., 2017).

Em IaaS, existem algumas subcategorias que são importantes para o entendimento desta camada. Geralmente o IaaS pode ser contratado das seguintes formas: nuvens públicas, privadas ou uma combinação das duas.

- Nuvem pública: É considerada uma nuvem pública quando a infraestrutura disponível para contratação consiste em recursos compartilhados, padronizados e com autoatendimento pela Internet.

- Nuvem privada: É a infraestrutura que utiliza as características da computação em nuvem, como a virtualização, mas na forma de uma rede privada.

- Nuvem híbrida: É a combinação das nuvens públicas e privadas, possibilitando utilizar as características de ambas.

Como o assunto deste trabalho está voltado para os elementos de redes que constituem a infraestrutura das operadoras entende-se que o modelo aplicado é a nuvem privada.

- Camada “P”

A PaaS oferece uma infraestrutura de alto nível de integração para implementar e testar aplicações na nuvem. O usuário relacionado à aplicação não

administra ou controla a infraestrutura subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operacionais ou armazenamento, mas tem controle sobre as aplicações implantadas e, possivelmente, as configurações das aplicações hospedadas nessa infraestrutura (PATIL et al., 2017).

Toda a parte física que foi virtualizada na camada IaaS agora pode ser administrada na camada PaaS. Os recursos, agora, virtualizados podem ser vistos somente pelo administrador deste (s) *data center* (s) que terá a função de gerenciar a performance da infraestrutura, verificar alarmes da camada IaaS além de prover/criar os VDCs (*virtual data center*)(PATIL et al., 2017).

O (s) VDC (s) é criado pelo administrador da camada PaaS, onde disponibilizará os recursos computacionais de rede e armazenamento para o usuário criar a aplicação que deseja na camada SaaS. É nesta camada que são criadas as VM suportando diferentes sistemas operacionais (Windows, Suse Linux, etc). A quantidade de recursos provido para um usuário inquilino (*tenant*) dentro de um VDCs funciona sobre demanda. Em outras palavras, o usuário *tenant* precisa informar para o administrador dos recursos a quantidade *vCPUs* (*Virtual Central Process Unit*) / *vMemory* (recurso computacional), largura de banda da interface de rede/números de *VLANs* (recurso de rede) e espaço de armazenamento. Após a criação do VDC, o administrador provê um *login* para o usuário *tenant* acessar o seu portal (VDC) e executar o serviço que deseja.

- Camada “S”

O modelo de SaaS proporciona sistemas de *software* com propósitos específicos. Como o trabalho está voltado para as aplicações de rede em telecomunicações, podem citar algumas aplicações existentes hoje na rede legada passível de ser virtualizadas tais como: IMS e EPC. No SaaS, o usuário não administra ou controla a infraestrutura subjacente, incluindo rede, servidores, sistemas operacionais, armazenamento. Com isso, os desenvolvedores se concentram em inovação de *software* e não na infraestrutura, levando ao desenvolvimento rápido de sistemas (PATIL et al., 2017).

O SaaS reduz os custos, pois é dispensada a aquisição de licenças de sistemas de *hardware*. A princípio a operadora necessita preparar uma

infraestrutura comum, padrão para executar as aplicações (*softwares*) diversas de forma rápida e simplificada.

6 Comparação e tendência no modelo de operação

Após a descrição do histórico da rede de telecomunicações até a Quarta Geração (4G) juntamente com a estrutura atual do núcleo da rede móvel no Brasil (nas principais operadoras), deu-se o modelo operacional adotado nos dias atuais conforme descrito no capítulo 3.

A próxima Geração, 5G, propõem uma mudança na camada SaaS segundo o 3GPP no núcleo da rede. Além disso, existe uma outra mudança na estrutura computacional (virtualização da rede). Neste trabalho foi citada a estrutura NFV definindo as funções de cada camada juntamente com o modelo operacional centralizado através do MANO (VALENCIA et al., 2015).

Neste capítulo, o objetivo é fazer uma comparação entre o modelo operacional legado e futuro para mostrar os desafios/lacunas que as operadoras brasileiras precisam preencher para operar o núcleo da próxima geração.

As métricas estabelecidas no presente texto utilizam comparação em dois níveis: aplicação segundo as normas do 3GPP entre rede legada com a próxima geração (5G) e a infraestrutura computacional entre ATCA e NFV.

6.1 Comparação segundo 3GPP entre rede legada e o núcleo da rede 5G

6.1.1 Rede legada

A análise do estudo neste subtópico está relacionada somente à operação e manutenção única e exclusiva dos serviços/aplicações ofertados pelas operadoras.

O núcleo da rede legada até o 4G está dividido entre 4 núcleos: CS, GPRS, EPC e IMS. Esses três núcleos provêm os serviços típicos tais como chamada de voz, envio de SMS, acesso à Internet, M2M, etc.

A tabela 3 mostra a relação entre os serviços típicos prestados para cada geração, relacionando o núcleo responsável por dar a tratativa até o 4G.

