

Contribuições ao estudo de planejamento para implantação de uma rede de acesso 5G em uma área urbana adensada em Natal

Contributions to the planning study for the deployment of a 5G access network in a densely populated urban area in Natal

DOI:10.34117/bjdv8n6-078

Recebimento dos originais: 21/04/2022

Aceitação para publicação: 31/05/2022

Júlia da Luz Andrade Silva

Mestranda em Engenharia Elétrica e Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Endereço: Rua Deputado Antônio Florêncio de Queiroz, 2995, CEP: 59.092-500, Ponta Negra, Natal- RN, Brasil

E-mail: julia.andrade.097@ufrn.edu.br

Fred Sizenando Rossiter Piheiro

Doutor em Ciências de Saúde pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Endereço: Rua Pastor Jerônimo Gueiros 1265, CEP: 59.020-660, Apt. 301, Ed. Matisse Tirol - RN, Brasil

E-mail: fredrossiter@uol.com.br

Gutemberg Soares da Silva

Doutor em Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Endereço: Rua Miguel Barra 800, CEP: 59.014-590, Apt. 1200, Bairro Tirol, Natal- RN

E-mail: guttembbergue@gmail.com.br

Vicente A. de Sousa Junior

Doutor em Engenharia de Teleinformática pela Universidade Federal do Rio Ceará

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Endereço: Rua Gregório de Matos, 409, Nova Parnamirim, Parnamirim - RN

E-mail: vicente.sousa@ufrn.edu.br

RESUMO

A tecnologia de acesso móvel passou por uma grande revolução e popularização nos últimos anos. Cada geração de tecnologia móvel forneceu melhorias significativas de desempenho, com mudanças rápidas em respostas às demandas de capacidade resultante do crescimento maciço do tráfego de dados em dispositivos móveis em todo mundo. A quinta geração (5G) se edifica em três casos de uso: eMBB (*Enhanced mobile broadband*), URLLC (*Ultra-reliable and low latency communications*) e mMTC (*Massive machine type communications*). Como os requisitos de cada caso de uso são bem diferentes, a rede 5G precisa de flexibilidade suficiente para prestar conectividade de serviços existentes e futuros, que devem ser implementados com eficiência em único bloco contínuo de espectro ou em blocos distintos, usando a funcionalidade de agregação

de portadora. Os desafios para evolução e efetiva implantação da tecnologia 5G no Brasil envolvem questões regulatórias e políticas, bem como a necessidade de ampliação e adequação da infraestrutura de rede existente. Este estudo de caso apresenta resultados de desempenho de uma rede avaliando a simulação de um cenário de implantação da geração 5G em uma área adensada na cidade do Natal/RN, propondo uma configuração formada por 4 macrocélulas operando em 700 MHz e uma segunda rede formada com adição de 39 microcélulas operando em 3,5 GHz. A avaliação realizada confronta os resultados obtidos de cobertura, de SINR e de capacidade de ambas as redes, avaliando os desafios de transição da atual para a próxima geração de tecnologia móvel diante da infraestrutura de rede de acesso já existente. A rede 5G planejada apresentou desempenho compatível com o esperado no padrão NR, principalmente em capacidade, por alcançar taxas em torno de 100 a 200 Mbps em quase toda a área de cobertura.

Palavras-chave: IMT-2020, comunicações móveis, comunicações sem fio, small cells, microcélulas, rede 5G.

ABSTRACT

Mobile access technology has undergone a major revolution and popularization in recent years. Each generation of mobile technology has provided significant performance improvements, with rapid changes in response to the demands of massively growing data traffic on mobile devices around the world. The fifth generation (5G) is built on three use cases: eMBB (Enhanced mobile bandwidth), URLLC (Ultra-reliable and low latency communication) and mMTC (Massive machine type communication). As the requirements of each use case are quite different, a 5G network of sufficient flexibility for the connectivity of existing and future services, which must be efficiently implemented in a single continuous block of spectrum or accurately in discrete blocks, using a carrier. The challenges for the evolution and deployment of 5G technology in Brazil regulatory and political issues, as well as the involvement of the effective network infrastructure. This case study presents performance results of a network evaluating the simulation of a 5G generation deployment scenario in a dense area in the city of Natal/RN, proposing a configuration formed by 4 macrocells operating at 700 MHz and a second network formed with addition of 39 microcells operating at 3.5 GHz. An evaluation carried out compares the results of coverage, SINR and capacity of both mobile networks, evaluating the challenges of transition from the current to the next generation of technology in face of the already existing access network infrastructure. The planned 5G network presented a performance compatible with what was expected in the NR standard, mainly in terms of capacity, as it reached rates around 100 to 200 Mbps in almost the entire coverage area.

Keywords: IMT-2020, mobile communications, wireless communications, small cells, microcells, 5G network.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo está presenciando uma grande evolução e popularização dos serviços e das tecnologias de telecomunicações, sobretudo, no campo das comunicações sem fio com mobilidade. A Cisco (Forecast, 2019) estimou que o tráfego de dados em

dispositivos móveis global atingirá 1 zettabyte ao final de 2022, o que significa 1 trilhão de gigabytes em dados circulando pela rede. Segundo esse estudo, o esse tipo de tráfego cresceu 17 vezes nos últimos cinco anos, e as projeções são de que ele será responsável por 20% do tráfego em 2022, contra 5% em 2010. O estudo prevê ainda quase 79% do tráfego de dados móveis do mundo será de vídeo em 2022. Esse crescimento de dados ao longo dos últimos anos, demandado principalmente por vídeo, inviabiliza a utilização dos sistemas atuais (3G e 4G), pois não suportariam tal elevação de tráfego de dados.

Nesse contexto, a quinta geração de tecnologia móvel (5G) promete revolucionar a sociedade de maneira sem precedentes, principalmente devido à popularização de conceitos como Internet das Coisas (IoT) e *Machine-to-Machine Communications* (M2M) (KINZA, 2020). Por outro lado, os usuários tornam-se cada vez mais exigentes em relação ao nível de conectividade, latência e velocidade, em serviços como streaming, compartilhamento de imagens e vídeos, os quais não suportam falhas, interrupção ou ausência de sinal. De acordo com o ITU-R (2015), o 5G (padrão IMT-2020) têm previsão para suportar pelo menos três casos de uso:

- Banda larga móvel aprimorada (*Enhanced mobile broadband - eMBB*): contempla o atendimento à crescente demanda por maiores velocidades e volumes de dados móveis, cobrindo uma variedade de casos, incluindo cobertura de área ampla e hotspots. O alvo é atingir 10 Gbps de taxa de pico na estação base e em torno de 100 Mbps por usuário;
- Comunicações ultra confiáveis e de baixa latência (*Ultra-reliable and low latency communications - URLLC*): envolve requisitos rigorosos de confiabilidade, latência e disponibilidade, proporcionando, por exemplo, serviços de telecirurgia e carro autônomos;
- Comunicações massivas do tipo máquina (*Massive machine type communications - mMTC*): suporta um grande número de dispositivos conectados, com requisitos muito restritos de gasto energético (baterias com 15 anos sem necessidade de carregamento). Associado a alta cobertura do ponto de acesso (em torno de 15 km de raio), tais dispositivos oferecem um volume de tráfego relativamente baixo de dados não sensíveis ao atraso.

Os requisitos mínimos de desempenho para 5G foram definidos pelo (ITU, 2017) e os valores são fornecidos na Tabela 1, juntamente com o caso de uso para o qual eles são relevantes. Na prática, cada serviço prestado por uma operadora pode definir um conjunto de requisitos mínimos, deixando a cargo da rede 5G alcançá-los para a boa

prestação do serviço.

