



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**JOÃO CARLOS DA CRUZ DE LIMA**

**GARANTIA DE QOS NO NÚCLEO DA REDE MÓVEL CELULAR DE QUINTA  
GERAÇÃO UTILIZANDO REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE**

**FORTALEZA**

**2019**

JOÃO CARLOS DA CRUZ DE LIMA

GARANTIA DE QOS NO NÚCLEO DA REDE MÓVEL CELULAR DE QUINTA GERAÇÃO  
UTILIZANDO REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE

Dissertação apresentada ao Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências da Computação. Área de Concentração: Redes de computadores

Orientador: Prof. Dr. Emanuel Bezerra Rodrigues

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

L698g Lima, João Carlos da Cruz de.

Garantia de QoS no núcleo da rede móvel celular de quinta geração utilizando redes definidas por software / João Carlos da Cruz de Lima. – 2019.  
44 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Emanuel Bezerra Rodrigues.

1. Rede Definida por Software. 2. Qualidade de Serviço. 3. 5G. I. Título.

CDD 005

---

JOÃO CARLOS DA CRUZ DE LIMA

GARANTIA DE QOS NO NÚCLEO DA REDE MÓVEL CELULAR DE QUINTA GERAÇÃO  
UTILIZANDO REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE

Dissertação apresentada ao Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Ciências da Computação. Área de Concentração: Redes de computadores

Aprovada em: 22/11/2019

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Emanuel Bezerra Rodrigues (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. José Neuman De Souza  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Miguel Franklin De Castro  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Rafael Lopes Gomes  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por todas as bênçãos ao longo da minha vida.

Aos meus pais, Francisco e Alsenir, pelo amor, carinho e apoio incondicional.

Ao meu orientador, professor Emanuel Bezerra Rodrigues, por todo o acompanhamento e apoio durante a construção deste trabalho.

Aos professores José Neuman de Souza, Miguel Franklin de Castro e Rafael Lopes Gomes, que compõem a banca examinadora e certamente contribuirão para a melhoria dos resultados do trabalho.

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de fazer o mestrado.

Ao Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas (GREat), pelas experiências adquiridas.

Ao Centro Universitário Vale do Salgado (UniVS), por ter me inserido na vida acadêmica, dando apoio desde a graduação seguindo a especialização e agora o mestrado, mostrando sempre através de resultados que no interior existe ensino de qualidade, sou muito grato por fazer parte desta instituição primeiro como aluno, agora como professor.

À todos os amigos e colegas que acompanharam e compartilharam experiências durante o mestrado principalmente os integrantes do laboratório Little GREat. Em especial ao segundo irmão que a vida me presenteou e sempre me motivou a seguir em frente Adriano Lima, e também me acompanhou nas aventuras da vida. Ao grande conselheiro profissional e amigo José Diener, que acreditou no meu potencial primeiramente dando uma oportunidade de crescimento profissional e uma visão de mundo que mostrou que educação, respeito e esforço sempre serão as melhores formas de transformação de uma sociedade.

À todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Sem a curiosidade que me move, que me inquieta, que me insere na busca, não aprendo nem ensino.”

(Paulo Freire)

## RESUMO

Com a evolução das tecnologias de comunicação, novas aplicações têm surgido com o objetivo de melhorar os processos de troca de informação e inovação, na vanguarda desta evolução encontra-se a quinta geração de redes móveis (5G), que deverá fornecer a infraestrutura para estas novas aplicações que tenham requisitos de alta capacidade, confiabilidade, eficiência energética e latência. Neste contexto, há uma série de alterações que devem ser feitas na infraestrutura de rede, incluindo o núcleo da rede e a rede de acesso ao rádio para suportar essas novas aplicações. Neste trabalho demonstramos a implementação do controle de Qualidade de Serviço através do paradigma de Rede Definida por Software em uma infraestrutura abstrata de núcleo de rede 5G, com o objetivo de investigar os benefícios do uso da Rede Definida por software em novos cenários e desafios para redes 5G . Experimentos realizados com o controlador Ryu SDN, demonstraram que a aplicação de regras de qualidade de serviço através deste paradigma pode trazer benefícios ao desempenho desses novos aplicativos.

**Palavras-chave:** Rede Definida por Software. Qualidade de Serviço. 5G

## **ABSTRACT**

With the evolution of communication technologies, new applications have emerged with the aim of improving the processes of information exchange and innovation, at the forefront of this evolution is the fifth generation of mobile networks (5G), which should provide the infrastructure for these new applications that have high capacity, reliability, energy efficiency and latency requirements. In this context, there are a number of changes that must be made to the network infrastructure, including the core of the network and the radio access network to support these new applications. In this work we demonstrate the implementation of the Quality of Service control through the Software Defined Network paradigm in an abstract 5G network core infrastructure, with the objective of investigating the benefits of using the Software Defined Network in new scenarios and challenges for networks 5G. Experiments performed with the Ryu SDN controller, demonstrated that the application of quality of service rules through this paradigm can bring benefits to the performance of these new applications.

**Keywords:** Software Defined Network. Quality of Service. 5G

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Organização da arquitetura 5G . . . . .	18
Figura 2 – Códigos DiffServ Code Point DSCP para classificação de serviços . . . . .	24
Figura 3 – Ambiente de simulação . . . . .	30
Figura 4 – Resultado do teste de throughput no cenário 01: Sem regras de QoS . . . . .	34
Figura 5 – Resultado do teste de throughput no cenário 02: Todos em Best Effort . . . . .	35
Figura 6 – Resultado do teste de throughput no cenário 03: Todos com QoS mínimo . . . . .	35
Figura 7 – Resultado do teste de throughput no cenário 04: Apenas UC1 com QoS mínimo . . . . .	36
Figura 8 – Resultado do teste de throughput no cenário 05: QoS mínimo em todos UC's . . . . .	37
Figura 9 – Resultado do teste de throughput no cenário 06: Valores máximos . . . . .	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de configuração de filas de QoS . . . . .	32
Tabela 2 – Parâmetros para marcação de códigos DSCP . . . . .	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

QoS	<i>Quality of Service</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
eMBB	<i>Enhanced mobile broadband</i>
URLLC	<i>Ultra-Reliable and Low Latency Communications</i>
mMTC	<i>Massive Machine Type Communications</i>
SDN	<i>Software Defined Network</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
CN	<i>Core Network</i>
RAN	<i>Radio Access Network</i>
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
PC	<i>Control Plane</i>
PU	<i>User Plane</i>
CUPS	<i>Control and User Plane Separation</i>
EPC	<i>Evolved Packet Core</i>
AMF	<i>Access and Mobility Management Function</i>
NSSF	<i>Network Slice Selection Function</i>
NEF	<i>Network Exposure Function</i>
NRF	<i>Network Function Repository Function</i>
UDR	<i>Unified Data Repository</i>
UDM	<i>Unified Data Management</i>
AUSF	<i>Authentication Server Function</i>
PCF	<i>Policy Control Function</i>
UDC	<i>User Data Convergence</i>
AF	<i>Application Function</i>
SMF	<i>Session Management Function</i>
UPF	<i>User Plane Function</i>
gNodeB	<i>5G NR Base Station</i>
BS	<i>Base Stations</i>
M2M	<i>Machine to Machine</i>
S-GW	<i>Serving Gateway</i>

P-GW	<i>Packet Data Network Gateway</i>
GTP	<i>GPRS Tunneling Protocol</i>
ONF	<i>Open Networking Foundation ONF</i>
OVS	<i>Open vSwitch</i>
SDWN	<i>Software Defined Wireless Networks</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
RSVP	<i>Resource Reservation Protocol</i>
DSCP	<i>DiffServ Code Point</i>
ToS	<i>Type of Service</i>
EF	<i>Expedited Forwarding</i>
QoE	<i>Quality of Experience</i>
NFV	<i>Network Function Virtualization</i>
NS	<i>Network Slicing</i>
tc	<i>Traffic Control</i>
QDISC	<i>Queuing Disciplines</i>
HTB	<i>Hyperarchical Token Bucket</i>
DSMARK	<i>Diff-Serv Marker</i>
DL	<i>DownLink</i>
UL	<i>UpLink</i>
EID	<i>Extract Iperf Data</i>
BE	<i>Best Effort</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivação e justificativa</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Metodologia</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Arquitetura da rede móvel 5G</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Cenários e casos de uso da rede móvel 5G</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Redes definidas por software</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Qualidade de serviço</b>	<b>21</b>
<b>2.4.1</b>	<i>Serviços Integrados (IntServ)</i>	<b>22</b>
<b>2.4.2</b>	<i>Serviços Diferenciados (DiffServ)</i>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>TRABALHOS RELACIONADOS</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>PROPOSTA DE SOLUÇÃO</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Implementação de QoS através de SDN</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Modelo de sistema e configuração do experimento</b>	<b>29</b>
<b>4.2.1</b>	<i>QoS SDN e aplicações 5G</i>	<b>29</b>
<b>4.2.2</b>	<i>Ambiente de testes</i>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>39</b>
<b>6.1</b>	<b>Discussão sobre limitações do trabalho</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>41</b>
	<b>APÊNDICE A- CÓDIGO DA APLICAÇÃO EID</b>	<b>44</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação e justificativa

A imensa relação de conectividade entre sistemas e dispositivos impõe diversos requisitos de Qualidade de Serviço (QoS, do inglês *Quality of Service*) para a rede móvel (BIZANIS; KUIPERS, 2016). Por exemplo, a transmissão de vídeos de ultra alta definição e realidade aumentada requer comunicação de alta velocidade e capacidade. Já aplicações mais específicas e complexas como cirurgia médica remota, necessitam de latência muito baixa e serviços extremamente confiáveis. Já para aplicações industriais, transmitem um baixo volume de dados e são tolerantes ao atraso.

A entrega de QoS é uma questão chave para os provedores de serviços e infraestrutura, pois estes têm que criar uma relação sustentável, para alcançar melhores estratégias de redução de Despesa de Capital (CAPEX, do inglês *Capital Expenditure*), e Despesas Operacionais (OPEX, do inglês *Operational Expenditure*) (BIZANIS; KUIPERS, 2016).

Novas aplicações e tecnologias emergentes, incluindo Internet das coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*), realidade virtual e aumentada, experiência de imersão total (3D), estão moldando o comportamento dos usuários, e têm requisitos especiais para que a experiência seja satisfatória (PARVEZ *et al.*, 2018).

A Quinta Geração de Internet Móvel (5G, do inglês *Fifth Generation Mobile Network*) tem a premissa de atender essas novas aplicações melhorando o desempenho de utilização. Entretanto, os requisitos de novas aplicações apresentam desafios que são impostos para as especificações do 5G, como vazão, latência e confiabilidade.

