

# Modelos para Fatiamento de Redes 5G

Caio Roscelly Barros Fagundes, Lisandro Lovisolo, Marcelo Rubinstein

**Resumo**— Este artigo propõe modelos de fatias de rede (NSTs - *Network Slice Templates*) para redes 5G para diferentes cenários de uso da rede definidos pelo IMT-2020: eMBB (*enhanced Mobile BroadBand*), URLLC (*Ultra Reliable Low Latency Communications*) e mMTC (*massive Machine-Type Communications*). Simula-se uma rede 5G sob o modelo NST proposto para o cenário eMBB Urbano Macro a fim de analisar se o NST proposta atende ao SLA (*Service Level Agreements*) definidos para esse perfil de uso.

**Palavras-Chave**— Modelos de Fatias de Rede, Redes 5G.

**Abstract**— This paper proposes *Network Slice Templates* (NSTs) for different use case scenarios of 5G networks defined by IMT-2020: eMBB (*enhanced Mobile BroadBand*), URLLC (*Ultra Reliable Low Latency Communications*), and mMTC (*massive Machine-Type Communications*). One simulates a 5G network under the proposed NST model for the eMBB Urban Macro scenario to analyze whether the proposed NST can meet the Service Level Agreement (SLA) for this profile.

**Keywords**— Network Slice Templates, 5G Networks.

## I. INTRODUÇÃO

A quinta geração (5G) de redes de comunicações móveis sem fio é definida pelo IMT-2020 (*International Mobile Telecommunications 2020 and beyond*) em parceria com o 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) e outras entidades [15]. O IMT-2020 [10] define os cenários eMBB (*enhanced Mobile BroadBand*), URLLC (*Ultra Reliable Low Latency Communications*) e mMTC (*massive Machine-Type Communications*) [9], [15]. As redes 5G introduzem tecnologias inovadoras, com destaque para o fatiamento. Uma das principais motivações é sua aplicação em tecnologias e aplicações emergentes, como a Internet das Coisas (IoT), veículos autônomos e realidade aumentada [16], [21], dentre outras. Observa-se que os usuários de diferentes aplicações sobre a rede 5G possuem necessidades e demandas distintas.

Uma forma de satisfazer as diferentes demandas dos usuários de diferentes cenários e aplicações é segmentá-los em grupos e definir fatias lógicas dedicadas da rede para cada grupo. Este conceito, conhecido como *Network Slicing* (NS) [8], [16], [19], confere flexibilidade e programabilidade dos recursos de rede. Este artigo propõe modelos de fatias de redes, os *Network Slice Templates* (NSTs), que são usados na criação de instâncias de fatias de rede (*Network Slice Instances* – NSIs).

Diversos trabalhos abordam o fatiamento em redes 5G [18]–[22]. Por outro lado, alguns, como [8], discutem atributos para caracterizar fatias de rede, porém não fornecem valores aos atributos para criar NSTs. Ademais, [9] e [15] definem cenários de uso, mas não propõem NSTs nem simulam redes 5G a partir deles. Neste trabalho, aproveitamos tais definições

e atributos para criar NSTs aplicáveis em ambientes urbanos macro. Em geral, é raro encontrar trabalhos que estabeleçam uma conexão entre a simulação de redes 5G e a avaliação do desempenho de acordo com os requisitos do NST para cada cenário de uso. Em outras palavras, a proposição e aplicação prática de NSTs, assim como a simulação direta de redes 5G fim-a-fim usando NSTs especificadas, são pouco comuns na literatura. Além disso, a configuração da fatia simulada neste estudo foi influenciada pelo trabalho de [5].

Este artigo propõe NSTs para os cenários urbanos macro eMBB, URLLC e mMTC, baseados em estudos anteriores e requisitos genéricos da literatura, com o objetivo de fornecer uma referência técnico-teórica para a criação de novas NSTs e simulações de redes 5G fatiadas. Nossos modelos incorporam atributos e requisitos dos cenários de uso definidos no *Generic Network Slice Template* pela GSM Association [8], com potencial para serem adotados em cenários simulados e ou reais.

