

# Análise de Desempenho de Agregação de Portadoras não Contíguas no NR-5G

Ravan N. de Oliveira, Lucas I. C. Medeiros, Daniel R. de Luna, Tarciana C. de B. Guerra, Vicente A. de Sousa Junior

**Resumo**—A quinta geração de redes móveis (5G) busca ampliar e otimizar as conexões de toda a rede, atendendo a aplicações com requisitos desafiadores, tais como alta vazão, baixo atraso e alta confiabilidade. As técnicas de gerenciamento de recursos de banda, que são utilizadas para melhorar a taxa útil e possibilitar uma transmissão mais robusta, são essenciais para atender algumas dessas aplicações. Considerando tal importância, este estudo tem como objetivo apresentar uma análise de desempenho da técnica de gerenciamento de recursos de banda chamada agregação de portadoras (CA). Por meio do simulador ns-3 5G-LENA, uma avaliação da CA contígua e não-contígua no 5G New Radio (NR) é feita em diferentes faixas de frequência, em um cenário *indoor* definido pelo 3GPP, variando a taxa oferecida e a distância entre o terminal móvel do usuário UE ( *User Equipment*) e a gNB ( *gNodeB*) a estação base da rede 5G. A faixa e frequência escolhida na combinação das portadoras exerce bastante influência nos resultados a CA não contígua, pode ou não ter um melhor desempenho em relação a CA contígua, dependendo em qual frequência a agregação é feita.

**Palavras-Chave**—5G, NR, Agregação de Portadoras, ns-3.

**Abstract**—The fifth generation of mobile networks (5G) seeks to expand and optimize connections across the entire network, meeting applications with demanding requirements, such as high throughput, low delay and high reliability. Bandwidth management techniques, which are used to improve the useful rate and enable a more robust transmission, are essential to meet some of these applications. Considering such importance, this study aims to present a performance analysis of the bandwidth resource management technique called carrier aggregation (CA). Using the ns-3 5G-LENA simulator, an evaluation of contiguous and non-contiguous CA in 5G New Radio (NR) is performed in different frequency bands, in a scenario *indoor* defined by 3GPP, varying the offered rate and the distance between the mobile terminal of the user UE (User Equipment) and the gNB (gNodeB) the base station of the 5G network varying from the offered rate and the distance between UE and gNB. The chosen frequency band in the combination of carriers exerts a lot of influence on the results: the non-contiguous CA, may or may not have a better performance in relation to the contiguous CA, depending on which how often aggregation is done.

**Keywords**—5G, NR, ns-3, 5G-LENA, Carrier Aggregation.

## I. INTRODUÇÃO

A quinta geração de redes móveis (5G) está sendo implantada no mundo e traz novidades tanto em sua

Os autores são da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), E-mails: ravan.novaes.100, lucas.medeiros.114, daniel.luna.088, tarcianabrito, vicente.sousa}@ufrn.edu.br.

Esse estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

As simulações fornecidas por esse trabalho foram realizadas com o apoio do Núcleo de Processamento de Alto Desempenho da UFRN (NPAD/UFRN).

infraestrutura, quanto nas tecnologias de rádio utilizadas, seja por meio do desenvolvimento dos sistemas anteriores, ou na criação de novas funcionalidades. Para atender uma ampla quantidade de cenários, o 5G utiliza uma maior faixa de frequência, uma quantidade massiva de antenas no transmissor e no receptor, a formatação de feixe (do inglês, *Beamforming*), técnicas de agregação de portadora (*Carrier Aggregation - CA*) e novos esquemas de modulação e codificação de canal [1].

A nova rede de acesso de rádio, New Radio (NR), padronizada pelo 3GPP, pode ser instalada no núcleo da rede 4G, implantando o 5G *Non-Standalone*, ou utilizar-se de uma infraestrutura de núcleo completamente nova, com o 5G *Standalone*. Com isso, a implantação do 5G e sua evolução para o 6G passam por possibilitar maior largura de banda para transmissão sem fio, justificando a necessidade de investigação de desempenho da agregação de portadora no mais diversos cenários possíveis.

