



Fabio Augusto Fernandes

LTE – Nova tecnologia para banda larga em rede móvel

Trabalho de Conclusão de Curso

Trabalho apresentado ao Programa de Especialização em
Redes de Computadores – Pós-graduação *Latu Sensu* da
PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de
Especialista em Redes.

Orientador: Prof. Anderson Oliveira da Silva

Rio de Janeiro
Julho de 2011

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

Fabio Augusto Fernandes

Graduado em Tecnologia em Rede de Computadores pela UNESA (Universidade Estácio de Sá) em 2008. Na área de Rede de Computadores, tem grande interesse em sistemas operacionais para servidores e conectividade de redes sem fio. Atua na Administração de servidores de rede da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico, Energia, Indústria e Serviços (SEDEIS) no Governo do Estado do Rio de Janeiro.

Ficha Catalográfica

Fernandes, Fabio Augusto

LTE – Nova tecnologia para banda larga em rede móvel / Fabio Augusto Fernandes ; orientador: Anderson Oliveira da Silva. - 2011.

60 f. : il. (color.) ; 30 cm

Trabalho de conclusão de curso (Especialização)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Coordenação Central de Extensão, Rio de Janeiro, 2011.

Inclui bibliografia.

1. Informática – TCC. 2. LTE. 3. Long Term Evolution. 4. 3GPP. 5. Rede móvel. 6. Banda Larga. 7. UMTS. 8. GSM. 9. HSPA. 10. HSPA+. 11. MIMO. I. da Silva, Anderson Oliveira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Coordenação Central de Extensão. III.

CDD: 004

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha esposa Mônica e a minha filha Izabela. Tenho um amor muito grande pelas duas. Agradeço pela paciência e compreensão nos momentos de total dedicação a este curso de especialização.

Agradecimento

Agradeço aos meus pais, Irio e Lorete, que sempre me ajudaram na realização dos meus sonhos, que me mostraram o caminho correto a seguir e me ensinaram que honestidade e respeito são essenciais na vida.

Ao meu orientador Professor Anderson Oliveira da Silva e demais professores do curso de Especialização em Rede de Computadores da CCE/PUC-Rio.

A Deus e aos meus Guias Espirituais que sempre me ajudaram a encontrar respostas para minhas dificuldades.

Resumo

Fernandes, Fabio Augusto. Orientador: da Silva, Anderson Oliveira. LTE – Nova tecnologia para banda larga em rede móvel. Rio de Janeiro 2011. 60p. Trabalho de conclusão de curso – Coordenação Central de Extensão – CCE, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A rede móvel de terceira geração surgiu para oferecer um novo patamar de serviços, mas a utilização desta tecnologia para acesso de banda larga móvel provocou o surgimento de novas tecnologias para oferecer maiores taxas de transmissão de dados. Este trabalho apresenta e propõe a utilização da tecnologia LTE como solução para o aumento das taxas de transmissão de dados.

Palavras-Chave

LTE; Long Term Evolution; 3GPP; Rede móvel; Banda Larga; UMTS; GSM; HSPA; HSPA+; MIMO.

Abstract

Fernandes, Fabio Augusto. Advisor: da Silva, Anderson Oliveira. LTE – New technology for broadband mobile networks. Rio de Janeiro 2011. 60p. Final Paper – Coordenação Central de Extensão – CCE, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The third generation mobile network has emerged to offer a new level of services, but use of this technology for mobile broadband access prompted the development of new technologies to offer higher rates of data transmission. This paper presents and proposes the use of LTE technology as a solution to the increasing rates of data transmission.

Keywords

LTE; Long Term Evolution; 3GPP; Mobile Network; Broadband; UMTS; GSM; HSPA; HSPA+; MIMO.

Sumário

1.	Introdução.....	14
2.	Tecnologias 3G.....	15
2.1	Histórico do desenvolvimento das tecnologias 3G.....	15
2.1.1	Universal Mobile Telecommunication System – UMTS.....	16
2.1.2	High Speed Packet Access – HSPA.....	17
2.1.3	High Speed Packet Access Plus – HSPA+	19
2.2	LTE - Objetivos, incentivos e características do padrão	20
2.3	Interoperabilidade do LTE	22
2.4	LTE VS. Wimax.....	23
2.5	LTE-Advanced	23
2.6	Utilização do LTE no mundo	24
3.	Padronização	26
3.1	Overview sobre a 3GPP	26
3.2	Padronização do LTE pela 3GPP	27
3.3	Fases da padronização	28
3.3.1	Release 8	29
3.3.2	Release 9	29
3.3.3	Release 10	30
4.	Tecnologia	31
4.1	Considerações sobre acesso múltiplo no LTE.....	31
4.2	OFDMA.....	32
4.3	SC-FDMA.....	33
4.4	Multiple-Input Multiple-Output - MIMO	34
4.5	Faixa de Frequência - FDD & TDD	36
5.	Arquitetura LTE-SAE.....	38
5.1	SAE - Evolved Packet Core – Core Network	39
5.1.1	PDN Gateway – P-GW	39
5.1.2	Serving Gateway - S-GW	39
5.1.3	Mobility Management Entity - MME	40
5.1.4	Home Subscriber Server - HSS	40
5.1.5	Policy Control and Charging Rules Function - PCRF	40
5.2	Acesso à rede LTE - E-UTRAN;.....	40
5.3	Arquitetura de protocolos	42
5.3.1	User Plane.....	42
5.3.2	Control Plane.....	42
5.4	Arquitetura IP Multimedia Sub-System (IMS);	43
5.4.1	Session management and Routing	44
5.4.2	Interworking Elements	45
5.4.3	Services Elements	45
5.4.4	Database	45
5.5	Policy and Charging Control - PPC	46
5.6	Quality of Service – QoS.....	46
6.	Camada Física, Protocolos e Mobilidade	47
6.1	Modulação	47
6.2	Transmissão de dados do Uplink e Downlink	48
6.2.1	Uplink (Transmissão de dados do usuário)	48

6.2.2	Downlink (Transmissão de dados do usuário)	49
6.3	Protocolos de Rádio no LTE	50
6.3.1	Controle de acesso ao meio - MAC	51
6.3.2	Radio Link Control - RLC	52
6.3.3	Packet Data Convergence Protocol - PDCP	53
6.3.4	Radio Resource Control - RRC.....	54
6.4	Gerenciamento de mobilidade.....	55
6.5	Handovers.....	55
7.	Conclusão.....	57
8.	Referências Bibliográficas:.....	59

Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução das tecnologias 3G [18]	15
Figura 2 - Arquitetura UMTS detalhada.[8]	17
Figura 3 - Objetivos principais no desempenho do LTE.[1]	21
Figura 4 - Arquitetura LTE. [1]	22
Figura 5 - Evolução para IMT-Advanced. [1]	24
Figura 6 - Estrutura do grupos de trabalho da 3GPP. [2]	27
Figura 7 - Principais parametros do LTE (Release 8) [5]	29
Figura 8 - Esquema de downlink no LTE baseado no OFDM [14]	31
Figura 9 - Transmissão e recebimento no OFDMA. [1]	33
Figura 10 - MIMO 2x2 - Princípio de Configuração [1]	35
Figura 11 - Modo de operação do FDD e TDD. [1]	36
Figura 12 - Arquitetura LTE-SAE [14]	38
Figura 13 - Evolved Packet Core [2]	39
Figura 14 - Arquitetura E-UTRAN [2]	41
Figura 15 - Pilha de protocolos do User Plane [2]	42
Figura 16 - Pilha de protocolos do Control Plane [2]	43
Figura 17 - Arquitetura IMS [1]	44
Figura 18 - Modulações do LTE [1]	48
Figura 19 - eNodeB controlando a alocação de recursos. [1]	49
Figura 20 - Processo de alocação de recursos no downlink. [1]	50
Figura 21 - Protocolos de rádio do LTE em camadas. [1]	51
Figura 22 - Operação da camada PDCP [1]	53
Figura 23 - Fases do RRC no E-UTRAN e Transição entre sistemas 3GPP. [1]	54
Figura 24 - Procedimentos do Intra-LTE handover [1]	56
Figura 25 - Gráfico com Inter-System entre E-UTRAN com UTRAN/GERAN. [1]	56

Lista de Tabelas

Tabela 1- Canais utilizados com o HS-DSCH. [3]	18
Tabela 2 - Funcionalidades e benefícios do HSPA+[18]	20
Tabela 3 - Associações que compõem a 3GPP[11]	26
Tabela 4 - Releases desenvolvidos pela 3GPP[11].....	28
Tabela 5 - Estágios de Releases 3GPP [21]	30
Tabela 6 - Bandas FDD e TDD definidas pelo 3GPP [14]	37
Tabela 7- Parâmetros de QoS da SAE. [1].....	46
Tabela 8 - Protocolos de rádio do LTE	47
Tabela 9 - Canais Lógicos LTE Uplink. [1]	52
Tabela 10 - Canais Lógicos LTE Downlink. [1].....	52

Lista de Abreviaturas

16-QAM	Quadrature Amplitude Modulation
2G	Segunda Geração
3G	Terceira Geração
3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
4G	Quarta Geração
64-QAM	Quadrature Amplitude Modulation
ACM	Adaptative Code Modulating
AM	Acknowledged Mode
AMBR	Aggregate Maximum Bit Rate
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ARP	Allocation and Retention Priority
ARQ	Automatic Repeat Request
AS	Aplication Server; Access Stratum.
ASN.1	Abstract Syntax Notation number 1
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions
BCCH	Broadcast Control Channel
BGCF	Breakout Gateway Control Function
BPSK	Binary Phase-Shift Keying
CCCH	Common Control Channel
CCSA	China Communications Standards Association
CN	Core Network
CQI	Channel Quality Indicator
CSCF	Call Session Control Function
DCCH	Dedicated Control Channel
DL-SCH	Downlink Shared Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
E-NodeB	Evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRAN	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network
FDD	Frequency Division Duplex
FFT	Transformada Rápida de Fourier
GBR	Guaranteed Bit Rate
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HARQ	Hybrid Automatic Retransmission request
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DPCCH	High Speed Dedicated Physical Control Channel
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	High Speed Packet Access Plus

HS-PDSCH	High Speed-Physical Downlink Shared Channel
HSS	Home Subscriber Server
HS-SCCH	High Speed Shared Control Channel
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IBCF	Integration Border Control Function
I-CSCF	Interrogating Call Session Control Function
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFFT	Transformada Rápida de Fourier Inversa
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMS-AKA	IMS – Authentication and Key Agreement
IMT-2000	Internacional Mobile Telecommunication – 2000
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications-Advanced
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MAC	Medium Access Control
MBR	Maximum Bit Rate
MGCF	Media Gateway Control Function
MME	Mobility Management Entity
MSC	Mobiles services Switching Centre
NAS	Non-Access Stratum
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PAPR	Peak-to-Average Power Ratio
PCC	Policy and Charging Control
PCCH	Paging Control Channel
PCRF	Policy Control and Charging Function
PCS-1900	Personal Communications System operando na banda de 1,900MHz
P-CSCF	Proxy Call Session Control Function
PDCCH	Physical Downlink Control Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PDU	Payload Data Unit
P-GW	Packet Gateway
PLMN	Public Land Mobile Network Code
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QCI	QoS Class Identifier
QoS	Quality Of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RAN	Radio Access Network
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
ROHC	Robust Header Compression
RRC	Radio Resource Control
RTT	Round Trip Time
SAE	System Architecture Evolution

SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
S-CSCF	Serving Call Session Control Function
SGSN	Serving GPRS Support Node
S-GW	Serving Gateway
SIP	Session Initiation Protocol
SLF	Subscription Locator Function
SNR	Signal-to-noise ratio
SRB	Signaling Radio Bearer
TDD	Time Division Duplex
TM	Transparent Mode
TTA	Telecommunications Technology Association
TTC	Telecommunication Technology Committee
UL-SCH	Uplink Shared Channel
UM	Unacknowledged Mode
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRAN	UMTS Radio Access Network
VOIP	Voice over IP
WCDMA	Wideband Code Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network

1.

Introdução

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar os padrões de redes móveis 3G (terceira geração) e sugerir o padrão LTE (Long Term Evolution) como evolução das mesmas. Nos dias atuais, as operadoras de telecomunicações têm recebido novos assinantes de forma contínua e isto está provocando um crescimento na demanda de serviços. A comunicação por voz e a grande utilização das redes móveis para transmissão de dados geram esta demanda. Com isso, surge a iniciativa de desenvolvimento de novas tecnologias para redes móveis. O desenvolvimento é feito por entidades que possuem grupos de trabalhos responsáveis por definir os padrões da tecnologia e publicá-los em releases. As redes 3G surgiram para atender a sobrecarga nas redes 2G (segunda geração) na transmissão de dados e também para padronizar a nível mundial as redes móveis. Além disso, viabilizaram o conceito de agregar em um único dispositivo, diversos serviços de telecomunicação.

O padrão LTE foi desenvolvido pela entidade 3GPP (Third Generation Partnership Project) e seu objetivo é substituir as tecnologias 3G anteriores, desenvolvidas pela mesma entidade. Através de uma introdução detalhada sobre os padrões 3G anteriores ao LTE e de descrição sobre sua padronização, tecnologia, arquitetura de rede e mobilidade, será feita uma sugestão para adoção do mesmo como uma nova tecnologia para rede móvel. Também será apresentada a interoperabilidade do LTE com outras tecnologias, a concorrência com outras tecnologias de acesso rápido e perspectiva de sua utilização por operadoras de todo mundo.