Demonstramos a eficácia do NST proposto ao aplicá-lo no cenário eMBB em uma rede simulada 5G e satisfazer o SLA (*Service Level Agreement*). Este estudo inova ao conduzir simulações de fatiamento em redes 5G fim-a-fim para avaliar propostas de NSTs, destacando sua relevância no contexto de redes 5G fatiadas e atuando como guia para simulações de rede 5G utilizando softwares de código aberto. Assim, a pesquisa contida neste artigo tem o potencial de impulsionar novas investigações e avaliações de desempenho de fatias de rede 5G, assim como novas propostas de NSTs, contribuindo para o avanço do campo.

A seguir, a Seção II descreve os cenários de uso de serviços e os conceitos de fatiamento de rede. A Seção III apresenta as propostas de NSTs. A Seção IV descreve a simulação do cenários eMBB numa rede 5G. A Seção V apresenta os resultados, isto é, o desempenho da fatia de rede definida a partir do NST para o cenário eMBB. Por fim, a Seção VI conclui este artigo.

## II. CENÁRIOS DE USO DE REDES 5G, FATIAMENTO DE REDES E NSTS

Este artigo utiliza os cenários de uso eMBB, URLLC e mMTC urbanos macro, que empregam macrocélulas para cobertura contínua em áreas urbanas [1], [3], [10], [15], para propor NSTs.

O fatiamento da rede na tecnologia 5G permite a criação de redes virtualizadas independentes para atender os diferentes serviços ou casos de uso [13], [19]. As redes virtuais independentes são denominadas instâncias de fatias de rede, ou NSIs. O processo de criação de NSIs envolve definir os parâmetros e requisitos que ela deve satisfazer. Esses parâmetros são especificados pelo NST que é usado para gerar o NSI. Uma

NSI é composta por um conjunto de funções de rede e recursos necessários, criados com base no NST correspondente. O NST especifica os atributos e seus valores (requisitos) necessários para gerar a NSI desejada. Cada NSI é identificada por um identificador de fatia de rede (SST - *Slice Service Types*), que permite diferenciar entre as fatias da rede.

O IMT-2020 e o 3GPP definem os atributos de NSTs e NSIs [8], [13] via modelo genérico de fatia (*Generic Slice Template – GST*) que especifica os atributos genéricos de um NST. Entretanto, não fornecem especificações das NSTs, isto é, os valores de seus atributos. Por outro lado, o IMT-2020 [1]–[3], [11], [12] impõe requisitos de desempenho ao especificar os SLAs que devem ser atendidos pelos NSIs.

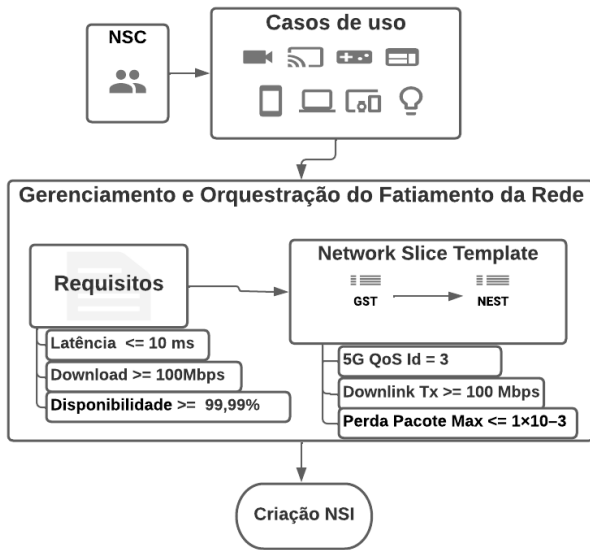


Fig. 1. Processo de criação de uma NSI a partir de um NST (GST e NEST) (baseado em [8]).

A Figura 1 mostra a criação de uma NSI para suportar um novo caso de uso e seu serviço correspondente. Um NST é composto por um GST e um NEST (*NETwork Slice Type*). Um NEST é um GST preenchido com valores específicos para criar uma nova NSI. Logo, o NST especifica os requisitos do serviço. A rede deve entender as necessidades dos consumidores da fatia de rede (*Network Slice Consumers – NSCs*) a fim de fornecer uma NSI dedicada que atenda aos requisitos dos usuários. A camada de gerenciamento e orquestração da rede configura e aloca recursos de rede (*Network Functions – NFs*) para atender aos requisitos mínimos especificados. Então, a geração de uma NSI consiste na configuração das NFs para atender ao SLA especificado no NST.

