



UNIBRA

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA

CURSO DE GRADUAÇÃO TECNOLÓGICO EM

REDES DE COMPUTADORES

JONES COUTINHO OLIVEIRA

ANÁLISE COMPARATIVA DAS TECNOLOGIAS DE REDES SEM FIO: 802.11A/B/G/N/AC/AX.

RECIFE/2023

JONES COUTINHO OLIVEIRA

ANÁLISE COMPARATIVA DAS TECNOLOGIAS DE REDES SEM FIO: 802.11 A/B/G/N/AC/AX.

Trabalho Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA, como requisito parcial para obtenção do título de tecnólogo em Redes de Computadores.

Professor(a) Orientador(a): Msc Ameliara Freire Santos de Miranda

RECIFE/2023

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

O48a

Oliveira, Jones Coutinho.

Análise comparativa das tecnologias de redes sem fio:
802.11A/B/G/N/AC/AX / Jones Coutinho Oliveira. - Recife: O Autor,
2023.

14 p.

Orientador(a): MSc. Ameliara Freire Santos de Miranda.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário
Brasileiro – UNIBRA. Tecnólogo em Redes de Computadores, 2023.

Inclui Referências.

1. Wi-Fi. 2. Tecnologia de rede sem fio. 3. Alcance. I. Centro
Universitário Brasileiro. - UNIBRA. II. Título.

CDU: 004

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato a Deus por esta realização e a minha família, em especial a minha esposa, pelos incentivos e apoio.

*“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa. Todos
nós ignoramos alguma coisa. Por isso
aprendemos sempre.”
(Paulo Freire)*

Sumário

<i>Lista de figuras, tabelas e gráficos:</i>	8
<i>Lista de siglas e acrônimos:</i>	8
RESUMO	9
<i>Palavras-chave:</i>	9
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Problemática.....	9
1.2 Justificativa	10
1.3 Objetivos Gerais	10
1.4 Objetivos Específicos:	10
1.5 Metodologia	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Redes sem fio.....	11
2.1.1 Principais Componentes	12
2.1.2 Principais Características	12
2.2 IEEE 802.11	13
2.2.1 Vantagens dos padrões IEEE 802.11.....	13
2.2.2 Desvantagens dos padrões IEEE 802.11	13
2.2.3 Principais características técnicas, vantagens e desvantagens de algumas das versões	14
2.3 Principais diferenças entre as tecnologias de redes sem fio: 802.11a/b/g/n/ac/ax, considerando aspectos como frequência, largura de banda, alcance, segurança e consumo de energia.	15
2.3.1 Frequência	15
2.3.2 Largura de banda.....	15
2.3.3 Alcance	16
2.3.4 Segurança	16
2.3.5 Consumo de energia.....	16
3 METODOLOGIA	17
4 RESULTADOS	18
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS	22

Lista de figuras, tabelas e gráficos:

Figura 1 - Exemplo de arquitetura de rede sem fio

Figura 2 - Comparação de largura de banda e alcance das tecnologias 802.11 a/b/g/n/ac/ax.

Tabela 1 - Especificações técnicas do padrão 802.11 a/b/g/n/ac/ax.

Tabela 2 – Características técnicas de cada padrão, como a frequência, largura de banda, alcance, segurança e consumo de energia.

Tabela 3 - modulação e codificação utilizadas em cada padrão, técnicas que permitem transmitir e receber o sinal na rede sem fio.

Gráfico 1 e 2 – comparação entre as tecnologias de redes sem fio em relação à largura de banda, que é a capacidade de transmissão de dados por unidade de tempo.

Lista de siglas e acrônimos:

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

SSID - Service Set Identifier

MAC - Media Access Control

PHY - Physical Layer

Mbps - Megabits por segundo

QoS - Quality of Service

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

MIMO - Multiple-Input Multiple-Output

MU-MIMO - Multi-User Multiple-Input Multiple-Output

HE - High Efficiency

ANÁLISE COMPARATIVA DAS TECNOLOGIAS DE REDES SEM FIO: 802.11A/B/G/N/AC/AX.

JONES COUTINHO OLIVEIRA
Ameliara Freire Santos de Miranda

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa das tecnologias de redes sem fio 802.11a/b/g/n/ac/ax. Serão abordados aspectos técnicos e funcionais das tecnologias, tais como velocidade de transmissão, alcance, segurança e compatibilidade com dispositivos. A importância deste estudo se dá pela crescente presença de redes sem fio em nossas vidas e a necessidade de compreender as diferenças entre as tecnologias disponíveis para escolher a mais adequada para cada situação.

