

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
CAMPUS TIMÓTEO**

Pedro Oliveira Gomes e Silva

**REDES 5G E WLAN EM CENÁRIO PRÁTICO: AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO, LATÊNCIA E FUNCIONALIDADE NA
TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA APLICAÇÕES DOMÉSTICAS
E EMPRESARIAIS**

Timóteo

2024

Pedro Oliveira Gomes e Silva

**REDES 5G E WLAN EM CENÁRIO PRÁTICO: AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO, LATÊNCIA E FUNCIONALIDADE NA
TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA APLICAÇÕES DOMÉSTICAS
E EMPRESARIAIS**

Monografia apresentada à Coordenação de Engenharia de Computação do Campus Timóteo do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Adilson Mendes Ricardo

Timóteo

2024

Pedro Oliveira Gomes e Silva

Redes 5G e WLAN em Cenário Prático: Avaliação de Desempenho, Latência e Funcionalidade na Transferência de Dados para Aplicações Domésticas e Empresariais

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Computação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, campus Timóteo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Computação.

Timóteo, 19 de fevereiro de 2025

Prof. Ms. Adilson Mendes Ricardo
Orientador

Prof. Dr. Elder de Oliveira Rodrigues
Professor Convidado

Prof. Dr. Lucas Pantuza Amorim
Professor Convidado

Timóteo
2024



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC N° 3/2025 - DECOMTM (11.63.11)
(N° do Documento: 4)

(N° do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 19/02/2025 18:10)

ADILSON MENDES RICARDO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DECOMTM (11.63.11)
Matrícula: ###493#8

(Assinado digitalmente em 19/02/2025 18:15)

ELDER DE OLIVEIRA RODRIGUES
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DECOMTM (11.63.11)
Matrícula: ###942#5

(Assinado digitalmente em 19/02/2025 18:11)

LUCAS PANTUZA AMORIM
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DECOMTM (11.63.11)
Matrícula: ###974#1

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: 4, ano: 2025, tipo:
FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC, data de emissão: 19/02/2025 e o código de verificação: 3aafb8af18

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho. Em primeiro lugar, ao meu orientador, Adilson Mendes Ricardo, pela paciência, dedicação e apoio ao longo de todo o processo de planejamento e execução do trabalho. Sua orientação foi fundamental para o sucesso desta jornada.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais e minha tia, pelo apoio incondicional e motivação. Vocês foram minha base e me ajudaram a não desistir nos momentos mais desafiadores. Quero agradecer também à minha namorada e à minha cunhada pelos conselhos e pela ajuda durante a fase de escrita.

Aos meus amigos e colegas de curso, que compartilharam conhecimentos e experiências sempre que precisei. Além disso, trouxeram momentos de descontração e risadas, tornando essa jornada mais leve e divertida.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho, meu mais profundo agradecimento. Este momento é o resultado de muito esforço e colaboração, e sou imensamente grato a cada um de vocês.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo comparar as redes 5G e Wi-Fi 6 (802.11ax) para avaliar o desempenho de cada uma, com foco em ambientes domésticos e empresariais. Com a crescente demanda por conectividade de alto desempenho, impulsionada pelo aumento de dispositivos conectados e aplicações que exigem baixa latência e alta taxa de transferência, é crucial compreender as capacidades dessas tecnologias. A pesquisa analisou as características técnicas, vantagens e limitações de ambas, destacando como elas podem atender às necessidades específicas desses ambientes. Além disso, foram realizados testes práticos utilizando ferramentas como Iperf e uTorrent, simulando cenários de transferência de dados, analisando métricas como throughput, upload e estabilidade da conexão. Através desses testes de desempenho, concluiu-se que, no contexto analisado, a Wi-Fi 6 se mostrou mais adequada para essas aplicações, embora a 5G tenha potencial teórico. O estudo contribui para a escolha informada da tecnologia mais adequada a diferentes cenários de uso.

Palavras-chave: 5G, Wi-Fi 6, 802.11ax, Ambientes domésticos, ambientes empresariais, Desempenho de rede.

Abstract

This study aims to compare 5G and Wi-Fi 6 (802.11ax) networks to evaluate their performance, focusing on domestic and business environments. With the growing demand for high-performance connectivity, driven by the increase in connected devices and applications requiring low latency and high data transfer rates, it is crucial to understand the capabilities of these technologies. The research analyzed the technical characteristics, advantages, and limitations of both, highlighting how they can meet the specific needs of these environments. Additionally, practical tests were conducted using tools such as Iperf and uTorrent, simulating data transfer scenarios and analyzing metrics such as throughput, upload speed, and connection stability. Through these performance tests, it was concluded that, in the context analyzed, Wi-Fi 6 proved to be more suitable for these applications, although 5G has theoretical potential. The study contributes to an informed choice of the most appropriate technology for different usage scenarios.

Keywords: 5G, Wi-Fi 6, 802.11ax, domestic environments, business environments Network performance.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Representação da Latência	13
Figura 2 – Evolução da telecomunicação	15
Figura 3 – Exemplo de massive MIMO	17
Figura 4 – Fluxograma metodológico	21
Figura 5 – Conexão entre os dispositivos	22
Figura 6 – Representação de um servidor FTP	23
Figura 7 – Conexão com o protocolo 802.11ax	27
Figura 8 – Conexão com o protocolo 802.11ax	28
Figura 9 – Conexão com o protocolo 802.11ax	28
Figura 10 – Conexão com o protocolo 802.11ax	29
Figura 11 – Conexão com o protocolo 802.11ax	29
Figura 12 – Conexão com o protocolo 802.11ax	30
Figura 13 – Conexão com a rede móvel 5G	31
Figura 14 – Conexão com a rede móvel 5G	31
Figura 15 – Tempo Gasto nos Testes	33
Figura 16 – Tempo Gasto nos Testes	34
Figura 17 – Média de <i>Throughput</i> em (Kbps)	35
Figura 18 – Taxa de Upload Média (Kbps)	36

Lista de tabelas

Tabela 1 – Padrões IEEE para Redes Wi-Fi	15
Tabela 2 – Comparação de <i>Throughput</i> e Taxa de Transferência: Wi-Fi vs. 5G	35
Tabela 3 – Comparação de Upload: Wi-Fi vs. 5G	36
Tabela 4 – Resultados dos Testes de Desempenho: Comparação entre Wi-Fi 6 e 5G . .	37

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problema	10
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
1.3	Justificativa	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	Fundamentação teórica	12
2.1.1	Comunicação de Dados móveis	12
2.1.2	Rede Wi-Fi	14
2.1.3	Rede de Internet móvel	14
2.1.3.1	Rede 2.5G	15
2.1.3.2	Rede 3G	16
2.1.3.3	Rede 4G	16
2.1.4	Rede 5G	17
2.2	Cenários de Alta Demanda por Conectividade	18
2.2.1	Internet das Coisas	18
2.2.2	Industria 4.0	19
2.3	Trabalhos Correlatos	19
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	21
3.1	Testes Realizados	21
3.1.1	Iperf	21
3.1.2	Servidor FTP	23
3.1.2.1	Serviços de Informações da Internet	24
3.1.2.2	FileZilla	24
3.1.3	Torrent	25
3.1.3.1	BitTorrent	25
3.1.3.2	Torrent	25
3.1.3.3	µTorrent	25
3.1.3.4	Rede Wi-Fi	27
3.1.3.5	Rede Móvel	30
4	RESULTADOS	32
4.1	Dificuldades Encontradas	32
4.2	Testes Entre as Redes	33
4.3	Análise Geral	37

5	CONCLUSÃO	38
5.1	Trabalhos futuros	39
	REFERÊNCIAS	40

1 Introdução

Com o passar do tempo a evolução das redes de telecomunicações, fez com que chegasse uma nova era no mundo. No início, as redes de computadores tinham uma limitação na distância em que os aparelhos poderiam se comunicar entre si, devido à necessidade de cabos físicos para a conexão. Com a crescente demanda por maior flexibilidade e mobilidade, sucedeu a criação de tecnologias de comunicação sem fio (RODRIGUES, 2023).

As redes locais sem fio (**Wireless Local Area Network** – WLAN) desempenham um papel fundamental nos dias atuais, sendo amplamente utilizadas tanto em ambientes corporativos quanto residenciais. A Wi-Fi Alliance (2024) explica que o Wi-Fi é um tipo de WLAN e é considerada a rede sem fio mais utilizada, pois permite a comunicação entre dispositivos sem fio e uma rede local (**Local Area Network** – LAN) ou a Internet. Desde o seu surgimento, o Wi-Fi passou por várias evoluções, e hoje nos encontramos na geração Wi-Fi 6, também conhecida como o padrão WLAN 802.11ax. De acordo com a Intel Corporation (Intel), a nova tecnologia traz consigo uma melhora significativa em relação às tecnologias anteriores, conseguindo reduzir em 75% a latência e alcançando velocidades de conexão mais rápidas (DTNETWORK, 2024; Wi-Fi Alliance, 2024).

A telefonia móvel surgiu na década de 1980 com a primeira geração (1G) focada inicialmente em serviços de voz. Atualmente, a quinta geração (5G), demonstra um avanço significativo em relação às gerações passadas. Tem como promessas, atingir uma velocidade de *download* até 100 vezes mais rápidas do que a rede 4G, uma menor latência e maior capacidade de conectar dispositivos simultaneamente. Essas características fazem com que a rede 5G seja visto como um habilitador crucial para a próxima era da conectividade (ZHANG et al., 2020).

Com a crescente popularidade da Internet das Coisas (**Internet of Things** – IoT) e o avanço da Indústria 4.0, cresce também a necessidade de redes robustas para suportar a conectividade nesses cenários. Ambientes que integram tecnologias avançadas, como automação, inteligência artificial e *big data*, requerem redes capazes de suportar comunicações em tempo real e alta confiabilidade. Da mesma forma, a IoT, que conecta dispositivos diversos para coletar e trocar dados, depende de uma infraestrutura de rede robusta (JAVAID et al., 2022).

1.1 Problema

Com a crescente demanda por conectividade de alto desempenho, qual é o potencial da rede 5G para substituir as WLAN em ambientes corporativos e residenciais?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e aplicar uma comparação qualitativa e quantitativa do desempenho da solução WLAN IEEE 802.11ax e da solução Internet 5G para uso corporativo e/ou residencial.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Estudar as tecnologias WLAN mais recentes disponíveis comercialmente, incluindo o IEEE 802.11ax;
2. Investigar as tecnologias envolvidas em uma rede 5G, compreendendo os padrões e protocolos relevantes;
3. Pesquisar e estudar ferramentas de teste para medir o desempenho da transferência de dados, registrando métricas relevantes;
4. Implementar um ambiente WLAN para avaliar seu desempenho em termos de taxa de transferência, latência e estabilidade da conexão;
5. Implementar um ambiente exclusivo para rede 5G e avaliar seu desempenho nas mesmas métricas do ambiente WLAN;
6. Apresentar os resultados comparativos entre as soluções WLAN e 5G, destacando suas diferenças em termos de desempenho e adequação para uso corporativo e residencial.

1.3 Justificativa

A necessidade crescente por conectividade de alta velocidade tem impulsionado a criação e o desenvolvimento de novas tecnologias de comunicação sem fio, tanto para ambientes residenciais quanto corporativos. Embora existam estudos que analisam as redes 5G e WLAN separadamente, ainda há uma lacuna significativa em relação a comparações diretas entre as duas tecnologias.

Nesse contexto, a realização de uma análise comparativa entre a rede 5G e as WLANs em termos de desempenho e aplicabilidade em cenários residenciais e corporativos torna-se essencial.

Este estudo se justifica pela necessidade de fornecer informações atualizadas e embasadas sobre o desempenho das soluções WLAN e 5G, ajudando empresas e usuários domésticos na tomada de decisões sobre a escolha da tecnologia.

Este estudo adota uma abordagem comparativa entre as redes 5G e WLAN. A viabilidade é assegurada pelo acesso a tecnologias avançadas, incluindo dispositivos compatíveis com ambas as redes, o que permite uma análise detalhada de desempenho.

