

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CURSO DE ADMINISTRAÇÃO - LFE ANÁLISE DE SISTEMAS

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE REDES SEM FIO PONTO-A-PONTO
COM DIFERENTES PROTOCOLOS DO TIPO IEEE 802.11**

Rodrigo Rex

Lajeado, junho de 2016

Rodrigo Rex

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE REDES SEM FIO PONTO-A-PONTO
COM DIFERENTES PROTOCOLOS DO TIPO IEEE 802.11**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Curso II, na linha de formação específica em Análise de Sistemas, do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Administração.

Orientador: Edson Funke

Lajeado, junho de 2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, responsável por iluminar minha trajetória de vida, pessoal, profissional e acadêmica, transmitindo-me força e coragem para seguir em frente.

À minha família que é a base de tudo, em especial aos meus pais e minha irmã por me apoiarem e incentivarem sempre.

Da mesma forma, agradeço à minha namorada Beatriz Specht, por toda a paciência, palavras de incentivo e a confiança depositada em meus projetos de vida e aos momentos felizes que me proporciona diariamente.

Agradeço também aos professores da instituição de ensino Univates, que me auxiliaram durante a graduação, mas, em especial ao orientador Edson Funke, que me acompanhou e ajudou para que este estudo fosse elaborado da melhor forma possível.

E por fim, agradeço aos meus amigos, simplesmente por serem grandes amigos.

RESUMO

As redes sem fio de computadores estão mudando o modo pelo qual as pessoas trabalham ou se relacionam, ou seja, estão presentes em nossas vidas e ao que tudo indica, cada vez mais. O presente trabalho analisa redes sem fio de computadores através do estudo comparativo de desempenho entre os protocolos *IEEE 802.11* atualmente comercializados. Para tanto, realizou-se uma fundamentação teórica, abordando conceitos de autores das áreas de redes de computadores e redes sem fio. O método a ser utilizado para o presente estudo será de caráter exploratório, onde foram coletadas informações necessárias para a análise dos dados por meio de uma pesquisa bibliográfica e um estudo de caso. Concluiu-se que ao longo dos anos os protocolos evoluíram proporcionando mais capacidade para as redes sem fio. Acredita-se que o resultado do trabalho possa servir de base para usuários domésticos ou organizacionais na hora de optar pela utilização de um determinado equipamento de rede sem fio.

Palavras-chave: Redes sem fio, *IEEE 802.11*, Capacidade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do trabalho.....	14
Figura 2 – Propagação das ondas verticais e horizontais	25
Figura 3 – Reflexão de ondas de rádio	27
Figura 4 – Planta do ambiente de testes	38
Figura 5 – Diagrama da Rede 1	40
Figura 6 – Diagrama da Rede 2	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Throughput Médio	55
Gráfico 2 – Latência Média.....	56
Gráfico 3 – Tempo de Download	57
Gráfico 4 – Tempo de Upload.....	58
Gráfico 5 – Streaming Vídeos SD.....	59
Gráfico 6 – Streaming Vídeos FullHD.....	59
Gráfico 7 – Streaming Vídeos 4K	60
Gráfico 8 – Chamadas VOIP	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Enquadramento metodológico.....	31
Quadro 2 – Critérios de avaliação (Adaptação da metáfora da sinaleira)	43
Quadro 3 – Opções de avaliação de critérios.....	43
Quadro 4 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 2 (802.11b – 2.4 GHz)	47
Quadro 5 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 2 (802.11b – 2.4 GHz)	47
Quadro 6 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 5 AC (802.11a - 5.8 GHz)	48
Quadro 7 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 5 AC (802.11a - 5.8GHz).....	49
Quadro 8 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 2 (802.11g – 2.4 GHz)	50
Quadro 9 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 2 (802.11g – 2.4 GHz)	50
Quadro 10 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 2 (802.11n – 2.4 GHz)	51
Quadro 11 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 2 (802.11n – 2.4 GHz)	52
Quadro 12 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 5 AC (802.11n – 5.8 GHz).....	53
Quadro 13 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 5 (802.11n – 5.8 GHz)	53
Quadro 14 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 5 AC (802.11ac – 5.8 GHz).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas dos transceptores	39
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Access Point	Ponto de Acesso
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
dB	Decibel
dBi	Decibel Isotrópico
DNS	<i>Domain Name System</i>
EIRP	<i>Equivalent Isotropic Radiated Power</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GB	<i>Gigabyte</i>
GHz	<i>Gigahertz</i>
HOST	Computador ou máquina conectado a uma rede
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Standards Organization</i>
Mbps	<i>Megabits por segundo</i>
MIMO	<i>Multiple-input and multiple-output</i>

OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
ping	<i>Packet Internet Network Grouper</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
Streaming	Tecnologia de transmissão ao vivo de dados
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
throughput	Taxa de tranferência
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VOIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
Wireless	Rede sem fio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Delimitação do estudo	12
1.2 Problema de pesquisa	12
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo geral	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Justificativa.....	14
1.5 Estrutura do trabalho	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Redes de computadores	16
2.1.1 Modelo OSI.....	17
2.1.1.1 Camada Física	17
2.1.1.2 Camada de Enlace de Dados.....	17
2.1.1.3 Camada de Rede	18
2.1.1.4 Camada de transporte.....	18
2.1.1.5 Camada de Sessão.....	18
2.1.1.6 Camada de Apresentação.....	18
2.1.1.7 Camada de Aplicação	19
2.1.2 Modelo TCP/IP	19
2.1.2.1 Camada Física e de Enlace.....	19
2.1.2.2 Camada de Rede	19
2.1.2.3 Camada de Transporte.....	20
2.1.2.4 Camada de Aplicação	20
2.2 Redes sem fio de computadores	20
2.2.1 Família <i>IEEE802.11</i>	21
2.2.1.1 <i>IEEE802.11b</i>	21
2.2.1.2 <i>IEEE802.11a</i>	21
2.2.1.3 <i>IEEE802.11g</i>	22
2.2.1.4 <i>IEEE802.11n</i>	23
2.2.1.5 <i>IEEE802.11ac</i>	23
2.2.2 Teoria de ondas	24
2.2.2.1 Ondas eletromagnéticas.....	24
2.2.2.2 Espectro eletromagnético	24

2.2.2.3 Polarização	25
2.2.2.4 Largura de Banda	25
2.2.2.5 Frequências e canais	26
2.2.2.6 Comportamento das ondas de rádio	26
2.2.2.7 Absorção	26
2.2.2.8 Reflexão	27
2.2.2.9 Interferência	27
2.2.2.10 Potência	28
2.2.3 Capacidade da rede sem fio	28
2.2.3.1 Nível de sinal	28
2.2.3.2 <i>Throughput</i>	29
2.2.3.3 Latência	30
3 MÉTODO	31
3.1 Tipo de pesquisa	31
3.1.1 Definição da pesquisa quanto aos seus objetivos	32
3.1.2 Definição da pesquisa quanto à natureza da abordagem	33
3.1.3 Definição da pesquisa quanto aos procedimentos técnicos.	33
3.2 Unidade de análise	34
3.3 Plano de coleta de dados	34
3.4 Plano de análise dos dados	35
3.5 Limitações do método	36
4 ESTUDO DE CASO	37
4.1 O ambiente de testes	37
4.2 Transceptores utilizados	38
4.3 Equipamentos e ferramentas de análise utilizadas	39
4.4 Mensuração e exposição dos dados	41
4.5 Roteiro de testes	44
5 ANÁLISE DOS DADOS	46
5.1 Cenário 1 – Protocolo 802.11b	46
5.2 Cenário 2 – Protocolo 802.11a	48
5.3 Cenário 3 – Protocolo 802.11g	49
5.4 Cenário 4 – Protocolo 802.11n em 2.4 Ghz	51
5.5 Cenário 5 – Protocolo 802.11n em 5.8 Ghz	52
5.6 Cenário 6 – Protocolo 802.11AC	53
5.7 Análise de Resultados	55
6 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICES	66
APÊNDICE A – Análise de resultados	67
APÊNDICE B – Análise do teste com Vídeo	68

1 INTRODUÇÃO

A computação está cada vez mais presente nas organizações e residências, sendo fundamental para agilizar os processos e muitos deles só são possíveis através dela, uma vez que a capacidade de processamento computacional está em constante evolução e nos surpreendendo a cada dia.

Unir a capacidade dos computadores por meio de uma rede, é o cenário ideal para um mundo que exige informações e ações em tempo real. As redes de computadores estão mudando o modo com que as pessoas trabalham, estudam ou se relacionam, já estão presentes em nossas vidas e ao que tudo indica, cada vez mais (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

Basicamente as redes de computadores estão associadas a dois tipos de meios físicos, as redes com fio e as redes sem fio. Cada uma delas tem suas características, mas geralmente coexistem e se complementam em ambientes organizacionais ou residenciais.

As redes com fios são utilizadas a anos e por muito tempo foi a única forma de conectar computadores à internet, porém não é um tipo de conexão muito prática em se tratando de mobilidade, uma vez que, os dispositivos que utilizam este tipo de conexão necessitam de cabos conectados a eles o tempo todo.

As redes sem fio vieram para simplificar e fomentar o acesso às redes de computadores e a internet. Além de inserirem uma série de novos dispositivos à rede mundial como: celulares, *tablets* e *notebooks*, cada vez mais, novos equipamentos

são compatíveis com o padrão, gerando o conceito de internet das coisas. Em breve teremos inúmeros equipamentos em nossas residências e organizações diretamente conectados à internet, automatizando e simplificando nossa vida. (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

Para garantir a funcionalidade das redes sem fio, surgiu em 1997 o protocolo *IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11* genericamente chamado de *Wi-Fi* que rege os padrões e proporciona a interoperabilidade entre diferentes fabricantes de equipamentos destinados a esta tecnologia. Desde então, o protocolo vem evoluindo conforme as necessidades tecnológicas. As primeiras versões possuíam capacidades bem limitadas de tráfego. Atualmente as redes sem fio podem prover taxas de transferência acima de 1 GB por segundo. O uso cada vez maior das redes *Wi-Fi* alavanca o avanço desta tecnologia, tão utilizada em todo o mundo (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

Em meados de 2013 surgiu o protocolo de redes sem fio *IEEE 802.11ac*. Desde então os fabricantes vêm impulsionando o lançando de equipamentos que operam com esta tecnologia, que traz uma série de benefícios em relação aos antigos protocolos, provendo mais capacidade de tráfego de informações e maior cobertura da rede, além de corrigir e eliminar erros das tecnologias anteriores. (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

1.1 Delimitação do estudo

Será realizado um estudo de cunho bibliográfico, uma análise em banca de aspectos técnicos relevantes em uma conexão de rede sem fio, além da análise dos dados coletados com ferramentas de auditoria de redes. Com o intuito de verificar as principais diferenças de desempenho entre os protocolos de redes sem fio vigentes.

1.2 Problema de pesquisa

As necessidades organizacionais e pessoais movem a evolução das tecnologias. Pensando nisso as redes sem fio precisam prover cada vez mais

capacidade de fluxo de dados e informações em tempo real. Sabendo disto, pesquisadores constantemente evoluem as normas e protocolos que regem esta tecnologia, proporcionando novos parâmetros de qualidade e velocidade.

Portanto a presente pesquisa tem como questionamento: Qual é a diferença de desempenho entre os protocolos de rede sem fio *IEEE 802.11a/b/g/n/ac*?

1.3 Objetivos

Através das questões deste estudo, foram definidos os objetivos descritos a seguir.

