

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL COUTINHO NASCIMENTO

COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA REDE WI-FI 802.11 E BLUETOOTH

PONTA GROSSA

2022

GABRIEL COUTINHO NASCIMENTO

COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA REDE WI-FI 802.11 E BLUETOOTH

Performance Comparison of 802.11 WI-FI and Bluetooth Network

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação, do Departamento Acadêmico de Informática, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Dr. Augusto Foronda.

PONTA GROSSA

2022



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIEL COUTINHO NASCIMENTO

COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO DE UMA REDE WI-FI 802.11 E BLUETOOTH

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação, do Departamento Acadêmico de Informática, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 01 de novembro de 2022

Augusto Foronda
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Geraldo Ranthum
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Richard Duarte Ribeiro
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2022

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus e a toda minha família, amigos e professores que me apoiaram nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que me apoiaram nessa trajetória, principalmente aqueles que conviveram diretamente comigo, em especial meus pais que sempre me forneceram todo apoio que eu precisava. Os incentivos e os apoios da família e dos amigos me ajudaram bastante, mas acredito que sem a força que Deus me concedeu, eu não teria vencido essa etapa da minha vida.

Agradeço também ao meu orientador desse trabalho que me ajudou neste final de trajetória acadêmica, onde me deu conselhos e me motivou para seguir a conclusão do curso. Os outros professores também foram importantes nesse processo e eu sou grato a eles.

A informática e a internet auxiliam e integram, a partir de suas amplas funções, um processo de construção, estabelecendo um ritmo virtual ao aprimoramento de conceitos, à realização de questionamentos e à mediação dialética.
(Zargolin, 2014).

RESUMO

A tecnologia evoluiu bastante nos últimos anos, e com isso houve avanços em diversas áreas. A internet se popularizou graças também aos seus meios de transmissão. Um dos principais meios de transmissão são as redes sem fio, apresentando diversas facilidades de uso, para vários tipos de aplicação. Essa tecnologia foi evoluindo com o tempo, o que explica as diferentes versões de cada tecnologia no decorrer dos anos. No caso deste estudo, foi feita a análise comparativa de duas dessas tecnologias de rede sem fio, o protocolo 802.11 e o 802.15, Wi-Fi e Bluetooth, respectivamente. É apresentado um estudo das duas tecnologias, com a comparação das versões e com a realização de testes para avaliar o Wi-Fi e o Bluetooth, com finalidade de fazer a comparação de desempenho entre as duas tecnologias, aplicando também o modelo de propagação. Os resultados mostram a superioridade do Wi-Fi sobre o Bluetooth e a confiabilidade do modelo de propagação, conforme os testes realizados.

Palavras-chave: Internet; redes sem fio; Wi-Fi; Bluetooth; desempenho.

ABSTRACT

Technology has evolved a lot in recent years, and with that there have been advances in several areas. The internet has also become popular thanks to its means of transmission. One of the main means of transmission is wireless networks, which offer different ease of use for different types of applications. This technology has evolved over time, which explains the different versions of each technology over the years. In the case of this study, a comparative analysis of two of these wireless network technologies was carried out, the 802.11 and 802.15 protocols, Wi-Fi and Bluetooth, respectively. A study of the two technologies is presented, comparing the versions and carrying out tests to evaluate Wi-Fi and Bluetooth, in order to compare the performance between the two technologies, also applying the propagation model. The results show the superiority of Wi-Fi over Bluetooth and the reliability of the propagation model, according to the tests performed.

Keywords: Internet; wireless networks; Wi-Fi; Bluetooth; performance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição das camadas de cada modelo	16
Quadro 1 - Comparação entre os protocolos 802.11	18
Figura 2 - Tipos de rede sem fio de comunicação de dados.....	20
Figura 3 - Representação do modo <i>roaming</i>	21
Quadro 2 - Comparação entre os protocolos 802.15	22
Figura 4 - Rede Piconet e rede Scatternet.....	24
Quadro 3 - Parâmetro de perda de potência N	25
Quadro 4 - Parâmetro de perda de penetração do piso L_f	26
Figura 5 - Planta do ambiente de testes	27
Quadro 5 - Características técnicas dos dispositivos dos testes.....	27
Quadro 6 - Parâmetros usados no cálculo da perda teórica	28
Quadro 7 - Características técnicas do Bluetooth dos celulares utilizados	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perda em função da distância em db.....	29
Tabela 2 - Valores medidos de potência em função da distância em dBm.....	29
Tabela 3 - Diferença de perda em função da distância (db)	30
Tabela 4 - Valores da vazão de dados em Mbps.....	30
Tabela 5 - Valores da potência do sinal do Bluetooth	32
Tabela 6 - Diferença de perda em função da distância (db)	32
Tabela 7 - Valores da vazão de dados em Kbps	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	<i>Access Point</i>
ARPA	<i>Advanced Research Projects Agency</i>
BSS	<i>Basic Service Set</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
FIPS	<i>Federal Information Processing Standard</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
Gbps	<i>Gigabit per second</i>
GHZ	<i>Giga-Hertz</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPv6	<i>Internet Protocol version 6</i>
Kbps	<i>Kilobit per second</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
Mbps	<i>Megabits per second</i>
MHz	<i>Mega-Hertz</i>
MIMO	<i>Multiple Input, Multiple Output</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Field</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