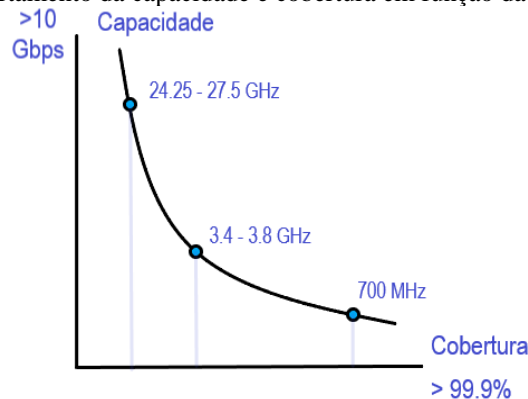
Tabela 1 - Requisitos mínimos relacionados a desempenho técnico para IMT-2020.

Parâmetro	Caso de uso	Valores
Taxa de pico de dados	eMBB	DL: 20 Gbps, UL: 20 Gbps
Eficiência espectral de pico	eMBB	DL: 30 bps/Hz, UL: 15 bps/Hz
Taxa de dados de experiência do usuário	eMBB	DL: 100 Mbps, UL: 50 Mbps (Dense Urban)
Eficiência espectral média	eMBB	DL: 9 bps/Hz/TRxP, UL: 6.75 bps/Hz/TRxP (Indoor Hotspot); DL: 7.8 bps/Hz/TRxP, UL: 5.4 bps/Hz/TRxP (Dense Urban); DL: 3.3 bps/Hz/TRxP, UL: 1.6 bps/Hz/TRxP (Rural)
Capacidade de tráfego de área	eMBB	DL: 10 Mbps/m ² (Indoor Hotspot)
Latência do plano do usuário	eMBB, URLLC	eMBB: 4 ms, URLLC: 1 ms
Latência do plano de controle	eMBB, URLLC	eMBB/URLLC: 20 ms
Densidade de conexão	mMTC	1.000.000 dispositivos/km ²
Mobilidade	eMBB	Até 500 km/h
Tempo de interrupção de mobilidade	eMBB, URLLC	0 ms
Largura de banda	eMBB	Pelo menos, 100 MHz. Para operação em bandas de frequência mais altas (por exemplo, acima de 6 GHz), até 1 GHz.

Fonte: (Silva, 2020).

Existem dois conjuntos de frequências definidas para o 5G: a FR 1 (sub-7GHz) e a FR2 (faixa *mmWave*, entre 24 e 52 GHz). A faixa de ondas milimétricas (*mmWave*) é capaz de transportar a grande quantidade de dados que é exigida pelo 5G, pois a largura de banda é 400 MHz. Entretanto, não conseguem atingir coberturas extensas, pois são facilmente bloqueadas por obstruções, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Comportamento da capacidade e cobertura em função da faixa de frequência.



Fonte: (Silva, 2020).

Nas redes 5G, um arranjo de antenas forma um sistema MIMO massivo (Rusek et al., 2013) na estação base, chamada de gNB. O MIMO massivo, aliado à maior largura de banda, tem a função de compensar a perda de propagação na faixa *mmWave*, proporcionando taxas de transmissão no patamar de Gbps. Contudo, a potência de transmissão da gNB *mmWave* é menor e ainda é dividida entre os elementos do arranjo MIMO, como consequência, o raio de cobertura da gNB é menor quando comparado a estação base 4G (eNB). Considerando esses aspectos, o compromisso entre capacidade e cobertura precisa ser levado em consideração já na etapa de planejamento da rede (GE, 2016).

Motivadas pelas tecnologias de comunicação citadas acima (*massive MIMO* e *mmWave*), as redes de microcélulas (*small cells*) foram incorporados nas redes celulares 5G. Para satisfazer a cobertura contínua, é esperado que a densidade de gNBs seja em torno de dezenas e até centenas por km² e, portanto, a rede celular 5G é considerada uma rede celular ultra-densa (UDN) (VASCONCELLOS, 2021).

Os desafios para evolução e efetiva implementação da tecnologia 5G no Brasil são diversos, indo desde questões regulatórias e políticas até a necessidade de ampliação e adequação da infraestrutura de rede existente (SILVA, 2020). Com foco nas necessidades de adequação da infraestrutura na rede de acesso rádio, este trabalho tomou como base a estrutura da rede de acesso sem fio na cidade do Natal, no Rio Grande do Norte. O objetivo principal é realizar uma análise sistêmica e discutir os possíveis desafios e resultados de desempenho por meio de simulação do cenário de implantação do 5G no bairro de Petrópolis. Foi considerada uma rede formada por 4 macrocélulas, operando em 700 MHz e uma segunda rede, resultante da expansão da primeira, pela inclusão de 39 microcélulas operando em 3,5 GHz. O alvo do estudo é comparar os resultados obtidos de cobertura, de relação sinal-interferência mais ruído (SINR) e de capacidade de ambas as redes.

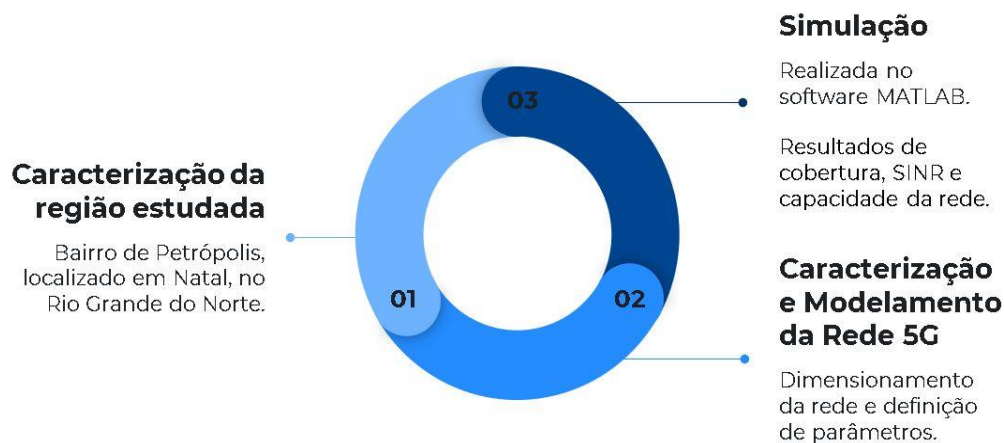
O artigo está dividido como a seguir. Na Seção II, são apresentados a metodologia de elaboração do trabalho, o referencial teórico e o modelamento do sistema 5G. Na Seção III, são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Por fim, a Seção IV traz as principais conclusões do trabalho e a expectativa de trabalhos futuros.

2 MÉTODO E REFERENCIAL TEÓRICO

A metodologia de pesquisa para realização foi um estudo de caso sendo caracterizado pela simulação da implantação de uma rede 5G no bairro de Petrópolis,

localizado em Natal/RN, almejando discutir os possíveis desafios na transição da rede atual para a próxima geração de tecnologia móvel diante da infraestrutura de rede de acesso sem fio já existente. O objetivo do estudo é observar os resultados da cobertura, de SINR e de capacidade da rede, comparando a estrutura de rede atual (formada somente por macrocélulas 4G) e a estrutura densa da rede 5G. O desenvolvimento do estudo está dividido em 3 fases, como ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Principais passos para o desenvolvimento do trabalho. Fonte: (Silva, 2020).