Tabela 3 – Exemplo de serviços típicos X Geração X Núcleo da rede

<i>Serviços</i>	2G	3G	4G	<i>Núcleo da rede</i>
<i>Serviço de voz comutada via circuito</i>	x	x		CS
<i>Serviço de voz comutada por pacotes</i>			x	SAE+IMS
<i>Acesso à internet banda estreita</i>	x			GPRS
<i>Acesso à internet banda larga</i>		x	x	GPRS+SAE
<i>Serviços M2M</i>	x	x	x	GPRS+SAE
<i>SMS</i>	x	x	x	CS+GPRS+SAE
<i>IoT (NB-IOT) – utilizando acesso 2G</i>	x			GPRS
<i>IoT (LTE-M) – utilizando acesso 4G</i>			x	SAE

Veja que na tabela 3, os serviços são prestados/ofertados por núcleos diferentes. Para realizar a operação e manutenção de cada serviço, as operadoras brasileiras dividem por áreas distintas, com profissionais capacitados na sua área de atuação.

Um exemplo são os profissionais que trabalham no núcleo GPRS/EPC. Esses são responsáveis por monitorar performance e tratar falhas com conexão de dados, gerenciamento de mobilidade, chamadas de voz via comutação de pacotes, etc. Para essas habilidades é necessário o domínio técnico do fluxo do serviço além de conhecimento dos protocolos utilizados em todas as interfaces neste núcleo.

6.1.2 Núcleo da rede 5G

A proposta da rede 5G está pautada em um único núcleo: NGC. Este núcleo será responsável por prover todos os serviços ofertados pela operadora, e será dividido em 3 áreas: eMBB, mMTC e uRLLC.

A tabela 4 traz como exemplo alguns dos serviços típicos que serão ofertados para cada área padronizada no núcleo da rede.

Tabela 4: Exemplo de serviços típicos para cada subcategoria no núcleo NGC

Serviços	Subcategoria no NGC
Somente serviços de voz comutada por pacotes	eMBB
Acesso à internet banda larga	eMBB
IoT	mM T C
V2X(vehicletoanything)	uRLLC

A tabela 4 mostra que os serviços típicos são concentrados em um único núcleo. O fluxo para cada serviço é diferenciado dentro de cada subcategoria definida pelo 3GPP. Todos os serviços prestados pela operadora passarão pelo mesmo núcleo e necessitarão de profissionais capacitados na versão 15 em diante do 3GPP que descreve os padrões das interfaces, protocolos e fluxo do serviço (3GPP, 2018).

6.2 Comparação entre recursos computacionais legados (ATCA) e virtualizados

6.2.1 Recursos Legados

A análise do estudo neste subtópico está relacionando somente a operação e manutenção única e exclusiva dos recursos computacionais que suportam as aplicações no núcleo da rede. Neste trabalho, esses recursos são

chamados de infraestrutura.

O núcleo da rede até o 4G utiliza soluções computacionais do tipo ATCA onde o *software* das centrais de serviços está acoplado ao *hardware*, fazendo com que se tenha diferentes equipamentos físicos para cada solução estabelecida pelo 3GPP (DENIES et al., 2006).

A norma internacional estabelece para o funcionamento da rede de dados para o 2G, 3G e 4G, no núcleo da rede, as entidades: SGSN, MME, GGSN, S-GW, P-GW, HLR/HSS, STP (*signaling transfer point*) e DRA (*diameter routing agent*) de forma opcional e PCRF também de forma opcional. Para a operadora implementar essa solução, é necessário adquirir recursos computacionais dedicados para cada entidade, gerando uma operação descentralizada dos elementos, além do não aproveitamento adequado dos recursos adquiridos.

O operador tem a função de monitorar a infraestrutura computacional no âmbito de *hardware* através de contadores (uso de memória, CPU, espaço em disco), fazer atualização do sistema operacional, troca de placas/HDs (*hard disk*) e tratar as falhas a nível físico (*hardware*).

Exemplo de contadores que devem ser monitorados a nível de *hardware*: *Core CPU resource, Messages Discarded by a Specified Process due to Overload Control, Paired boards CPU resource, System Running Status Measurement, Forwarding board traffic, etc.*

6.2.2 Recursos Virtualizados

A estrutura virtualizada disponibiliza na mesma infraestrutura recursos computacionais para suportar as aplicações para o núcleo GPRS/EPC, IMS e NGC na camada SaaS. Todos os elementos de rede citadas no subtópico anterior podem ser instalados dentro da mesma infraestrutura compartilhando do mesmo meio físico.

O operador da infraestrutura virtualizada fica a cargo único e exclusivo de monitorar esses recursos, independente da aplicação que esteja funcionando na camada SaaS. O administrador da camada IaaS, além do monitoramento dos contadores de performance do *hardware*, passa a monitorar os alarmes oriundos

de falhas ou falta de recursos, atualização do sistema operacional, troca de placas (servidores), HDs, problemas com interfaces de rede, etc (YOUSAF et al., 2016)

Na camada PaaS o administrador fica responsável por operar os recursos virtualizados oriundo da camada IaaS tais como: vCPU, vMemory, espaço em disco e interfaces de rede, gerenciar os recursos disponibilizados para cada usuário (VDCs), segurança da informação, além de tratar alarmes de falhas a nível lógico (YOUSAF et al., 2016).