dB	<i>Decibel</i>
dBm	<i>Decibel-milliwatts</i>
MW	<i>Miliwatt</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivos Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Modelo TCP/IP	15
2.2	Tecnologia Wi-Fi	17
2.2.1	Padrão 802.11	17
<u>2.2.1.1</u>	<u>802.11b</u>	<u>18</u>
<u>2.2.1.2</u>	<u>802.11a</u>	<u>18</u>
<u>2.2.1.3</u>	<u>802.11g</u>	<u>19</u>
<u>2.2.1.4</u>	<u>802.11n</u>	<u>19</u>
<u>2.2.1.5</u>	<u>802.11ac</u>	<u>19</u>
2.2.2	Modelos de operação do padrão 802.11	19
2.3	<i>Bluetooth</i>	21
2.3.1	Versões de <i>Bluetooth</i>	22
2.3.2	Modelos de operação do <i>Bluetooth</i>	23
2.4	Modelo de propagação	25
2.4.1	Modelo geral.....	25
3	DESENVOLVIMENTO	27
3.1	Regras gerais de apresentação	27
3.2	Análise da rede Wi-Fi 802.11	28
3.3	Descrição do ambiente de testes da rede <i>Bluetooth</i>	31
3.4	Análise da rede <i>Bluetooth</i>	31
4	CONCLUSÕES	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Na informática, as redes são equipamentos e canais de comunicação que conectam dispositivos finais como computadores, celulares, servidores e impressoras para compartilhar recursos como, por exemplo, vários computadores compartilhando o acesso a um servidor web (computador onde são armazenados os sites). Existem vários meios de comunicação, entre eles, o meio cabeado. E entre os meios de comunicação sem fio encontram-se algumas soluções como *Wireless Field* (Wi-Fi) e *Bluetooth* (TANENBAUM, 2003).

Cada tipo de rede é desenvolvido pensando em uma ou mais aplicações. O Wi-Fi foi desenvolvido para ser uma rede *Wireless Local Area Network* (WLAN) e seu uso foi bem aceito e se popularizou. O *Bluetooth* também foi pensado para o uso em uma rede WLAN, mas acabou sendo usado para algumas aplicações mais específicas, como a conexão de dispositivos de áudio com os celulares (TANENBAUM, 2003).

Com a chegada da *Internet of Things* (IoT), o *Bluetooth* e o Wi-Fi são opções para conectar os dispositivos. Por exemplo, se for utilizar uma rede de sensores inteligentes (temperatura, umidade, presença, etc), podem-se conectar dispositivos tanto na rede Wi-Fi quanto na *Bluetooth*.

Existem dispositivos para IoT com essas duas opções de conexão e é preciso escolher qual tecnologia é mais viável para o propósito do uso. Cada tecnologia tem as suas características, sendo melhor aproveitadas em determinado tipo de uso.

Essas tecnologias estão em constante evolução. Atualmente ambas contêm vários tipos de padrão, sendo que em cada padrão, é apresentada alguma característica nova. Sendo assim, é necessário analisar e comparar o desempenho das duas tecnologias para decidir qual usar em determinada aplicação.

Este trabalho analisou o desempenho do protocolo 802.11 e do *Bluetooth* em termos de alcance e taxa de transmissão em diferentes cenários.

1.1 Objetivos

Essa seção está dividida entre o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.1.1 Objetivos Geral

Comparar o desempenho de uma rede Wi-Fi 802.11 com uma rede *Bluetooth*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar o alcance das duas tecnologias;
- Analisar a taxa de transmissão de dados em função da distância;
- Comparar o desempenho das duas tecnologias;
- Propor o uso de cada tecnologia em função dos resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste Capítulo serão apresentados os conceitos das redes 802.11 e das redes *Bluetooth*. A seção 2.1 apresenta toda a estrutura do modelo TCP/IP. A seção 2.2 aborda o protocolo 802.11, dando informações sobre as diferentes versões e os sobre os modelos de operações. A seção 2.3 apresenta sobre a tecnologia *Bluetooth*, detalhando as suas versões e os modelos de operação. A seção 2.4 explica como funciona o modelo geral de atenuação de sinal e como ele é aplicado.

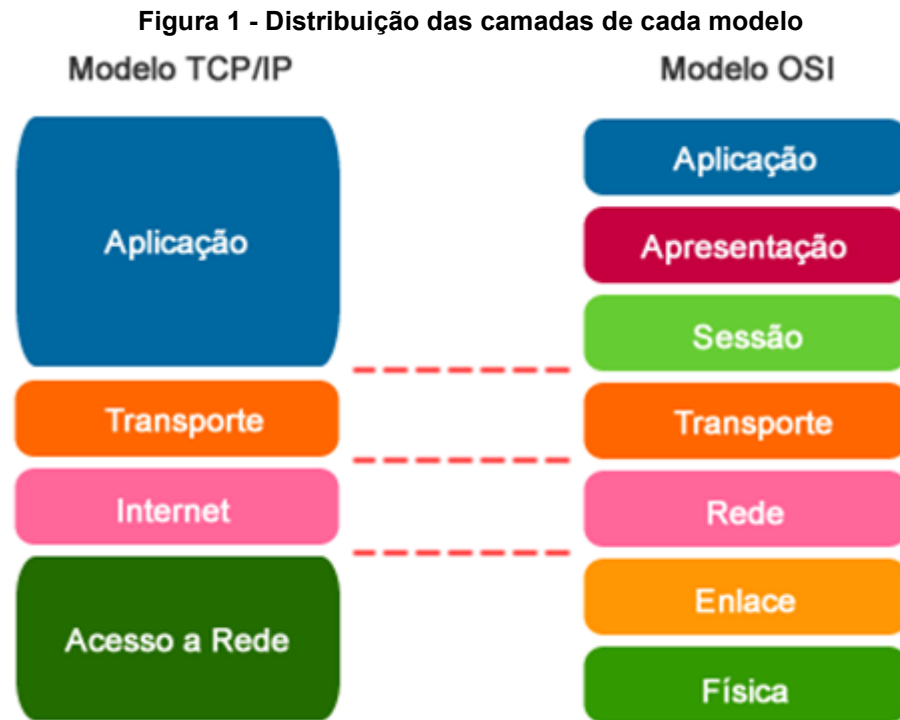
2.1 Modelo TCP/IP

A Internet é um meio de comunicação muito utilizado. Com ela, é possível ter interação com diversas máquinas diferentes em lugares distintos. Para fazer essa interação, essas máquinas precisam se comunicar umas com as outras e nesse processo de comunicação foi adotado um modelo de protocolos como padrão, que é chamado de modelo TCP/IP (FOROUZAN; FEGAN, 2009).