### III. PROPOSTAS DE NST

Propomos três NSTs para atender aos três cenários de uso 5G discutidos na Seção II. Para especificar os requisitos dos serviços, realizou-se uma pesquisa detalhada em [1]–[3], [8], [11], [12], [14], a fim de propor valores para os atributos de GST e obter as NSTs.

Alguns estudos indicam os SLAs recomendados para cada caso de uso, cenário, e serviço de rede 5G [1], [2], [11],

[13], [15]. A partir dessas fontes atribuem-se os valores dos atributos dos NSTs propostos. As especificações das NSTs resultante são apresentadas na Tabela I. Cada cenário de uso presta serviços diferentes, resultando em diferentes valores nos atributos das NSTs propostas.

TABELA I  
NSTs PROPOSTOS.

Atributos do GST	Cenários de Uso			Referências	
	eMBB Urbano Macro	URLLC Urbano Macro	mMTC Urbano Macro		
SST	1	2	3	[2]	
Disponibilidade	Alta: >95-99,999%	Muito Alta: >99,999%	Média: 90-95%	[3], [6]	
Qualidade do serviço da fatia	3GPP 5QI	3	85	9	
	Tipo de Recurso	GBR	Atraso Crítico GBR	Não-GBR	
	Límite para Atraso de Pacote (PDB)	$50 \cdot 10^{-3}$ segundos	$5 \cdot 10^{-3}$ segundos	x	[2], [3], [6], [9], [11], [12]
	Taxa de Erro dos Pacotes (PER)	$1 \cdot 10^{-3}$ (0,1%)	$1 \cdot 10^{-5}$ (0,001%)	$1 \cdot 10^{-6}$ (0,0001%)	
	Nível de Prioridade	30	18	90	[2]
Continuidade de Sessão e Serviço (SSC mode)	1	1	2	[2]	
Velocidade do Dispositivo Suportada (mobilidade)	120 km/h - Veicular	120 km/h - Veicular	0 km/h - Estacionário	[2], [3], [6], [9], [11]	
Suporte a Aplicações de Missão Crítica	Serviços de missão não-crítica			[2]	
Nível de Isolamento	Lógico	Lógico	Lógico	[6]	
Densidade de UEs por km <sup>2</sup>	25 000 dispositivos	4 000 dispositivos	1 000 000 dispositivos	[3]	
Taxa de Transferência de Dados por UE para Downlink	50 000 kbps	x	x	[3], [9], [11]	
Taxa de Transferência de Dados por UE para Uplink	25 000 kbps	x	x		
Comprimento Máximo de Pacote	1 500 Bytes	160 Bytes	160 Bytes	[2]	

Dos diversos atributos de um GST/NST [2], [8], quinze foram considerados na proposição das NSTs, entre os principais temos: i) 3GPP 5QI (*5G QoS Indicator*); ii) Tipo do recurso - GBR (*Guaranteed Bit Rate*); iii) Taxa de Erro de Pacote; iv) Limite de Atraso de Pacote; v) Taxas de transferências de dados para download; entre outros. A Tabela I apresenta os três NSTs propostos, com os valores dos atributos detalhados.

Em seguida, simulamos uma rede 5G configurada com o NST eMBB Urbano Macro proposto. A partir da simulação analisa-se se a rede atende aos requisitos desejados. Deste modo, avaliamos se o NST urbano macro eMBB proposto atende ao SLA especificado para uma fatia de rede eMBB.

### IV. AMBIENTE DE SIMULAÇÃO DE REDE 5G

Utilizamos os simuladores Free5GC [7] e UERANSIM [4] para simular uma arquitetura de rede 5G fatiada, conforme definido pela 3GPP [2]. Ambos os simuladores seguem os protocolos de comunicação padrão estabelecidos pela 3GPP [2], [4], [7], [16], permitindo a integração entre eles, com a exceção de que o UERANSIM não simula as camadas físicas e MAC (*Media Access Control*).