2 Revisão de Literatura

Este capítulo discute diversos tópicos para proporcionar uma compreensão mais aprofundada do contexto atual das comunicações móveis e auxiliar na elaboração da proposta. Os tópicos abordados são: comunicação de dados móveis e seus princípios fundamentais; a rede de Internet móvel e suas características; a tecnologia 5G, suas funcionalidades e inovações; e a rede Wi-Fi, com suas aplicações.

2.1 Fundamentação teórica

2.1.1 Comunicação de Dados móveis

De acordo com ZAKI (2012), a estrutura de telecomunicação criada e desenvolvida para atender aos usuários em movimento foi feita por meio de uma conexão sem fio, conhecida como canal de rádio.

Os autores DAHLMAN et al. (2018), explicam que os canais em redes móveis atuam como o meio de comunicação que conecta os dispositivos móveis às torres de transmissão. Eles são essenciais para a troca de dados e informações entre os usuários e a infraestrutura da rede. Os canais são classificados em canais de controle, que realizam a transmissão de dados de controle e sinalização, e canais de tráfego, que são utilizados para o envio dos dados do usuário. Em outras palavras, os canais de controle garantem que o sistema funcione corretamente, enquanto os canais de tráfego atuam como as “estradas” por onde os dados viajam. Para conseguir fazer o uso eficiente desse espectro, fazem o uso da multiplexação, que nada mais é que um processo de transmissão simultânea de diversos sinais em um único canal de comunicação.

Para extrair as informações transmitidas, as redes móveis utilizam técnicas de decodificação que, mesmo em condições adversas de ruído ou interferência, têm o objetivo de obter esses dados de forma precisa. Esse processo converte as informações para uma forma compreensível pelo ser humano ou por outro dispositivo (GOLDSMITH, 2020).

De acordo com ANDREWS et al. 2014, a largura de banda em redes móveis determina a quantidade de dados que podem ser transmitidos em um canal de comunicação em um determinado tempo. Podemos considerá-la como a largura da “estrada” por onde os dados serão transmitidos. O tempo que um dado leva para viajar de um ponto a outro na rede é chamado de latência. A taxa de transferência é como o limite de velocidade de uma estrada: ela mostra o máximo de dados que uma rede ou canal consegue transmitir em teoria. Já o throughput é a velocidade real que você consegue atingir na prática, levando em conta coisas como congestionamentos, buracos no caminho ou até mesmo o tipo de ‘veículo’ (dados) que está trafegando. Em outras palavras, o throughput é o que realmente chega ao destino, considerando todas as dificuldades do percurso. Ambas são medidas em Bits por Segundo (**Bits per Second** - bps), mas também pode ser expressa em Kilobits por Segundo (**Kilobits**

per Second - kbps), onde 1 kbps é igual a 1.000 bps, ou em Megabits por Segundo (**Megabits per Second** - Mbps), onde 1 Mbps é igual a 1.000.000 bps, ou ainda, 1 Mbps é equivalente a 1.000 kbps. Além disso, em Gigabits por Segundo (**Gigabits per Second** - Gbps), 1 Gbps é igual a 1.000 Mbps, 1.000.000 kbps ou 1.000.000.000 bps.

As faixas de frequência referem-se aos intervalos específicos do espectro utilizados para a transmissão desses dados. Diferentes faixas, como as bandas de 2,4 GHz e 5 GHz no Wi-Fi, influenciam diretamente a largura de banda, alcance e qualidade da conexão, impactando a eficiência da comunicação em redes móveis. Quanto maior a frequência, maior é o tráfego de dados e menor é o alcance dela (ANDREWS et al., 2014).

A Figura 1 representa a latência.

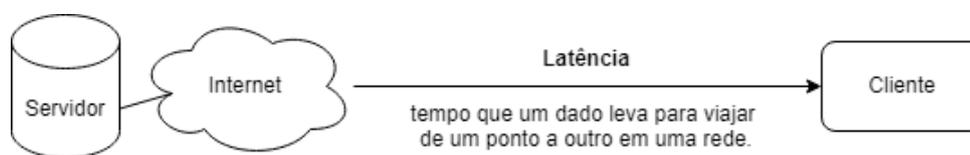


Figura 1 – Representação Latência

Fonte: Autor

Na quinta geração (5G), a latência é um ponto crítico, com a necessidade de operar abaixo de 1 ms(milissegundos) devido a suas aplicações de missão crítica, como cirurgia remota e veículos autônomos. O gerenciamento eficaz da latência é um dos pilares para o sucesso da IoT e da Indústria 4.0, permitindo uma comunicação mais eficiente entre dispositivos (ZHANG et al., 2020).

Outra tecnologia importante para a evolução da rede móvel foi o MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) que é usada nas redes WI-FI e rede de Internet móvel. Segundo FARIAS (2019), essa tecnologia faz uso de várias antenas tanto para transmitir quanto no receptor, dessa maneira pode explorar a diversidade espacial. Isso aumenta a capacidade da rede, melhorando o *throughput*. Em condições favoráveis de rádio, com menor interferência e boas condições de sinal, o *throughput* pode efetivamente duplicar.

De acordo com ANDREWS et al. 2014, a relação entre Qualidade de Serviço (**Quality of Service** – QoS) e Qualidade da Experiência (**Quality of Experience** – QoE) é crucial. A qualidade do serviço (QoS) e a experiência do usuário (QoE) são conceitos fundamentais na avaliação de redes e serviços de comunicação. QoS refere-se aos parâmetros técnicos e métricas que garantem o desempenho da rede, como largura de banda e latência. Por outro lado, QoE foca na percepção do usuário final sobre a qualidade do serviço recebido, incluindo fatores como velocidade, confiabilidade e usabilidade.

2.1.2 Rede Wi-Fi

Com a evolução das redes, na década de 1990, surgiu a necessidade de padronizar as WLANs. O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) atendeu a essa demanda ao iniciar o projeto que deu origem ao padrão 802.11, o qual se tornou a base das redes sem fio modernas. Essa evolução permitiu a criação e inovação cada vez mais rápidas e abrangentes, transformando a forma como nos comunicamos e acessamos informações (TANENBAUM, 2003).

A Wi-Fi Alliance, organização que promove a certificação de dispositivos que utilizam o padrão IEEE 802.11, popularizou o termo “Wi-Fi”, uma referência ao termo “Hi-Fi”, substituindo o “Hi” por “Wi” que indica sem fio (**Wireless**) (Wi-Fi Alliance, 2024). A primeira versão do padrão, IEEE 802.11, foi lançada em 1997 e oferecia taxas de transmissão relativamente baixas de até 2Mbps e funcionava com frequência 2,4Ghz. Com o passar do tempo surgiu novas versões, como o 802.11b, 802.11g, 802.11n e 802.11ac, que vieram com melhorias significativas em termos de desempenho, alcance e segurança (RODRIGUES, 2023).

A primeira versão do padrão, IEEE 802.11, oferecia taxas de transmissão relativamente baixas, de até 2 Mbps, operando na frequência de 2,4 GHz. Em 1999, surgiram dois novos padrões: o 802.11b, que se popularizou devido ao seu bom alcance e à utilização da frequência de 2,4 GHz, mas com desempenho limitado a 11 Mbps; e o 802.11a, que oferecia maior desempenho, com taxas de até 54 Mbps, porém com menor alcance devido ao uso da frequência de 5 GHz. Já em 2003, o padrão 802.11g foi lançado fazendo a combinação do alcance do 802.11b e a velocidade do 802.11a, ou seja, sua taxa chegava até 54 Mbps e funcionava na frequência 2,4 Ghz (GOLDSMITH, 2020).

Conforme Tanenbaum 2011, em 2009, surgiu o padrão 802.11n, que introduziu a tecnologia MIMO, melhorando o alcance, a confiabilidade e aumentando a velocidade da conexão. O padrão 802.11n define taxas de até 600 Mbps, operando nas frequências de 2,4 GHz e 5 GHz, por ser um padrão *dual-band*. Isso significa que a rede pode operar em duas bandas de frequência, proporcionando maior flexibilidade e desempenho.

Introduzido em 2014, o padrão 802.11ac trouxe melhorias em seu desempenho. Com suporte a MU-MIMO (Multiple User MIMO), o padrão permite taxas de transmissão de até 3,46 Gbps, funcionando exclusivamente na frequência de 5 GHz. Em 2019, o padrão 802.11ax aprimorou sua eficiência. Operando nas frequências de 2,4 GHz e 5 GHz, esse padrão pode atingir taxas de até 9,6 Gbps e melhora o desempenho em ambientes com muitos dispositivos conectados (NATKANIEC; BIERYT, 2023).

A Tabela 1 resume as principais características dos padrões IEEE 802.11, destacando as frequências de operação e as taxas de transmissão máximas alcançadas por cada versão do Wi-Fi, desde o Wi-Fi 1 até o mais recente Wi-Fi 6.

2.1.3 Rede de Internet móvel

A comunicação de dados móveis é o processo de transmissão de informações através de onda de rádio entre dispositivos móveis e uma rede. Esses dados podem ser mensagens de

Tabela 1 – Padrões IEEE para Redes Wi-Fi

Padrão IEEE	Nome Wi-Fi	Frequência	Taxa
802.11b	Wi-Fi 1	2.4GHz	11 Mbps
802.11a	Wi-Fi 2	5GHz	54 Mbps
802.11g	Wi-Fi 3	2.4Ghz	54 Mbps
802.11n	Wi-Fi 4	2.4GHz e 5GHz	600 Mbps
802.11ac	Wi-Fi 5	5GHz	1.3 Gbps
802.11ax	Wi-Fi 6	2.4GHz e 5GHz	9.6 Gbps

Fonte: O Autor

texto, vídeo, imagens entre outras informações. Com a evolução desta tecnologia, chegamos ao desenvolvimento de padrões de redes de telefone movel como o 2G, 3G, 4G até 5G, que oferecem maiores velocidades de transferência e uma eficiência no uso da largura de banda (STALLINGS, 2020).

A Figura 2 ilustra a evolução das tecnologias de telecomunicação móvel ao longo do tempo, destacando o progresso desde as primeiras gerações de redes até as mais recentes inovações.

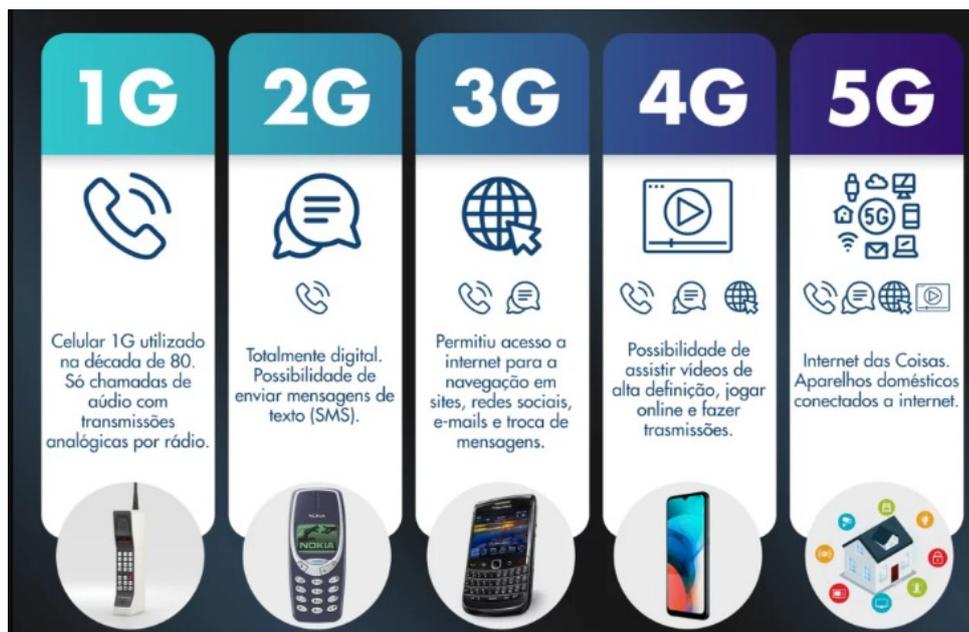


Figura 2 – Evolução da Internet móvel ao longo do tempo

Fonte: Adaptado de (Games Data, 2024)

2.1.3.1 Rede 2.5G

Entre a segunda geração (2G) e a terceira geração (3G) existiu a 2.5G, que é vista como uma fase intermediária. Ela introduziu o Serviço Geral de Pacote por Rádio (**General Packet Radio Service** - GPRS), que permitia o envio de dados em pacotes, diferente do método tradicional de transmissão de circuitos do 2G. Apesar das velocidades limitadas que

variavam entre 56 a 144Kbps, facilitou o envio e o recebimento de dados pela rede móvel (TANENBAUM, 2011).