2. Tecnologias 3G

2.1 Histórico do desenvolvimento das tecnologias 3G

O desenvolvimento das tecnologias 3G, conhecida também como IMT-2000 (International Mobile Telecommunication – 2000), foi motivado pela necessidade de se oferecer serviços avançados aos usuários de redes móveis. O 3G é baseado nas normas do ITU (International Telecommunication Union). As redes 2G ofereciam aos usuários comunicação por voz e uma transmissão de dados muito lenta. A crescente necessidade de transmissão de dados mais rápida alavancou esta migração de gerações. A evolução para o 3G teve início através do padrão UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) que foi padronizado pela 3GPP e o primeiro país a realizar a migração foi o Japão. Melhorias foram feitas no padrão para que se ganhasse mais no downlink e uplink. Este upgrade recebeu o nome de HSPA (High Speed Packet Access). Como a demanda na transmissão de dados está sempre no sentido do crescimento o HSPA sofreu uma evolução natural e recebeu a denominação de HSPA+ (High Speed Packet Access Plus). Este HSPA evoluído recebeu melhorias em sua taxa de transmissão, aumento na capacidade VOIP e algumas outras melhorias. Mesmo assim o mercado continuou exigindo melhorias e a 3GPP iniciou o desenvolvimento do LTE. O LTE surgiu como uma evolução para a migração das redes 3G para 4G (quarta geração). [3][18][19]

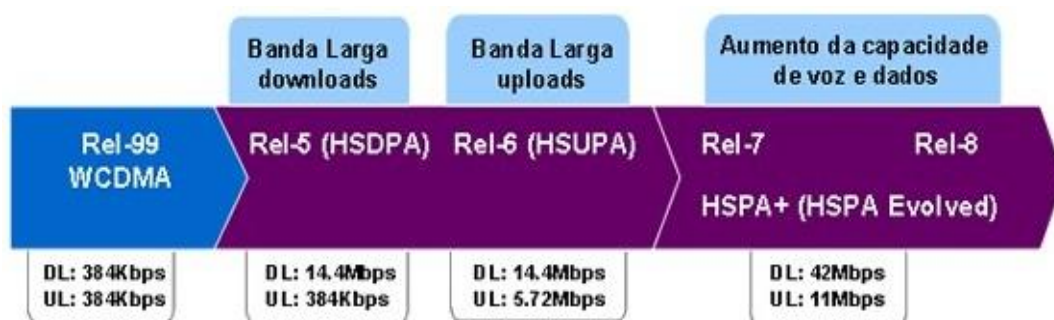


Figura 1 - Evolução das tecnologias 3G [18]

2.1.1

Universal Mobile Telecommunication System – UMTS

A crescente demanda por serviços nas redes GSM (Global System for Mobile communications) e maior taxa na transmissão de dados fez com que fosse criada a tecnologia UMTS. Esta tecnologia foi desenvolvida para ser uma sucessora do padrão GSM. Seu lançamento foi no Japão em 2002 e três anos depois já tinha 33 milhões de usuários. O objetivo inicial do UMTS era alavancar a utilização do padrão para os serviços de TV móvel e vídeo conferências, mas o que acabou se consolidando foi o acesso de alta velocidade à internet. O UMTS utiliza banda de mesma capacidade para uplink e downlink. Além disso, usa como interface de rádio a tecnologia W-CDMA (Wideband Code Multiple Access). Esta tecnologia utiliza um canal de rádio portador de 5 Mhz. É possível conseguir taxa de até 2 Mb/s.[3]

Uma rede UMTS tem sua arquitetura dividida em sistema de rádio terrestre e o CN (Core Network). O sistema de rádio terrestre também denominado UTRAN (UMTS Radio Access Network), possui os Nodes-B e as RNC (Radio Network Controller). Os Nodes-B são responsáveis pela comunicação com os usuários. Os Nodes-B seriam as estações rádio base e são responsáveis pela codificação e decodificação do sinal, processamento de RF (Rádio Frequência), espalhamento e despalhamento espectral e controle de potência. Já as RNC's são responsáveis pelo controle dos Nodes-B e realizam a comunicação com o core network. Além disso, ela possui funções importantes que são: Gerenciamento de recursos de rádio, processamento de chamadas, tráfego de voz e dados, controle de soft e hard handover¹ e terminação de portadoras de acesso.[3][8]

¹ Handover ou handoff é a característica que assegura a continuidade da uma chamada enquanto o recurso de mudança de célula é realizado. Pode ser uma mudança intra-célula ou inter-célula.

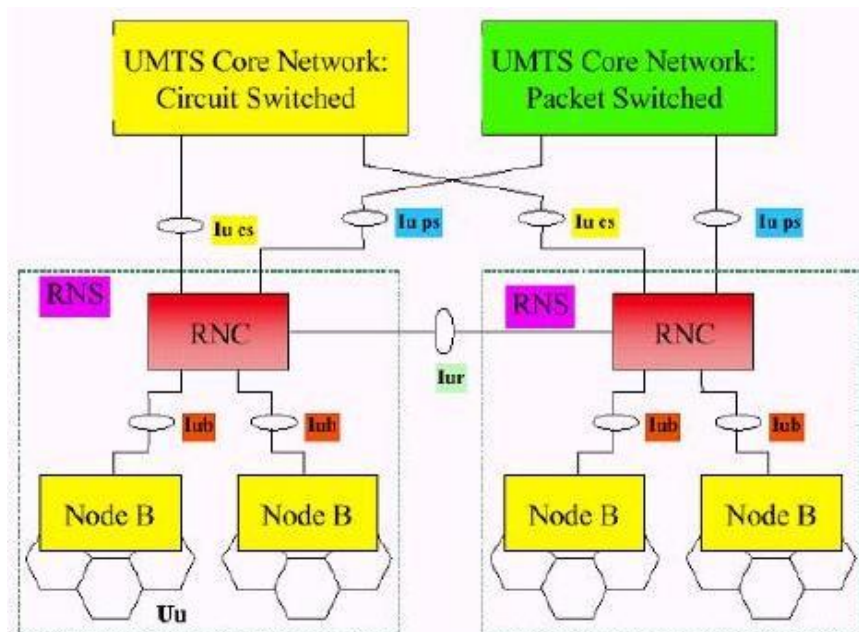


Figura 2 - Arquitetura UMTS detalhada.[8]

O sistema UTRAN se comunica com a Core network através das interfaces Iu. Essas interfaces são abertas o que possibilita que operadoras utilizem UTRAN e core network de diferentes fornecedores. Já as RNC's se comunicam através da interface Iur e elas se comunicam com os Nodes-B através da interface Iub.

A arquitetura do CN é baseada no GSM com GPRS. Além disso, é dividida em dois domínios: Um domínio comutado por circuitos e outro comutado por pacotes. Os elementos que compõem o domínio comutado por circuitos são os seguintes: Mobiles services Switching Centre (MSC), Visitor Location Register e Gateway MSC. Já os elementos comutados a pacotes são Serving GPRS Support Node (SGSN) e Gateway GPRS. [3][8]

2.1.2

High Speed Packet Access – HSPA

O HSPA surgiu como uma evolução da tecnologia UMTS e tem como objetivo aumentar velocidade de acesso e melhorar a transmissão de dados. Como se trata de uma melhoria não foi necessário se fazer modificações na estrutura central da rede. Só foi necessário realizar alterações na infra-estrutura a fim de suportar o aumento no tráfego de dados. O acesso a internet em alta velocidade é onde se tem maior utilização, pois possui taxas de downlink e uplink superiores ao UMTS. A taxa de downlink é a High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) e pode chegar a 14 Mbits/s. Já a High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) oferece uma taxa de upload de 5,76Mbits/s. [3]

Esta evolução permitiu alguns avanços tecnológicos. Uma delas foi à redução no intervalo do tempo de transmissão. O Transmission Time Interval (TTI) anteriormente era de 10ms, 20ms ou 40ms e foi reduzido para 2ms aumentando a sensibilidade na detecção de variações na rede. Esta redução proporciona aos usuários um tempo de resposta mais rápido. [3]

O compartilhamento de canal entre usuários também se torna possível com o HSPA. Este canal é denominado High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH) e através dele a banda pode ser alocada para um ou vários usuários, onde irão receber dados de forma simultânea. Cada usuário recebe do Node-B seu código de canalização para poder obter suas mensagens do canal compartilhado. O HS-DSCH é utilizado com outros três canais que aparecem descritos na tabela 1. [3]

Canais	Descrição
High Speed Shared Control Channel (HS-SCCH)	Através dele são enviados sinais de controle no HS-DSCH.
High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH)	Canal em que são enviadas informações sobre a qualidade do sinal.
High Speed-Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH)	Canal que carrega os dados dos usuários codificados pelo HS-DSCH.

Tabela 1- Canais utilizados com o HS-DSCH. [3]

O escalonamento de rápido de pacotes permite uma adaptação às variações da qualidade e disponibilidade de sinal oferecido. O aparelho dos usuários transmite para o Node-B informações sobre a qualidade do serviço (QoS). O Node-B de acordo com as informações recebidas determina o volume de informações que serão transmitidas no próximo TTI. No HSUPA o escalonamento rápido funciona de uma forma diferente. O usuário envia uma solicitação de transmissão e o Node-B irá determinar quem envia e o quanto de informações será enviado. Possui a Adaptive Code Modulating (ACM) que proporciona uma mudança na modulação. É possível passar da Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) para a Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM). Esta mudança depende da qualidade do sinal e as taxas de transmissão podem ter um ganho significativo. Uma outra característica do HSPA é a retransmissão rápida que utiliza o protocolo Hybrid Automatic Retransmission request (HARQ). O protocolo HARQ permite uma retransmissão de até 10ms. Os pacotes com erro são armazenados e posteriormente combinados com suas retransmissões. Isto permite que pacotes sem erro podem ser gerados a partir da combinação das retransmissões com os pacotes com erro armazenados. [3]

A evolução na taxa de uplink se deve a melhorias no HSUPA. A retransmissão rápida utilizando o protocolo HARQ, o escalonamento de pacotes e um canal de dedicado permitem que a taxa de upload possa atingir níveis de até 5,76 Mbits/s. O HSUPA possui transmissões escalonadas e não escalonadas. As transmissões não escalonadas possuem uma melhor adaptação a informações suscetíveis a atraso, por exemplo, transmissões de VOIP. [3]

2.1.3

High Speed Packet Access Plus – HSPA+

A necessidade de se realizar melhorias no HSPA fez com que o mesmo evoluísse para uma versão mais atual denominada HSPA+. Estas melhorias proporcionaram ao HSPA um ganho na sua capacidade de transmissão de dados e uma evolução econômica, pois permite uso dos investimentos existentes na rede. Este ganho refletiu na redução do custo dos serviços e uma melhor experiência em conexão em rede móvel ao usuário. As taxas de downlink e uplink ficaram maiores chegando a atingir 42 Mb/s no downlink e 11Mb/s no uplink. Além disso, o HSPA+ oferece uma redução na latência e uma capacidade três vezes maior na transmissão de voz utilizando VOIP. Este aumento na capacidade é realizado através da comutação de circuitos, mantendo a mesma qualidade na transmissão de voz. Utilizar o tráfego de voz sobre VOIP no HSPA não só aumenta a capacidade de voz, como também proporciona um ganho significativo a capacidade de dados. [18]

As operadoras que operam na faixa de 5 MHz tem o HSPA+ como uma solução ideal, pois oferece um desempenho de dados e voz similar ao padrão LTE. Na tabela 2 é possível ver as funcionalidades do HSPA+ e quais benefícios cada uma delas oferece. [18]

Funcionalidades	Benefícios
MIMO (Multiple Input Multiple Output) 2x2	Aumento da capacidade de downlink
Modulação 64-QAM DL e 16-QAM UL	Taxa pico no uplink tem o dobro de aumento da capacidade. Aumento da capacidade de uplink e downlink.
Conectividade Contínua de Pacote	Aumento na capacidade de VOIP, tempo de conversação e melhoria da experiência do usuário.
Melhoria da operação do estado	Estabelecimento mais rápido da chamada e melhoria da experiência do usuário.
Rede de frequência única	Aumento da capacidade de transmissão e da taxa de transmissão na borda da célula.

Tabela 2 - Funcionalidades e benefícios do HSPA+[18]

O HSPA aumentou a capacidade de transferência de dados comparada à ao sistema UMTS, adicionando canais compartilhados de alta velocidade com modulação 16-QAM. O HSPA+ amplia essa capacidade, adicionando suporte à modulação de 64-QAM, múltiplo acesso através do MIMO 2x2 e através de conectividade contínua de pacote. Esta modulação de 64-QAM é utilizada no sentido downlink aumentando em 50% sua taxa de transmissão. Já no sentido uplink é utilizada a modulação 16-QAM que dobra as taxas de transferências desde que não haja limitador de potência. [18]

2.2

LTE - Objetivos, incentivos e características do padrão

O 3GPP iniciou os trabalhos para o desenvolvimento do LTE, definindo as metas no ano de 2004. O início dos trabalhos ocorreu antes que a tecnologia HSPA tivesse sido implantada. Tal medida foi tomada, pois existe um longo caminho até que o LTE possa ser utilizado comercialmente. A motivação para o desenvolvimento do LTE surgiu devido aos seguintes motivos: A evolução da capacidade das redes fixas, a necessidade de capacidade adicional nas redes móveis, diminuir o custo na entrega de dados em redes móveis e a concorrência de outras tecnologias sem fio. O objetivo principal do LTE é fornecer um desempenho superior ao HSPA (release 6). Isto equivale a taxas de transferências de 100Mbps de downlink e 50 Mbps de uplink que são 10 vezes superior ao HSPA. A latência e consumo de energia também deveram ser reduzidos, a fim de se melhorar o desempenho. [1]

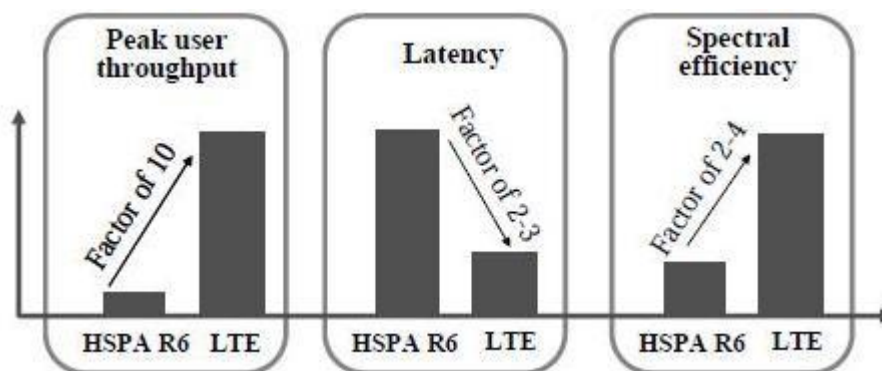


Figura 3 - Objetivos principais no desempenho do LTE.[1]

O método de múltiplo acesso que o padrão LTE utiliza no downlink é o Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) e no uplink utiliza o Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA). Ambas as soluções de múltiplo acesso fornecem aos usuários do LTE uma considerável redução em interferências e considerável melhoria na capacidade da rede. O LTE oferece uma nova interface aérea que se baseia na tecnologia Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM). Esta tecnologia permite que o LTE alcance alta velocidade na transmissão de dados com baixo custo de implantação e menor consumo de energia. A multiplexação OFDM faz a divisão do espectro em milhares de subcanais, onde cada subcanal carrega parte do sinal, que posteriormente serão combinados e com isso será gerado o dado a ser transmitido. OFDMA realiza a associação de subcanais para usuários diferentes e envia bits de um dado em baixa velocidade que combinados no receptor formam uma mensagem de alta velocidade. Isto evita problemas com reflexões em múltiplos caminhos. O padrão LTE realiza com eficiência o uso do espectro. Isto é possível, pois o padrão permite uma flexibilidade no espectro, onde é possível selecionar a banda de transmissão entre 1.4MHz e 20 MHz. A flexibilidade resulta em resistência a interferências entre as células na transmissão de dados. Com isso, o LTE suporta um grande número de usuários por célula. Além disso, possui suporte a Frequency Division Duplex (FDD) e a Time Division Duplex (TDD) na mesma plataforma. O FDD utiliza duas faixas de frequências, onde uma envia os dados e a outra recebe. Já a TDD utiliza uma única faixa em que envia e recebe em intervalos de tempo diferentes. [1][3]