Palavras-chave:

Wi-Fi, Tecnologia de rede sem fio.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente uso de dispositivos móveis e a necessidade de conectar-se à internet em diferentes locais, as redes sem fio tornaram-se uma parte essencial do cotidiano de muitas pessoas e empresas. A tecnologia Wi-Fi é a mais utilizada para oferecer conectividade sem fio, e ao longo dos anos, vários padrões Wi-Fi foram desenvolvidos, como o 802.11a/b/g/n/ac/ax. Este trabalho tem como objetivo fazer uma análise comparativa dessas tecnologias, buscando entender suas diferenças e semelhanças, bem como suas vantagens e desvantagens em diferentes cenários. (PALPITE DIGITAL, [s.d.]).

1.1 Problemática

Com tantas opções de tecnologias Wi-Fi disponíveis no mercado, pode ser difícil para os usuários escolher a mais adequada para suas necessidades. Além disso, algumas tecnologias podem não ser compatíveis com dispositivos mais antigos ou podem apresentar problemas de interferência em ambientes com muitos usuários. Diante disso, surge a necessidade de uma análise comparativa das tecnologias de redes sem fio 802.11a/b/g/n/ac/ax para ajudar usuários e empresas a tomarem decisões mais informadas sobre qual tecnologia utilizar (PALPITE DIGITAL, [s.d.]).

1.2 Justificativa

A análise comparativa das tecnologias de redes sem fio 802.11a/b/g/n/ac/ax pode trazer importantes contribuições para o avanço e aprimoramento das tecnologias de conectividade sem fio. Ao entender as diferenças e vantagens de cada tecnologia, é possível ajudar usuários e empresas a escolherem a tecnologia mais adequada para suas necessidades e, assim, melhorar a qualidade de conectividade, aumentar a eficiência e reduzir problemas de incompatibilidade e interferência.

1.3 Objetivos Gerais

Realizar uma análise comparativa das tecnologias de redes sem fio 802.11a/b/g/n/ac/ax através de uma revisão literária, destacando suas características quanto a confiabilidade, segurança, velocidade e custo-benefício mostrando suas principais vantagens e desvantagens em diferentes cenários facilitando a escolha da devida tecnologia para o ambiente específico.

1.4 Objetivos Específicos:

- Conceituar os princípios e fundamentos das tecnologias de redes sem fio 802.11a/b/g/n/ac/ax.
- Comparar as velocidades, alcances e capacidades de usuários simultâneos das diferentes tecnologias.
- Identificar as vantagens e desvantagens de cada tecnologia em diferentes cenários, como residencial, corporativo e público.
- Analisar os padrões de segurança utilizados em cada tecnologia e sua eficácia em proteger as redes sem fio.
- Avaliar as interferências eletromagnéticas em cada tecnologia e sua influência na qualidade de sinal.
- Exemplificar a aplicação de cada tecnologia em diferentes cenários.

1.5 Metodologia

A metodologia deste trabalho consistirá em uma pesquisa bibliográfica mais atual entre os anos 2019 a 2023, que envolverá a busca e análise de artigos científicos, manuais técnicos, normas e padrões relacionados às tecnologias de redes

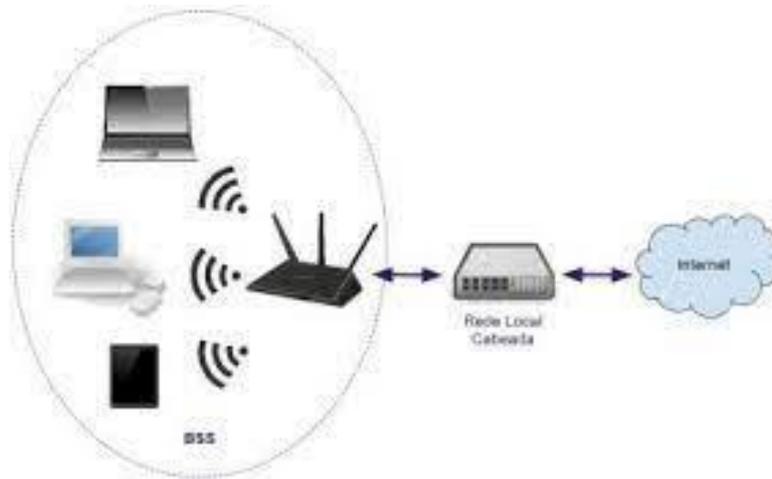
sem fio 802.11a/b/g/n/ac/ax. A partir da leitura e análise dos materiais selecionados, serão elaborados comparativos das tecnologias em questão, buscando evidenciar as suas características, vantagens e desvantagens.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Redes sem fio

Rede sem fio é um tipo de rede que utiliza ondas de rádio, infravermelho ou outros meios sem fio para conectar dispositivos em uma rede. Em uma rede sem fio, não há necessidade de cabos físicos para interconectar os dispositivos, pois a comunicação é feita através do ar.