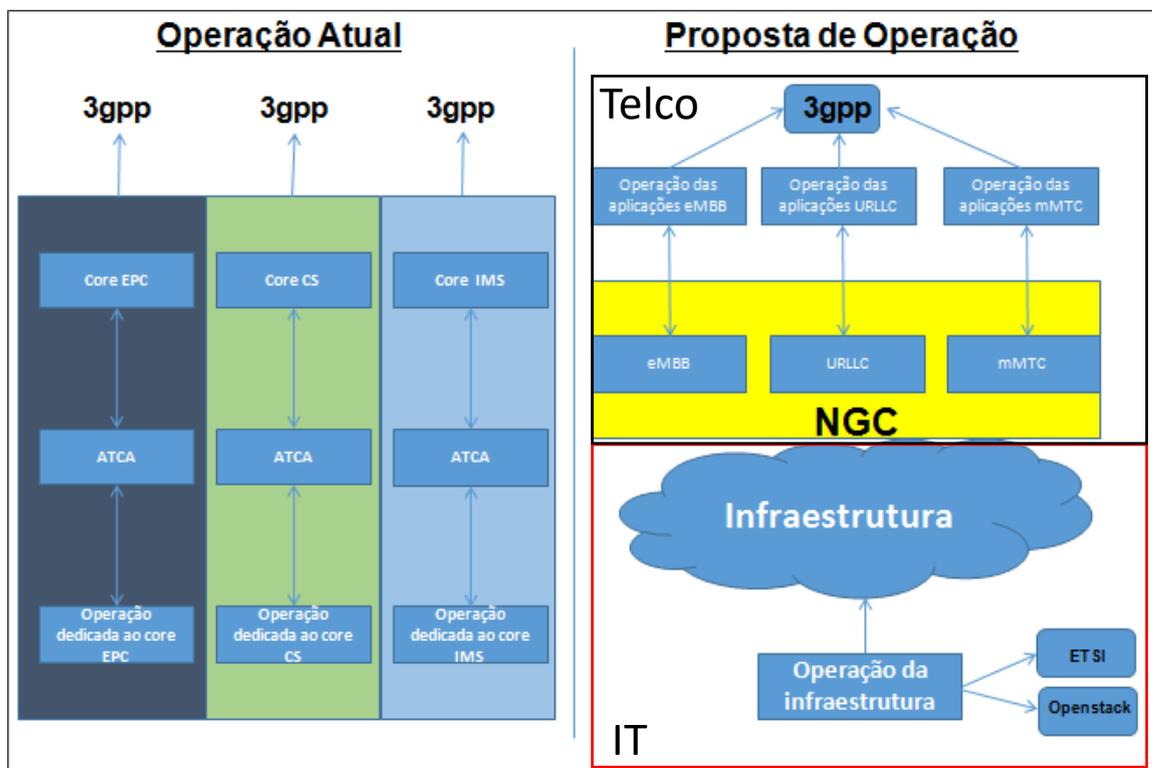
Outra mudança está na maneira como o grupo ETSI desenvolveu o padrão de operação. Com a utilização do MANO (solução SDN), a gerência dos recursos computacionais ficou de forma centralizada. É possível ter o controle, via camada VIM, dos recursos disponíveis de infraestrutura do(s) *Data Center* (s) instalados na operadora, além de controle das VNFs na camada VNFM e orquestração da rede na camada NFVO.

7 Proposta para modelo operacional no núcleo da rede 5G (NGC)

Neste capítulo, o objetivo é mostrar que as operadoras necessitam reestruturar o modelo operacional atual, visto que existem mudanças na estrutura no núcleo da rede e propor uma nova divisão na estrutura da equipe que vai operar o núcleo da rede NGC. Esta visão é dividida em camadas, objetivando separar as responsabilidades que cada operador terá ao administrar a rede 5G. Esta nova proposta está relacionada ao grau de conhecimento que cada equipe necessita ter para exercer as atividades corriqueiras no núcleo da rede das operadoras de telefonia móvel.

A figura 20 representa a divisão atual dos núcleos legados e propõem uma nova divisão para a operação no núcleo da rede 5G.

Figura 21 – Divisão atual e proposta de modelo operacional



Na proposta de operação, a figura 20 mostra, basicamente, a

separação em duas partes: Operação da infraestrutura (quadro vermelho inferior direito) e operação das aplicações (quadro preto superior direito).