A interface de rádio do LTE possui um excelente desempenho com células de até 5Km e pode oferecer um serviço de boa qualidade em células de 30km de raio. Para esta nova interface é necessário uma excelente arquitetura de rede. O LTE utiliza a arquitetura Evolved Packet Core (EPC), que é baseada

no protocolo IP, para se comunicar com diferentes redes móveis e fixas. Esta comunicação é realizada através da comutação de pacotes. O objetivo desta arquitetura é reduzir a latência de ponta a ponta e isto se torna possível já que os pacotes são processados no EPC. O processamento no EPC gera respostas rápidas e com isso, ocorre à melhoria na taxa de transmissão e tempo de latência. As funções da RNC, que existem na arquitetura do UMTS, foram substituídas pelo componente eNode-B que fica conectado diretamente ao EPC. No eNode-B ficam concentrados todos os protocolos de rádio, compressão de cabeçalhos, todas as retransmissões e os algoritmos que existem na RNC. A entidade Mobility Management Entity (MME) concentra toda a parte de controle já a parte de usuário vai diretamente do eNode-B para a System Architecture Evolution (SAE) Gateway (GW). [1][3]

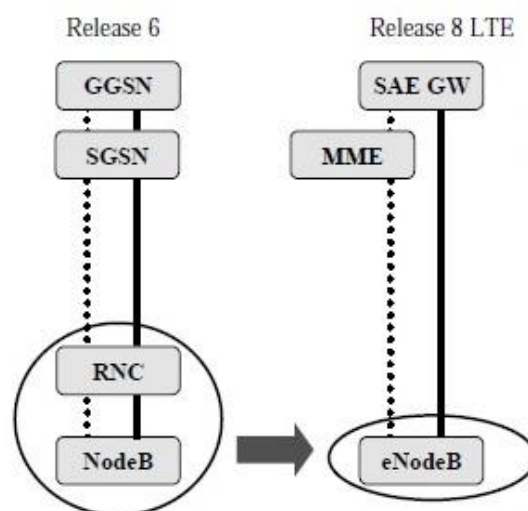


Figura 4 - Arquitetura LTE. [1]

2.3

Interoperabilidade do LTE

O padrão LTE foi criado para manter a compatibilidade com as tecnologias de redes móveis anteriores. O LTE pode ser considerado a evolução para as redes GSM, WCDMA e HSPA. A entidade Global Mobile Suppliers Association (GSA) realizou um estudo sobre o avanço do LTE. O estudo indicou que diversos dispositivos dongles baseados em LTE e compatíveis com dispositivos 2G devem ser introduzidos no mercado. [10]

A tecnologia CDMA foi padronizada pela entidade 3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2) e através de uma ação conjunta com a 3GPP, ambas as entidades buscaram a interoperabilidade entre as duas tecnologias,

LTE e CDMA. Sendo assim, as operadoras de CDMA poderão considerar o LTE como saída para a evolução de suas redes. [10]

2.4

LTE VS. Wimax

A concorrência de outras tecnologias de rede móveis foi um dos incentivos para o desenvolvimento do LTE. O concorrente direto é o Wimax (padrão 802.16e) que também permite acesso em alta velocidade em rede móvel. O padrão foi homologado em Dezembro de 2005 pelo Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). As duas tecnologias podem coexistir, pois são baseadas no protocolo IP. O grande diferencial entre as duas tecnologias é que o LTE oferece compatibilidade com as redes GSM. Estudos sinalizam que as duas tecnologias devem coexistir, pois cada uma irá atender segmentos diferentes no ramo das telecomunicações. As redes 4G já possuem o LTE-Advanced e o Wimax II (IEEE 802.16m) aprovados pelo ITU. Ambos os padrões foram certificados como International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced). [5]

2.5

LTE-Advanced

O padrão LTE equivocadamente foi considerado como uma tecnologia de quarta geração (4G) por diversas vezes. Na verdade o LTE é uma tecnologia 3G que surgiu para oferecer melhorias ao UMTS e HSPA. Para que uma tecnologia seja considerada 4G ela necessita atender os requisitos mínimos estabelecidos pelo International Telecommunication Union (ITU). O mínimo seria oferecer à taxa de 100 Mbit/s para situações de alta mobilidade e de até 1 Gbit/s para a baixa mobilidade. [1][3][5]

Sempre buscando a evolução, o 3GPP desenvolveu o LTE-Advanced (Release 10) com a finalidade de oferecer as taxas mínimas estabelecidas pelo ITU. Em setembro de 2009, a 3GPP enviou uma proposta para o ITU, para que o LTE-Advanced fosse avaliado como um IMT-Advanced (4G). O ITU reconheceu oficialmente, em Novembro de 2010, o LTE-Advanced como uma tecnologia sem fio 4G. [3][5][9]

Além das taxas o LTE-Advanced irá oferecer largura de banda maior que 70Mhz (downlink) e 40 Mhz (uplink), Mobilidade igual ao LTE, Suporte a agregação espectral e largura de banda escalável e compatibilidade com redes

anteriores. A implementação do LTE-Advanced deve ser toda baseada no protocolo IP e possuir roaming internacional.[3]

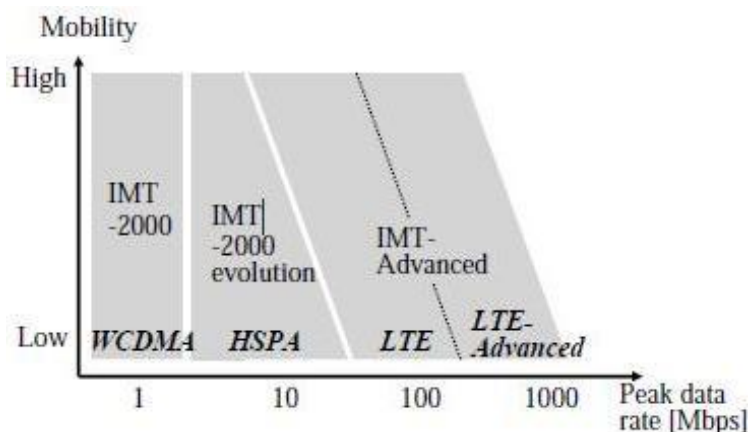


Figura 5 - Evolução para IMT-Advanced. [1]

2.6

Utilização do LTE no mundo

A adoção do LTE por operadoras de redes móveis em todo o mundo vem crescendo de forma constante e recentemente um trabalho de pesquisa da Global Mobile Suppliers Association (GSA) comprovou esta afirmação anterior. Este trabalho [15] demonstrou que 110 operadoras em 48 países estão realizando investimentos para adotarem o padrão LTE em suas redes. A GSA também estima que no final de 2010, 22 redes LTE já estarão sendo utilizadas comercialmente e que mais 45 estarão operacionais até o final de 2012. O padrão LTE é considerado a evolução natural para as operadoras de redes GSM, UMTS, HSPA e CDMA devido a sua interoperabilidade com estas redes. O incentivo para a adoção do LTE vem ganhando força com os leilões das faixas de 2.6GHz e 800MHz em diversos países. Além disso, algumas operadoras estão defendendo a utilização da faixa de 1800MHz, pois nesta faixa seria possível tirar um maior proveito da largura de banda que o padrão pode oferecer. Os dispositivos dongles, que são equipamentos baseados no padrão LTE, mas também suportam redes anteriores 2G/3G, estão sendo introduzidos no mercado a fim de facilitar que o padrão LTE se estabeleça de forma definitiva. [15]

Apesar de um grande otimismo algumas operadoras pretendem adiar a adoção do padrão LTE com algumas medidas que são as seguintes: adensamento de torres nos centros urbanos, aumento da capacidade de transmissão de dados na mesma frequência e adoção de antenas MIMO. Este tipo de comportamento se deve pelo fato de operadoras pelo mundo não possuírem recursos suficientes para a migração para o LTE. [16]

No Brasil as operadoras móveis fizeram um alto investimento no leilão das faixas do 3G, no ano de 2007 e ainda não conseguiram recuperar o que foi investido. Sendo assim elas tem o objetivo de continuar o processo de consolidação do 3G no Brasil antes de partir para o padrão LTE. Apesar disso, existe uma forte pressão para que a faixa de 2.5GHz seja a escolhida para o LTE no Brasil. Esta pressão é feita pela indústria a fim de reduzir custo devido a compatibilidade. A faixa de 700Mhz, mesma que os EUA utilizam, é utilizada pelo segmento de radiodifusão e somente em 2016 o Ministério das Comunicações pretende encerrar a utilização desta faixa.[17] Em novembro de 2010 foi divulgado que a Anatel liberou a utilização da faixa de 2,5Ghz e que existe uma grande expectativa para que em 2012 já existam ligações LTE no Brasil. Esta expectativa ganha força com a realização da Copa do Mundo em 2014 e a necessidade de se oferecer boas taxas de transmissão neste evento.

3. Padronização

Este capítulo tem o objetivo de apresentar como foi criada a organização 3GPP, descrever as etapas do processo de padronização da tecnologia LTE pela 3GPP e os releases publicados pela mesma com as especificações do LTE e melhorias de tecnologias anteriores.

3.1 Overview sobre a 3GPP

A 3GPP é uma entidade que é composta por órgãos normativos das telecomunicações e foi criada em Dezembro de 1998 com a composição de cinco grupos que representam associações de telecomunicação. Os grupos que formam a 3GPP podem ser visto na tabela 3. Nos dias atuais a 3GPP possui como membro mais de 400 empresas e instituições. O objetivo principal da 3GPP é definir as tecnologias GSM e WCDMA para que se tenha um sistema de rede móvel completo. Em todo o mundo entidades responsáveis pela normatização de redes móveis recebem os resultados provenientes da 3GPP e publicam os mesmo como normas e recomendações a serem seguidas. O desenvolvimento das tecnologias GSM, WCDMA e HSPA pela 3GPP foi realizado em um prazo de 10 anos. Apesar do espetacular aumento de taxas de transmissão conforme as exigências de mercado, a 3GPP segue realizando trabalhos para continuar evoluindo. [1] [12] [19]

SIGLA	NOME	ORIGEM
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions	EUA
TTA	Telecommunications Technology Association	Coréia do Sul
CCSA	China Communications Standards Association	China
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Europa
ARIB/TTC	Association of Radio Industries and Businesses Telecommunication Technology Committee	Japão

Tabela 3 - Associações que compõem a 3GPP[11]

As tecnologias desenvolvidas pela 3GPP que hoje atendem 90% dos usuários globais são GSM/EDGE e WCDMA/HSPA. O número de assinantes que utilizam estas tecnologias está acima dos 3,5 bilhões. O modelo de padronização do GSM foi tão bem produzido que serviu de base para o

desenvolvimento da padronização do LTE. Como o processo de padronização se tornou algo tão complexo, foi necessária a divisão da 3GPP em quatro grupos técnicos. Cada grupo é responsável por certas especificações. [2][11]

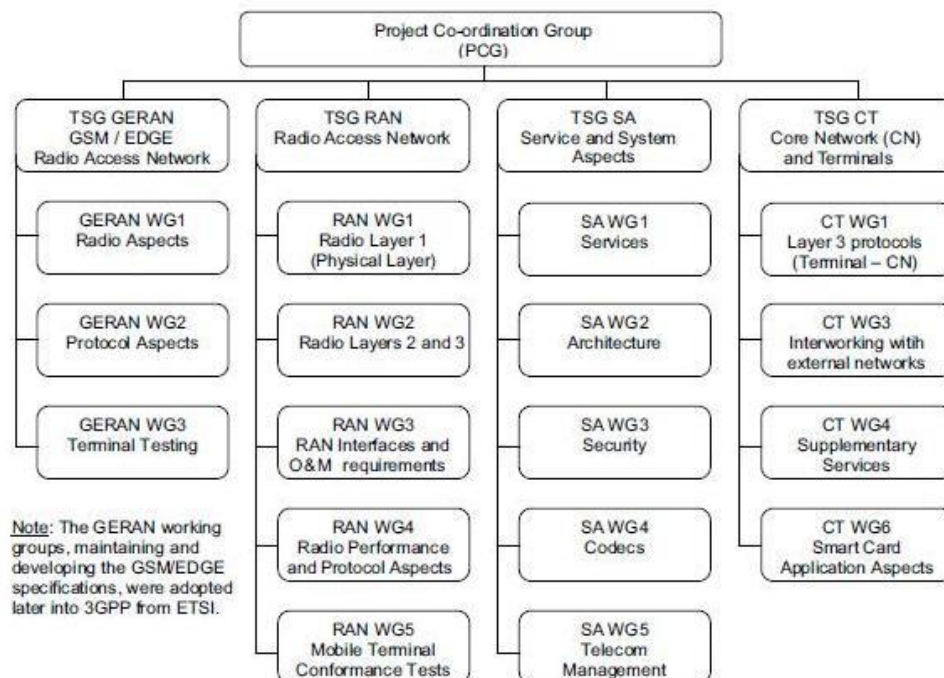


Figura 6 - Estrutura do grupos de trabalho da 3GPP. [2]

Os grupos de trabalho estão freqüentemente realizando simulações, principalmente o grupo responsável pela camada física da interface aérea. Estas simulações têm o objetivo de comparar o desempenho de diferentes técnicas. [2]

A 3GPP mantém suas especificações estruturadas em versões e normalmente as novas versões são compatíveis com versões anteriores. Isto se torna fundamental para se manter a interoperabilidade entre as versões. [1][11][19]

3.2

Padronização do LTE pela 3GPP

A padronização do LTE teve início em um workshop no ano de 2004 em Toronto. Várias empresas presentes apresentaram suas ambições futuras para evolução das redes móveis e também foram expostas algumas especificações que deveriam ser desenvolvidas pela 3GPP. Havia a necessidade de se criar um sistema de acesso a rádio, que se mantivesse competitivo por pelo menos 10 anos. Com isso, a 3GPP iniciou um estudo para atingir este objetivo. No ano de 2005 os requisitos para o padrão LTE já estavam estabelecidos. As metas

seriam: reduzir atraso no estabelecimento de conexões e latência na transmissão, maior flexibilidade na utilização do espectro, redução do custo por bit, simplificação da arquitetura, interoperabilidade com outras tecnologias de acesso a rádio e redução do consumo de energia por parte dos dispositivos. O release 8 foi o primeiro do padrão LTE publicado pela 3GPP. Neste release foi definida a arquitetura de rede SAE que é baseada em IP. A utilização do LTE com esta arquitetura tem o objetivo de fornecer um suporte eficiente a qualquer serviço baseado em IP. A arquitetura SAE foi baseada na evolução do core da rede GSM/WCDMA.