Teve início em 1969, pela ARPA com a finalidade de fazer a comunicação dos sistemas de computadores da época. Apesar de já ter passado muitos anos desde a sua criação, até hoje ele é muito usado. O TCP/IP é o principal modelo de protocolos para troca de dados da Internet e funciona como um padrão de comunicação entre dispositivos conectados em rede. Para que exista a comunicação entre diferentes dispositivos, é preciso que eles sigam as mesmas regras, que são estabelecidas pelo modelo TCP/IP (BARRETO, 2015).

Essas regras do modelo TCP/IP também são estabelecidas no modelo OSI, um conceito de regras responsáveis por dividir as tarefas para o bom funcionamento de um equipamento de rede. Essas regras são divididas por camadas. As camadas TCP/IP são correspondentes com as camadas do modelo OSI.

O protocolo TCP/IP foi composto por quatro camadas: acesso à rede, Internet, transporte e aplicação. O modelo OSI é composto por sete camadas: física, enlace, rede, transporte, sessão, apresentação e aplicação. Os modelos podem ser visto na Figura 1.



Fonte: Adaptado de DataRain (2021)

Conforme a Figura 1, as duas camadas da base do modelo OSI equivalem à camada mais abaixo do modelo TCP/IP e as três camadas de cima no modelo OSI equivalem à camada do topo do TCP/IP.

A camada de Acesso à Rede é composta pelo hardware, especificações e características dos equipamentos, conectores, interfaces mecânicas e elétricas, níveis de tensão, taxa de transmissão e demais características físicas.

A camada Internet é responsável pelo endereçamento IP dos dispositivos na rede e como as informações vão ser encaminhadas pela Internet. O encaminhamento dos dados até o seu destino é feito por roteadores que utilizam tabelas de roteamento para encaminhar os dados pelas melhores rotas na rede, de acordo com o endereço IP (FOROUZAN; FEGAN, 2009).

A camada de transporte serve para transportar mensagens da camada de aplicação entre os lados do cliente e o servidor de uma aplicação. Existem dois protocolos de transporte na Internet TCP e UDP, qualquer um deles pode levar mensagens de camada de aplicação.

E por fim, a camada de aplicação é responsável por promover serviços para a aplicação e onde ficam os protocolos responsáveis pela comunicação com as diferentes aplicações. Alguns protocolos que atuam nesta camada são: (FOROUZAN; FEGAN, 2009):

- Telnet;
- FTP;
- SNMP;
- HTTP;
- SMTP.

2.2 Tecnologia Wi-Fi

Em um mundo cada vez mais conectado, as conexões usadas na Internet foram evoluindo e se popularizando. Antes, umas das redes mais conhecidas era o tipo *Local Area Network* (LAN), de forma que os computadores eram conectados com cabos. Hoje em dia tem-se a evolução dela, a WLAN. Com o uso de radiofrequência para a comunicação entre os dispositivos, através de roteadores, é possível fazer a conexão dos dispositivos na rede (MORIMOTO, 2011).

Dessa forma, conectar dispositivos sem uso de cabos trouxe uma inovação que atraiu e despertou o interesse científico e comercial. Sendo assim, houve a criação de uma tecnologia chamada Wi-Fi, registrada pela empresa *Wi-Fi Alliance*.

O Wi-Fi se tornou muito popular e indispensável, por conta de ter facilidades como mobilidade, inclusão rápida de outros dispositivos na rede e por evitar que paredes sejam furadas ou adaptadas para a passagem de fios, fazendo com que computadores, notebooks, celulares e outros dispositivos se conectassem com mais comodidade (MONTEBELLER, 2006).

Dessa forma, usar esta tecnologia sem uso de cabos trouxe inovação e facilidade para conexões, podendo desta forma, um indivíduo estar conectado com o mundo, em qualquer lugar, seja em casa, no trabalho, na rua, no mercado ou em quaisquer espaços físicos que contém o sinal do Wi-Fi.

2.2.1 Padrão 802.11

O IEEE criou o padrão 802.11, no qual o Wi-Fi é baseado. Na criação desse padrão, foram reunidas algumas especificações de redes WLAN para definir a comunicação entre os dispositivos (ROSE, 2010).

Este padrão apresenta algumas normas para a sua criação e também o uso do Wi-Fi. A sua transmissão ocorre através de sinais de radiofrequência, no qual as

ondas são propagadas pelo ar, saindo dos dispositivos geradores e indo até os dispositivos receptores (TANENBAUM, 2003).

A primeira versão do padrão 802.11 foi lançada em 1997 e assim como aconteceu nas outras tecnologias, houve evolução nessa também, fazendo com que variações do 802.11 fossem lançadas depois de alguns anos. São esses os padrões: 802.11, 802.11b, 802.11g, 802.11n e 802.11ac.

No Quadro 1 é possível observar um resumo geral do padrão 802.11 e dos outros padrões mais utilizados.

Quadro 1 - Comparação entre os protocolos 802.11

Protocolo	Taxa de transferência	Frequência	Modo
802.11-1997	2 Mbps	2,4 GHz	FHSS ou DSSS
802.11b	11 Mbps	2,4 GHz	DSSS
802.11a	54 Mbps	5 GHz	OFDM
802.11g	54 Mbps	2,4 GHz	OFDM
802.11n	600 Mbps	2,4 GHz ou 5 GHz	MIMO-OFDM
802.11ac	7 Gbps	5 GHz	MIMO-OFDM
802.11ad	7 Gbps	60 GHz	MIMO-OFDM

Fonte: Adaptado de Torres (2014)

De acordo com o Quadro 1, conforme os anos foram passando, foram criadas novas variações do 802.11, sendo a primeira linha do quadro o protocolo mais antigo, seguido pelos protocolos que vieram depois. É possível ver que a cada protocolo que surgiu houve aumento nas taxas de transferências e novos modos de transmissão do sinal sem fio, com mudanças na frequência.