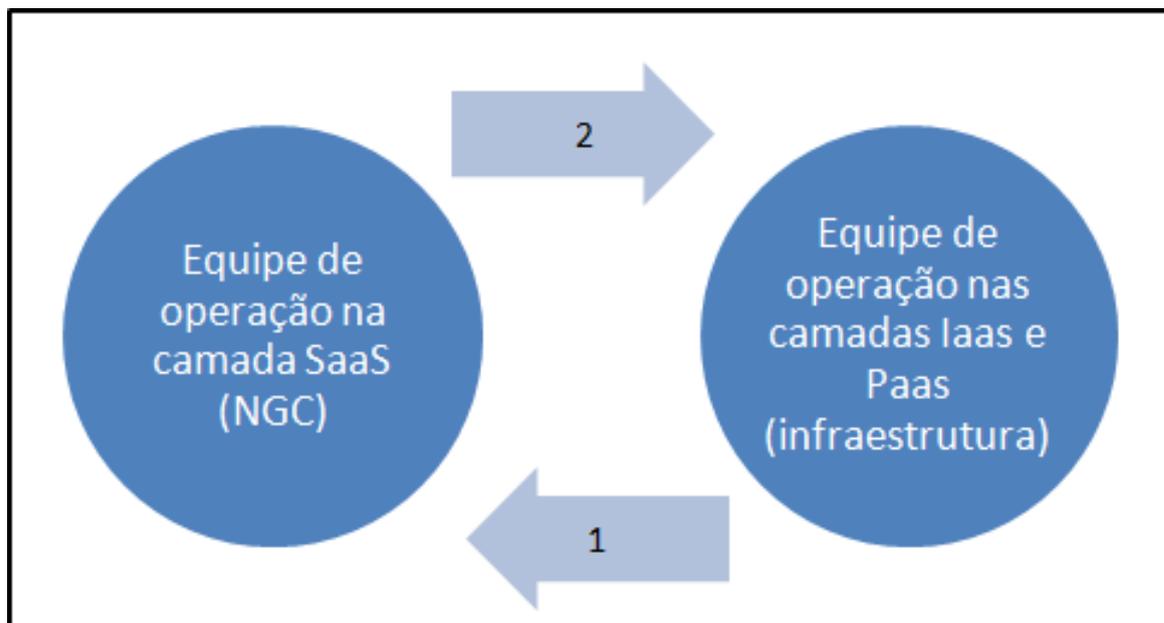
Devido ao desacoplamento entre aplicações e os recursos computacionais físicos, é necessário uma divisão de responsabilidades no âmbito gerencial também. Com o surgimento de uma infraestrutura agnóstica, padronizada no modelo de *data center* é possível instalar/executar múltiplas aplicações sobre estes recursos computacionais, fugindo do modelo operacional atual, onde cada área tem a responsabilidade de exercer de modo fim-a-fim o O&M (*operation and maintenace*), desde o controle do *hardware* até a aplicação de *software* (MANZALINI et al., 2018).

Na camada de infraestrutura (IaaS e PaaS) são utilizados os padrões estabelecidos pelas entidades ETSI e Openstack que descrevem a arquitetura do sistema, ditando as normas/padrões das entidades ali existentes, além de normatizar as interfaces de conexão entre eles. Estas entidades físicas são os servidores (recursos computacionais), equipamentos de rede (*lan switches*) e recursos de armazenamento (*disk array*) que foram descritos no item 6.2.2. (YOUSAF et al., 2016).

A camada de aplicação (SaaS) é representada, na figura 20, como NGC que é composto por diferentes elementos de rede, conforme apresentado no item 5.1. A junção destes elementos, definidos por *software*, compõem a proposta do novo núcleo da rede, baseando-se na entidade 3GPP contemplada nas versões 15 e 16 que separa as aplicações em 3 diferentes áreas: eMBB, uRLLC e mMTC (3GPP, 2018).

A figura 21 mostra a proposta de dois grupos diferentes para operar ambientes virtualizados. Por mais que exista o desacoplamento entre *software* e *hardware*, há a necessidade de uma correlação entre as duas equipes para operar o núcleo da rede 5G (NGC) representados pelas flechas 1 e 2.

Figura 22 – Divisão das equipes de operação



Para melhor detalhamento das divisões de tarefas/responsabilidades e conhecimento necessário para trabalhar em cada área, o trabalho é dividido em subtópicos que se seguem, possibilitando um melhor entendimento de cada área.

7.1 Responsabilidades e requerimentos técnicos nas camadas IaaS e PaaS

Os operadores que trabalham nesta área exercem a função básica de administrar o *data center* da operadora de telefonia. São responsáveis por gerir os recursos físicos na camada IaaS, e lógicos na camada PaaS. Independente de qual será o tipo de aplicação que a operadora disponibilizará, o conhecimento necessário para trabalhar neste universo está relacionado ao mundo de TI (tecnologia da informação) (MANZALINI et al., 2018). É necessária a criação, de forma independente, de uma equipe responsável por operar e manter todos os recursos computacionais da operadora que irá gerir de forma apartada e centralizada os diversos *data centers* da operadora.

A responsabilidade do operador na camada IaaS está em manter em funcionamento os recursos físicos como *server computer*, *lan switch* e *storage (disk array)*. As atividades realizadas nesta área contemplam atualização dos

softwares, troca de componentes físicos em caso de falha, atualização de versões segundo normas do fabricante, ampliação dos recursos computacionais, controle de desempenho dos recursos físicos, monitoramento de alarmes, falha de conexão física dos elementos que compõem o *data center*, além do controle da segurança, temperatura e higienização do ambiente. A premissa para trabalhar como operador nesta camada é o conhecimento de operação e manutenção de servidores (sistemas operacionais e *software* de virtualização), conhecimento de rede IP, ser familiarizado com conceitos de banco de dados, *storages*, entre outros (MANZALINI et al., 2018).