A CA é uma técnica de alocação de banda que permite a junção de diferentes portadoras, chamadas de *Component Carriers* (CCs), gerando um único sistema com largura de banda maior ao invés de gerar vários sistemas com transmissão paralelas. É possível agregar CCs em faixas de frequências vizinhas (CA em bandas contíguas) ou utilizar bandas em faixas de frequências distintas (CA em bandas não contíguas), combinando suas particularidades. Contudo, cada CC pode utilizar parâmetros distintos, como modulação, numerologia, largura de banda e potência. Dependendo da banda disponível pela operadora do serviço de telecomunicações, essa técnica permite muitas possibilidades de combinações, variando seu desempenho em termos de taxa de transmissão e qualidade do enlace de rádio.

O estudo aqui apresentado utiliza o simulador *Network Simulator version 3* (ns-3) com objetivo de analisar o desempenho da CA em bandas contíguas e não contíguas para atendimento do caso de uso *enhanced Mobile Broadband* (eMBB) do ITU [2].

O trabalho se encontra dividido da seguinte forma: A Seção II apresenta estudos relacionado ao tema deste artigo; a Seção III descreve a modelagem do sistema utilizada no trabalho, i.e., como o 5G está implementado no ns-3 e os principais parâmetros do cenário de simulação; a Seção IV apresenta o cenário e as campanhas de simulação; a Seção V tem como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos com o estudo; e, por fim, a Seção VI sumariza as principais conclusões e as perspectivas de trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção enumera trabalhos que abordam análise de desempenho da CA no 5G utilizando o ns-3. Em [3], os autores realizam uma investigação da CA em diferentes cenários do 3GPP na faixa *mmWave*, citando a importância da CA também para diversidade espacial. Em [4], a avaliação da CA é feita no LTE (*Long Term Evolution*), avaliando o comportamento da taxa útil com o aumento do número de UEs. São feitos estudos para as seguintes configurações: (i) TDD (*Time Division Duplex*) e FDD (*Frequency Division Duplex*), ambas sem o uso da CA, e; (ii) TDD e FDD em conjunto, com o uso da CA. No estudo fica evidente o melhor desempenho ao utilizar a CA.

O artigo do tipo *survey* [5] apresenta um estudo de cobertura no 5G com objetivo destacar o seu desenvolvimento, implementações e desafios futuros. Os autores citam técnicas utilizadas para aprimoramento de cobertura como CA, D2D (*Device-to-Device*), NOMA (*Non-Orthogonal Multiple Access*) e MIMO. O trabalho [6] evidencia a importância da CA para evolução das comunicações móveis, que foi impulsionada também devido a pandemia e o aumento da demanda da comunicação de dados. Esses artigos explicam o funcionamento da CA de forma clara e serviram de referencial teórico no tema.

Há também trabalhos que não estão relacionados a CA, mas que apresentam uma análise de desempenho no 5G com objetivo do aumento da vazão útil no sistema por meio de outras técnicas. Por exemplo, em [7], os autores implementam uma arquitetura 5G NSA com conectividade dupla (*Dual Connectivity - DC*), para os módulos do LTE e *mmWave* do ns-3. O trabalho também faz uma análise comparativa entre o 5G NSA e o 5G SA com gráficos da vazão útil vs tempo para cada modo, mostrando um melhor desempenho ao utilizar o 5G NSA em relação ao SA, pois o NSA conta com a DC do LTE. Por fim, o artigo [8], que utiliza o Simu5G (biblioteca de simulação do simulador OMNeT++), apresenta e avalia a conectividade dupla no 5G NR (NR-DC) com a comparação entre dois cenários: (i) Conectividade única, utilizando uma gNB operando em 28 GHz; e (ii) Conectividade dupla com NR-DC, com duas gNBs, operando em faixas de frequência distintas, uma em 28 GHz e outra em 2 GHz, ambos para UEs móveis e estacionárias. Os resultados são apresentados para dois tipos de aplicação, eMBB e URLLC, mostrando que o cenário com NR-DC tem melhor taxa útil, latência e perdas de pacotes.

## III. MODELAGEM DO SISTEMA E CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

Uma maneira de avaliar sistemas complexos, entender o seu comportamento, realizar testes e fazer inferências é por meio da avaliação sistêmica, que é uma alternativa barata e acessível para análise de diversos sistemas de comunicações, quando comparada a prototipagem em *hardware* ou análise em redes vivas. Este artigo traz uma avaliação sistêmica utilizando o simulador ns-3 (*network simulator version 3*). Essa escolha foi baseada nos seguintes argumentos: (i) ser um simulador consolidado no âmbito acadêmico e industrial; (ii) ter comunidade ativa; e (iii) ter código aberto, permitindo

testar e implementar funcionalidades de vários sistemas como LTE, NR, Wi-Fi, V2X, dentre outros; (iv) ter um módulo dedicado ao 5G NR, com atualizações constantes e já testado pelos autores deste trabalho.