2.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO ESTUDADA

A região de Petrópolis é um bairro de alto poder aquisitivo localizado na Zona Leste da cidade de Natal, constituindo-se na região mais adensada da cidade, sendo o cenário provável para o atendimento dos primeiros usuários da rede 5G na cidade. Conforme a Prefeitura de Natal (Semurb, 2017) com base em estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o bairro em sua área de 0,72 km², abriga uma população de 5.846 habitantes, além do contingente laboral e flutuante. O ambiente de perda de propagação, em boa parte do bairro, se enquadra, na situação descrita por (Bertoni, 2000), com áreas de alta valorização imobiliária, boas condições relativas ao provimento de infraestrutura urbana e serviços públicos. Ensejando perda significativa na passagem através dos obstáculos, a propagação ocorre predominantemente com muitos trajetos envolvendo difração. O bairro tem localização central e acesso fácil para diversas regiões da cidade, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Visão parcial do Bairro Petrópolis. Fonte: Semurb.



2.2 CARACTERIZAÇÃO E MODELAMENTO DA REDE 5G

A transição para o 5G ainda apresenta incertezas de ordem tecnológica, econômica e até comportamental, pois as estratégias de implementação de MNOs (*Mobile Network Operator*) e a demanda do consumidor por serviços 5G não são completamente conhecidas. Sendo assim, a abordagem adotada consiste em tomar como base as características do 4G (Ahmadi, 2014), e posteriormente, incluir as faixas de frequência identificadas que podem ser usadas para implantação do 5G. Portanto, a estratégia é integrar o espectro de 700 e 3500 MHz para atuar na cobertura *outdoor*, uma vez que essas são as novas faixas de frequência disponíveis para MNOs no Brasil (VASCONCELLOS, 2021).

Segundo (Wisely et al, 2018), redes de 3,5 GHz com cobertura sobreposta de 700 MHz podem oferecer cobertura e taxa de transmissão de 100 Mbps aliadas ao suporte serviços de latência ultrabaixa. Em seu estudo, no bairro de Londres chamado Marylebone, o qual tem uma densidade populacional residente de 11500 hab/km² e que alcança (aproximadamente) 20000 hab/km² em um dia útil (equivalente a 5000 usuários por operadora), foi demonstrado que 64 a 100 Mbps podem ser ofertados em uma parte significativa de um ambiente urbano denso usando *mmWave*. A tecnologia de 3,5 GHz, com largura de banda de 100 MHz, pode fornecer cobertura *outdoor* a 100 Mbps, como pode ser visto na Figura 4, bem como oferecer uma cobertura de 66% a 64 Mbps (e cobertura de 100% a 32 Mbps), conforme a Figura 5. Os autores constataram também que a largura de banda de 700 MHz pode fornecer quase 100% de cobertura com taxas de dados mais baixas (normalmente 30 Mbps).

No estudo supracitado, os autores mostraram também que macrocélulas de 700

MHz não fornecem capacidade significativa (devido à largura de banda muito limitada). Como visto na Figura 6, densidades de 32gNBs/km², a capacidade é calculada em 0,83 Gbps/km², e que microcélulas de 3,5 GHz podem fornecer uma capacidade de 30 Gbps/km² com uma densidade de microcélulas de 256 gNBs/km², evidenciando assim, a eficiência de uma rede mista. O planejamento de uma rede móvel objetiva assegurar determinados níveis de desempenho e qualidade, estabelecendo um compromisso entre atendimento ao cliente e custos das operadoras. Os objetivos de desempenho e qualidade de serviço envolvem parâmetros e métricas tais como: a proporção da área coberta, o grau de serviço, a taxa útil (throughput), a latência, dentre outros.

Figura 4 - Cobertura outdoor a uma taxa de 64 Mbps. Fonte: (Wisely et al., 2018).

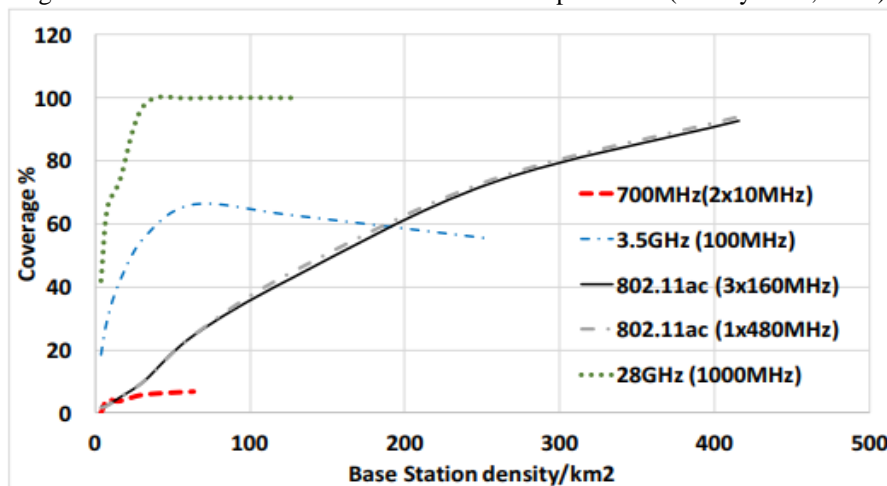


Figura 5- Cobertura outdoor a uma taxa de 100 Mbps. Fonte: (Wisely et al., 2018).

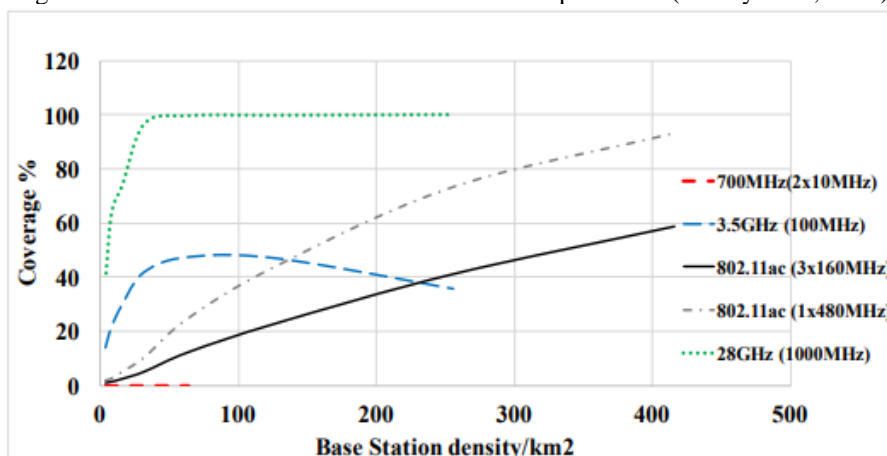
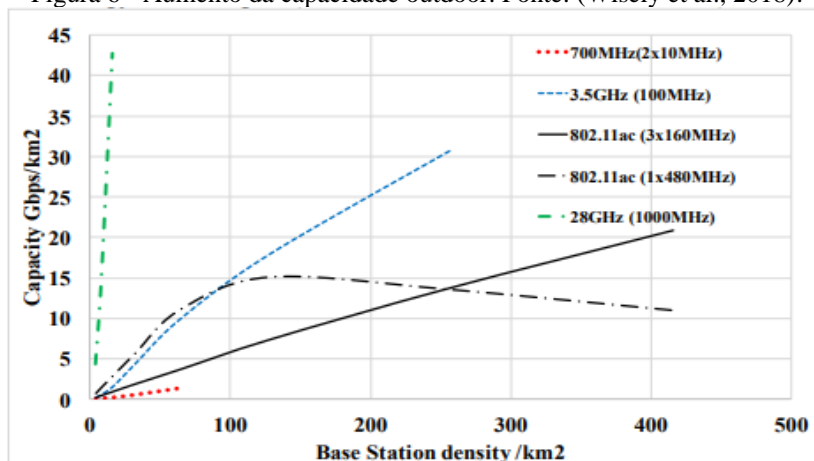


