

QUALIDADE DE SERVIÇO EM REDES MÓVEIS DE 4º GERAÇÃO LTE

Tiago Barros de Souza, Paulo Roberto Guardieiro

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – MG
tiagobs007@gmail.com, prguardieiro@ufu.br

Resumo - O objetivo deste artigo é apresentar os resultados de um levantamento bibliográfico a respeito dos mecanismos da rede *Long Term Evolution* (LTE) para a implementação da Qualidade de Serviço (Quality of Service – QoS) aos diversos fluxos de dados dos usuários móveis. Para isso será descrito a arquitetura da rede LTE, apresentando conceitos, parâmetros e mecanismos de QoS da rede LTE. E ao fim, uma análise das vantagens que ela traz com relação às redes de terceira geração.

Palavras-Chave – QoS, LTE, 4G, QCI, DSCP, ARP, MBR, AMBR, APN-AMBR, UE-AMBR, GBR, non-GBR.

QUALITY OF SERVICE ON MOBILE NETWORKS OF 4TH GENERATION LTE

Abstract - The objective of this document is show the bibliographic studies result about the LTE network mechanisms to implement the Quality of Service (QoS) on mobile users' data flows. To achieve our aim, we will make a advantages analysis between the LTE and the third generation network.

Keywords – QoS, QoS, LTE, 4G, QCI, DSCP, ARP, MBR, AMBR, APN-AMBR, UE-AMBR, GBR, non-GBR.

I. INTRODUÇÃO

A cada ano que se passa é constatada uma evolução tecnológica cada vez mais acelerada e, em redes móveis não tem sido diferente. Os serviços que há poucos anos não existiam hoje são considerados básicos e de suma importância para os usuários de redes móveis.

No início, o serviço de voz móvel era um diferencial enorme para profissionais que podiam ser contatados a qualquer momento, porém com o passar dos anos, ele se tornou algo essencial à qualquer prestador de serviços.

Em seguida, foi adicionado o serviço de mensagens de texto às redes móveis, em um momento que a comunicação por e-mail e softwares de mensagens instantâneas já tinham se popularizado através da Internet. Assim rapidamente este serviço começou a ser utilizado em larga escala devido à sua facilidade e o baixo custo.

Devido à popularização da Internet, o desejo dos usuários de portarem um equipamento que pudesse fornecer mais serviços, disponíveis em qualquer lugar e a qualquer hora, trouxe a necessidade de interligar este equipamento móvel à grande rede mundial. Assim, devido à grande distancia tecnológica que havia entre as redes móveis e a Internet foi desenvolvido o serviço *Wireless Application Protocol* (WAP,

em português Protocolo para Aplicações sem Fio). Que através de servidores atuando como *proxy* faziam a intercomunicação entre as duas realidades.

No entanto, a crescente necessidade de acessar conteúdos em diversas partes do planeta se esbarrava na limitada transcodificação dos WAP *Gateways* (que não eram totalmente fiéis aos originais), resultando na transformação da rede móvel para a adaptação da conectividade IP ao equipamento do usuário. O que resultou na evolução dos aparelhos para suportarem os protocolos da internet com o serviço *General Packet Radio Service* (GPRS, em português Serviço de Rádio de Pacote Geral) e para as redes de terceira geração *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS).

Nas redes móveis de quarta geração a conectividade IP é a premissa maior, pois o anseio de comunicação e interação do usuário deixou de ser apenas pela voz e das palavras “internetizadas” (abreviadas comumente na Internet), e passou a ser por imagens e vídeos postados à diversas redes sociais e sites de relacionamentos hospedados ao redor de mundo todo.

Neste contexto, com o aumento exponencial do tráfego de informações e a grande simultaneidade da utilização dos serviços pelos usuários, vemos o grande valor da qualidade do serviço. Estas redes devem apresentar bons desempenhos mesmo em condições de altas demandas de tráfego e usuários.

Desta forma, neste artigo propõe-se apresentar os resultados de um levantamento bibliográfico com a apresentação da arquitetura, dos conceitos, mecanismos e parâmetros de redes elaborados pelo *Third-Generation Partnership Project* (3GPP, esta é a organização padronizadora das redes móveis LTE) para prover um serviço confiável, de qualidade e que atenda a demanda dos usuários.

