

ATENUAÇÃO DE SINAL Wi-Fi EM FREQUÊNCIAS DE 2.4 GHz E 5 GHz POR DIFERENTES MATERIAIS CONSTRUTIVOS UTILIZADOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO

Daniel Theisges da Costa¹
Rodrigo Gonçalves Sampaio Almeida²
Agnaldo da Costa³

Ciência da Computação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR),
danieltheisges@alunos.utfpr.edu.br

Ciência da Computação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR),
rodrigoalmeida.2002@alunos.utfpr.edu.br

Ciência da Computação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR),
agnaldocosta@utfpr.edu.br

Resumo

A comunicação sem fios é uma aplicação da ciência e da tecnologia que se tornou vital para a existência moderna. Desde o primordial rádio aos dispositivos atuais, o acesso à rede global transfigurou-se parte essencial e indispensável do estilo de vida da humanidade. Essa comunicação, entretanto, pode sofrer interferências físicas ou atenuações, as quais podem ser causadas por materiais utilizados principalmente na construção das instituições de ensino. A atenuação é um problema ocasionado pela redução da potência do sinal ao longo do meio de transmissão. Nesse sentido, este estudo busca avaliar a atenuação de sinal de Wi-Fi por diferentes materiais utilizados na construção civil. Com base no princípio de funcionamento de uma gaiola de Faraday, uma câmara de testes foi construída para obrigar a atenuar o sinal Wi-Fi em duas frequências diferentes (2,4 e 5 GHz). Amostras foram elaboradas com materiais construtivos tipicamente utilizados em território brasileiro e simulações foram realizadas. Os dados obtidos foram tabulados e classificadas as atenuações geradas por cada amostra. Foi verificado que alguns materiais construtivos causam maior atenuação em relação a outros, o que pode estar relacionado à variação de espessura e densidade de cada amostra. Como conclusão, o posicionamento dos roteadores Wi-Fi deve ser estratégico dentro das instituições de ensino, a fim de evitar que o sinal precise passar muitas paredes espessas e de material denso, o que diminui problemas de acesso à internet e potencializa o trabalho e o processo de ensino-aprendizado para os professores e alunos.

Palavras-Chaves: Atenuação; Sinal Wi-Fi; Frequência; Obstáculos de construção; Instituições de ensino.

1. INTRODUÇÃO

A comunicação sem fios é um campo em constante desenvolvimento e tem sido representado pela Wireless Local Area Network (WLAN) e suas tecnologias. Desde a sua adoção na década de 1990, a WLAN continua seu crescimento em participação de mercado ao longo dos anos e está se tornando cada vez mais importante para o fornecimento de serviços de dados sem fio, utilizando especialmente a tecnologia Wi-Fi (wireless fidelity) (Shourbaji, 2013; Deng *et al.*, 2020).

O Wi-Fi é um sistema usado para conectar computadores e outros equipamentos eletrônicos à Internet sem usar cabos, permitindo também que esses dispositivos troquem informações entre si e criem redes de comunicação. Essa tecnologia apresenta muitas vantagens em relação às redes cabeadas, como por exemplo a mobilidade e a infraestrutura, pois o custo de implantação é menor (Fontes, 2022), sendo amplamente utilizada nas instituições de ensino para complementar o processo de ensino-aprendizagem.

O *Institute of Electrical and Engineers* (IEEE) formou um grupo de trabalho para definir o padrão de uso de redes sem fio. Assim surgiu um padrão que reúne uma série de especificações que definem como deve ser a comunicação entre dispositivos. Com o passar do tempo foram criadas extensões, sendo uma delas o padrão 802.11, que é o Wi-Fi, que inicialmente tinha uma velocidade de transmissão de no máximo 2 Mbps, trabalhando com a banda de 2,4 GHz. Atualmente a frequência 2,4 GHz oferece uma velocidade de transmissão de no máximo 150 Mbps e a frequência de 5 GHz alcança uma velocidade máxima de 1 Gbps (Rufino, 2019; ANACOM, 2024).