Embora o 2.5G tivesse limitações em banda larga, ele foi um avanço significativo. Essa tecnologia possibilitou o surgimento do Protocolo de Aplicações Sem Fio (**Wireless Application Protocol** - WAP), que permitiu a navegação na web pelo celular pela primeira vez (JAVATPOINT, 2024).

2.1.3.2 Rede 3G

De acordo com (TANENBAUM, 2011), a rede 3G foi considerada um marco significativo na evolução da Internet móvel, pois com ela foi possível alcançar velocidades de até 2 Mbps. Essa geração foi baseada em tecnologias como o Sistema Universal de Telecomunicações Móveis (**Universal Mobile Telecommunications System** - UMTS), que proporcionou uma maior capacidade e desempenho, permitindo uma melhor qualidade de chamadas e serviços multimídia. Também utilizou o Acesso Múltiplo por Divisão de Código 2000 (**Code Division Multiple Access 2000** - CDMA2000), que emprega técnicas de divisão de código para melhorar a eficiência da rede e a qualidade das chamadas.

O 3G consolidou o uso da Internet móvel para aplicações mais avançadas, como o *streaming* de vídeo e as redes sociais, além de proporcionar uma experiência de usuário muito mais rica em comparação com as gerações anteriores.

2.1.3.3 Rede 4G

A quarta geração (4G) trouxe uma melhora significativa em comparação com a geração anterior, principalmente devido à introdução do MIMO. Com o uso dessa tecnologia, foi possível aumentar a eficiência na transmissão e recepção de dados em um determinado período de tempo, resultando em taxas de dados mais altas, um aumento no número de usuários simultâneos e uma menor latência (GOLDSMITH, 2020).

O uso do 4G revolucionou a experiência do usuário em comunicações móveis, fornecendo um bom desempenho, que variam entre 5 Mbps e 100 Mbps, com uma latência entre 30 e 50 milissegundos (ms) (GHAYAS, 2020).

Com o tempo surgiu uma evolução do 4G que trouxe melhorias adicionais, como o LTE-Advanced, também conhecido como 4.5G. Essa tecnologia introduziu a agregação de portadoras, MIMO avançado e melhorias na eficiência espectral. A eficiência espectral refere-se à capacidade de uma rede de transmitir a maior quantidade possível de dados por unidade de largura de banda. Isso permite transferências superiores a 300 Mbps, dependendo da cobertura (GHAYAS, 2020).

De acordo com os dados levantados pelo portal Teleco (2024), a operadora que tem mais cobertura no Brasil é a TIM, estando presente em 5.570 municípios.

2.1.4 Rede 5G

A quinta geração (5G) tem velocidades elevadas, menor latência e uma capacidade maior de conexão de aparelhos simultâneos. Nessa geração, o uso do MIMO é mais explorado, utilizando o Massive MIMO (Múltiplas Entradas Múltiplas Saídas Massivas). Essa tecnologia mantém um grupo de antenas no transmissor e no receptor, fornecendo um melhor rendimento e maior eficiência. E por conta do uso de Massive MIMO, a capacidade de *Beamforming* é aumentada. O *beamforming* é o conjunto de pequenas antenas que se combinam, criando uma antena com um raio maior e mais direcionado. O Massive MIMO é utilizado para direcionar esses feixes (TELECO, 2024).

A Figura 3 ilustra o funcionamento da tecnologia Massive MIMO e demonstra como múltiplas antenas são utilizadas para melhorar o desempenho e a eficiência da comunicação em redes 5G.

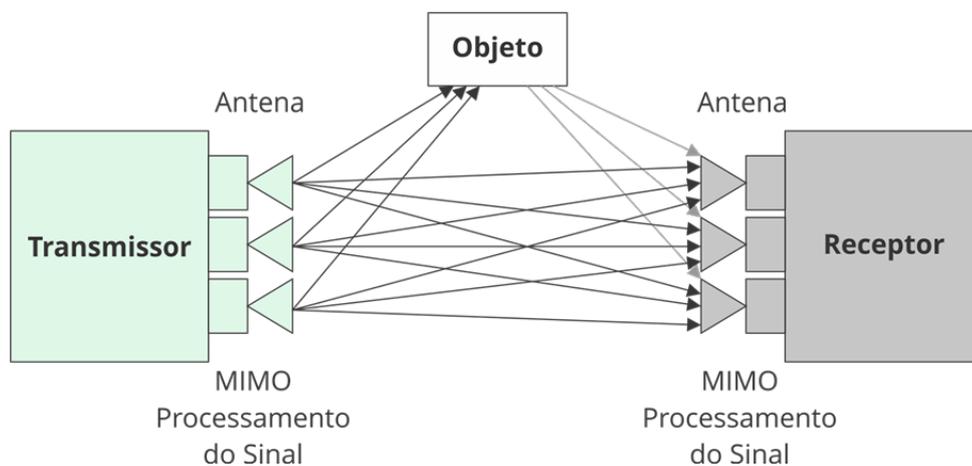


Figura 3 – Funcionamento da tecnologia Massive MIMO

Fonte: Teleco (2024)

O 5G oferece taxa de transferência entre 100 Mbps e 10 Gbps e é composto por três faixas de frequência: abaixo de 1 GHz, entre 1 e 6 GHz, e acima de 6 GHz. Cada uma tem um cenário de uso definido pela nova geração de tecnologia. As frequências abaixo de 1 GHz são destinadas a atender a alta cobertura e dispositivos IoT. A faixa de frequência entre 1 GHz e 6 GHz será a principal utilizada pelo 5G em diversos cenários, como redes urbanas, industriais e residenciais. Já a faixa de frequência acima de 6 GHz é a solução para cenários como a indústria 4.0 ou veículos autônomos, que precisam de alta capacidade de transferência de dados e baixa latência (AHMADI, 2019).

Em termos de cobertura, a expansão do 5G está em andamento. Uma pesquisa realizada pelo (TELECO, 2024) em maio, afirma que a operadora Vivo está na liderança da cobertura 5G no Brasil, estando presente em mais de 1.500 municípios.

2.2 Cenários de Alta Demanda por Conectividade

A Indústria 4.0 e a Internet das Coisas (IoT) estão entre os principais impulsionadores da demanda por conectividade de alto desempenho. Essas tecnologias dependem de redes eficientes para suportar a troca constante de dados entre dispositivos inteligentes, sensores e sistemas automatizados.

Dessa forma, entender o desempenho das redes 5G e WLAN nesses cenários é fundamental para avaliar sua viabilidade e identificar qual tecnologia melhor atende às exigências desses ambientes.

2.2.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) é uma revolução tecnológica que conecta objetos do dia a dia à Internet, permitindo que eles colem, troquem e analisem dados. Este conceito vai além de dispositivos tradicionais, como computadores e smartphones, englobando itens como eletrodomésticos, veículos e sensores industriais. A IoT possibilita que esses dispositivos coletem, processem e compartilhem informações e se mantenham conectados sem a necessidade de intervenção humana (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010).

IoT traz uma série de benefícios, incluindo a automação e otimização de processos, a melhoria da eficiência energética e a criação de novas oportunidades de negócios. No contexto industrial, a IoT é um dos pilares da Indústria 4.0, com equipamentos conectados que monitoram e otimizam as operações. Também tem aplicações na saúde com dispositivos vestíveis que monitoram pacientes; na agricultura, com sensores para controle de irrigação e solo; e nas cidades inteligentes, permitindo desde o gerenciamento de tráfego até a automação de iluminação pública.

Atualmente, redes sem fio como Wi-Fi e 5G são as principais alternativas para suportar a conectividade de dispositivos na Indústria 4.0 e na IoT. O Wi-Fi 6 oferece melhorias em relação às versões anteriores, sendo uma boa opção para ambientes internos e redes locais, devido a sua maior eficiência para múltiplas conexões simultâneas. No entanto, o 5G também seria uma solução que poderia se encaixar melhor ao se aplicar em larga escala, principalmente quando precisam de mobilidade, baixa latência e comunicação ultraconfiável (MALDONADO et al., 2021).

No contexto da IoT, a conectividade eficiente depende de redes de comunicação capazes de lidar com a troca contínua de dados entre dispositivos inteligentes. O 5G, com sua alta largura de banda e baixa latência, é essencial para aplicações em tempo real, como automação industrial, monitoramento remoto e veículos autônomos. Enquanto o Wi-Fi 6 fornece maior capacidade de conexões simultâneas de aparelhos, menor latência e um baixo consumo energético, se encaixando em ambientes com alta densidade de dispositivos, como residências inteligentes e escritórios. No entanto, desafios como segurança cibernética, padronização de protocolos e interoperabilidade entre as tecnologias ainda precisam ser superados para garantir o crescimento sustentável da IoT (WEI; HUANG; LI, 2020).

2.2.2 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial, que tem como característica a integração de tecnologias avançadas em seus processos. Por conta disso, estão integrando novas tecnologias, como a IoT, Inteligência Artificial, *Big Data*, computação em nuvem, automação avançada e redes de comunicação de alto desempenho (IBM Brasil, 2025).

Seu foco é aumentar a eficiência, a flexibilidade e a capacidade de personalização da produção, criando fábricas mais conectadas por meio de redes que oferecem baixa latência e alta largura de banda. Essa conectividade também viabiliza a manutenção preditiva, que identifica possíveis falhas antes que ocorram, reduzindo custos e prolongando a vida útil dos equipamentos por meio de um monitoramento constante. Além disso, a automação avançada e o uso de robôs colaborativos trazem ganhos significativos em produtividade e segurança. Essas tecnologias assumem tarefas repetitivas ou perigosas, trabalhando lado a lado com os humanos, o que não só melhora as condições de trabalho, mas também diminui os riscos de acidentes (TOTVS, 2025).

A Indústria 4.0 está transformando o setor industrial ao unir tecnologias digitais, tornando a conectividade robusta e confiável um fator fundamental. Nesse cenário, redes sem fio, como Wi-Fi 6 e 5G, ganham relevância por suas características únicas e complementares. O Wi-Fi 6 se destaca pela eficiência no gerenciamento de vários dispositivos simultaneamente e por seu desempenho superior em ambientes com muitas conexões, o que é especialmente útil em espaços industriais. Já o 5G se diferencia pela latência extremamente baixa, alta confiabilidade e suporte à mobilidade, fatores essenciais para aplicações que exigem comunicação instantânea e operações em grandes áreas. Ambas as tecnologias têm um papel importante na transformação digital da Indústria 4.0 (MALDONADO et al., 2021).

2.3 Trabalhos Correlatos

O estudo intitulado “Avaliação da Latência em Redes 5G, 4G e Wi-Fi por Servidores Locais da UFMT” (RODRIGUES, 2023) investiga a performance de diversas tecnologias de comunicação, incluindo 5G, 4G, Wi-Fi e fibra óptica, no que diz respeito à latência e eficiência de transmissão de dados. A pesquisa destaca a importância da latência para a qualidade do serviço (QoS) e a experiência do usuário (QoE), especialmente em aplicações críticas como carros autônomos, acesso remoto e *cloud gaming*. Utilizando testes de pacotes enviados em um contexto local na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), os resultados mostram que as tecnologias mais recentes, como 5G e Wi-Fi 6, apresentam uma latência significativamente menor e uma maior velocidade em comparação com as gerações anteriores. Isso se deve à redução de saltos entre servidores e à melhora na eficiência de transmissão, proporcionando uma experiência mais estável e rápida tanto para usuários internos quanto externos. O estudo conclui que, enquanto 5G e Wi-Fi 6 oferecem melhorias substanciais na latência e velocidade, as tecnologias mais antigas, como 4G e versões anteriores do Wi-Fi, sofrem com instabilidades e maior latência, limitando sua viabilidade em certos cenários.