2.2.1.1 802.11b

O 802.11b opera nas velocidades de 1, 5.5 e 11 Mbps. O modo de transmissão para camada física adotada foi a *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS). Logo, o 802.11b é compatível com 802.11 nas velocidades de 1 e 2 Mbps usando DSSS. Os dispositivos 802.11b utilizam alocação dinâmica de taxa de transferência (MORAES, 2010).

2.2.1.2 802.11a

O 802.11a foi aprovado juntamente com o 802.11b, mas opera com frequência de 5 GHz, podendo chegar a velocidades de até 54 Mbps. A modulação

de sinal também teve mudança, passando a utilizar o *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM). Por possuir faixas de frequências diferentes, esse padrão não apresenta compatibilidade com os padrões anteriores (MORAES, 2010).

2.2.1.3 802.11g

O 802.11g é um padrão operando na frequência de 2,4 GHz, com modulação OFDM e taxa de transmissão de no máximo 54 Mbps. O 802.11g suporta taxas de dados de 6 até 54 Mbps, ou seja, as mesmas taxas do 802.11a. No entanto, para garantir compatibilidade com o padrão 802.11b, o 802.11g também provê suporte as taxas de transmissão de 1, 2, 5.5 e 11 Mbps (MORAES, 2010).

2.2.1.4 802.11n

O padrão 802.11n é a sequência do padrão 802.11g, que visa principalmente o aumento da taxa de transferência para até 600 Mbps. Opera na faixa de 2,4 e 5 GHz. O padrão 802.11n estabelece o uso de multiplexação espacial através de tecnologia de transmissão *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) com múltiplas antenas e operação com canais de largura de 40 MHz. Este padrão suporta taxas de transmissão de até 600 Mbps (MORAES, 2010).

2.2.1.5 802.11ac

O padrão 802.11ac trabalha somente em 5 GHz, sendo uma faixa que sofre menos interferência por ser menos utilizada. Porém, a rede possui um alcance menor. Tem uma largura de banda de 80 e 160 MHz. Com essas modificações, a taxa de transmissão pode atingir 7Gbps. Também possui a tecnologia MIMO (MORAES, 2010).

2.2.2 Modelos de operação do padrão 802.11

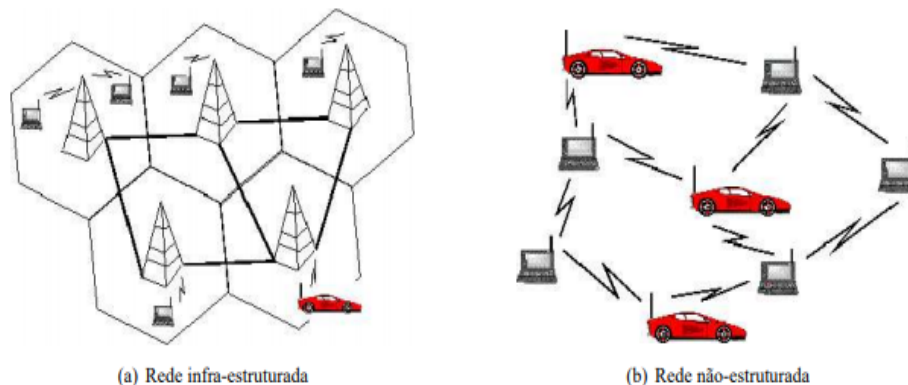
As redes WLAN transformaram a maneira de se pensar uma rede conectada. Grande parte dos dispositivos de uso cotidiano, como notebooks e smartphones, utilizam esse tipo de rede para a conexão. Essas redes WLAN foram definidas e organizadas de duas formas: ad hoc e infraestrutura (KOTVISKI, 2009).

As redes ad hoc são definidas como redes sem fio que não utilizam um ponto de acesso comum aos dispositivos conectados à ela. Os dispositivos que

fazem parte dessa rede funcionam como roteadores, transmitindo a informações entre eles. O modo ad hoc não costuma ser muito usado, pois ele só acaba se tornando útil quando não tem um concentrador de rede disponível. As redes de aeroportos não costumam ser seguras porque elas usam essa tecnologia de rede, pois problemas de segurança são mais comuns onde tem ausência de concentrador (KOTVISKI, 2009).

Na Figura 2, é possível ver uma representação de uma rede infraestruturada no item (a) e no item (b) uma representação de uma rede ad hoc, não estruturada. No item (a), a rede apresenta vários pontos de acessos para os dispositivos se conectar na rede enquanto na rede (b) os próprios dispositivos espalham o sinal da conexão.

Figura 2 - Tipos de rede sem fio de comunicação de dados



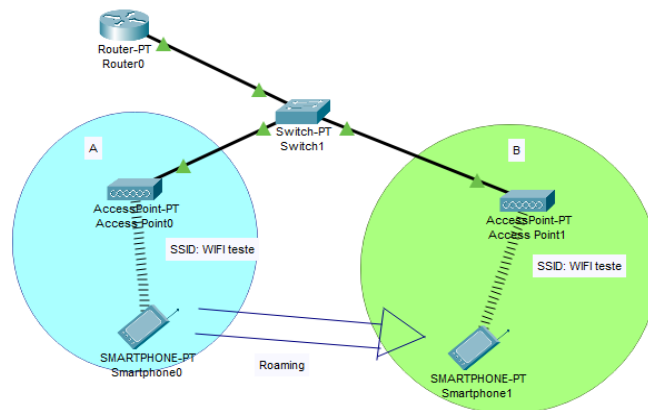
Fonte: Adaptado de Loureiro (2003)

O tipo infraestrutura contém dispositivos e pelo menos um AP. O AP permite a integração desses dispositivos com uma rede fixa. Os dispositivos se conectam a um elemento de rede central AP. Ao contrário do modo ad hoc, o modo infraestrutura precisa ter uma rede física. Esse modo infraestrutura é mais seguro por deixar as configurações de segurança em um só ponto. Esse único ponto também reúne informações da configuração da rede, onde fica melhor controlar os dispositivos finais da rede (TANENBAUM, 2003).