A 3GPP2, que é a entidade responsável pela padronização do CDMA, junto com a 3GPP iniciou uma frente de trabalho para buscar a interoperabilidade entre os padrões LTE e CDMA. Esta iniciativa tem como objetivo facilitar para que operadoras de CDMA possam migrar suas redes para o padrão LTE.

No ano de 2007, na Coreia do Sul, o LTE teve seu desempenho testado e os resultados mostraram que o LTE é uma excelente solução, pois atende a demanda desejada e em determinados momentos até excedendo. [2][14]

3.3

Fases da padronização

Os padrões estabelecidos pela 3GPP são organizados em releases. Cada versão possui vários documentos que contém especificações. Os releases mais recentes incluem revisões a norma da tecnologia GSM, desenvolvimento do LTE e LTE-Advanced. [11]

Versão	Descrição
Phase 1	Características do padrão GSM
Phase 2	GSM e especificações do codec EFR
Release 96	GSM e 14.4 kbit/s de taxa de dados
Release 97	GSM e GPRS
Release 98	GSM, AMR, EDGE e GPRS para PCS1900
Release 99	Primeiro release do UMTS – Incluindo interface CDMA
Release 4	Incremento de especificações - Núcleo de rede IP plena (all-IP core network)
Release 5	Introdução do IMS (IP Multimedia Subsystem) e HSPA – HSDPA
Release 6	Integração com WLAN e incremento do HSUPA, MBMS e melhorias no IMS.
Release 7	HSPA+ Adicionado o downlink MIMO 2x2, a latência reduzida e melhoria para aplicações VOIP
Release 8	Primeiro release do LTE. + melhorias HSPA
Release 9	Melhorias na SAES, WiMAX e Interoperabilidade entre LTE e UMTS.
Release 10	Desenvolvimento LTE-Advanced

Tabela 4 - Releases desenvolvidos pela 3GPP[11]

3.3.1

Release 8

O primeiro release com especificações do LTE foi o de número 8. Neste release foram inseridas as normas para o padrão. Em dezembro de 2008 o release 8 foi fechado e passou a ser a base para o desenvolvimento de equipamentos LTE. O padrão LTE estava muito estável e por isso o acréscimo de benefícios na tecnologia passaram a ser introduzidas no release 9. As principais características do LTE estão descritas no release 8. Algumas delas são as seguintes: Alta eficiência do espectro, pois utiliza OFDM no downlink e SC-FDMA no uplink, Latência reduzida, Suporta largura de banda de 1.4MHz até 20Mhz, Utiliza arquitetura de protocolo simples, Interoperabilidade com releases anteriores da 3GPP, Tecnologia de acesso a radio FDD e TDD e possui eficiente multicast e broadcast. [5]

Access Scheme	UL	DFTS-OFDM
	DL	OFDMA
Bandwidth		1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz
Minimum TTI		1msec
Sub-carrier spacing		15kHz
Cyclic prefix length	Short	4.7μsec
	Long	16.7μsec
Modulation		QPSK, 16QAM, 64QAM
Spatial multiplexing		Single layer for UL per UE Up to 4 layers for DL per UE MU-MIMO supported for UL and DL

Figura 7 - Principais parametros do LTE (Release 8) [5]

3.3.2

Release 9

No ano de 2009 foi publicado o release 9 da 3GPP que saiu com novas especificações para melhorias no SAE e também apresentou as especificações sobre a interoperabilidade entre os padrões LTE e Wimax. Além disso, nele foi publicada uma evolução no Dual Cell HSDPA em que o sistema de downlink passou a operar com o sistema de múltiplo acesso MIMO. Ocorreram mudanças no HSUPA em que o padrão passou a operar em sistema de duas células, Dual Cell HSUPA. [11] [20]

3.3.3

Release 10

Em março deste ano o release 10 foi congelado para mudanças no estágio três. Neste release o LTE Advanced conseguiu preencher todos os requerimentos para receber a o reconhecimento como tecnologia IMT Advanced 4G. Através dele também foi definida a compatibilidade do LTE 4G com o LTE (release 8 – 3G). O sistema de downlink Dual Cell HSDPA passou por evoluções e recebeu especificações para o Multi-Cell HSDPA com 4 portadoras. O próximo release já foi iniciado e a previsão segundo a 3GPP é que o primeiro estágio seja congelado em setembro de 2011. [11] [21]

A tabela 5 apresenta os três estágios que um novo release passa antes de sua definição.

Estágio	Descrição
1	Descrição do serviço de um ponto de vista serviço – usuário;
2	Análise lógica aonde o problema entre os elementos funcionais e fluxo de informação são solucionados através de entidades funcionais;
3	Implementação de protocolos.

Tabela 5 - Estágios de Releases 3GPP [21]

4. Tecnologia

4.1

Considerações sobre acesso múltiplo no LTE

As tecnologias de terceira geração anteriores ao LTE utilizam o WCDMA como interface de rádio. Este sistema utiliza o CDMA para o acesso múltiplo, que utiliza uma única banda de frequências com códigos diferentes de espalhamento espectral. O WCDMA utiliza para downlink e uplink diferentes canais de rádio de 5MHz e não necessita de sincronismo com a estação rádio base. Além disso, o WCDMA permite aumento no volume de dados e usuários nas redes móveis. As taxas podem atingir 2Mb/s em baixa mobilidade e 144Kb/s em alta mobilidade. O WCDMA tem como desvantagens o fato de um sinal ocupar toda a largura de banda e não permitir uma escalabilidade.

O padrão LTE oferece uma nova interface de rádio que utiliza o método de multiplexação OFDM. Esta interface possui duas características importantes que são o baixo custo de implementação e o eficiente consumo de energia. O acesso múltiplo no downlink é realizado através do OFDMA e no uplink o acesso é realizado utilizando-se o SC-FDMA. Os símbolos OFDM ficam juntos em blocos de recursos, que possuem um tamanho total de 180kHz no domínio da frequência e 0,5ms no domínio do tempo. Intervalo de tempo de transmissão de 1ms consiste em dois slots. Em uma rede LTE cada usuário recebe um determinado número de blocos de recurso e quanto mais blocos de recurso um usuário receber, mais elevadas será a taxa de bit. O sistema de sincronismo no LTE é semelhante ao que é utilizado pelo HSPA. Este sistema oferece um bom desempenho para diferentes serviços e ambientes de rádio.

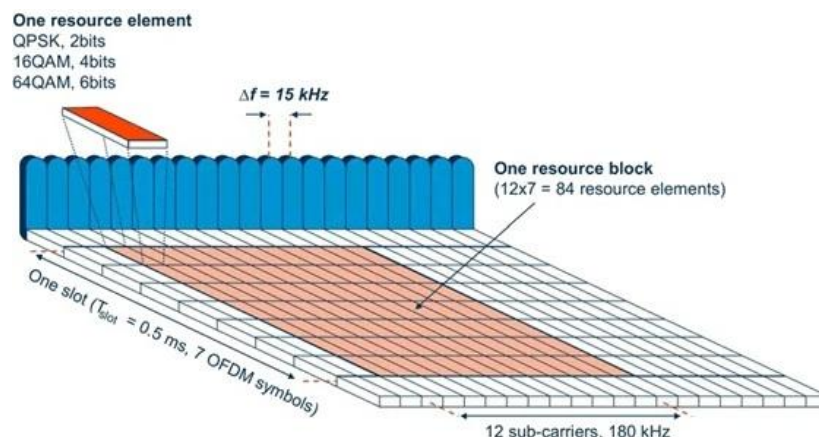


Figura 8 - Esquema de downlink no LTE baseado no OFDM [14]

O sistema de multi-antenas que o LTE utiliza é o Multiple-Input Multiple-Output (MIMO). O MIMO é um sistema que funciona de forma mais robusta no LTE, pois tem boa adaptação com o OFDMA. Já foi definido no primeiro release do LTE publicado pela 3GPP. É um sistema que garante confiabilidade e fornece um bom ganho na transmissão de dados.

4.2

OFDMA

O sistema OFDMA é uma tecnologia de acesso múltiplo que possibilita a transmissão de dados através de subportadoras ortogonais sobrepostas. Estas subportadoras são divididas em grupos, que são denominados sub-canais. A utilização de subportadoras permite que os usuários transmitam seus dados individualmente de forma simultânea. No padrão LTE estas subportadoras possuem um espaçamento de 15KHz e este tamanho é mantido de forma independente do tamanho de largura de banda. O OFDMA funciona com tecnologia digital que realiza a transição do domínio de tempo para o domínio de frequências. Esta transição é baseada na Transformada de Fourier Discreta e na sua operação inversa. No processo de transmissão os dados passam por bloco onde sofrem a Transformada de Fourier Rápida (FFT) que realiza a demodulação do sinal na recepção e por bloco Inverso da Transformada de Fourier Rápida (IFFT) que realiza a modulação do sinal na transmissão. Estes blocos fazem a transição entres os dois domínios. [1]

Quando um transmissor utiliza o OFDMA pra enviar dados, ele utiliza algoritmos IFFT para modular o sinal a ser transmitido. O processo de transmissão consiste em: Os dados passarem por modulador que encaminha as informações para uma serial-paralela. Após esta etapa os dados irão sofrer a transformada inversa no bloco IFFT. Na saída do bloco o sinal é incrementado por uma extensão cíclica. Esta extensão inclui prefixos cíclicos para se evitar uma interferência inter-símbolo. Estes prefixos recebem no seu conteúdo uma parte final do símbolo OFDMA. Além disso, as inclusões dessas extensões cíclicas servem como um intervalo de guarda. Estes intervalos tornam as transmissões pelo OFDMA periódicas e com isso é possível que se aplique a transformada de Fourier discreta e sua forma inversa no transmissor e receptor. Na recepção as extensões cíclicas são removidas e os dados passam por algoritmos FFT para se realizar a demodulação do sinal. Na figura 10 é possível visualizar um esquema de transmissão e recebimento utilizando-se a tecnologia OFDMA. [1]

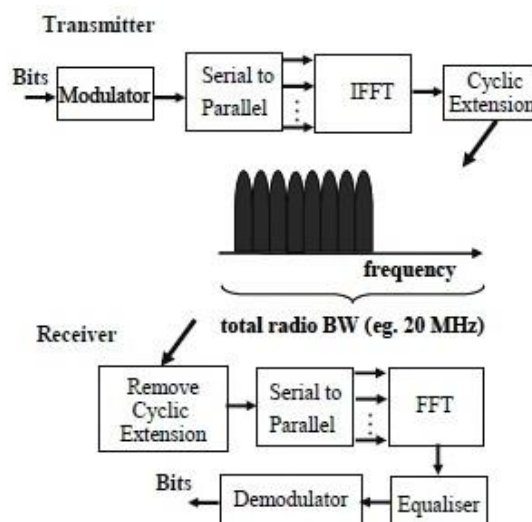


Figura 9 - Transmissão e recebimento no OFDMA. [1]

A modulação OFDMA adotada pelo LTE se destaca por alavancar uma maior largura de banda para oferecer altas taxas de dados. O LTE possui um gerenciamento de overhead muito eficiente que aperfeiçoa o uso do OFDMA de forma que seja gerada uma alta eficiência espectral. Determinadas características do LTE fazem com que ele tenha superioridade sobre outras soluções OFDMA.

4.3

SC-FDMA

O uplink do LTE utiliza a tecnologia SC-FDMA como método de acesso múltiplo. O SC-FDMA é uma versão pré-codificada do OFDM e sua forma básica é semelhante à modulação (QAM) e é válido nos modos de operação FDD e TDD. O LTE utiliza o SC-FDMA para compensar a Peak to Average Power Ratio (PAPR) elevada que o OFDM normal provoca. A PAPR elevada está vinculada a utilização de amplificadores de potência, que exigem linearidade. Isto provoca um aumento no custo do equipamento e consumo da bateria do mesmo. O SC-FDMA amortiza esta necessidade provocada pela PAPR, pois utiliza um agrupamento dos blocos de recurso e com isso reduz a necessidade de linearidade e consumo do amplificador de potência. Um sistema com baixa PAPR fornece uma boa cobertura e melhora o desempenho na borda da célula.

Na transmissão do SC-FDMA também é inserido um prefixo cíclico, mas a diferença para o OFDMA é que o prefixo não é inserido após os símbolos. O objetivo é o mesmo evitar a interferência inter-símbolo e tornar a recepção da

transmissão mais simples. O receptor utiliza um equalizador que é executado em um bloco de símbolos para prevenir futuras interferências inter-símbolo. [1]

A estrutura de transmissão do SC-FDMA é a mesma usada para o downlink. Um quadro de 10 ms de rádio é dividido em dez sub-quadros de 1 ms cada e composto por dois espaços 0,5 ms. Também possui o mesmo espaçamento de 15 KHz por sub-portadora como o downlink e durante a transmissão o sinal no sentido do uplink os recursos são definidos no domínio da frequência, ou seja, passando pela IFFT. Além disso, como no downlink, um bloco de Recursos é formado por dozes elementos de recursos no domínio da frequência. Apesar de tantas semelhanças entre o OFDAM e o SC-FDMA, existem diferenças e uma delas é o fato do uplink é ter sua potência máxima de transmissão limitada. Um exemplo seria a dificuldade de transmitir pacotes VOIP por um subquadro de 1ms com uma taxa de erro aceitável. A saída é a utilização desses pacotes em camadas mais altas ou adotar uma técnica mais eficiente que é a utilização do TTI Bundling. Esta técnica permite que um bloco único de transporte da camada MAC (Media Access Control) seja transmitido repetidamente em vários subquadros consecutivos em um único conjunto de mensagens de sinalização para toda a transmissão. [2]

Grande parte das transmissões feitas pelo SC-FDMA utilizam blocos contíguos de subportadoras. Com isso, a transmissão se torna simples e permite que a estrutura da rádio base do downlink também seja utilizada. A única transmissão do uplink que é distribuída é a que realiza sondagem de sinais de referência. Este tipo de transmissão ocorre para que o eNodeB faça o agendamento do uplink de frequência seletiva. O uplink do LTE também suporta largura de banda de 1,4MHz até 20 MHz, como no downlink. Também tem o mesmo tamanho de subportadora e duração do símbolo. [2]

4.4

Multiple-Input Multiple-Output - MIMO

O LTE na sua primeira versão teve incluído uma tecnologia fundamental que foi o sistema de multi-antenas MIMO. A natureza desta tecnologia é permitir uma maior diversidade de transmissão, pois seu princípio básico é enviar sinais a partir de duas ou mais antenas diferentes. O fato de utilizar diferentes fluxos de dados implica em realizar o processamento do sinal na recepção, ou seja, o receptor irá separar o fluxo de dados e com isso ocorrerá um aumento das taxas de pico. Este aumento poder ser de um fator 2 caso esteja utilizando um sistema