Figura 1



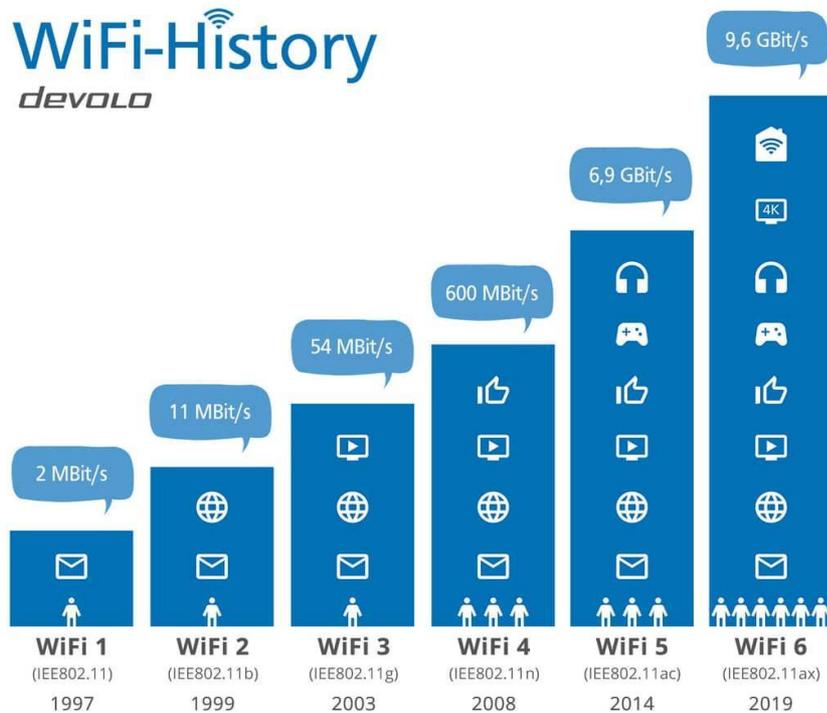
(Fonte: bosontreinamentos.com.br/redes-wireless/arquiteturas-de-redes-locais-sem-fio-wi-fi).

As redes sem fio são comumente usadas em ambientes onde é difícil ou impossível instalar cabos, como em prédios antigos ou locais remotos. Também são utilizadas em dispositivos móveis, como smartphones, laptops e tablets, que precisam se conectar a redes de internet em movimento.

As redes sem fio podem ser classificadas em diferentes tipos, de acordo com o alcance, a tecnologia e a arquitetura utilizados.

O tipo mais comum de rede sem fio é a rede Wi-Fi, que usa padrões de comunicação sem fio como 802.11a, b, g, n, ac e ax. Esses padrões definem as especificações técnicas para as redes sem fio, como as frequências utilizadas, a largura de banda, a velocidade máxima de transmissão de dados e outras características importantes (CISCO, 2022).

Figura 2



(Fonte: devolo.global/glossary/wi-fi-ax).

2.1.1 Principais Componentes

- Dispositivos sem fio: são os equipamentos que se conectam à rede sem fio, como computadores, smartphones, tablets, câmeras, sensores, etc. Eles possuem um transceptor (transmissor/receptor) de rádio que permite enviar e receber dados através das ondas de rádio.
- Pontos de acesso: são os equipamentos que fornecem a conectividade sem fio aos dispositivos sem fio, funcionando como uma interface entre a rede sem fio e a rede cabeada. Eles possuem uma antena que irradia as ondas de rádio e um cabo que se conecta à rede cabeada.
- Sistema de distribuição: é o conjunto de equipamentos e meios físicos que interligam os pontos de acesso e permitem a comunicação entre as diferentes células ou áreas da rede sem fio. Pode ser uma rede cabeada (como Ethernet), uma rede sem fio (como Wi-Fi) ou uma combinação das duas (CISCO, 2022).

2.1.2 Principais Características

- Flexibilidade: permite a mobilidade e o acesso dos usuários em diferentes locais e situações, sem a necessidade de instalação ou manutenção de cabos.

- Escalabilidade: permite o aumento ou a diminuição do número de usuários e dispositivos conectados à rede sem fio, conforme a demanda e a disponibilidade dos recursos.
- Economia: reduz os custos com infraestrutura física e operacional da rede sem fio, comparados aos custos com infraestrutura cabeada.
- Segurança: requer o uso de protocolos e mecanismos específicos para proteger os dados transmitidos na rede sem fio contra interceptação, modificação ou falsificação por terceiros não autorizados (CISCO, 2022).

2.2 IEEE 802.11

Os padrões IEEE 802.11 são uma família de normas que definem o funcionamento de redes locais sem fio (WLAN). Eles especificam os protocolos, as frequências, as taxas de transmissão e os mecanismos de segurança que permitem a comunicação sem fio entre dispositivos compatíveis. Os padrões IEEE 802.11 são desenvolvidos pelo grupo de trabalho 802.11 do IEEE, que é responsável por atualizar e revisar as normas periodicamente (NORMASTECNICAS, 2020).

