

Proposta de Metodologia de Análise de Redes Wi-Fi Prediais

Lucas Rodrigues Amaral
Universidade Federal do Pampa
Alegrete, RS - Brasil
lucasra2.aluno@unipampa.edu.br

Magdalena Mbuy Miko Mikue
Universidade Federal do Pampa
Alegrete, RS - Brasil
magdalenamikue.aluno@unipampa.edu.br

Bruno Boessio Vizzotto
Universidade Federal do Pampa
Alegrete, RS - Brasil
brunovizzotto@unipampa.edu.br

ABSTRACT

The present work proposes a methodology for evaluating building Wi-Fi networks using a spectrum analyzer alongside Wi-Fi network analysis tools. The Agilent CSA Spectrum Analyzer, model N1996A-506, and the tools ManageEngine *OpManager* and PRTG Professional Wi-Fi Analyzer will be used to measure the Wi-Fi signal of an academic building. The collected Received Signal Strength Indicator (RSSI) data will be imported and modeled in Python code to generate heatmaps that visually represent the quality of the Wi-Fi network coverage. The results obtained from the tools will be compared with those obtained from the analyzer to verify the accuracy and reliability of the reports generated by the tools.

KEYWORDS

Spectrum analyzer, Interferences, Fading.

1 INTRODUÇÃO

A comunicação entre os dispositivos é realizada por meio de protocolos com especificações de tratamento de dados para garantir a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes e a proteção por meio da criptografia. O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) desenvolveu vários protocolos, sendo o 802.3 Ethernet e o 802.11 Wi-Fi amplamente utilizados em redes de comunicação [1].

A rede Wi-Fi é essencial em ambientes residenciais, acadêmicos, industriais e médicos, pois complementa a rede cabeada e pode substituí-la quando a utilização de cabos não é viável. Como no Wi-Fi a transmissão de dados ocorre por meio de ondas eletromagnéticas, os *Access Points* (APs) empregam tecnologias avançadas de modulação e multiplexação para otimizar a eficiência espectral, garantir a integridade do sinal e mitigar os efeitos das interferências e dos desvanecimentos de pequena e grande escala. Para garantir uma boa cobertura da rede Wi-Fi é necessário realizar aferições do sinal eletromagnético com equipamentos ou ferramentas para analisar parâmetros que indicam a qualidade do sinal na região [2]. Os principais parâmetros e métricas a serem analisados são: *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), *Signal-to-Noise and Interference Ratio* (SNIR), *Signal-to-Interference Ratio* (SIR), *Throughput*, *Jitter* e Latência.

Ferramentas como o *ManageEngine OpManager* e o *PRTG Professional Wi-Fi Analyzer* são comumente utilizadas em dispositivos móveis como notebooks para realizar aferições do sinal Wi-Fi e gerar relatórios técnicos que mostram os indicadores

de desempenho da rede. Estas ferramentas utilizam a antena e o poder computacional do dispositivo ao qual estão instaladas, para processar os sinais captados e gerar os relatórios. Os analisadores de espectro são equipamentos robustos que possuem um *firmware* com elevado poder computacional de processamento de sinais eletromagnéticos. Estes equipamentos quando equipados com antenas captam os sinais eletromagnéticos e geram relatórios sobre o desempenho da rede com elevada precisão [3].

Algumas ferramentas apresentam *heatmaps* em seus relatórios com base nos valores captados de RSSI, estes mapas de calor indicam a intensidade do sinal Wi-Fi na região, sendo muito úteis para a visualização da extensão da cobertura da rede sem fio e a detecção de *dead zones*, que são zonas onde a cobertura do Wi-Fi é inexistente ou a intensidade do sinal é tão baixa que não pode ser captada pelas antenas dos dispositivos.

2 WI-FI E SEUS PRINCIPAIS DESAFIOS

A evolução do protocolo 802.11 resultou no surgimento do Wi-Fi 6 (802.11ax) e Wi-Fi 7 (802.11be). O Wi-Fi 6 foi projetado para lidar com ambientes de alta densidade de dispositivos ao proporcionar maior eficiência espectral, este protocolo permite a utilização de canais de até 160 MHz [4]. O Wi-Fi 6 utiliza a tecnologia *Quadrature Amplitude Modulation* (1024-QAM) que permite o uso de 1024 símbolos de 10 bits para transmitir sinais, garantindo um *throughput* de até 9.6 Gbps. A tecnologia *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) divide o canal em subcanais chamados de *Resource Units* (RUs), com estes RUs possuindo uma quantidade variável de subportadoras, sendo o mínimo 26 subportadoras por RU [4]. O OFDMA garante resistência a *intersymbol interference* (ISI) e permite que vários usuários utilizem o canal simultaneamente.