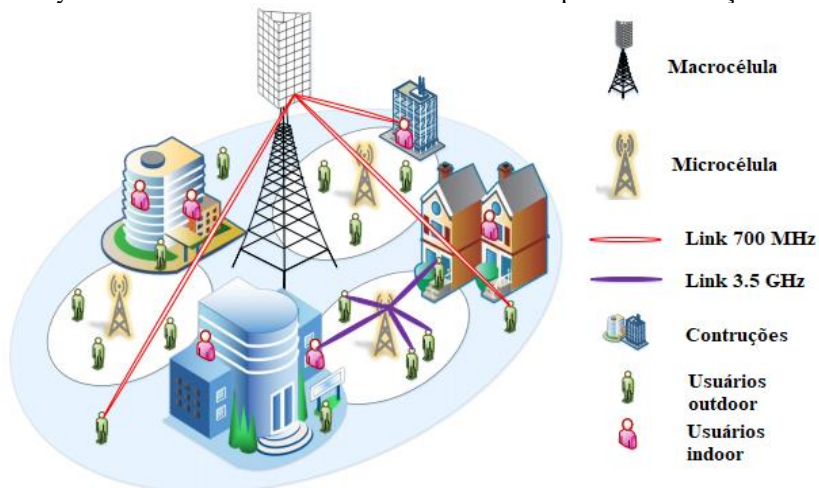
Figura 6 - Aumento da capacidade outdoor. Fonte: (Wisely et al., 2018).



Este processo contempla modelos aproximados, estimativas de potência de sinal e demandas de tráfego, que devem ser aperfeiçoadas pela análise das condições operacionais da rede em campo (CÁVALCANTI, 2018).

Há baixa perspectiva de novas macrocélulas urbanas, pois estão cada vez mais caras e não fornecerão ganhos de capacidade que as *small cells* proporcionam. As microcélulas serão implantadas em postes elétricos e distribuídas com um ISD (*Inter-Site Distance*) correspondente a 200 metros (SUN et al., 2016) para cobrir o bairro, com o auxílio do Google Earth para identificar os pontos onde haviam a presença de postes e para respeitar a distância definida entre as células. Para a simulação no bairro de Petrópolis foi considerada uma rede *outdoor* proposta em (Wisely et al., 2018), ilustrada na Figura 7, a qual macrocélulas de 700 MHz fornecem cobertura e sinalização, enquanto as microcélulas de 3,5 GHz desempenham a função de atender usuários com alta demanda de taxa de dados.

Figura 7 - Layout da rede 5G adotado no estudo. Fonte: Adaptado da ilustração de Busari (2018).



Foi necessário escolher uma das MNOs que operam na região para identificar as estações base 4G atuando na cobertura do bairro atualmente. Feito isso, foram localizados quatro sites LTE atuais na região, como mostra a Figura 8. A Figura 9 indica as inserções das 39 microcélulas distribuídas para cobrir todo bairro e a Tabela 2 mostra as localizações em coordenadas.

Figura 8 - Mapa do bairro de Petrópolis e indicação da localização das quatro BSs que cobrem a área.



Fonte: (Silva, 2020).

Figura 9 – Indicação da localização das microcélulas distribuídas em Petrópolis.



Fonte: Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 - Coordenadas das microcélulas distribuídas em Petrópolis.

MICROCÉLULA	LATITUDE	LONGITUDE	MICROCÉLULA	LATITUDE	LONGITUDE
1	-5,7890753	-35,1964526	21	-5,7837662	-35,2017586
2	-5,7884176	-35,1982635	22	-5,7864884	-35,1930674
3	-5,787822	-35,2000267	23	-5,7852339	-35,1950175
4	-5,7870202	-35,2020597	24	-5,7844543	-35,1966976
5	-5,7862433	-35,2036939	25	-5,7839197	-35,1982882
6	-5,7884072	-35,1951226	26	-5,7832073	-35,1997432
7	-5,7877442	-35,1970565	27	-5,7822528	-35,2022093
8	-5,7870569	-35,1984482	28	-5,7840199	-35,1946117
9	-5,7862869	-35,2005802	29	-5,7840182	-35,1955865
10	-5,7855404	-35,2022497	30	-5,7836716	-35,1970537
11	-5,7875944	-35,1940319	31	-5,7825827	-5,7825827
12	-5,7870131	-35,1958769	32	-5,7823596	-35,1980138
13	-5,7862133	-35,197217	33	-5,7815337	-35,1998496
14	-5,7856298	-35,1988979	34	-5,781726	-35,20114890
15	-5,7845736	-35,2011533	35	-5,780899	-35,2016513
16	-5,7855765	-35,2017316	36	-5,7825134	-35,1946253
17	-5,7865521	-35,1943701	37	-5,7808214	-35,1963618
18	-5,785575	-35,1963112	38	-5,7807309	-35,198535
19	-5,785086900	-35,1977037	39	-5,7795927	-35,2001547
20	-5,784321700	-35,1997961			

Fonte: (Silva, 2020).

As medições de nível de potência recebida e SINR foram baseadas no modelo de propagação Longley-Rice (Prior and Cota, 2021) ou modelo de terreno irregular (*Irregular Terrain Model*), como também é conhecido, para 700 MHz. Esse modelo toma como base dados coletados na faixa de frequência entre 40 MHz e 100 GHz, e é usado para calcular a perda de caminho ponto-a-ponto entre locais em um terreno irregular,

incluindo edifícios. A perda de caminho é calculada a partir da perda de espaço livre, difração do terreno, reflexão do solo, refração por meio da atmosfera, dispersão troposférica e absorção atmosférica (Hufford et al., 1982). Já para 3,5 GHz, foi considerado o modelo *Close-In* (modelo CI) (Sulyman et al., 2016, Cosenza, 2017), o qual é usado para frequências na ordem de GHz e implementa um modelo estatístico de perda de caminho que pode ser configurado para diferentes cenários.

Como o 5G prevê células de tamanhos menores, as antenas das estações tendem a estar mais próximas de obstruções e, portanto, a distância de referência do modelo CI é sugerida como 1 metro por padrão (SUN et al., 2016). Além disso, foi determinada uma largura de banda de 20 MHz para 700 MHz e largura de banda de 100 MHz para 3,5 GHz. As antenas de ambos os tipos de células foram definidas como setorizadas e diretivas, com arranjos MIMO de 8x8 e 4x4 para macrocélulas e microcélulas, respectivamente. Os demais parâmetros de rede foram definidos como em (Busari, 2018) e são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Definição dos parâmetros da rede usados para a simulação.