II. ARQUITETURA DA REDE LTE

A rede LTE é formada pelo *Evolved Packet Core* (EPC) e pelo *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN). O EPC é responsável pelos serviços que a rede presta ao usuário, dentre outros podemos citar a conectividade IP à rede desejada, gerenciamento de mobilidade, autenticação e segurança para entrada na rede. Por sua vez, o E-UTRAN é responsável pela conectividade na interface aérea do sistema, tais como gerenciamento de recursos de rádio, mobilidade da conexão, controle de admissão de rádio e alocação de recursos dinâmicos.

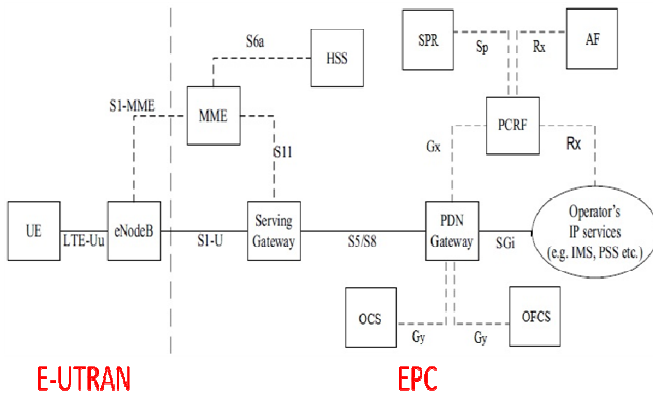


Fig. 1. Topologia da Rede LTE baseada em [4].

Na Figura 1, podemos ver um diagrama básico de uma rede LTE. As linhas contínuas representam o *User Plane*, interfaces que carregam os pacotes do usuário de fato. Diferentemente, as linhas tracejadas formam o *Control Plane*, interfaces que transportam a sinalização dos serviços dos usuários. Segue abaixo uma breve descrição de cada um dos elementos de rede LTE e suas funções [4]:

A. User Equipment (UE)

O UE é o aparelho móvel do usuário. Através dele o usuário solicita e recebe serviços da rede.

B. Evolved NodeB (eNodeB)

O eNodeB é a estação rádio base (antenas) da rede LTE, que além de proverem a interface direta com os UEs também fazem o gerenciamento dos recursos de rádio, o controle da mobilidade, o escalonamento entre fluxos de dados, a compressão de cabeçalho e a criptografia na interface de rádio. A comunicação entre o UE e o eNodeB é feita através dos protocolos conhecidos como *Access Stratum* (AS).

C. Mobility Management Entity (MME)

O MME é responsável pelo processamento da sinalização entre o UE e o EPC, que utiliza os protocolos conhecidos como *Non-Access Stratum* (NAS). Este elemento possui duas funções básicas. A primeira é o gerenciamento de mobilidade, que controla exatamente onde o UE está na rede. E a segunda é o gerenciamento da conexão, onde o MME recebe toda a sinalização de um do tráfego do UE para controle de seu estado.

D. Home Subscriber Server (HSS)

O HSS contém os dados de assinatura dos usuários. As informações de cada usuário relativas à autenticação à rede, QoS e liberações ou restrições de serviço e acesso ficam registradas nele (por exemplo restrições de velocidade de conexão ou de *roaming*).

E. Serving Gateway (S-GW)

Todos os pacotes IP dos usuários são transferidos através do S-GW, que serve como âncora de mobilidade local enquanto o UE se move entre os eNodeBs. Ele também mantém as informações da conexão do UE quando este se encontra em estado ocioso (conhecido como LTE IDLE) e mantém os buffers de dados de downlink, enquanto o MME inicia o *paging* para encontrar o UE e restabelecer o fluxo de

dados. Além disso, o S-GW executa algumas funções administrativas na rede visitada, como a coleta de informações para tarifação (por exemplo, o volume de dados enviados ou recebidos do usuário), realização de interceptação judicial. Atua como âncora para a mobilidade e interoperabilidade com outras tecnologias 3GPP tais como GPRS (2G) e UMTS (3G).