Nas especificações 15 e 16 do 3GPP (3GPP, 2018) foram descritas as definições dos principais elementos que compõem o núcleo da rede (CN, do inglês *Core Network*) 5G. De modo geral, a infraestrutura demandará a divisão de funções, separando o controle e o plano de dados, criando uma infraestrutura maleável de alto acoplamento, compatível com novas e antigas tecnologias de comunicação (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Segundo as definições de arquitetura 5G, a atuação do controle de QoS que será abordada nesse trabalho, se encaixa dentro da definição de Função de Plano de Usuário (UPF, do inglês *User Plane Function*). A função desse componente é suportar roteamento de pacotes e encaminhamento, realizando a inspeção de pacotes, tratamento de QoS e atuando como ponto de interconexão para uma sessão de Unidade de Dados de Protocolo (PDU, do inglês *Protocol Data*

Unit).

A nova geração 5G irá fornecer simultaneamente suporte otimizado para as diversas categorias de casos de uso/cenários. Os mais difundidos cenários, foram definidos pela comunidade *International Telecommunication Union* (ITU) (ITU, 2015).

- *Enhanced mobile broadband* (eMBB). Significa uma melhora na qualidade de experiência do usuário, no uso de aplicações da rede, que pode ser exemplificado na necessidade de grande parte das aplicações já existentes.
- *Ultra-Reliable and Low Latency Communications* (URLLC). Neste cenário são abordadas necessidades de aplicações que possuem exigências rigorosas para recursos como vazão, latência e disponibilidade.
- *Massive Machine Type Communications* (mMTC). Esse tipo de cenário é caracterizado pela existência de um alto número de dispositivos conectados, que normalmente transmitem um volume relativamente baixo de dados, sem a premissa de atraso de tempo.

Para que a arquitetura do 5G possa alcançar os objetivos esperados, é necessária a introdução de tecnologias que possibilitem a concretização das metas. Dentre essas tecnologias destacam-se o NFV *Network Function Virtualization* e o *Network Slicing* (ERICSSON, 2014).

Essas tecnologias tendem a alavancar as abordagens de Redes Definidas por Software (SDN, do inglês *Software Defined Network*), centralizando de forma lógica tanto o estado, quanto o controle da infraestrutura de rede e serviços (RODRIGUEZ-NATAL *et al.*, 2017).

O SDN é um paradigma para organização de estruturas de redes de computadores, sendo amplamente difundido como uma tecnologia chave para melhoria do desempenho geral dos sistemas de comunicação que utilizam estruturas compartilhadas.

Segundo a *Open Networking Foundation* (ONF, 2017) na arquitetura SDN os planos de controle e de dados são desacoplados, a inteligência e o estado de rede são logicamente centralizados e a infraestrutura de rede subjacente é abstraída dos aplicativos. Resumindo a arquitetura SDN, temos:

- *Data plane*: Dispositivos de roteamento e processamento de tráfego;
- *Control Plane*: Fornece a abstração dos serviços de controle de rede, provendo uma interface aberta para programação do data plane.
- *Application plane*: Utiliza os insumos fornecidos pela camada de controle para obter melhores resultados na utilização dos recursos de rede e controlar toda parte das camadas inferiores de forma abstrata.

Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de uma demonstração da implementação do controle de QoS através do paradigma SDN tendo como foco novos cenários de aplicações inovadoras esperadas pela tecnologia 5G.

## 1.2 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido em etapas que levassem a uma análise geral do contexto abordado, estas etapas estão descritas a seguir:

- **Revisão da Literatura:** Através de da pesquisa bibliográfica, foram levantadas as características principais da arquitetura 5G e SDN;
- **Escolha das ferramentas de simulação:** Análise e investigação sobre as ferramentas a serem usadas para usadas para montar um ambiente de testes que se aproximasse de uma arquitetura 5G em combinação com SDN;
- **Experimentos** Foram elaborados cenários de teste que pudessem demonstrar de forma resumida funcionamento do SDN no núcleo de uma arquitetura 5G, levando em conta cenários típicos esperados para essa nova geração de redes móveis;
- **Parâmetros de testes:** Análise e seleção de cenários e casos de uso inerentes ao 5G, para que os testes pudessem ser replicados no ambiente de simulação proposto;
- **Analisar resultados:** Analisar os resultados dos experimentos conduzidos, verificando a relação com o objetivo proposto.

Esta dissertação está organizada em seis capítulos:

- O capítulo I descreveu uma breve introdução ao tema, contextualizando o assunto abordado, motivação, o objetivo, e a metodologia deste trabalho.
- Os trabalhos relacionados com pesquisa estão listados no capítulo II.
- Uma análise dos trabalhos relacionados com a pesquisa é apresentada no capítulo III.
- Apresentamos a metodologia do trabalho e a configuração do experimento no capítulo IV.
- A discussão dos os resultados obtidos é apresentada no capítulo V.
- Na capítulo VI são demonstradas as conclusões e trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Arquitetura da rede móvel 5G

A nova rede 5G tem expectativas de não ser apenas uma melhoria incremental em relação aos seus predecessores 3G, *Long Term Evolution* (LTE). Esta quinta geração pretende ser um salto revolucionário em termos de taxas de dados, latência, conectividade, confiabilidade e eficiência energética (SHAFI *et al.*, 2017).

A quinta geração de tecnologia móvel 5G está posicionada para atender às demandas e contextos de negócios para 2020 e além. Espera-se que possibilite uma sociedade totalmente móvel e conectada, e que possa fortalecer as transformações socioeconômicas de inúmeras maneiras, muitas das quais são inimagináveis atualmente, incluindo as de produtividade, sustentabilidade e bem-estar. As demandas de uma sociedade totalmente móvel e conectada são caracterizadas pelo tremendo crescimento em conectividade e densidade, volume de tráfego, para conseguir alcançar esses objetivos uma nova arquitetura multicamada foi necessária para permitir essa ampla gama de casos de uso e modelos de negócios esperados.

Para abordar os conceitos de qualidade de serviço através do SDN voltados especificamente para o núcleo da rede 5G *Core Network* (CN), é necessário relatar as principais características da rede de CN 5G, levando em consideração a existência paralela com as tecnologias anteriores com o LTE e Wi-Fi deve persistir por um longo período (TSUTSUI, 2017). Para isso será necessário a elaboração uma arquitetura flexível e escalável para se adaptar aos diversos cenários atuais e futuros (GUPTA; JHA, 2015).

Com o objetivo de facilitar o gerenciamento da infraestrutura do 5G é necessário considerar a separação entre o plano do usuário e o plano de controle e também a redefinição dos limites entre a rede de CN e a rede de acesso RAN (WONG *et al.*, 2017). Requisitos como latência e outros atributos de desempenho tornam necessária a movimentação de algumas funções do CN para extremidade da rede, assim como funções tipicamente da rede de acesso estejam mais centralizadas (ZHANG; CHEN, 2016).

Seguindo os conceitos apresentados pelo órgão regulador *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), para promover a facilidade de dimensionar, implementar e adaptar a rede, o 3GPP por meio do *Release 14* (3GPP, 2018) introduziu a estratégia da utilização de uma arquitetura plana com a divisão entre o plano de controle- *Control Plane* (PC) e o plano de usuário- *User Plane* (PU) criando o conceito de *Control and User Plane Separation* (CUPS)

aplicada na rede core do 4G, chamada de *Evolved Packet Core* (EPC), as funções de controle de QoS abordadas no presente trabalho são pertencentes ao PU. Essa independência fornece um suporte mais eficiente ao aumento de tráfego, pois permite uma ampliação nos elementos do PU sem a necessidade de ampliar elementos do PC (GUTTMAN; ALI, 2018).

Essa separação também permite uma evolução independente dos planos de forma que as implementações de novas tecnologias possam ser atualizadas e substituídas. O CUPS forma a arquitetura básica da evolução do EPC para o CN 5G. Nas *releases* 15 e 16 do 3GPP (3GPP, 2018) foram descritas as definições dos principais elementos que compõem o Core 5G sendo elas:

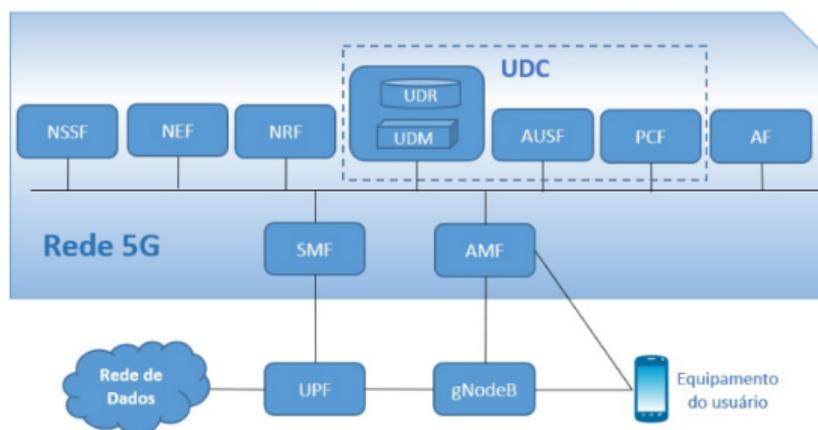
- *Access and Mobility Management Function* (AMF) – Faz o controle de acesso, gerenciamento de mobilidade e conexão do usuário (AMF tem parte da funcionalidade do *Mobility Management Entity* e do plano de controle do SGW e PGW no EPC);
- *Network Slice Selection Function* (NSSF) – Seleciona o conjunto de fatias de rede que serão alocadas para o equipamento do usuário (EU). Determina o conjunto de AMF que será utilizado para o EU;
- *Network Exposure Function* (NEF) – Expõe os recursos e eventos disponíveis;
- *Network Function Repository Function* (NRF) – Suporta função de serviço de pesquisa, manutenção ao e abertura do perfil da fatia de rede e instâncias disponíveis;
- *Unified Data Repository* (UDR) – Banco de dados com as informações dos usuários armazenadas;
- *Unified Data Management* (UDM) – Gera a chave de autenticação, autorização de acesso, gerenciador de usuários (parte da funcionalidade do HSS no EPC);
- *Authentication Server Function* (AUSF) – Executa a função de servidor de autenticação (parte da funcionalidade do HSS no EPC);
- *Policy Control Function* (PCF) – Fornece as políticas para as regras e controle de tarifação (PCF tem parte da função de PCRF no EPC);
- *User Data Convergence* (UDC) – Engloba o UDR, UDM, AUSF e PCF;
- *Application Function* (AF) – Verifica os serviços/aplicações que são considerados confiáveis pela operadora;
- *Session Management Function* (SMF) – Gerenciamento de sessão, alocação e gerenciamento de IP para o usuário (SMF tem parte da funcionalidade do MME,

PGW eSGW no EPC);

- *User Plane Function (UPF)* – Suporta roteamento de pacote e encaminhamento, inspeção de pacotes, tratamento de QoS, atua como ponto de interconexão para uma sessão PDU (*Protocol Data Unit*) para a rede de dados sendo um ponto de ancoragem para mobilidade intra e inter rede de acesso;
- *5G NR Base Station (gNodeB)* – Estação rádio base 5G.