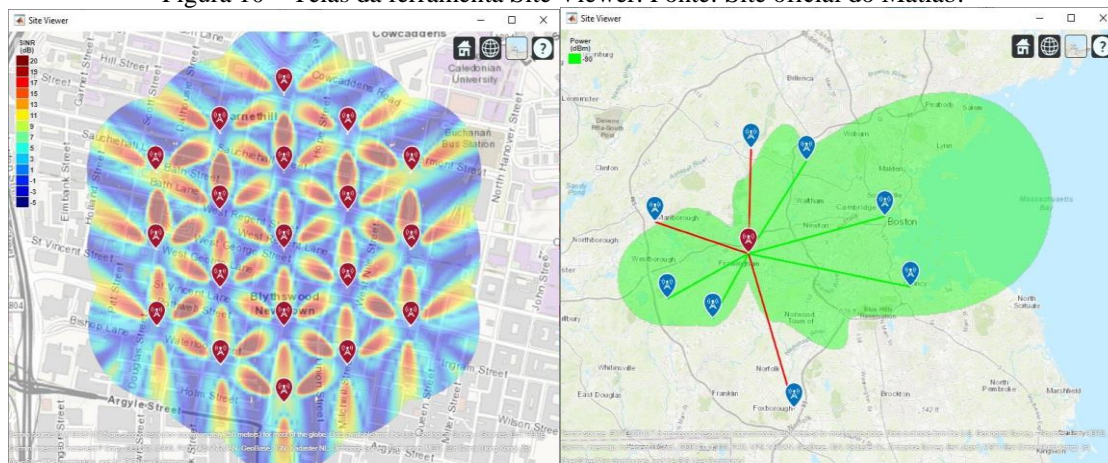
Macro célula	
Número de {células, setores}	{4, 12}
Padrão da antena	Tri-setorizada, diretiva
Altura da antena	25 m
Potência de transmissão	49 dBm
Frequência da portadora	700 MHz
Largura de banda	20 MHz
Modelo de propagação	Longley-Rice
Nº de elementos da antena MIMO	8x8
Micro célula	
Número de {células, setores}	{39, 117}
Padrão da antena	Tri-setorizada, diretiva
Altura da antena	10 m
Potência de transmissão	35 dBm
ISD (<i>Inter-site distance</i>)	200 m
Frequência da portadora	3.5 GHz
Largura de banda	100 MHz
Modelo de propagação	Close-in
Nº de elementos da antena MIMO	4x4
UE	
Altura do usuário	1.5 m
Ganho	0 dBi
Figura de ruído	9 dB
Nível de ruído térmico	-174 dBm/Hz

Fonte: (Silva, 2020).

2.3 SIMULAÇÃO

A simulação foi realizada no software Matlab[®], que se constitui em uma ferramenta útil para auxiliar na modelagem de problemas de telecomunicações, pois integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em um ambiente simplificado. Para o presente estudo foi utilizado o Site Viewer, recurso do Matlab que permite criar transmissores e receptores, posicioná-los em qualquer lugar do mapa e, assim, realizar simulações envolvendo propagação, apresentando resultados visuais, em um mapa de cores, com o ilustrado na Figura 10.

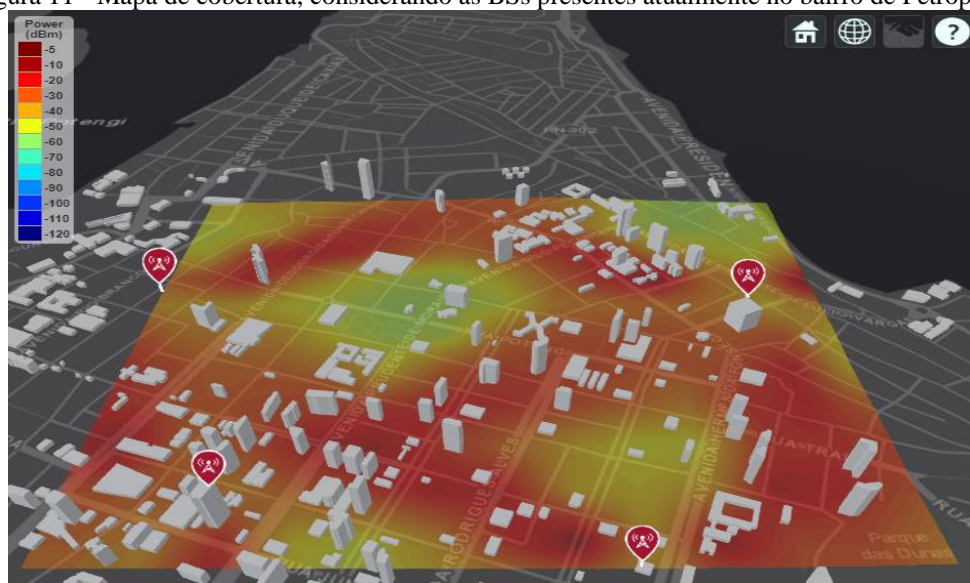
Figura 10 – Telas da ferramenta Site Viewer. Fonte: Site oficial do Matlab.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados e discutidos os resultados em função dos *Radio Environment Maps* (REM) obtidos nas simulações. O REM é uma maneira visual de apresentar resultados de qualidade de uma rede de comunicação por meio de medidas geo-referenciadas. Nos resultados aqui apresentados, as antenas são identificadas no mapa pelas marcações em vermelho. Foram levadas em consideração as projeções dos edifícios presentes no bairro, obtidos no OpenStreetMap, que também são representados no mapa. A Figura 11 e a Figura 12 mostram a potência recebida em cada ponto para a rede atual de macrocélulas e para rede proposta, integrada por macrocélulas e microcélulas, respectivamente. Os resultados demonstram que em ambos os cenários, a potência recebida em toda região varia entre -50 a -20 dBm, como indica a Figura 13

Figura 11 - Mapa de cobertura, considerando as BSs presentes atualmente no bairro de Petrópolis.



Fonte: Autoria própria (elaborado no Matlab).

Figura 12 - Mapa de cobertura, no bairro de Petrópolis, considerando uma rede formada por macrocélulas e microcélulas. Fonte: Autoria própria (elaborado no Matlab).