F. Packet Data Network Gateway (PDN-GW ou P-GW)

O PDN-GW é responsável pela atribuição de endereços IP para o UE, bem como a aplicação da tarifação e QoS baseados no tráfego de acordo com as regras do PCRF. O PDN-GW é responsável pela filtragem de pacotes IP do usuário no *downlink* nos diferentes fluxos de dados baseados no QoS de cada um. Isto é realizado com base em modelos do fluxo de tráfego (Traffic Flow Template, TFT). O PDN-GW realiza a execução de QoS com Banda Garantida (GBR) na conexão do usuário. Também serve como âncora para a mobilidade interoperar com tecnologias não-3GPP, tais como CDMA2000 e redes WiMAX.

G. Policy and Charging Rules Function (PCRF)

O PCRF é responsável por controlar a política de tomada de decisão, assim como a detecção dos serviços baseados em fluxos e o controle da tarifação baseado no tráfego. O PCRF também fornece a autorização do QoS (identificador de classe de QoS e taxa da conexão), que decide como alguns fluxos de dados serão tratados no PDN-GW e garante que o fluxo estará de acordo com o perfil do usuário.

H. Application Function (AF)

O AF oferece políticas dinâmicas e controle sobre o *User Plane*, ele comunica com o PCRF para transmitir informações de seção dinâmicas necessárias para a tomada de decisões no instante que receber informações específicas ou notificações baseadas no tráfego do usuário.

I. Subscription Profile Repository (SPR)

O SPR contém as informações relacionadas à usuários e planos de pacotes de dados comerciais, por exemplo informações se o usuário está em um plano que possua Sites de livre acesso, Cotas para limitação de taxa e etc.

J. Online Charging System (OCS)

O OCS controla os créditos de sistemas pré-pagos, interagindo diretamente com o PDN-GW para controlar e restringir, em tempo real, o volume e os atributos da conexão.

K. Offline Charging System (OFCS)

O OFCS recebe as informações de consumo de recursos (tais como volume, QoS aplicado, destino da conexão, etc) de usuários pós-pagos, que serão utilizadas na cobrança do serviço e na geração de fatura de pagamento.

III. CONCEITOS DE QOS NO LTE

Para estudar a qualidade de serviço no LTE, será apresentado primeiramente alguns detalhes sobre os “*EPS bearer*” e seus parâmetros de QoS associados e os

mecanismos de QoS EPS que foram definidos no padrão 3GPP.

Um *EPS bearer* consiste em fluxos de pacotes unicamente identificados que recebem um tratamento comum de QoS entre o UE e o PDN-GW. Um fluxo de pacotes é definido por filtros de pacotes que se encontram no UE para o *uplink* e no PDN-GW para o *downlink*. Estes filtros são responsáveis por associar os fluxos a um *EPS bearer* e classificar os pacotes baseados nos seguintes parâmetros:

- IP de origem;
- IP de destino;
- Porta de origem;
- Porta de destino;
- Tipo do Protocolo (campo no cabeçalho IP).

Um *EPS bearer* existe pela combinação de classe de QoS e endereço IP no terminal. Um terminal pode ter vários endereços IP, para isto deve-se estar conectado a vários *Access Point Names* (APN) recebendo um IP por APN. Um APN é uma referência para uma rede IP o qual o sistema (através do PDN-GW) irá conectar o UE.

Para cada pacote IP, o sistema LTE provê cabeçalhos de tunéis em cada uma de suas diferentes interfaces. Estes cabeçalhos de tunéis contêm identificadores da *EPS bearer* para que os elementos da rede LTE possam associar eles aos seus respectivos parâmetros de QoS. Na rede de transporte IP, os cabeçalhos de tunéis possuem valores no DSCP para a aplicação do QoS neste nível. Veja a figura 4 que ilustra os diversos protocolos que compõe os cabeçalhos na rede LTE.[3]

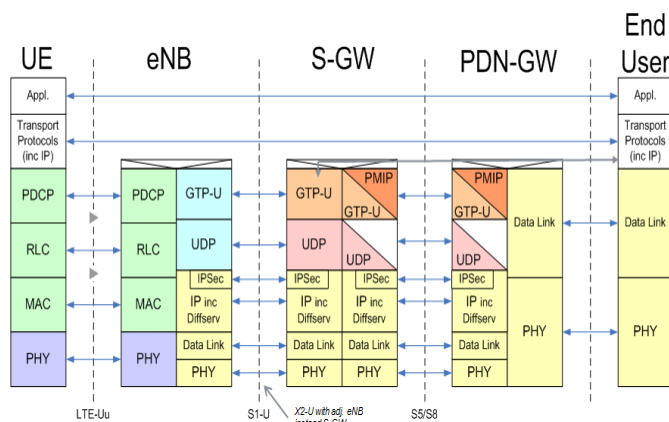


Fig. 4. Pilha de protocolos dos cabeçalhos da rede LTE.