2.2.1 Vantagens dos padrões IEEE 802.11

- Eles permitem a mobilidade e a flexibilidade dos usuários dentro da área de cobertura da rede sem fio.
- Eles reduzem os custos e a complexidade de instalação e manutenção de cabos e infraestrutura física.
- Eles facilitam o compartilhamento de recursos e informações entre dispositivos conectados à rede sem fio.
- Eles possibilitam a criação de redes ad hoc, que são redes temporárias formadas por dispositivos sem fio sem a necessidade de um ponto de acesso centralizado.
- Eles suportam diferentes aplicações e serviços, como voz, vídeo, dados, multimídia, internet e jogos (OFICINADANET, 2022).

2.2.2 Desvantagens dos padrões IEEE 802.11

- Eles estão sujeitos a interferências eletromagnéticas de outras fontes de rádio-frequência, como micro-ondas, telefones celulares e dispositivos Bluetooth.
- Eles apresentam limitações de alcance, capacidade e desempenho em relação às redes cabeadas, dependendo das condições ambientais e do número de usuários na rede sem fio.
- Eles exigem medidas adicionais de segurança para proteger os dados transmitidos na rede sem fio contra ataques maliciosos, como invasão, interceptação e falsificação.
- Eles podem gerar conflitos e incompatibilidades entre diferentes versões ou variantes dos padrões IEEE 802.11 (OFICINADANET, 2022).

2.2.3 Principais características técnicas, vantagens e desvantagens de algumas das versões

- 802.11a: padrão de 54 Mbps, sinalização de 5 GHz (ratificado em 1999) (OFICINADANET, 2022)
 - Vantagens: alta taxa de transmissão, menor interferência de outras fontes de rádio-frequência, maior número de canais disponíveis.
 - Desvantagens: menor alcance, maior custo dos equipamentos, menor compatibilidade com outros padrões IEEE 802.11.
- 802.11b: padrão de 11 Mbps, sinalização de 2,4 GHz (1999) (OFICINADANET, 2022)
 - Vantagens: maior alcance, menor custo dos equipamentos, maior compatibilidade com outros padrões IEEE 802.11.
 - Desvantagens: baixa taxa de transmissão, maior interferência de outras fontes de rádio-frequência, menor número de canais disponíveis.
- 802.11g: padrão de 54 Mbps, sinalização de 2,4 GHz (2003) (OFICINADANET, 2022)
 - Vantagens: alta taxa de transmissão, maior compatibilidade com outros padrões IEEE 802.11.
 - Desvantagens: menor alcance, maior interferência de outras fontes de rádio-frequência, menor número de canais disponíveis.
- 802.11n: padrão de até 600 Mbps, sinalização de 2,4 GHz ou 5 GHz (2009) (OFICINADANET, 2022)
 - Vantagens: alta taxa de transmissão, maior alcance, maior capacidade da rede sem fio, uso da tecnologia MIMO (Multiple Input Multiple Output), que permite o uso simultâneo de múltiplas antenas para aumentar o desempenho da rede sem fio.
 - Desvantagens: maior complexidade dos equipamentos, maior consumo de energia, maior custo dos equipamentos.
- 802.11ac: padrão de até 6.9 Gbps, sinalização de 5 GHz (2013) (CISCO, 2020)
 - Vantagens: Utiliza capacidades de transmissão de canal mais extensas (80 MHz e 160 MHz), oferece inclusão de casa inteira com menos pontos mortos.
 - Desvantagens: O MU-MIMO não é suportado no uplink, a banda de 2,4 GHz não é suportada.
- 802.11ax: Padrão Wi-Fi para frequência 2,4 GHz e/ou 5 GHz com capacidade teórica de até 9,6 Gbps (2019) (CISCO, 2020).
 - Vantagens: Esse padrão utiliza como método de transmissão MU-MIMO-OFDMA, que permite o uso simultâneo de múltiplas antenas para vários dispositivos na rede sem fio, dividindo os canais em subcanais menores para aumentar a eficiência e a confiabilidade

da rede sem fio. Esse padrão também é conhecido como Wi-Fi 6 e é o mais recente e avançado padrão Wi-Fi disponível.

- Desvantagens: requer equipamentos mais complexos e caros para suportar as novas tecnologias, como OFDMA, MU-MIMO e 1024-QAM; Ele pode ter problemas de compatibilidade com dispositivos mais antigos que usam padrões anteriores de Wi-Fi, como 802.11n e 802.11ac.

Tabela 1

Padrão IEEE 802.11				
Padrão IEEE	Ano	Frequência	Taxa	Considerações
802.11	1997	2.4 GHz	2 Mbps	-
802.11a	1999	5 GHz	54 Mbps	OFDM
802.11b	1999	2.4 GHz	11 Mbps	DSSS
802.11g	2003	2.4 GHz	54 Mbps	OFDM e DSSS
802.11n	2009	2.4/5 GHz	600 Mbps	SU-MIMO
802.11ac	2014	5 GHz	3.6 Gbps	MU-MIMO (Down)
802.11ax	2019	2.4/5 GHz	10 Gbps	MU-MIMO (Down/Up)

(Fonte: focusconsultoria.net/wireless-fidelity-sabe-o-que-e-isso).