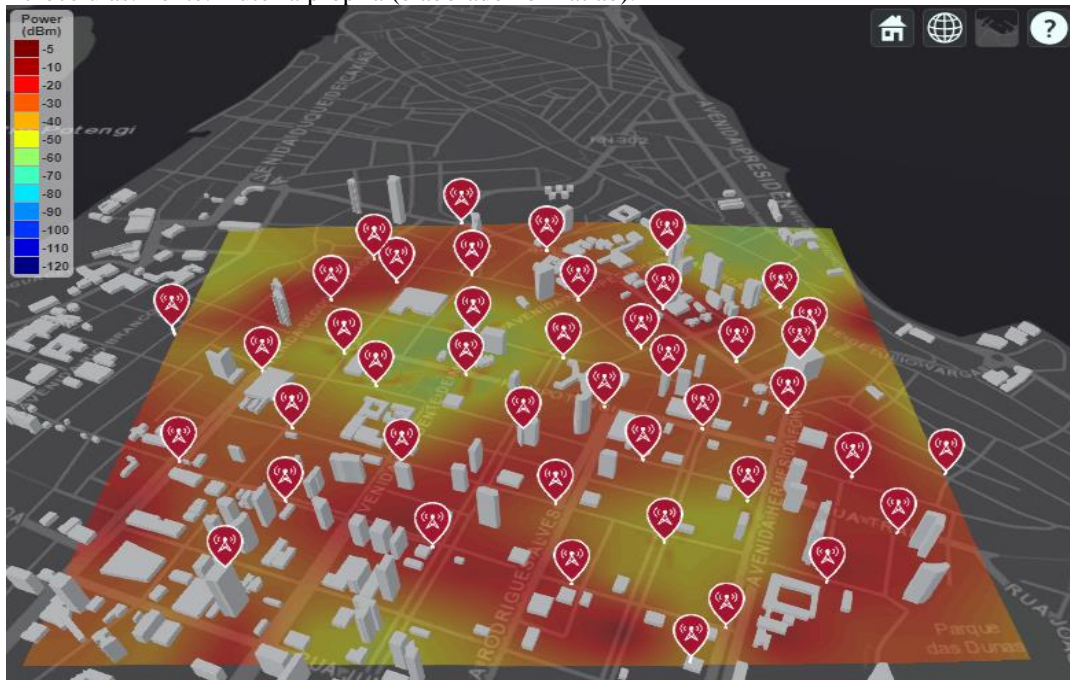
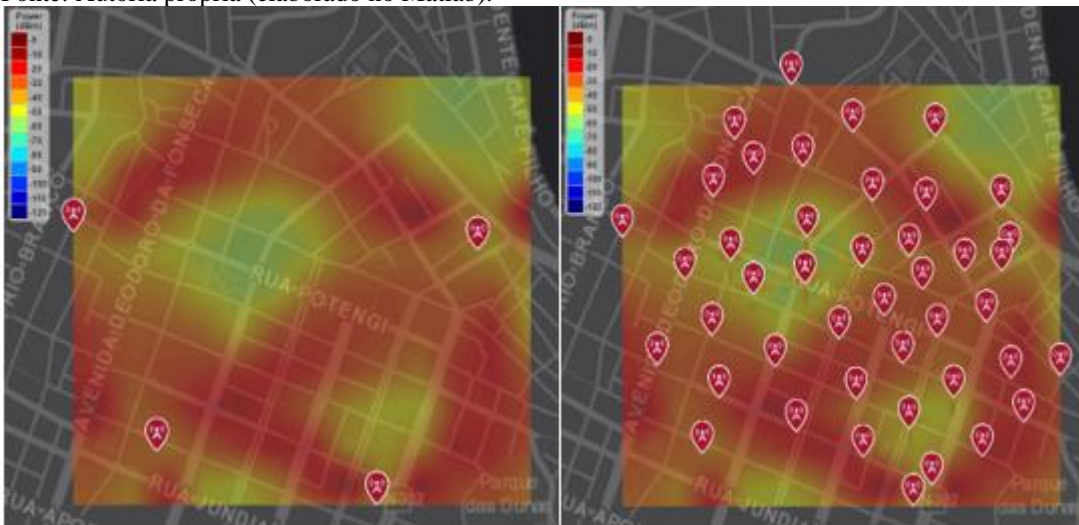
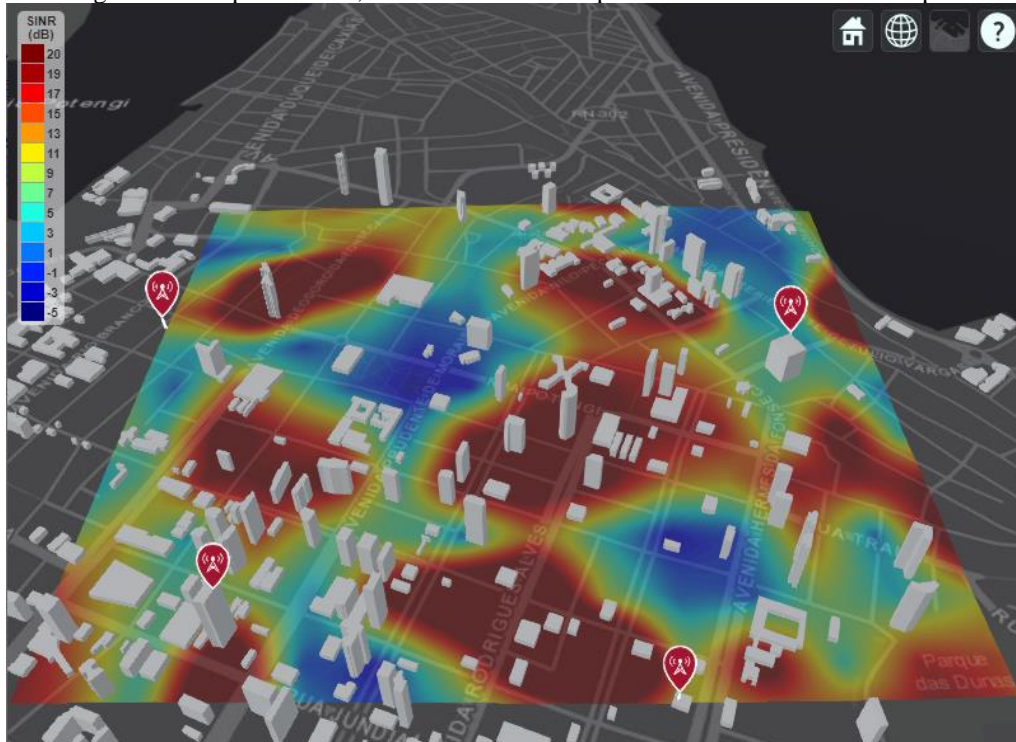


Figura 13 – Comparativo dos resultados obtidos de cobertura: a) Rede macro; b) Rede macro e micro. Fonte: Autoria própria (elaborado no Matlab).



A segunda fase da simulação foi dedicada a medição de SINR, novamente para a rede atual e para rede com macrocélulas e microcélulas, como mostram a Figura 14 e a Figura 15, respectivamente. A inclusão das microcélulas resultou melhoria de SINR, principalmente nas áreas próximas as microcélulas, onde antes apresentavam valores abaixo de 0 dB, como evidenciado na Figura 16.

Figura 14 - Mapa de SINR, considerando as BSs presentes atualmente em Petrópolis.

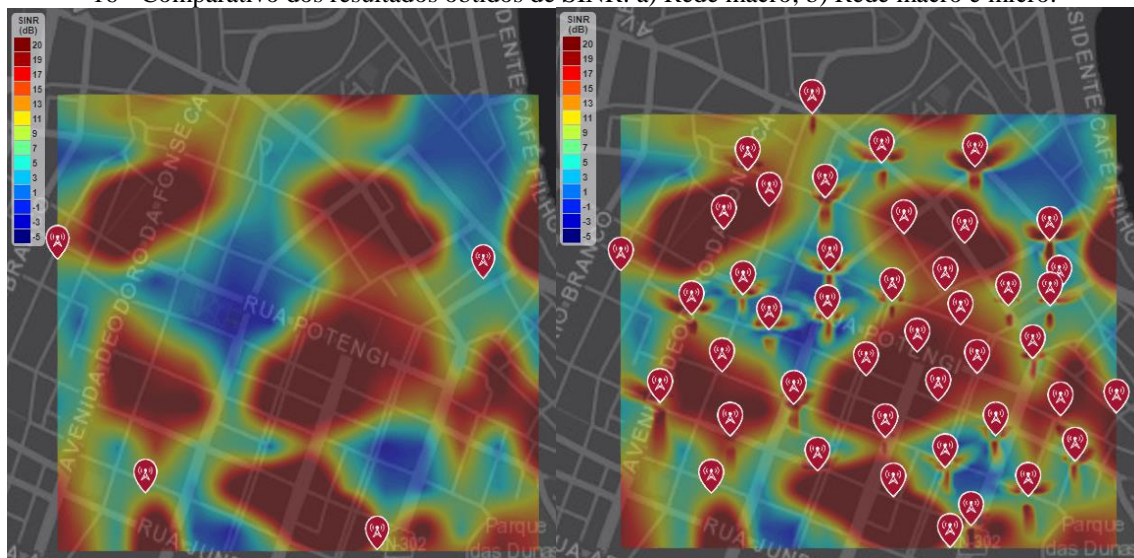


Fonte: Autoria própria (elaborado no Matlab).