Existem dois tipos de *EPS bearers*, as que possuem garantia de largura de banda (*Guaranteed Bit Rate*, GBR) e as que não possuem a garantia de largura de banda (*Non-Guaranteed Bit Rate*, non-GBR). Os *EPS bearers* que são do tipo GBR tem a garantia que perdas de pacote relacionadas ao congestionamento (causados por estouro de buffers) não irão acontecer. Isto acontece devido às funções de controle de admissão de conexões existentes nos elementos de rede LTE que são executadas quando um *EPS bearer* é estabelecido ou modificado. Um *EPS bearer* GBR tipicamente é estabelecido por demanda, devido ao fato de reservar recursos de transmissão da rede para oferecer serviços ao usuário. Por outro lado, o *EPS bearer* do tipo non-GBR, pode sofrer perdas de pacotes por

congestionamento, porém possui a vantagem de se manter estabelecido por longos períodos sem que venha a ser bloqueado nenhum recurso de transmissão na rede LTE.

IV. PARÂMETROS DE QoS NO LTE

Nesta seção serão apresentados os parâmetros de QoS definidos no EPS e seus propósitos de uso [5].

O conceito de QoS no EPS é baseado em classes, onde cada *EPS bearer* terá somente um identificador de classe de QoS, chamado de *QoS Class Identifier* (QCI), marcado pela rede LTE. O QCI é um valor usado pelos elementos da rede para identificar qual o tipo de tratamento que a rede deve dar aos pacotes. Neste tratamento é considerado para cada QCI pesos de escalonamento, limiares de admissão, limiares de gerenciamento de filas, configurações dos protocolos da interface rádio e etc.

O 3GPP padronizou alguns QCIs com o objetivo de que redes com elementos de vários fabricantes ofereçam o mesmo nível de QoS às aplicações e serviços mapeadas com um determinado QCI. Assim, cada QCI padronizado representa uma série de características que foram padronizadas e referidas a ele. Estas características padronizadas não são sinalizadas nas interfaces, elas devem ser entendidas como métodos de configurações prévias nos elementos de rede.

Enquanto o QCI especifica o tratamento de *User Plane* que os pacotes do *EPS bearer* devem receber, o *Allocation and Retention Priority* (ARP) especifica o tratamento de *Control Plane* que os pacotes de sinalização do *EPS bearer* devem receber. Mais especificamente, o ARP permite o EPS diferenciar o tratamento de *Control Plane* relacionado à estabelecimento e retenção dos *EPS bearers*. Isto é, o ARP é usado para decidir se uma requisição de estabelecimento ou modificação de um *EPS bearer* pode ser aceito ou tem que ser rejeitado por limitações de recursos.

A máxima taxa de bits (*Maximum Bit Rate*, MBR) e a taxa de bits garantida são definidas somente para os *EPS bearers* do tipo GBR. A MBR é a taxa máxima que o tráfego do *EPS bearer* pode chegar e a GBR é a taxa que a rede garante suportar para aquele *EPS bearer*. Para o 3GPP release 8 o MBR e o GBR devem ter valores iguais, isto é, a máxima taxa será também a taxa garantida pela rede.

O propósito principal da taxa de bits máxima agregada (*Aggregate Maximum Bit Rate*, AMBR) é possibilitar a operadora limitar a taxa bits total consumida em um grupo *EPS bearers* do tipo non-GBR simultâneas. Deste modo foi definido dois tipos de parâmetros AMBR:

- APN-AMBR: Taxa de bits máxima agregada por APN, ela é definida por usuários e por APN e é utilizada somente no PDN-GW;
- UE-AMBR: Taxa de bits máxima agregada por UE, ela é definida por usuário e é utilizada no PDN-GW e nas eNodeBs.