2x2 ou fator 4 para sistemas 4x4. O sistema MIMO se torna muito eficiente em evitar que o fluxo de dados seja limitado pela lei de Shannon². A lei de Shannon limita a quantidade de informações que podem ser transmitidas devido à presença de ruído. O sistema MIMO utiliza vários canais entre o transmissor e receptor, cada canal sofre a limitação imposta pela lei de Shannon, mas o conjunto de canais permite que este limite seja excedido. [1][18]

O MIMO foi incluído nas especificações anteriores do WCDMA, mas seu funcionamento possui diferenças do MIMO utilizado pelo LTE. O padrão LTE tem uma boa adaptação ao MIMO, pois o mesmo funciona de forma adequada ao OFDMA. Para que uma operação MIMO seja bem sucedida é necessário que haja uma alta relação sinal-ruído. Quando se atende esta necessidade de alta SNR (Signal-to-noise ratio) se garante que o sinal será decodificado com sucesso quando chegar ao seu destino. Na figura 10 é possível ver o funcionamento básico de um sistema de antenas 2x2. Diferentes fluxos de dados são encaminhados para a pré-codificação e na sequência é realizado o mapeamento de sinal e geração do sinal OFDMAO. [1][18]

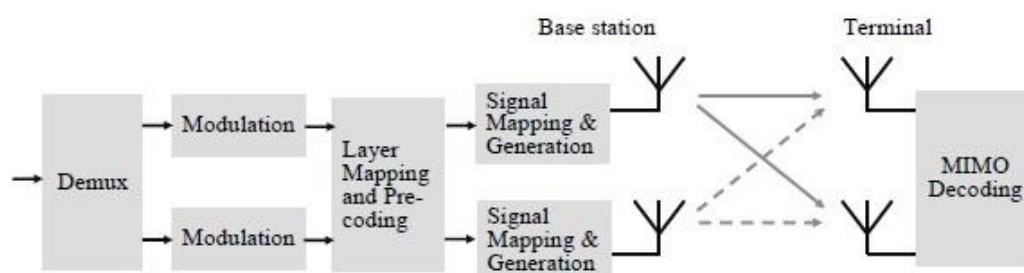


Figura 10 - MIMO 2x2 - Princípio de Configuração [1]

Símbolos de referência são necessários para se separar as antenas entre si. Estes símbolos são necessários para que não ocorra a interferência de uma antena sobre o fluxo de outra. Cada antena possui seu próprio símbolo de referência e todos são mapeados para que ocorra uma alternância entre as antenas.

Em ambientes onde as células são muito grandes e a dispersão é menor os ganhos da tecnologia MIMO ficam limitados. Para que o sistema ofereça maior ganho é necessário células pequenas, onde a SNR irá ser alta, e um ambiente com boa dispersão. Os ambientes com alta dispersão geralmente são os urbanos. [18]

² Lei de Shannon – Capacidade máxima de um canal com ruído, dada sua banda passante. $C=W\log_2(1+S/N)$

Este sistema de antenas oferece confiabilidade e capacidade para banda larga móvel. É utilizado em redes WLAN (Wireless Local Area Network) e também na HSPA+. [18]

4.5 Faixa de Frequência - FDD & TDD

O LTE possui uma grande flexibilidade no espectro e possui dos modos de utilização do mesmo. Os dois modos são o FDD e TDD. O princípio do TDD é utilizar a mesma faixa de frequência para transmitir e receber, mas alternado o sentido da transmissão de acordo com o tempo. Ambos os modos trabalham com a largura de banda de 1,4MHz a 20MHz. Dependendo da faixa de frequência está largura de banda pode ser inferior no TDD. O sistema TDD pode ser implementado em uma banda não pareada ou em duas bandas pareadas separadamente. Já o sistema FDD necessita de um par de bandas com distância razoável entre as direções de uplink e downlink. Esta distância necessária no FDD é conhecida como separação duplex e tem como objetivo de impedir a interferência entre as transmissões. No TDD é utilizada uma banda de guarda entre as transmissões. O FDD é considerado o mais eficiente, pois representa volumes mais elevados de dispositivo e infra-estrutura, enquanto o TDD é considerado um bom complemento. O sistema FDD utiliza frequências diferentes para manter a transmissão e recepção contínua com o equipamento. Na figura 11 é possível visualizar o modo de operação de ambos. [1] [3] [12]

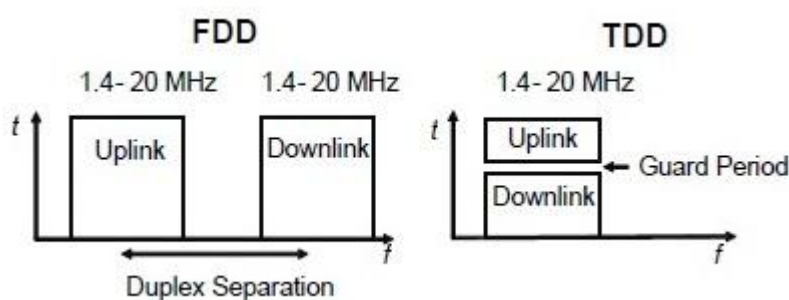


Figura 11 - Modo de operação do FDD e TDD. [1]

A 3GPP definiu faixas para FDD e TDD. Dez diferentes faixas de frequência para o FDD e quatro diferentes faixas de frequência para o TDD. Estas faixas de frequência podem ser utilizadas pelo padrão LTE e há a possibilidade de aumento destas faixas. Na tabela 6 as faixas de frequência que foram definidas pela 3GPP para o FDD e TDD. [14]

Bandas FDD		Bandas TDD	
Banda	Frequências UL/DL (MHz)	Banda	Frequências UL/DL (MHz)
I	1920 – 1980 / 2110 – 2170	A	1900 – 1920 / 2010 – 2025
II	1850 – 1910 / 1930 – 1990	B	1850 – 1910 / 1930 – 1990
III	1710 – 1785 / 1805 – 1880	C	1910 – 1930
IV	1710 – 1755 / 2110 – 2155	D	2570 – 2620
V	824 – 849 / 869 – 894		
VI	830 – 840 / 875 – 885		
VII	2500 – 2570 / 2620 – 2690		
VIII	880 – 915 / 925 – 960		
IX	1749.9 – 1784.9 / 1844.9 1879.9		
X	1710 – 1770 / 2110 – 2170		

Tabela 6 - Bandas FDD e TDD definidas pelo 3GPP [14]

5. Arquitetura LTE-SAE

A arquitetura de rede do LTE é considerada como uma rede simples em comparação com redes utilizadas pelas tecnologias anteriores. Foi estruturado para operar com comutação de pacotes e isto permite integração com outras tecnologias que utilizam o protocolo IP. Toda a conectividade na arquitetura LTE é contínua e realizada através do protocolo IP. Esta evolução na arquitetura abrange o acesso via rádio, representado pelo sistema E-UTRAN (Evolved UTRAN) e os aspectos que não abrangem o acesso a rede que é o SAE (System Architecture Evolution). O SAE é representado pelo EPC (Evolved Packet Core). A composição do sistema E-UTRAN mais o EPC dá origem ao EPS (Evolved Packet System). O sistema EPS realiza o roteamento de tráfego IP de uma rede de pacote de dados para um equipamento de usuário final. E-UTRAN e EPC são responsáveis na liberação de informações exigidas pelas aplicações [2] [3]. Na figura 12 é possível visualizar a arquitetura LTE-SAE. Nela aparecem alguns nós lógicos que fazem parte do núcleo da rede SAE, enquanto o acesso a rede possui apenas um nó que é o e-NodeB (Evolved NodeB). Este nó é responsável pela comunicação com os equipamentos dos usuários. Além disso, existem alguns nós responsáveis pela interoperabilidade com outras tecnologias [2] [3].

No LTE-SAE é adotada uma conceituação de QoS baseada em classe de serviços.

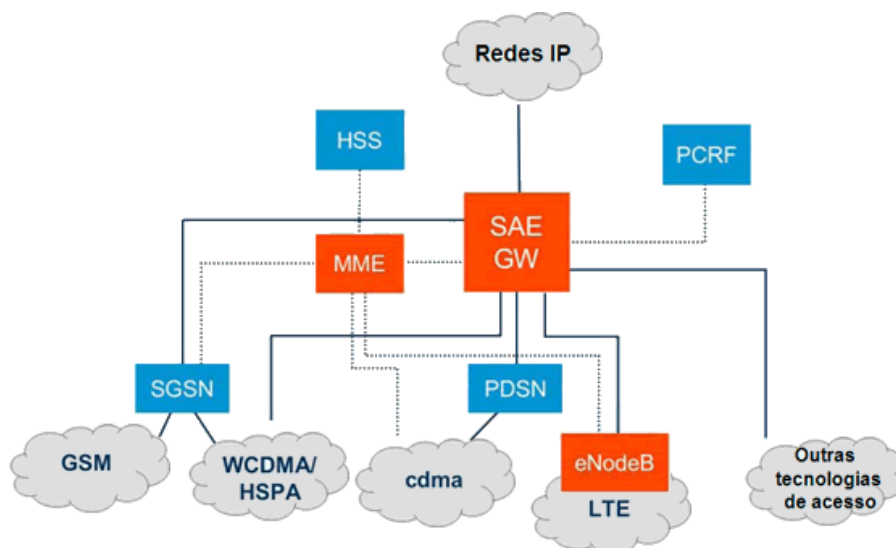


Figura 12 - Arquitetura LTE-SAE [14]

5.1

SAE - Evolved Packet Core – Core Network

Na SAE o núcleo da rede é o EPC. Ele possui a função de controlar os equipamentos dos usuários e de processar e gerenciar a transmissão de pacotes. O EPC possui três principais nós lógicos que são: P-GW (Packet Data Network Gateway), S-GW (Serving Gateway) e MME (Mobility Management Entity). Além disso, existem outros nós lógicos complementares que são o PCRF e o HSS. [2]

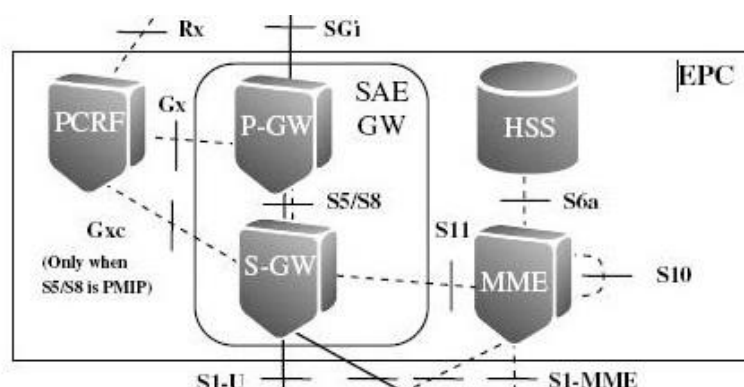


Figura 13 - Evolved Packet Core [2]

5.1.1

PDN Gateway – P-GW

Este nó possui a responsabilidade de ser o roteador entre o EPS e redes externas. O P-GW possui outras atribuições que são: atribuir endereços IP para os equipamentos dos usuários; filtrar e controlar pacotes IP do usuário; Garantir a taxa de transmissão com QoS e permitir a comunicação com tecnologias não 3GPP como por exemplo as redes CDMA2000 e Wimax. [2]

5.1.2

Serving Gateway - S-GW

O S-GW possui a função de ser um ponto de referência durante a mobilidade do equipamento do usuário entre o eNodeB's. Todos os pacotes IP dos usuários passam pelo S-GW. Além disso, realiza algumas funções administrativas na rede, como por exemplo, a coleta de informações sobre volume de dados enviados ou recebidos pelo usuário. Este nó lógico também serve como um referencial para interoperabilidade entre outras tecnologias 3GPP tais como GPRS e UMTS. [2]

5.1.3

Mobility Management Entity - MME

O MME tem a função de controlar a sinalização entre o equipamento do usuário e o núcleo da rede. Este controle permite uma implantação da rede de forma otimizada e com uma maior escalabilidade. Esta comunicação entre o equipamento do usuário e o núcleo da rede é feita por protocolos NAS (Non-Access Stratum). Uma das principais funções do MME é o gerenciamento de conexões. Através dele são criadas as conexões de forma segura entre rede e usuário. [2]

5.1.4

Home Subscriber Server - HSS

O HSS é um nó complementar do EPC que possui a função de banco de dados de registro de usuários. Ele utiliza uma interface baseada no protocolo Diameter para se conectar ao núcleo da rede. As redes anteriores GSM e WCDMA utilizavam a sinalização SS7. Algumas funções são semelhantes ao HLR (Home Location Register). Ele contém informações sobre as PDN's ao qual o usuário pode se conectar. Estas informações podem ser o nome de um ponto de acesso ou um endereço de uma PDN. Além disso, possui informações sobre qual MME o usuário está conectado. [2] [14]

5.1.5

Policy Control and Charging Rules Function - PCRF

Este nó lógico tem a responsabilidade de elaborar políticas de controle de decisão e controlar as funcionalidades de tarifação. O PCRF também possui a função de decidir quando e como se deve gerenciar os serviços em termos de QoS. Além disso, fornece informações para o P-GW e se são aplicáveis ao S-GW. [2]

5.2

Acesso à rede LTE - E-UTRAN;

O sistema de acesso E-UTRAN é formado por uma rede de e-NodeB's e não possui um controlador que centralize informações. A arquitetura do E-UTRAN é considerada plana e os e-NodeB's são interligados entre si através de uma interface denominada X2 e sua comunicação ao núcleo da rede é feito por meio da interface S1. De forma mais detalhada se comunica com o MME pela

S1-MME e com o S-GW pela interface S1-U. A comunicação dos e-NodeB's e os equipamentos de usuários são realizadas utilizando-se o protocolo AS (Access Stratum). Na figura 14 é possível ver a estrutura de sistema um E-UTRAN, formado por e-NodeB's interligados pelas interfaces X2 e conectados ao EPC por interfaces S1.