Existem duas principais diferenças entre as frequências de 2.4 GHz e 5 GHz, que são a velocidade da taxa de transmissão de dados e o alcance. A frequência de 2.4 GHz proporciona uma maior área de cobertura e tem uma menor atenuação quando atravessa objetos sólidos, embora sua taxa de velocidade máxima seja da ordem de 150 Mbps. Outro ponto negativo é que a maioria dos eletrônicos utilizam essa frequência para se conectar, isso pode causar interferências aumentando o ruído e a taxa de erros de transmissão. Já a rede 5 GHz possui menor área de cobertura e maior taxa de velocidade de transmissão (Positivo, 2020; ANACOM, 2024).

O padrão 802.11 surgiu como uma alternativa ao padrão IEEE 802.3, também conhecido como Ethernet, o qual realiza a transmissão de sinal por meio de cabeamento, que foi implementado desde a criação das primeiras redes de internet. A internet via cabo possui vantagens em relação ao Wi-Fi, uma vez que o cabo apresenta um sinal mais limpo, sem interferências e não sofre a influência de obstáculos. Segundo Rufino (2019), muitos fatores

externos podem causar interferências nas redes sem fios em relação a redes cabeadas, pois não existe proteção em relação ao meio por onde as informações trafegam, embora possa alcançar locais que são de difícil acesso para redes cabeadas.

O método mais utilizado para indicar a intensidade do sinal Wi-Fi é através da medida de dBm, a qual mensura os decibéis relativos a um miliwatt e é expresso como um número negativo variando na escala de 0 a -100. Quanto mais próximo de 0 maior a qualidade do sinal e quanto mais próximo de -100 maior o nível de ruído, sendo -100 o ruído total onde não existe comunicação (NETSPOT, 2024).

Alguns materiais podem causar maior interferência do que outros. O efeito causado por essa interferência é chamado de atenuação, definida como o fenômeno de redução da potência do sinal ao longo do meio de transmissão, resultando da perda de energia do sinal por absorção ou fuga de energia, uma vez que nenhum meio físico é capaz de transmitir um sinal sem que haja perda (Forouzan, 2007).

A absorção é a capacidade da superfície do material de propriedade não condutora de absorver a onda eletromagnética, transformando-a em calor. Quanto maior for a absorção pelo material, pior é o desempenho de uma rede sem fio, ocasionando a redução do alcance da onda, resultando na queda de transmissão de dados (throughput) e no aumento da taxa de erros na comunicação (Richter, 2019).

Segundo Dobkin (2005), existem diferentes níveis de atenuação: alta, moderada e baixa. Uma atenuação alta, como por exemplo a causada por concreto espesso, alvenaria, madeira maciça ou metal, gera perdas de 10-20 dB por obstáculo. A atenuação moderada, como paredes de tijolo de camada única, alvenaria fina, painéis de madeira, etc., gera perdas de 5-10 dB por obstáculo. Já a atenuação baixa, como madeira compensada, vidraçarias, portas de madeira, tecidos (cortinas), gera perdas de menos de 5 dB por obstáculo.

A Gaiola de Faraday é um dispositivo utilizado para proteger equipamentos contra campos eletromagnéticos indesejados. O princípio de funcionamento de uma Gaiola de Faraday parte de uma superfície de material condutor (alumínio, aço galvanizado, zinco, etc.) que impede a passagem de ondas eletromagnéticas. Quando o campo eletromagnético penetra na superfície condutora gera um campo contrário, ou seja, os sinais se anulam quase que completamente, resultando num campo praticamente nulo no interior da gaiola (Mattede, 2022).

