

# Estudo de predição de cobertura com aplicação em redes 5G

Daniel Pereira Gonçalves e Ugo Silva Dias

**Resumo**—Este artigo apresenta uma predição de intensidade de sinal para redes 5G com base na infraestrutura de redes móveis atual. O objetivo é realizar uma análise preditiva do efeito da mudança de frequência sobre a qualidade da comunicação e verificar possíveis mudanças de infraestrutura que poderiam ser feitas com intuito de recuperar a intensidade do sinal de transmissão original observada na transmissão 4G.

**Palavras-Chave** — 5G, ERBs, potência, medições.

## I. INTRODUÇÃO

As tecnologias de redes móveis já estão amplamente difundidas e a quantidade de usuários utilizando internet móvel tende a aumentar. O padrão LTE é o padrão predominante no Brasil, sendo adotado por todas as operadoras [1]. Com objetivo de atender a crescente quantidade de dispositivos conectados, surge a necessidade de aumento de capacidade. A quinta geração de redes móveis, o 5G, surge para suprir essa demanda e viabilizar aplicações como Internet of Things (IoT) massivo [2]. Entre os desafios para implementação do 5G pode-se citar a regulamentação e alocação de espectros de frequência para essa nova tecnologia. Para o caso de alocação de espectros em altas frequências, a perda de sinal por distância (*path loss*) pode ser muito alta, o que pode vir a ser um problema. Estudos para análise dos efeitos da nova tecnologia podem ser de grande importância para identificação e resolução dos possíveis desafios encontrados durante a implementação real do 5G.

O modelo de propagação no espaço livre utilizado para realizar estimativas de potência de transmissão foi o modelo Log-distance. A utilização desse modelo se deve ao *path loss* em uma localização particular ser aleatoriamente distribuído por meio de modelo log-normal [3]. Foi utilizada a fórmula da equação 1, em que a perda por distância calculada por meio da fórmula de Friis corresponde ao resultado dependente da frequência ( $f$ ), distância ( $d$ ) e da velocidade da luz no vácuo ( $c$ ), enquanto  $X\sigma$  é um valor aleatório gerado a partir de uma gaussiana de média zero e desvio padrão  $\sigma$ .

$$P_1(\text{dB}) = \frac{(4 \cdot \pi \cdot f \cdot d)^2}{c^2} + X\sigma \quad (1)$$

Para os cálculos de distância entre dois pontos geograficamente distintos, foi utilizada a fórmula de haversine, representada na equação 2, em que  $\Delta\phi$  é a diferença entre as latitudes dos pontos,  $\Delta\lambda$  a diferença entre as longitudes e  $R$  o raio da terra.

$$d = \sin^2(\Delta\phi/2) + \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \sin^2(\Delta\lambda/2) \quad (2)$$

## II. PROCEDIMENTOS E RESULTADOS

Os resultados e análises propostos nesse artigo utilizaram como base um sistema colaborativo para medição e análise de redes celulares: o ConSinal. Nesse sistema, medições feitas por dispositivos geograficamente distribuídos são processadas por servidores remotos, que como resultado produzem hexágonos dinâmicos em um mapa de cobertura baseado totalmente na experiência do usuário final. Assim, os usuários podem avaliar a cobertura dos operadores com maior nível de detalhes, mapeando as regiões com cobertura deficiente, baixa intensidade de sinal recebido ou baixa taxa de dados média [4].

Por meio das medições reais para o 4G obtidas pelo sistema acima referenciado em ambiente urbano, foi realizada uma predição da intensidade de sinal aproximada, caso a tecnologia de transmissão, concentrada na faixa de frequência de 2,5 GHz, fosse substituída por transmissões em 3,5 GHz, 6 GHz e 28 GHz. Cada medição foi associada à Estação Rádio Base (ERB) geograficamente mais próxima, supondo que esta foi a responsável pela transmissão do sinal. A localização das ERBs foi retirada da base de dados da Anatel [5].

Para realizar a associação com base na mínima distância, foi utilizado um algoritmo de árvore binária presente na classe KDTree do módulo `scipy.spatial`. Essa classe fornece um índice em um conjunto de pontos  $k$ -dimensionais, que podem ser usados para procurar rapidamente os vizinhos mais próximos de qualquer ponto [6]. Com as coordenadas associadas, foi utilizada a fórmula de haversine para cálculo da distância entre os pontos em metros.

Com a distância e a potência recebida pelo dispositivo móvel, para cada medição foi realizada uma estimativa da potência de transmissão da ERB associada por meio da fórmula de Friis para perda no espaço livre. Com a potência estimada, o modelo de propagação de *path loss* Log-distance foi usado para estimar qual seria a nova potência de sinal caso a transmissão fosse realizada na frequência do 5G. O valor de  $\sigma$  foi o desvio padrão de todas as medições armazenadas na base de dados para os últimos 30 dias, sendo esse valor igual a 6,12 dB.