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é determinar a diferença de desempenho entre os protocolos de rede sem fio da família *IEEE 802.11* e seus sub padrões, cujos equipamentos são comercializados atualmente.

1.3.2 Objetivos específicos

Para que se possa atingir o objetivo principal deste estudo, é necessário que se busque também:

- a) Avaliar tecnicamente o desempenho dos protocolos de redes sem fio *IEEE 802.11 a/b/g/n/ac*;
- b) Comparar o desempenho dos protocolos de rede sem fio *IEEE 802.11 a/b/g/n/ac*;
- c) Verificar em que circunstâncias é justificável a utilização de um protocolo ou outro;

1.4 Justificativa

O presente estudo se justifica por acreditar que o mesmo contribua nas esferas acadêmica, pessoal e organizacional. Na visão acadêmica, através de buscas realizadas entre julho e setembro de 2015 não foram constatados trabalhos semelhantes nas bases de dados, garantindo-se assim uma contribuição relevante para a área.

Nas esferas organizacionais ou pessoas, é evidente o crescimento do uso da tecnologia de rede sem fio, presente em nossas residências, organizações e locais públicos. Essa grande expansão do uso da tecnologia deve-se à praticidade que a mesma possui quanto à mobilidade e conectividade. Porém há parâmetros e limitações que devem ser abordados, bem como devemos saber qual o momento certo para migrar uma rede sem fio, de um protocolo ao outro.

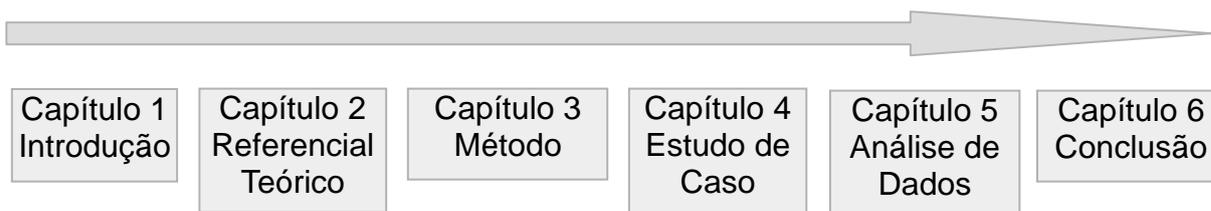
Para justificar o investimento em novos equipamentos é necessário analisar todos os fatores que influenciam na tomada de decisão, no caso da tecnologia um dos principais fatores é a performance que os equipamentos proporcionam.

Com as informações resultantes desta pesquisa as organizações, usuários domésticos ou acadêmicos poderão analisar os benefícios e limitações da tecnologia de cada protocolo *IEEE 802.11* em suas redes sem fio.

1.5 Estrutura do trabalho

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho está estruturado em quatro capítulos, como pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura do trabalho



Fonte: elaborada pelo autor.

O Capítulo 1 contextualiza o tema e sua relevância, além de apresentar os objetivos, justificativas e a estrutura do trabalho. No Capítulo 2 é examinada a bibliografia referente ao tema da pesquisa. O Capítulo 3 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do trabalho. O Capítulo 4, apresenta o estudo de caso efetuado. O capítulo 5 apresenta a análise de resultados dos cenários estudados. No capítulo 6 estão as conclusões correspondentes ao trabalho.

Ao final estão apresentadas as referências das obras citadas ao longo dos capítulos, bem como os apêndices que substanciaram a pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados os conceitos e trabalhos já publicados e necessários para o embasamento e contextualização dos temas relacionados a pesquisa. Observando o objetivo principal deste trabalho, se faz necessário abordar os conceitos de redes de computadores e redes sem fio.

2.1 Redes de computadores

As redes de computadores estão direta ou indiretamente vinculadas à vida profissional ou social das pessoas. Mesmo sem perceber grande parte da população, de alguma forma as utilizam, seja para trabalhar ou se comunicar com amigos e familiares, trazendo inúmeros benefícios na vida das pessoas e grande evolução para as organizações (FOROUZAN, 2008).

Segundo Tanenbaun e Watherall (2011), a antiga ideia, de um único computador atendendo as necessidades das organizações, foi substituída por outra, onde a tarefas são realizadas por um conjunto de computadores autônomos, porém interconectados por meio de redes de computadores. A comunicação não necessariamente é feita por fios, também podem ser utilizados: cabos ópticos, micro-ondas, ondas de infravermelho ou satélites de comunicação de dados.

Dois modelos de referência foram definidos para suprir a necessidade de interconectar computadores por meio de redes, conforme Forouzan (2008): o modelo *OSI (Open Systems Interconnection)* e o modelo *TCP/IP (Transmission Control*

Protocol/Internet Protocol), sendo abordados a seguir.

2.1.1 Modelo OSI

Com o surgimento do conceito de redes de computadores interconectados, fez-se necessário a abordagem de parâmetros para que as mesmas funcionassem adequadamente.

O Modelo de Referência *OSI (Open System Interconnection)*, trata a interconexão de sistemas abertos à comunicação com outros sistemas, foi desenvolvido pela *ISO (International Standards Organization)*, como um primeiro passo para a padronização dos protocolos de redes (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

O Modelo *OSI* é dividido em 7 camadas, a seguir, uma explicação de cada uma, segundo Tanenbaum e Wetherall (2011).

2.1.1.1 Camada Física

A camada física trata da transmissão de *bits* de um lado ao outro por meio de um canal de comunicação. Deve garantir que se um lado transmitir um *bit 0* no outro deve chegar um *bit 0* e não um *bit 1*, para isso deve-se alinhar quais os sinais elétricos usados para representar os *bits*, quantos nano segundos eles devem durar, questões sobre início e fim da transmissão e se ela pode ser simultânea em ambas as direções.

2.1.1.2 Camada de Enlace de Dados

A tarefa da camada de enlace de dados é transformar um canal de comunicação física em uma linha que pareça livre de erros de transmissão, para isso ela mascara os erros reais para que a camada de rede não os perceba, portanto, o envio de pacotes de dados de um transmissor a um receptor deve ser confirmado

para manter a confiabilidade da comunicação, este é seu papel fundamental (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

2.1.1.3 Camada de Rede

A camada de rede basicamente determina como os pacotes de dados são roteados da origem até o destino, as rotas podem ser estáticas ou dinâmicas dependendo do projeto de rede. Se houver muitos pacotes de rede ao mesmo tempo compartilhando a mesma rota, pode haver congestionamentos o que também é responsabilidade da camada de rede tratar, auxiliando na qualidade do serviço de transmissão de dados (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

2.1.1.4 Camada de transporte

A função da camada de transporte é aceitar dados, dividi-los em unidades menores, se for necessário e garantir que todos os fragmentos cheguem corretamente à outra extremidade. É considerada a verdadeira camada de ponta a ponta, que liga a origem ao destino.

2.1.1.5 Camada de Sessão

Permite que usuários em diferentes máquinas estabeleçam sessões de comunicação, mantendo o controle de quem deve transmitir em cada momento, impedindo que duas partes tentem executar a mesma operação crítica ao mesmo tempo e realizando a verificação periódica de longas transmissões, para permitir que elas continuem a partir do ponto em que estavam ao ocorrer alguma falha.

2.1.1.6 Camada de Apresentação

Diferente das outras camadas abaixo que se preocupam com a transmissão de *bits*, a camada de apresentação está relacionada a sintaxe e semântica das

informações transmitidas, para tornar possível a comunicação de computadores com diferentes representações de dados (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

2.1.1.7 Camada de Aplicação

A camada de aplicação, compreende uma série de protocolos necessários para os usuários, por exemplo, protocolos usados para a transferência de correios eletrônicos, transmissão de dados ou páginas da internet.

2.1.2 Modelo TCP/IP

Segundo Forouzan (2008), o modelo *TCP/IP*, foi desenvolvido antes do modelo *OSI*, portanto suas camadas não correspondem exatamente ao modelo *OSI*. A seguir, uma breve explicação sobre as camadas do modelo *TCP/IP*, segundo Forouzan (2008) e Tanenbaum e Wetherall (2011).

2.1.2.1 Camada Física e de Enlace

As documentações não especificam nenhuma ação exata às camadas Física e de Enlace, apenas que um *host* deve se conectar a uma rede por meio de um protocolo que permita a transmissão de pacotes *IP*. Não é citado nenhum protocolo específico para a comunicação, suportando todos os protocolos padrão e proprietários para a comunicação entre *hosts* e redes.

2.1.2.2 Camada de Rede

A camada de Rede ou camada de ligação de redes tem como objetivo, permitir que os *hosts* enviem pacotes em qualquer rede garantindo que eles trafegarão independentemente até seu destino, os pacotes podem até chegar em ordem diferente da que foram enviados, o papel de reorganizá-los (se necessário) é das camadas superiores (FOROUZAN, 2008; TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

2.1.2.3 Camada de Transporte

Muito semelhante à camada de transporte do modelo *OSI*, no modelo *TCP/IP*, dois protocolos controlam a transmissão; um deles o *TCP (Transmission Control Protocol)*, prioriza a entrega de pacotes de forma confiável e sem erros, já o protocolo *UDP (User Datagram Protocol)*, prioriza a velocidade de transmissão em contrapartida não garante o recebimento do pacote.

2.1.2.4 Camada de Aplicação

A camada de aplicação no modelo *TCP/IP*, incorpora as camadas de sessão, apresentação e aplicação do modelo *OSI*. É o nível mais alto do modelo *TCP/IP*, representa protocolos de transferência de arquivos (*FTP*), correio eletrônico (*SMTP*), mapeamento de nomes de *hosts (DNS)*, *busca de páginas na internet (HTTP)*, entre inúmeros outros.

2.2 Redes sem fio de computadores

Segundo Tanenbaum e Wetherall (2011), as redes sem fio estão em constante expansão, presentes em residências, organizações, universidades e locais públicos, proporcionam, praticidade, agilidade e redução de custos na instalação e uso de redes de computadores para o acesso às redes internas ou à internet. Muitos usuários nem percebem a importância das redes sem fio em sua vida, esta característica se dá pela praticidade com que elas proporcionam as conexões rápidas e seguras.

A necessidade de conectar dispositivos à *internet* sem a utilização de cabos, fez com que em meados de 1990, pesquisadores desenvolvessem maneiras para alcançar este objetivo. A forma mais prática seria equipar os ambientes e dispositivos de acesso, com transmissores e receptores de ondas curtas de rádio (TANENBAUM; WETHERALL, 2011).

A opção por receptores de ondas curtas de rádio rapidamente levou à

comercialização de redes sem fios por várias empresas. O problema era a compatibilidade entre os dispositivos, uma vez que um transmissor de marca X não funcionaria com um receptor de marca Y. Para resolver o problema de interoperabilidade surgiu um padrão de redes sem fio, desenvolvido pelo comitê *IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)* e denominado de *IEEE 802.11*, mais conhecido pela gíria *Wi-Fi*.

2.2.1 Família *IEEE802.11*

O padrão *IEEE 802.11* é um conjunto de normas e padrões de transmissão em redes sem fio, garantindo a interoperabilidade entre diferentes padrões de equipamentos. A seguir são descritos os atuais padrões que regem as redes sem fio.

2.2.1.1 *IEEE802.11b*

Aprovado em 1999, utiliza como faixa de frequência o espectro de *2.4 GHz*, trabalhando com taxas de até *11 Mbps*, porém na prática o protocolo alcança velocidade máxima de *5.9 Mbps* usando *TCP* e *7.1 Mbps* usando *UDP* (MORAES, 2010).