O Free5GC implementa o núcleo da rede 5G, incluindo todos os elementos de rede (*Network Elements – NE*), e oferece suporte ao fatiamento de redes [5], [7], [16], conforme

ilustrado na Figura 2. Por sua vez, o UERANSIM é um simulador de Rede de Acesso por Rádio (*Radio Access Network – RAN*) recomendado pelo Free5GC para criar uma simulação de rede 5G completa por software. O Integrando-os simulamos o fatiamento de rede em uma rede 5G de ponta-a-ponta para avaliar propostas de NSTs.

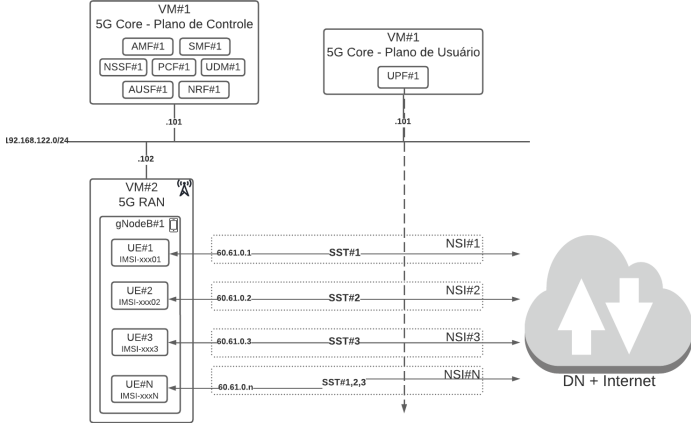


Fig. 2. Arquitetura do ambiente de simulação da rede 5G e conexão entre simuladores (baseado em [2]).

As simulações são executadas em uma máquina física com 14 GB de RAM e 12 CPUs AMD Ryzen 5 PRO, usando o sistema operacional Ubuntu 20.04. Utilizamos o KVM (*Kernel Virtual Machine*) para criar duas Máquinas Virtuais (VMs) conectadas por uma ponte: a VM#1 é o Núcleo da rede 5G e a VM#2 é a RAN (gNodeB e UEs). O núcleo da rede é composto por todos os elementos do plano de usuário e de controle da rede; já a RAN é composta por uma estação radio base (gNodeB) e os UEs, conforme retratado na Figura 2. Para interligar os simuladores, configuramos os IPs dos elementos de rede Core e RAN. Configuramos também os UEs (*User Equipments*), atribuindo-lhes IMSIs (*International mobile subscriber identity*) e os SSTs das fatias da rede, dentre outros passos necessários no Free5GC [7].

A porcentagem de UEs ativos simultâneos na rede, ou fator de atividade, é fixada em 10% do total de UEs ativos conectados à rede [3], [6], indicando que estes UEs estão trafegando dados. Um script paralelo à simulação usa o curl para transferir dados TCP (*Transfer Data Protocol*), a fim de simular tráfego na rede e implementar o fator de atividade, realizando downloads de arquivos de 10 MB do servidor iperf para 10% dos UEs, que atuam como clientes na rede RAN; os UEs operam de forma *round-robin* ao realizar o download. Incrementamos o número de UEs simultaneamente conectados à rede entre 100, 250 até 500 UEs. Para valores superiores a 500 UEs, as simulações terminaram prematuramente por falta de memória e/ou capacidade de processamento.

Realizamos 570 rodadas de simulação, para cada uma das diferentes quantidades de UEs (100, 250, 500). Em cada rodada, medimos o desempenho da rede para cada UE, individualmente, de forma a analisar o cumprimento ou não dos SLAs. Utilizamos o software iperf para avaliar as taxas de transferência de dados e de erros de pacotes entre UEs e a rede Core 5G.

O artigo se concentra na simulação isolada de um NST para o cenário eMBB e não aborda a coexistência entre fatias. Para uma análise mais abrangente e realista do fatiamento em redes 5G, sugere-se considerar a coexistência de NSTs em futuras pesquisas, incluindo cenários URLLC e mMTC rodando em concorrência por recursos.