Tendo em vista a perda do sinal decorrida da mudança na frequência de transmissão, foram geradas novas ERBs computacionalmente em posições estratégicas, onde fosse considerado que a cobertura para aquela área seria perdida. A Figura 1 mostra a comparação dos resultados para a transmissão original e para as transmissões previstas para o 5G em 6 GHz com e sem a utilização de ERBs geradas computacionalmente em procedimento descrito a seguir.

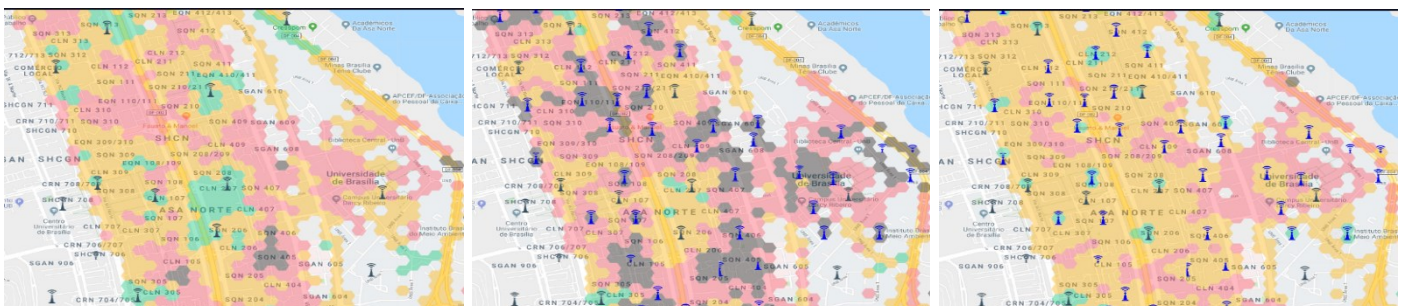


Figura 1. Da esquerda para a direita: (a) Medição real para 4G (b) Predição para 5G 6 GHz sem ERBs geradas (c) Predição para 5G 6 GHz com ERBs geradas. Legenda para hexágonos: verdes, acima de -80 dBm; amarelos, entre -80 e -100 dBm; vermelhos, entre -100 e -113 dBm; pretos, abaixo de -113 dBm. Legenda para ERBs: pretas, ERBs reais; azuis, ERBs não existentes geradas computacionalmente.

A base de cada hexágono possui aproximadamente 65 metros para a referência de latitude utilizada. Para alcançar o nível de sinal encontrado nas medições reais, possíveis soluções seriam o aumento da potência de transmissão ou o aumento no número de ERBs em regiões onde o nível de sinal caiu ao ponto de não haver conexão efetiva com a rede. A segunda opção foi escolhida, considerando sem conexão medições com nível de sinal abaixo de -113 dBm, representadas pelos hexágonos pretos. Para definição da localização das novas ERBs, para cada hexágono sem sinal, foram identificados os outros hexágonos também sem sinal em um raio de 450 metros, com a nova ERB posicionada no centro deles. Para determinada operadora com 62095 medições abaixo do limiar definido, foram geradas 492 ERBs para a simulação em 6 GHz em toda a área analisada. Na região em que se concentra a maior parte das medições (região da Figura 1), com área de 4,13 km<sup>2</sup>, foram geradas 30 ERBs, enquanto que somente 15 ERBs reais se localizam nesse espaço. Na Figura 1b é possível observar o aumento significativo de hexágonos pretos em relação às medições reais, justificando o posicionamento e a grande quantidade de ERBs geradas nas regiões consideradas sem conexão para a predição do 5G.

Geradas as novas ERBs, o próximo passo foi recalcular o nível de sinal para cada uma das medições e recriar os hexágonos com os novos dados. Para definição da potência de cada uma das ERBs geradas artificialmente, foi utilizado como referência o nível de sinal do 4G, sendo este nível médio a intensidade desejada a ser atingida. Novamente cada medição foi associada à ERB mais próxima. Dado que cada medição tem uma estimativa diferente para a potência da ERB responsável pela transmissão do sinal, e que o objetivo era alcançar um resultado semelhante em nível de sinal do 4G, a potência calculada para cada uma das novas ERBs foi a potência média de todas as medições a estas associadas. O resultado visual deste passo pode ser visualizado na Figura 1c.

Os mesmos passos descritos até aqui para a frequência de 6 GHz foram também realizados para a frequência de 3,5 GHz e 28 GHz. As CDFs (*cumulative distribution functions*) de estimativas para a potência das ERBs para o 4G e para o 5G nas frequências analisadas se encontram na Figura 2. Para a predição utilizando as ERBs geradas em 3,5 GHz e 6 GHz, não foi realizado nenhum aumento na estimativa de potência das ERBs já existentes, o que implica que todas as medições atendidas pelas ERBs que já existem tiveram sua intensidade de sinal necessariamente reduzida. Para o 28 GHz por conta do *path loss* ser muito alto mesmo para pequenas distâncias, foi adicionalmente realizado um aumento de potência de 12 dB para todas as ERBs. Para efeito comparativo, foi realizada também uma estimativa de potência caso nenhuma nova torre fosse adicionada. Foi considerado para isso que a potência de cada uma das ERBs teria de ser melhorada com base na diferença de nível de sinal entre o 4G e o 5G. Dado que as estimativas para 3,5 GHz e 6 GHz com as ERBs geradas foi muito semelhante, a consequência é vista na potência de recepção predita, na Figura 3.