A organização dessa arquitetura é demonstrada por (OLIVEIRA *et al.*, 2018) em um trabalho sobre a evolução da arquitetura 5G demonstrada na figura 1

Figura 1 – Organização da arquitetura 5G



Fonte: (OLIVEIRA *et al.*, 2018)

Segundo essas definições de arquitetura a atuação do controle de QoS que será abordado nesse trabalho, se encaixa dentro da definição de *User Plane Function (UPF)*, funcionando como ponto de controle para os pacotes intra e inter rede de acesso.

Este trabalho tem o foco na comunicação da rede central celular: CN (JIN *et al.*, 2013), a CN é a parte principal de uma rede de telecomunicações, oferecendo inúmeros serviços aos clientes que estão interconectados pela rede de acesso, que na rede móvel são representadas pelas estações-base, *Base Stations (BS)*. Sabendo que as redes móveis dependem intensivamente de políticas personalizadas com base em uma ampla variedade de atributos e tipos de aplicativos do assinante.

Em geral, esse termo significa os recursos de comunicação altamente funcionais que interconectam nós primários da estrutura. A rede principal CN oferece rotas para trocar informações entre várias sub-redes. Quando se trata de redes corporativas que atendem a uma única organização, o termo *backbone* é frequentemente usado em vez da rede principal, enquanto que, quando usado com provedores de serviços, o termo rede central CN é proeminente (JIN *et*

*al.*, 2013).

Atributos típicos de assinante de redes móveis incluem o modelo de telefone celular ou o tipo de dispositivo *Machine to Machine* (M2M), a versão do sistema operacional, o plano de cobrança, as opções de controle dos pais, se o tráfego total excede um limite de uso ou se um usuário está em *roaming*, que se trata do envio e recebimento desses dados via redes fora do serviço de área coberta por sua operadora (JIN *et al.*, 2013).

Dessa forma a operadora deve ser capaz de realizar funções de gerenciamento da estrutura por exemplo: Direcionar o tráfego para telefones mais antigos através de um *gateway* de cancelamento de eco, direcionar o tráfego de vídeo através de um transcodificador durante tempos de congestionamento, direcionar o tráfego de rastreamento de frota M2M por caminho de baixa latência, ou direcionar todo o tráfego através de um *firewall*.

Para realizar o tratamento especializado do tráfego de dados as operadoras contam com equipamentos especializados como: *Serving Gateway* (S-GW) Os S-GWs são usados principalmente como âncoras de mobilidade para proporcionar mobilidade contínua. *Packet Data Network Gateway* (P-GW). Os P-GWs centralizam a maioria das funções de rede, como filtragem de conteúdo, otimização de tráfego, firewalls. Os P-GWs situam-se no limite da rede celular e da Internet. As estações base, os S-GWs e os P-GWs comunicam-se usando o protocolo *GPRS Tunneling Protocol* (GTP) (JIN *et al.*, 2013).

Nesse contexto a experimentação desse trabalho levará em conta a estrutura de comunicação central CN, observando como poderá ser aplicada a Qualidade de Serviço através do SDN, com o intuito de demonstrar o desempenho do tráfego de pacotes classificados em filas de QoS através do método Diffserv.

## 2.2 Cenários e casos de uso da rede móvel 5G

Analisando as principais necessidades para evolução e expansão das redes móveis foram elaborados cenários e casos de uso para 5G, visando identificar exemplos representativos e agrupados em categorias. Os cenários e casos de uso tem como objetivo principal funcionar como uma ferramenta para garantir que o nível de flexibilidade requerido pelo 5G sejam atendidos de forma eficiente. A nova geração 5G irá fornecer simultaneamente suporte otimizado para as diversas categorias de casos de uso/cenários. Os mais difundidos cenários foram definidos pela comunidade do *International Telecommunication Union* (ITU) (ITU, 2015) são estes os cenários onde o 5G poderá/deverá atuar e suportar:

- eMBB. Significa uma melhora na qualidade de experiência do usuário no uso de aplicações da rede que pode ser exemplificado na necessidade de grande parte das aplicações já existentes. O eMBB pode ser aplicado para uma variedade de casos, como cobertura de amplo alcance (*wide-area coverage*) e pontos de acesso (*hotspots*). Para o ponto de acesso, o suporte às áreas com alta densidade de usuários e alta capacidade de tráfego de dados é necessária. Além disso a taxa de dados dos usuários nesse caso é maior do que no caso da cobertura de amplo alcance. Para o caso da cobertura de amplo alcance, cobertura contínua e mobilidade média ou alta são desejadas com taxa de dados aprimorada em relação à atual.
- URLLC. Para este tipo de caso são abordadas necessidades de aplicações aos quais existem exigências rigorosas para recursos como vazão, latência e disponibilidade. Tomando como exemplos aplicações como: Transporte inteligente, cirurgia médica remota, proteção pública e assistência em caso de desastre, automação de distribuição em uma *smart grid*.
- mMTC. Este tipo de cenário é caracterizado pela existência de um alto número de dispositivos conectados que normalmente transmitem um volume relativamente baixo de dados sem a premissa de atraso de tempo. Muitas aplicações de IoT se encaixam neste cenário com o uso de dispositivos de baixo custo e ter alta eficiência energética.

É importante ressaltar que podem existir aplicações transversais que podem fazer uso de dois ou mais dos cenários base do 5G, por exemplo podem existir aplicações de tráfego urbano que precisam de uma comunicação confiável de baixa latência, mas que também é necessário o uso de uma comunicação de dispositivos de forma massiva para atualização do status do sistema em tempo real. Então a infraestrutura do CN 5G deve promover a flexibilidade para entrega dos serviços específicos para cada tipo de aplicação.

### **2.3 Redes definidas por software**

Redes definidas por software, SDN é um paradigma para organização de estruturas de redes de computadores, que vem sendo amplamente difundido como uma das ferramentas-chaves para melhoria do desempenho geral dos sistemas de comunicação que utilizam estruturas compartilhadas. Segundo a *Open Networking Foundation ONF* (ONF) (ONF, 2017) na arquitetura SDN os planos de controle e de dados são desacoplados, a inteligência e o estado de rede são logicamente centralizados, e a infraestrutura de rede subjacente é abstraída dos aplicativos.

Uma forma de possibilitar o uso da SDN em infraestruturas é através da virtualização,

desta forma os nós de uma rede SDN podem ser virtualizados um exemplo disso é o *Open vSwitch* (OVS) (PFAFF *et al.*, 2015) que se trata de uma implementação de comutador compatível com o protocolo OpenFlow totalmente por software, modular, portátil e de código aberto. Este comutador virtual pode ser executado em máquinas de propósito geral e, conseqüentemente, em máquinas virtuais.

Ainda para (ONF, 2017) a arquitetura SDN deve seguir determinados preceitos para que se preserve a ideia central da sua implementação, esses preceitos vem sendo amplamente implementados nos novos equipamentos para infraestruturas de rede, resumindo esses preceitos temos:

- Programabilidade: O controle de rede é diretamente programável porque está desacoplado das funções de encaminhamento.
- Agilidade: O controle de abstração do encaminhamento permite aos administradores ajustar dinamicamente o fluxo de tráfego em toda a rede para atender às necessidades em constante mudança.
- Gerenciamento Centralizado: A inteligência de rede é (logicamente) centralizada em controladores SDN baseados em software que mantêm uma visão global da rede.
- Interface aberta e programável: O SDN permite aos gerentes de rede configurar, gerenciar, proteger e otimizar recursos de rede muito rapidamente através de programas SDN dinâmicos e automatizados.
- Neutralidade sobre padrões de distribuidores: Quando implementado através de padrões abertos, o SDN simplifica o design e a operação da rede porque as instruções são fornecidas pelos controladores SDN em vez de vários dispositivos e protocolos específicos do fornecedor.

Esses aspectos fizeram com que a indústria e as instituições de pesquisa viessem a implementar o SDN nas redes wireless *Software Defined Wireless Networks* (SDWN), os benefícios da SDN como interoperabilidade e programabilidade poderiam também ser estendidos para as redes móveis (ONF, 2017), (MCKEOWN *et al.*, 2008) com o objetivo de abordar os principais problemas encontrados nesse tipo de rede.

## 2.4 Qualidade de serviço

De acordo com as definições da (CISCO-FAQ, 2015) QoS refere a capacidade de uma rede para proporcionar o melhor serviço ao tráfego de rede selecionado sobre as várias

tecnologias subjacentes. QoS é uma coleção de tecnologias que permitem que aplicativos requisitem e recebam níveis de serviços previsíveis em termos de capacidade de *throughput* de dados (largura de banda), variações de latência *jitter* e retardo. Em especial, os recursos QoS fornecem um serviço de rede melhor e mais previsível através dos seguintes métodos:

- Ajuste de largura de banda dedicada;
- Gerenciamento das características de perda de pacotes;
- Gerenciar a capacidade da rede para evitar congestionamento;
- Definir e modelar prioridades de tráfego na rede.

O *Internet Engineering Task Force* (IETF) define dois modelos que podem ser utilizados como padrão para implementação do controle de QoS:

#### **2.4.1 Serviços Integrados (IntServ)**

De acordo com (BABIARZ *et al.*, 2006b) é um modelo de serviço múltiplo que pode acomodar vários requisitos de QoS, onde o aplicativo solicita um tipo específico de serviço da rede antes de enviar dados. A requisição de serviço que pode lidar com os requisitos de largura de banda e atraso pela aplicação deve ser completada e confirmada antes que os dados sejam transmitidos na rede.

O IntServ usa o protocolo de reserva de recursos *Resource Reservation Protocol* (RSVP) para sinalizar explicitamente as necessidades de QoS de tráfego de um aplicativo com os dispositivos no caminho de ponta a ponta através da rede. Se cada dispositivo da rede ao longo do caminho puder reservar a largura de banda necessária, o aplicativo de origem pode iniciar a transmissão. As normas técnicas RFC – *Requests for Comments*, são documentos que contém notas técnicas e organizacionais sobre a Internet. Eles cobrem muitos aspectos das redes de computadores, incluindo protocolos, procedimentos, programas e conceitos, bem como notas de reuniões e opiniões. A (RFC) 2205 define o *Resource Reservation Protocol* (RSVP), e o RFC 1633 define IntServ.