Vale Ressaltar que, a taxa de bits utilizada por *EPS bearers* GBR não são incluídas em nenhum dos parâmetro AMBR. Também, os valores de AMBR são definidos separadamente para o *uplink* e para o *downlink*.

Na tabela I podemos ver a relação do QCI com o ARP, atraso, perda e a marcação DSCP dos pacotes IP para um determinado serviço que a rede provê.[2]

TABELA I
Parâmetros de QoS por serviço

Example Service	Service				IP
	Priority	Packet delay budge (ms)	Packet error loss rate	QCI	DSCP
(Control)	-	-	-	-	CS7(56)
IMS signalling	1	100	10 ⁻⁶	5	CS6(48)
Conversational voice	2	100	10 ⁻³	1	EF(46)
Real time gaming	3	50	10 ⁻³	3	CS5(40)
Conversational video (live streaming)	4	150	10 ⁻³	2	AF42(36)
Non-conversational video (buffered streaming)	5	300	10 ⁻⁶	4	AF41(34)
Video (Buffered Streaming) TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)	6	300	10 ⁻⁶	6	AF31(26)
Voice, Video (Live Streaming), Interactive Gaming	7	100	10 ⁻⁶	7	AF22(20)
Video (Buffered Streaming) TCP-based (e.g., www, e-mail, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)	8	300	10 ⁻³	8	AF21(18)
	9	300	10 ⁻⁶	9	CS0(0)
(OAM)	-	-	-	-	AF12(12)

V. MECANISMOS DE QOS NO LTE

Os mecanismos que são usados para prover QoS no EPS podem ser divididos em procedimentos de sinalização do *Control Plane* e funções do *User Plane*. Segue cada um deles abaixo:

A. Procedimentos de sinalização no Control Plane

O Controlador de políticas da rede (PCRF) determina como cada fluxo de pacotes de cada usuário deve ser manipulado e marcado com os parâmetros de QoS. Assim, o PCRF envia as regras de controle de política e tarifação (*Policy and Charging Control, PCC*) para o *gateway* (PDN-GW), que as utiliza como um gatilho para estabelecer um novo *EPS bearer* ou modificar um já existente. Este pedido de estabelecimento ou atualização de um *EPS bearer* é encaminhado para a rede de acesso rádio (Radio Access Network, RAN) do LTE, se for admitido pelos elementos da rede envolvidos ele é repassado também ao UE. Uma visão de alto nível do fluxo de sinalização é mostrado na figura 5 [1]. Nesta figura o PCRF está representado como “*Policy Controller*”, o PDN-GW como “*Gateway*”, a rede IP como “*Transport*”, os eNodeBs como “*LTE RAN*”, o nível do fluxo de pacote como “*Packet data flow level*”, o nível do *EPS bearer* como “*Bearer level*” e o nível da rede IP como “*Transport level*”.

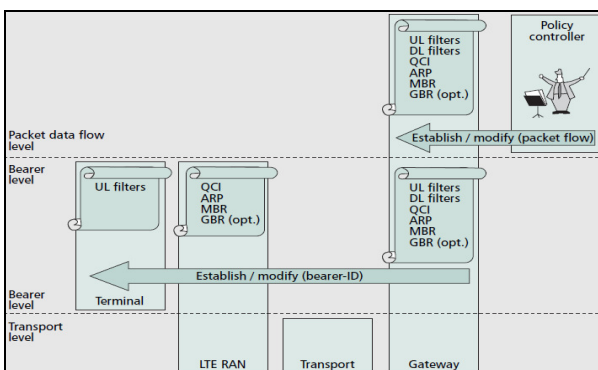


Fig 5. Procedimento de sinalização do QoS no control plane [1].

B. Funções do User Plane

A configuração dos elementos de rede (tanto através de sinalização, como através de um sistema de operação e manutenção) permite-lhes executar funções de QoS do *User Plane*. Estas funções podem ser atribuídas a diferentes elementos e classificados em funções que operam por fluxo de pacotes, por *EPS bearers*, ou por DSCP como ilustrado na figura 6 [1]. Nesta figura o PCRF está representado como “*Policy Controller*”, o PDN-GW como “*Gateway*”, a rede IP como “*Transport*”, os eNodeBs como “*LTE RAN*”, o nível do fluxo de pacote como “*Packet data flow level*”, o nível do *EPS bearer* como “*Bearer level*” e o nível da rede IP como “*Transport level*”.