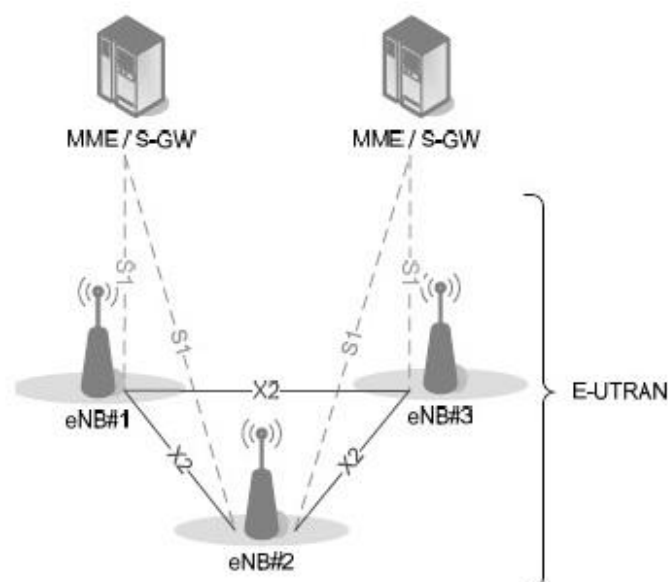


Figura 14 - Arquitetura E-UTRAN [2]

O E-UTRAN é responsável por todas as funções de rádio na arquitetura da rede. Estas funções têm os seguintes objetivos: proteger os dados transmitidos pela interface de rádio através de criptografia, realizar a compressão dos cabeçalhos IP para evitar sobrecarga, controlar a admissão e mobilidade de rádio e programar e alocar recursos para os equipamentos de usuário tanto no downlink e uplink. Estas funções estão localizadas nos e-NodeB's, que também realizam a gestão de diversas células. No padrão LTE o controle de rádio fica no e-NodeB e permite um melhor desempenho, pois ocorre uma redução de latência. Nas tecnologias anteriores é utilizado o RNC para realizar esta comunicação. Como o sistema E-UTRAN é composto por vários e-NodeB's, o controle de rádio não fica centralizado e com isso é eliminada qualquer necessidade de alta disponibilidade e evita a interrupção do serviço em caso de falha. [2]

5.3

Arquitetura de protocolos

O sistema E-UTRAN possui uma arquitetura de protocolos. Esta arquitetura está dividida em nível de usuário e controle e cada nível possui suas respectivas camadas.

5.3.1

User Plane

A comunicação entre os equipamentos de usuários e demais entidades da arquitetura LTE-SAE é feita através de protocolos de encapsulamento. Quando se envia um pacote IP para um EU, este pacote é encapsulado utilizando-se um protocolo específico do EPC, em seguida é feito um tunelamento entre o nó P-GW e o e-NodeB, que compõe o sistema E-UTRAN. O mesmo fica encarregado de transmitir para o EU. Nas interfaces do núcleo da rede, S1 e S5/S8.2 é utilizado o protocolo GTP (GPRS Tunneling Protocol). [2]

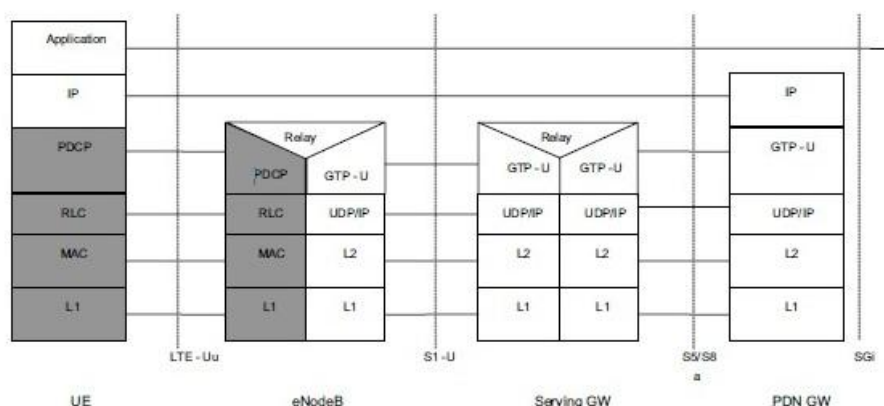


Figura 15 - Pilha de protocolos do User Plane [2]

Na figura 15 podemos ver a pilha de protocolos do User Plane que consiste nas camadas PDCP (Packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Control) e MAC (Medium Access Control).

5.3.2

Control Plane

As camadas do Control Plane possuem as mesmas funções que a de User Plane. A única diferença é que no do Control Plane não é feita compressão de cabeçalho. Neste nível surge o protocolo RRC (Radio Resource Control) que recebe a titularidade de camada 3 na pilha de protocolos. Sua função é

estabelecer os portadores de rádio e configurar todas as camadas inferiores usando a sinalização do RRC entre o e-NodeB e o equipamento do usuário. Na figura 16 podemos ver a pilha de protocolos do Control Plane.

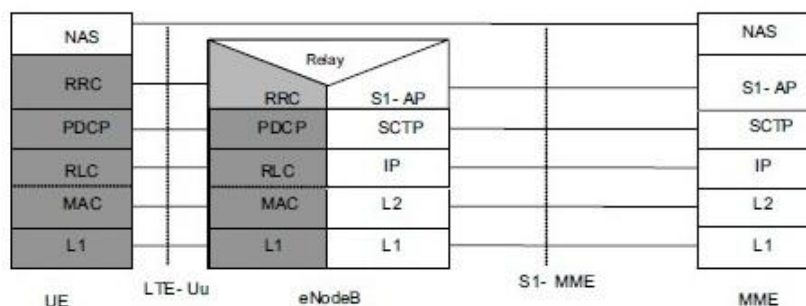


Figura 16 - Pilha de protocolos do Control Plane [2]

5.4

Arquitetura IP Multimedia Sub-System (IMS);

A IMS (IP Multimedia Sub-System) é uma camada de serviços que faz parte da estrutura LTE/SAE. Inicialmente foi introduzida no release 5 e a partir do release 8 já passou a fornecer serviços através de acesso fixo e móvel. Poder ser vista como uma camada de serviço que está localizada acima da camada IP que o EPS disponibiliza. Na figura 17 podemos visualizar uma seta indicando uma camada de conectividade IP. Nesta camada a RAN (Radio Access Network) e o EPC podem se comunicar com a IMS ou outras redes externas. Na mesma figura podemos visualizar as interfaces de sinalização Gm e Ut que são utilizadas pelo equipamento do usuário. [1]

A camada IMS é considerada como independente da camada de conectividade, pois possui seus próprios procedimentos de gestão de sessão, mas também foi projetada para operar com o 3GPP- AN's e funciona perfeitamente com o PCC. Além disso, o IMS utiliza o protocolo SIP (Session Initiation Protocol) para registrar e controlar as sessões de serviço. Este protocolo é utilizado na interface de sinalização Gm e nos diversos nós da arquitetura IMS que são: ISC, Mw, Mg, Sr, Mi, MJ, Mx, Mc e mm. Além do SIP outros dois protocolos são utilizados pelo IMS que são: Diameter, nas interfaces Cx, DX, DH e Sh e o protocolo H.248 na interface Mp. [1]

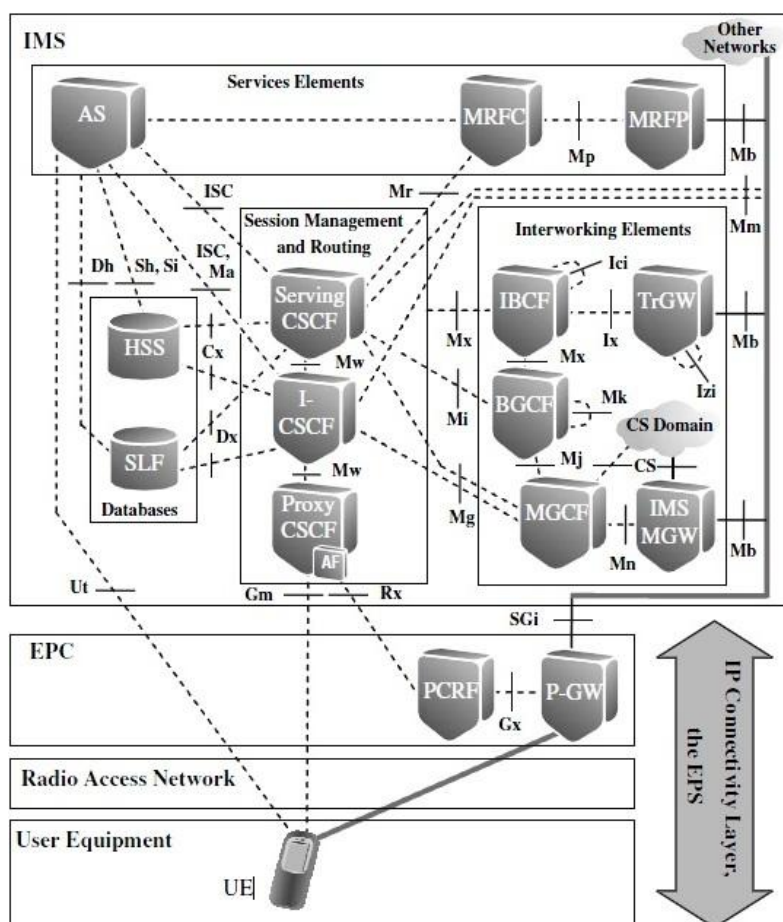


Figura 17 - Arquitetura IMS [1]

A estrutura IMS é composta por quatro módulos. Cada módulo possui sua função e todos estão conectados por diversas interfaces. Os módulos são os seguintes: Session Management and Routing, Interworking Elements, Services Elements e Database. [1]

5.4.1

Session management and Routing

O principal elemento da sinalização SIP entre o equipamento do usuário e a IMS é o CSCF (Call State Control Function). O método de autenticação primária é o IMS-AKA (IMS – Authentication and Key Agreement), mas existem outros métodos, como por exemplo, o HTTP Digest. O CSCF possui três diferentes funções que podem ser acumuladas no mesmo nó ou separadas e conectadas pela interface Mw. O S-CSCF (Serving CSCF) é uma das funções do CSCF e é responsável por fornecer as informações sobre o usuário e estado de sessão do mesmo. Além disso, utiliza o MGCF para interligar com outras redes sejam elas multimídia ou não. Outra funcionalidade do CSCF é o I-SCSF (Interrogating CSCF) que fica na borda da sua rede de origem e é responsável

pela busca status do registro do equipamento do usuário. O I-CSCF também precisa interagir com os servidores de aplicação. A interface Ma é usada para esta interação. Já o P-CSCF (Proxy CSCF) é responsável pelo controle da camada de conectividade IP. Ele geralmente está na mesma rede que o EPS.

5.4.2

Interworking Elements

O IMS necessita de elementos para interoperabilidade quando ele interage com outras redes. Algumas funções são atribuídas a estes elementos. Uma delas é o BGCF (Breakout Gateway Control Function), que tem a finalidade de interligar redes CS a uma IMS e através dele é definido onde será feita a interligação. A segunda função é a IBCF (Integration Border Control Function) que é utilizada quando a interligação entre operadoras tem de ser feito por pontos previamente definidos. A IBCF é utilizada na interligação entre os CSCFs ou os BGCFs. A terceira é que o MGCF (Media Gateway Control Function) trabalha no controle do CSCF ou BGCF. [1]

5.4.3

Services Elements

Uma grande variedade de serviços são disponibilizados por diferentes tipos de AS (servidores de aplicação). Isto muitas vezes não permite que as normas suportem todos os serviços possíveis. Alguns dos principais serviços seguem uma ordem padronizada para facilitar a interoperabilidade com as operadoras em roaming. O elemento MRFC possui a função de um controlador. Já o MRFP tem a função de processador. [1]

5.4.4

Database

O IMS utiliza como banco de dados principal o HSS, pois ele possui uma cópia dos dados de inscrição. Através deste banco de dados é possível se obter informações sobre localização e autenticação. Tudo baseado em requisições do I-CSCF e S-CSCF. O HSS se comunica com o módulo SE (Service Elements) pelas interfaces Sh ou Si, mas a utilização de umas das duas varia de acordo com o tipo de serviço. O SLF (Subscription Locator Function) é utilizado para se definir qual o HSS a ser utilizado quando se tem mais de um banco de dados HSS disponível. [1]

5.5

Policy and Charching Control - PPC

O PCC (Policy and Charging Control) teve início com o release 8 e tem como função determinar quais recursos serão alocados para um de terminado serviço e também definir as características de QoS que as portadoras irão ter. As especificações do release 8 permitem que que os parâmetros de QoS sejam definidos de forma dinâmica para cada serviço ou usuário. O PCC fornece um meio de se gerenciar serviços relacionados de uma forma muito lógica. [1]

5.6

Quality of Service – QoS

A 3GPP iniciou o desenvolvimento da SAE e do conceito QoS no padrão LTE, pois tinha como objetivo de realizar melhorias com relação a tecnologias existentes desenvolvida por ela. Na camada de aplicação alguns atributos de QoS foram desativados, pois o dispositivo de usuário que ficou responsável por definir tais atributos da portadora. Isto foi necessário, pois algumas existiam muitas camadas com as mesmas informações de sinalização. A decisão da 3GPP foi de que a SAE só iria ter um conjunto reduzido de parâmetros de QoS. Estes parâmetros estão relacionados na tabela 7. [1]

Parâmetro	Descrição
QoS Class Identifier (QCI)	Identificador de três parâmetros QoS: Prioridade, atraso e perda;
Allocation and Retention Priority (ARP)	Indica a prioridade da portadora com relação a outras.
Maximum Bit Rate (MBR)	Identifica a taxa de bits máxima por portadora.
Guaranteed Bit Rate (GBR)	Identifica a taxa de bits garantida pela portadora.
Aggregate Maximum Bit Rate (AMBR)	Muito fluxo IP mapeado na mesma portadora. Indica a taxa de bits máxima que um dispositivo de usuário pode usar em todas as portadoras em um conexão PDN.
Resource Type	Indica qual classe tem uma associação GBR
Priority	Tem a função de definir a prioridade da agendador de pacotes na interface de rádio.
Delay Budget	Auxilia o agendador de pacotes a manter um taxa de agendamento suficiente para atender a portadora.
Loss Rate	Indica qual configuração RLC deve ser utilizada.

Tabela 7- Parâmetros de QoS da SAE. [1]

6. Camada Física, Protocolos e Mobilidade

Neste capítulo estão descritos alguns recursos da camada física, protocolos e mobilidade do padrão LTE. A abordagem da camada física é feita através da abordagem dos itens: sistema de modulação e transmissão de uplink e downlink. A camada física do LTE é caracterizada por utilizar como base os princípios do OFDMA e do SC-FDMA. Portanto, não utiliza a dedicação dos recursos para somente um usuário e sim realiza um compartilhamento dinâmico destes recursos. A camada física é um ponto muito importante para a comunicação via rádio, pois através dela que se define a capacidade e desempenho do sistema. Já os protocolos de rádio têm um papel fundamental no padrão LTE, pois um sistema para ter um bom desempenho precisa de uma camada de protocolos eficiente. Esta camada é composta pelos protocolos citados na tabela 8. Estes protocolos fazem parte da arquitetura de rádio do padrão LTE.