## V. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA REDE 5G E ANÁLISE DE RESULTADOS

Redes 5G apresentam diversas especificações e requisitos técnicos mínimos de desempenho [11]. Dentre essas, exploramos o desempenho das fatias de rede 5G em relação aos atributos de taxas de transferência de dados de download (*downlink Tx*) e upload (*uplink Tx*), latência (*Packet Delay Budget – PDB*), taxa de perda de pacotes (*Packet Error Rate – PER*) e disponibilidade, sob diferentes quantidades de conexões (UEs).

### A. Taxas de Download e de Upload

Em cada rodada de simulação cria-se uma quantidade de UEs que varia entre os valores 100, 250 e 500, com um fator de atividade fixo de 10% – e há 570 rodadas para cada quantidade de UEs. Localmente, em cada UE, limita-se a taxa de transmissão a 200 Mbps (acima dos 50 Mbps especificados no NST proposta). A Figura 3 mostra a *Cumulative Distribution Function* (CDF) das taxas de transferência de dados de download, em Mbps.

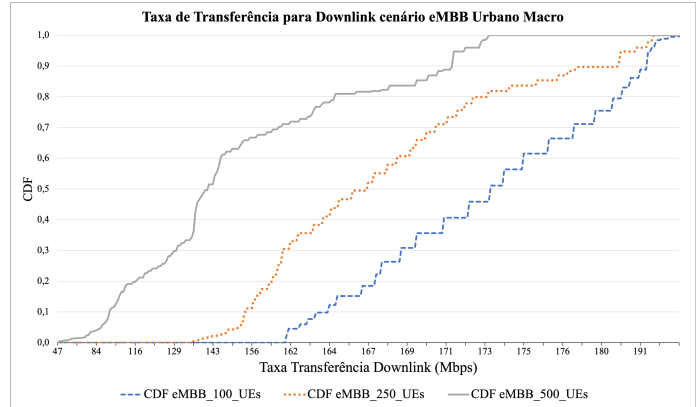


Fig. 3. CDF da taxa de transferência de dados de download por UE no cenário eMBB Urbano Macro.

Os resultados indicam que a taxa de dados no download por UE é superior a 50 Mbps, para todas as quantidades de UEs analisadas, excedendo o valor mínimo exigido pelo NST eMBB na Tabela I; evidenciando que a NSI alcançou um desempenho superior ao mínimo exigido pelo IMT-2020 e 3GPP [3]. No entanto, 0,5% das medições apresentam taxas um pouco abaixo de 50 Mbps. Isto é, a rede simulada atingiu o limite de UEs transmitindo em paralelo para o fator de atividade de 10%.

O UERANSIN não impõe restrições à largura de banda disponível para os usuários na camada física. Assim, a metodologia empregada neste artigo permite avaliar se as NSIs

instanciadas sobre as máquinas virtuais a partir do NST são capazes de satisfazer os requisitos dos usuários. Isto posto, como a rede 5G simulada tem a largura de banda limitada pelos recursos físicos e virtuais, é esperado que o aumento da quantidade de UEs conectados à rede cause uma redução das taxas de transferência. Isso é evidente na Figura 3, onde as taxas de download por UE são menores para 500 UEs do que para 250 UEs. A partir de 500 UEs, a rede se torna incapaz de atender a suas demandas, requerendo o uso de mais estações base.

Já a Figura 4 apresenta as taxas de transferência de dados de upload por UE, em Mbps. Os resultados obtidos mostram que o atributo de taxa de transferência para upload é superior a 25 Mbps, valor mínimo requerido pelo NST proposto na Tabela I.