1) Funções ao nível dos fluxos de pacotes

O 3GPP especifica funções de QoS que operam no nível dos fluxos de pacotes. Usando-as na rede pode-se identificar e modificar (com técnicas de inspeção de pacotes na função PCEF que existe dentro do PDN-GW) a taxa de bits de um determinado fluxo de pacotes sem modificar o QoS no nível do *EPS bearer*. Isto pode ser bem útil para controlar a taxa de usuários que possuem planos de tarifa fixa com volumes ilimitados de dados a não onerar a rede com grandes *downloads* ou *uploads* (por exemplo, com aplicações do tipo *peer-to-peer*). Assim, a operadora evita que apenas alguns *heavy-users* consumam grande parte da capacidade de rede de forma a prejudicar a experiência de outros usuários.

2) Funções ao nível dos EPS bearers

O UE e o PDN-GW desempenham os papéis de filtros de pacotes de *uplink* e *downlink* respectivamente. Isto acontece para que os fluxos de pacotes possam ser mapeados e indexados aos *EPS bearers*.

Os eNodeBs, que formam a rede de acesso rádio do LTE (RAN), e o PDN-GW executam funções relativas à controle de admissão de conexões e a preempção (no caso de controle de congestionamento) na rede para que possibilite o controle de carga de tráfego. O valor do ARP serve como entrada para a diferenciação entre os *EPS bearers* de diferentes tipos (com QCIs diferentes) em um momento em que uma nova conexão deve ser alocada e não existe recursos disponíveis. Neste momento conexões com um valor de ARP de baixa prioridade serão finalizadas e outras de prioridade mais altas sejam alocadas.

O PDN-GW e o eNodeB executam também funções de controle de taxa de bits, com o objetivo de proteger a rede contra uma sobrecarga de tráfego e garantir que os serviços utilizem as taxas máximas especificadas no AMBR e MBR.

Para o *EPS bearer* non-GBR o PDN-GW desempenha o controle de taxa de bits baseado no APN-AMBR nas duas direções (*uplink* e *downlink*). Os eNodeBs controlam a taxa de bits baseadas no UE-AMBR nas duas direções. Agora, para os *EPS bearers* GBR o controle do MBR é feito no PDN-GW para o *downlink* e no eNodeB para o *uplink*.

A rede de acesso LTE (LTE RAN) é responsável pela configuração dos protocolos L1 e L2 das conexões rádio dos *EPS bearers* de acordo com a característica do QoS associado a ele. Dentre outras configurações, é incluído os protocolos de controle de erro (modulação, codificação e retransmissão), que garantem que as características de

aprovisionamento de atraso máximo (*Packet-delay Bucket*) e a perda por erro no pacote (*Packet-error Loss*).

Para permitir a separação do tráfego na rede de transporte IP, o PDN-GW e os eNodeBs implementam uma função chamada de Mapeamento QCI para DSCP. O propósito dela é fazer a aplicação do QoS no nível do EPS bearer (QCI) para o QoS no nível da rede de transporte IP (DSCP). Com essa função os pacotes de um *EPS bearer* associados a um QCI são marcados com um DSCP específico para o repasse na rede de transporte IP. O Mapeamento QCI para DSCP é baseado em políticas internas da operadora. Para o *downlink* este mapeamento é executado no PDN-GW e para o *uplink* é mapeado no eNodeB.

3) Funções ao nível do DSCP

Os elementos da rede transporte IP podem implementar o gerenciamento de filas e algoritmos de escalonamento para o *uplink* e para o *downlink*. Na rede IP os *EPS bearers* não são visíveis, conseqüentemente, estes algoritmos determinam o tratamento e o encaminhamento do tráfego baseado com o valor do DSCP de cada pacote.