Outro tipo de rede Wi-Fi é o modo roaming, onde um dispositivo móvel tem a capacidade de se interligar em um determinado AP e conforme se move na rede, podendo conectar em outro AP sem perder a conexão. Este tipo de modo de operação é usado em rede Wi-Fi de grande porte em uma área geográfica maior. (KWOK, 2021).

Roaming Wi-Fi pode ser observada na Figura 3, onde o smartphone é se move de lugar até perder o sinal do AP em que estava conectada, mas ele continua conectada na mesma rede por receber o sinal de outro AP que se encontrava mais próximo do dispositivo.

Figura 3 - Representação do modo roaming



Fonte: Autoria própria (2022)

2.3 Bluetooth

O *Bluetooth* é uma tecnologia que conecta dispositivos. A comunicação do *Bluetooth* é sem fio, fazendo os dispositivos se conectarem de maneira rápida e sem a utilização de cabos. Vários dispositivos no mercado operam com esse tipo de comunicação, como notebook, smartphones, etc. Também existem vários periféricos que só aumentam essa lista, como mouse, fone de ouvido e outros.

Pode haver uma conexão *Bluetooth* desde que os dispositivos estejam dentro da distância estipulada pela fabricante, geralmente curtas. Estas distâncias variam de 1 a 100 metros, conforme a categoria do dispositivo e seu propósito de uso. Essas categorias são divididas em 3 classes, sendo, conforme está listado abaixo (ALECRIM, 2021):

- Classe 1: Alcance de 100 metros e 100 MW de potência máxima;
- Classe 2: Alcance de 10 metros e 2,5 MW de potência máxima;
- Classe 3: Alcance de 1 metro e 1 MW de potência máxima.

2.3.1 Versões de *Bluetooth*

A tecnologia *Bluetooth* tem passado por melhorias e com isso foram surgindo novas versões. Segue abaixo as versões existentes do protocolo 802.15, o *Bluetooth* (ALECRIM, 2021):

- *Bluetooth* 1.0: foi a primeira versão lançada. Começou no ano de 1998 e foi marcante para o mercado o surgimento de uma tecnologia como essa, mesmo apresentando vários problemas. Esses problemas foram resolvidos alguns anos depois, na versão do *Bluetooth* 1.1, a qual foi uma boa solução dos fabricantes. A velocidade desta versão era de 721 Kbps;
- *Bluetooth* 2.0: criada em 2004, esta versão teve melhoras na velocidade de transmissão comparando com a versão anterior. Podendo chegar a 3Mbps e com menos consumo de energia, também teve correções de falhas da versão anterior;
- *Bluetooth* 3.0: chamou atenção por oferecer bem mais velocidade do que a anterior, chegando a 24 Mbps. Foi lançado em 2009;
- *Bluetooth* 4.0: também lançada em 2009, essa versão trouxe avanços de economia de energia, principalmente quando o dispositivo fica ocioso;
- *Bluetooth* 4.1: versão revisada da 4.0 teve seus protocolos melhorados e mais avanços na questão do consumo de bateria. Manteve os 24 Mbps de transmissão das versões anteriores e foi uma versão inovadora por apresentar recursos para o uso de IoT;
- *Bluetooth* 4.2: teve o protocolo IPv6 adicionado, fazendo com que essa conectividade com a Internet tenha um bom cenário para IoT. Essa versão de 2014 também teve o incremento de um tipo de criptografia FIPS, no qual trouxe mais segurança para a conexão. A velocidade foi mantida a mesma, mas com o diferencial de suportar mais tráfego de dados;
- *Bluetooth* 5.0: criada em 2016, essa versão trouxe avanço na transmissão, chegando a 50 Mbps e avanço também na distância de conexão entre aparelhos. Suporta mais aparelhos conectados simultaneamente, além de sofrer menos com as interferências de redes Wi-Fi.

Quadro 2 - Comparação entre os protocolos 802.15

Versão	Velocidade	Distância
--------	------------	-----------

1.0	721 Kbps	10 m
1.1	721 Kbps	10 m
2.0	3 Mbps	10 m
3.0	24 Mbps	10 m
4.0	24 Mbps	10 m
4.1	24 Mbps	10 m
4.2	24 Mbps	10 m
5.0	50 Mbps	40 m

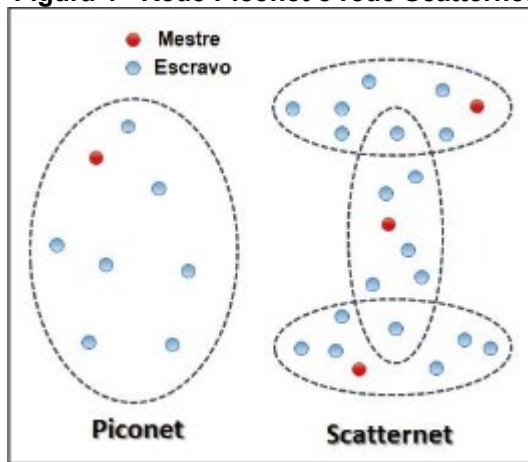
Fonte: Adaptado de Oficina da Net (2020)

2.3.2 Modelos de operação do *Bluetooth*

Rede Piconet é como funciona o esquema de conexão *Bluetooth* de dois dispositivos ou mais. É organizada com um dispositivo mestre que encabeça a transmissão, organizando os dados entre os outros dispositivos, que são considerados escravos. Já o mestre também é responsável por evitar as interferências na conexão, fazendo com que aconteçam constantes saltos de frequências dentro da faixa estabelecida pelo protocolo. Esse processo é um *frequency hopping* e ajuda os dispositivos *Bluetooth* tanto na recepção quanto na transmissão, tendo também com uma transmissão full duplex através de divisão temporais (ALECRIM, 2021).