Este modelo tenta manter o estado de fluxo nos dispositivos de rede e depois trabalhar no pacote usando ferramentas de QoS, como classificação, marcação, policiamento, modelagem, enfileiramento e agendamento.

O principal problema do IntServ é a necessidade de armazenar os múltiplos estados em cada componente da infraestrutura, com alta granularidade. Como resultado, o IntServ torna-se inviável para infraestruturas meláveis e escaláveis como é esperado para as infraestruturas

baseadas em SDN para o 5G.

#### 2.4.2 *Serviços Diferenciados (DiffServ)*

Este modelo um serviço múltiplo que também pode acomodar e satisfazer diferentes requisitos de QoS. Ao contrário do IntServ o DiffServ (BABIARZ *et al.*, 2006b) fornece serviço escalável sem a necessidade de sinalização e estado de fluxo. Isso significa que não é necessário confirmar as informações de largura de banda ou atraso dos roteadores antes de enviar o pacote. O DiffServ lida apenas com os roteadores de borda e não há necessidade de configuração complexa no núcleo, embora o roteador de borda deva ser capaz de encaminhar pacotes usando as prioridades e a classificação de cada pacote.

O modelo DiffServ é o mais utilizado para implementar QoS porque exige menos dos roteadores do que o modelo IntServ de serviços integrados que requer protocolos inteligentes para que os roteadores possam providenciar a reserva prévia de recursos entre dois pontos (cliente/servidor).

Através do sistema de códigos denominado *DiffServ Code Point* (DSCP) que consiste em sobrescrever os primeiros 6 primeiros bits do campo *Type of Service* (ToS) do cabeçalho IP. Dessa maneira cada código diz respeito a uma classe de tráfego que pode receber tratamento diferenciado pelo administrador através dos códigos: *Assured Forwarding* (AF) e *Expedited Forwarding* (EF), ambos mecanismos de classificação de diferentes níveis de tráfego para serviços diferenciados no modelo DiffServ.

Existem quatro classes AF que variam de AF1X até AF4X, sendo que o primeiro número é a prioridade da classe. Quanto maior o número de prioridade, então maior é a importância daquele perfil de tráfego no ambiente. O segundo número (representado por X) varia de 1 a 3 e diz respeito à preferência de descarte dos pacotes, sendo que números maiores têm maior probabilidade de serem descartados.

Já a classe EF faz referência ao encaminhamento expresso, ou seja, aquele perfil de tráfego que possui baixa tolerância a qualquer tipo de atraso (tradicionalmente o tráfego de voz). A figura 2 traz um resumo de tipos de classificações de tráfego possíveis, juntamente com códigos das classes AF e EF fazendo uma relação dos códigos pré-definidos pela Cisco juntamente com suas respectivas classes e aplicações comuns, baseadas na RFC-4594 (BABIARZ *et al.*, 2006b).

O conjunto de ferramentas de QoS consiste em ferramentas de classificação, marcação, policiamento e modelagem tendo como principais características:

Figura 2 – Códigos DiffServ Code Point DSCP para classificação de serviços

Application	L3 Classification			L2
	IPP	PHB	DSCP	CoS
Routing	6	CS6	48	6
Voice	5	EF	46	5
Video Conferencing	4	AF41	34	4
Streaming Video	4	CS4	32	4
Mission-Critical Data	3	AF31	26	3
Call Signaling	3	CS3	24	3
Transactional Data	2	AF21	18	2
Network Management	2	CS2	16	2
Bulk Data	1	AF11	10	1
Best Effort	0	0	0	0
Scavenger	1	CS1	8	1

Fonte: (BABIARZ *et al.*, 2006b)

- Classificação é a terminologia usada para a análise de fluxo para determinar a classe de tráfego à qual o fluxo pertence e tomar decisões com base no resultado da análise. A decisão a ser tomada é chamada de marcação.
- A marcação é feita após os fluxos terem sido analisados, os pacotes serão então marcados no roteador de entrada de entrada na rede.
- O policiamento é a ação de descartar o pacote sempre que os recursos de rede alocados forem excedidos.
- A modelagem envolve a redução do tráfego na rede para maximizar o uso dos recursos de rede alocados. Diferentemente do policiamento, a modelagem reduz a velocidade da transmissão ou da recepção do pacote em vez de descartar o pacote.

A aplicação de QoS quando feita de forma correta pode causar impacto diretamente na Qualidade de Experiência- *Quality of Experience* (QoE) de acordo com o trabalho de (RAH-RER *et al.*, 2006) é um parâmetro que representa o desempenho global de uma rede ou serviço do ponto de vista dos usuários. Por outro lado o QoS é organização do tráfego da sua rede definindo prioridades e limites de forma a melhorar a percepção do usuário, tendo o objetivo de satisfazer expectativas do usuário, garantindo a qualidade de serviço necessária para atender níveis de QoE satisfatórios.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Listamos alguns trabalhos que abordaram o contexto de SDN relacionado com QoS e também trabalhos que propõem o uso do SDN como tecnologia facilitadora para a implementação da rede 5G.

Uma visão de como as regras de QoS podem ser utilizadas para obter desempenho em um ambiente de simulação com equipamentos reais é apresentado por (ALIPIO *et al.*, 2016). Neste trabalho uma plataforma de teste em tempo real para SDN foi implementada usando Raspberry Pi como switches OpenFlow. O ambiente de simulação implementado forneceu um ambiente prático de desenvolvimento e teste para SDNs. O OpenvSwitch (OVS) foi usado para observar os fluxos e eventos na rede. Com a integração do POX, este documento fornece facilmente resultados de análises detalhadas para qualquer processo de teste. Este trabalho forneceu uma visão de como as regras de QoS podem ser utilizadas para obter desempenho em um ambiente de simulação com equipamentos reais, mas que não se aproximam de uma infraestrutura CN 5G.

Resultados experimentais apresentados por (TOMOVIC *et al.*, 2014), mostraram uma melhoria significativa no desempenho sob alta carga de tráfego do modelo de QoS através de Serviços Diferenciados-Diffserv em comparação com os modelos tradicionais de serviço de melhor esforço e Serviços Integrados-IntServ. O controle centralizado do SDN monitora o estado dos recursos da rede e executa o gerenciamento inteligente de tráfego de acordo com as informações coletadas. Os resultados experimentais mostraram uma melhoria significativa no desempenho sob alta carga de tráfego, em comparação com os modelos de serviço de melhor esforço e IntServ, demonstrando que a melhor alternativa para controle de QoS em SDNs sejam abordagens baseadas no modelo Diffserv.

De acordo com (KARAKUS; DURRESI, 2017), o paradigma de SDN surgiu em resposta às limitações das arquiteturas de rede tradicionais e os recursos chamaram para melhorar o provisionamento de QoS dos vários aplicativos de rede atuais. Neste trabalho de pesquisa foi feita uma revisão de literatura sobre a implantação de QoS em redes SDN habilitadas para OpenFlow. Foi possível observar mais uma vez a melhor adaptação do modelo Diffserv com relação a implantação de QoS em redes baseadas em SDN.

A apresentação de um modelo de QoS que pode ser implementado em SDN através de técnicas de Diffserv e IntServ é apresentado por (BINSAHAQ *et al.*, 2019), realizando a comparação com o modelo de controle baseado em técnicas AC, do inglês *Autonomic Computing*.

A modelagem de tráfego com interesse principal na limitação de banda é apresentada por (AFAQ *et al.*, 2015), através do controlador de Floodlight. Este trabalho tem um foco nas redes para datacenter onde existe uma alta taxa de tráfego de rede, que por serem de grande dimensão são definidos como fluxos "elefantes", as redes de datacenter tendem a utilizar muita largura de banda deixando os fluxos de dados sensíveis à latência. Isso causa degradação do desempenho do aplicativo em execução na rede. Neste trabalho foi demonstrado como a SDN pode criar sistemas operacionais de rede para obter maior controle do plano de controle em uma determinada rede. Para detectar fluxos de elefantes, foi utilizada uma estrutura baseada na tecnologia de amostragem sFlow. Com a abordagem usada neste trabalho foi possível verificar como os fluxos de dados são tratados e analisados pelos controladores SDN.

Nos testes de QoS realizados no trabalho (ADEDAYO; TWALA, 2017) foi verificado que a utilização do Diffserv se alinha ao princípio de flexibilização proposto pelo SDN. Neste estudo também foi demonstrado que o controlador Ryu possui um módulo de gerenciamento de QoS nativo. Direcionando o uso do controlador Ryu e do modelo Diffserv para o presente trabalho.

Uma comparação entre controladores SDN foi realizada em (SALMAN *et al.*, 2016), demonstrando que o controlador Ryu SDN teve um desempenho razoável, na maioria dos testes realizados. Neste trabalho também foi demonstrado que o controlador Ryu SDN possui uma gama de recursos que o fazem a melhor escolha para a obtenção de resultados no presente trabalho, dentre as propriedades listadas estão: Código aberto na linguagem python, módulo de controle logicamente centralizado, módulo de QoS nativo, grande quantidade de documentação e compatibilidade com várias versões do Openflow e de APIs externas.

A visão geral sobre o funcionamento e expectativas do 5G foi apresentada por (GUPTA; JHA, 2015), de acordo com este trabalho a aplicação do SDN na infraestrutura 5G é importante para o gerenciamento dos componentes da arquitetura, apresentando uma proposta de arquitetura geral de rede celular 5G. Os resultados deste trabalho forneceram uma ideia geral sobre o funcionamento e expectativas do 5G, apontando também a aplicação do SDN como uma tecnologia bastante importante para o gerenciamento dos componentes da arquitetura para o alcance dos objetivos do 5G, porém sem detalhamentos específicos da combinação dessas tecnologias e sobre a organização da arquitetura

Novas aplicações tecnológicas como o transporte inteligente e veículos autônomos demandam alta mobilidade, latência mínima, serviços em tempo real com alta qualidade de

serviço, demonstradas por (GARG *et al.*, 2019) podem se beneficiar do uso do modelo SDN.

Também na análise realizada por (TIKHVINSKIY; BOCHECHKA, 2015), os paradigmas SDN, NFV, e NS são apontados como tecnologias chave para a obtenção resolução dos desafios de QoS no 5G. Tais tecnologias são apontadas pelos autores como fundamentais para controlar e monitorar QoS devendo ser implementados como parte da infraestrutura de rede 5G.