Na camada PaaS, o operador é responsável por gerenciar todos os recursos virtualizados após a abstração provida pelo *software* virtualizador, gerenciando todos as 3 entidades (*computer resources*, *storage resources* e *network resources*), de forma centralizada, através do centro de gerência provido pelo MANO via VIM. Nesta plataforma, o administrador, por estar no meio entre as camadas IaaS e SaaS, passa a exercer o controle de recursos do meio físico e controle dos recursos da aplicação (serviços) através deste último, exercido via *Virtual Data Center* (VDC) (MANZALINI et al., 2018).

A responsabilidade do operador é de prover e controlar os recursos requeridos pela camada SaaS, disponibilizando, através de máquinas virtuais (VMs), conforme a figura 21 (flecha representada com o número 1) o ambiente para executar/instalar as aplicações, tais como: NGC, vEPC, vIMS, etc. Os usuários oriundos da camada SaaS são conhecidos como inquilinos (*Tenant user*) que disfrutem de uma plataforma contendo vCPUs, vMemory, espaço para armazenamento de informações, interface de rede e um sistema operacional a fim de executar sua aplicação (MANZALINI et al., 2018).

O administrador desta camada passa a ter como responsabilidade, junto com a camada IaaS, manter e operar todo o ambiente virtualizado. As atividades estão relacionadas, além do monitoramento de falhas em nível lógico e físico, ao monitoramento do desempenho do (s) *data center* (s), controlando os recursos disponíveis, podendo atuar, caso necessário, na migração de VMs, balanceamento de carga da infraestrutura, atualização do sistema de gerência, etc.

7.2 Responsabilidades e requerimentos técnicos na camada SaaS (NGC)

Na camada de aplicação/serviços (SaaS) onde o *software* NGC é instalado o operador tem a responsabilidade única e exclusiva de operar e manter em funcionamento o núcleo da rede 5G. Esse time/equipe passa a operar a rede, pautando-se nas normas estabelecidos pelo 3GPP (a partir da versão 15), obedecendo-se os fluxos e normas estabelecidas por esta entidade. Todos os novos elementos do núcleo da rede 5G já foram citados neste trabalho, descrevendo a funcionalidade de cada um no item 5.1.

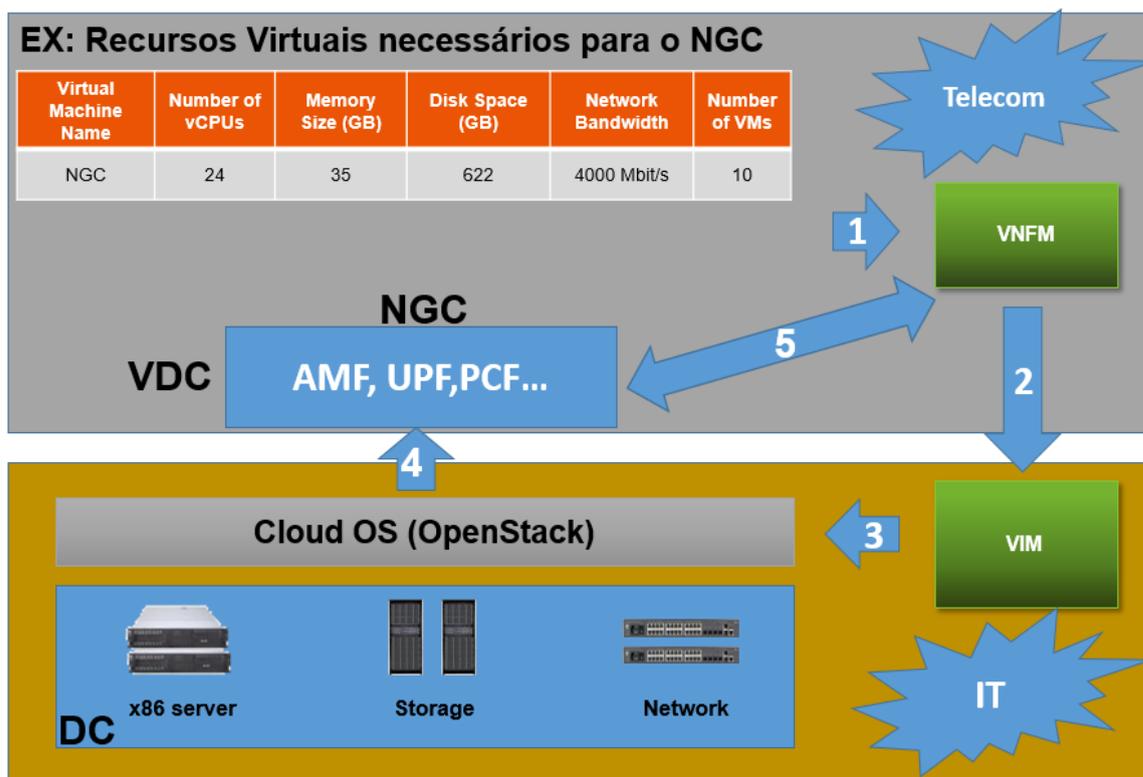
O ambiente necessário para execução da aplicação NGC é provido pela camada PaaS através de VMs (recursos computacionais virtualizados). Todos os recursos computacionais necessários para execução da aplicação tem que ser requeridos ao time/equipe de infraestrutura, conforme fluxo da figura 21 (flecha representada pelo número 2). Essa equipe de operação e manutenção passa a não mais operar o meio físico como as redes atuais utilizando servidores ATCAs (MANZALINI et al., 2018).