Este padrão baseia-se na comunicação ponto multiponto, onde um *Access Point* se comunica com um ou mais clientes da rede sem fio, estabelece um alcance médio de 30 a 90 metros de distância, fator que afeta diretamente a performance e o número total de usuários que utilizam determinado canal (MORAES, 2010).

Em ambientes externos e configurações de ponto-a-ponto, utilizando antenas de alto ganho podem ser alcançadas distâncias de até oito quilômetros (MORAES, 2010).

2.2.1.2 *IEEE802.11a*

Moraes (2010) afirma que aprovado em conjunto com o *802.11b*, o protocolo

802.11a, permite a operação com faixas de até *54 Mbps*, utiliza o espectro de *5 GHz* e na prática entrega em torno de *20 Mbps* de transmissão. Não existe interoperabilidade entre os protocolos *802.11a* e *802.11b*, já que trabalham em duas faixas de frequência distintas, exceto se o equipamento possui a capacidade de trabalhar em duas faixas de frequência.

A faixa de frequência de *5 GHz* proporciona vantagens significativas, a principal delas é que a faixa de *2.4 GHz* está muito sobrecarregada, fornos micro-ondas, telefones sem fio e inúmeros outros dispositivos utilizam a mesma faixa, além disto a quantidade de canais na faixa de *5 GHz* é de quatro a oito vezes maior (MORAES, 2010).

No entanto, a faixa de *5 GHz*, traz também algumas desvantagens, já que a frequência é mais alta, o alcance diminui, uma vez que o sinal é mais absorvido por paredes e outros objetos sólidos, o alcance acaba sendo 50% menor que no padrão *802.11b* (MORAES, 2010).

2.2.1.3 IEEE802.11g

Conforme Moraes (2010), o padrão *802.11g* é uma extensão do padrão *802.11b*, na verdade existe uma compatibilidade entre eles, já que os dois trabalham na mesma faixa de frequência, basicamente o que diferencia um do outro é o fato do *802.11g* trabalhar em uma modulação mais eficiente, o que possibilita uma taxa de transmissão nominal igual ao padrão *802.11a*, de *54 Mbps* e efetiva de *19 Mbps* porém com o mesmo alcance de sinal do padrão *802.11b*, por trabalharem com a mesma faixa de frequência.

A compatibilidade dos padrões *802.11b* e *802.11g*, acarreta em alguns problemas, a existência de estações trabalhando em *802.11b* reduz consideravelmente a performance em uma rede *802.11g*. Embora a aceitação do padrão *802.11g* tenha sido alta, esta tecnologia está sujeita as mesmas interferências do *802.11b* relacionadas à grande utilização do espectro de *2.4 GHz*, os dispositivos que trabalham nesta faixa de frequência estão susceptíveis à interferências provenientes de outros dispositivos (MORAES, 2010).

2.2.1.4 IEEE802.11n

Moraes (2010) afirma que publicado em 2009, o *IEEE 802.11n* tem como objetivo aumentar a velocidade obtida nos padrões anteriores, de *54Mbps* para até *600Mbps*, usando até 4 canais de dados, com espaçamento de *40MHz* entre eles.

A ideia é utilizar o conceito de *MIMO (Multiple Input Multiple Output)*, multiplexando e agregando mais antenas na transmissão de dados o que aumenta consideravelmente capacidade de transmissão, outro fator que permite a maior capacidade de banda é o fato de poder utilizar uma largura de canal de *40MHz*, dobrando a capacidade dos padrões antigos que utilizavam *20MHz* (MORAES, 2010).

Técnicas avançadas de modulação permitiram que as taxas de transferências se elevassem consideravelmente em comparação aos antigos padrões, outra característica é a retro compatibilidade do protocolo *802.11n* com seus antecessores, porém uma rede mista de protocolos não entrega a mesma capacidade que uma rede pura em *802.11n* (MORAES, 2010).

2.2.1.5 IEEE802.11ac

Publicado em meados de 2012, o protocolo *802.11ac* explora três itens fundamentais e inter-relacionados de modo a permitir o aumento da taxa de transmissão, acima de *3Gb/s* (PLAZA, 2014). São eles:

- Aumento da largura de banda;
- Aumento da eficiência espectral;
- Melhora na relação Sinal/Ruído.

O novo protocolo passa a utilizar larguras de banda de até *160 MHz*, 4 vezes maior que o protocolo anterior, além disso, novas técnicas de modulação foram implementadas para comportar o aumento da taxa de transmissão e permitir uma maior eficiência no sinal.

Outra medida tomada, foi a extinção no espectro de 2.4 GHz no protocolo 802.11ac que passa a utilizar exclusivamente canais em 5 GHz, o que permite uma maior quantidade de canais, além do fato de ser menos poluído em relação ao 2.4 GHz.

2.2.2 Teoria de ondas

No que diz respeito à rede sem fio, temos que abordar, assuntos quanto à ondas, frequências, canais, sinal, largura de banda, capacidade, entre outros pertinentes e fundamentais para a propagação da transmissão, a seguir é possível entender o processo de propagação (FLICKENGER et al., 2007).

2.2.2.1 Ondas eletromagnéticas

Podemos comparar as ondas eletromagnéticas à uma pedra atirada em um lago, a partir do momento em que a pedra atinge a água, gera uma onda que se propaga e atenua ao percorrer o lago. As redes sem fios, utilizam ondas eletromagnéticas para propagar os dados, elas possuem uma certa velocidade, frequência e comprimento de onda, estas propriedades estão dispostas da seguinte forma:

$$\text{Velocidade} = \text{Frequência} * \text{Comprimento de onda}$$

O comprimento da onda eletromagnética é distância medida de um ponto da onda até a parte equivalente da onda seguinte, a frequência é a quantidade de ondas completas que se propagam em um determinado período de tempo (FLICKENGER et al., 2007).

2.2.2.2 Espectro eletromagnético

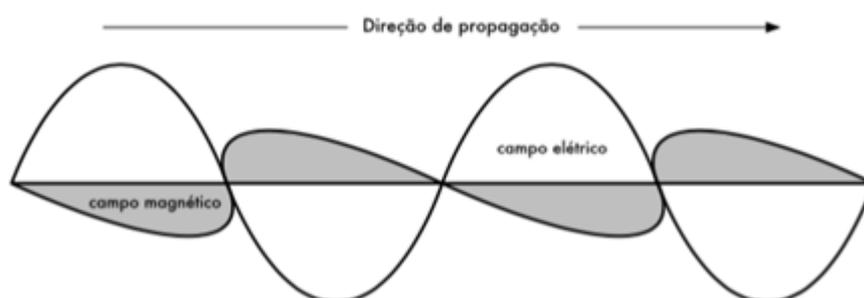
As ondas eletromagnéticas existem em uma grande variação de frequências e comprimentos, essa variação é denominada de espectro eletromagnético, as redes

sem fios de computadores utilizam frequências entre 2,400 e 2,495 GHz (com comprimento de onda de 12,5 cm) para os protocolos 802.11b, 802.11g e 802.11n, já o espectro na faixa de 5,150 a 5,850 GHz (com comprimento de onda de 5 e 6 cm) é utilizado nos protocolos 802.11a, 802.11g, 802.11n e o novo protocolo 802.11ac.

2.2.2.3 Polarização

Outra propriedade das ondas eletromagnéticas é a polarização, quem a define é a antena utilizada na rede sem fio, basicamente se a antena for colocada de forma vertical, as ondas se movem para cima e para baixo, ou seja, verticalmente, o contrário ocorre se antena for colocada horizontalmente, alguns protocolos 802.11 utilizam dupla polarização para a propagação do sinal, vertical e horizontal no mesmo espectro. A Figura 2 ilustra a propagação das ondas verticais e horizontais.

Figura 2 – Propagação das ondas verticais e horizontais



Fonte: FLICKENGER et al. (2007, p. 13).

2.2.2.4 Largura de Banda

A largura de banda (*bandwidth*) é a medida da variação de frequência e está intimamente relacionada com a quantidade de dados que podemos transmitir dentro dela - quanto maior a largura de banda, mais dados podemos transmitir na conexão sem fio (FLICKENGER et al., 2007).

2.2.2.5 Frequências e canais

Um espectro de frequências *2.4 GHz* ou *5 GHz* é dividido em pedaços uniformemente distribuídos dentro da banda como canais individuais, cada país possui um domínio regulatório que libera uma certa quantidade de canais em cada espectro de frequência.

2.2.2.6 Comportamento das ondas de rádio

Há algumas regras básicas quando se trata de ondas de rádio, as ondas maiores, ou seja, com frequência mais baixa atravessam obstáculos e atingem distâncias maiores, porém possuem uma capacidade mais limitada de transmissão de dados, já quanto menor o comprimento de onda, mais dados ela transmite, a seguir algumas características quanto à propagação.

2.2.2.7 Absorção

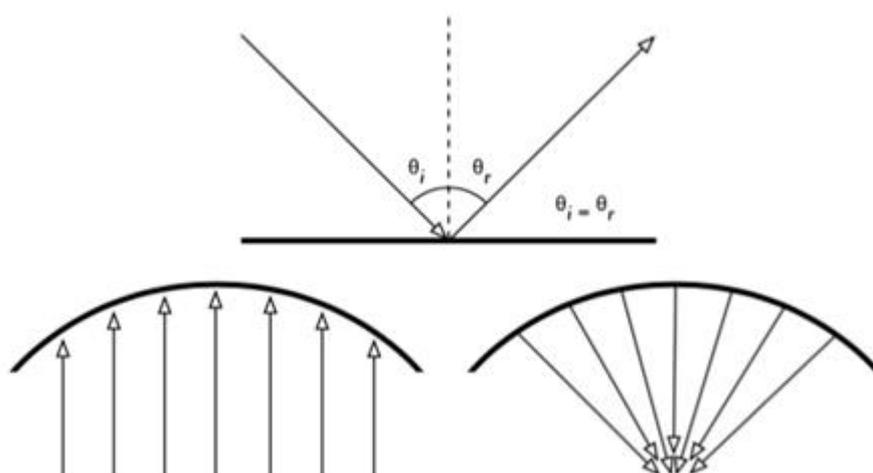
No momento em que as ondas eletromagnéticas penetram em alguma coisa elas enfraquecem ou desaparecem, o nível de perda de potência varia conforme a frequência da onda e o material em que ela penetra, no caso das micro-ondas utilizadas em redes sem fio, os dois principais materiais absorventes são metais e a água, ou seja, as ondas de rádio não são capazes de atravessá-los. (FLICKENGER et al., 2007).

No caso de madeiras e árvores, o nível de absorção depende da quantidade de água que elas contêm, já os plásticos ou similares não costumam ser absorventes, os seres humanos, por possuírem uma grande quantidade de água em seu corpo, são altamente absorventes, portanto o projeto de rede sem fio, deve levar em consideração a quantidade de pessoas em um determinado ambiente (FLICKENGER et al., 2008).

2.2.2.8 Reflexão

Da mesma forma que a luz, as ondas de rádio são refletidas quando entram em contato com materiais apropriados para isto, as principais fontes de material refletor são metais e superfícies de água. O ângulo em que a onda atinge o material é o mesmo ângulo em que ela é refletida, conforme apresenta a Figura 3.

Figura 3 – Reflexão de ondas de rádio



Fonte: FLICKENGER et al. (2007,p. 18).

Os escritórios, residência e até mesmo o ambiente externo, são compostos por inúmeros materiais metálicos de diferentes tamanhos e formas, portanto é extremamente difícil calcular para onde e com que intensidade as ondas eletromagnéticas vão se propagar.