Cada rede piconet pode ter conectados até oito dispositivos *Bluetooth*. É possível ter mais dispositivos conectados, mas esses tem que fazer parte de outra piconet. Se ambas tiverem um dispositivo mestre que ligue essas distintas piconets, se tornará uma scatternet, que é uma rede com mais de oito dispositivos (ALECRIM, 2021).

Figura 4 - Rede Piconet e rede Scatternet



Fonte: Adaptado de Alecrim (2018)

2.4 Modelo de propagação

O sinal de uma rede sem fio tem seu nível atenuado à medida que um dispositivo se afasta do ponto de acesso. Esta atenuação pode ser calculada de forma teórica utilizando as equações de *path loss* do modelo de propagação de ondas “ITU-R Indoor Propagation Model”, pois se trata de um modelo ajustado para perdas em ambientes internos. Este modelo de propagação só se aplica se a fonte emissora e a receptora do sinal estiverem na mesma construção. A equação abaixo representa a perda total de potência pela distância em um ambiente indoor (SERIES, 1999).

2.4.1 Modelo geral

Esse modelo usa uma equação pré-definida para calcular a atenuação do sinal de forma teórica, representada como (SERIES, 1999):

$$L_{total} = ((20 \log f) + (N \log d) + Lfn - 28) \text{ dB}, \quad (1)$$

Onde,

N: Coeficiente de perda;

f: Frequência em MHz;

d: Distância do emissor para o receptor em metros;

Lf: Fator de perda por penetração para pavimentos distintos em dB;

n: Número de pavimentos entre o emissor e receptor.

O modelo utiliza valores como parâmetro no modelo, já definidas, com base em cada ambiente onde for utilizar o modelo.

Quadro 3 - Parâmetro de perda de potência N

Frequência	Parâmetro N para imóvel residencial
2,4 GHz	28
5 GHz	30

Fonte: Adaptado de Series (1999)

O Quadro 3 apresenta o valor do coeficiente de perda, em específico apenas para imóvel residencial.

Quadro 4 – Parâmetro de perda de penetração do piso L_f

Frequência	Parâmetro L_f para perda de penetração de piso para $n=1$
2,4 GHz	10
5 GHz	13

Fonte: Adaptado de Series (1999)

O Quadro 4 apresenta o valor do fator de perda por penetração para pavimentos distintos, nesse caso apenas para um pavimento.

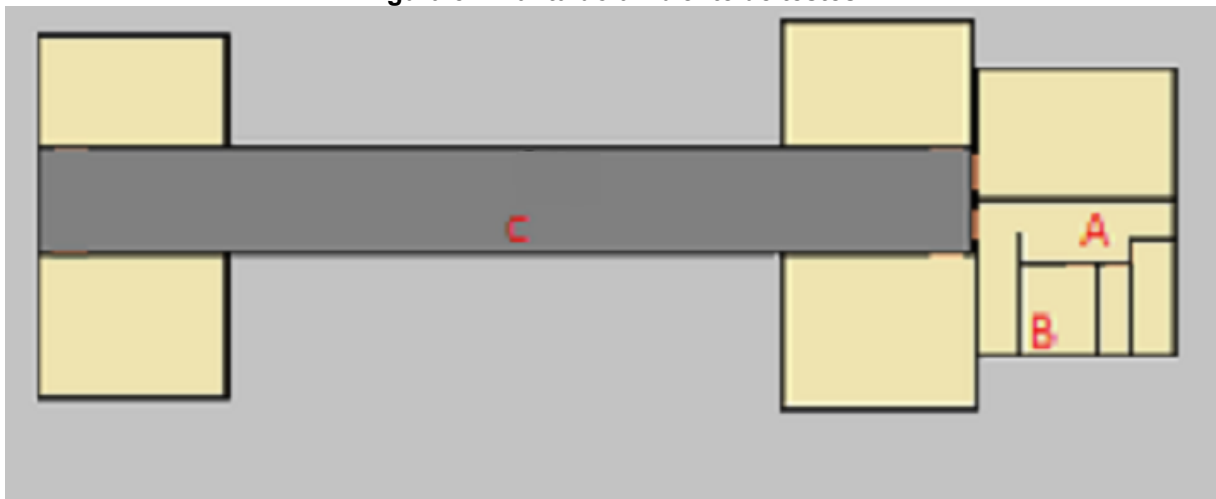
3 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo descreve os cenários de testes para comparar a rede Wi-Fi 802.11 e *Bluetooth*. A seção 3.1 descreve o ambiente de testes da rede Wi-Fi 802.11. A seção 3.2 faz a análise da rede Wi-Fi 802.11. A seção 3.3 descreve o ambiente de testes da rede *Bluetooth*. A seção 3.4 faz a análise da rede *Bluetooth*.

3.1 Regras gerais de apresentação

O local dos testes usado foi um apartamento de planta interna com aproximadamente 55 m² composta por paredes de alvenaria, conforme ilustra a Figura 5. O AP utilizado nos testes está instalado no ponto A. Foi utilizada a arquitetura cliente servidor para os testes. O servidor é um computador desktop localizado no ponto B e ficou fixo durante os testes. O dispositivo que fez a conexão com o servidor é um celular, representado pelo ponto C, que teve sua localização variável durante os testes, percorrendo o corredor do 3° andar do prédio, localizado na frente do apartamento.

Figura 5 - Planta do ambiente de testes



Fonte: Autoria própria (2022)

As características do AP, adaptador Wi-Fi do desktop e celular estão descritas no Quadro 5.

Quadro 5 - Características técnicas dos dispositivos dos testes

Modelo	Technicolor TC733	Ralink USB <i>Wireless</i> LAN Card	Motorola Moto G5S Plus

Protocolos suportados	802.11a/b/g/n/ac	802.11n	802.11 a/b/g/n
Frequência de operação	2.4Ghz, 5Ghz	2.4Ghz	2.4Ghz, 5Ghz
Número de antenas	3	1	1

Fonte: Autoria própria (2022)

A ferramenta usada para gerar tráfego e fazer a medição da vazão foi o *Iperf*. É uma ferramenta que trabalha na arquitetura cliente servidor. Pode gerar tráfego UDP ou TCP. Foi utilizado o tráfego TCP porque o objetivo é verificar qual a vazão máxima da rede.