A tecnologia *Multi User-Multiple Input, Multiple Output* (MU-MIMO) permite que as antenas dos APs transmitam e recebam dados simultaneamente dos dispositivos resultando em redução da latência. O *Beamforming* é utilizado pelos APs para direcionar o sinal aos dispositivos em vez de propagá-lo de forma omnidirecional, dessa forma reduz-se a perda de dados decorrente de interferências e desvanecimentos [4].

A tecnologia *Basic Service Set Coloring*, chamada de *BSS Coloring* oferece aos APs suas 63 seqüências de 6 bits denominadas de “cores”, assim cada BSS possuirá uma cor distinta que será utilizada pelo AP para diferenciar quais dados pertencem aos dispositivos da sua rede e quais devem ser ignorados, permitindo assim a redução da *Co-Channel Interference* (CCI) [4].

O Wi-Fi 7 é um protocolo emergente, assim sendo, poucos equipamentos possuem compatibilidade com ele, porém para fins

de comparação com o Wi-Fi 6 serão citadas algumas das novas tecnologias. O protocolo 802.11be oferece suporte a canais de até 320 MHz e fornece a modulação 4096-QAM, no qual 4096 símbolos de 12 bits garantem um *throughput* de até 46 Gbps [5]. A tecnologia *Multi-Link Operation* (MLO) permite que os APs operem nas bandas de 2.4 GHz, 5 GHz e 6 GHz simultaneamente, podendo escolher a banda que ofereça o melhor desempenho conforme o tipo de tráfego de dados exigido na comunicação. O recurso *Multi-RU* (MRU) permite a alocação de múltiplos RUs para um único usuário ou vários usuários simultaneamente garantindo melhor eficiência espectral [5].

Em ambientes com elevadas interferências e desvanecimentos os APs executam o mecanismo *Adaptive Coded Modulation* (ACM) que ajusta o tipo de modulação utilizada e o *Error correcting code* (ECC), reduzindo a quantidade de bits por símbolo na QAM, com a 4096-QAM sendo reduzida para 1024-QAM ou 64-QAM ou 16-QAM, enquanto aumenta-se o número de bits utilizados no ECC gerando maior redundância, menor *throughput* e maior latência [6]. Por isso é essencial realizar testes periódicos de qualidade da rede Wi-Fi conforme são realizadas alterações no ambiente e nos equipamentos da rede, além também quando há variação no fluxo de usuários.

3 INTERFERÊNCIAS E DESVANECIMENTOS

O uso intensivo do espectro eletromagnético tem gerado desafios significativos em redes Wi-Fi devido às interferências *Co-Channel* (CCI), *Adjacent Channel* (ACI) e *Radio Frequency* (RFI). A CCI ocorre quando as *Basic Service Areas* (BSAs) dos APs estão sobrepostas e operam na mesma faixa de frequência, resultando em interferências destrutivas que degradam a qualidade do sinal. A métrica SIR é comumente utilizada para avaliar a relação entre o sinal desejado e os sinais interferentes, permitindo ajustes como o reposicionamento dos APs, a redução da potência de transmissão ou a alteração dos canais de operação [7].

A ACI é resultado do uso de canais adjacentes por APs com BSAs sobrepostas, sendo crítica na banda de 2.4 GHz devido ao número limitado de canais disponíveis. A métrica SNIR é comumente utilizada porque relaciona o sinal, as interferências e os ruídos, já que os sinais interferentes podem ser interpretados erroneamente como ruídos dependendo do fluxo de dados [8].

A RFI ocorre quando dispositivos como Bluetooth, fornos de micro-ondas e equipamentos de IoT operam nas mesmas faixas de frequência do Wi-Fi, especialmente na banda de 2,4 GHz que é a mais congestionada [9]. Esse cenário tem impulsionado a migração das redes Wi-Fi para as bandas de 5 GHz e 6 GHz.

O sinal da rede Wi-Fi é afetado também pelo fenômeno de desvanecimento (*fading*), no qual as características físicas do sinal são alteradas durante a sua propagação. O desvanecimento de pequena escala (*small-scale fading*) é causado pela reflexão e difração do sinal em curtas distâncias resultando na ocorrência de *multipath*, o que pode gerar ISI, e na ocorrência de *Doppler spread*, que pode gerar *shift frequencial* [10]. O desvanecimento de larga escala (*large-scale fading*) ocorre devido a propagação do sinal por longas distâncias, resultando na ocorrência de *path*

loss, no qual a amplitude do sinal é atenuada durante a propagação. A ocorrência de *shadowing* é resultado de obstáculos físicos que atenuam drasticamente o sinal, criando *dead zones* [10].