Apesar dos prejuízos que a reflexão causa nas redes sem fio, ela é utilizada na construção de algumas antenas, utiliza-se parábolas atrás do transmissor ou receptor para concentrar o sinal em um ponto ideal (FLICKENGER et al., 2007).

2.2.2.9 Interferência

Na tecnologia *wireless*, interferências são perturbações causadas por outras fontes de radiofrequências, como equipamentos que trabalhem com o mesmo espectro ou até mesmo outras redes sem fio com canais próximos. As interferências

são as principais fontes de problemas em redes sem fio, especialmente em ambientes urbanos e locais fechados, onde muitas redes podem competir pelo uso do mesmo espectro (FLICKENGER et al., 2007).

Em redes sem fio a interferência pode prejudicar significativamente a capacidade de transmissão, ou até mesmo inutilizar por completo a utilização do *Wi-Fi* em algum determinado local.

2.2.2.10 Potência

As ondas eletromagnéticas transportam energia, a quantidade de energia recebida em uma determinada quantidade de tempo é chamada de potência. A potência é fundamental para que as redes sem fio funcionem, é necessária uma quantidade mínima de potência para que o receptor reconheça o sinal (FLICKENGER et al., 2007).

2.2.3 Capacidade da rede sem fio

Nas redes sem fio, e neste estudo em especial, alguns indicadores que serão utilizados para comparar a eficiência das redes em protocolos distintos estão delimitados a seguir.

2.2.3.1 Nível de sinal

Nível de sinal é medida em decibéis (*dB*) que define quanto de sinal há em um *link wireless* de um ponto de acesso (transmissor) até um ou mais receptores. Cada rede possui um nível de sinal mínimo para operar, porém deve estar em uma faixa de sinal específica para que toda sua capacidade seja atingida (FLICKENGER et al., 2007).

O nível de sinal depende de inúmeros fatores; que especificação de transmissor e receptor está sendo utilizado, que tipo de antena o *link* possui, tanto na transmissão e recepção, a que distância os dispositivos se encontram e qual o

nível de interferência no ambiente.

O sinal se origina em um transmissor e até chegar ao receptor se degrada pela perda de energia no caminho de transmissão, vários efeitos devem ser considerados. É necessário levar em conta a perda em espaço aberto (*free space loss*), atenuação (*attenuation*) e espalhamento de sinal. Quanto maior a distância entre os rádios, menos é o sinal recebido em função da perda de sinal em espaço aberto (*free space loss*) (FLICKENGER et al., 2007).

A segunda contribuição para a degradação do sinal é a perda pela atenuação, ela acontece porque a potência do sinal é absorvida quando atravessa objetos sólidos, como paredes, janelas e andares. A atenuação pode variar muito dependendo do material em que o sinal é absorvido, portanto é muito difícil de mensurar a quantidade de atenuação em um determinado ambiente (FLICKENGER et al., 2007).

Outro fator que degrada o sinal é o espalhamento, a partir do momento em que o sinal sai do transmissor, parte dele atinge diretamente a antena do receptor, porém outra parte atinge outros objetos e é refletido, parte dessa energia que reflete também atinge a antena de recepção, este efeito é chamado de *multipath* (caminho múltiplo), ou dispersão de sinal. Em alguns casos os sinais refletidos somam-se sem causar problemas em outros casos o sinal pode ser anulado e prejudicar a capacidade do *link* (FLICKENGER et al., 2007).

2.2.3.2 Throughput

Throughput mede a capacidade da rede sem fio, sendo uma medida em *bits*, em um determinado tempo. Ou seja, a quantidade de dados transmitidos de um ponto ao outro em um determinado espaço de tempo. Cada protocolo *IEEE 802.11* possui suas especificações de quantidade máxima de *throughput*, porém inúmeros fatores influenciam na capacidade do *link* (FLICKENGER et al., 2007).

O primeiro fator que deve ser levado em consideração é a frequência utilizada no enlace, frequências mais altas possuem a capacidade de transmissão de banda maior que frequências mais baixas, porém sofrem mais com atenuação de sinal em

ambientes internos.

Outro fator, é a interferência presente no espectro de radiofrequência, uma vez que ambientes carregados de interferência podem reduzir consideravelmente a capacidade da rede ou até mesmo inutilizá-la.

A evolução dos protocolos de redes sem fio trouxe uma série de melhorias em modulações, largura de canal e imunidade a ruídos, a capacidade de banda (*throughput*) vem crescendo de forma exponencial com o surgimento de novas tecnologias e padrões.

2.2.3.3 Latência

A transmissão de dados é dividida em pacotes e o tempo que leva para um pacote sair do transmissor e chegar ao receptor é a latência, quanto menor ela for, melhor é o *link* de *Wi-Fi*, porém não é o único fator que define a capacidade da rede (FLICKENGER et al., 2007).

Uma rede sem fio de plena capacidade deve atender às especificações de; nível de sinal dentro do recomendado, *throughput* adequado e por consequência latência baixa.

3 MÉTODO

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos adotados para alcançar os objetivos propostos neste trabalho.

Barros e Lehfeld (2007) dizem que a metodologia é responsável por estudar e analisar os diferentes métodos disponíveis, examinando e avaliando as técnicas de pesquisa. Para tanto, o enquadramento metodológico proposto para este estudo é apresentado no Quadro 1, com base na literatura específica dos pesquisadores Aaker, Kumar e Day (2011), Gil (2008;2012), Yin (2010), Barros e Lehfeld (2007), Beuren (2006), Malhotra (2001), Marconi e Lakatos (2010).

Quadro 1 – Enquadramento metodológico

Classificação	Enquadramento
Objetivos	Descritiva/Exploratória
Natureza	Aplicada
Método Científico	Indutivo
Forma de Abordagem	Qualitativa/Quantitativa
Procedimentos técnicos	Estudo de caso

Fonte: elaborado pelo autor.

3.1 Tipo de pesquisa

A pesquisa é definida por Marconi e Lakatos (2010, p. 139) como “um

procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico”. As autoras ressaltam que a pesquisa permite descobrir dados ou fatos, relações ou leis em qualquer campo do conhecimento, e sua realização exige do pesquisador, dedicação, persistência, paciência e esforço contínuo.

Esta pesquisa se enquadra como uma pesquisa aplicada. Conforme os autores Barros e Lehfeld (2007) a pesquisa aplicada tem como motivação, a necessidade de produzir conhecimento para a aplicação de seus resultados, visando à solução mais ou menos imediata de um problema encontrado na realidade.

3.1.1 Definição da pesquisa quanto aos seus objetivos

Conforme o que é apresentado nos objetivos deste estudo, a pesquisa é caracterizada como exploratória. De acordo com Beuren (2006, p. 81) “explorar um assunto pode significar reunir mais conhecimento, incorporar características desconhecidas, bem como buscar procedimentos novos”.

Aaker, Kumar e Day (2011, p. 94) afirmam que: “A pesquisa exploratória é usada quando se busca um entendimento sobre a natureza geral de um problema, as possíveis hipóteses alternativas e as variáveis relevantes que precisam ser consideradas”.

O principal objetivo da pesquisa exploratória, segundo Malhotra (2001, p. 106), “é explorar um problema ou uma situação para prover critérios e compreensão”. O autor completa que a pesquisa exploratória é marcada pela flexibilidade e versatilidade em relação aos métodos, os quais são responsáveis por prover o pesquisador de conhecimento e entendimento suficientes para prosseguir com o andamento do projeto de pesquisa.

O estudo exploratório tem tripla finalidade, segundo Marconi e Lakatos (2010), pois pode desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno, para a realização de uma pesquisa futura mais precisa, ou modificar conceitos. Finalizam afirmando que se pode utilizar uma variedade de procedimentos para a coleta de dados, tais como entrevista, observação e outros sem empregar técnicas probabilísticas de amostragem.

O estudo em questão é classificado como exploratório, pois será aplicado com o intuito de aprofundar o conhecimento do pesquisador sobre o tema e assim obter melhor resultado para a análise e conclusão da pesquisa.

3.1.2 Definição da pesquisa quanto à natureza da abordagem

A presente pesquisa pode ser considerada de caráter qualitativo. De acordo com Malhotra (2011), a pesquisa qualitativa é utilizada para definir o problema de pesquisa ou para elaborar formas de abordagens do mesmo, gerando hipóteses e identificando variáveis. O autor completa que, este tipo de pesquisa tem como intuito proporcionar ao pesquisador uma visão mais clara do contexto no qual o problema está inserido, uma vez que, por diversas vezes, a pesquisa qualitativa é utilizada para explicar os resultados obtidos pela pesquisa quantitativa.

Conforme Beuren (2006), os estudos que empregam uma metodologia qualitativa podem descrever a complexidade de determinado problema, analisar certas variáveis, compreender e classificar processos dinâmicos.

3.1.3 Definição da pesquisa quanto aos procedimentos técnicos.

Para a realização deste estudo, decidiu-se pela utilização dos seguintes procedimentos técnicos:

a) Pesquisa bibliográfica

Beuren (2006), define a pesquisa bibliográfica como sendo aquela que explica um determinado problema a partir de referências teóricas publicadas. Já para Gil (2012) a pesquisa bibliográfica é desenvolvida mediante material já elaborado, principalmente em livros e artigos científicos. O material utilizado na pesquisa abrange todo o referencial já publicado em relação ao tema de estudo.

Para Marconi e Lakatos (2010), a principal finalidade da pesquisa bibliográfica é, fornecer ao pesquisador o contato direto com toda a bibliografia já publicada a respeito do assunto a ser pesquisado, oferecendo meios para definir e resolver os

problemas propostos.

b) Pesquisa Experimental

A pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar algumas variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 2008).

Conforme Marconi e Lakatos (2010), a pesquisa experimental tem como propósito demonstrar a viabilidade determinada técnica ou programa como uma solução, potencial e viável, para determinados programas práticos.

c) Estudo de caso

Para Beuren (2006), o estudo de caso caracteriza-se principalmente pelo estudo de um único caso, este estudo é utilizado pelos pesquisadores que querem aprofundar seus conhecimentos em um determinado caso. Conforme Gil (2012), ele é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou mais objetos, de maneira a permitir conhecimentos amplos e detalhados.

Yin (2010) sintetiza o método do estudo de caso como, uma estratégia de pesquisa de grande abrangência, que se utiliza da lógica do planejamento, de modo a incorporar abordagens específicas à coleta de dados e a análise dos dados.

3.2 Unidade de análise

De acordo com Gil (2012), o primeiro procedimento consiste em delimitar a unidade que constitui o caso em estudo. Este pode ser uma pessoa, uma família, uma comunidade, um conjunto de relações ou processos ou até mesmo uma cultura.

3.3 Plano de coleta de dados

Para Marconi e Lakatos (2010), a coleta de dados corresponde a etapa da pesquisa em que se inicia a aplicação dos instrumentos elaborados e das técnicas selecionadas, visando efetuar a coleta de dados previstos. É necessário que o

pesquisador tenha paciência, perseverança e esforço pessoal, e também ser cuidadoso no registro dos dados e apresentar um bom preparo anterior. As autoras lembram ainda que são várias as técnicas pelas quais os dados podem ser coletados, portanto, é importante que o pesquisador tenha definido exatamente os procedimentos dos quais fará uso para evitar o desperdício de tempo e facilitar o seu estudo.

A coleta de dados, segundo Barros e Lehfeld (2000, p. 89), “significa a fase da pesquisa em que se indaga e se obtêm dados da realidade pela aplicação de técnicas”. Os autores destacam ainda que: “A escolha do instrumento de pesquisa, porém, dependerá do tipo de informação que se deseja obter ou do tipo de objeto de estudo” (BARROS; LEHFELD, 2000, p. 89).