O 5G-LENA é o módulo do ns-3 criado pelo CTTC [9] para simulações de redes móveis 5G NR do 3GPP. Ele foi desenvolvido a partir da evolução do módulo para sistemas LTE, o LENA, e do módulo *mmwave-ns-3*, trazendo, já em sua primeira versão, em 2019, a modelagem das camadas PHY-MAC NR, alinhada com o NR Release 15 TS 38.300 [9]. Devido ao fato que os benefícios da CA estão mais alinhados com o caso de uso eMBB, que busca um aumento de taxa e mantendo a qualidade na transmissão, decidiu-se avaliar esta tecnologia em um cenário *eMBB - indoor*, no qual um UE se afasta da gNB. Os parâmetros da análise foram escolhidos de acordo com as diretrizes do ITU [2] e do 3GPP [10], estando expostos na Tabela I.

TABELA I  
PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO.

Parâmetros	Valor	Referência
UEs	1	-
gNBs	1	-
MIMO	256 (gNB) x 32 (UE)	[2]
Altura da Antena	3 (gNB) x 1.5 (UE)	[2]
Modelo de tráfego	Full Buffer	[2]
Numerologia	3	[10]
Beamforming	CellScan (Grid of Beams)	[11]

Como mencionado anteriormente, se a CA ocorre em CCs adjacentes, ela é chamada de contígua; se não forem adjacentes, a CA é chamada de não-contígua. Além disso, se a agregação ocorrer em faixas de frequências distintas pode ser chamada de *Inter-Bands*.

A Tabela II mostra as faixas de frequências utilizadas neste estudo. Elas foram escolhidas por se tratar de faixas utilizadas em vários países que estão implantando 5G, inclusive o Brasil. Usando a nomenclatura do 3GPP, a *Frequency Range 1* (FR1) engloba 450 MHz até 6 GHz. A *Frequency Range 2* (FR2), de 24,25 até 52,6 GHz, é considerada a faixa de frequência das ondas milimétricas, conhecida como *mmWave*. Nesta faixa, uma maior largura de banda está disponível (até 400 MHz), o que permite alcançar maiores taxas de transmissão. Por esse motivo, a faixa FR2 foi uma das escolhida para a análise da CA, visto que pelas características destacadas se encaixa melhor com o eMBB.

TABELA II  
BANDAS DE OPERAÇÃO NR UTILIZADAS NO ESTUDO.

	Banda de Operação NR	Faixa de Frequências	Duplexação
FR1	n77	3,3–4,2 GHz	TDD
FR2	n260	37–40 GHz	TDD
	n261	27,5–28,35 GHz	TDD

Com base nas diretrizes do 3GPP [12], as seguintes configurações foram escolhidas para serem avaliadas:

- 1) **Sem CA na faixa n260:** referência de desempenho;
- 2) **Sem CA na faixa n261** referência de desempenho;

- 3) **Com CA contígua na faixa CA\_n260:** faixa FR2 mais alta de estudo;
- 4) **Com CA contígua na faixa CA\_n261:** faixa FR2 baixa;
- 5) **Com CA não-contígua nas faixas CA\_n260 e CA\_n261:** CA em FR 2 identificada como CA\_n260-n261;
- 6) **Com CA não-contíguas na faixa CA\_n77-n260:** CA em faixas FR 1 e FR 2 distintas.

As informações relacionadas aos valores de frequência e largura de banda de todas as análises propostas encontram-se na Tabela III.

TABELA III  
CONFIGURAÇÕES DE BANDAS UTILIZADAS NO ESTUDO.