É possível observar muitas aplicações práticas do uso da Gaiola de Faraday. Uma dessas aplicações está nas carcaças de micro-ondas, que isolam o usuário das ondas de radiação eletromagnética de baixa frequência geradas pelo magnetron (dispositivo responsável por produzir a radiação eletromagnética que esquentam os alimentos). Outro exemplo são as fontes

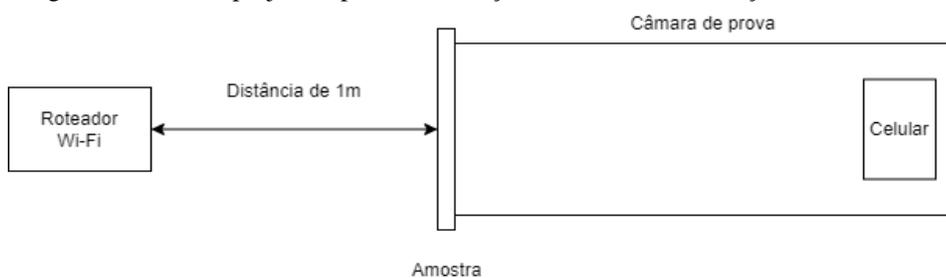
de computadores, que impedem a fuga de sinais eletromagnéticos que podem interferir em outros dispositivos ou componentes próximos a ele (Leite, 2012; Mattede, 2022). Desta forma, é possível construir uma Gaiola de Faraday para realizar testes de transmissão de sinais.

Uma predição equivocada no posicionamento do roteador Wi-Fi nas instituições de ensino pode acarretar áreas de sombra de sinal, reduzindo a qualidade da conexão ou até mesmo impossibilitando a conectividade em determinados cômodos. Estudos nesse sentido são importantes para nortear a tomada de decisões na instalação de roteadores em instituições de ensino, levando em consideração os materiais que podem causar atenuação do sinal Wi-Fi. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a atenuação de sinal de Wi-Fi por diferentes materiais utilizados na construção civil brasileira, classificando-a em alta, moderada e baixa.

2. METODOLOGIA

Os experimentos de coleta de atenuação foram realizados dentro da sala de estar de uma residência tradicional de alvenaria, utilizando uma câmara de prova construída manualmente, amostras de construção coletadas na construção civil, um roteador Wi-Fi modelo EC220-G5 Dual Band AC1200 e um aparelho celular SAMSUNG S9 Plus. Os equipamentos e materiais utilizados na coleta das atenuações foram posicionados seguindo o modelo apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Modelo projetado para a elaboração dos testes de atenuação de sinal Wi-Fi



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Seguindo este modelo, foi elaborada uma câmara de prova (Figura 2), com as medidas de 80 cm de comprimento por 40 cm de largura e 40 cm de altura. A estrutura foi construída toda em madeira de pinus de 18 mm por 100 mm e o fechamento das paredes em tela de galvanizado hexagonal arame 24 BWG, malha de 22".

Além da blindagem realizada pela tela hexagonal, a câmara foi envolvida com duas camadas de papel alumínio para aumentar a eficiência de blindagem. A estrutura foi montada utilizando a premissa de um invólucro totalmente blindado de fontes eletromagnéticas externas,

ou seja, uma gaiola de Faraday. Os testes foram realizados de acordo com a configuração dos materiais conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Câmara de prova e setup experimental utilizados para a realização dos testes



Fonte: registro do autor, 2024.

As amostras consistiam em diferentes materiais de construção comumente utilizados na construção de instituições e outros no Brasil, especialmente na divisão de espaços e em acabamentos, como por exemplo em parede de tijolos sem reboco, parede de tijolos com reboco, parede de tijolos com reboco e cerâmica, vidro não temperado (janelas) e parede de madeira (pínus). Todos os materiais testados eram sem pintura. Foram construídas placas de 45 cm de altura por 45 cm de comprimento utilizando material amostral, conforme Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Material amostral e espessura das amostras utilizadas no teste de atenuação

Material da amostra	Espessura (mm)
Sem amostra	0
Vidro não temperado	3
Madeira de construção (Pinus)	25
Tijolo 6 furos	90
Tijolo + Reboco	105
Tijolo + Reboco + Cerâmica	112

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Cada amostra foi posicionada há uma distância de 1 metro do roteador Wi-Fi, e posicionada a frente da única abertura da câmara, assim todo o sinal emitido é obrigado a passar pela amostra e no fundo da câmara de teste o celular faz a medição da intensidade do roteamento Wi-Fi que é espelhado para a tela do *notebook*, utilizado apenas para acessar as informações medidas pelo celular.