Figura 15 - Mapa de SINR no bairro de Petrópolis, considerando uma rede formada por macrocélulas e microcélulas. Fonte: Autoria própria (elaborado no Matlab).



16 - Comparativo dos resultados obtidos de SINR: a) Rede macro; b) Rede macro e micro.



Fonte: Autoria própria (elaborado no Matlab).

Por fim, foram obtidos os resultados de capacidade de transmissão da rede, apresentados nas Figura 17 e 18. A capacidade de transmissão da rede que variaram de 11 a 322 Mbps e, na maior parte da área, predominaram taxas de até 70 Mbps. Com a utilização das microcélulas, a rede passa a atingir taxas de transmissão, predominantemente, em torno de 100 a 200 Mbps, chegando a alcançar uma capacidade máxima de 945 Mbps, como mostra a Figura 19.

Figura 17- Mapa de capacidade da rede, considerando as BSs presentes atualmente no bairro de Petrópolis.
Fonte: Autoria própria (elaborado no Matlab).

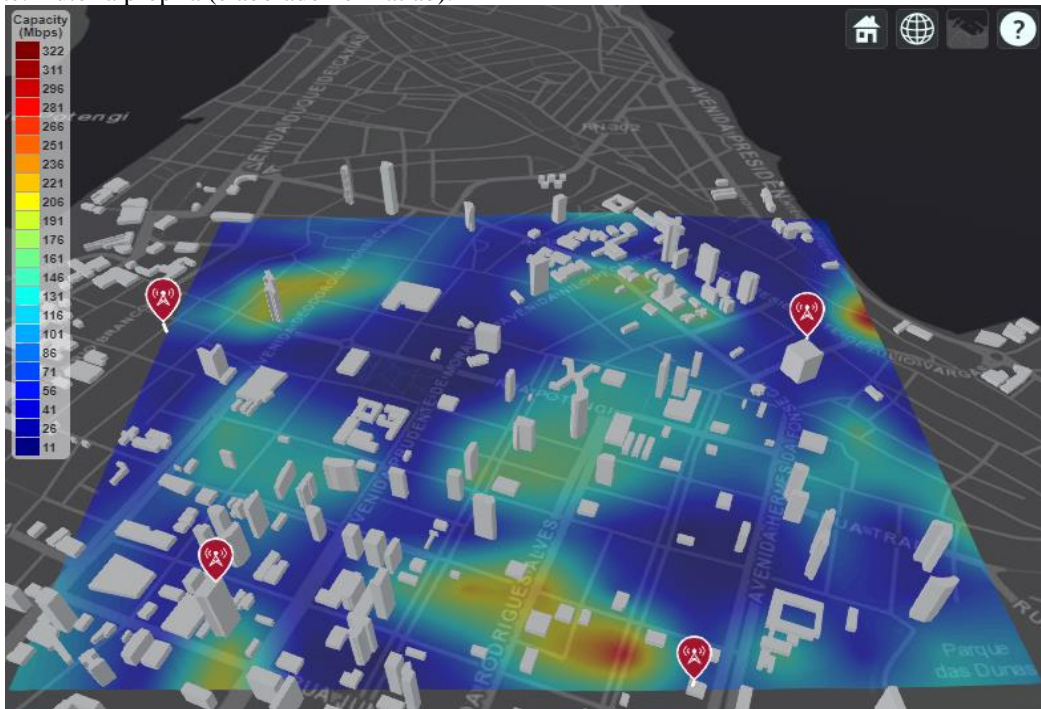
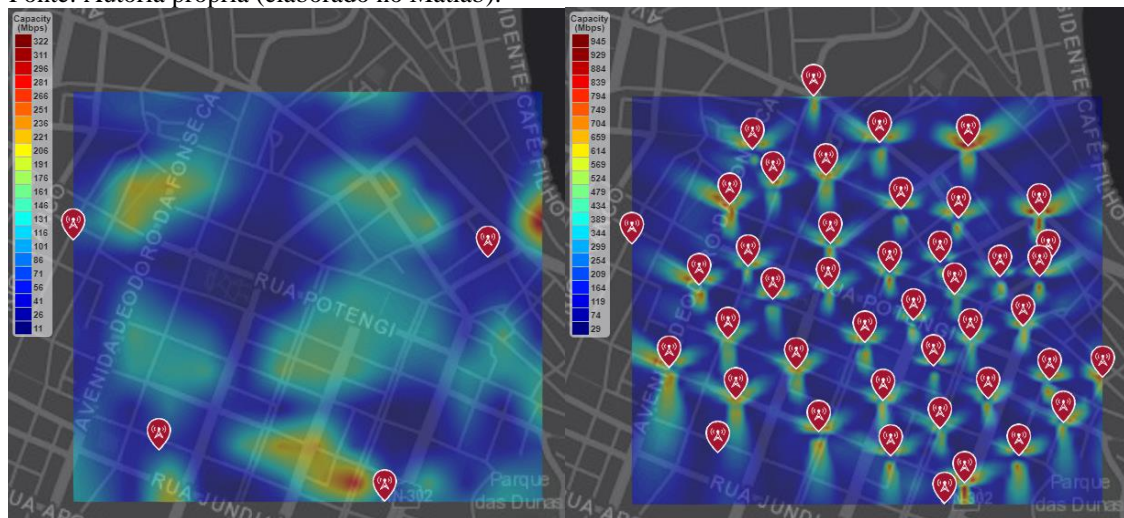


Figura 18 - Mapa de capacidade da rede no bairro de Petrópolis, considerando uma rede formada por macrocélulas e microcélulas. Fonte: Autoria própria (elaborado no Matlab).



Figura 19 - Comparativo dos resultados obtidos de capacidade: a) Rede macro; b) Rede macro e micro.
Fonte: Autoria própria (elaborado no Matlab).



4 CONCLUSÕES

Atualmente as operadoras de rede móvel brasileiras estão em fase de implantação do 5G, mas o serviço ainda é limitado em área de abrangência. As operadoras têm adotado o DSS (*Dynamic Spectrum Sharing*), dotando a rede de uma camada física com transmissão 5G, usando faixas de frequência dos sistemas 3G e 4G. Sem nenhuma mudança significativa na rede de acesso e no núcleo da rede, o uso do DSS implica em uma taxa de transmissão menor do que previsto para o 5G (TRINDADE, 2020). Conforme explicitado em (Oughton et al., 2018), as estratégias de compartilhamento de espectro podem aparecer em boa parte dos cenários até 2025 e, portanto, podem ter um papel importante no atendimento da demanda a curto prazo, embora para demandas futuras, essa técnica se torne ineficiente. Isso contrasta com a implantação de *small cells*, que proporciona expressiva elevações de capacidade. Este trabalho realizou um estudo de caso com o cenário de implantação de uma rede 5G em uma área urbana adensada, comparando os resultados de cobertura, SINR e capacidade, avaliando os desafios de transição da atual rede para rede 5G, ratificando a necessidade de implantação de uma rede densa formada por macrocélulas e microcélulas. A escolha das duas bandas de frequência para expansão de capacidade das redes 4G atuais para redes 5G, 700 e 3500 MHz, se justifica pelo aproveitamento das características de propagação que a banda de 700 MHz, com seu grande potencial e expandir a área de cobertura atual (SILVA, 2020).