2.3 Principais diferenças entre as tecnologias de redes sem fio: 802.11a/b/g/n/ac/ax, considerando aspectos como frequência, largura de banda, alcance, segurança e consumo de energia.

2.3.1 Frequência

É a faixa do espectro eletromagnético em que o sinal é transmitido e recebido. Os padrões 802.11a, ac e ax operam na frequência de 5 GHz, que oferece maior velocidade e menor interferência, mas menor alcance. Os padrões 802.11b, g e n operam na frequência de 2,4 GHz, que oferece maior alcance e compatibilidade, mas menor velocidade e maior interferência. O padrão 802.11n também pode operar em 5 GHz, dependendo do equipamento. O padrão 802.11ax (também chamado de Wi-Fi 6) é o mais recente e pode operar tanto em 2,4 GHz quanto em 5 GHz (CARVALHO, CAIO, 2022).

2.3.2 Largura de banda

É a capacidade de transmissão de dados por unidade de tempo. Quanto maior a largura de banda, maior a velocidade da rede. Os padrões 802.11a e g oferecem uma largura de banda teórica de até 54 Mbps (megabits por segundo). O padrão

802.11b oferece até 11 Mbps. O padrão 802.11n oferece até 600 Mbps, usando quatro antenas e canais de 40 MHz. O padrão 802.11ac oferece até 1,3 Gbps (gigabits por segundo), usando oito antenas e canais de 80 ou 160 MHz. O padrão 802.11ax oferece até 9,6 Gbps, usando oito antenas e canais de até 160 MHz (CARVALHO, CAIO, 2022).

2.3.3 Alcance

É a distância máxima entre o dispositivo transmissor e o receptor que permite uma comunicação eficiente. O alcance depende de vários fatores, como a potência do sinal, a frequência, a largura do canal, as antenas, os obstáculos e as interferências. Em geral, os padrões que operam em 2,4 GHz têm um alcance maior do que os que operam em 5 GHz, pois o sinal se propaga melhor nessa faixa. No entanto, o alcance também varia conforme o padrão utilizado. Por exemplo, o padrão 802.11b tem um alcance médio de até 35 metros em ambientes fechados e até 140 metros em ambientes abertos. Já o padrão 802.11ac tem um alcance médio de até 35 metros em ambientes fechados e até 250 metros em ambientes abertos (CARVALHO, CAIO, 2022).

2.3.4 Segurança

É o conjunto de medidas que visam proteger os dados transmitidos na rede sem fio contra acessos não autorizados ou maliciosos. Os padrões 802.11a/b/g/n/ac/ax suportam diferentes tipos de criptografia e autenticação, como WEP (Wired Equivalent Privacy), WPA (Wi-Fi Protected Access), WPA2 (Wi-Fi Protected Access II) e WPA3 (Wi-Fi Protected Access III). A criptografia WEP é a mais antiga e a menos segura, podendo ser facilmente quebrada por hackers. A criptografia WPA é mais segura do que a WEP, mas ainda apresenta algumas vulnerabilidades. A criptografia WPA2 é a mais recomendada atualmente, pois usa um algoritmo mais robusto chamado AES (Advanced Encryption Standard). A criptografia WPA3 é a mais recente e promete ser mais segura do que a WPA2, pois usa um protocolo chamado SAE (Simultaneous Authentication of Equals) (CARVALHO, CAIO, 2022).

2.3.5 Consumo de energia

É a quantidade de energia elétrica que o dispositivo consome para transmitir e receber dados na rede sem fio. O consumo de energia depende de vários fatores, como a frequência, a largura de banda, a potência do sinal, o número de antenas, o modo de operação e o tipo de equipamento. Em geral, os padrões que operam em 5 GHz consomem mais energia do que os que operam em 2,4 GHz, pois exigem mais potência para enviar e receber o sinal. Além disso, os padrões que oferecem maior largura de banda e velocidade também consomem mais energia do que os que oferecem menor largura de banda e velocidade. Por exemplo, o padrão 802.11ac consome mais energia do que o padrão 802.11n, pois usa mais antenas e canais mais largos. No entanto, alguns padrões possuem recursos que visam economizar energia, como o MIMO (Multiple Input Multiple Output), que permite usar múltiplas antenas para transmitir e receber dados simultaneamente, reduzindo o tempo de transmissão e o

consumo de energia. Outro recurso é o TWT (Target Wake Time), que permite sincronizar os períodos de atividade e inatividade dos dispositivos na rede, reduzindo o consumo de energia em até 67% (OFICINADANET, 2022).

3 METODOLOGIA

Critérios e instrumentos utilizados para realizar a análise comparativa das tecnologias de redes sem fio: 802.11a/b/g/n/ac/ax.