4 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta para a análise de redes Wi-Fi prediais nesta pesquisa inicia-se com a revisão da literatura existente sobre a avaliação de redes Wi-Fi, as topologias mais empregadas, as principais interferências que degradam o sinal, os desvanecimentos em pequena e grande escala que afetam o sinal, e o estudo do protocolo 802.11. Após a realização do estudo, o ambiente predial será mapeado para localizar a posição dos APs e posteriormente acessar seus *datasheets* conforme o modelo, além de informações operacionais como potência emitida, canal em operação e tecnologias utilizadas.

Utilizando o software *Ansys HFSS*, serão projetadas duas antenas omnidirecionais do tipo monopolo, uma delas operando na banda de 2.4 GHz e a outra na banda de 5 GHz, que posteriormente serão prototipadas. A escolha do modelo monopolo justifica-se pela disponibilidade de componentes e pela eficiência desse tipo de antena na irradiação e recepção de ondas eletromagnéticas.

O *Agilent CSA Spectrum Analyzer*, modelo N1996A-506, será calibrado segundo duas de três métricas disponíveis: *Distance to Fault* (DTF), *Return Loss* (RL) e *Insertion Loss* (IL). A métrica DTF não será utilizada, pois é limitada a uma amplitude de sinal de 10 dB. A RL indica a perda por reflexão no parâmetro S1. Para realizar a calibração, deve-se selecionar o menu de calibração e escolher o tipo de calibração desejada. Em seguida seleciona-se o tipo de cabo, a faixa de frequência e a amplitude do sinal a ser gerado pelo analisador. Ao confirmar a configuração será exibido um menu com a sequência de testes, incluindo *open conector*, *short conector*, *load* e *Device Under Test* (DUT) [3].

A IL indica a perda por transmissão no parâmetro S21. Para realizar a calibração, conecta-se o cabo coaxial na saída e na entrada RF do analisador. No menu de calibração escolhe-se o tipo de calibração desejada, seleciona-se o tipo de cabo, a faixa de frequência e a amplitude do sinal a ser gerado pelo analisador [3]. Após a conclusão das calibrações, as perdas oriundas do cabo coaxial que conecta a entrada de RF do analisador à antena serão desconsideradas.

Será desenvolvido o roteiro contendo as diretrizes a serem seguidas durante as aferições do sinal Wi-Fi no prédio acadêmico. Os dados do RSSI coletados pelo analisador serão exportados e modelados em código *Python* para gerar *heatmaps* de cada sala do prédio. A aferição do sinal com as ferramentas seguirá o mesmo roteiro de aferições utilizado com o analisador de espectro.

Os resultados obtidos sobre o status da rede serão analisados e comparados com os dados do analisador de espectro para verificar a precisão das ferramentas. A partir dessa análise, serão propostas soluções viáveis para a correção dos problemas identificados na rede.

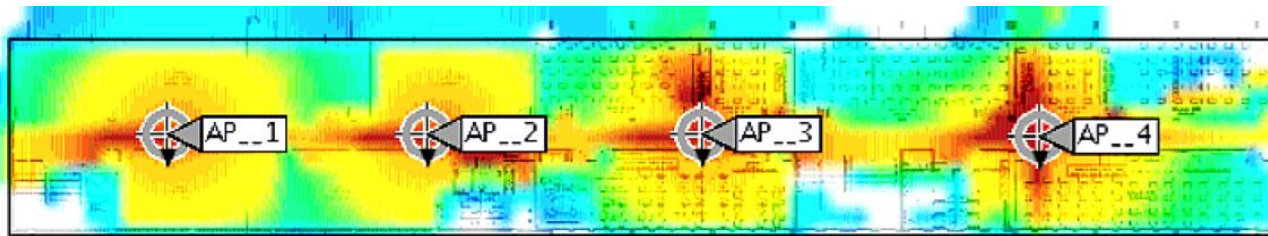


Figura 1 – Heatmap gerado para um andar do prédio acadêmico.