Configuração NR	Frequência Central	Largura de Banda
Sem CA (n260)	37,7 GHz	400 MHz
Sem CA (n261)	27,7 GHz	400 MHz
CA_n260	CC 1 - 37,6 GHz CC 2 - 37,8 GHz	200 MHz 200 MHz
CA_n261	CC 1 - 27,6 GHz CC 2 - 27,8 GHz	200 MHz 200 MHz
CA_n260-n261	CC 1 - 27,7 GHz CC 2 - 37,7 GHz	200 MHz 200 MHz
CA_n77-n260	CC 1 - 37,7 GHz CC 2 - 3,5 GHz	300 MHz 100 MHz

No que se refere à modelagem do canal de comunicação, seguiu-se as diretrizes da norma TR 38.901 [13] do 3GPP para cenários *indoor*. Os valores para a perda de percurso, sombreamento e desvanecimento de pequena escala, para todas as simulações, podem ser encontrados na Tabela IV.

TABELA IV  
PARÂMETROS DO CANAL 3GPP [13].

Parâmetro	Valor	Descrição
Perda de Percuso	InH-Office Mixed	Cenário 3GPP para escritórios
Sombreamento	$\sigma_{SF} = 8dB$ (NLOS) $\sigma_{SF} = 3dB$ (LOS)	Desvio-padrão do sombreamento
	$d_{cor} = 6 m$ (NLOS) $d_{cor} = 10 m$ (LOS)	Distância de correlação
Probabilidade de LOS	<i>Indoor</i> Mixed office Tabela 7.4.2-1 de [13]	linha de visada
Desvanecimento de pequena escala	<i>Cluster-based</i> Tabela 7.5-6 Part-2 [13]	Delay e DOA spreads
	100 ms	Tempo de coerência do canal

A configuração e objetivos das campanhas de simulação realizadas são apresentados a seguir, todas somam 400 MHz de banda de que seja melhor analisada a influência da CA.

#### IV. CAMPANHAS DE SIMULAÇÃO

O estudo deste artigo é baseado em 5 (cinco) campanhas de simulação, como especificadas a seguir:

##### • Campanha 1:

- **Objetivo:** avaliar o uso da CA contígua em relação a uma configuração sem CA;
- **Configuração:** sem CA n261 em 27,7 GHz com uma CC de 400 MHz. Com CA\_n261, duas CCs em 27,6 GHz e 27,8 GHz com 200 MHz cada;

##### • Campanha 2:

- **Objetivo:** avaliar o uso da CA contígua em relação a uma configuração sem CA, em outra faixa de frequência;
- **Configuração:** sem CA n260 em 37,7 GHz com uma CC de 400 MHz. Com CA\_n260, duas CCs em 37,6 GHz e 37,7 GHz com 200 MHz cada;

##### • Campanha 3:

- **Objetivo:** avaliar o uso da CA contígua em relação a uma configuração da CA não-contígua;
- **Configuração:** CA contígua CA\_n261, duas CCs em 27,6 GHz e 27,8 GHz com 200 MHz cada. CA não contígua CA\_n260-n261, uma CC em 27,7 GHz e outra em 37,7 GHz com 200 MHz cada;

##### • Campanha 4:

- **Objetivo:** avaliar o uso da CA contígua em relação a uma configuração da CA não-contígua, com a CA contígua em outra faixa de frequência;
- **Configuração:** CA contígua CA\_n260, duas CCs em 37,6 GHz e 37,8 GHz com 200 MHz cada. CA não contígua CA\_n260-n261, uma CC em 27,7 GHz e outra em 37,8 GHz com 200 MHz cada;

##### • Campanha 5:

- **Objetivo:** avaliar o uso da CA contígua em relação a uma configuração da CA não contígua, porém a agregação não-contígua é *Inter-Bands*.
- **Configuração:** CA contígua CA\_n260, duas CCs em 37,6 GHz e 37,8 GHz com 200 MHz cada. CA não contígua CA\_n77-n260, uma CC em 3,5 GHz e outra em 37,7 GHz com 100 MHz e 300 MHz respectivamente cada;

## V. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados das campanhas apresentadas na Seção IV. Os gráficos apresentados mostram o desempenho das configurações em termos da taxa útil vs. distância entre UE e gNB para taxas oferecidas diferentes, para downlink. Neste trabalho foram usadas as seguintes taxas oferecidas: 500 Mbps, 1 Gbps e 2 Gbps. Dessa forma, as figuras apresentadas mostram as curvas para taxas oferecidas diferentes e configurações de CA ou sem CA distintas.

