

# Uso de Traçado de Raio com Nvidia Sionna para Simulação Fim-a-Fim via NS-3

João Albuquerque, Glauco Gonçalves e Aldebaro Klautau

**Resumo**— Este estudo investiga o uso da técnica de traçado de raio em um cenário urbano de Belém, utilizando o software Sionna, para calcular os canais de comunicação. Posteriormente, são conduzidas simulações fim-a-fim via NS-3 para avaliar as métricas de desempenho, considerando a variação da frequência de transmissão. Os resultados revelam que, com o aumento da frequência, ocorre uma maior instabilidade na Relação Sinal-Interferência (SINR), embora isso não afete significativamente as métricas de desempenho avaliadas. Este estudo contribui para uma compreensão mais aprofundada sobre a implementação de traçado de raio no simulador de redes NS-3.

**Palavras-Chave**— NS-3, 5G, traçado de raio, 5G-Lena

**Abstract**— This study investigates the use of the ray tracing technique in an urban scenario in Belém, using the Sionna software to calculate communication channels. Subsequently, end-to-end simulations via NS-3 are conducted to evaluate performance metrics, considering the variation in transmission frequency. The results reveal that, with increasing frequency, there is greater instability in the Signal-to-Interference Ratio (SINR), although this does not significantly affect the evaluated performance metrics. This study contributes a deeper understanding of ray tracing implementation in the NS-3 network simulator.

**Keywords**— NS-3, 5G, ray-tracing, 5G-Lena

## I. INTRODUÇÃO

As redes móveis são cruciais para a conectividade global, e a expansão das redes 5G tem melhorado significativamente as experiências dos usuários. No entanto, alcançar a satisfação ideal com o 5G envolve desafios relacionados à estabilidade e velocidade. Simuladores modernos fornecem simulações precisas utilizando modelos de canal implementados na camada física, que podem ser estocásticos, determinísticos ou, como no modelo 3GPP, híbridos [1].

Dessa maneira, a geração de canais é essencial para avaliar a qualidade do serviço e o uso eficaz das redes móveis nas camadas superiores (transporte, aplicação, etc.) [3]. Nesse contexto, o simulador NS-3 [4] e o módulo 5G (NR) do grupo CTTC-Lena se destacam por sua representação precisa da conectividade 5G e avaliações de qualidade de serviço. Eles permitem a simulação do modelo de canal espacial 3GPP e testes desde a camada física até a de transporte.

Para maior precisão nas métricas da camada física, estudos anteriores usaram o NS-3 para analisar a conectividade dos nós com traçado de raio para cálculos de canal, principalmente com a realização *quasi deterministic* [2]. No entanto, esses estudos não utilizaram os recursos mais recentes do NS-3 nem métodos de traçado de raio mais modernos, como o software de traçado de raio Nvidia Sionna.

Este artigo propõe reimplementar o uso de traçado de raios, desenvolvendo um novo módulo compatível com a versão mais

atual do simulador e com interface via módulo NR. Além de utilizar o software Sionna para simulações 5G fim-a-fim, a reimplementação incorpora características atuais do simulador, como a interferência entre células, aumentando o realismo nas métricas de performance e nos dados obtidos da camada física.

## II. CENÁRIO SIMULADO

Na comunicação sem fio 5G *Non-Standalone* (NSA), a *Next Generation Node B* (gNB) conecta o *User Equipment* (UE) ao nó final que provê serviços de aplicação. A gNB se conecta ao nó final via provedor de serviço de internet, utilizando uma conexão ponto-a-ponto. Em contraste, a comunicação entre a antena 5G e o UE é sem fio. Para replicar uma topologia fim-a-fim real, incluímos no cenário do NS-3 um UE, uma gNB conectada a um núcleo 4G (*Evolved Packet Core* - EPC) e um provedor de aplicação.

Com o cenário fim-a-fim implementado no NS-3, realizamos a dinâmica da simulação conforme ilustrado na Fig. 1. A implementação inicia com a simulação de traçado de raio, obtendo uma nova posição no cenário. Definimos um tempo de passo de 50 milissegundos (ms) para calcular e salvar o canal. Após cada computação, verificamos se o número de episódios atingiu o valor máximo, definido arbitrariamente como 1000, para decidir se a simulação continua ou é finalizada. Após calcular e salvar os canais, simulamos no NS-3 uma comunicação fim-a-fim, utilizando o canal calculado via Sionna. Com esse canal, computamos o sinal recebido e verificamos se o tempo de simulação foi excedido, o qual foi definido com base no tempo de passo, para finalizar ou não a simulação.

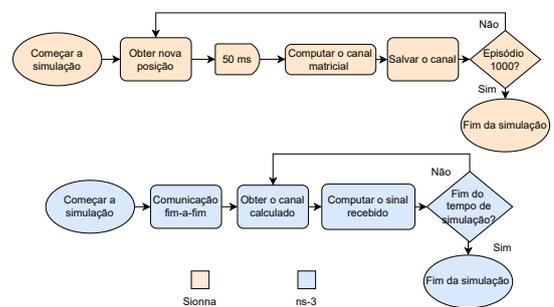
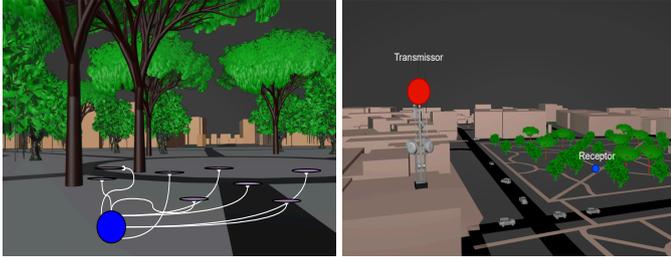


Fig. 1: Diagrama simplificado da implementação realizada.