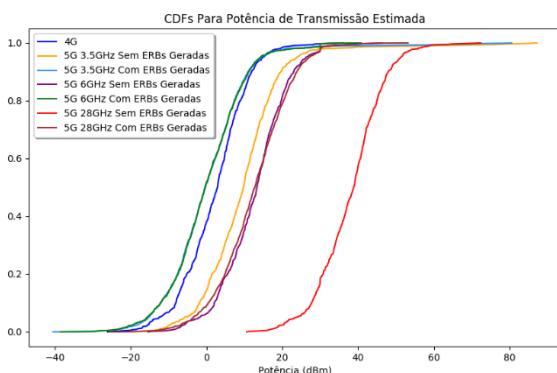


Figura 2: CDFs para estimativa da potência de transmissão.

Sem a utilização das ERBs geradas, a Figura 2 demonstra que a potência de transmissão teria de ser aumentada de forma considerável. Das 2.172.506 medições presentes na base de dados, a estimativa foi de 1.695.697 que passaram a ser cobertas pelas novas torres. As PDFs (*probability density functions*) do novo nível de sinal predito para as medições nas frequências de 3,5 GHz, 6 GHz e 28 GHz de determinada operadora podem ser observados na Figura 3. Para a simulação com a utilização das ERBs geradas, foi possível para o 3,5 GHz e para o 6 GHz alcançar uma previsão de intensidade do sinal comparável ou melhor à obtida no 4G. Para 28GHz, mesmo com condições de infraestrutura bastante distantes das atuais e nível de potência elevado para as ERBs, a intensidade do sinal diminuiu de tal forma que não foi possível atingir os padrões médios do 4G.

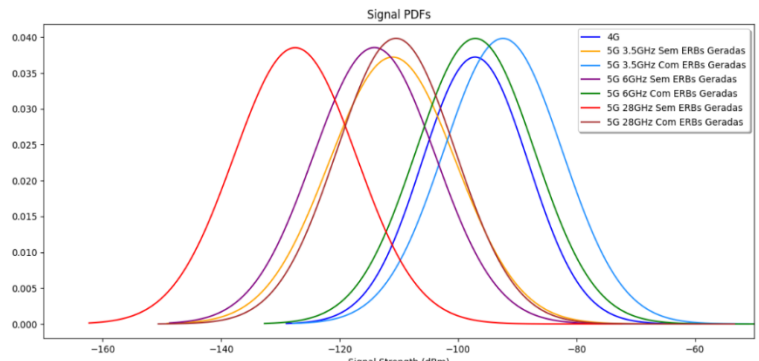


Figura 3. PDFs para 4G e 5G sobrepostas

### III. CONCLUSÃO

Para a frequência de 6 GHz foi possível obter intensidade de sinal média comparável ao do 4G, sem aumento de potência nas ERBs atualmente existentes. Já para 3,5 GHz a predição indica níveis de sinal ainda melhores do que os atuais. No entanto, o número de ERBs adicionais é relativamente alto, chegando a ser o dobro do que já existe para a região com maior número de medições. Portanto, para essa frequência os estudos demonstram que com considerável investimento seria possível realizar comunicação móvel no mínimo dentro dos padrões de intensidade observados pelos usuários finais atualmente.

Já para a frequência de 28 GHz, mesmo com quantidade de ERBs ainda mais elevada que para o caso anterior e com aumento significativo de potência para todas as ERBs utilizadas na simulação, o nível de sinal predito para o receptor seria ainda muito abaixo do nível mínimo para se considerar a comunicação viável e de boa qualidade.

### IV. REFERÊNCIAS

- [1] 4G: Frequências e licitações. Disponível em: [http://www.teleco.com.br/4g\\_freq.asp](http://www.teleco.com.br/4g_freq.asp), acesso em: 26/04/2019.
- [2] 5G: Tecnologias de Celular. Disponível em [http://www.teleco.com.br/5g\\_tecnologia.asp](http://www.teleco.com.br/5g_tecnologia.asp), acesso em: 26/04/2019.
- [3] RAPPAPORT, Theodore S. Wireless Communications: Principles and Practice (2nd Edition). Prentice Hall, 2002, pp 91-94.
- [4] SANTOS, Jorge Guilherme S. dos; VALLE, Leticia Moreira; COSTA, Eduardo Calandrini R.; DIAS, Ugo Silva. "Sistema Colaborativo para Medição e Análise de Redes Celulares Baseado em Aplicativo Móvel". XXXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais - SBrT2018, Campina Grande, PB, p. 1-5, 16 set. 2018.
- [5] Estações Rádio Base – ERBs Serviço Móvel Pessoal – SMP licenciadas. <http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/licenciamento>, acesso em: 20/04/2019.
- [6] SPATIAL algorithms and data structures. Disponível em: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/spatial.html>, acesso em: 21/03/2019.