Os resultados da Campanha 1 são mostrados na Fig. 1. É possível observar que independente da taxa oferecida, há superioridade em termos de taxa útil para o caso com CA, para todas as distâncias avaliadas. Esse comportamento é mais expressivo quanto maior for a taxa oferecida. Mesmo para esse caso com a mesma largura de banda, a maior taxa de transmissão com CA pode ser explicada pela existência de um escalonador para cada uma das CCs, contribuindo para maior diversidade na alocação de recursos com duas CCs.

Os resultados da Campanha 2 podem ser vistos na Fig. 2. Como na campanha anterior, as configurações com CA

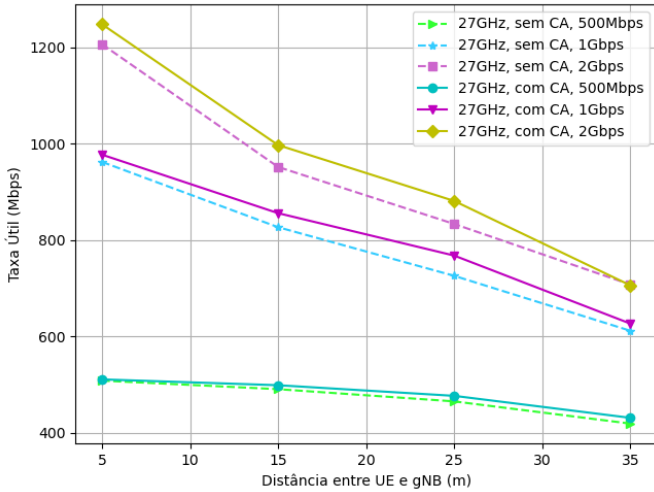


Fig. 1. Campanha 1: Taxa útil para cenário 5G NR sem CA (1 x 400 MHz) e com CA (2 x 200 MHz) em 27 GHz.

apresentam melhores resultados quando comparadas com as configurações sem CA, para todas as distâncias avaliadas. Porém, é possível notar uma perda de desempenho em todas as curvas da Campanha 2 quando comparadas à Campanha 1. Isso se deve ao aumento da frequência de operação, gerando maior atenuação no canal sem fio, conseqüentemente, piorando a SINR e a taxa útil. A diferença de desempenho entre os casos com e sem CA é levemente maior nessa Campanha quando comparados a Campanha 1.

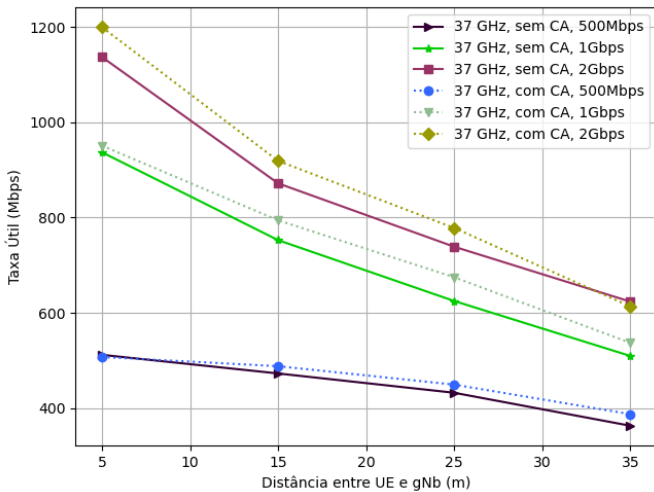


Fig. 2. Campanha 2: Taxa útil para cenário 5G NR sem CA (1 x 400 MHz) e com CA (2 x 200 MHz) em 37 GHz.

Os resultados da Campanha 3 são mostrados na Fig. 3. Agora, nota-se a perda expressiva de taxa útil ao comparar CA em 27 GHz com CA em que uma das CCs está em 37 GHz. A maior perda de percurso em 37 GHz resultou em perda de SINR e menor taxa útil. É importante verificar que essa diferença causa maior impacto em situações de alta carga oferecida ao sistema. No caso de taxa oferecida de 500 Mbps, a diferença de perda de percurso de 37 GHz foi compensada pela grande largura de banda do sistema.