- Velocidade de transferência de dados: A velocidade de transferência de dados é um fator importante para medir o desempenho de uma tecnologia de rede sem fio. Ela indica a taxa de transferência de dados em Mbps (megabits por segundo). Para avaliar essa métrica, você pode usar ferramentas como o iPerf, que é uma ferramenta de código aberto para medir o desempenho da rede. (IPERF, 2023)
- Alcance: O alcance é a distância máxima que um sinal sem fio pode percorrer antes de perder a qualidade ou a conectividade. Para avaliar o alcance de uma tecnologia de rede sem fio, você pode utilizar medidores de sinal sem fio, como o Ekahau Site Survey ou ferramentas de monitoramento de sinal Wi-Fi, como o inSSIDer. (EKAHAU, 2023) (INSSIDER, 2023)
- Largura de banda: A largura de banda se refere à quantidade de dados que podem ser transmitidos por uma rede em um determinado período de tempo. É uma métrica importante para medir a capacidade de uma rede sem fio suportar várias conexões simultâneas. Para avaliar a largura de banda, você pode usar ferramentas de teste de velocidade, como o Speedtest.net. (SPEEDTEST, 2023)
- Frequência: As tecnologias de rede sem fio 802.11 operam em diferentes faixas de frequência, como 2,4 GHz e 5 GHz. A frequência afeta o alcance e a penetração do sinal. Você pode usar analisadores de espectro, como o Wi-Fi Analyzer, para identificar os canais mais congestionados e verificar a interferência em diferentes frequências. (WIFIANALYSER, 2023)

- Capacidade de usuários simultâneos: Esse critério refere-se à capacidade de uma rede sem fio suportar um grande número de dispositivos conectados ao mesmo tempo, sem degradar o desempenho. Para avaliar a capacidade de usuários simultâneos, você pode usar ferramentas de teste de carga, como o iPerf ou o LAN Speed Test. (IPERF, 2023) (SPEEDTEST, 2023)
- Recursos adicionais: Além dos critérios acima, existem recursos adicionais que podem ser considerados ao comparar tecnologias de rede sem fio, como o suporte a antenas múltiplas (MIMO), beamforming (direcionamento de sinal), suporte a MU-MIMO (múltiplo usuário, múltiplo acesso) e a tecnologia de modulação utilizada.

É importante ressaltar que esses critérios e instrumentos são apenas algumas das opções disponíveis para realizar análises comparativas de tecnologias de redes sem fio. Dependendo das necessidades específicas do ambiente e dos objetivos da análise, outros critérios e instrumentos podem ser considerados.

4 RESULTADOS

Resultados obtidos a partir da análise comparativa.

Os resultados obtidos a partir da análise comparativa das redes sem fio padrão 802.11a/b/g/n/ac/ax são apresentados a seguir, em forma de tabelas e gráficos, destacando as principais diferenças entre as tecnologias.

A **tabela 2** mostra as características técnicas de cada padrão, como a frequência, a largura de banda, o alcance, a segurança e o consumo de energia.

Tabela 2

Padrão	Frequência	Largura de banda	Alcance	Segurança	Consumo de energia
802.11a	5 GHz	Até 54 Mbps	Até 35 m (interno) / Até 120 m (externo)	WEP / WPA / WPA2 / WPA3	Médio
802.11b	2,4 GHz	Até 11 Mbps	Até 35 m (interno) / Até 140 m (externo)	WEP / WPA / WPA2 / WPA3	Baixo

802.11g	2,4 GHz	Até 54 Mbps	Até 35 m (interno) / Até 140 m (externo)	WEP / WPA / WPA2 / WPA3	Médio
802.11n	2,4 GHz ou 5 GHz	Até 600 Mbps (4 antenas e canais de 40 MHz)	Até 70 m (interno) / Até 250 m (externo)	WEP / WPA / WPA2 / WPA3	Alto (sem MIMO) / Médio (com MIMO)
802.11ac	5 GHz	Até 1,3 Gbps (8 antenas e canais de 80 ou 160 MHz)	Até 35 m (interno) / Até 250 m (externo)	WEP / WPA / WPA2 / WPA3	Alto (sem MU-MIMO) / Médio (com MU-MIMO)
802.11ax (Wifi 6)	2,4 GHz ou 5 GHz	Até 9,6 Gbps (8 antenas e canais de até 160 MHz)	Maior do que os anteriores (depende do equipamento)	WEP / WPA / WPA2 / WPA3-SAE	Baixo (com TWT)

(Fontes: <https://www.lifewire.com/wireless-standards-802-11a-802-11b-g-n-and-802-11ac-816553> <https://www.techtarget.com/searchnetworking/tip/Whats-the-difference-between-80211ax-vs-80211ac>).

A **tabela 3** mostra a modulação e a codificação utilizadas em cada padrão, que são técnicas que permitem transmitir e receber o sinal na rede sem fio.