Os trabalhos relacionados listados, demonstraram como controle de QoS através SDN pode ser aplicado em diversos contextos e os benefícios que podem ser alcançados, além de descrever o que poder ser atingido com o uso deste paradigma. Desta forma a presente pesquisa focou em investigar a implementação do controle de QoS SDN em cenários específicos esperados pelo novo modelo de rede 5G.

A principal contribuição do presente trabalho é realizar uma demonstração da implementação do controle de QoS através do paradigma SDN, tendo como foco novos cenários de aplicações inovadoras esperadas pela tecnologia 5G, para tal foram conduzidos experimentos em uma infraestrutura abstrata CN, para validar se há benefícios da utilização do SDN dentro deste contexto.

## 4 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Neste capítulo serão abordados o funcionamento e as características principais para a aplicação do QoS através do controlador SDN, mostrando de forma objetiva as técnicas e etapas necessárias para o alcance dos benefícios do controle de QoS.

### 4.1 Implementação de QoS através de SDN

A SDN faz uso do protocolo OpenFlow (MCKEOWN *et al.*, 2008) e das funções de virtualização de comutadores providas pelo OVS (OPENVSWITCH, 2018) para a implementação do QoS. Um comutador OVS suporta o Linux *Traffic Control* (tc), que é um conjunto de algoritmos no *kernel* Linux para controle de tráfego.

De forma resumida, a aplicação do controle tráfego tc trabalha com um fila chamada *queuing*. Quando os pacotes são recebidos no comutador e através do tratamento que será aplicado pelo tc, podem ser alterados seus valores velocidade de transmissão, organizando as prioridades de saída dos pacotes (JAMHOUR, 2014).

O OVS utiliza a técnica de *Queuing Disciplines* (QDISC), para o gerenciamento de largura de banda, em conjunto com o algoritmo *Hyperarchical Token Bucket* (HTB) (STATO, 2016). O algoritmo HTB, ajuda a controlar a largura de banda de saída em um determinado link (OPENVSWITCH, 2018).

A implementação do QoS ocorre através do módulo de controle de QoS provido pelo controlador SDN, nesse processo é feita a implementação de uma classe QDISC do tipo *Diff-Serv Marker* (DSMARK), que é utilizada para fazer a marcação ou remarcação do campo DSCP.

O controlador SDN envia as configurações de verificação para o comutador OVS através do protocolo openflow. O comutador OVS aplica a modelagem para o tráfego que sai de uma interface, direcionando para as filas de QoS que foram criadas com valores para cada classe de serviço.

No presente trabalho, utilizamos o controlador SDN Ryu (NTTC, 2017) para realizar o controle de QoS pelo método Diffserv. Nesse modelo é feita de garantia de QoS para cada classe de serviço por controle de admissão em comutadores.

A gestão das classes de serviços e regras é feita de forma centralizada pelo Ryu usando a marcação dos fluxos DSMARK, classificando e modelando os fluxos de tráfego em

filas de QoS.

Pode-se interpretar que a implementação do Diffserv SDN é baseada no tratamento diferenciado de classes, podendo manipular diferentes tipos de classes de várias maneiras dentro da rede. Este tratamento é repetido em cada nó, ou seja, os pacotes de uma aplicação prioritária, quando chegam a um nó (comutador), são separados e recebem um tratamento diferenciado.

## 4.2 Modelo de sistema e configuração do experimento

### 4.2.1 QoS SDN e aplicações 5G

Devido às limitações de execução do simulador MININET (KAUR *et al.*, 2014), a largura de banda máxima para a comunicação do nós da infraestrutura simulada foi estipulada em 1Gbps, direcionando aos casos de uso de eMBB para o experimento. O foco desse trabalho foi a análise da vazão de dados: *throughput*, que representa a taxa em que os dados são transmitidos.

Os casos de uso foram selecionados analisando as necessidades mínimas de transferência necessárias, e a capacidade do simulador de replicar essas capacidades. Foram selecionados 03 casos de uso do projeto METIS II, que fazem parte do cenário eMBB 5G (ELAYOUBI *et al.*, 2016). Desta forma, foi possível verificar como a infraestrutura do experimento reage a aplicações do mesmo cenário, porém com valores de QoS diferentes.

**Caso de Uso UC1: “Sociedade de informação urbana densa”.** Aplicado ao contexto da conectividade necessária em qualquer lugar e hora por seres humanos e máquinas, em ambientes urbanos densos, incluindo ambientes internos e externos. Alguns exemplos são: a transmissão de vídeo imersivo em Ultra-Alta Definição (UHD), jogos na nuvem, etc. Para este UC são apontados como requisitos mínimos de QoS: 300 Mbps no *DownLink* (DL) 50 Mbps no *UpLink* (UL).

**Caso de uso UC3: ”Acesso de banda larga em qualquer lugar”.** Neste UC é aplicado o contexto da crescente demanda por um acesso à Internet, de alto rendimento e alto nível de usuários. Para este UC são apontados como requisitos mínimos de QoS: 50 Mbps no *DownLink* (DL) e 25 Mbps no *UpLink* (UL).

**Caso de uso UC5: “Carros conectados”.** Representa situações onde há uma maior mobilidade do usuário, através do uso da computação em terminais móveis, focando no trânsito urbano. Por exemplo, um carro conectado permite segurança de tráfego e a eficiência de serviços remotos em tempo real. Para este UC são apontados como requisitos mínimos de QoS: 100

Mbps no *DownLink* (DL) e 20 Mbps no *UpLink* (UL).

Com os três casos de uso definidos, usando o controlador Ryu, foram criadas as filas ou classes de QoS para cada uma, observando os valores mínimos de *UpLink* (UL) descritos no METIS II.

Também foi acrescentado uma fila de melhor esforço (BE, do inglês *Best Effort*), nesta fila a largura de banda é partilhada com todos os fluxos de dados enviados pelos utilizadores, ou seja, os fluxos nesta fila são concorrentes entre si.

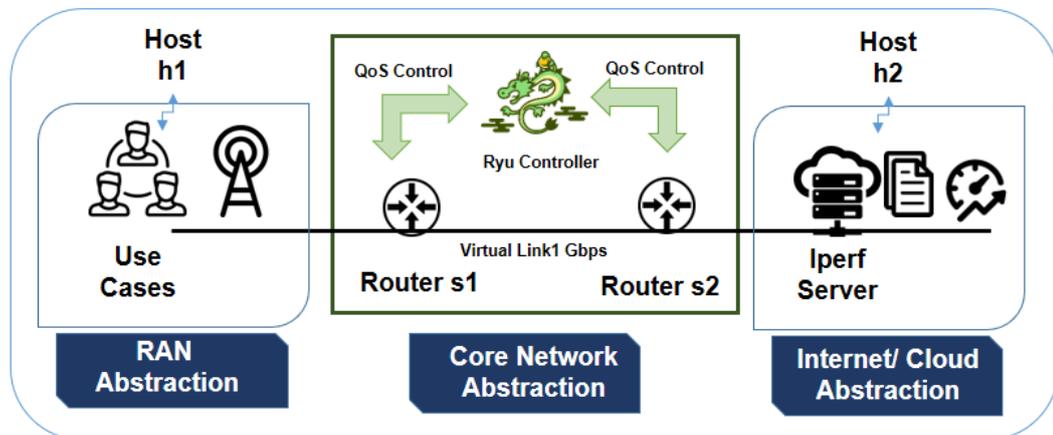
Após as filas serem criadas, cada comutador da infraestrutura simulada irá atribuir a marcação dos fluxos de dados de acordo as filas de QoS, através da função de marcação decimal *DiffServ Code Point* (DSCP) fornecida pela norma RFC 4594 (BABIARZ *et al.*, 2006a), que fornece códigos para marcação baseados no tipo de aplicação.

#### 4.2.2 Ambiente de testes

Os experimentos foram realizados em uma plataforma com as seguintes configurações: Intel Core i3, 8GB RAM e Ubuntu 18.04 LTS. Foi implementado um ambiente de simulação que pudesse representar de forma simplificada e abstrata o funcionamento de uma CN 5G, aplicando o conceito de UPF pelo controlador Ryu.

É importante ressaltar que foi feita a abstração da rede de acesso RAN e da rede de destino *Internet/Cloud*, pois nosso objetivo é verificar o funcionamento do controle de QoS no núcleo da rede de forma simplificada, de acordo com as classes de serviço de UC definidas. As ferramentas utilizadas para criar a simulação estão descritas a seguir.

Figura 3 – Ambiente de simulação



Fonte: Elaborado pelo autor

- **MININET**(KAUR *et al.*, 2014), ferramenta de simulação SDN.
- **Controlador Ryu** (NTTC, 2017), controlador externo SDN.
- **OpenvSwitch** (OPENVSWITCH, 2018), implementação de código aberto de um comutador multicamada. Nesta simulação será o responsável por emular os roteadores de entrada e saída da CN 5G.
- **Iperf** (DUGAN, 2010), *software* utilizado para testar a largura de banda.

O controle de QoS foi feito pelo controlador Ryu SDN, através de dois comutadores OVS do MININET. A abstração da RAN e da *internet/cloud* foi feita por dois *hosts* nas bordas da infraestrutura. A organização de cada componente do ambiente de simulação é mostrada na Fig. 3. A descrição de cada componente é mostrada a seguir.

- **Controlador Ryu**: Responsável por gerenciar a infraestrutura do CN 5G, criar as regras de QoS e comandar os roteadores da rede CN, atuando como UPF.
- **Router S1**: Ponte de entrada da rede CN, recebendo os dados provenientes dos fluxos de *upload* RAN, no caso dos dispositivos que serão simulados pelo *host* H1. Através da marcação desses fluxos no cabeçalho IPV4 com o campo DSCP, organizando nas respectivas filas de QoS, aplicando a modelagem dos fluxos na interface de saída, e por fim, encaminhar esses pacotes para o CN.
- **Router S2**: Este roteador irá atuar como saída da CN para a *Internet/Cloud*, fazendo a modelagem dos fluxos que já foram classificados e marcados no roteador S1. O gerenciamento centralizado do controlador Ryu permite que o roteador S2 também realize os processos de marcação e classificação se necessário.
- **HOST H2- Servidor Iperf**: Responsável por fazer a abstração de servidores que estarão localizados a *Internet/Cloud*. Simula os serviços de rede que receberão dados das aplicações geradas pelos clientes da RAN. Através do serviço de Iperf, os registros serão armazenados para a análise de aplicação do QoS.
- **HOST H1**: Responsável por realizar a abstração da rede de acesso de rádio celular 5G, gerando os fluxos de usuários, ou seja, os 03 casos de uso selecionados do METIS II.