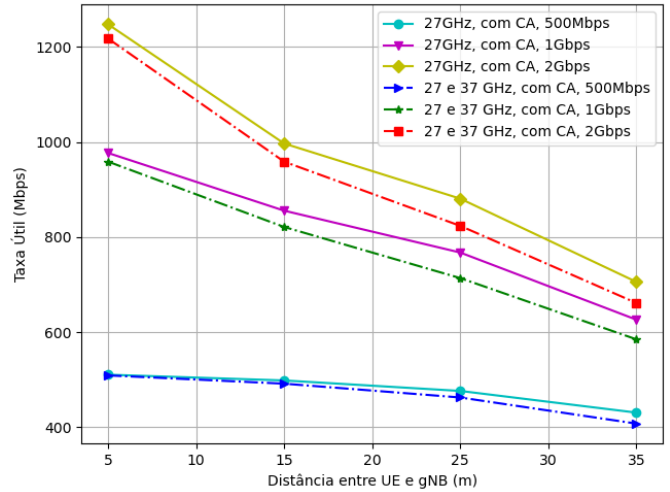


Fig. 3. Campanha 3: Taxa útil para cenário 5G NR com CA (2 x 200 MHz) em 27 GHz e com CA (2 x 200 MHz) em 27 GHz e 37 GHz.

Na Campanha 4, em que os resultados estão mostrados na Fig. 4, é possível observar um comportamento inverso a campanha anterior (ver Fig. 3) em relação a comparação CA contígua e não-contígua. Para todas as curvas, a CA não-contígua tem um melhor desempenho em relação a curva com CA contígua, pois a CA não-contígua tem uma CC em 27 GHz (com menor perda de percurso que em 37 GHz).

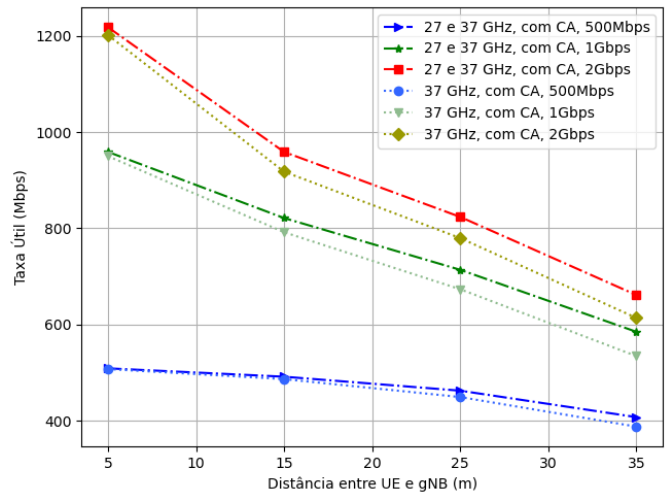


Fig. 4. Campanha 4: Taxa útil para cenário 5G NR com CA (2 x 200 MHz) em 37 GHz e com CA (2 x 200 MHz) em 27 GHz e 37 GHz.

Na Campanha 5, em que os resultados são apresentados na Fig. 5, é possível observar a diferença significativa de desempenho quando a CC em 3,5 GHz é configurada (CA\_n77-n260). Essa diferença é bem mais expressiva quando a taxa oferecida é alta e para uma maior distância entre UE e gNB, evidenciando a diferença de path loss entre 3,5 GHz e 37 GHz.

## VI. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta uma análise de desempenho da CA com configurações de CCs que estão sendo utilizadas em

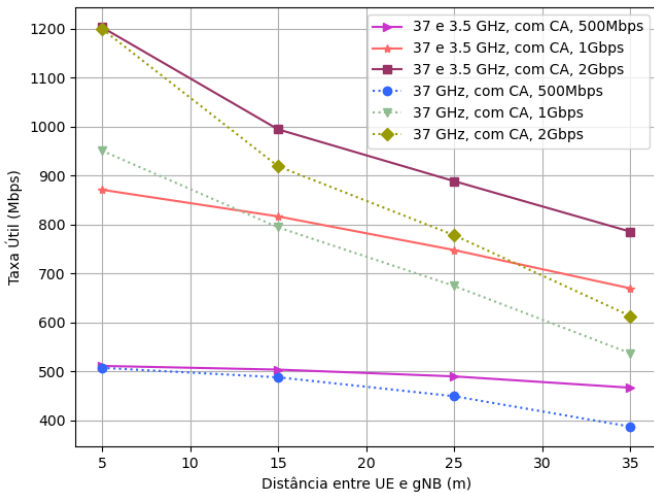


Fig. 5. Campanha 5: Taxa útil para cenário 5G NR com CA (2 x 200 MHz) em 37 GHz e com CA (1 x 300 MHz, 1 x 100 MHz) em 37 GHz e 3.5 GHz.

implantações comerciais do 5G. Foi utilizado o simulador 5G LENA, módulo do 5G NR do ns-3. O trabalho visa quantificar o efeito da agregação contígua e não-contígua de CCs bem como o desempenho do eMBB quando a distância entre gNB e UE é variada.