Protocolos de Rádio	
MAC	Medium Access Control
RLC	Radio Link Control
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
RRC	Radio Resource Control

Tabela 8 - Protocolos de rádio do LTE

6.1 Modulação

O sistema de modulação utilizado no Uplink é o QAM, sendo este um sistema de modulação tradicional. Além disso, os modelos QPSK, 16QAM e 64QAM estão disponíveis para modulação de dados do usuário. [1] Estes modelos de modulação para dados de usuários também são utilizados no sentido de transmissão do Downlink. Sendo assim o sistema OFDMA pode utilizar modulações diferentes para cada sub-portadora. [1]

Os métodos de modulação QPSK e 16QAM ficam disponíveis em todos os dispositivos, já o 64QAM somente está disponível no equipamento do usuário. Quando se utiliza o método QPSK, o transmissor faz uma boa utilização de energia quando o mesmo realiza uma transmissão em modo completo. Já quando se utiliza o 16QAM e 64QAM ocorre uma menor utilização de energia no transmissor. Na figura 18 é possível verificar as constelações de modulação disponíveis no padrão LTE. [1]

Com o objetivo de se evitar a transmissão de erros é adotado um sistema de canais de controle. Este sistema de controle é semelhante ao HSDPA / HSUPA onde os canais de controle fazem uma parametrização com o objetivo de evitar a propagação de erros. O BPSK (Binary Phase-Shift Keying) é padrão utilizado para controle em sistemas que adotam o BPSK ou QPSK para transmissão de informação de controle. A única exceção é o controle de dados do Uplink que é multiplexado juntamente com os dados do usuário, portanto a modulação de dados e controle é a mesma. [1]

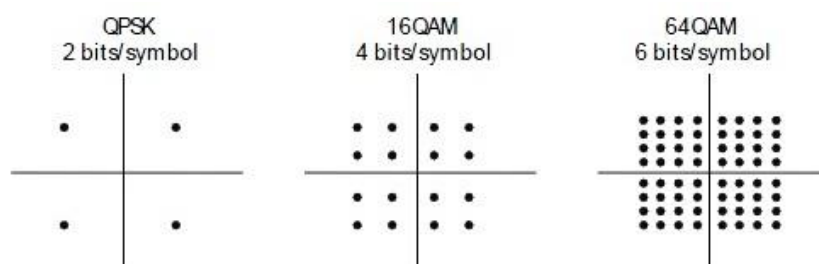


Figura 18 - Modulações do LTE [1]

6.2

Transmissão de dados do Uplink e Downlink

6.2.1 Uplink (Transmissão de dados do usuário)

Os dados dos usuários quando são transmitidos no modo de uplink utilizam um sistema de canal compartilhado que é o PUSCH (Physical Uplink Shared Channel). O PUSCH é um canal de transmissão que é usado para transportar dados de um ou mais dispositivos móveis neste canal compartilhado. Além disso, é baseado na alocação de tempo e recursos no domínio de frequência com 1ms e 180KHZ de resolução. Os recursos são alocados através de um gerenciador que fica localizado no e-NodeB e sendo assim nenhum dispositivo móvel irá ter um recurso fixo. Sempre haverá dependência do agendamento do e-NodeB, que irá sinalizar quando o recurso vai estar disponível. Na figura 19 é possível visualizar dois dispositivos de usuários tendo suas solicitações de recursos sendo controladas pelo agendamento do e-NodeB e toda comunicação sendo feita pelo domínio da frequência. Na transmissão é utilizada uma estrutura de quadros de 10ms. Esta estrutura é utilizada tanto na transmissão FDD ou TDD. No modo TDD existem alguns campos adicionais na estrutura para transmissão tanto no uplink quanto no downlink. Nessa estrutura de quadros existe um slot de 0.5ms que inicialmente foi designado pela 3GPP

para reduzir RTT (Round Trip Time), ou seja, tempo estimado entre a transmissão do sinal para um receptor remoto e o envio da resposta de volta. Ele faz parte de um sub-quadro de 1ms e nele existem símbolos de referência e símbolos de dados de usuários. [1]

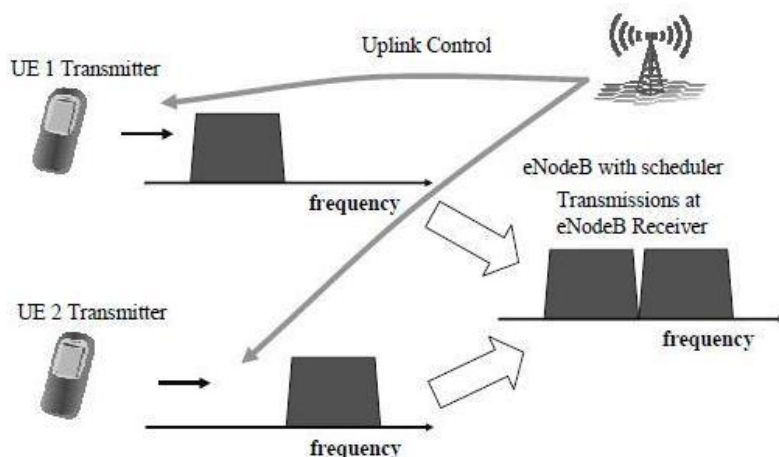


Figura 19 - eNodeB controlando a alocação de recursos. [1]

6.2.2 Downlink (Transmissão de dados do usuário)

A transmissão de dados do usuário no sentido do downlink possui uma semelhança ao uplink, pois a transmissão no downlink também utiliza um canal compartilhado, que é o PDSCH (Physical Downlink Shared Channel). O PDSCH é utilizado para enviar dados de usuário e informações de controle a dispositivos móveis. A mesma alocação de recursos de 1ms que é reservada no uplink também é válida para o downlink. Na transmissão o e-NodeB também possui um papel semelhante ao alocar recursos no domínio do tempo e frequência. Além disso, esta alocação é baseada no CQI (Channel Quality Indicator). O CQI é utilizado em um sistema de comunicação móvel, que permite a comunicação remota utilizando-se informações de qualidade do canal. Estas informações de qualidade do canal são as seguintes: nível da portadora, intensidade do sinal e taxa de erro. O downlink (PDSCH) utiliza como modulação o OFDMA, com isso sub-portadoras paralelas de 15kHz são responsáveis por definir a taxa de transmissão de dados dos usuários. Esta taxa é definida pelo número de sub-portadoras alocadas, que formam um bloco de recursos. Em nível de controle surge o PDCCH (Physical Downlink Control Channel), que é responsável por informar aos dispositivos quais blocos de recursos foram dinamicamente concedidos a ele. Na estrutura de quadros de 10ms do Downlink, o sub-quadro de 1ms possui o primeiro slot de 0,5ms ocupado pelas informações do PDCCH e o segundo com os dados do PDSCH. A função do PDCCH é unicamente

transferir informações de controle em dispositivos móveis. As informações de paginação do canal e do PDSCH serão configurados e sendo assim a programação do agendamento do Uplink é definida tornando possível um maior controle no sistema de rádio. [1]

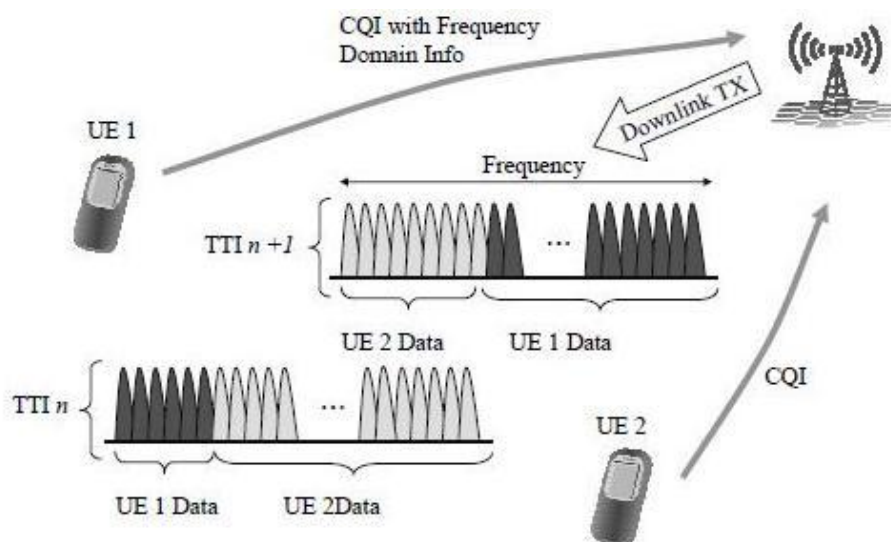


Figura 20 - Processo de alocação de recursos no downlink. [1]

Na figura 20, é possível verificar a transmissão das informações do CQI com as informações do domínio da frequência. Estas informações estão sendo enviadas para o e-NodeB por dois dispositivos móveis. Ao receber estas informações é definido quais recursos serão alocados para cada equipamento utilizado pelo o usuário da rede móvel. Por exemplo, no intervalo de tempo de transmissão N é definido um bloco de recursos no domínio do tempo e frequência para a transmissão de dados, onde através do agendamento do e-NodeB existe um controle na transmissão de dados de ambos os equipamentos em um mesmo intervalo.

6.3

Protocolos de Rádio no LTE

Os protocolos de rádio do sistema LTE possuem a função de configurar, reconfigurar e liberar o sinal de rádio a ser transmitido. Na estrutura de camadas existe a camada 2 que fica acima da camada física. Esta camada 2 é composta pelas interfaces de rádio do padrão LTE (MAC, RLC e PDCP). Já no nível do plano de controle (camada 3) existe o protocolo RRC. Acima da camada 3 ocorre uma conexão com núcleo da rede através do protocolo NAS (Non-Access Stratum). A Figura 21 apresenta a estrutura de protocolos de rádio do padrão

Canal Lógico	Descrição
Common Control Channel (CCCH)	Usado para transferir informações de controle entre dispositivo e rede quando não tem o RCC entre as duas partes;
Dedicated Control Channel (DCCH)	Canal ponto a ponto transmissão de informações de controle dedicado entre dispositivo e rede.
Dedicated Traffic Channel (DTCH)	Neste canal todos os dados dos usuários são carregados numa transmissão ponto a ponto.

Tabela 9 - Canais Lógicos LTE Uplink. [1]

Canal Lógico	Descrição
Multicast Control Channel and Multicast Traffic Channel	Usado para transmissões multicast. Ponto a Multiponto. Passou a fazer parte do LTE após o Release 9;
Broadcast Control Channel (BCCH)	Canal de controle que o dispositivo móvel utiliza para se identificar e ter acesso ao sistema de comunicação;
Paging Control Channel (PCCH)	Canal utilizado para que um dispositivo móvel seja informado sobre uma chamada de voz ou uma sessão de dados;
CCCH, DCCH e DTCH	Mesmas funções do Uplink, mas com transmissão para os canais compartilhados do Downlink.

Tabela 10 - Canais Lógicos LTE Downlink. [1]

6.3.2

Radio Link Control - RLC

O protocolo RLC possui a função básica de transferir PDU's da camada superior RRC ou da camada inferior PDPC. O RLC possui três modos de operação e dependendo do modo ele tem a função de corrigir erros através de ARQ (Automatic Retransmission Request), onde o dispositivo que envia pode retransmitir um bloco de dados caso haja falha na recepção dos dados. O primeiro modo de operação do RLC é o TM (Transparent Mode). Neste modo somente ocorre o envio e recepção de PDU's sem cabeçalho em um canal lógico. Por isso, não tem como rastrear as transmissões entre emissor e receptor. Este modo é recomendado para serviços que não necessitem de retransmissão na camada física e que necessitem de uma confirmação de entrega. O segundo modo é o UM (Unacknowledged Mode) fornece maiores funcionalidades ao RLC, com ele existe a correção de erros com o HARQ e nele o PDU recebe um cabeçalho que contém uma sequência que facilita a entrega dos mesmos e evita a duplicidade na entrega. O último modo de operação é o AM (Acknowledged Mode), que é um adicional ao modo UM. Seu cabeçalho é adicionado com a informação do último pacote entregue corretamente no

receptor mantendo a seqüência, sendo assim é possível uma re-segmentação para se realizar retransmissões. [1]

6.3.3

Packet Data Convergence Protocol - PDCP

O protocolo PDCP está acima da camada do RLC e este protocolo é muito utilizado pelas mensagens RRC da camada do plano de controle. Uma diferença que o padrão LTE tem para o WCDMA é que todos os dados dos usuários passam pela PDCP, pois é nesta camada que ocorre toda a cifragem destes dados. Este protocolo é um conjunto de comandos que tem a finalidade de garantir uma transmissão confiável no canal de rádio. Nos primórdios do LTE este protocolo fazia parte da arquitetura da núcleo da rede, mas depois passou a fazer parte do e-NodeB. Nesta camada os pacotes IP são comprimidos e descomprimidos baseados no protocolo ROHC (Robust Header Compression). O ROHC tem a função de remover informações redundantes nos cabeçalhos. Como foi citado anteriormente realiza a cifragem e a descifragem nos dados dos planos de usuário e controle e também garante a integridade e verificação das informações de controle. O PDCP assegura que as informações realmente são oriundas de um determinado emissor. [1]

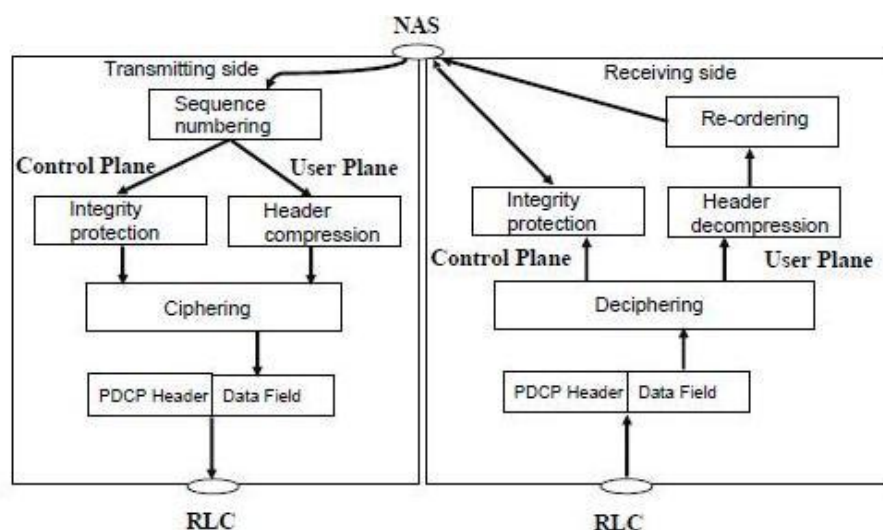


Figura 22 - Operação da camada PDCP [1]

A figura 22 apresenta os modos de operação da camada PDCP tanto na transmissão como na recepção. É possível verificar que a verificação de Integridade fica no nível de plano de controle e a compressão do cabeçalho no plano de usuário.