A estrutura da rede passa a ter somente um núcleo provendo todos os serviços atuais de uma operadora, substituindo os 3 núcleos atuais (EPC/GPRS, CS e IMS) pelo NGC. As atividades exercidas por esses profissionais estão relacionadas ao monitoramento de desempenho através de contadores/KPIs da aplicação, tratamento de falhas, atualização de *software*, configuração de novos serviços, etc.

7.3 – Exemplo de funcionamento do modelo operacional

Para elucidar a divisão de responsabilidades propostas neste trabalho, esse tópico mostra a relação entre a camada de aplicação SaaS com a de infraestrutura (IaaS e PaaS). A figura 22 mostra um exemplo dos recursos necessários (vCPUs, vMemory, Disk Space e Network) para desenvolver/instalar um núcleo NGC. O operador utilizará a gerência centralizada (MANO) na camada VNFM para carregar basicamente o software da aplicação (NGC), a imagem de instalação do sistema operacional ao qual a aplicação irá utilizar e o VNFD (VNF Descriptor) que carrega a estrutura da VNF (quantidade de recursos computacionais necessários para sua instalação).

Figura 23 – Divisão entre Telecom e IT



Após o carregamento das informações no módulo VNFM do MANO (passo 1) o time de telecomunicações fazem uma requisição para o time de IT via interface padronizada (vi-Vnfm) para o módulo VIM (Passo 2). Os requisitos enviados neste passo está descrito dentro do VNFD.

O próximo passo é de responsabilidade única e exclusiva do time que administra os DCs (IaaS e PaaS) que irá buscar atender todas as premissas/necessidades feitas pela equipe de telecomunicações através de alocação de recursos (computacionais, redes e armazenamento), disponibilizando-os utilizando o padrão OpenStack (Passo 3).

Após o time de IT alocar os recursos virtuais, disponibilizará os mesmos dentro de um vDC (passo 4). Para concluir o fluxo de instalação do núcleo NGC, o time de telecomunicação passa a ter acesso à esses recursos dentro do vDC, podendo assim, instalar a VNF (NGC) através do módulo VNFM (Passo 5).

Neste exemplo, a aplicação, segundo a figura 22, mostra que são necessários criar 22 VMs para atender todas funcionalidades do núcleo NGC tais como: AMF, UPF, PCF, etc. Lembrando que os recursos necessários e o número

de VMs para suportar o núcleo NGC está relacionado de forma direta com a capacidade desejada (segundo o projeto), fornecedores de soluções, etc.

8 Conclusão

Os principais desafios para as operadoras brasileiras, segundo a tendência de mercado, estão separados em dois níveis: nível de aplicação no núcleo da rede NGC (seguindo as normas internacionais padronizado pelo 3GPP nas versões 15 em diante) e no nível de infraestrutura computacional, onde a troca dos servidores legados ATCAs para NFV traz o desacoplamento total entre *software* de aplicação e *hardware*.

A reestruturação das atividades das equipes de operação e manutenção se faz necessária visto que a mudança sugerida pelas entidades normatizadoras mudou a estrutura da rede atual de forma considerável, comparado com a evolução da rede entre 2G para 3G e entre 3G para 4G. O impacto da substituição de três núcleos da rede para um só faz com que as operadoras repensem a divisão das equipes de operação existentes no âmbito de aplicação da rede.

Ainda na camada de aplicação (NGC), a mesma está dividida em subcategorias (eMBB, uRLLC e mMTC) ofertando tipos diferentes de serviços para os assinantes de uma operadora. Existe, então, uma flexibilidade para os prestadores de serviço de telecomunicações organizarem a equipe de operação e manutenção nesta camada, podendo subdividir em grupos para cada subcategoria, visto que cada serviço ofertado tem comportamentos distintos.

Para a infraestrutura computacional, existe a necessidade da criação de um grupo/equipe voltado para operar e manter os recursos computacionais com conhecimento na área de TI visto que a solução NFV é a base para execução de um ambiente em nuvem, onde diversas aplicações de diferentes áreas dentro da operadora (acesso, núcleo, aplicação, parceiros, provedores de conteúdo, etc) podem utilizar os mesmos recursos computacionais.

Outra mudança significativa está com o surgimento da operação centralizada através do MANO onde os operadores podem manipular todos os recursos computacionais (*data center(s)*) na camada VIM de forma centralizada provendo também uma gestão e orquestração das aplicações (VNFs) na camada SaaS de forma a prover maior inteligência para a rede de forma automatizada.