O trabalho “5G – Redes de comunicações móveis de quinta geração: evolução, tec-

nologia, aplicações e mercado” (FARIAS, 2019), analisa a transformação significativa que a tecnologia sem fio trouxe para a sociedade e a comunicação. A evolução dos dispositivos móveis, inicialmente baseados em sistemas de voz analógicos, para plataformas que suportam uma ampla gama de aplicativos, serviços e dados, tem sido impulsionada pela eficiência do ecossistema da Internet. Com o surgimento de novos casos de uso, como banda larga fixa e móvel, e a necessidade de comunicações massivas de IoT em cidades e indústrias inteligentes, a rede 5G se destaca como um elemento crucial na transformação digital. Essa tecnologia emergente oferece uma rede ultra confiável e de baixa latência, essencial para suportar esses novos desafios. O estudo enfatiza que o 5G traz uma nova gama de tecnologias capazes de proporcionar experiências inéditas, consolidando seu papel como facilitador fundamental na era da digitalização.

O trabalho “Panorama geral e a implementação da infraestrutura da rede 5G no Brasil e seus desafios técnicos, econômicos e políticos” (CAPOBIANCO, 2021) teve como objetivo analisar o desenvolvimento das telecomunicações no Brasil e os desafios enfrentados para a implementação da rede 5G. O estudo abrangeu a história das telecomunicações no país desde a década de 1960, detalhando a transição de um setor estatal para concessões privadas. Foram examinados os avanços e os obstáculos na regulamentação do setor, destacando marcos importantes como o primeiro Código Brasileiro de Telecomunicações e a Lei Geral das Telecomunicações. O objetivo foi compreender os principais desafios na atualização das normas para a chegada do 5G. A pesquisa discutiu a interação entre o Estado e as empresas de telecomunicações para superar as barreiras na evolução da infraestrutura, considerando as desigualdades sociais e demográficas do país, além das restrições impostas pela legislação quanto ao número de antenas, que limitam a cobertura em áreas urbanas, rurais e de proteção ambiental. A abordagem adotada foi uma visão macro, seguindo o formato de análise de consultorias estratégicas, com o intuito de fornecer um panorama geral sobre as telecomunicações no Brasil, seu desenvolvimento e os desafios da implementação do 5G, direcionado tanto para estudantes quanto para o público geral.

3 Procedimentos Metodológicos

Este trabalho apresenta objetivos de uma pesquisa exploratória com uma abordagem qualitativa, onde serão utilizados os procedimentos técnicos próprios de uma pesquisa bibliográfica.

Segundo Collis e Hussey (2005), a pesquisa classifica-se em qualitativa, pois as informações obtidas serão analisadas indutivamente, através da interpretação dos fenômenos e atribuição de significados, sem utilização de técnicas estatísticas pelos autores da pesquisa.

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos planejados para alcançar os objetivos propostos neste trabalho. Estudamos alguns possíveis métodos para testes de desempenho de rede. Em seguida, aplicamos esses métodos e realizamos os testes, para, ao final, compararmos os resultados. O esquema pode ser visualizado na Figura 4.

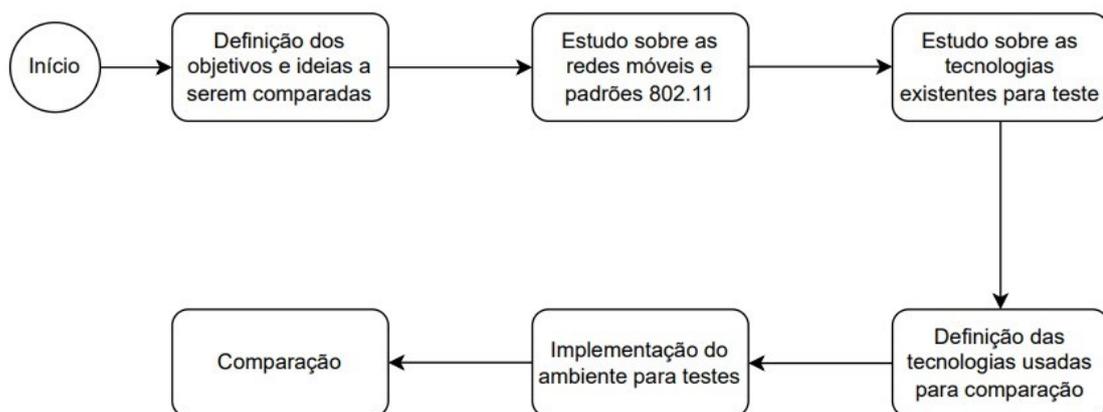


Figura 4 – Fluxograma metodológico

Fonte: O Autor

3.1 Testes Realizados

Nesta seção, serão abordadas as ferramentas utilizadas e os testes realizados para avaliar o desempenho da rede 5G em comparação com WLAN. Serão descritos os procedimentos adotados, os equipamentos empregados e os principais resultados obtidos, fornecendo uma análise detalhada do comportamento das redes testadas.

3.1.1 Iperf

Segundo iPerf (2024), essa ferramenta é amplamente utilizada para medir o desempenho de redes, avaliando parâmetros como largura de banda, taxa de transferência, latência e perda de pacotes. Ele funciona como um cliente-servidor, onde um dispositivo envia dados e outro os recebe, permitindo a análise do throughput e da estabilidade da conexão.

O roteador Wi-Fi utilizado para os testes foi o HUAWEI AX2S Wi-Fi 6 e de acordo com a HUAWEI 2023 sua taxa de transferência é de 1201Mbps para a frequência de 5Ghz. Para a conexão com a rede móvel, foram utilizados dois aparelhos telefônicos: um Samsung A53 com um chip da Vivo e um iPhone 12 Pro, também com um chip da Vivo.

Um recurso que foi utilizado é o *tethering* com o celular. No *tethering*, compartilhamos os dados móveis com outro dispositivo, assim dando acesso à Internet para esse aparelho. Pode utilizar uma conexão via USB para passar os dados ou utilizar como um *hotspot*. O *hotspot* torna o aparelho como um mini-roteador, assim criando uma rede Wi-Fi que permite outros aparelhos se conectar a Internet. Mas se o objetivo é ter desempenho em um único aparelho o mais recomendado é utilizar o cabo (LONG, 2024).

Para a realização dos testes foram configurados dois notebooks com funções específicas: um atuando como servidor e outro como cliente.

O notebook utilizado como cliente foi o modelo Acer Aspire 5 A515-57-58W1, equipado com um processador Intel Core i5 de 12ª geração, 8 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 11. Para sua configuração, foi instalada a ferramenta Iperf, que foi executada no terminal em modo cliente utilizando o comando `iperf -c [IP do servidor]`.

O notebook utilizado como servidor foi o modelo Lenovo BS145-15IIL, equipado com um processador Intel Core i5 de 10ª geração, 8 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 11. Para sua configuração, a ferramenta Iperf foi instalada e executada no terminal em modo servidor, utilizando o comando `iperf -s`.

Para a realização dos testes, o Prompt de Comando (CMD) foi utilizado como interface principal para executar a ferramenta Iperf e para realizar comandos auxiliares necessários. Por meio do CMD, foi possível iniciar o Iperf tanto no modo servidor quanto no modo cliente, além de executar comandos como `ipconfig`, que permitiram identificar o endereço IP de cada máquina.

A Figura 5 ilustra a conexão dos dispositivos.

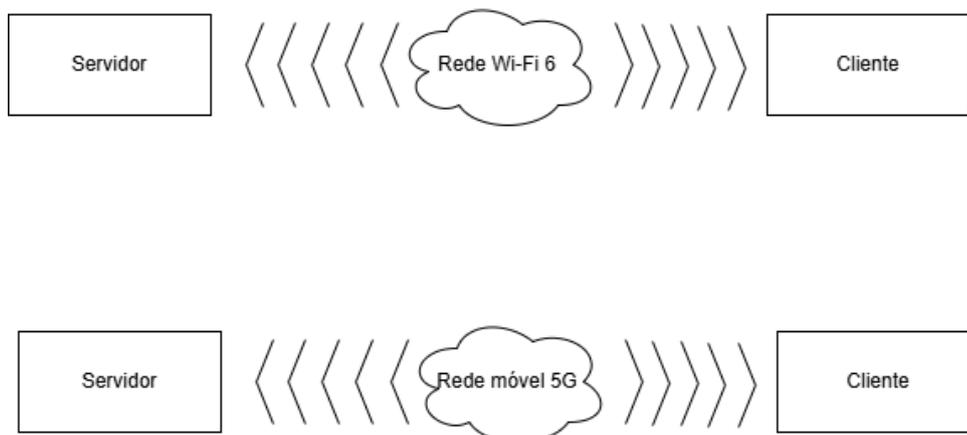


Figura 5 – Representação da conexão utilizando iperf com a rede Wi-Fi e a rede movel

Ao utilizarmos a rede Wi-Fi, os dispositivos conseguiram se conectar corretamente, pois estavam na mesma rede, o que facilitou o reconhecimento mútuo. No entanto, ao tentar utilizar a rede 5G, enfrentamos um problema. Fizemos uso do tethering, conectando um celular ao notebook via cabo, enquanto o celular estava conectado à rede 5G.

O problema surgiu devido ao uso da tradução de endereço de rede (**Network Address Translation** - NAT) pelas provedoras de Internet, especialmente o CG-NAT (**Carrier-Grade NAT**), que impede conexões diretas entre dispositivos ao compartilhar um único IP público entre vários usuários. Isso dificultou a comunicação entre o cliente e o servidor, já que o dispositivo que atuava como servidor não pôde ser acessado diretamente pelo cliente. Além disso, pode haver restrições impostas pela própria operadora, limitando determinados tipos de tráfego na rede móvel (NIC.BR, 2023).

Por conta dessas dificuldades, optamos por testar outro software para conexão.

3.1.2 Servidor FTP

O Protocolo de Transferência de Arquivos (**File Transfer Protocol** - FTP) é um protocolo de rede desenvolvido em 1971 para transferir arquivos entre sistemas em uma rede. Funcionando no modelo cliente-servidor, permite que um cliente envie ou receba arquivos de um servidor FTP. (CORPORATION, 2025).

A Figura 6 demonstra um sistema de transferência de arquivos utilizando o FTP. No centro, está o servidor FTP, responsável por armazenar e gerenciar os arquivos. Os outros dispositivos representam os clientes FTP, que se conectam ao servidor para enviar ou receber arquivos.

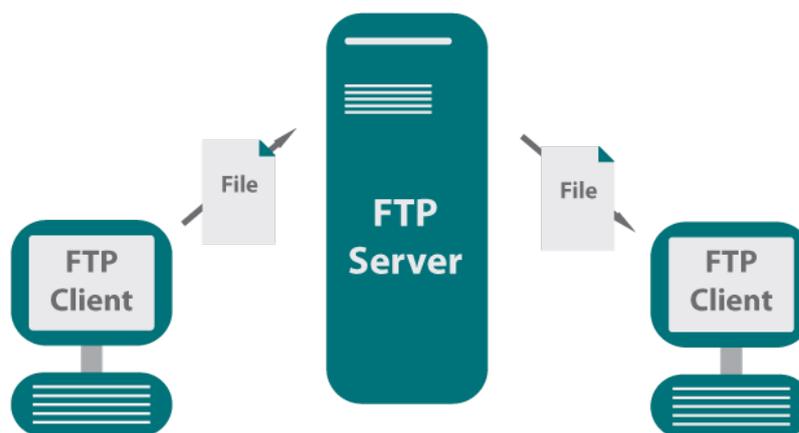


Figura 6 – Representação de um servidor FTP

Fonte: (CORPORATION, 2025)

3.1.2.1 Serviços de Informações da Internet

O Serviços de Informações da Internet (**Internet Information Services** - IIS) é um servidor web desenvolvido pela Microsoft. Ele oferece suporte à configuração de servidores FTP no *Windows*. Ao utilizar o IIS, conseguimos criar e gerenciar um servidor FTP.