6.3.4

Radio Resource Control - RRC

O protocolo RRC fica na camada três e faz parte do plano de controle. Nesta camada são suportadas as comunicações de informações do tipo NAS, que são comuns em todos os dispositivos móveis. O NAS é um meio de comunicação que oferece a requisição e configuração de transferência de dados entre dois pontos de forma independente. O RRC é responsável pelo controle da configuração, gerenciamento e encerramento de canais físicos e lógicos na comunicação entre o sistema E-UTRAN (estações rádio base) e os dispositivos móveis. Este protocolo utiliza a linguagem ASN.1 (Abstract Syntax Notation Number One), mas foi simplificado de forma significativa. Isto fez com que ele se tornasse mais econômico no envio de mensagens comparado com o sistema UTRAN. Estas mensagens do RRC são transferidas através de SRB's (Signaling Radio Bearer), que são canais responsáveis pela transferência de comandos de controle. O Mapeamento desta mensagens é feita pelo PDCP e RLC em canais lógicos. [1] [2]

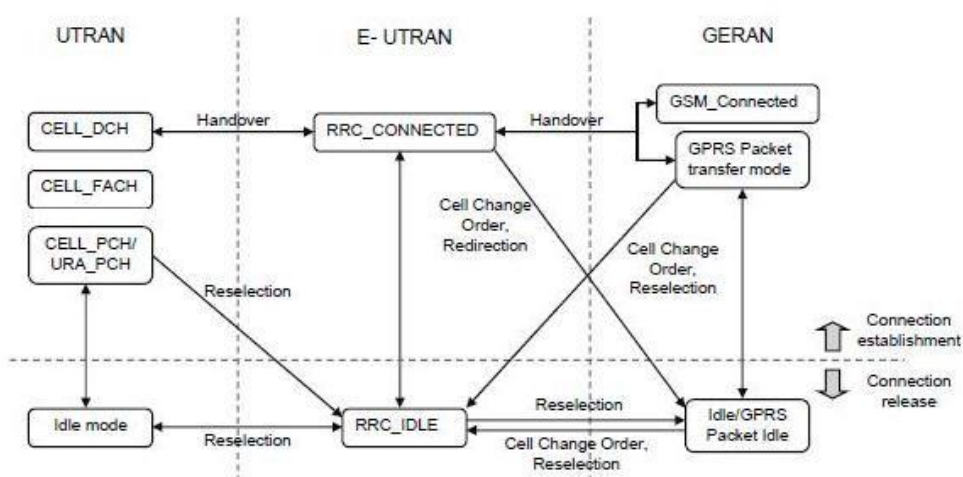


Figura 23 - Fases do RRC no E-UTRAN e Transição entre sistemas 3GPP. [1]

A figura 23 apresenta a interoperabilidade entre o sistema E-UTRAN e outros dois sistemas da 3GPP: Os sistemas UTRAN e GSM. O protocolo RRC tem papel fundamental nesta mobilidade entre sistemas. O sistema UTRAN não estabelece comunicação com o RRC do E-UTRAN quando ele está no modo CELL_FACH.

O RRC disponibiliza algumas funções que são: O broadcast de informações do sistema, Paginação, gerenciamento entre E-UTRAN e dispositivos móveis, gerenciamento de chaves com o objetivo de oferece

segurança, handover, transferências de informações NAS entre a rede e os dispositivos móveis dos usuários e transferência entre e-NodeB's [1]

6.4

Gerenciamento de mobilidade

A 3GPP desenvolveu o padrão LTE para oferecer mobilidade associada a uma alta capacidade na transmissão de dados. O mesmo possui uma mobilidade muito robusta, pois utiliza handoffs transparentes e tem uma boa compatibilidade com tecnologias 3G anteriores. O objetivo principal é oferecer total mobilidade através de uma estrutura de rede simples. Os procedimentos de mobilidade do LTE podem ser classificados por dois estados que são: ocioso e conectado. O modo ocioso é baseado em um sistema de re-seleção de célula pelo dispositivo do usuário de acordo com parâmetros fornecidos pela rede. Já o modo conectado se baseia em medições do dispositivo do usuário e possui a rede controlada por handovers. [1]

No modo ocioso os dispositivos móveis adotam células na PLMN(Public Land Mobile Network) selecionada de acordo com as medições de rádio. Após a escolha da célula, o dispositivo do usuário inicia o recebimento de informações sobre os canais de transmissão. Com isso, o dispositivo irá verificar a qualidade do sinal de rádio, caso seja o dispositivo irá se registrar na PLMN. Os dispositivos sempre procuram encontrar uma rede mais apropriada e reiniciar o processo de seleção de célula. As PLMN's recebem um valor de prioridade e os dispositivos procuram as de maior prioridade. [1]

6.5

Handovers

A mobilidade do padrão LTE quando está no modo conectado é controlada por Handovers. Eles fazem parte do sistema de comunicação móvel, E-UTRAN. Os Handovers são definidos pelo E-UTRAN e são de acordo com as medições e relatórios feitos pelo dispositivo do usuário. O núcleo da rede não possui nenhum controle sobre os eles. Existem dois tipos de Handovers, o Intra-LTE que é o handover na rede LTE e o Inter-System que é o handover entre o E-UTRAN e as tecnologias, GERAN, UTRAN e CDMA2000. [1]

No Intra-LTE handover o sistema de procedimento pode ser visto na figura 24, onde são demonstradas as etapas de todo o procedimento de conexão handover. [1]

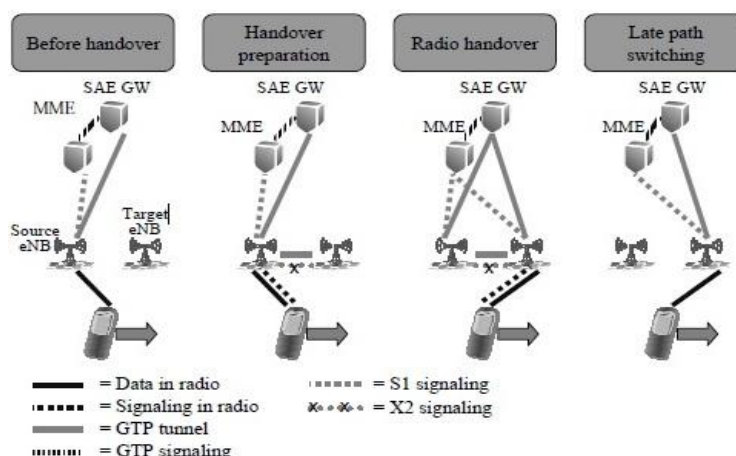


Figura 24 - Procedimentos do Intra-LTE handover [1]

Antes de se estabelecer o handover o dispositivo do usuário mantém a conectividade com o e-NodeB de origem e logo após com o Gateway SAE. Através da interface S1 é enviada sinalização para a MME. Logo em seguida os relatórios de medição da célula escolhida são preenchidos pelo dispositivo de usuário que envia o mesmo para o e-NodeB ao final do preenchimento. Ao receber este relatório o e-NodeB faz comunicação com a célula escolhida através do GTP e a sinalização com o MME é mantida. O protocolo GTP é utilizado para configurar e gerenciar uma comunicação segura entre dois pontos de serviço de uma rede de dados. O e-NodeB envia os comandos de handover quando a célula escolhida está com os recursos disponíveis. Quando isto ocorre o dispositivo do usuário consegue alternar do e-NodeB de origem para o de destino. [1]

A mobilidade entre tecnologias anteriores ao LTE é feita pelo Inter-system handover. O inter-system handover funciona em serviços de tempo real e em serviços que não sejam de tempo real. O sistema de origem é quem controla o handover e define as medições e início da entrega. No sistema E-UTRAN os recursos do sistema de destino são reservados antes de os comandos de handover serem enviados para o dispositivo do usuário. A sinalização nele é feita pelo núcleo da rede, pois não existe interface entre os sistemas. [1]

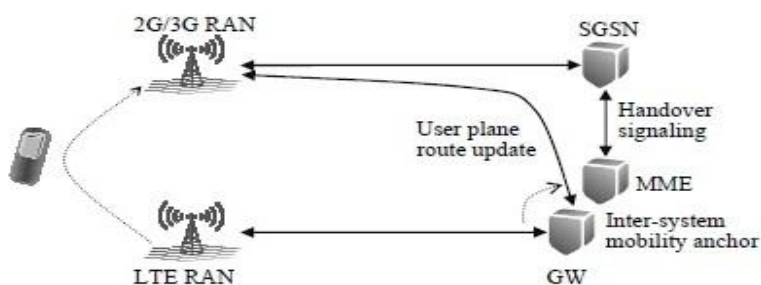


Figura 25 - Gráfico com Inter-System entre E-UTRAN com UTRAN/GERAN. [1]

7. Conclusão

O trabalho sobre a tecnologia LTE teve como objetivo incentivar o uso do mesmo como uma saída para atender a crescente demanda no acesso de banda larga nas redes móveis. O resultado foi muito satisfatório, pois foi possível realizar uma apresentação de forma cronológica de todas as tecnologias 3G anteriores ao padrão LTE, que atualmente estão sobrecarregadas com o volume de informações transmitidas. Isto serviu como base para um comparativo entre estas tecnologias e o padrão proposto. Além disso, foi fundamental mostrar o surgimento da entidade 3GPP e de sua grande participação na evolução das redes móveis através dos grupos de trabalho chegando até o padrão LTE.

A arquitetura da tecnologia LTE teve seus principais componentes apresentados. O primeiro foi o item tecnologia, onde foi abordada a evolução nos sistemas de modulação (OFDMA e SC-FDMA) e o sistema de acesso múltiplo por antenas (MIMO). O segundo item foi a estrutura LTE-SAE que detalhou a troca de informações entre o núcleo da rede com o sistema E-UTRAN. O resultado deste item foi interessante, pois foi demonstrado o quanto é simples a estrutura de uma rede LTE, apesar de sua capacidade de transmissão. A estrutura IMS também tem destaque, pois é uma estrutura multimídia que desperta o interesse de operadoras de rede fixa e é considerada como fundamental para as novas gerações de redes. Ela faz parte da estrutura do LTE como uma camada de aplicação, que oferta o acesso a serviços multimídia que utilizam o protocolo IP. O terceiro item engloba a camada física e a mobilidade na tecnologia LTE. Na camada física foi observado que alguns elementos que a compõem possuem papéis semelhantes em tecnologias anteriores, mas o destaque mesmo ficou por conta da mobilidade, pois nela é possível visualizar a toda a interoperabilidade entre as tecnologias anteriores ao LTE que são desenvolvidas pela 3GPP ou 3GPP2.

Na teoria tudo o que foi detalhado neste trabalho favorece o padrão LTE na substituição de redes 3G anteriores, mas na prática o custo para a migração das redes, a demora no retorno do investimento feito por algumas operadoras para as redes 3G e algumas melhorias em tecnologias anteriores acabam dificultando a sua implantação em todo mundo. Além disso, existe a concorrência do Wimax, que apesar de concorrentes as duas redes possuem sua interoperabilidade. Existe uma tendência de que as duas tecnologias sejam utilizadas em conjunto.

Um futuro promissor para o LTE é a sua evolução para a quarta geração (LTE Advanced) e apesar de seu reconhecimento pelo IMT ainda está em desenvolvimento. O LTE Advanced é uma excelente proposta para uma pesquisa futura sobre a evolução da banda larga para rede móvel de 3G para 4G.

8.

Referências Bibliográficas:

[1] HOLMA, Harri; TOSKALA, Antti. LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. Ed. WILEY, 2009.

[2] SESIA, Stefania; TOUFIK, Issam; BAKER, Matthew. LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. Ed. WILEY, 2009.

[3]GTA UFRJ - UMTS, HSPA e LTE
http://www.gta.ufrj.br/grad/09_1/versao-final/umts/index.html
Acessado em 04/11/2010

[4] Tutorial sobre OFDMA (LTE) no Portal Teleco
<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialofdma/default.asp>
Acessado em 20/02/2011

[5] 3rd Generation Partnership Project <http://www.3gpp.org/lte>
Acessado em 23/01/2011

[6] Portal tecnologia 3G <http://www.tecnologia3g.com.br>
Acessado em 22/11/2010

[7] Silva Mello, Luiz; Rodrigues, Marcio. Comunicação Móvel e Celular – Material da disciplina. CETUC – PUC-Rio

[8] Tutorial sobre WCDMA – Portal Wireless Brasil
http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/3g_systems/3g_systems_07.html Acessado em 12/12/2010.

[9]ITU http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2010/40.aspxm
Acessado em 20/01/2011

[10] Artigo sobre o avanço do LTE em 33 países e 64 operadoras
http://www.e-thesis.inf.br/index.php?option=com_content&task=view&id=7029&Itemid=156
Acessado em 20/01/2011

[11] Artigo sobre 3GPP no Wikipedia <http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP>
Acessado em 20/01/2011

[12] Tutorial sobre HSPA e Wimax I no Portal Teleco
http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialhspawimax1/pagina_2.asp
Acessado em 23/02/2011

[13] Tutorial sobre WCDMA no Portal Teleco
http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwcdma/pagina_3.asp
Acessado em 04/02/2011

- [14] Tutorial sobre LTE no Portal Teleco
http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallte/pagina_3.asp
Acessado em 20/02/2011
- [15] Portal Fonte Mídias América
<http://www.fontemidia.com.br/noticias/46/1374-lte-tem-investimentos-de-110-operadoras-moveis-em-48-paises>
Acessado em 20/02/2011
- [16] Portal Teletime - Até o fim do ano haverá apenas 30 operações de LTE no mundo
<http://www.teletime.com.br/10/02/2011/ate-o-fim-do-ano-havera-apenas-30-operacoes-de-lte-no-mundo-preve-deloitt/tt/213561/news.aspx>
Acessado em 20/02/2011
- [17] Artigo sobre LTE e sua frequência no Brasil
<http://www.vivasemfio.com/blog/lte-long-term-evolution-e-sua-frequencia-no-brasil/>
Acessado em 20/02/2011
- [18] Tutorial sobre HSPA+ no Portal Teleco
http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialhspaplus/pagina_1.asp
Acessado em 24/02/2011
- [19] Artigo sobre 3G na Wikipedia <http://en.wikipedia.org/wiki/3G>
Acessado em 24/02/2011
- [20] Dual Cell HSDPA
http://en.wikipedia.org/wiki/Dual-Cell_HSDPA
Acessado em 11/04/2011
- [21] 3GPP - Releases
<http://www.3gpp.org/Releases>
Acessado em 18/04/2011