Com o núcleo unificado e a operação centralizada, o impacto no time/grupo que exerce a função operacional na operadora tende a passar por uma transformação segundo modelo atual. Este estudo não visou mensurar de forma quantitativa o impacto para os profissionais que trabalham no núcleo da rede. O objetivo principal foi propor um modelamento dividindo as responsabilidades em camadas, expondo o conhecimento técnico necessário para atuar em cada área.

Esse estudo prove margens para futuras pesquisas. Fazer um levantamento estatístico sobre as futuras oportunidades no mercado para profissionais que atuam no mercado de telecomunicações, visando mostrar as oportunidades futuras, é um exemplo que pode contribuir tanto na área acadêmica quanto na área corporativa.

Referências

3GPP Technical Specification 21.101, V3.0.1. 3rd. Generation mobile system Release 1999 Specification, In: Technical Specification, 03, 2000, France, 2000. Disponível em: < <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/21101-301.pdf>>. Acesso em: 08/05/2019

3GPP Technical Specification 21.101, V4.9.0. Reports for an UTRANbased 3GPP system (Release-4), In: Technical Specification, 06, 2003, France, 2003. Disponível:<https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/121100_121199/121101/04.09.00_60/ts_121101v040900p.pdf>. Acesso em: 08/05/2019

3GPP Technical Specification 21.101, V5.4.0. Reports for a UTRANbased 3GPP system (Release-5), In: Technical Specification, 12, 2003, France, 2003. Disponível em:<https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/121100_121199/121101/05.05.00_60/ts_50500p.pdf> Acesso em:08/05/2019.

3GPP Technical Specification 21.101, V6.0.0. Reports for a UTRANbased 3GPP system (Release-6), In: Technical Specification, 06, 2006, France: 2006. Disponível em: < <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/21101-641.pdf>>. Acesso em: 08/05/2019.

3GPP Technical Specification 21.101, V7.0.0. Reports for an UTRANbased 3GPP system (Release-7), In: Technical Specification, 09, 2007, France: 2007. Disponível em: < <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/21101-700.pdf>>. Acesso em: 08/05/2019.

3GPP Technical Specification 21.101, V8.0.0. Reports for an E-UTRAN 3GPP system (Release-8), In: Technical Specification, 06. 2009, France: 2009. Disponível em: < <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/21101-810.pdf>>. Acesso em: 08/05/2019.

3GPP Technical Specification 36.101, V11.5.0. Reports for an E-UTRAN 3GPP system (Release-11), In: Technical Specification, 07. 2013, France 2013. Disponível em: < https://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/STD-T104v2_10/5_Appendix/Rel11/36/36101-b50.pdf>. Acesso em: 08/07/2019

3GPP Technical Specification 36.331, V13.0.0 Reports for an E-UTRAN 3GPP system (Release-13), In: Technical Specification, 01. 2016, France: 2016. Disponível em: < https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136331/13.00.00_60/ts_136331v130000p.pdf> acesso em: 08/07/2019

3GPP Technical Specification 23.501, V15.2.0. 5G; System Architecture for the 5G System, In: Technical Specification, 06, 2018, France: 2018. Disponível em: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123500_123599/123501/15.02.00_60/ts_123501v150200p.pdf>. Acesso em: 08/05/2019

ABDELWAHAB, Sherif; HAMDAR, Bechir; GUIZANI, Mohsen; ZNATI, Taieb. Network Function Virtualization in 5G, in IEEE Communications Magazine, 4/2016. IEEE, 2016

AL-FALAHY, Naser; ALANI, Omar. Technologies for 5G Networks: Challenges and Opportunities, in IT Professional, 2/2017. IEEE, 2017.

CISCO. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2017–2022. 2019. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.html#_Toc484813971>. Acesso em: 08/05/2019.

CISCO. Cisco visual networking index: global mobile data traffic forecast update, 2015-2020. CISCO, 2016. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/dam/m/en_in/innovation/enterprise/assets/mobile-white-paper-c11-520862.pdf>. Acesso em 06/05/2019.

DENIES, Steve; GILBERT, Jay; MISHARA, Ashok; RASOVSKY, Karna: Standards-Based Interoperability for the Advanced Telecom Computing Architecture (AdvancedTCA). Intel Corporation, 2006. Disponível em: <<https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/research/2006-vol10-iss-1-intel-technology-journal.pdf>>. Acesso em 12/04/2019

DOMENICO, Simone Di; SANCTIS, Mauro De; CIANCA, Erestina; SILVESTRI, Lorenzo; CURCURÚ, Vito; BETTI, Alessandro. Classification of Heterogenous M2M/IoT Traffic Based on C-plane and U-plane Data, in 2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 9/2018. IEEE, 2018.

DONG, Gajeong; GU, Yuseong. A Design and Implementation of ATCA based EPON Blade, in The 5th International Conference on Optical Internet (COIN 2016), 13/2006, Jeju, Korea. IEEE, 2006.

GUIMARÃES, D. A. Sistemas de Comunicação Móvel de Terceira Geração, em Revista Telecomunicações, 5/2001. INATEL, 2001. Disponível em: <<https://www.inatel.br/docentes/dayan/pesquisa-publicacoes>>. Acesso em 21/05/2019.