Os dados serão coletados por meio de testes em bancada, utilizando ferramentas e técnicas de análise de qualidade em redes sem fio, como o nível de sinal, latência, nível de interferência e capacidade da rede (*throughput*).

3.4 Plano de análise dos dados

Aaker, Kumar e Day (2001) destacam que, a análise dos dados pode ser considerada como um conjunto de técnicas e métodos a serem empregados como forma de obter informações e descobertas em relação aos dados coletados, contribuindo com a obtenção de conhecimentos significativos quanto ao tema proposto.

Malhotra (2001, p. 387) completa que, o objetivo principal da análise dos dados é, “fornecer informações que auxiliem na abordagem do problema em estudo”.

Os dados coletados nos testes de bancada serão analisados e comparados com base nas atuais tecnologias de redes sem fio.

3.5 Limitações do método

As limitações do método existem e fazem parte de praticamente todos os estudos de pesquisa. Todo método tem possibilidades e limitações, portanto, é saudável aos pesquisadores, antecipar-se às críticas que o leitor poderá fazer ao trabalho, explicitando quais as limitações que o método escolhido oferece, mas que ainda assim o relevam como o mais adequado aos propósitos da investigação (VERGARA, 2007).

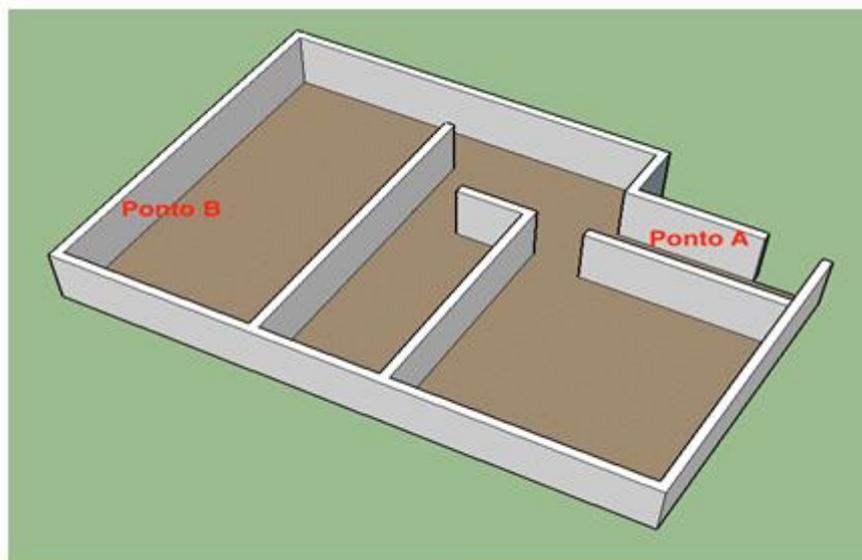
4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo está exposta a forma com que o estudo de caso foi executado. As seções 4.1, 4.2 e 4.3 descrevem respectivamente: o ambiente de testes, os transceptores utilizados e os demais equipamentos e ferramentas que foram necessárias, a seção 4.4 define a mensuração e exposição dos dados, já a seção 4.5 define o roteiro de testes utilizado em cada cenário.

4.1 O ambiente de testes

A fim de proporcionar o máximo de imparcialidade nos testes de cada protocolo, foi definido um único local onde todos os cenários foram testados, trata-se de uma sala de planta interna com aproximadamente 51 m² composta por paredes de alvenaria, conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 – Planta do ambiente de testes



Fonte: elaborado pelo autor.

Os equipamentos utilizados nos testes foram instalados em dois pontos, o A representa o Ponto de Acesso e o B representa o Receptor.

4.2 Transceptores utilizados

Os transceptores foram responsáveis por estabelecer o *link* de rede sem fio entre o ponto A e B do ambiente de testes é neles em que é configurado o protocolo a ser testado em cada cenário.

Mais uma vez com o objetivo de obter resultados imparciais, foram utilizados transceptores simétricos e do mesmo fabricante em cada teste, porém não tive acesso a um único modelo de transceptor capaz de operar em todos os protocolos de redes sem fio, portanto, dois modelos de equipamentos com características técnicas semelhantes foram utilizados nos testes.

Se tratam de transceptores de radiofrequência com antenas integradas, um deles opera e, portanto, foi utilizado para testar os protocolos 802.11b/g/n em 2.4 GHz, o outro foi utilizado nos testes dos protocolos 802.11a/n/ac em 5.8 GHz. Abaixo as características técnicas de cada equipamento:

Tabela 1 – Características técnicas dos transceptores

Modelo	Mikrotik SXT 2	Mikrotik SXT 5 AC
Protocolos suportados	802.11 b/g/n	802.11 a/n/ac
Frequência de operação	2.4 GHz	5.8 GHz
Número de antenas	2	2
Ganho das antenas	10 Dbi	16 Dbi

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os transceptores possuem duas antenas integradas, uma delas em polarização vertical e outra em polarização horizontal, os protocolos que utilizam e se beneficiam de duas antenas para propagar a radiofrequência são 802.11 *n* e *ac* os demais utilizam apenas uma antena na propagação.

Nota-se que o equipamento que opera em frequência de 5.8 GHz possui antenas de ganho maior, esta diferença será compensada com o ajuste de potência *EIRP* no transceptor utilizado em cada cenário. Todos os testes foram realizados com base em normas da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), portanto ajustes de canais e potência seguiram à risca o que a instituição rege como legal.

4.3 Equipamentos e ferramentas de análise utilizadas

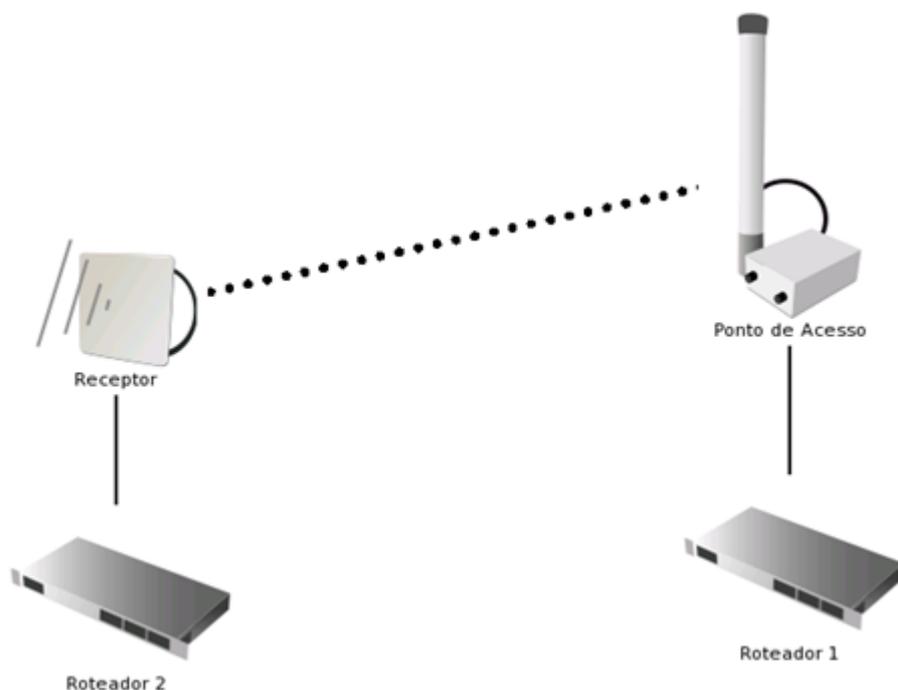
Além dos transceptores, demais equipamentos e ferramentas foram necessários para aferir os dados em cada cenário.

Os testes foram divididos em duas etapas, uma delas procurou extrair resultados técnicos quanto ao desempenho dos protocolos de rede sem fio, a segunda possui os resultados de testes mais aplicáveis a ambientes corporativos, acadêmicos ou residenciais, portanto testes práticos e de fácil entendimento por usuários comuns.

Para obter as informações técnicas de desempenho necessárias e posteriormente compará-las, foram utilizados dois equipamentos, um deles o Roteador 1 conectado ao Ponto de Acesso e outro o Roteador 2 conectado ao

Receptor, conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 – Diagrama da Rede 1



Fonte: elaborado pelo autor.

Esses roteadores possuem ferramentas que geram tráfego para a medição de capacidade dos *links*, além de analisarem aspectos de qualidade como latência e *throughput*. As ferramentas utilizadas para estas medições foram:

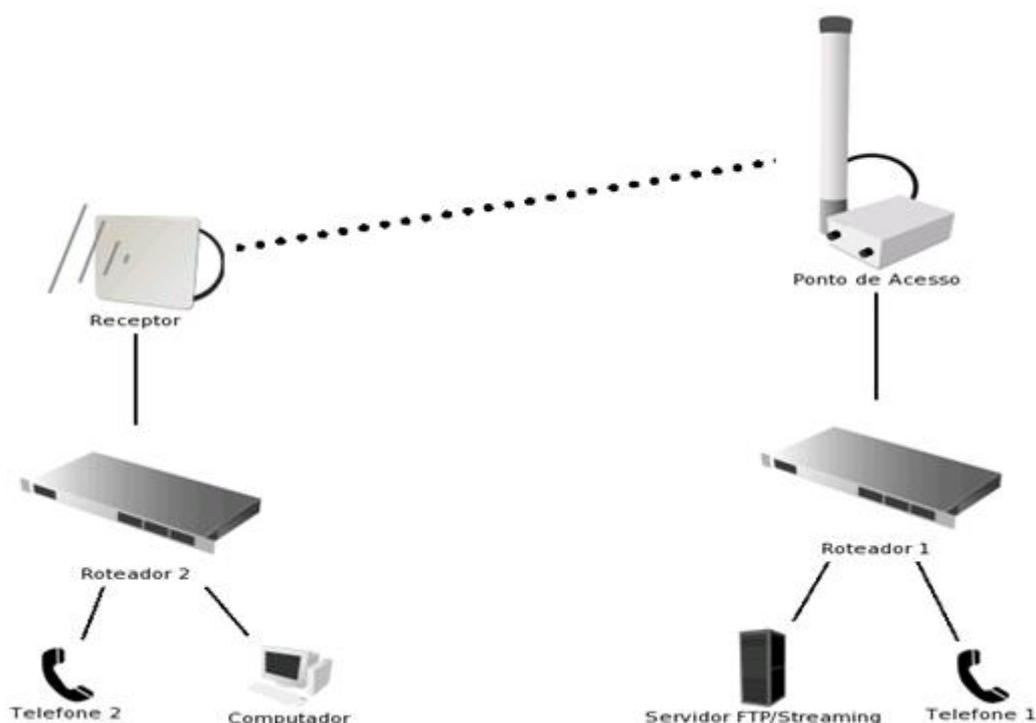
- *Mikrotik Bandwidth Test*: responsável por gerar o tráfego de pacotes *UDP* entre o Roteador 1 e o Roteador 2.
- *Mikrotik Ping Tool*: responsável por analisar a latência do *link* entre o Roteador 1 e o Roteador 2, por meio de um utilitário muito comum em redes de computadores o *ping* (Packet Internet Network Grouper).

Outras informações técnicas como, nível de sinal e nível de ruído, serão extraídas do transceptor localizado no ponto A do ambiente de testes.