5 RESULTADOS PRÉVIOS

Os resultados prévios apresentados neste projeto foram desenvolvidos com base em simulações realizadas pela equipe técnica do Campus utilizando o software *Cisco Prime*. Este software analisa o status da rede e gera *heatmaps* de intensidade do sinal distribuído na planta baixa do ambiente. O tipo de material utilizado na estrutura física das salas do prédio é importado no software [11]. O relatório final das simulações indica os locais onde os APs devem ser posicionados, a faixa de operação, a potência emitida, o *throughput*, entre outros parâmetros. Após a implementação da rede Wi-Fi, não são realizados testes de desempenho e cobertura pela equipe responsável pelo projeto. Os resultados dos *heatmaps* gerados pelo software foram utilizados como base para o projeto da rede implementado no prédio, sendo um dos resultados apresentado na Figura 1. Os *heatmaps* gerados pelo software Cisco Prime convertem os valores de RSSI (dBm), em tonalidades de cores sobrepostas na planta baixa do prédio. O relatório completo do software apresenta listas com indicadores de status da rede nas bandas de 2,4 GHz e 5 GHz. O *heatmap* na Figura 1 exibe a cobertura proporcionada pelos APs que operam na banda de 2,4 GHz em um dos três andares do prédio.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os relatórios gerados por ferramentas de análise de rede apresentam estimativas da cobertura Wi-Fi em diferentes regiões analisadas. Esses relatórios são utilizados para avaliar a qualidade da cobertura da rede identificando a existência de *dead zones* e possibilitando ajustes para garantir um bom desempenho. Apesar da diversidade de métricas e parâmetros analisados pelas ferramentas de análise de rede disponíveis no mercado, a precisão dessas análises é limitada pelas características do hardware dos dispositivos nos quais estão instaladas. Fatores como o poder computacional do dispositivo, a qualidade da antena utilizada e sua sensibilidade na recepção de sinais RF influenciam diretamente nos resultados obtidos. Diante desse cenário, a proposta de uma análise mais abrangente que compare os dados estimados pelas ferramentas com dados obtidos por um analisador de espectro, apresenta-se como uma abordagem promissora, pois o analisador de espectro é um equipamento projetado para a análise de sinais eletromagnéticos, e seu firmware possui elevada

capacidade de processamento de dados do espectro

eletromagnético, permitindo medições mais precisas e confiáveis.

REFERÊNCIAS

- [1] "IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications," in *IEEE Std 802.11-1997*, vol., no., pp.1-445, 18 Nov. 1997, doi: 10.1109/IEEESTD.1997.85951.
- [2] M. R. Jivthesh, M. R. Gaushik, P. Adarsh, G. H. Niranga and N. S. Rao, "A Comprehensive survey of WiFi Analyzer Tools," *2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, Bangalore, India, 2022, pp. 1-8, doi: 10.1109/GCAT55367.2022.9972040.
- [3] N1996A CSA Spectrum Analyzer Measurement Guide and Programming Examples. Keysight, 2011. Disponível em: <<https://www.keysight.com/br/pt/assets/9018-05632/user-manuals/9018-05632.pdf>> Acesso em: 01 de Março de 2025.
- [4] E. Khorov, A. Kiryanov, A. Lyakhov and G. Bianchi, "A Tutorial on IEEE 802.11ax High Efficiency WLANs," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 1, pp. 197-216, Firstquarter 2019, doi: 10.1109/COMST.2018.2871099.
- [5] E. Khorov, I. Levitsky and I. F. Akyildiz, "Current Status and Directions of IEEE 802.11be, the Future Wi-Fi 7," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 88664-88688, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993448.
- [6] J. Wang, H. Huang, J. Liu and J. Li, "Joint Demodulation and Error Correcting Codes Recognition Using Convolutional Neural Network," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 104844-104851, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3201354.
- [7] D. Altamirano and C. de Almeida, "Evaluation of the effects of co-channel interference on the bit error rate of wireless networks with error correcting codes in fading channels," *2012 IEEE Latin-America Conference on Communications*, Cuenca, Ecuador, 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/LATINCOM.2012.6506012.
- [8] E. G. Villegas, E. Lopez-Aguilera, R. Vidal and J. Paradells, "Effect of adjacent-channel interference in IEEE 802.11 WLANs," *2007 2nd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications*, Orlando, FL, USA, 2007, pp. 118-125, doi: 10.1109/CROWNCOM.2007.4549783.
- [9] N. B. Tshiluna *et al.*, "Analysis of bluetooth and Wi-Fi interference in smart home," *2016 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE)*, Durban, South Africa, 2016, pp. 13-18, doi: 10.1109/ICACCE.2016.8073716.
- [10] Fading in Wireless Communication. Geeksforgeeks, 2024. Disponível em: <<https://www.geeksforgeeks.org/fading-in-wireless-communication/>> Acesso em: 01 de Março de 2025.
- [11] Cisco Prime Network Control System Configuration Guide, 2011. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/pt_br/support/wireless/prime-network-control-system/series.html> Acesso em: 01 de Março de 2025.