Para configurar um servidor FTP no *Windows* usando o IIS, precisamos instalar o IIS e o suporte para FTP. Após a instalação, é preciso criar um site FTP utilizando a ferramenta IIS, definindo o diretório raiz para o servidor, as permissões de acesso e o tipo de autenticação que vai ser utilizada.

Para que o servidor FTP seja acessível externamente, é necessário vinculá-lo a um endereço *IP*. Para isso, configuramos o endereço *IP* como estático e ajustamos o *firewall* do *Windows* para permitir o acesso a esse servidor (MICROSOFT, 2025).

Após a criação e a configuração do servidor FTP, foi possível acessá-lo na rede local, mas não foi possível torná-lo visível para acesso externamente. Durante a pesquisa, descobri que, para contornar essa situação, muitos usuários recorrem ao uso de uma rede privada virtual (**private network** - VPN) para acessar o servidor FTP de locais diferentes, simulando uma conexão dentro da mesma rede. No entanto, a utilização de uma VPN alteraria as condições do teste, o que poderia influenciar nos resultados e descaracterizar o objetivo original. Por conta disso, decidimos utilizar uma ferramenta desenvolvida especificamente para a criação de servidores FTP, buscando uma alternativa para contornar as limitações encontradas.

3.1.2.2 FileZilla

O FileZilla é uma ferramenta muito conhecida que surgiu em 2001, mas se popularizou com o crescimento da Internet. Ele é eficiente para a transferência de arquivos através de protocolos como FTP. É amplamente utilizado devido à sua interface intuitiva e à sua robustez, sendo um dos aplicativos de destaque no mercado por ser muito simples e uma opção gratuita (CONTENT, 2025).

Para configurar um servidor FTP com o FileZilla, é necessário realizar o download e a instalação do FileZilla Server no computador que será utilizado como servidor. Após a instalação, é preciso configurar o servidor FTP definindo parâmetros como porta de conexão, diretório raiz, contas de usuário e permissões de acesso.

Assim como no IIS, para que o servidor FTP configurado pelo FileZilla seja acessível externamente, é necessário vinculá-lo a um endereço *IP* estático. Além disso, deve-se configurar o *firewall* do sistema operacional para liberar o acesso à porta de comunicação utilizada pelo servidor (PROJECT, 2025).

Apesar das tentativas de configuração, o servidor FTP não ficou visível externamente ao utilizar o FileZilla. O problema ocorreu devido a bloqueios no roteador ou limitações no *firewall*, que impediram o acesso externo ao servidor, mesmo com o *IP* configurado como estático e as portas liberadas.

Após encontrarmos um problema semelhante ao enfrentado com o uso do IIS, tivemos

que seguir para um teste diferente.

3.1.3 Torrent

3.1.3.1 BitTorrent

BitTorrent é um protocolo utilizado para compartilhamento de arquivos ponto a ponto (**peer-to-peer** - P2P), permitindo o envio e a distribuição de arquivos pequenos ou grandes. Criado por Bram Cohen em 2001, o objetivo principal do BitTorrent é otimizar o uso da largura de banda. Nele, os arquivos são divididos em pedaços, chamados de *peers*, que são trocados entre os usuários. Cada *peer* é responsável por um pedaço da informação do arquivo principal e, ao dividir esse arquivo em vários *peers*, o desempenho ao baixar é melhorado. Dessa maneira, em vez de baixar um arquivo único de um servidor central, o BitTorrent permite que você baixe um pouco de cada *peer* (BERTONI, 2017).

3.1.3.2 Torrent

O *torrent* é o arquivo com a extensão *.torrent* que inclui as informações necessárias para o download de um arquivo que utilizou o protocolo BitTorrent. O arquivo *torrent* não contém conteúdo principal, mas sim as informações que vão ser utilizados para localizar e reestruturar o arquivo original. Esse pequeno arquivo inclui as informações sobre os arquivos e pastas que estão sendo compartilhados (JOHNSEN; KARLSEN; BIRKELAND, 2005).

3.1.3.3 μ Torrent

O uTorrent é um dos clientes BitTorrent mais populares, sendo um programa utilizado para realizar *downloads* e *uploads* de arquivos por meio do protocolo BitTorrent. Quando um usuário abre um arquivo *torrent* em um cliente BitTorrent, como o uTorrent, o cliente utiliza as informações contidas nesse arquivo para localizar os *peers*, permitindo assim a distribuição eficiente e descentralizada dos dados.

Lançado em 2005, o uTorrent é um software leve e eficiente, projetado para ser fácil de usar. Ao baixá-lo no site oficial, basta realizar uma simples instalação e ele já estará pronto para ser utilizado.

Para os testes, foi utilizado um arquivo de 100 MB disponibilizado pelo site Hetzner Speed Test 2023, que fornece arquivos de diferentes tamanhos. Dentro do uTorrent, selecionei a opção de criar um novo arquivo *torrent* e escolhi o arquivo desejado. Após o arquivo ser criado em um dos *notebooks*, ele já ficou disponível para ser baixado. No outro *notebook*, clicamos no arquivo *torrent*, que foi automaticamente direcionado para o uTorrent. Dessa forma, estabelecemos uma conexão direta entre os dois *notebooks*, permitindo a transmissão do arquivo.

O *notebook* utilizado como semeador foi o modelo Acer Aspire 5 A515-57-58W1, equipado com um processador Intel Core i5 de 12ª geração, 8 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 11. Já o *notebook* utilizado para baixar o arquivo foi um Acer Predator Helios Neo 16, equipado com um processador Intel Core i7 de 13ª geração, 16 GB de me-

mória RAM e sistema operacional Windows 11. O roteador Wi-Fi utilizado para os testes foi o HUAWEI AX2S Wi-Fi 6. Para a conexão com a rede móvel, foram utilizados dois aparelhos telefônicos: um Samsung A53 com um *chip* da Vivo e um iPhone 12 Pro, também com um *chip* da Vivo.

3.1.3.4 Rede Wi-Fi

A Figura 7 ilustra a conexão entre os notebooks por meio da rede Wi-Fi 6. Nela, é possível visualizar a configuração da rede e a maneira como os dispositivos se comunicam através do roteador. Para os testes com a rede Wi-Fi, ambos os notebooks foram conectados à mesma rede, configurada no padrão 802.11ax.

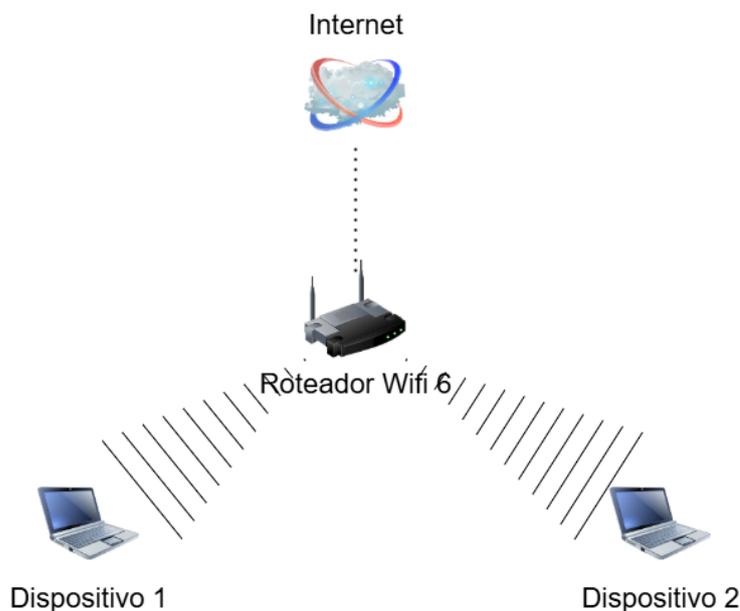


Figura 7 – Demonstrando a conexão com a rede 5G.

Fonte: O Autor

As Figuras 8 e 9 apresentam informações sobre a conexão dos *notebooks* utilizando o protocolo 802.11ax, obtidas por meio do comando `netsh wlan show interfaces`. Os resultados exibem a utilização do protocolo 802.11ax, enquanto a faixa de frequência em uso é 5 GHz. Além disso, observa-se que a taxa de recepção (*download*) e a taxa de transmissão (*upload*) são ambas de 1201 Mbps, que é o valor máximo de transferência de dados suportado por este roteador. O nível do sinal, expresso em porcentagem, reflete a qualidade da conexão no momento da captura dos dados.

```
C:\Users\Jacqueline>netsh wlan show interfaces

Há 1 interface no sistema:

Nome                : Wi-Fi
Descrição           : MediaTek Wi-Fi 6 MT7921 Wireless LAN Card
GUID                : a5abfc8a-3d0a-4e8b-8938-fff49d05dfff
Endereço físico     : d0:39:57:78:b9:61
Tipo de interface   : Primário
Estado              : Conectado
SSID                : Familiagomes_5G
BSSID               : 18:aa:0f:71:17:3c
Tipo de rede        : Infraestrutura
Tipo de rádio       : 802.11ax
Autenticação        : WPA2-Personal
Criptografia        : CCMP
Modo de conexão     : Conexão Automática
Faixa               : 5 GHz
Canal               : 149
Taxa de recepção (Mbps) : 1201
Taxa de transmissão (Mbps) : 1201
Sinal               : 86%
Perfil              : Familiagomes_5G

Status da rede hospedada: Não disponível
```

Figura 8 – Descrição da conexão Wi-Fi do notebook responsável pelo envio do arquivo

Fonte: O Autor

```
C:\Users\wesle>netsh wlan show interfaces

Há 1 interface no sistema:

Nome                : Wi-Fi
Descrição           : Killer(R) Wi-Fi 6 AX1650i 160MHz Wireless Network Adapter (201NGW)
GUID                : f3cb4559-23e9-410e-be0a-f14d81b02396
Endereço físico     : b0:dc:ef:dc:89:99
Tipo de interface   : Primário
Estado              : Conectado
SSID                : Familiagomes_5G
BSSID               : 18:aa:0f:71:17:3c
Tipo de rede        : Infraestrutura
Tipo de rádio       : 802.11ax
Autenticação        : WPA2-Personal
Criptografia        : CCMP
Modo de conexão     : Perfil
Faixa               : 5 GHz
Canal               : 149
Taxa de recepção (Mbps) : 1201
Taxa de transmissão (Mbps) : 1134
Sinal               : 97%
Perfil              : Familiagomes_5G

Status da rede hospedada: Não disponível
```

Figura 9 – Descrição da conexão Wi-Fi do notebook que realizou o *download*

Fonte: O Autor

A seguir, as Figuras apresentam as telas dos notebooks durante o experimento.

A Figura 10 exibe a tela do dispositivo que enviou o arquivo, apresentando detalhes sobre o processo de transferência. Na imagem, é possível visualizar o tamanho do arquivo e o horário de criação, registrado às 12:00:53. Além disso, a tela exibe a *Upload Speed*, que corresponde à taxa de upload. O próprio software fornece uma média desse valor, que para a rede Wi-Fi foi de 153,0 Kbps.