Para ter mais informações dos testes, foi feita a medição da potência do sinal do Wi-Fi. A ferramenta utilizada foi o aplicativo para *Android WiFi Analyzer*. A ferramenta oferece informações para o usuário examinar as redes Wi-Fi ao redor. No teste foi utilizado a função de medir a intensidade do sinal em dbm.

3.2 Análise da rede Wi-Fi 802.11

O primeiro teste é a análise da potência e perda de sinal nas frequências de 2,4 GHz e 5GHz. Foi calculada a perda de sinal nas duas frequências usando a Equação 1. Os valores utilizados na equação de acordo com o cenário deste teste foram mostrados no Quadro 6.

Quadro 6 - Parâmetros usados no cálculo da perda teórica

Parâmetros	Frequência 2,4 Ghz	Frequência 5 Ghz
Distância	5m a 40m	5m a 40m
N	28	30
Lf	10	13

Fonte: Autoria própria (2022)

Aplicando a equação com esses valores acima, obtém os seguintes resultados de perdas, representado na Tabela 1. Pode-se observar que a perda de sinal é maior na frequência de 5 GHz e com distâncias maiores.

Tabela 1 - Perda em função da distância em db

Distância(m)	L total (5 Ghz) calculado (db)	L total (2.4 Ghz) calculado (db)
5	66,94	59,17
10	75,94	67,60
15	81,26	72,53
20	85,01	76,03
25	87,91	78,74
30	90,29	80,96
35	92,30	82,83
40	94,04	84,46

Fonte: Autoria própria (2022)

Com o aplicativo *WiFi Analyzer* foi medida a potência do sinal nas duas frequências e o resultado é mostrado na Tabela 2. Pode-se observar que a potência do sinal na frequência de 2,4 GHz aparece maior do que 5 GHz.

Tabela 2 - Valores medidos de potência em função da distância em dBm

Distância(m)	Potência do sinal medido (5 Ghz)	Potência do sinal medido (2.4 Ghz)
5	-45,20	-39,80
10	-46,00	-44,10
15	-54,00	-48,10
20	-58,80	-50,90
25	-61,80	-54,20
30	-64,60	-58,90
35	-67,40	-59,50
40	-68,80	-59,80

Fonte: Autoria própria (2022)

Para comparar os valores de perda teóricos com os valores de potência medidos foram diminuídos os valores entre 2 distâncias. Por exemplo, para calcular a perda de potência entre 5 e 10 metros, foi diminuído o valor da potência ou perda em 10 metros do valor da potência ou perda em 5 metros, como pode ser observado

no Tabela 3. Pode-se verificar que a diferença de perda diminui com a distância e os valores teóricos se aproximam dos valores práticos com uma pequena diferença.

Tabela 3 - Diferença de perda em função da distância (db)

Distância(m)	Diferença de perda teórica 5 GHz (db)	Diferença de perda teórica 2,4 GHz (db)	Diferença de perda medida 5 GHz (db)	Diferença de perda medida 2,4 GHz (db)
5 a 10	9,00	8,43	1,20	4,30
10 a 15	5,32	4,93	8,00	4,00
15 a 20	3,75	3,5	4,80	2,80
20 a 25	2,90	2,71	3,00	4,30
25 a 30	2,38	2,22	2,80	4,70
30 a 35	2,01	1,87	2,80	0,6
35 a 40	1,74	1,63	1,40	0,4

Fonte: Autoria própria (2022)

Depois de calculados os valores relacionados aos sinais das redes, foram feitas medições para obter a taxa de transferências das redes. Os testes foram feitos com o *Iperf 3*, utilizando *TCP* e foram feitas uma série de dez medições para cada distância, em cada frequência. Depois disso foi feito o cálculo de intervalo de confiança em 95%. Os resultados estão logo abaixo, na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores da vazão de dados em Mbps

Distância(m)	Vazão medida de 5 Ghz (Mbps)	Vazão medida de 2,4 Ghz (Mbps)
5	23,30	7,41
10	23,01	7,10
15	21,00	7,20
20	22,20	6,80
25	19,00	5,90
30	18,10	3,70
35	16,8	3,60
40	14,5	2,90

Fonte: Autoria própria (2022)

Pode-se observar que a vazão de dados da rede de frequência de 5 GHz é maior. Isso se explica porque esse tipo de rede oferece uma largura de canal de 80 MHz, contra 40 MHz de frequência 2,4 GHz, trazendo maiores velocidades de transferências. Neste experimento, mesmo com suas limitações de distância, a frequência de 5 GHz se saiu melhor em todas as distâncias, conforme o Tabela 4.

3.3 Descrição do ambiente de testes da rede *Bluetooth*

O ambiente de testes foi o mesmo da rede Wi-Fi. Foram utilizados no teste apenas dois dispositivos, sendo um celular como o emissor dos dados, fixado em uma localização e o outro celular, o receptor, variando a localização durante os testes.

As características dos dispositivos utilizados para os testes *Bluetooth* estão descritas no Quadro 7.

Quadro 7 - Características técnicas do *Bluetooth* dos celulares utilizados

Modelo	Motorola One Vision	Motorola Moto G8 Power
Versão	5.0	5.0
Variante	LE/EDR	A2DP/LE

Fonte: Autoria própria (2022)

Para os testes de vazão do *Bluetooth* foi utilizado um arquivo de 6 Mbytes e enviado sempre pelo mesmo celular, através do método padrão de transferências via *Bluetooth* do *Android*.