Para geração dos canais utilizados no simulador de redes, utilizamos um cenário tridimensional bem definido. O cenário escolhido foi um cenário urbano da cidade de Belém, mostrado na Fig. 2, gerado com a ferramenta *OpenStreetMap*<sup>1</sup>, que

<sup>1</sup><https://www.openstreetmap.org>

permite criar modelos 3D para simulação. Com o cenário tridimensional criado, posicionamos os nós transmissor e receptor no cenário para replicar um ambiente real e fixamos a posição dos objetos presentes na cena (como carros, prédios, árvores, etc.), como visto na Fig. 2b.



(a) Caminho percorrido. (b) Cenário 3D de Belém.

Fig. 2: Ambiente no Sionna gerado via *OpenStreetMap*.

O caminho percorrido aleatoriamente pelo nó receptor dentro da praça, mostrado na Fig. 2a, permite a geração de novos canais para uso no simulador de redes, a cada nova posição. Além disso, realizamos 11 simulações, utilizando uma frequência da portadora variando de 20 GHz até 30 GHz.

### III. RESULTADOS

Com os novos canais gerados pela simulação do Sionna, é possível realizar a simulação no NS-3, que obedecerá à mesma taxa de atualização de canais, definida pelo tempo de passo previamente configurado. Os resultados obtidos a partir da simulação no NS-3 foram extraídos utilizando os métodos `FlowMonitor()` e `EnableTraces()` do simulador, que permitem a obtenção de dados a nível de aplicação e camada física, respectivamente. As simulações tiveram duração de 50 segundos, com pacotes de 1024 bytes transmitidos em um intervalo de 1 ms.

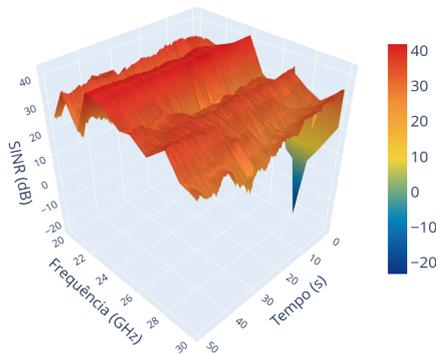


Fig. 3: SINR calculada ao longo do tempo e da frequência de transmissão da portadora.

Para este experimento, priorizamos a avaliação da taxa sinal-interferência mais ruído (SINR) em dB na camada física para cada uma das 11 simulações realizadas, conforme ilustrado na Fig. 3. Os resultados demonstram uma maior instabilidade em frequências mais altas, que sofrem maior atenuação durante a propagação e interação com o meio. Já para as frequências

mais baixas, observa-se um maior grau de estabilidade, embora com algumas flutuações intrínsecas à sua propagação e interação.

Apesar das flutuações no SINR, os resultados a nível de aplicação demonstram que o impacto nas métricas de performance se manteve estável, mesmo para frequências mais altas. Conforme a Fig 4, a média do *delay* não apresentou variações significativas em todas as simulações, mantendo-se entre 10 e 10,5 ms. De forma similar, a taxa de transferência (*throughput*) e o *delay jitter* se mantiveram estáveis dentro de uma faixa considerável, com aproximadamente 9,5 Mbps para a taxa de transferência e 1,7 ms para o *jitter*.

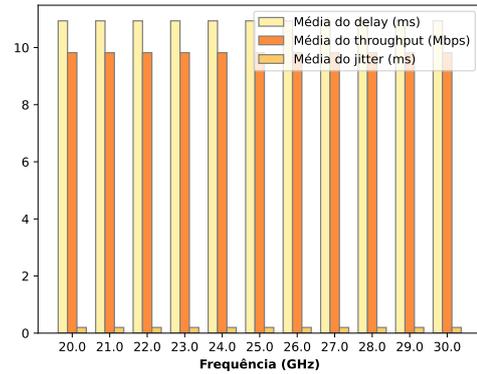


Fig. 4: Métricas de performance para cada frequência de transmissão da portadora.

### IV. CONCLUSÃO

Neste artigo, utilizamos a técnica de traçado de raios no cenário urbano de Belém para calcular o canal com o software Sionna. Com os canais gerados, realizamos simulações de comunicação fim-a-fim no NS-3 para avaliar métricas de desempenho e variações decorrentes do aumento da frequência de transmissão. Os resultados mostram que o aumento da frequência causa maior instabilidade no SINR, que se mantém, em grande parte do tempo, na faixa de 20 dB a 40 dB. Esses valores de SINR nessa faixa, na aplicação simulada com pacotes de 1024 bytes, asseguram a transmissão de pacotes, resultando em poucas alterações significativas nas métricas de latência.

Como próximos passos, planejamos adaptar o módulo para outros simuladores de traçado de raios, integrar pacotes de dados reais ao NS-3 para simulações mais realistas e disponibilizar o código para a comunidade NS-3.

### REFERÊNCIAS

- [1] Q. Zhu, C.-X. Wang, B. Hua, M. Kai, S. Jiang, and M. Yao, *3GPP TR 38.901 Channel Model*, 01 2021, pp. 1–35.
- [2] M. Lecci, P. Testolina, M. Polese, M. Giordani, and M. Zorzi, “Accuracy vs. complexity for mmwave ray-tracing: A full stack perspective,” arXiv:2007.07125.
- [3] TOBAGI, Fouad A. et al. Interactions between the physical layer and upper layers in wireless networks. *Ad Hoc Networks*, v. 5, n. 8, p. 1208–1219, 2007.
- [4] T. R. Henderson, M. Lacage, G. F. Riley, C. Dowell, and J. Kopena, “Network simulations with the NS-3 simulator,” vol. 14, no. 14, 2008, p. 527.