GUPTA, Akhil. A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies, in IEEE Access, 7/2015. IEEE, 2015.

HAYASHI, Michiaki. NFV and SDN for Next Telecom Cloud and Core Networking, in 2016 21st OptoElectronics and Communications Conference (OECC) held jointly with 2016 International Conference on Photonics in Switching (PS), 7/2016. IEEE. 2016/04.

Informa's World Cellular Revenue Forecasts 2018/ 2013, In Telecoms.com, 11, 2013, London. Disponível no site: <<http://www.telecoms.com/197721/ott-appuse-undermining-sms-revenue/>>. Acesso em 21/05/2019.

MANZALINI, Antonio; MARINO, Francesco. Operating Systems for 5G services infrastructures. Convergence between IT and Telecommunications industry structures, in 2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 6/2018. IEEE, 2018.

MEI, Hsiao-Chen; LO, Shihmin; SHER, Peter J.: Technological dynamics: An empirical study in mobile telecommunications, In: Proceedings of PICMET '14 Conference: Portland International Center for Management of Engineering and Technology; Infrastructure and Service Integration, 07/2014, Kanazawa, Japan, 2014. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6921054>>. Acesso em: 06/05/2019.

MINOKUCHI, Atshuhi; ISOBE, Shinichi: 5G Core Network Standardization Trends, In: NTT Docomo Technical Journal Vol. 19 No 3, 01/2017, Japão. Disponível em: <https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol19_3/vol19_3_000en.pdf>. Acesso em: 09/07/2019

MSHIDOBADZE, Tinatin. X m,x,c,d and LTE networks, in 2012 6th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), 10/2012, Tbilisi, Georgia. IEEE, 2012

NATARAJAN, Harikrishnan; DIGGI, Suneelkumar, KANAGARATHINAM, Madhan R. D-VoWiFi - A Guaranteed Bit Rate Scheduling for VoWiFi in non Dedicated Channel, in 2019 16th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), 1/2019. IEEE, 2019.

PATIL, Sulabha; DHARASKA, Rajiv; THAKARE, Vilas. Digital Forensic in Cloud: Critical Analysis of Threats and Security in IaaS, SaaS and PaaS and Role of Cloud Service Providers, in 2017 Third International Conference on Computing,

Communication, Control and Automation (ICCUBEA), 2017, Pune, India. IEEE, 2017.

SHAFI, Mansoor; MOLISCH, Andreas F.; SMITH, Peter J.; HAUSTEIN, Thomas; ZHU, Peiying; SILVA, Prasan; TUFESSON, Fredrik; BENJEBOOUR, Anass; WENDER, Gerhard. 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice, in IEEE Network, 4/2017. IEEE, 2017.

SHIN, Myung-Ki; LEE, Seungik; LEE, Soohwan; KIM, Dongmyoung. A way forward for accommodating NFV in 3GPP 5G systems, in 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 9/2017, Jeju, South Korea. IEEE, 2017.

SHUKLA, Sapna; KHARE, Varsha; GARG, Shubhanshi; SHARMA, Paramanand. Comparative Study of 1G, 2G, 3G and 4G, In Journal of Engineering, Computers & Applied Sciences (JEC&AS), 2013. Disponível em: < <http://borjournals.com/a/index.php/jecas/article/view/57>>. Acesso em 21/05/2019

SOLDANI, David; PENTIKOUSIS, Kotas; TAFAZOLLI, Rahim; FRANCESCHINI, Daniele: 5G Networks: End-To-End Architectures and Infrastructure, in IEEE Communications Magazine, 11/ 2014. IEEE. 2014.

SUJATA, Joshi; TANU, Dewan; SOHAG, Sarkar; CHINTAN, Dharmani; SHUBHAM, Shubham; SUMIT, Gandhi. Impact of Over the Top (OTT) Services on Telecom Service Providers, in Indian Journal of Science and Technology, 2015. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/276175550_Impact_of_Over_the_Top_OTT_Services_on_Telecom_Service_Providers>. Acesso em: 21/05/2019.

UDOH, Sylvester J.; SRIVASTAVA, Viranjay M. CSFB-Cell Selection Reselection and Handover Between LTE and 3G Network, in 2018 International Conference

on Advances in Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD), 8/2018. IEEE, 2018

VALENCIA, Hernandez E.; IZZO, S.; POLONSKY, B. How Will NFV/SDN Transform Service Provider OPEX?, in IEEE Network, 6/ 2015. IEEE, 2015.

WAKIEL, M,; BADAWY, H.; HENNAWY, H. VOLTE Deployment Scenarios: Perspectives and Performance Assessments, in 2016 International Conference on Selected Topics in Mobile & Wireless Networking, 4/ 2016, Cairo, Egypt . IEEE, 2016.

YOUSAF, Faqir Zarrar; TALEB, Tarik. Fine-Grained Resource-Aware Virtual Network Function Management for 5G Carrier Cloud, in IEEE Network, 03/2016. IEEE, 2016.