A abstração dos clientes de serviço, foi feita pela ferramenta de simulação Iperf. Todos os fluxos serão destinados ao *host* H2, que fica na outra borda da rede *Internet/Cloud*. Os pacotes de H1 serão enviados para entrada da rede CN através do roteador S1.

Cada serviço em execução será representado por uma porta específica do servidor Iperf em H2. Foi utilizado o protocolo UDP durante os testes, pois o protocolo UDP promove

uma maior transparência de resultados durante as medições de transferência (DINIZ; JUNIOR, 2014).

Cada cliente Iperf em (H1) fez o *upload* para o servidor (H2) com uma taxa específica, durante 10 segundos, de acordo com cada tipo de UC: UC1-50 Mbps, UC3-25 Mbps e UC5-20 Mbps. O servidor (H2), por sua vez, irá registrar os valores de vazão de dados para cada cliente. Esses resultados foram salvos em arquivos de dados individuais para cada porta de serviço.

Para facilitar a coleta dos dados, foi desenvolvida uma aplicação para extrair e isolar os resultados do Iperf. Essa ferramenta foi desenvolvida durante a pesquisa, sendo chamada de *Extract Iperf Data* (EID). A *source* dessa aplicação é disponibilizada em (GITHUB, 2019), sendo considerada uma das contribuições deste trabalho.

As configurações das filas de QoS são feitas pelo Ryu, seguindo os requisitos básicos dos casos de uso demonstrados na tabela 1. As configurações de marcação e classificação seguem os parâmetros definidos na tabela 2, tomando como base o protocolo, a porta e o endereço de destino.

Todos os comandos utilizados para configuração e execução do ambiente de testes no simulador MININET podem ser observados em (GITHUB, 2019). Os comandos de configuração de QoS, e configuração de equipamentos, podem ser implementados em quaisquer comutadores habilitados pelo padrão OVS, utilizando o controlador Ryu.

Tabela 1 – Parâmetros de configuração de filas de QoS

UC	ID de Fila QoS	Taxa Máx	Taxa Mín	Classe
BE	0	1Gbps	–	–
UC5	1	1Gbps	20Mbps	AF31
UC3	2	1Gbps	25Mbps	AF11
UC1	3	1Gbps	50Mbps	AF41

Desta forma, foram gerados pelo *host* H1, simultaneamente, usando o Iperf através do parâmetro `&`, e com a utilização do parâmetro `-P` (Que possibilita a criação de várias conexões paralelas), possibilitando manipular a quantidade de clientes conectados em cada porta do servidor H2. Aumentamos a quantidades de clientes de 1 a 20 por cada tipo de UC.

Para o experimento foram montados 06 cenários diferentes, possibilitando analisar os tráfegos de cada UC em várias configurações de QoS.

– **Cenário 01.** Sem regras de QoS implementadas.

Tabela 2 – Parâmetros para marcação de códigos DSCP

<b>Destino</b>	<b>Porta</b>	<b>Protocolo</b>	<b>Marcar DSCP</b>	<b>Classificar e modelar</b>
172.16.20.10	5001	UDP	26( AF31)	DSCP 26: ID QoS 1
172.16.20.10	5002	UDP	10 (AF11)	DSCP 10: ID QoS 2
172.16.20.10	5003	UDP	34 (AF41)	DSCP 34: ID QoS 3

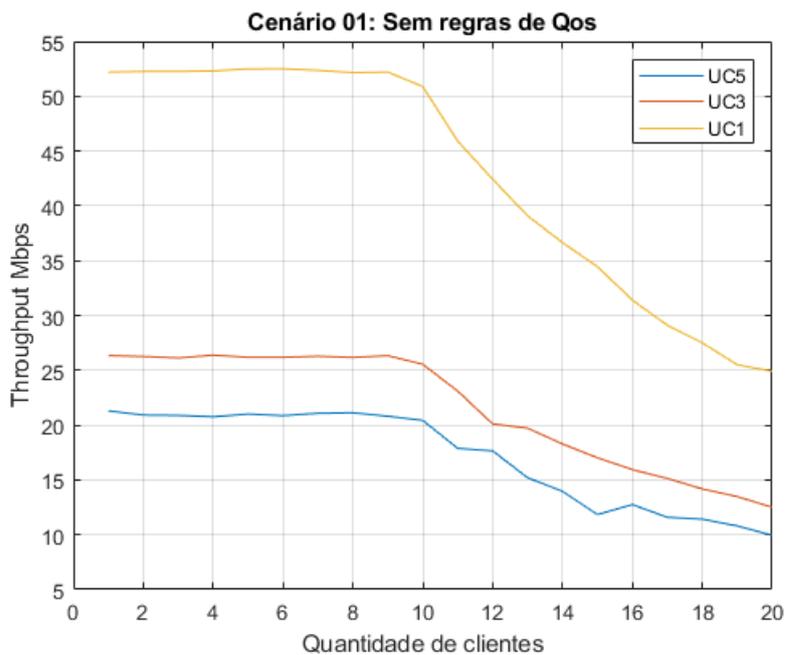
- **Cenário 02.** Todos os clientes UC foram direcionados para a fila de QoS de melhor esforço *Best Effort* (BE).
- **Cenário 03.** Garantia dos valores mínimos das filas QoS para cada cliente UC.
- **Cenário 04.** Garantia de valores mínimos de fila apenas para os clientes: UC1.
- **Cenário 05.** Garantia dos valores mínimos das filas QoS para todos. Porém com taxas de envio padrão de 50 Mbps para cada cliente UC.
- **Cenário 06.** Garantia dos valores máximos das filas QoS, com taxas de envio padrão de 50 Mbps para cada cliente UC.

## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Foram registradas as informações de vazão de dados - *Throughput*, no sentido de *upload* por parte dos clientes H1, em paralelo durante 10 segundos de cada porta H2 referente aos casos de uso. A quantidade de clientes que disparavam dados foi acrescida de forma incremental, de 01 até um limite de 20 clientes em cada porta.

Para trazer uma maior confiabilidade, de acordo com os princípios apresentados em (FISCHER, 2010), em cada acréscimo de cliente o experimento foi repetido 30 vezes. As médias das repetições foram utilizadas para a análise dos resultados.

Figura 4 – Resultado do teste de throughput no cenário 01: Sem regras de QoS



Fonte: Elaborado pelo autor

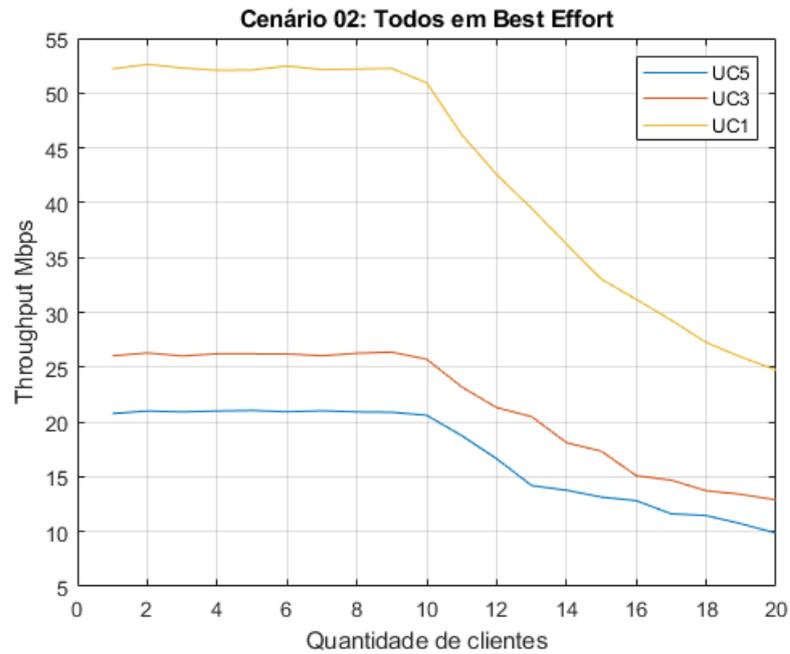
Com os resultados do cenário 01 representado na Fig. 4, foi observado que por não haver regras de marcação e classificação prioritária, os fluxos são tratados de forma igualitária, tendo um decaimento de suas taxas de transmissão de forma igual, quando não há mais banda disponível para manter suas taxas.

A partir de 10 clientes em cada UC, a banda disponível de 1 Gbps não comporta os valores mínimos das aplicações, pois 10 clientes em UC1 consomem 500 Mbps, 10 clientes em UC3 consomem 250 Mbps e 10 clientes em UC consomem 200 Mbps. Total de consumo: 950 Mbps.

Levando em consideração que parte da banda também é usada pelos sinais de controle

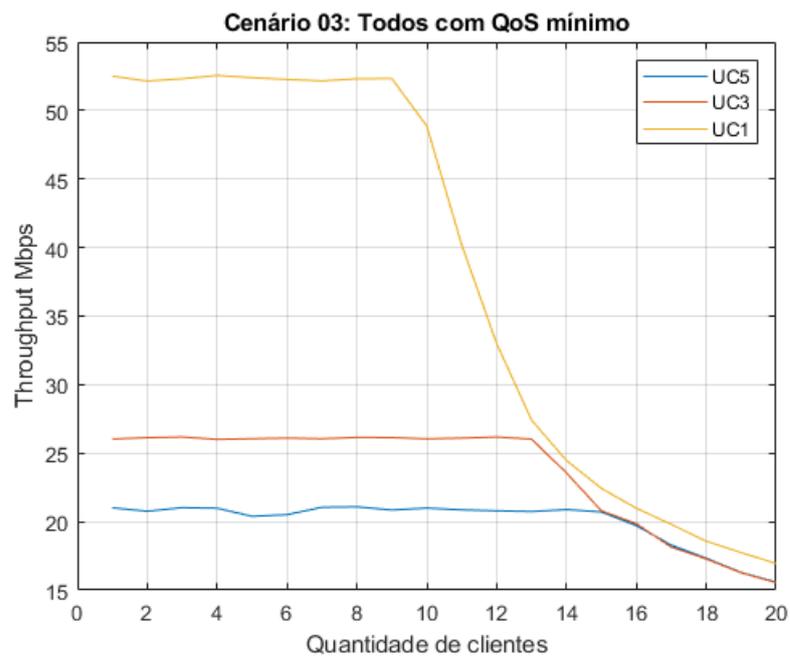
do Ryu com o uso do protocolo openflow, a partir dessa quantidade de clientes, os requisitos de upload dos clientes UC não são atendidos. Um comportamento semelhante ocorre no cenário 02 na Fig. 5, por estarem sendo encaminhados para a fila de melhor esforço BE.