O software utilizado para medir a intensidade da onda Wi-Fi - “Medidor de força do sinal Wi-Fi” de Phuongpn versão 1.5.5(38) em um Samsung Galaxy S9 Plus + na rede 2.4 GHz e 5 GHz, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Tela de medição de sinal do aplicativo “Medidor de força do sinal Wi-Fi”



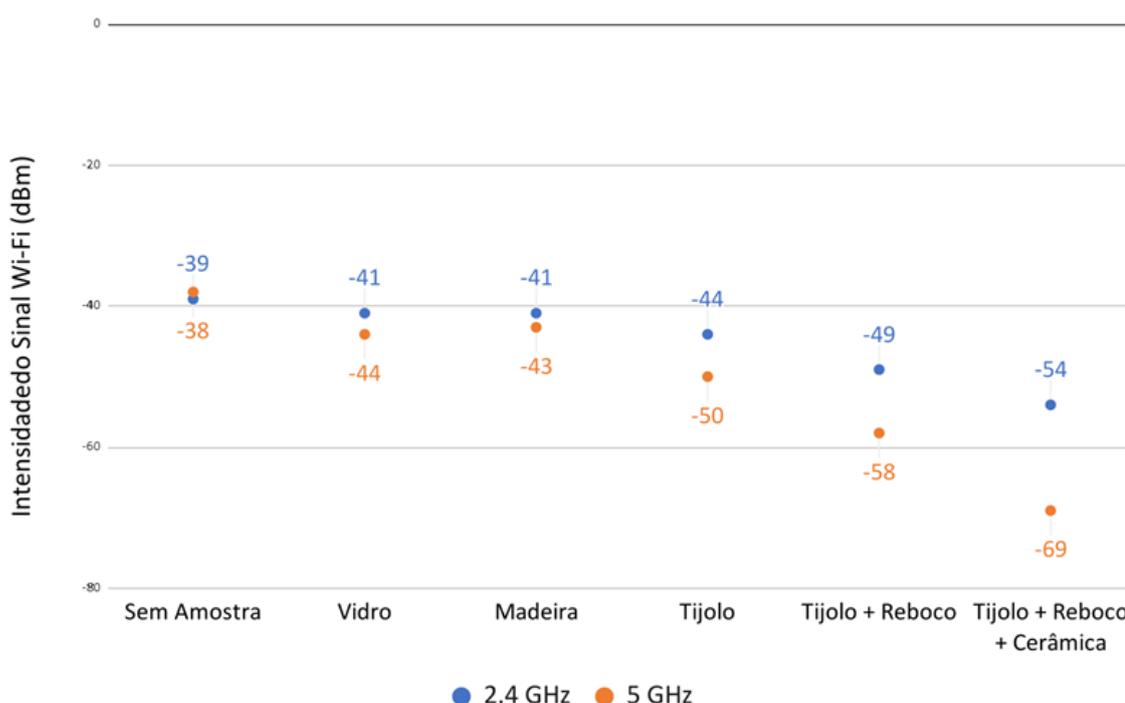
Fonte: registro do autor, 2024.