Transfer		
Time Elapsed:	11m 9s	Remaining: ∞
Downloaded:	0 B	Uploaded: 100 MB
Download Speed:	0.0 KB/s	Upload Speed: 0.0 KB/s (avg. 153.0 KB/s)
Down Limit:	∞	Up Limit: ∞
Status:	Seeding	Wasted: 0 B (0 hashfails)
		Seeds: 0 of 4 connected (2 in swarm)
		Peers: 0 of 2 connected (0 in swarm)
		Share Ratio: 1.000
General		
Save As:	C:\Users\Jacqueline\Desktop\TCC Pedro\Rede WiFi.bin	
Total Size:	100 MB (100 MB done)	Pieces: 800 x 128 KB (have 800)
Created On:	12/01/2025 12:00:53	Created By: uTorrent/3.6
Added On:	12/01/2025 12:00:53	Completed On: 12/01/2025 12:00:55
Hash:	FABA27AC3B684DA63A5B36DCB25D9E88B12836EC	
Comment:		

Figura 10 – Tela do notebook durante o envio do arquivo via rede Wi-Fi

Fonte: O Autor

A Figura 11 exibe a tela do dispositivo que realizou o download do arquivo, apresentando informações sobre o processo de transferência. Na imagem, é possível visualizar o tamanho do arquivo baixado, que é de 100 MB, além do horário de início do download, registrado às 12:09:05, e sua conclusão às 12:09:15, totalizando 10 segundos de duração. Também é exibida a *Download Speed*, que corresponde ao throughput. O próprio software fornece uma média para esse valor, que para a rede Wi-Fi foi de 10 Mbps, equivalente a 10.000 Kbps.

Transfer		
Time Elapsed:	2m 19s	Remaining: ∞
Downloaded:	100 MB	Uploaded: 0 B
Download Speed:	0.0 KB/s (avg. 10.0 MB/s)	Upload Speed: 0.0 KB/s (avg. 0 B/s)
Down Limit:	∞	Up Limit: ∞
Status:	Seeding	Wasted: 0 B (0 hashfails)
		Seeds: 0 of 4 connected (3 in swarm)
		Peers: 0 of 1 connected (0 in swarm)
		Share Ratio: 0.000
General		
Save As:	C:\Users\westel\Downloads\Rede WiFi.bin	
Total Size:	100 MB (100 MB done)	Pieces: 800 x 128 KB (have 800)
Created On:	12/01/2025 12:00:53	Created By: uTorrent/3.6
Added On:	12/01/2025 12:09:05	Completed On: 12/01/2025 12:09:15
Hash:	FABA27AC3B684DA63A5B36DCB25D9E88B12836EC	
Comment:		

Figura 11 – Tela do notebook durante o recebimento do arquivo via rede Wi-Fi

3.1.3.5 Rede Móvel

A conexão 5G foi realizada utilizando o serviço da Vivo, que oferece uma velocidade média de download de 384,3 Mbps e uma velocidade média de upload de 33,3 Mbps, estando em condições ideais (TELECO, 2024).

Para os testes realizados na rede móvel, foi estabelecida uma conexão entre um aparelho telefônico e um *notebook* utilizando a funcionalidade de *tethering* via cabo USB. Cada *notebook* foi conectado a um aparelho telefônico distinto, ambos configurados para acessar a rede móvel 5G. Esse arranjo assegurou que o experimento avaliasse o desempenho dessa tecnologia em um cenário de transmissão de arquivos.

A Figura 12 ilustra a conexão entre os notebooks utilizando a rede móvel 5G. Na imagem, é possível observar a configuração da rede e como os dispositivos estão interligados, com destaque para o uso do tethering. É possível ver a conexão do notebook com o celular, que, por sua vez, está conectado à rede 5G, evidenciando a transmissão de dados entre os dispositivos por meio dessa tecnologia.

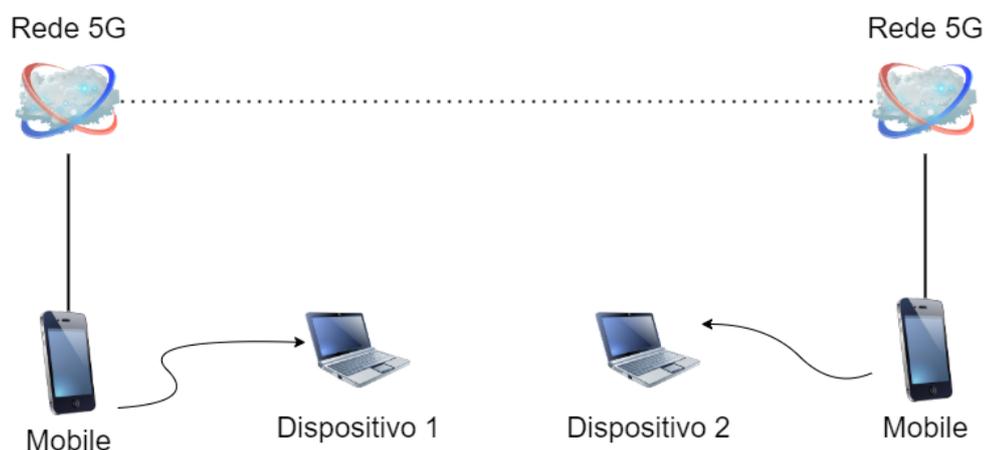


Figura 12 – Demonstrando a conexão com a rede 5G.

Fonte: O Autor

A Figura 13 apresenta a tela do *notebook* responsável pelo envio do arquivo durante o teste. Inicialmente, foram criados dois arquivos idênticos para os testes, um para a rede Wi-Fi e outro para a rede 5G. Mas optamos por utilizar o mesmo arquivo para os dois testes, para manter uma maior fidelidade. Na imagem, é possível visualizar o tamanho do arquivo e o horário de criação, registrado às 12:00:53. Além disso, a tela exibe a *Upload Speed*, que corresponde à taxa de *upload*. O próprio *software* fornece uma média para esse valor, que para a rede 5G foi de 42,9 Kbps.

Transfer					
Time Elapsed:	1h 59m	Remaining:	∞	Wasted:	0 B (0 hashfails)
Downloaded:	0 B	Uploaded:	300 MB	Seeds:	0 of 5 connected (2 in swarm)
Download Speed:	0.0 KB/s	Upload Speed:	0.0 KB/s (avg. 42.9 KB/s)	Peers:	0 of 4 connected (0 in swarm)
Down Limit:	∞	Up Limit:	∞	Share Ratio:	3.000
Status:	Seeding				
General					
Save As:	C:\Users\Jacqueline\Desktop\TCC Pedro\Rede WiFi\bin		Pieces:	800 x 128 KB (have 800)	
Total Size:	100 MB (100 MB done)		Created By:	uTorrent/3.6	
Created On:	12/01/2025 12:00:53		Completed On:	12/01/2025 12:00:55	
Added On:	12/01/2025 12:00:53				
Hash:	FABA27AC3B6B4DA63A5B36DCB25D9E88B12836EC				
Comment:					

Figura 13 – Tela do notebook durante o envio do arquivo via rede 5G

Fonte: O Autor

A Figura 14 apresenta a tela do *notebook* responsável pelo *download* do arquivo após a conclusão do teste. Nessa imagem, é possível visualizar o tamanho do arquivo baixado, que é de 100 MB, além do horário de início do download, registrado às 13:57:21, e sua conclusão às 13:59:43, totalizando 2 minutos e 22 segundos de duração. Também é exibida a *Download Speed*, que indica a média do throughput na rede 5G, registrada em 726,2 Kbps.

Transfer					
Time Elapsed:	0m 52s	Remaining:	∞	Wasted:	0 B (0 hashfails)
Downloaded:	100 MB	Uploaded:	0 B	Seeds:	0 of 4 connected (1 in swarm)
Download Speed:	0.0 KB/s (avg. 726.2 KB/s)	Upload Speed:	0.0 KB/s (avg. 0 B/s)	Peers:	0 of 4 connected (1 in swarm)
Down Limit:	∞	Up Limit:	∞	Share Ratio:	0.000
Status:	Seeding				
General					
Save As:	C:\Users\weslel\Downloads\Rede WiFi\bin		Pieces:	800 x 128 KB (have 800)	
Total Size:	100 MB (100 MB done)		Created By:	uTorrent/3.6	
Created On:	12/01/2025 12:00:53		Completed On:	12/01/2025 13:59:43	
Added On:	12/01/2025 13:57:21				
Hash:	FABA27AC3B6B4DA63A5B36DCB25D9E88B12836EC				
Comment:					

Figura 14 – Tela do notebook durante o recebimento do arquivo via rede 5G

Fonte: O Autor

4 Resultados

Neste capítulo, serão analisados os resultados dos testes realizados para os métodos executados nas funções de estudo apresentadas na Seção 3.3.4, que aborda os testes com a rede Wi-Fi 6, e na Seção 3.3.5, que trata dos testes com a rede 5G. Além disso, serão discutidos os impactos das variações de desempenho observadas em cada cenário, permitindo uma comparação detalhada entre as duas tecnologias.

4.1 Dificuldades Encontradas

Foram encontradas dificuldades para conectar os dispositivos via rede 5G, principalmente por causa da dificuldade em localizar o endereço IP correto, devido aos bloqueios da operadora. Além disso, a conexão entre a rede 5G e o servidor FTP, que estava em uma rede interna, também apresentou problemas, especialmente por questões relacionadas ao firewall e à necessidade de liberar portas no roteador.

A falta de recursos também foi um desafio importante. A rede 5G só estava disponível em outra cidade, o que limitou bastante a realização dos testes. Além disso, a dificuldade em encontrar dispositivos compatíveis com o padrão 802.11ax prejudicou a execução de alguns testes planejados, o que reduziu o tempo disponível para realizá-los.

Esses tipos de problemas podem afetar diretamente a comunicação entre os dispositivos, algo essencial para o funcionamento de sistemas de Indústria 4.0 e IoT. A falta de confiabilidade nas redes e a limitação da infraestrutura dificultaram a coleta de dados em tempo real, tornando mais difícil implementar e escalar esses sistemas, que dependem de uma conexão estável e eficiente para funcionar corretamente. Com base nos resultados, é possível dizer que, com a tecnologia disponível hoje, as redes 5G ainda não conseguem atingir o mesmo nível de desempenho e compatibilidade que as redes Wi-Fi 6 quando o assunto é aplicações corporativas, especialmente em áreas como a Indústria 4.0 e a IoT empresarial.

4.2 Testes Entre as Redes

A Figura 15 apresenta a taxa de transferência máxima (em Gbps) para as tecnologias Wi-Fi 6, 5G Sub-6 GHz, que vai até a frequência de 6 GHz e 5G mmWave que vai de 24GHz até 40 GHz, com base em dados teóricos. O gráfico permite comparar visualmente o desempenho de cada tecnologia em termos de taxa de transferência. O Wi-Fi 6 atinge até 9,6 Gbps, enquanto o 5G Sub-6 GHz alcança 10 Gbps. Já o 5G mmWave, operando em frequências acima de 24 GHz, destaca-se com uma taxa máxima de 20 Gbps.

A Figura 15 também inclui informações sobre a taxa de *upload* máximo das tecnologias analisadas. O Wi-Fi 6 atinge até 4,8 Gbps de *upload* teórico, enquanto o 5G Sub-6 GHz alcança 2 Gbps. Já o 5G mmWave, operando em frequências mais altas, pode atingir até 10 Gbps de *upload* em condições ideais.

Taxa de Transferência e Upload Máximo (Gbps)

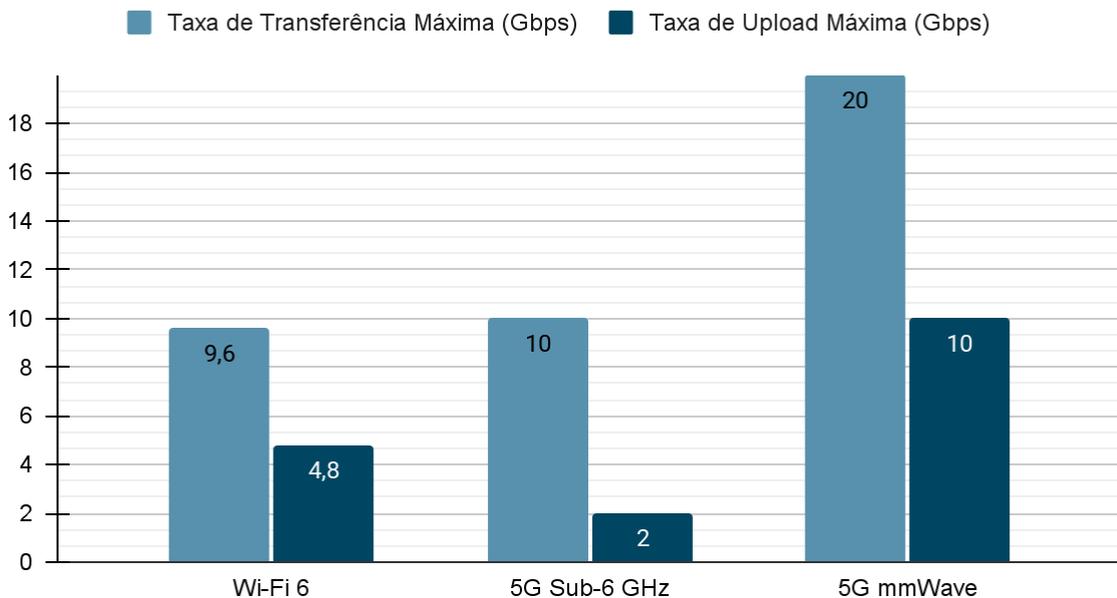


Figura 15 – Comparação da taxa de transferência máxima: Wi-Fi 6 vs. Rede 5G

Fonte: O Autor

Os gráficos a seguir apresentam os resultados obtidos nos testes de desempenho da rede. Os valores foram extraídos do *software* uTorrent, utilizado durante os testes, analisando as métricas de tempo total, *throughput* e *upload*. Essas medições foram realizadas com o objetivo de comparar o desempenho da rede 5G em relação à Wi-Fi 6.