Embora a faixa de 3,5 GHz tenha características de propagação mais limitadas, ela fornece maior largura de banda, permitindo capacidade adicional, especialmente se combinada com implantações de microcélulas. Analisando os resultados da simulação

realizada, observa-se que a implantação das microcélulas nessa faixa de frequência não apresenta melhoria significativa de desempenho no quesito cobertura, reforçando assim a necessidade de operação conjunta com macrocélulas na banda de 700 MHz. Esta conclusão é corroborada por (Shafi et al., 2017), que mostra também que implementações de alta densidade de microcélulas pode descarregar o tráfego de plano do usuário, mas ainda assim, é necessário a atuação das macrocélulas para prover cobertura (na faixa de microondas) para transportar o tráfego de plano de controle.

O aumento da densidade celular também pode resultar no aumento de interferência co-canal, que afetarão quaisquer ganhos de capacidade. Isso pode estar diretamente ligado com a escolha do ISD das *small cells*. Ele não deve ser tão pequeno a ponto de gerar alta interferência e nem tão grande que ultrapasse o alcance da célula (MIAO et. al., 2016). No entanto, na simulação foi constatado que a variação dos níveis de SINR não parece ser tão significativa com a inclusão das microcélulas em um ISD equivalente a 200 metros. Isso decorre do fato dos arranjos de antenas 5G possuírem largura de feixe muito mais estreita do que as antenas setoriais existentes e, por isso, os níveis de interferência poderem ser reduzidos. Além disso, podem ser empregadas técnicas de mitigação de interferência como as apresentadas em (Shafi et al., 2017), que estão em uso em sistemas IMT-Advanced, as quais combatem interferência de outra célula e, portanto, contribuem para a melhoria da eficiência espectral.

De acordo com a resultados de simulação apresentados neste trabalho, a capacidade de transmissão da rede foi favorecida com a implantação das microcélulas, atingindo taxas em torno de 100 a 200 Mbps na maior parte da área, e chegando a atingir uma capacidade máxima de quase 1 Gbps. A análise realizada sobre o bairro de Petrópolis em Natal/RN investigou a alta densidade de gNBs, característica da rede 5G. A rede sugerida, representada por 39 microcélulas operando em 3,5 GHz e 4 macrocélulas operando em 700 MHz, apresentou aumento de desempenho compatível com as premissas do 5G para atender o bairro de Petrópolis, em quesitos de cobertura, SINR e, principalmente, capacidade de transmissão, que se caracterizou por atingir em torno de 100 a 200 Mbps em quase toda a região do bairro, chegando a alcançar uma capacidade de quase 1 Gbps em regiões pontuais. Diante dos resultados, foi reforçada a importância do desempenho simultâneo das duas bandas, em que a banda de 700 MHz fornece a cobertura e a sinalização da rede e a banda de 3,5 GHz desempenha a função de ponto de acesso para atender aqueles usuários que demandam alta taxa de dados.

Como trabalhos futuros, a contribuição deste estudo enseja sua aplicação a outros

bairros cidade do Natal/RN, com características semelhantes e sua adaptação para aplicação aos demais bairros. Além disso, pode ser possível expandir a pesquisa dimensionando a rede *backhaul* de modo a possibilitar a realização de previsões de custos de expansão da rede.

REFERÊNCIAS

- Ahmadi, Sassan, LTE- Advanced, “A Pratical Systems Aproach to Understanding 3GPP LTE Releases 10 and 11 Radio Access Tecnology. Elsevier. 2014
- Bertoni, Henry L.; Radio Propagation for Modern Wireless Systems, Edit. Prentice Hall, p.176, 2000.
- Busari, Sherif Adeshina et al. 5G millimeter-wave mobile broadband: Performance and challenges. IEEE Communications Magazine, v. 56, n. 6, p. 137-143, 2018.
- Cavalcanti, F.R. P. Comunicação Móvel Celular, Ed. Elsevier. 2018
- Cosenza, B.V. UFRN. Estudo da cobertura do sinal de 14 GHz em ambientes fechados Engenharia de Telecomunicações. TCC. UFE. 2017
- Forecast, G. M. D. T. (2019). Cisco visual networking index: global mobile data traffic forecast update, 2017–2022. Update, 2017, 2022.
- Ge, Xiaohu et al. 5G ultra-dense cellular networks. IEEE Wireless Communications, v. 23, n. 1, p. 72-79, 2016.
- Hufford, George Allen et al. A guide to the use of the ITS irregular terrain model in the area prediction mode. US Department of Commerce, National Telecommunications and Information Administration, 1982.
- ITU (2017). ITU-R Rep. M.2410-0: Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s).
- ITU (2017). ITU-R Rep. M.2412-0: Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020.
- ITU-R (2015) “IMT vision - framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,” Rec. ITU-R M.2083-0, vol.pp. 1-46,
- Kinza S, Bilala. K., Farah S., Sameer Q., Muhammad M., Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios. IEEE. Access. Special Section on Antenna and Propagation for 5g and Beyond.2020
- Mac Cartney, G. R. e Rappaport, T. S. Rural Macrocell Path Loss Models for Millimeter Wave Wireless Communications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. (2017)
- Miao, G., Zander, J., Sung, K.W., Slimane, S. B., Fundamentals of Mobile Data Networks. Cambridge University, 2016
- OpenStreetMap. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org>>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- Oughton, Edward et al. Towards 5G: Scenario-based assessment of the future supply and demand for mobile telecommunications infrastructure. Technological Forecasting and

Social Change, v. 133, p. 141-155, 2018.

Prior e Cota, "Railways Communications Propagation Prediction over Irregular Terrain using Longley-Rice Model," 2021 28th International Conference on Telecommunications (ICT), pp. 1-5, 2021.

Rusuk, F., Persson, D., Lau B.K., Larsson E.G., Morzetta, T.L., Edfors O., Tufverson F., Scalling Up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays. IEEE Processing Magazine. V. 30. n.1 . 40-60. 2013.

Semurb (2017). Conheça Sua Cidade. Prefeitura de Natal.

Shafi, M., Molisch, A. F., Smith, P. J., Haustein, T., Zhu, P., De Silva, P., ... & Wunder, G.. 5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice. IEEE journal on selected areas in communications, 35(6), 1201-1221. 2017.

Silva, J.L.A. Estudo preliminar para implementação da rede de acesso 5G no bairro de Petrópolis em Natal/RN. TCC. UFRN. Engenharia de Telecomunicações. 2020

Sun, S., Rappoport, T.S., Thomas, T., Ghosh, A., Nguyen, H., Kovacs, I., Rodriguez, I., Koymen, O., and Prartyka, A. "Investigation of prediction accuracy, sensitivity, and parameter stability of large-scale propagation path loss models for 5G wireless communications." IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol 65, No.5, pp.2843-2860, May 2016.

Trindade, Rodrigo. Prévia do 5G chega ao Brasil como DSS; entenda transição para 5ª geração. UOL, São Paulo, 03 de jul. de 2020. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2020/07/08/claro-5g-dss-no-brasil.htm>>. Acesso em: 04 nov. 2020.

Vasconcellos, O. Vanessa. Proposta de Framework Embasado em Algoritmo Genético para Otimização de Acordos de Compartilhamento de Infraestrutura para o 5G. Dissertação de Mestrado. UNB. 2021. 119p.,

Wisely, D., Wang, N., & Tafazolli, R. Capacity and costs for 5G networks in dense urban areas. IET Communications, 12(19), 2502-2510.2018.

Sulyman A. I., A. Alwarafy, G. R. MacCartney, T. S. Rappoport and A. Alsanie, "Directional Radio Propagation Path Loss Models for Millimeter-Wave Wireless Networks in the 28-, 60-, and 73-GHz Bands," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, no. 10, pp. 6939-6947, Oct. 2016.