Para a segunda etapa de testes mais práticos, foi adicionado ao diagrama de rede um servidor *FTP/Streaming* conectado ao Roteador 1 e um computador conectado ao Roteador 2, responsáveis pelos testes de *download* e *upload* de

arquivos assim como o teste de *streaming* de vídeo. Para o último teste de chamadas *VOIP* adicionou-se à rede dois telefones *IP* capazes de proporcionar chamadas diretas por *IP*. Portanto o diagrama de rede completo está representado na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama da Rede 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Mensuração e exposição dos dados

Com o intuito de facilitar o entendimento da forma de captação e mensuração dos dados gerados, cada teste efetuado nos protocolos de rede sem fio está descrito a seguir.

A primeira informação gerada pelos testes, foi extraída do transceptor localizado no ponto A, o nível de sinal do *link* estabelecido em cada cenário, esta informação não representa diretamente uma característica de desempenho, serve apenas para aferir a qualidade de sinal do enlace, o que por sua vez influencia na capacidade de desempenho de cada protocolo.

Para o primeiro teste, de cada protocolo, a análise de *throughput*, utilizou-se a ferramenta *Mikrotik Badwith Test* que durante 10 minutos gerou um tráfego de pacotes *UDP* entre o Roteador 1 e o Roteador 2, ao final do teste foram colhidos os dados de *throughput* máximo e *throughput* médio expressos em *Mbps* (*Megabits* por segundo). A informação mais relevante e, portanto, a que será levada em conta na análise de resultados é o *throughput* médio, uma vez que representa melhor a capacidade de um *link* em um determinado tempo, quanto maior o *throughput* melhor o desempenho do protocolo.

Juntamente com o teste de *throughput*, foi utilizada a ferramenta *Mikroitk Ping Tool*, onde foi possível aferir em ms (milissegundos) o valor máximo e o médio de latência em cada protocolo, além da percentagem de perda de pacotes. As informações mais relevantes e, portanto, as utilizadas na análise de desempenho foram a latência média e a perda de pacotes, onde quanto menor a latência e perda de pacotes, melhor o desempenho do protocolo.

Para o teste de *download* de arquivos, foi utilizado um arquivo genérico de exatamente 1 GB hospedado no servidor *FTP/Streaming*, a mensuração de desempenho levou em conta o tempo em minutos que cada protocolo necessita para transmitir o arquivo do servidor em direção ao computador, o que caracteriza um *download* de arquivos, onde quanto menor o tempo, melhor a capacidade do *link*.

O teste de *upload* foi efetuado de forma semelhante ao anterior, porém em direção oposta, mediu-se o tempo em minutos necessários em cada protocolo, para a transmissão de um arquivo de exatamente 1 GB do computador em direção ao servidor de *FTP/Streaming*, caracterizando *upload* de arquivos.

O teste de *streaming* de vídeo teve o objetivo de analisar a capacidade de cada protocolo de rede sem fio testado em transmitir vídeos de 31 minutos em *SD* outro em *FullHD* e outro em *4K*, do servidor de *FTP/Streaming* em direção ao computador. A mensuração de desempenho foi visual e utilizou como base a capacidade de transmitir os vídeos sem cortes ou atrasos na imagem ou som, portanto cada protocolo recebeu uma nota de 1 a 5 para cada tipo de vídeo transmitido, onde 1 é a incapacidade total de transmissão e 5 a capacidade de transmitir o vídeo de forma fluida. Junto à transmissão dos vídeos em cada cenário,

foi desempenhado um teste de latência para aferir a perda de pacotes durante a transmissão.

Para o teste de chamadas *VOIP*, utilizou-se dois telefones com tecnologia de chamada direta por *IP*, durante uma chamada de 10 minutos em cada protocolo, foi analisado a capacidade de transmissão de áudio sem cortes, atrasos ou eco.

Para realizar as avaliações dos protocolos quanto à *streaming* de vídeos e chamadas *VOIP*, foi utilizada como base a parametrização sugerida por Siluk (2007, p. 101), conforme demonstra o Quadro 2.

Quadro 2 – Critérios de avaliação (Adaptação da metáfora da sinaleira)

Totalmente insatisfeito	Parcialmente insatisfeito	Satisfeito	Parcialmente satisfeito	Totalmente satisfeito
1	2	3	4	5
Baixo nível de atendimento do item ou fator	Insuficiente atendimento do item ou fator	Moderado atendimento do item ou fator	Suficiente atendimento do item ou fator	Alto nível de atendimento do item ou fator
Não atende o requisito	É inaceitável, mas atende parte do requisito	Aceitável com ressalva	Atende moderadamente o requisito	Atende plenamente o requisito
Pouco importante	Grau insignificante de importância	Grau moderado de importância	Importante	Muito importante
0 a 20%	21 a 40%	41 a 60%	61 a 80%	81 a 100

Fonte: Adaptado pelo autor de Siluk (2007).

Para atender as necessidades dos testes, as opções de avaliação foram parametrizadas, conforme demonstra o Quadro 3.

Quadro 3 – Opções de avaliação de critérios

Valor	Opção de transmissão
5	Capacidade total (excelente)
4	Capacidade boa
3	Capacidade média
2	Capacidade baixa
1	Incapacidade total (Ruim)

Fonte: Adaptado pelo autor de Funke (2015).

4.5 Roteiro de testes

Com base nas informações de transceptores, equipamentos, ferramentas e mensuração de dados, foi possível criar um roteiro de testes para assegurar a integridade e imparcialidade dos dados gerados pelos cenários, o roteiro foi aplicado a cada protocolo testado, segue abaixo os procedimentos em ordem:

- Instalação dos transceptores no ponto A e B do ambiente de testes;
- Configuração dos transceptores no protocolo a ser testado;
- Análise de espectro para obter o canal com menor nível de ruído dentro do ambiente;
- Verificar o nível de sinal obtido no enlace;
- Conectar o Roteador 1 no Ponto de Acesso e o Roteador 2 ao Receptor;
- Efetuar o teste de *throughput* entre o Roteador 1 e o Roteador 2;
- Efetuar o teste de latência entre o Roteador 1 e o Roteador 2;
- Conectar o servidor *FTP/Streaming* ao Roteador 1;
- Conectar o computador ao Roteador 2;
- Iniciar o teste de download de arquivos do servidor ao computador;
- Iniciar o teste de *upload* de arquivos do computador ao servidor;
- Iniciar o teste de *streaming* de vídeo em qualidade *SD* entre o servidor e o computador;
- Iniciar o teste *streaming* de vídeo em qualidade *FullHD* entre o servidor e o computador;
- Iniciar o teste *streaming* de vídeo em qualidade *4K* entre o servidor e o computador;
- Conectar os telefones *VOIP* aos roteadores 1 e 2;

- Iniciar o teste de chamada *VOIP* entre os telefones;

Para evidenciar a integridade e a topologia de rede utilizada em cada cenário, fez-se necessário um acesso externo à rede controlada, afim de validar o funcionamento dos equipamentos utilizados nos testes. Para isto foi efetuado um teste de *ping* em direção à um servidor hospedado na internet antes de inicializar os testes internos em cada protocolo.

5 ANÁLISE DOS DADOS

Este capítulo tem como objetivo analisar e comparar os dados obtidos nos cenários de testes, a fim de chegar às conclusões pertinentes ao objetivo da pesquisa.

5.1 Cenário 1 – Protocolo 802.11b

O primeiro cenário teve como objetivo testar o desempenho do protocolo 802.11b, os transceptores utilizados para os testes foram os *Mikrotik SXT 2*, cujas características técnicas constam no Quadro 2.

Conforme o roteiro de testes, o primeiro passo foi instalar os transceptores simétricos nos pontos A e B conforme a Figura 4, os mesmos foram configurados para operarem apenas no protocolo 802.11b. Apesar de o ambiente não possuir outros equipamentos operando nas frequências de 2.4 GHz, foi utilizada a ferramenta *Mikrotik Frequency Usage* para analisar o espectro de radiofrequência à procura de uma determinada frequência com menor nível de ruído, após a análise, a frequência escolhida foi a 2447 Mhz em 20 Mhz de largura de banda.

Com o *link* estabelecido, o nível de sinal extraído do transceptor no ponto A foi de -61 *dB*, com o cenário montado, adicionou-se os demais equipamentos a medida em que foram necessários e iniciou-se os testes conforme o roteiro de testes, os resultados estão expressos a seguir.

Os primeiros testes de *throughput* e latência transcorreram sem nenhum problema e obtiveram os resultados conforme apresenta o Quadro 4.

Quadro 4 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 2 (802.11b – 2.4 GHz)

Variável	Valor
Throughput médio	6.5 Mbps
Throughput máximo	6.8 Mbps
Latência média	431 ms
Latência máxima	492 ms
Latência mínima	415 ms
Perda de pacotes	0%

Fonte: elaborado pelo autor.

Podemos observar que após 10 minutos de testes, o *throughput* médio foi de 6.5 Mbps, a latência média ficou em 431 ms e a perda de pacotes em 0%.

O teste de *download* de arquivos levou 24:37 minutos para ser concluído, já o teste de *upload* foi concluído em 26:21 minutos.

O Quadro 5 demonstra os resultados aferidos nos testes de *streaming* de vídeo.

Quadro 5 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 2 (802.11b – 2.4 GHz)

Qualidade de vídeo	SD	FULLHD	4K
Nota	5	2	1
Perda de pacotes	0%	65%	88%

Fonte: elaborado pelo autor.

O protocolo 802.11b recebeu nota máxima na transmissão de vídeos em *SD*, não ocorrendo nenhum problema durante a transmissão, porém o mesmo não foi capaz de transmitir o vídeo em *FullHD* com fluidez, apresentando vários cortes de imagem e som durante os 31 minutos de transmissão o que lhe rendeu nota 2, a incapacidade de se quer iniciar a transmissão de um vídeo em *4K* acarretou em uma nota mínima nesse quesito.

O teste que teve como objetivo analisar a qualidade de uma ligação *VOIP*

entre dois telefones, transcorreu sem nenhum problema durante os 10 minutos, portanto nesse teste o protocolo 802.11b recebeu nota 5.

5.2 Cenário 2 – Protocolo 802.11a

Para o segundo cenário foi utilizado o transceptor *Mikrotik SXT 5 AC*, que será utilizado também para os testes dos protocolos 802.11n em 5.8 GHz e 802.11ac, suas características técnicas constam na Tabela 1. Com base no roteiro de testes, o primeiro passo foi instalar os transceptores nos pontos A e B do ambiente de testes e configurá-los para operarem apenas no protocolo 802.11a, a frequência com menor ruído dentro do ambiente, segundo a ferramenta *Frequency Usage* foi 5870 MHz, portanto a utilizada no teste. Com o *link* estabelecido, o sinal extraído do transceptor no ponto A foi de -57 dB.

A medida em que foram necessários, os demais equipamentos foram adicionados ao cenário e os testes iniciados conforme o roteiro pré-estabelecido, os resultados se encontram a seguir.

Os primeiros testes de *throughput* e latência transcorreram sem nenhum problema durante os 10 minutos, os resultados estão representados no Quadro 6.

Quadro 6 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 5 AC (802.11a - 5.8 GHz)

Variável	Valor
Throughput médio	28.3 Mbps
Throughput máximo	29.0 Mbps
Latência média	83 ms
Latência máxima	89 ms
Latência mínima	81 ms
Perda de pacotes	0,00%

Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme o quadro, observamos que o *throughput* médio foi de 28.3 Mbps, a latência média ficou em 83 ms e a perda de pacotes em 0%.

O tempo necessário para o *download* do arquivo de 1 GB foi de 05:47 minutos e o *upload* necessitou de 05:59 minutos para ser concluído.

O Quadro 7 demonstra as notas aferidas durante os testes de *streaming* de vídeos.