A Figura 16 apresenta o tempo médio gasto durante os testes comparativos entre as redes, realizados no dia 12 de janeiro por volta das 12h. O gráfico exibe o tempo em segundos para cada rede, permitindo avaliar qual delas apresenta melhor eficiência temporal no contexto dos testes realizados.

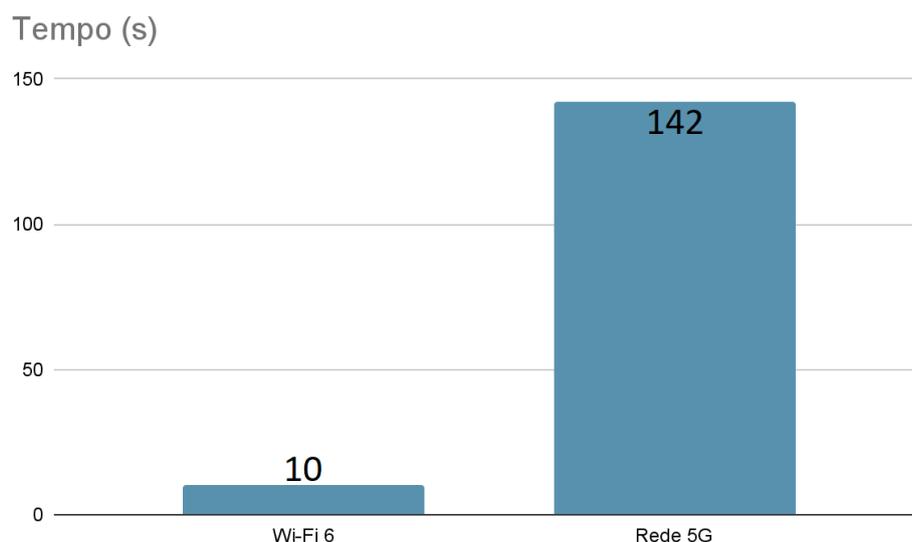


Figura 16 – Comparação do Tempo Gasto em Testes: Wi-Fi 6 vs. Rede 5G

Fonte: O Autor

A análise do tempo total gasto nos testes revela uma diferença significativa entre as redes avaliadas. Enquanto a rede Wi-Fi concluiu o teste em apenas 10 segundos, a rede 5G levou 142 segundos. Esse resultado pode indicar que, a rede 5G apresentou maior latência ou instabilidades.

Pode ocorrer variações, dependendo da cobertura e da infraestrutura da operadora, sendo mais perceptível em frequências mais altas devido à maior atenuação do sinal (ANDREWS et al., 2014).

A Figura 17 abaixo apresenta a média do *throughput* medida durante testes comparativos entre as redes, no período de 12 de janeiro as 12h. O gráfico mostra o *throughput* em Kbps para cada rede, permitindo avaliar qual deles oferece o melhor desempenho.

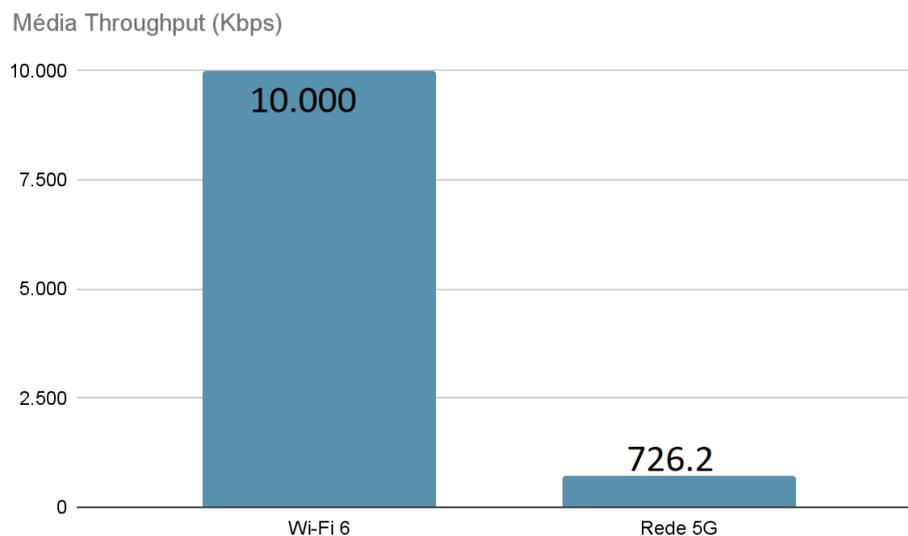


Figura 17 – Comparativo de Throughput: Wi-Fi 6 vs. Rede 5G

Fonte: O Autor

O *throughput* encontrado foi consideravelmente maior na rede Wi-Fi (10.000 Kbps) em comparação a rede 5G (726,2 Kbps). Esse resultado nos mostra que, no contexto específico da medição, a rede Wi-Fi ofereceu um *throughput* superior, permitindo uma maior transferência de dados por segundo. A baixa taxa obtida na rede 5G pode estar relacionada a fatores como qualidade do sinal, alocação de banda pelo provedor ou até mesmo o uso de *tethering*.

As redes utilizadas no 5G são altamente suscetíveis a obstruções e interferências ambientais, o que pode reduzir significativamente o *throughput* em determinados cenários, considerando fatores como distância da torre e número de usuários (ZHANG et al., 2021).

A Tabela 2 compara o desempenho do Wi-Fi e do 5G em três métricas principais: *throughput*, *throughput* máximo e taxa de transferência. O *throughput* do Wi-Fi (10 Mbps) foi 13,77 vezes superior ao do 5G (0,7262 Mbps). O *throughput* máximo do Wi-Fi foi de 1.201 Mbps, enquanto o 5G apresentou máxima de 384,3 Mbps, com o Wi-Fi sendo 3,13 vezes mais rápido. Em relação à taxa de transferência, o Wi-Fi alcançou 9.600 Mbps, enquanto o 5G atingiu 10.000 Mbps, sendo o 5G ligeiramente superior nesse aspecto (0,96 vezes).

Tabela 2 – Comparação de *Throughput* e Taxa de Transferência: Wi-Fi vs. 5G

Métrica	Wi-Fi	5G	Wi-Fi é X vezes melhor
Throughput (Mbps)	10	0,7262	13,77
Throughput máximo (Mbps)	1201	384,3	3,13
Taxa de Transferência (Mbps)	9.600	10.000	0,96

A Figura 18 apresenta a taxa média de *upload* medida durante os testes comparativos entre as redes, realizados no dia 12 de janeiro por volta das 12h. O gráfico exibe *upload* em Kbps para cada rede.

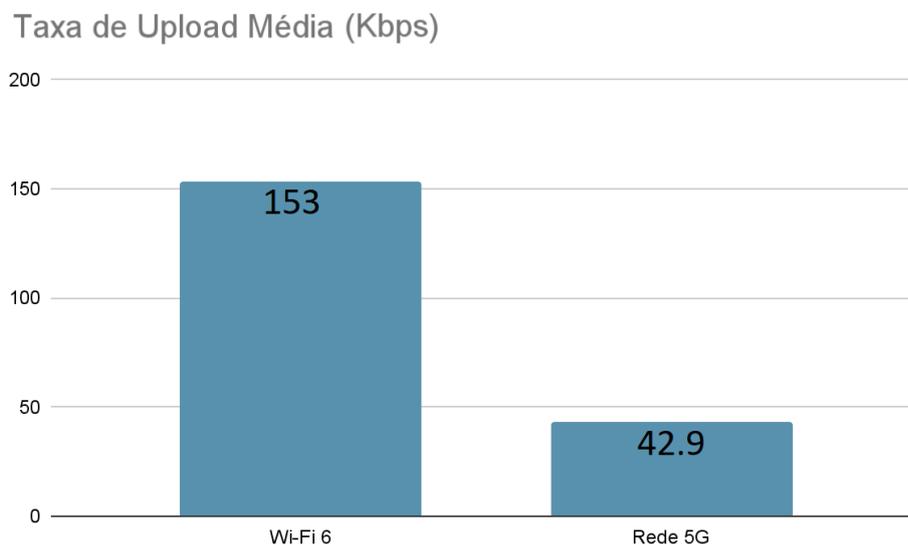


Figura 18 – Comparativo de Taxa de Upload: Wi-Fi 6 vs. Rede 5G

Fonte: O Autor

A taxa média de *upload* foi maior na rede Wi-Fi (153 Kbps) do que na rede 5G (42,9 Kbps). Esse resultado mostra que, nesse teste específico, a rede Wi-Fi teve um desempenho superior no envio de dados. A taxa observada na rede 5G pode estar associada a diversos fatores, como interferências no sinal, priorização de *download* pelo provedor, limitações impostas ao *upload* em conexões móveis ou até mesmo restrições decorrentes do uso de *tethering*.

A Tabela 3 compara o desempenho de *upload* do Wi-Fi e do 5G em três aspectos: os valores reais encontrados nos testes, os valores máximos ofertados e os valores teóricos máximos, todos medidos em Mbps. Em relação aos testes práticos de *upload*, o Wi-Fi foi 3,57 vezes superior ao 5G, com 0,153 Mbps contra 0,0429 Mbps. Quanto aos valores máximos ofertados, o Wi-Fi registrou 1.201 Mbps, enquanto o 5G atingiu 33,3 Mbps, sendo o Wi-Fi 36,06 vezes mais rápido nesse caso. Em termos teóricos, o Wi-Fi pode atingir até 4.800 Mbps, sendo 2,40 vezes superior ao 5G, que tem um valor teórico máximo de 2.000 Mbps.

Tabela 3 – Comparação de Upload: Wi-Fi vs. 5G

Métrica	Wi-Fi	5G	Wi-Fi é X vezes melhor
Upload (Mbps)	0,153	0,0429	3,57
Upload Máximo (Mbps)	1.201	33,3	36,06
Upload Teórico Máximo (Mbps)	4.800	2.000	2,40

4.3 Análise Geral

A Tabela 4 apresenta um comparativo entre os desempenhos das redes Wi-Fi 6 e 5G nos testes realizados. Observa-se que a rede Wi-Fi 6 concluiu a transferência de 100 MB em apenas 10 segundos, enquanto a rede 5G levou 142 segundos para completar a mesma tarefa. Além disso, *throughput* encontrado na rede Wi-Fi 6 foi significativamente superior, atingindo 10.000 Kbps, em comparação com os 726,2 Kbps medidos na rede 5G. Esses resultados indicam que, no ambiente testado, a rede Wi-Fi 6 demonstrou um desempenho mais eficiente tanto em termos de tempo de transferência quanto de *throughput*, sugerindo que, para aplicações que demandam alta velocidade de transmissão de dados, a tecnologia Wi-Fi 6 pode ser mais vantajosa do que a rede 5G nesse contexto.