Foram realizadas no total cinco medições para cada amostra. Os dados obtidos foram tabulados, codificados e analisados no programa de computador Microsoft Excel®. Utilizando este mesmo programa, foi elaborado um gráfico a fim de comparar a atenuação de sinal Wi-Fi em frequências 2.4 GHz e 5 GHz pelos diferentes materiais amostrais utilizados nos testes. Também foi elaborada uma tabela para apresentação das médias das medições de relação do material da amostra, da espessura e da intensidade do sinal nas frequências de 2.4 e 5 GHz e realizados os cálculos e porcentagens.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados experimentais estão representados a seguir pelo Gráfico 1 e pela Tabela 2. Pela análise do Gráfico 1, é possível observar que as amostras “tijolo + reboco” e “tijolo + reboco + cerâmica” apresentaram as maiores atenuações de sinal Wi-Fi em frequências de 2.4 GHz e de 5 GHz - classificadas como atenuação alta - sendo que, para a frequência de 2.4GHz a amostra “tijolo + reboco” apresentou incremento de 10% de atenuação em relação ao teste realizado sem amostra, enquanto e a amostra “tijolo + reboco + cerâmica” apresentou incremento de 15% na atenuação (Gráfico 1). Já para a frequência de 5 GHz, a amostra “tijolo + reboco” apresentou incremento de 20% em relação ao teste realizado sem amostra, enquanto a amostra e a amostra “tijolo + reboco + cerâmica” apresentou incremento de 31% na atenuação.

Gráfico 1 – Atenuação de sinal Wi-Fi em frequências 2.4 GHz e 5 GHz por materiais construtivos



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Com esses resultados, é possível verificar que alguns materiais construtivos causam maior atenuação de sinal em relação a outros, uma vez que materiais mais espessos e densos resultaram em maior atenuação de sinal gerando perdas significativas mesmo precisando atravessar apenas uma camada de cada amostra (Gráfico 1). Comparando as atenuações nas duas frequências, é possível observar que as atenuações foram mais intensas para a frequência de 5GHz em comparação à frequência de 2.4GHz, considerando os mesmos materiais, ou seja, a frequência de 2.4GHz sofreu, no geral, menor atenuação (Gráfico 1).

Observou-se também que as perdas da intensidade de sinal condizem com o que a literatura relata, especialmente quando tratado em relação à frequência de 2.4 GHz (Dobkin, 2005). Não foram encontrados na literatura testes experimentais em materiais construtivos utilizando a frequência de 5 GHz para comparar com os dados obtidos. Como já descrito, pela forma como frequências mais altas tem maior redução da potência do sinal ao longo do meio de transmissão, foi possível observar como a frequência 5 GHz teve maior perda em relação à frequência de 2.4 GHz, o que pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2: Relação material da amostra, espessura e intensidade do sinal nas frequências de 2.4 e 5 GHz

Material da amostra	Espessura (mm)	Média da Intensidade do Sinal em frequência 2.4 GHz (dBm)	Média da Intensidade do Sinal em frequência 5 GHz (dBm)
Sem amostra	0	-39	-38
Vidro	3	-42	-43
Madeira de construção (Pinus)	25	-41	-42
Tijolo 6 furos	90	-44	-50
Tijolo + Reboco	105	-49	-58
Tijolo + Reboco + Cerâmica	112	-54	-69

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A amostra que resultou em atenuação moderada foi “Tijolo 6 furos”, sendo que apresentou um incremento de 10% para a frequência de 2.4GHz e 12% para a frequência de 5GHz em relação ao teste realizado sem amostra. Esses resultados podem ser explicados devido a diferença de espessura de cada uma das amostras, bem como devido à diferença na densidade dos materiais testados.

As amostras que resultaram em baixa atenuações de sinal Wi-Fi em frequências de 2.4 GHz e de 5 GHz foram “madeira de construção (pinus)” e “vidro” (Tabela 2), sendo que, para a frequência de 2.4GHz a amostra “madeira de construção (pinus)” apresentou incremento de apenas 2% de atenuação em relação ao teste realizado sem amostra, enquanto a amostra “vidro” apresentou incremento de 3% na atenuação. Já para a frequência de 5GHz, a amostra “madeira de construção (pinus)” apresentou incremento de apenas 4% de atenuação em relação ao teste realizado sem amostra, enquanto a amostra “vidro” apresentou incremento de 5% na atenuação.

É importante ressaltar que foi testada apenas uma camada de cada amostra. Sendo assim, os resultados sugerem que com mais de uma camada de amostra a atenuação poderá ser ainda maior, especialmente na rede 5 GHz.