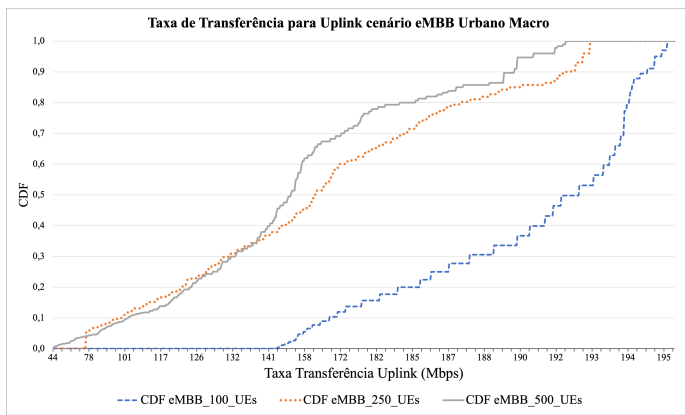


Fig. 4. CDF da taxa de transferência de dados de upload por UE no cenário eMBB Urbano Macro.

a) *Efeitos da Variação do Fator de Atividade:* Mantêm-se 250 UEs registrados e variamos o fator de atividade de 10% para 15%, 20%, 30% e 40%. Isso permite verificar se a rede atende aos requisitos de taxa de download com o aumento da quantidade de UEs que demandam tráfego. A Figura 5 traz as CDFs das taxas de transferência de download por UE variando a densidade de conexões na rede 5G para o cenário eMBB Urbano Macro. Observamos na Figura 5 que para um fator de atividade acima de 30%, o desempenho da rede fica comprometido, pois a maioria dos usuários alcança taxas de download próximas ou abaixo de 50 Mbps, abaixo do mínimo exigido pelo 3GPP. No cenário mais crítico, com fator de atividade de 40%, quase metade dos usuários têm taxas de download abaixo de 50 Mbps, indicando que a fatia de rede não consegue atender satisfatoriamente os UEs conectados a ela.

### B. Latência

A Figura 6 mostra os atrasos de pacote (*Packet Delay Budget – PDB*) por UE. As latências foram obtidas usando a ferramenta ping para medir o tempo de ida e volta (*Round Trip Time – RRT*) entre os UEs e o UPF (*User Plane Function*) da rede Core 5G.

Os resultados da Figura 6 demonstram que os atrasos de pacote são inferiores a  $50 \cdot 10^{-3}$  seg. para o cenário eMBB

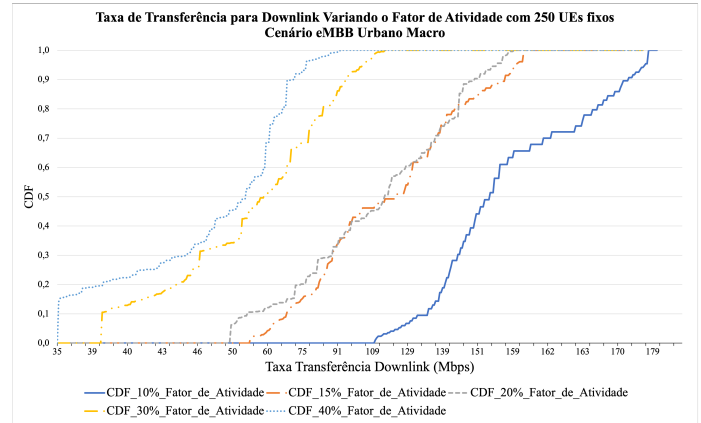


Fig. 5. Taxa de transferência de dados por UE para download obtida para o cenário eMBB Urbano Macro variando o fator de atividade de 10% até 40%.

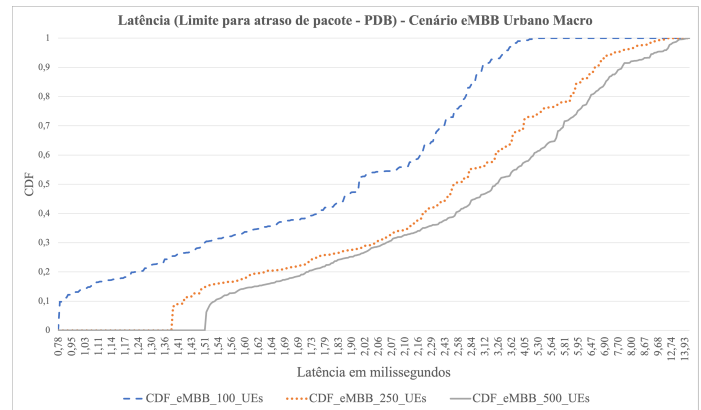


Fig. 6. Latência (*Packet Delay Budget*), em milissegundos, para o cenário de uso eMBB Urbano Macro.