Figura 5 – Resultado do teste de throughput no cenário 02: Todos em Best Effort



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6 – Resultado do teste de throughput no cenário 03: Todos com QoS mínimo

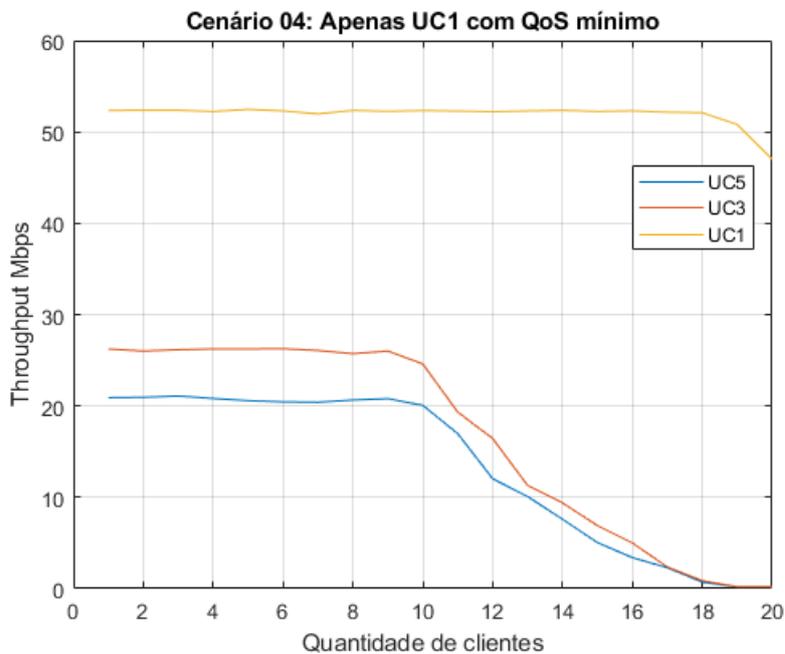


Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados do cenário 03 mostrados na Fig. 6, demonstram que enquanto havia banda disponível, foram mantidos valores mínimos de QoS para cada caso de uso, no entanto, por falta de banda, houve decaimento a partir de 10 clientes.

Constatou-se que o Diffserv SDN reduziu as taxas de transferência dos casos de uso com maiores requisitos de banda, neste caso UC1 e UC3 primeiramente, mantendo o máximo possível os clientes que estavam na classe UC5, com médias de transferência de 20 Mbps. Porém ao atingir a carga de 15 clientes em cada UC, também não foi possível manter os valores mínimos de UC5.

Figura 7 – Resultado do teste de throughput no cenário 04: Apenas UC1 com QoS mínimo



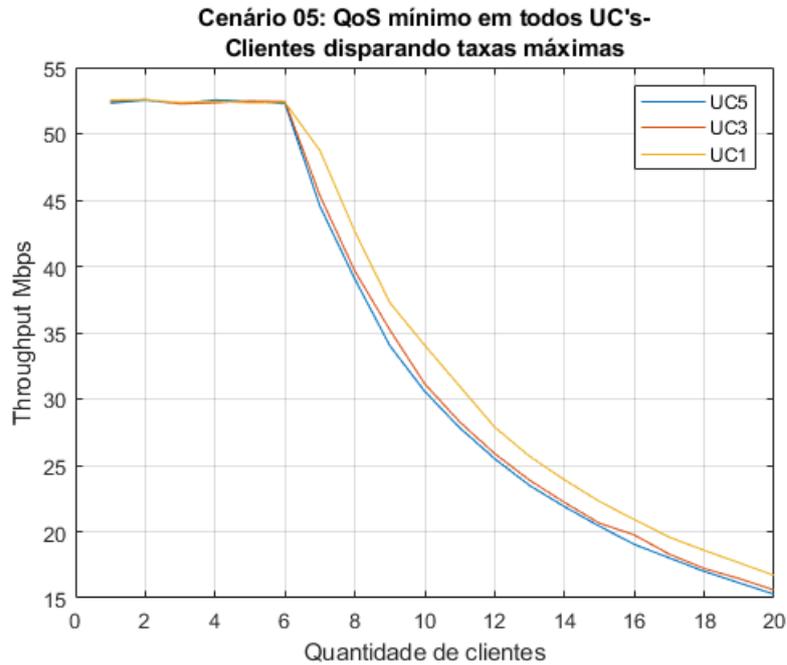
Fonte: Elaborado pelo autor

Para o cenário 04 na Fig. 7, observa-se que os fluxos que não possuem marcação prioritária de classes, são destinados para a fila BE. As regras de QoS dão total prioridade para as classes que têm valores de transferência definidos, neste caso UC1, mantendo seus valores mínimos de transferência, e reduzindo os demais.

Visando verificar como as regras de QoS iriam se comportar quando os clientes disparassem na mesma taxa padrão, foram alteradas as taxas de *upload* dos clientes UC nos cenários 05 e 06 Figs. 8 e 9 para 50 Mbps.

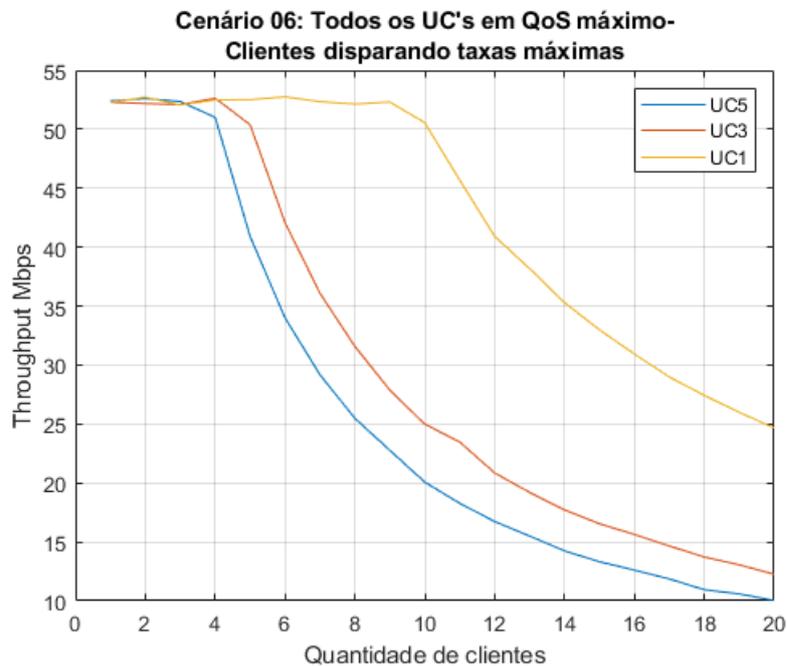
Os fluxos de menor prioridade decaíram de forma igualitária no cenário 05, já que as demandas de banda eram iguais. Neste cenário as regras de valores mínimos QoS foram mantidas, dessa forma, ao observar os clientes UC1, percebe-se que eles foram reduzidos de

Figura 8 – Resultado do teste de throughput no cenário 05: QoS mínimo em todos UC's



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9 – Resultado do teste de throughput no cenário 06: Valores máximos



Fonte: Elaborado pelo autor

forma brusca, e que seus requisitos mínimos não foram atendidos na maior parte do tempo, pois o QoS SDN reduz primeiramente os casos de uso com maiores requisitos de banda.

Para o cenário 06, foi alterada a configuração de QoS usando o parâmetro de valor máximo (MAX RATE) ao invés de valor mínimo (MIN RATE) para as filas de QoS, usando os valores: UC1 53% = 530 Mbps -UC2 26% = 260 Mbps -UC3 21% = 210 Mbps. Total de

consumo = 1000 Mbps.

Através da análise do cenário 06, Fig. 9, é demonstrado que a limitação de banda foi efetuada, de modo que se assemelha a criação de fatias de recurso de rede (neste caso de banda) proposto pelo *Network slicing*.

## 6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Com a realização do experimento e seus respectivos cenários, foi possível alcançar os objetivos almejados, ao testar a funcionalidade de QoS com SDN, visando requisitos reais de aplicação do 5G de forma simplificada, demonstrando que o controle de QoS SDN dentro de uma infraestrutura CN pode ser viável.

No geral, todos os experimentos mostraram que em situações que haviam regras de garantia para determinado UC, os fluxos de tráfego gerados desse UC obtiveram melhor desempenho em comparação aos que não tinham prioridade. Foi observado também que enquanto os fluxos estão em um mesmo nível de QoS, o sistema de priorização tenta manter o fluxo de UC que tem menos requisitos de banda, Em alguns cenários isso não pode ser viável.

Foi observada de forma prática a aplicação das regras de QoS, marcação dos pacotes, classificação e a modelagem do tráfego, de acordo com as definições de classes. Com os resultados, fica notória a importância de uma política de QoS bem definida para o melhor desempenho do utilizador final dos serviços da rede.

Como trabalho futuro é proposto desenvolver uma aplicação para o controlador Ryu, com um fator extra de priorização de tráfegos de mesmo nível de QoS e que atue de forma dinâmica na configuração das filas.

### 6.1 Discussão sobre limitações do trabalho

As limitações identificadas no trabalho se resumem as limitações impostas pelas ferramentas de simulação. Dentre as principais encontradas pode-se citar:

- **Limitação do link de simulação:** Devido as propriedades do simulador mininet o limite de banda máximo para o experimento é de 1Gbps, levou a escolha dos casos de uso 5G que pudessem ser suportados dentro deste limite durante os experimentos;
- **Aplicação de QoS do Ryu:** Durante os resultados foi observado que o controlador Ryu em sua aplicação nativa de de QoS não provê um mecanismo de priorização que possa identificar prioridades de fluxo. Ele apenas garante que as filas de QoS criadas sejam aplicados aos fluxos definidos;
- **Parâmetros de análise:** O presente trabalho foca no funcionamento do QoS no CN 5G (*User Plane Function* (UPF)) o parâmetro mais visível de desempenho

é o Throughput. Porém em um outro ambiente que leva em conta a comunicação fora da CN outros parâmetros também seriam relevantes como Jitter e Perca de pacotes, porém a ferramenta de simulação mininet não traz uma boa confiabilidade para esses parâmetros.