Não foram encontrados artigos que usem essa metodologia para descrever a perda de sinais em materiais construtivos, confirmando a autenticidade desse trabalho. Entretanto, a literatura relata alguns exemplos de sistemas construídos para demonstrar a atenuação de sinal em materiais aleatórios e em materiais construtivos usando radiofrequência, que também é uma onda eletromagnética, porém é transmitida em frequências diferentes das utilizadas em redes Wi-Fi.

Ferreira e Montanha (2017) demonstraram por meio da elaboração de um projeto, um levantamento dos diferentes sinais Wi-Fi após sofrer interferência por barreiras ou por outros dispositivos que emitem frequências eletromagnéticas. Com o objetivo de propor o melhor posicionamento do roteador para maximizar a recepção do sinal.

Richter (2019) utilizou amostras de materiais construtivos encontrados no mercado nacional brasileiro para testar a atenuação de ondas de rádio frequência nas frequências de 900 MHz a 5850 MHz e destacou que a maioria dos valores obtidos foram maiores que os disponíveis na literatura. O autor conclui que os dados obtidos devem ser analisados por profissionais de TI/TELECOM, o que permitirá realizar projetos mais adequados à realidade nacional maximizando a cobertura de sinal e minimizando a interferência entre emissores e receptores.

Por meio de estudo experimental, Golubeva *et al.* (2018) demonstraram a atenuação de sinal Wi-Fi na frequência de 2,4 GHz em diferentes materiais, mesmo alguns deles não sendo aplicados na prática como papelão e cerâmica. Foi estudada a velocidade de transmissão de dados, sendo concluído pelos autores que as perdas possuem relação com a distância entre o receptor e o transmissor, a quantidade de painéis (amostras de materiais) e o material da amostra. Essa dependência não é linear, portanto é difícil descrever os métodos de modelagem de propagação de ondas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento desenvolvido para medir atenuação de sinal por obstáculos construtivos permite realizar diferentes estudos para utilização durante o projeto de desenvolvimento de plantas institucionais de ensino e orientar o posicionamento de roteadores Wi-Fi a fim de obter o melhor alcance de sinal.

Considerando ambas as frequências de 2.4 GHz e de 5 GHz, as atenuações altas foram identificadas nas amostras “tijolo + reboco” e “tijolo + reboco + cerâmica”. A amostra que resultou em atenuação moderada foi “Tijolo 6 furos”. As amostras que resultaram em baixa atenuações de sinal Wi-Fi foram “madeira de construção (pinus)” e “vidro”.

Com base nos resultados dos dados da influência das amostras na propagação do sinal, pode-se concluir que os materiais mais densos e com maior espessura causam maior atenuação no sinal, e os de menor densidade e espessura causam menor atenuação. Portanto, ao posicionar roteadores Wi-Fi deve-se evitar a proximidade de locais com paredes espessas como banheiros que comumente possuem revestimento de cerâmica, material que dificulta ainda mais a transmissão de dados. Também é importante levar em consideração que o roteador deve ser instalado em cômodos mais centrais da instituição, como corredores e saguão para que o sinal percorra a menor distância possível, passando por menos obstáculos construtivos.

Esses resultados podem ser aplicados no planejamento da localização do roteador Wi-Fi dentro de instituições de ensino, como escolas e universidades, a fim de se obter o sinal desejado em todos os cômodos e salas de aula, evitando as falhas de conexão, atraso na entrega dos pacotes de dados ou até mesmo a ausência de conexão, o que diminui as dificuldades de conexão que podem resultar em atrasos nas aulas e nos processos educativos que exigem o uso de internet *in loco*, potencializando o processo de ensino-aprendizagem.

Os roteadores mais recentes, como o utilizado para o teste, possuem a vantagem de emitir as duas frequências, assim resolvendo os problemas clássicos encontrados nessas frequências, pois a rede 5 GHz pode ser utilizada para ambientes internos e a rede 2.4 GHz para ambientes internos com mais obstáculos construtivos ou ambientes externos que estão mais distantes do roteador.