Urbano Macro para todas as quantidades de UEs simuladas. Esse valor atende o máximo estabelecido pelo NST proposta na Tabela I. Logo, o atributo de latência proposto pelo NST criado na Tabela I para o caso de uso eMBB Urbano Macro atende aos requisitos definidos para as redes 5G pelo 3GPP em [2].

### C. Taxa de Perda de Pacotes

A Figura 7 apresenta os valores para a taxa de erros de pacote por UE, em percentual, para as amostras coletadas durante a simulação. A ferramenta iperf foi empregada para medir a taxa de pacotes que foram processados pelo remetente (UE) mas que não foram entregues com sucesso ao destinatário da rede Core (UPF).

Os resultados da Figura 7 indicam que as taxas de erros de pacote no cenário eMBB Urbano Macro atendem aos valores máximos de perda estabelecidos pelo NST proposto na Tabela I, independentemente do número de UEs simuladas. A taxa de erro se manteve abaixo de  $10^{-3}$  (ou 0,1%), que é o limite máximo exigido pelo 3GPP para este cenário [2]. Portanto, a análise dos resultados obtidos nas simulações confirma que o NST criada na Tabela I, para o caso de uso urbano macro eMBB, atende aos requisitos mínimos estabelecidos para as

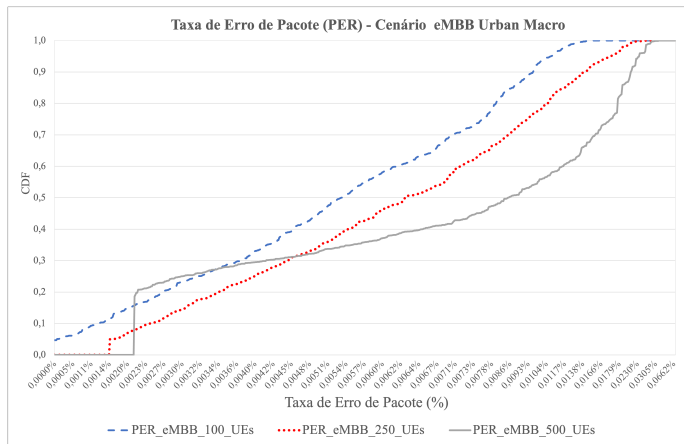


Fig. 7. Taxa de Perdas de Pacote (PER) para o cenário Urbano Macro eMBB.

redes 5G pelo 3GPP.

## VI. CONCLUSÕES

Propusemos três modelos para NSTs e avaliamos uma rede 5G para validar se a fatia de rede (NSI) dedicada ao cenário eMBB Urbano Macro atende aos requisitos propostos no respectivo NST. Apresentamos um caso de sucesso de simulação de rede 5G fim-a-fim usando software de código aberto, representando uma solução a ser utilizada em pesquisas futuras. Isso mostra que é viável simular redes 5G fatiadas via software.

Os resultados da simulação mostram que a) os valores dos atributos propostos pelo nosso NST eMBB Urbano Macro respeitam todos os requisitos técnicos do 3GPP e IMT-2020 para redes 5G; b) a fatia de redes 5G dedicada aos cenários de uso eMBB Urbano Macro é capaz de atender aos SLAs criados em nossas propostas de NST; c) embora apenas o cenário eMBB tenha sido simulado, representando um dos três cenários de uso propostos pelas NSTs, uma pesquisa detalhada nas mais diversas fontes foram realizadas para sugerir os cenários.

Como descrito na Seção III, os NSTs deste artigo foram criados baseando-se nos mais diversos requisitos mínimos das redes 5G, definidos pelo IMT-2020 e 3GPP, levando em consideração ainda os diversos cenários de uso da rede. Deste modo, afirmar que as fatias da rede simuladas estão em conformidade com as NSTs propostas na Tabela I significa que a rede alcança os requisitos mínimos definidos pelo IMT-2020 e 3GPP.