Tabela 3

Padrão	Modulação	Codificação
802.11a	OFDM	BPSK / QPSK / 16-QAM / 64-QAM
802.11b	DSSS	BPSK / QPSK
802.11g	OFDM / DSSS	BPSK / QPSK / 16-QAM / 64-QAM
802.11n	OFDM / DSSS	BPSK / QPSK / 16-QAM / 64-QAM
802.11ac	OFDM	BPSK / QPSK / 16-QAM / 64-QAM / 256-QAM
802.11ax (Wifi 6)	OFDMA	MU-MIMO-1024-QAM

(Fonte: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9079290>).

Os **gráfico 1 e 2** mostram a comparação entre as tecnologias de redes sem fio em relação à largura de banda, que é a capacidade de transmissão de dados por unidade de tempo.

Gráfico 1

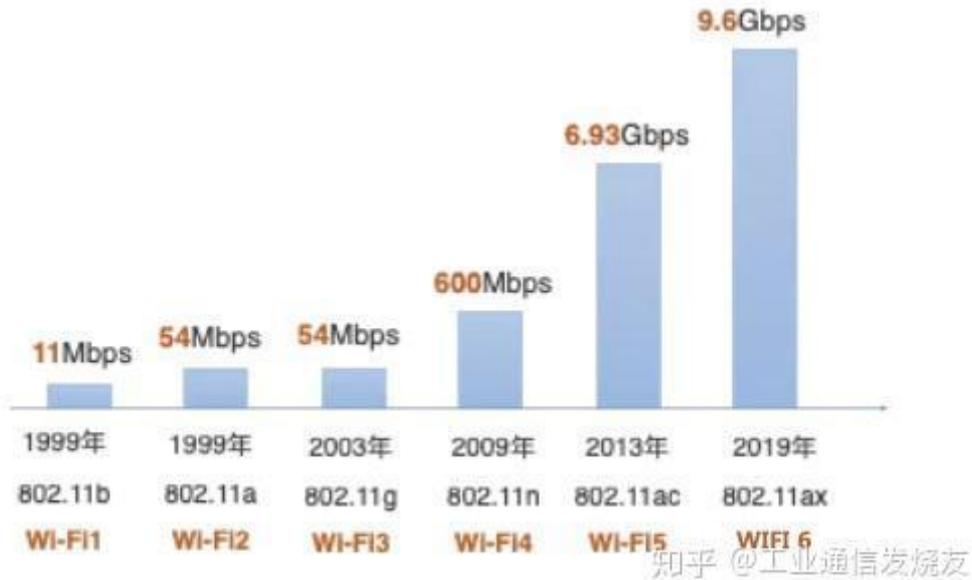
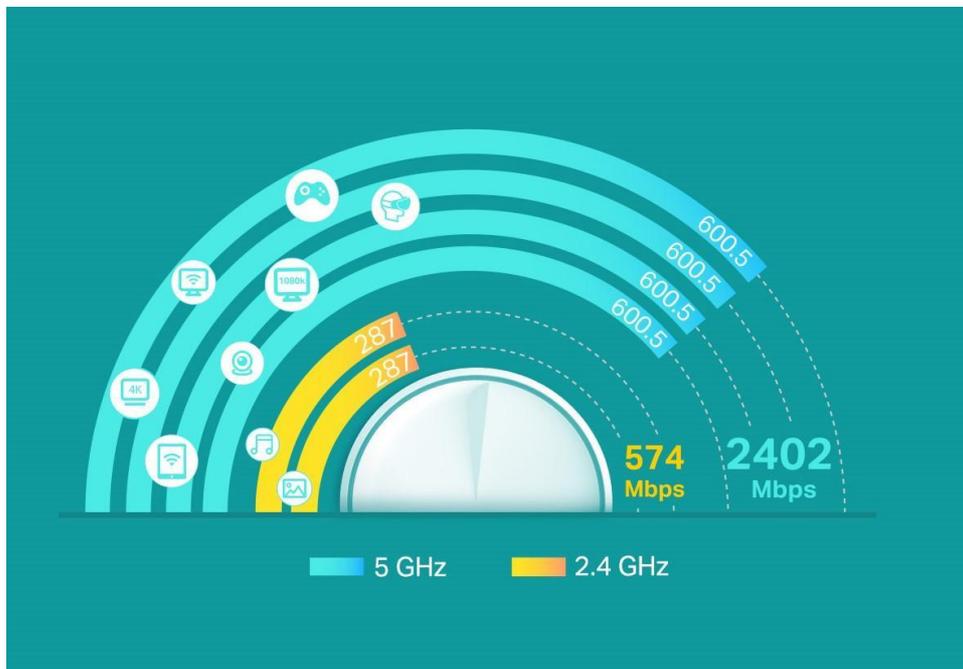


Gráfico 2



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados apresentados, é possível interpretar e explicar o que eles significam em termos de vantagens e desvantagens de cada tecnologia. Algumas conclusões possíveis são:

- As tecnologias que operam na frequência de 5 GHz oferecem maior velocidade e menor interferência, mas menor alcance do que as que operam na frequência de 2,4 GHz.
- As tecnologias que oferecem maior largura de banda e velocidade também consomem mais energia e exigem equipamentos mais complexos e caros do que as que oferecem menor largura de banda e velocidade.
- As tecnologias que usam modulações e codificações mais avançadas podem transmitir e receber dados com mais eficiência e qualidade do que as que usam modulações e codificações mais simples.
- As tecnologias que suportam diferentes tipos de criptografia e autenticação podem proteger os dados transmitidos na rede sem fio contra ataques maliciosos com mais segurança do que as que suportam tipos mais fracos ou obsoletos.
- A tecnologia mais recente e avançada é a Wi-Fi 6 (802.11ax), que supera as anteriores em todos os critérios analisados, mas ainda não é amplamente adotada no mercado.
- As tecnologias que operam na frequência de 5 GHz oferecem maior velocidade e menor interferência do que as que operam na frequência de 2,4 GHz, mas têm menor alcance.
- As tecnologias que operam em ambas as frequências podem se adaptar às diferentes condições do ambiente e do tráfego.
- As tecnologias mais recentes oferecem maior largura de banda e velocidade do que as anteriores, mas também consomem mais energia e exigem equipamentos mais complexos e caros.
- A tecnologia mais recente e avançada é o Wi-Fi 6 (802.11ax), que supera as anteriores em todos os critérios analisados. (CISCO MERAKI, 2020); LIFEWIRE, 2021); (TECHTARGET, 2020); (SPRINGERLINK, 2020).

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Caio. Qual é a diferença entre os padrões A, B, G e N do roteador? Canaltech, 2022. Disponível em: <https://canaltech.com.br/hardware/qual-e-a-diferenca-entre-os-padroes-a-b-g-e-n-dos-roteadores/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

CISCO. IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi White Paper. Cisco, 2020. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/white-paper-c11-740788.html>. Acesso em: 20 mar. 2023.

OFICINADANET. O que é Wireless e quais as diferenças entre redes A B G N AC AX? oficinadanet, 2022. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/8619-qual-a-diferenca-entre-redes-wifi-a-b-g-n> Acesso em: 20 mar. 2023.

NORMASTECHNICAS. IEEE 802.11, 2020. Disponível em: <https://www.normastecnicas.com/ieee-802-11> Acesso em: 20 mar. 2023.

CISCO. O QUE é uma rede sem fio? - Rede com fio versus rede sem fio . © 2022. Disponível em: https://www.cisco.com/c/pt_br/solutions/small-business/resource-center/networking/wireless-network.html. Acesso em: 20 mar. 2023.

CISCO. Noções básicas de rede: o que você precisa saber. © 2022. Disponível em: https://www.cisco.com/c/pt_br/solutions/small-business/resource-center/networking/networking-basics.html. Acesso em: 20 mar. 2023.

PALPITE DIGITAL. Wi-Fi 802.11 a/b/e/g/n/r/ac/ad. Afinal, o que significa isso?. [s.d.]. Disponível em: <https://www.palpitedigital.com/wi-fi-802-11-abgnac-ad-afinal-que-significa-isso/> Acesso em: 02 mar. 2023.

COMMSCOPE. 802.11ax fundamentals: Target Wake Time (TWT) | CommScope 2018. Disponível em: <https://www.commscope.com/blog/2018/802.11ax-fundamentals-target-wake-time-twt/>

TECH TARGET. What's the difference between 802.11ac vs. 802.11ax? | TechTarget 2020. Disponível em: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/tip/Whats-the-difference-between-80211ax-vs-80211ac>

SPRINGER LINK. Evolution and Impact of Wi-Fi Technology and Applications: A Historical Perspective | SpringerLink. 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10776-020-00501-8>

CISCO MERAKI. Wi-Fi 6 (802.11ax) Technical Guide - Cisco Meraki. 2020. Disponível em: https://documentation.meraki.com/MR/Wi-Fi_Basics_and_Best_Practices/Wi-Fi_6_%28802.11ax%29_Technical_Guide

IEEE XPLORE. Performance comparison of wireless protocol IEEE 802.11ax vs 802.11ac | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. 2020.
Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9079290>

IPERF: iPerf. Disponível em: <https://iperf.fr/>. Acesso em: 01 jun. 2023

EKAHAU: Ekahau Site Survey. Disponível em: <https://www.ekahau.com/products/heatmapper/overview/>.
Acesso em: 01 jun. 2023.

INSSIDER: inSSIDer. Disponível em: <https://www.inssider.com/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SPEEDTEST: Speedtest.net. Disponível em: <https://www.speedtest.net/>. Acesso em: 01 jun. 2023.

WIFIANALYSER: Wi-Fi Analyzer. Disponível em: <https://www.microsoft.com/en-us/p/wifi-analyzer/9nblggh33n0n>. Acesso em: 11 jun. 2023