## REFERÊNCIAS

- 3GPP. System architecture for the 5G System 5GS. 2018. Disponível em: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3144>. Acesso em: 2 abr. 2018.
- ADEDAYO, A. O.; TWALA, B. Qos functionality in software defined network. In: IEEE. **Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2017 International Conference on**. [S. l.], 2017. p. 693–699.
- AFAQ, M.; REHMAN, S. U.; SONG, W.-C. Visualization of elephant flows and qos provisioning in sdn-based networks. In: IEEE. **2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)**. [S. l.], 2015. p. 444–447.
- ALIPIO, M. I.; UDARBE, G. M.; MEDINA, N. R. B.; BALBA, M. N. Q. Demonstration of quality of service mechanism in an openflow testbed. In: IEEE. **2016 IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)**. [S. l.], 2016. p. 443–447.
- BABIARZ, J.; CHAN, K.; BAKER, F. Configuration guidelines for diffserv service classes", rfc 4594. Citeseer, 2006.
- BABIARZ, J.; CHAN, K.; BAKER, F. Rfc 4594: configuration guidelines for diffserv service classes. **Internet Engineering Task Force (IETF)**, 2006.
- BINSAHAQ, A.; SHELTAMI, T. R.; SALAH, K. A survey on autonomic provisioning and management of qos in sdn networks. **IEEE Access**, IEEE, v. 7, p. 73384–73435, 2019.
- BIZANIS, N.; KUIPERS, F. A. Sdn and virtualization solutions for the internet of things: A survey. **IEEE Access**, IEEE, v. 4, p. 5591–5606, 2016.
- CISCO-FAQ. **Perguntas mais frequentes sobre QoS**. 2015. Disponível em: [https://www.cisco.com/c/pt\\_br/support/docs/quality-of-service-qos/qos-policing/22833-qos-faq.html/](https://www.cisco.com/c/pt_br/support/docs/quality-of-service-qos/qos-policing/22833-qos-faq.html/). Acesso em: 2 dez. 2018.
- DINIZ, P. H.; JUNIOR, N. A. Ferramenta iperf: geração e medição de tráfego tcp e udp. **Notas Técnicas**, v. 4, n. 2, 2014.
- DUGAN, J. Iperf tutorial. **Columbus: Summer JointTechs**, p. 1–4, 2010.
- ELAYOUBI, S. E.; FALLGREN, M.; SPAPIS, P.; ZIMMERMANN, G.; MARTÍN-SACRISTÁN, D.; YANG, C.; JEUX, S.; AGYAPONG, P.; CAMPOY, L.; QI, Y. *et al.* 5g service requirements and operational use cases: Analysis and metis ii vision. In: IEEE. **2016 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)**. [S. l.], 2016. p. 158–162.
- ERICSSON. **White-paper Ericsson Network functions virtualization and software management**. 2014. Disponível em: <https://www.ericsson.com/assets/local/publications/white-papers/network-functions-virtualization-and-software-management.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2018.
- FISCHER, H. **A history of the central limit theorem: From classical to modern probability theory**. [S. l.]: Springer Science & Business Media, 2010.

- GARG, S.; KAUR, K.; AHMED, S. H.; BRADAI, A.; KADDOUM, G.; ATIQUZZAMAN, M. Mobqos: Mobility-aware and qos-driven sdn framework for autonomous vehicles. **IEEE Wireless Communications**, IEEE, v. 26, n. 4, p. 12–20, 2019.
- GITHUB. **Scripts Ryu QoS**. 2019. Disponível em: <https://github.com/analistajcarloslima/RyuQos>. Acesso em: 5 abr. 2019.
- GUPTA, A.; JHA, R. K. A survey of 5g network: Architecture and emerging technologies. **IEEE access**, IEEE, v. 3, p. 1206–1232, 2015.
- GUTTMAN, E.; ALI, I. Path to 5g: A control plane perspective. **Journal of ICT Standardization**, River Publishers, v. 6, n. 1, p. 87–100, 2018.
- ITU. **IMT Vision. Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond**. 2015. Disponível em: <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083>. Acesso em: 9 dez. 2018.
- JAMHOUR, E. **Mecanismos de QoS em Linux tc – Traffic Control**. 2014. Disponível em: [www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/Pessoal/Mestrado/TARC/QoSLinux.pdf](http://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/Pessoal/Mestrado/TARC/QoSLinux.pdf). Acesso em: 13 jul. 2018.
- JIN, X.; LI, L. E.; VANBEVER, L.; REXFORD, J. Softcell: Scalable and flexible cellular core network architecture. In: **ACM. Proceedings of the ninth ACM conference on Emerging networking experiments and technologies**. [S. l.], 2013. p. 163–174.
- KARAKUS, M.; DURRESI, A. Quality of service (qos) in software defined networking (sdn): A survey. **Journal of Network and Computer Applications**, Elsevier, v. 80, p. 200–218, 2017.
- KAUR, K.; SINGH, J.; GHUMMAN, N. S. Mininet as software defined networking testing platform. In: **International Conference on Communication, Computing & Systems (ICCCS)**. [S. l.: s. n.], 2014. p. 139–42.
- MCKEOWN, N.; ANDERSON, T.; BALAKRISHNAN, H.; PARULKAR, G.; PETERSON, L.; REXFORD, J.; SHENKER, S.; TURNER, J. Openflow: enabling innovation in campus networks. **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**, ACM, v. 38, n. 2, p. 69–74, 2008.
- NTTC. **Nippon Telegraph and Telephone Corporation-RYU network operating system**. 2017. Disponível em: <https://ryu.readthedocs.io/en/latest/>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- OLIVEIRA, L. A.; ALENCAR, M. S.; LOPES, W. T. A. Evolução da arquitetura de redes móveis rumo ao 5g. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v. 8, n. 2, p. 43–50, 2018.
- ONF. **The Basic Model of SDN**. 2017. Disponível em: <https://goo.gl/Yv8iv8>. Acesso em: 2 mai. 2019.
- OPENVSWITCH. **Quality of Service (QoS) - Open vSwitch 2.7.90 documentation**. 2018. Disponível em: <http://docs.openvswitch.org/en/latest/faq/qos>. Acesso em: 6 jun. 2019.
- PARVEZ, I.; RAHMATI, A.; GUVENC, I.; SARWAT, A. I.; DAI, H. A survey on low latency towards 5g: Ran, core network and caching solutions. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 20, n. 4, p. 3098–3130, 2018.

- PFUFF, B.; PETTIT, J.; KOPONEN, T.; JACKSON, E.; ZHOU, A.; RAJAHALME, J.; GROSS, J.; WANG, A.; STRINGER, J.; SHELAR, P. *et al.* The design and implementation of open vswitch. In: **12th {USENIX} Symposium on Networked Systems Design and Implementation** ({NSDI} 15). [S. l.: s. n.], 2015. p. 117–130.
- RAHRER, T.; FIANDRA, R.; WRIGHT, S. Triple-play services quality of experience (qoe) requirements and mechanisms-for architecture & transport. In: **DSL Forum**. [S. l.: s. n.], 2006.
- RODRIGUEZ-NATAL, A.; ERMAGAN, V.; NOY, A.; SAHAI, A.; KAEMPFER, G.; BARKAI, S.; MAINO, F.; CABELLOS-APARICIO, A. Global state, local decisions: Decentralized nfv for isps via enhanced sdn. **IEEE Communications Magazine**, IEEE, v. 55, n. 4, p. 87–93, 2017.
- SALMAN, O.; ELHAJJ, I. H.; KAYSSI, A.; CHEHAB, A. Sdn controllers: A comparative study. In: IEEE. **2016 18th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)**. [S. l.], 2016. p. 1–6.
- SHAFI, M.; MOLISCH, A. F.; SMITH, P. J.; HAUSTEIN, T.; ZHU, P.; SILVA, P. D.; TUFVESSON, F.; BENJEBBOUR, A.; WUNDER, G. 5g: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice. **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**, IEEE, v. 35, n. 6, p. 1201–1221, 2017.
- STATO, A. **Controle de Tráfego usando QOS (HTB) e iptables**. 2016. Disponível em: <https://stato.blog.br/wordpress/controle-de-trafego-usando-qos-htb-e-iptables>. Acesso em: 12 mai. 2019.
- TIKHVINSKIY, V.; BOCHECHKA, G. Prospects and qos requirements in 5g networks. **Journal of Telecommunications and Information Technology**, n. 1, p. 23–26, 2015.
- TOMOVIC, S.; PRASAD, N.; RADUSINOVIC, I. Sdn control framework for qos provisioning. In: IEEE. **2014 22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)**. [S. l.], 2014. p. 111–114.
- TSUTSUI, T. 5g and it's surrounding situations until 2020. In: IEEE. **2017 Symposium on VLSI Technology**. [S. l.], 2017. p. T2–T6.
- WONG, V. W.; SCHOBBER, R.; NG, D. W. K.; WANG, L.-C. **Key technologies for 5G wireless systems**. [S. l.]: Cambridge university press, 2017.
- ZHANG, Y.; CHEN, M. **Cloud Based 5G Wireless Networks**. [S. l.]: Springer, 2016.

## APÊNDICE A – CÓDIGO DA APLICAÇÃO EID

Este apêndice descreve todo o código java da aplicação EID-EXTRACT IPERF DATA. Através dessa aplicação outros pesquisadores podem alterar os parâmetros para criar filtros para arquivos de dados iperf que contenham varias linhas e que contenham formações te resultados diferentes. O desenvolvedor pode definir algumas configurações para criar o filtro de acordo com a necessidade. A seguir, é destrito todos o código usado para criação da aplicação.

```
1 package main;
2 import java.io.BufferedReader;
3 import java.io.FileReader;
4 import java.io.FileWriter;
5 import java.io.IOException;
6 import java.io.PrintWriter;
7 import java.util.logging.Level;
8 import java.util.logging.Logger;
9 import javax.swing.JOptionPane;
10
11 /*
12  * @author JoaoCarlosLima
13  */
14
15 public class Main {
16
17     public static void main(String[] args) {
18
19         String extract = "";
20         try {
21             BufferedReader br = new BufferedReader(new FileReader("
22                 arquivo.txt"));
23             /*
24              *parametros de configuracao para leitura do arquivo iperf
25              */
26             while (br.ready()) {
27                 String linha = br.readLine();
```

```
27         System.out.println(linha);
28         if (linha.contains("Mbits/sec")) {
29             int inicio = linha.indexOf("Mbits");
30             String Filtro = linha.substring(inicio-5,
31                 inicio) + "\n";
32             if(!Filtro.contains(".")){
33                 extract += "\n";
34             }else{
35                 extract += Filtro;
36             }
37         }
38
39         FileWriter arq;
40         try {
41             arq = new FileWriter("iperfextract.txt");
42             PrintWriter gravarArq = new PrintWriter(arq);
43             gravarArq.printf(extract);
44             arq.close();
45
46             JOptionPane.showMessageDialog(null, "DADOS DE IPERF
47                 EXTRAIDOS COM SUCESSO!");
48         } catch (IOException ex) {
49             Logger.getLogger(Main.class.getName()).log(Level.
50                 SEVERE, null, ex);
51         }
52         br.close();
53     } catch (IOException ioe) {
54         ioe.printStackTrace();
55     }
```