Além disso, este artigo não considerou a concorrência entre fatias da rede. Cada simulação conecta os UEs a apenas uma fatia da rede eMBB. Portanto, trabalhos futuros podem analisar o desempenho das fatias da rede com concorrência, além de simular os cenários URLLC e mMTC para avaliar seu desempenho [17].

Como resultado, concluímos que nossas propostas de NST fornecem um referencial técnico-teórico para a criação de NSTs para redes 5G, podendo nortear futuras pesquisas sobre novos modelos para novos cenários de uso do serviço.

Dentre os trabalhos futuros, destacam-se a melhoria da simulação eMBB e a simulação dos cenários mMTC e URLLC [5], [17]. Para o cenário eMBB, é necessário aumentar a quantidade de UEs. Ainda mais, altos fatores de atividade causam redução nas taxas de transferência no cenário eMBB urbano; portanto, propõe-se estudar cenários de alta demanda. Para os cenários URLLC e mMTC, pretende-se avaliar se as fatias atendem aos requisitos definidos pelos respectivos NSTs propostos neste artigo. Além disso, pretende-se simular as fatias em paralelo para avaliar o impacto da concorrência por recursos em todos os casos de uso propostos, seguindo [17].

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq e da FAPERJ.

## REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP, ETSI. Study on scenarios and requirements for next generation access technologies (3GPP TR 38.913 version 14.3.0 Release 14). 2017.
- [2] 3GPP, ETSI. System architecture for the 5G System (5GS) (3GPP TS 23.501 version 16.6.0 Release 16). 2020.
- [3] 3GPP, ETSI. Service requirements for the 5G system (3GPP TS 122.261 version 16.14.0 Release 16). 2022.
- [4] ALÍ GÜNGÖR. UERANSIM 5G Solutions - Development Guideline, 2021.
- [5] Yu-Heng Chai. Evaluating dedicated slices of different configurations in 5g core. *Journal of Computer and Communications*, 9(7), 2022.
- [6] Coleago Consulting Ltd. Estimating the mid-bands spectrum needs in the 2025-2030 timeframe. 2020.
- [7] Free5gc Org, National Chiao Tung University (NCTU). What is free5GC?, 2021.
- [8] GSM Association. Generic Network Slice Template Version 5.0. 2021.
- [9] International Telecommunications Union. Setting the Scene for 5G: Opportunities & Challenges. 2018.
- [10] International Telecommunications Union - Radiocommunication. Recommendation M.2083 : IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond. 2015.
- [11] International Telecommunications Union - Radiocommunication. Report ITU-R M.2410-0 : Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s). 2017.
- [12] International Telecommunications Union - Radiocommunication Standardization Sector. Requirements, evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-2020 - Report ITU-R M.2411-0. 2017.
- [13] International Telecommunications Union - Telecommunication Standardization Sector. Framework for the support of network slicing in the IMT-2020 network - Recommendation ITU-T Y.3112. 2018.
- [14] International Telecommunications Union - Telecommunications Sector. Network performance objectives for IP-based services - Recommendation ITU-T Y.1541. 2011.
- [15] Pablo Romero-Diaz Jorge Navarro-Ortiz. A Survey on 5G Usage Scenarios and Traffic Models. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(2):905–929, Abril 2020.
- [16] David Lake, Ning Wang, Rahim Tafazolli, and Louis Samuel. Softwarization of 5g networks— implications to open platforms and standardizations. *IEEE Access*, 9:88902–88930, 2022.
- [17] Chia-Wei Liao, Fuchun Joseph Lin, and Yoichi Sato. Evaluating nfv-enabled network slicing for 5g core. In *2020 21st Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, pages 401–404, 2020.
- [18] MPIRICAL Limited. Introduction to 5G - Reference Document. 2017.
- [19] A. Napolitano, A. Giorgetti, K. Kondepu, L. Valcarenghi, and P. Castoldi. Network slicing: an overview. *2018 IEEE 4th International Forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI)*, pages 1–4, 2018.
- [20] NGMN Alliance. Description of Network Slicing Concept. 2016.
- [21] VIAVI Solutions Inc. 5G Architecture, 2022.
- [22] World Economic Forum. The Impact of 5G: Creating New Value across Industries and Society. 2020.