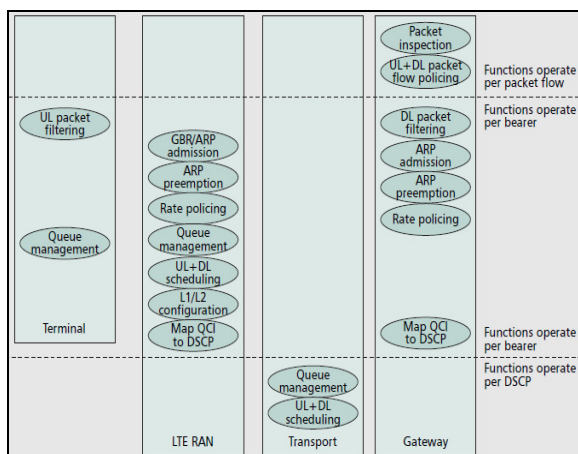


Fig 6. Funções de QoS pelo user plane.

VI. ANÁLISE

Em vista das informações apresentadas neste artigo, é notório que a rede de quarta geração LTE vem para contribuir com a crescente convergência de serviços que a internet trouxe para a comunicação móvel. Assim podemos destacar que a arquitetura “All IP”, que o LTE propõe, não impede que uma rígida qualidade de serviço seja empregada até mesmo na interface aérea (mesmo sendo um meio com grande compartilhamento de usuários).

Neste ponto, a padronização de nove QCIs e a abertura para desenvolvimento de outros é um diferencial para a terceira geração que havia apenas 4 classes de tráfegos já pré-definidos. Na priorização, no 3G foi definido apenas três tipos (*high*, *normal* e *low*), onde no LTE foram padronizadas nove.

Para aplicações em tempo real, o LTE traz uma grande evolução. Enquanto na tecnologia antecessora era oferecida uma latência próxima de 100ms a rede LTE vem apresentando uma latência aproximada de 10ms, permitindo que aplicações bem sensíveis ao atraso (tais como jogos

multiplayer online e softwares de transações financeiras na bolsa de valores) possam agora ser transportadas para os dispositivos móveis.

Abaixo segue a tabela II resumindo as principais vantagens que a rede LTE trás às comunicações móveis com relação a ultima versão 3G com HSPA+ (*High Speed Packet Access Plus*).

TABELA II
Vantagens da rede LTE [4][6]

Aspectos da rede	3G HSPA+	LTE Advanced
Pico de Downlink	42 Mbps	1 Gbps
Pico de Uplink	12 Mbps	500 Mbps
Classes de QoS	4 classes pré-definidas	9 classes padronizadas + abertura de customização
Prioridade	3 níveis pré-definidos	9 níveis padronizados + abertura de customização
Latência	~100ms	~10ms
Largura de Banda	5 MHz	1,4 / 3 / 5 / 10 / 20 / 100 MHz
Multiplexação	TDM/CDMA	SC-FDMA/OFDMA
Duplexing	FDD	TDD e FDD
Suporte de Mobilidade	~120Km/h	~350Km/h

VII. CONCLUSÕES

Neste artigo, foi relatado os resultados de um levantamento bibliográfico que mostra o processo (e suas variáveis) para implementação da qualidade de serviço nas redes móveis de quarta geração LTE. Foram apresentados a arquitetura inovadora, os conceitos, parâmetros e mecanismos de qualidade de serviço que a tecnologia detém. Também apresentado um comparativo das vantagens do LTE em relação ao 3G.

Como trabalhos futuros, serão desenvolvidas simulações de serviços de uma rede LTE e as possíveis melhorias de desempenho empregando os mecanismos de QoS descritos neste artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ekström H., “QoS Control in the 3GPP Evolved Packet System,” IEEE Communications Magazine, vol. 47, no. 2, pp. 76–83, 2009.
- [2] Li Li and Subin Shen, “End-to-End QoS Performance Management Across LTE Networks”, retirado do <http://www.ieeexplorer.org/> em 12/04/2012 às 22:57
- [3] Yasir Zaki, “Multi-QoS-aware Fair Scheduling for LTE”, retirado do <http://www.ieeexplorer.org/> em 12/04/2012 às 23:08.
- [4] Tara Ali-Yahiya, “Understanding LTE and its Performance”, Springer Science Business Media, LLC 2011.
- [5] 3GPP Tech. Spec. 23.401, “General Packet Radio Service (GPRS) Enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access,” v. 8.3.0.
- [6] Martin, Sauter, “Beyond 3G – Bringing Networks, Terminals and the Web Together”, WILEY, 2009.