Quadro 7 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 5 AC (802.11a - 5.8Ghz)

Qualidade de vídeo	SD	FULLHD	4K
Nota	5	5	2
Perda de pacotes	0%	0%	61%

Fonte: elaborado pelo autor.

O protocolo 802.11a proporcionou a capacidade necessária para executar com perfeição o vídeo em *SD*, portanto obteve nota 5, o mesmo ocorreu com o vídeo em *FullHD*, porém no teste de streaming em *4K*, o protocolo não foi capaz de manter a transmissão que se iniciou e em poucos segundos parou não podendo mais ser retomada o que lhe rendeu nota 2.

O teste de chamada por *VOIP* transcorreu sem nenhum atraso, corte ou eco, portanto nota 5.

5.3 Cenário 3 – Protocolo 802.11g

O terceiro cenário teve como objetivo testar o protocolo 802.11g, portanto foram utilizados os transceptores *Mikrotik SXT 2*.

Com os equipamentos instalados nos pontos A e B do ambiente de testes, os mesmos foram configurados para operarem apenas no protocolo 802.11g, a análise de espectro revelou novamente a frequência 2447 MHz, em 20 MHz de largura de banda, com menor nível de ruído, portanto, a utilizada nos testes.

O *link* estabelecido revelou o nível de sinal extraído do transceptor A em -62 *dB*, adicionou-se então, a medida em que foram necessários, os demais equipamentos para o início dos testes conforme o roteiro, os resultados estão expressos a seguir.

Os 10 minutos de testes de *throughput* e latência transcorreram sem nenhum problema e os resultados estão representados no Quadro 8.

Quadro 8 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 2 (802.11g – 2.4 GHz)

Variável	Valor
Throughput médio	26.6 Mbps
Throughput máximo	28.5 Mbps
Latência média	103 ms
Latência máxima	126 ms
Latência mínima	97 ms
Perda de pacotes	0%

Fonte: elaborado pelo autor.

Após os 10 minutos de testes, o *throughput* médio foi de 26.6 Mbps, a latência média ficou em 103 ms e a perda de pacotes em 0%.

Seguindo o roteiro, o teste de *download* de arquivos foi concluído em 05:57 minutos, já o teste de *upload* precisou de 06:12 minutos para ser concluído.

O Quadro 9 demonstra os resultados do teste visual de *streaming* de vídeos em diferentes qualidades de imagem.

Quadro 9 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 2 (802.11g – 2.4 GHz)

Qualidade de vídeo	SD	FULLHD	4K
Nota	5	4	2
Perda de pacotes	0%	8%	64%

Fonte: elaborado pelo autor.

A análise visual durante o *streaming* de vídeos, revelou que o protocolo 802.11g é capaz de transmitir vídeos em qualidade *SD* sem problema algum, portanto recebeu nota 5, durante o teste de vídeo em *FullHD* ocorreu apenas um travamento de vídeo que logo em seguida foi reestabelecido, portanto recebendo nota 4, o protocolo não se saiu bem durante a transmissão do vídeo em *4K*, segundos após o início da transmissão, o vídeo foi interrompido e o protocolo não conseguiu mais prover a capacidade necessária para retomar a transmissão.

Da mesma forma que nos cenários anteriores, o protocolo 802.11g não teve problemas em proporcionar uma chamada de voz por *IP* entre os dois telefones, portanto nota 5 neste teste.

5.4 Cenário 4 – Protocolo 802.11n em 2.4 Ghz

Uma das características do protocolo 802.11n é a capacidade de operar em 2.4 GHz ou 5.8 GHz, portanto teremos dois cenários de testes para este protocolo. No primeiro deles, foi utilizado o transceptor *Mikroik SXT 2* o mesmo utilizado no cenário anterior, porém desta vez configurado para operar apenas no protocolo 802.11n em 2.4 GHz com 40 MHz de largura de banda, a análise de espectro com a ferramenta *Frequency Usage* revelou a frequência 2447 MHz com o menor nível de ruído dentro do ambiente, portanto a utilizada nos testes. O nível de sinal obtido no *link* foi de -62 dB.

Com os transceptores instalados, adicionou-se ao cenário os demais equipamentos a medida em que foram necessários para a execução dos testes conforme o roteiro, os resultados estão expressos a seguir.

Os primeiros testes de *throughput* e latência transcorreram sem nenhuma falha e revelaram os dados do Quadro 10.

Quadro 10 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 2 (802.11n – 2.4 GHz)

Variável	Valor
Throughput médio	161.9 Mbps
Throughput máximo	199.7 Mbps
Latência média	15 ms
Latência máxima	60 ms
Latência mínima	5 ms
Perda de pacotes	0%

Fonte: elaborado pelo autor.

A capacidade de *throughput* médio do protocolo 802.11n em 2.4 GHz foi de 161.9 Mbps, a latência média durante o teste foi de 15 ms, não houve perda de

pacotes.

O tempo necessário para o *download* do arquivo de 1 GB foi de 02:35 minutos, o tempo de *upload* do mesmo arquivo foi de 02:17 minutos.

O Quadro 11 apresenta os resultados dos testes de *streaming* de vídeo.

Quadro 11 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 2 (802.11n – 2.4 GHz)

Qualidade de vídeo	SD	FULLHD	4K
Nota	5	5	5
Perda de pacotes	0%	0%	0%

Fonte: elaborado pelo autor.

O protocolo 802.11n em 2.4 GHz foi capaz de proporcionar a capacidade suficiente para que vídeos em *SD*, *FullHD* e *4K* fossem executados sem problemas, portanto obteve nota 5 em todos os testes de *streaming*.

O teste de chamada *VOIP* também foi executado sem nenhum problema onde mais uma vez o protocolo obteve nota 5.

5.5 Cenário 5 – Protocolo 802.11n em 5.8 Ghz

Após o teste do protocolo 802.11n em 2.4 GHz, foi executado o cenário para o teste do mesmo protocolo, porém em frequência de 5.8 GHz, portanto os transceptores utilizados neste teste foram os *Mikrotik SXT 5 AC*, instalados nos pontos A e B do ambiente de testes, revelaram um nível de sinal em -58 dB com a utilização da frequência 5870 MHz em 40 MHz de largura de banda, uma vez que a ferramenta *Frequency Usage* a revelou com o menor nível de ruído no ambiente.

Com os transceptores instalados e configurados, os demais equipamentos foram adicionados à medida que foram necessários conforme o roteiro de testes, os resultados seguem abaixo.

Os primeiros testes de *throughput* e latência transcorreu sem problemas e revelaram os resultados no Quadro 12.

Quadro 12 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 5 AC (802.11n – 5.8 GHz)

Variável	Valor
Throughput médio	204.6 Mbps
Throughput máximo	235.8 Mbps
Latência média	15 ms
Latência máxima	27 ms
Latência mínima	1 ms
Perda de pacotes	0%

Fonte: elaborado pelo autor.

O *throughput* médio foi de 204.6 Mbps, a latência média ficou em 15 ms e não houve perda de pacotes.

O tempo necessário para o *download* do arquivo de 1 GB foi de 00:56 segundos, o *upload* foi concluído em 01:10 minutos.

O Quadro 13 demonstra os resultados para os testes de *streaming* de vídeo.

Quadro 13 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 5 (802.11n – 5.8 GHz)

Qualidade de vídeo	SD	FULLHD	4K
Nota	5	5	5
Perda de pacotes	0%	0%	0%

Fonte: elaborado pelo autor.

O protocolo 802.11n em 5.8 GHz, assim como em 2.4 GHz não apresentou problemas durante a execução dos vídeos em *SD*, *FullHD* e *4K*, obtendo nota máxima em todos os testes de *streaming*.

O teste de chamadas *VOIP* também transcorreu sem nenhum problema e, portanto, objete nota 5.

5.6 Cenário 6 – Protocolo 802.11AC

O sexto e último cenário teve o objetivo de testar o protocolo 802.11ac, com base no roteiro de testes, o primeiro passo foi instalar os transceptores nos pontos A

e B do ambiente de testes posterior a isto os mesmos foram configurados de modo a operarem apenas no protocolo 802.11ac, mais uma vez o transceptor utilizado foi o *Mikrotik SXT 5 AC*, a frequência escolhida, com base na ferramenta *Frequency Usage* foi 5870 MHz em 80 MHz de largura de banda.

O nível de sinal obtido no *link* foi de -59 dB, na medida em que foram necessários, os demais equipamentos foram instalados e os testes iniciados conforme o roteiro, os resultados estão expressos a seguir.

Os testes de *throughput* e latência transcorreram sem nenhum problema e os resultados estão no Quadro 14.

Quadro 14 – Testes do equipamento Mikrotik SXT 5 AC (802.11ac – 5.8 GHz)

Variável	Valor
Throughput médio	298.8 Mbps
Throughput máximo	363.6 Mbps
Latência média	10 ms
Latência máxima	19 ms
Latência mínima	1 ms
Perda de pacotes	0%

Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme tabela acima o *throughput* médio foi de 298.8 Mbps, a latência média ficou em 10 ms e não houve perda de pacotes.

Durante o teste de *download*, o protocolo necessitou de 00:41 segundos para concluir a transferência do arquivo de 1 GB, o tempo de *upload* do mesmo arquivo foi de 00:47 segundos.

O Quadro 15 expressa as notas do protocolo quanto ao teste de *streaming*.

Quadro 15 – Avaliação de vídeo - Mikrotik SXT 5 AC (802.11ac – 5.8 GHz)

Qualidade de vídeo	SD	FULLHD	4K
Nota	5	5	5
Perda de pacotes	0%	0%	0%

Fonte: elaborado pelo autor.

O protocolo 802.11ac não teve nenhum problema ao transmitir vídeos em *SD*, *FullHD* ou *4K*, portanto teve nota máxima em todos os testes de *streaming*.

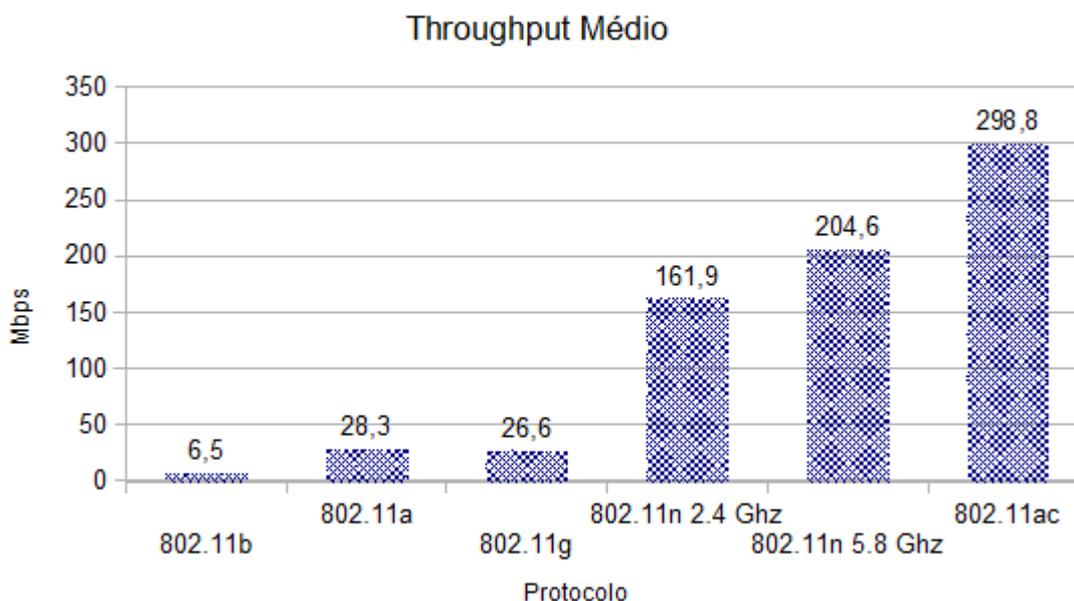
Da mesma forma que no teste anterior, o protocolo proporcionou uma chamada de *VOIP* sem nenhum atraso, corte ou eco no áudio, portanto nota 5.