Tabela 4 – Resultados dos Testes de Desempenho: Comparação entre Wi-Fi 6 e 5G

Rede	Tempo (s)	Download (Kbps)	Upload (Kbps)	Tam. (MB)
Wi-Fi 6	10	10.000	153	100
5G	142	726,2	42,9	100

Fonte: O Autor

5 Conclusão

Neste trabalho, foi realizada uma análise comparativa entre as redes 5G e WLAN. O objetivo do estudo foi investigar qual das tecnologias oferece melhor desempenho e eficiência, considerando sua relevância para conexões em ambientes domésticos e empresariais.

A falta de uma rede 5G em Timóteo foi um problema, o que resultou na realização de todos os testes em Belo Horizonte. Ao utilizar dispositivos móveis para se conectar à rede 5G, encontramos outro obstáculo, a provedora de internet móvel utiliza máscaras no IP, o que impossibilitou a localização do IP na internet. Com isso, tentamos configurar um servidor FTP para estabelecer a conexão, mas encontramos novos problemas ao tentar acessá-lo por meio da rede móvel 5G. Diante disso, escolhemos utilizar o software uTorrent, que permitiu a conexão direta entre os dois dispositivos sem a necessidade de um servidor externo, simplificando o processo de realização dos testes.

Durante a realização dos testes, dificuldades foram encontradas, impactando a execução do trabalho. Um dos principais desafios foi a limitação de recursos, especialmente a falta de *notebooks* compatíveis com o protocolo 802.11ax. Inicialmente, tive acesso a três *notebooks* com suporte a essa tecnologia, porém, dois deles eram equipamentos corporativos e por conta disso, possuíam restrições de uso que impossibilitavam a instalação do *software* uTorrent. Para resolver isso, foi necessário buscar um notebook com permissão de uso, mas o tempo disponível com esse equipamento foi limitado.

Os testes realizados indicaram que a Wi-Fi 6 apresentou desempenho superior no ambiente analisado, especialmente em termos de velocidade de transferência e estabilidade da conexão. Isso sugere que, para cenários que exigem alta taxa de transmissão de dados e baixa latência, essa tecnologia pode oferecer vantagens. A escolha da rede certa depende do contexto de uso e de fatores externos que podem afetar o desempenho.

Vale destacar, porém, que os testes foram realizados utilizando *tethering* e em um período específico, sem repetições para validação mais ampla dos resultados. Portanto, os testes confirmam que o Wi-Fi 6 é uma solução eficaz para os ambientes analisados. No entanto, os dados obtidos não são suficientes para afirmar que o 5G também seja uma alternativa viável de conexão nessas mesmas condições.

5.1 Trabalhos futuros

Possível trabalho futuro: Avaliação do desempenho do 5G com notebook integrado

Para aprofundar a análise e validar os resultados obtidos, futuros estudos podem explorar novas abordagens metodológicas e ampliar os testes realizados. Uma possibilidade é a utilização de um *notebook* com tecnologia 5G integrada, permitindo avaliar o desempenho da rede sem as limitações impostas pelo *tethering*. Isso possibilitaria uma análise mais precisa do comportamento da rede 5G em diferentes cenários.

Possível trabalho futuro: Expansão dos testes para uma análise mais abrangente

Também é recomendada a repetição dos testes realizados, mas com um número maior de execuções ao longo do tempo. Uma sugestão seria a realização dos testes três vezes por dia durante uma semana, permitindo a coleta de um conjunto mais abrangente de dados e a identificação de possíveis variações no desempenho das redes em diferentes horários e condições de uso. Dessa forma, seria possível obter uma avaliação mais consistente sobre a viabilidade das tecnologias analisadas para aplicações nos ambientes domésticos e empresariais.

Possível trabalho futuro: Aplicação em Indústria 4.0 e IoT

Este trabalho também serve como base para estudos futuros que explorem a aplicação das tecnologias analisadas em ambientes de Indústria 4.0 e Internet das Coisas (IoT). Com o avanço dessas tecnologias, é possível avaliar como o Wi-Fi e o 5G podem impactar a eficiência de sistemas industriais conectados. Futuros estudos podem investigar a viabilidade de implementação de cada rede em diferentes cenários industriais, considerando a latência, a largura de banda e a confiabilidade necessárias para o bom funcionamento.

Referências

- AHMADI, S. *5G NR: Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards*. [S.l.]: Elsevier Science and Technology, 2019. 11, 13 p. ISBN 9780081022672. Citado na página 17.
- ANDREWS, J.; SMITH, J. Quality of service vs. quality of experience. *Journal of Network and Systems Management*, Springer, v. 22, n. 3, p. 123–145, 2014. Citado na página 13.
- ANDREWS, J. G. et al. What will 5g be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, IEEE, v. 32, n. 6, p. 1065–1082, 2014. Citado nas páginas 12, 13 e 34.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer Networks*, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. Citado na página 18.
- BERTONI, B. *Sistema de Arquivo Baseado em Torrent com Controle de Cota de Armazenamento*. 2017, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado em Ciência da Computação. Disponível em: <<https://www.inf.ufpr.br/bcc/tcc/2017/2017%20Sistema%20de%20Arquivo%20Baseado%20em%20Torrent%20com%20Controle%20de%20Cota%20de%20Armazenamento.pdf>>. Citado na página 25.
- CAPOBIANCO, G. C. *Panorama geral e a implementação da infraestrutura da rede 5G no Brasil e seus desafios técnicos, econômicos e políticos*. 2021. Dissertação de Mestrado — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2021. Orientador: Prof. Dr. João da Silva. Citado na página 20.
- CO., L. H. T. *Especificação do Roteador Huawei AX2S*. 2023. Accessed: 2025-02-04. Disponível em: <<https://consumer.huawei.com/br/routers/ax2s/specs/>>. Citado na página 22.
- COLLIS, J.; HUSSEY, R. *Business Research: A Practical Guide for Undergraduate and Postgraduate Students*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. Citado na página 21.
- CONTENT, R. *FileZilla: O que é, como funciona e como usar*. 2025. <<https://rockcontent.com/br/blog/filezilla/>>. Accessed: 2025-01-16. Citado na página 24.
- CORPORATION, P. S. *What is File Transfer Protocol (FTP)?* 2025. Accessed: 10-Jan-2025. Disponível em: <<https://www.progress.com/blogs/what-is-file-transfer-protocol-ftp>>. Citado na página 23.
- DAHLMAN, E.; PARKVALL, S.; SKÖLD, J. *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*. [S.l.]: Academic Press, 2018. Citado na página 12.
- DTNETWORK. *O que significa WLAN?* 2024. Disponível em: <<https://dtnetwork.com.br/o-que-significa-wlan/>>. Citado na página 10.
- FARIAS, G. F. de. *5G – Redes de comunicações móveis de quinta geração: evolução, tecnologia, aplicações e mercado*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, SC, Brasil, 2019. Orientador: Prof. Especialista Glauco de Castro Ligeiro. Citado nas páginas 13 e 20.
- Games Data. *1G ao 5G: Entenda a Diferença entre as Gerações de Rede Móvel*. 2024. Acessado em: 28 de agosto de 2024. Disponível em: <<https://gamesdata.com.br/1g-ao-5g-entenda-a-diferenca-entre-as-geracoes-de-rede-movel/>>. Citado na página 15.

- GHAYAS, A. *Average 4G speed: How fast is 4G LTE compared to 4G+?* 2020. Accessed: 2024-08-19. Disponível em: <<https://commsbrief.com/average-4g-speed-how-fast-is-4g-lte-compared-to-4g/>>. Citado na página 16.
- GMBH, H. O. *Hetzner Speed Test*. 2023. Accessed: 2025-02-04. Disponível em: <<https://ash-speed.hetzner.com>>. Citado na página 25.
- GOLDSMITH, A. *Wireless Communications*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2020. Citado nas páginas 12, 14 e 16.
- IBM Brasil. *O que é Indústria 4.0?* 2025. Acessado em: 31-01-2025. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/topics/industry-4-0>>. Citado na página 19.
- iPerf. *iPerf - The ultimate speed test tool for TCP, UDP and SCTP*. 2024. Accessed: 2024-08-28. Disponível em: <<https://iperf.fr/>>. Citado na página 21.
- JAVAIID, M. et al. Progressive schema of 5g for industry 4.0: features, enablers, and services. *Industrial Robot*, v. 49, n. 3, p. 527–543, 2022. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IR-10-2021-0226/full/html>>. Citado na página 10.
- JAVATPOINT. *Wireless Application Protocol (WAP)*. 2024. Accessed: 2024-08-16. Disponível em: <<https://www.javatpoint.com/wap>>. Citado na página 16.
- JOHNSEN, J. A.; KARLSEN, L. E.; BIRKELAND, S. S. *Peer-to-Peer Networking with BitTorrent*. [S.l.], 2005. Disponível em: <<https://web.cs.ucla.edu/classes/cs217/05BitTorrent.pdf>>. Citado na página 25.
- LONG, M. *Tethering vs. Hotspot: What's the Difference?* 2024. Accessed: 2024-08-28. Disponível em: <<https://www.whistleout.com/CellPhones/Guides/hotspot-vs-tethering>>. Citado na página 22.
- MALDONADO, R. et al. Comparing wi-fi 6 and 5g downlink performance for industrial iot. *IEEE Access*, v. 9, p. 86928–86937, 2021. Citado nas páginas 18 e 19.
- MICROSOFT. *Internet Information Services (IIS)*. 2025. <<https://learn.microsoft.com/pt-br/iis/>>. Accessed: 2025-01-16. Citado na página 24.
- NATKANIEC, M.; BIERYT, N. An analysis of the mixed ieee 802.11ax wireless networks in the 5 ghz band. *Sensors*, MDPI, v. 23, n. 10, p. 4964, 2023. Citado na página 14.
- NIC.BR. *O que é CGNAT e como isso pode afetar sua conexão de internet?* 2023. Accessed: 2025-02-04. Disponível em: <<https://www.nic.br/noticia/na-midia/o-que-e-cgnat-e-como-isso-pode-afetar-sua-conexao-de-internet/>>. Citado na página 23.
- PROJECT, F. *FileZilla - The free FTP solution*. 2025. <<https://filezilla-project.org/index.php>>. Accessed: 2025-01-16. Citado na página 24.
- RODRIGUES, F. C. Avaliação da latência em redes 5g, 4g e wi-fi por servidores locais da ufmt. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO, 1., 2023, Cuiabá, MT, Brasil. *Relatório Técnico*. [S.l.]: UFMT, 2023. Citado nas páginas 10, 14 e 19.
- STALLINGS, W. *Data and Computer Communications*. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2020. ISBN 9780133506488. Citado na página 15.
- TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. ISBN 8535211853. Citado na página 14.

TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. 5. ed. [S.l.]: Pearson, 2011. ISBN 9788576059248. Citado nas páginas 14 e 16.

TELECO. *Cobertura de Redes Móveis no Brasil*. 2024. Accessed: 2024-08-19. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br>>. Citado nas páginas 16, 17 e 30.

TOTVS. *Indústria 4.0: O que é, importância, pilares e exemplos práticos*. 2025. Acessado em: 31-01-2025. Disponível em: <<https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-4-0/>>. Citado na página 19.

WEI, Z.; HUANG, Y.; LI, L. Security and privacy in internet of things: Challenges and solutions. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 7, n. 5, p. 4001–4012, 2020. Citado na página 18.

Wi-Fi Alliance. *Wi-Fi Alliance*. 2024. Disponível em: <<https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi>>. Citado nas páginas 10 e 14.

ZAKI, Y. *Future Mobile Communications: LTE Optimization and Mobile Network Virtualization*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. Citado na página 12.

ZHANG, N. et al. Evaluating the performance of 5g mmwave in urban and rural scenarios. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, IEEE, v. 20, n. 9, p. 6405–6418, 2021. Citado na página 35.

ZHANG, Y. et al. A survey on latency in 5g ultra-reliable low-latency communication systems. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, v. 22, n. 4, p. 2309–2335, 2020. Citado nas páginas 10 e 13.