3.4 Análise da rede *Bluetooth*

Definido o ambiente de teste, foi medida a potência do sinal. A medição ocorreu pelo aplicativo *Bluetooth Meter*, que apresentou o resultado mostrado na Tabela 5. O aplicativo calculou a potência em dBm.

Tabela 5 - Valores da potência do sinal do Bluetooth

Distância(m)	Potência do sinal (dBm)
5	-55
10	-62
15	-66
20	-72
25	-76
30	-75
35	-80
40	-85

Fonte: Autoria própria (2022)

E para comparar os valores de perda teóricos com os valores de potência medidos foram diminuídos os valores entre 2 distâncias, como pode ser observado no Tabela 6. Pode-se verificar que a diferença de perda diminui com a distância e os valores teóricos se aproximam dos valores práticos com uma pequena diferença.

Tabela 6 - Diferença de perda em função da distância (db)

Distância(m)	Diferença de perda teórica 2,4 GHz (db)	Diferença de perda medida (db)
5 a 10	8,43	7,00
10 a 15	4,93	4,00
15 a 20	3,5	6,00
20 a 25	2,71	2,00
25 a 30	2,22	1,00
30 a 35	1,87	5,00
35 a 40	1,63	5,00

Fonte: Autoria própria (2022)

Depois de feita a medição da potência do sinal, foram feitos os testes para obter a taxa de transferência da rede. Com a transferência do mesmo arquivo de 6 Mbytes para todos os testes, foram feitas também as medições do tempo de duração da transferência, em segundos. Com o tempo coletado, foi feito o cálculo de vazão, cujo resultado é mostrado no Tabela 7.

Tabela 7 - Valores da vazão de dados em Kbps

Distância(m)	Vazão (Kbps)
5	1021
10	716
15	521
20	402
25	Não foi possível
30	Não foi possível
35	Não foi possível
40	Não foi possível

Fonte: Autoria própria(2022)

Nota-se que a partir da distância de 25 metros, não foi possível realizar o teste porque houve falha na transferência do arquivo. Pode-se observar que a vazão diminui com o aumento da distância.

4 CONCLUSÕES

Com este trabalho pode-se concluir que a evolução das duas tecnologias apresentadas trouxe boas melhorias no desempenho das redes, principalmente em questão das velocidades de transferências de dados.

Analisando os resultados desse trabalho, é muito grande a diferença de vazão das duas redes, sendo o Wi-Fi bem mais veloz do que o *Bluetooth* para transferência de dados.

Foi elaborada neste trabalho uma comparação dos valores teóricos do modelo geral de atenuação do sinal com os valores dos testes feitos da potência dos sinais. Acabou sendo verificado que tanto os valores teóricos e os testados diferem apenas um pouco, comprovando que a fórmula teórica é semelhante com o que acontece na realidade. Outra análise envolvendo a potência dos sinais das redes é que não houve tanta diferença entre os valores dos resultados, mas a comparação mostrou o Wi-Fi superior mais uma vez.

Por fim, sabendo na prática o desempenho do Wi-Fi, mesmo sabendo que ele pode ser utilizado para diversas tarefas, seu uso pode ser proposto, por exemplo, para tarefas que demandam maior utilização do tráfego de dados pela rede, como acesso e transferências de vídeos de alta definição. Já o *Bluetooth*, foi analisado que apesar das velocidades mais baixas, apresenta uma potência de sinal considerável e tem uma boa proposta para IoT, por exemplo, podendo cumprir bem as transferências de dados entre esses dispositivos em distâncias mais curtas.

REFERÊNCIAS

- ALECRIM, E. **Tecnologia wi-fi (IEEE 802.11)**. InfoWester, 5 de mai. 2021. Disponível em: <http://www.infowester.com/wifi.php>. Acesso em: 8 set. 2021.
- ALECRIM, E. **Bluetooth Technology: what is it and how does it work?**. InfoWester, 31 out. 2021. Disponível em: <https://www.infowester.com/Bluetooth.php>. Acesso em: 18 abr. 2022.
- BARRETO, Juvenal dos Santos. **Um modelo de migração de ambiente IPv4 para IPv6 em uma rede acadêmica heterogênea**. 2015.
- DATARAIN. **Qual a diferença entre o modelo OSI e o modelo TCP/IP?**. Disponível em: <https://www.datarain.com.br/blog/qual-diferenca-entre-modelo-osi-e-modelo-tcpip/>. Acesso em: 20 de jul. de 2021.
- FOROUZAN, Behrouz A.; FEGAN, Sophia Chung. **Protocolo TCP/IP-3**. AMGH Editora, 2009.
- KOTVISKI, A. **O que são redes ad hoc?**. Tecmundo, 24 set. 2009. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/internet/2792-o-que-sao-redes-ad-hoc-.htm>. Acesso em: 17 out. 2021.
- KWOK, K. **What is Wi-Fi Roaming and how it Works**. Mercku, 28 Jun. 2021. Disponível em: <https://www.mercku.com/2021/07/28/what-is-wi-fi-roaming-and-how-it-works/>. Acesso em: 23 out. 2021
- SERIES, P. Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz. **Recommendation ITU-R**, p. 1238-1, 1999.
- LOUREIRO, Antonio AF et al. **Redes de sensores sem fio**. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC). sn, 2003. p. 179-226.
- MONTEBELLER, S. J. **Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fios - wireless na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais**. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. 129f.
- DE MORAES, ALEXANDRE FERNANDES. **Redes sem fio: Instalação, Configuração e Segurança-Fundamentos**. Saraiva Educação SA, 2010
- MORIMOTO, C. E.; **Redes wireless atualizado (Sétima e última parte)**, 2011. Disponível em: <http://www.hardware.com.br/guias/redes-wireless/padroes.html>. Acesso em: 19 mar.2022.
- ROSE, K. **Redes de computador e a internet. 5. ed**. Pearson Education do Brasil, 2010. São Paulo.
- TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. Pearson educación, 2003.
- TORRES, Gabriel. **Redes de computadores**. Revisada e atualizada. Rio de Janeiro: Nova Terra, 2014.