Devido a diversidade proporcionada por escalonadores (MAC scheduler) distintos, foi observado que as configurações com CA se sobressaem em relação as configurações sem CA quando a mesma faixa de frequência é explorada (Campanhas 1 e 2).

Em relação a comparação CA contígua versus não contígua (Campanhas 3 e 4), a faixa de frequência escolhida na combinação das CCs exerce bastante influência nos resultados. A CA não contígua pode ou não ter um melhor desempenho em relação a CA contígua, dependendo em qual frequência a agregação é feita. Também foi observado a superioridade de desempenho em usar bandas em FR 1 para a CA, pois apresentam menor perda de percurso, maior SINR e melhor taxa útil.

Em trabalhos futuros espera-se aprofundar essas análises ao incluir partições de bandas (BWP parts) e comparar os resultados deste artigo com as opções de dupla conectividade do 5G.

## REFERÊNCIAS

[1] H. Holma, *5G Technology 3GPP New Radio*, 2020.  
 [2] ITU-R, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020 (Report ITU-R M.2412-0)," vol. 1, p. 144, 2017. [Online]. Available: <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2412>  
 [3] P. U. Adamu and M. López-Benítez, "Performance Evaluation of Carrier Aggregation as a Diversity Technique in mmWave Bands," in *2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring)*, 2021, pp. 1–5.  
 [4] P. Pantham and S. Pattaramalai, "Simulation of LTE-Network for Throughput Improving Using FDD and TDD Carrier Aggregation," in *2020 8th International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, 2020, pp. 1–4.  
 [5] C. Sudhamani, R. Mardeni, J. Tiang, and A. U. Rehman, "A survey on 5g coverage improvement techniques: Issues and future challenges," *Sensors*, vol. 23, p. 2356, 02 2023.

[6] N. Nidhi, A. Mihovska, and R. Prasad, "Overview of 5g new radio and carrier aggregation: 5g and beyond networks," in *Conference: 2020 23rd International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, 10 2020, pp. 1–6.  
 [7] S. Dubey and J. Meena, "Improvement of Throughput using Dual Connectivity in Non-Standalone 5G NR Networks," in *2020 Third International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 2020, pp. 6–12.  
 [8] P. Mishra, S. Kar, V. Bollapragada, and K.-C. Wang, "Multi-Connectivity using NR-DC for High Throughput and Ultra-reliable Low Latency Communication in 5G Networks," in *2021 IEEE 4th 5G World Forum (5GWF)*, 2021, pp. 36–40.  
 [9] 5G-LENA. (2021, Abril) Centre tecnològic de telecomunicacions de catalunya. [Online]. Available: <https://5g-lena.cttc.es/>  
 [10] ETSI, "5G; Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies (3GPP TR 38.913 version 14.2.0 Release 14)," vol. 0, p. 41, 2017. [Online]. Available: <http://www.etsi.org/standards-search>  
 [11] S. Lagen, L. Giupponi, S. Goyal, N. Patriciello, B. Bojovic, A. Demir, and M. Beluri, "New Radio Beam-based Access to Unlicensed Spectrum: Design Challenges and Solutions," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. PP, no. c, p. 1, 2018. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1809.10443>  
 [12] 3GPP TS 38.101-2, "TS 38 101-2 - V16.6.0 - 5G; NR; User Equipment (UE) radio transmissions and reception (3GPP TS 38.101-2 version 16.6.0 Release 16)," *3GPP*, vol. 0, 2021. [Online]. Available: <http://www.etsi.org/standards-search>  
 [13] 3GPP TR 38.901, "TR 138 901 - V16.1.0 - 5G; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (3GPP TR 38.901 version 16.1.0 Release 16)," *3GPP*, vol. 0, 2020. [Online]. Available: <http://www.etsi.org/standards-search>