Pesquisas mais aprofundadas podem ser realizadas a fim de usar *softwares* de simulação e predição de propagação de sinal para o desenvolvimento da planta institucional, bem como roteadores mais potentes, para que seja possível simular a atenuação gerada pelas repartições, empregando os dados obtidos no experimento com a câmara de prova e as amostras (obstáculos de construção), gerando assim maior precisão no posicionamento dos roteadores Wi-Fi.

A câmara de teste apresentada possibilita a criação de diversas situações de interferência ou atenuação podendo expandir significativamente as áreas de pesquisa e possibilitando diversos testes e gerando novos resultados.

REFERÊNCIAS

ANACOM. **Internet - Wi-Fi 2,4 GHz vs Wi-Fi 5GHz - Quais as diferenças e qual usar?** Disponível em: <https://www.anacom-consumidor.pt/-/internet-wi-fi-2-4-ghz-vs-wi-fi-5ghz-quais-as-diferencas-e-qual-usar>- Acesso em 15 ago., 2024.

DENG, C.; FANG, X.; HAN, X.; WANG, X.; YAN, L.; HE, R.; LONG, Y.; GOU, Y. IEEE 802.11be Wi-Fi 7: New Challenges and Opportunities. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 4, Fourth Quarter, 2020.

DOBKIN, D. M. RF Engineering for Wireless Networks: Hardware, Antennas, and Propagation (Communications Engineering). **Newnes**, p. 315-323, 2005.

FERREIRA, L.; MONTANHA, G. M. Interferência de sinal Wi-Fi em função de tipos de barreiras. **Tekhne e Logos**, Botucatu, v. 8, n. 2, set., 2017.

FONTES, P. **Internet via cabo ou Wi-Fi: qual a melhor opção?** Disponível em: <https://www.cianet.com.br/blog/infraestrutura-e-tecnologia/internet-via-cabo-wifi/> Acesso em: 23 ago., 2024.

FOROUZAN, B. A. Comunicação de Dados e Redes de Computadores. **AMGH**, 4th edition, 2007.

GOLUBEVA, T.; ZAITSEV, Y.; KONSHIN, S.; DUISENBEK, I. A study on the Wi-Fi radio signal attenuation in various construction materials (Obstacles). In: **2018 TENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON UBIQUITOUS AND FUTURE NETWORKS (ICUFN)**, 2018, p. 718-723. DOI: 10.1109/ICUFN.2018.8436785.

LEITE, R. P. Por dentro da Gaiola de Faraday: estudos e ideias sobre a estrutura da matéria (1836-1838). 2012. 85 f. **Dissertação** (Mestrado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2012.

MATTEDE, H. **Gaiola de Faraday, o que é?** Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/gaiola-de-faraday-o-que-e-qual-a-sua-aplicacao/> Acesso em 10 ago., 2024.

NETSPOT. **O que é a força do sinal Wi-Fi e por que devo me importar com isso?** Disponível em: <https://www.netspotapp.com/pt/wifi-signal-strength/wifi-signal-strength-and-its-impact.html#:~:text=O%20m%C3%A9todo%20mais%20consistente%20de,%20portanto%20%20um%20n%C3%BAmero%20menor.> Acesso em: 17 ago., 2024.

POSITIVO. **Wi-Fi 2.4 GHz e 5 GHz: entenda as diferenças e saiba qual é a frequência ideal para seus eletrônicos.** Disponível em: <https://blog.positivocasainteligente.com.br/wifi-5ghz-24ghz-o-que-e-diferenca/> Acesso em: 20 ago., 2024.

RICHTER, E. H. Atenuação de sinal de rádio frequência por diferentes materiais em ambiente indoor. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, 2019.

RUFINO, N. M. O. Segurança em Redes sem Fio - Aprenda a proteger suas informações em ambientes Wi-Fi e Bluetooth. **Novatec**, 4th edition, 2019.

SHOURBAJI, I. A. An Overview of Wireless Local Area Networks (WLAN). **International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)**, v. 11, n. 2, 8 p., Feb, 2013. DOI:

<https://doi.org/10.48550/arXiv.1303.1882>.