5.7 Análise de Resultados

A seguir estão expostas as análises de resultados obtidos nos testes de cada cenário, foram utilizados gráficos para auxiliarem na compreensão e comparação dos dados gerados.

O primeiro teste de cada protocolo, o teste de *throughput* gerou o gráfico a seguir.

Gráfico 1 – Throughput Médio



Fonte: elaborado pelo autor.

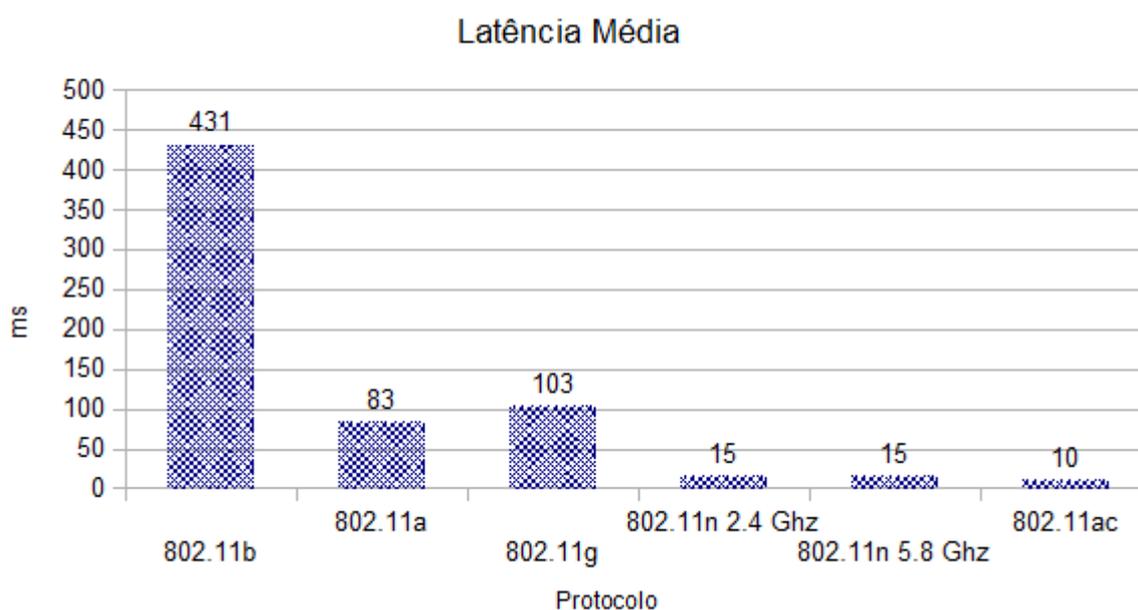
É evidente o ganho de performance de *throughput* em redes sem fio ao longo do tempo, os testes revelaram que o atual protocolo 802.11ac possui 46 vezes mais capacidade de *throughput* que o primeiro protocolo lançado em meados de 1999,

observa-se também que houve um ganho significativo de capacidade de *throughput* com o surgimento do protocolo 802.11n em relação aos protocolos que o antecederam.

Outra análise importante é a superioridade de *throughput* em protocolos que trabalham em frequências de 5.8 GHz

O teste de latência que foi efetuado junto ao teste de *throughput* em cada protocolo, gerou os dados expressos no gráfico a seguir.

Gráfico 2 – Latência Média

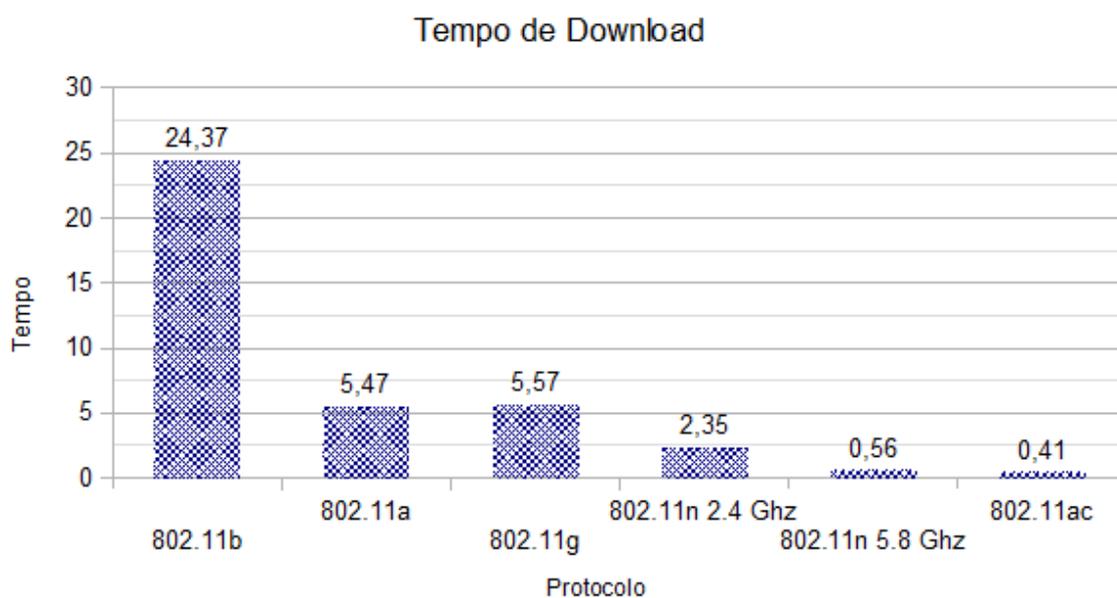


Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar de não ser uma informação muito relevante ao desempenho do protocolo, é evidente no gráfico, o ganho de qualidade no tratamento da latência dos protocolos ao longo do tempo.

O teste de *download* de um arquivo genérico com 1 GB de tamanho, mostrou os resultados expressos em minutos no gráfico a seguir.

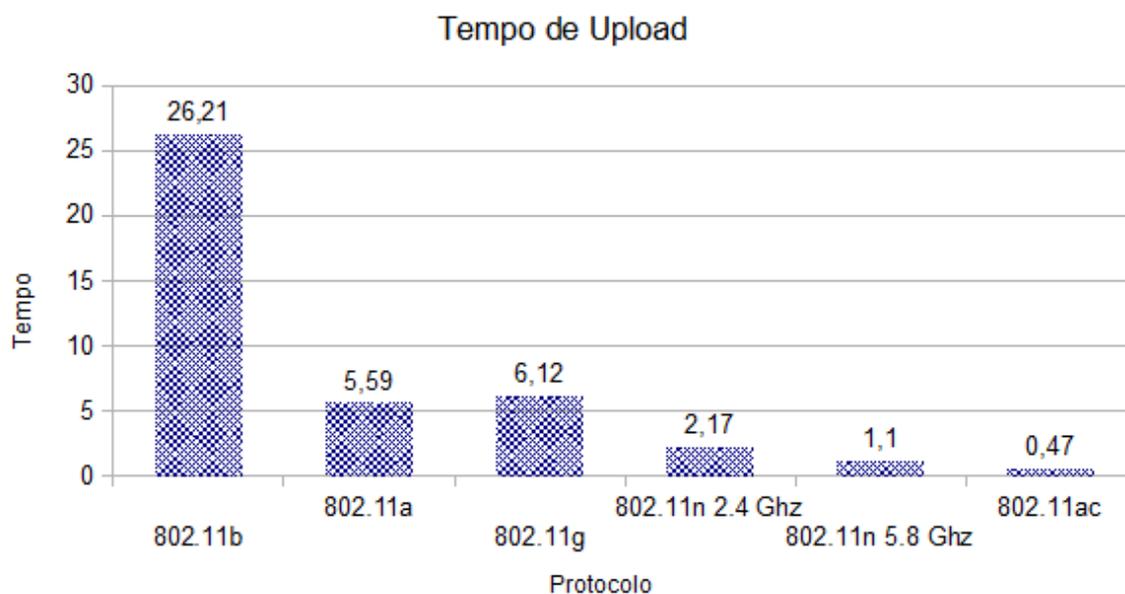
Gráfico 3 – Tempo de Download



Fonte: elaborado pelo autor.

Em quanto que o protocolo 802.11b leva 24 minutos e 37 segundos para proporcionar o *download* de um arquivo de 1 GB o protocolo 802.11ac necessitou apenas de 41 segundos para fazer o *download* do mesmo arquivo, um ganho de performance de *download*, de 59 vezes entre o primeiro e o último protocolo testado, mais uma vez protocolos que operam em faixas de frequência de 5.8 GHz obtiveram desempenho melhor que os protocolos operando em frequências de 2.4 GHz.

Gráfico 4 – Tempo de Upload

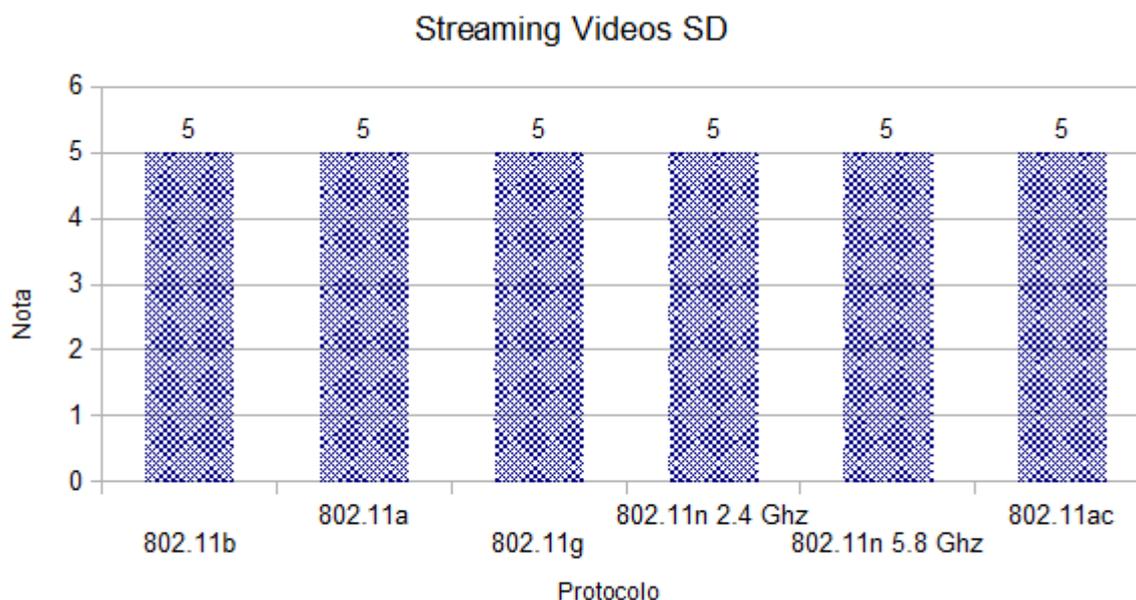


Fonte: elaborado pelo autor.

Resultados semelhantes aos testes de *download* foram obtidos nos testes de *upload* do arquivo de 1 GB, mais uma vez ficou evidente o ganho de performance dos protocolos de rede sem fio ao longo do tempo.

A seguir os gráficos com resultados dos testes de *streaming* de vídeos para cada protocolo.

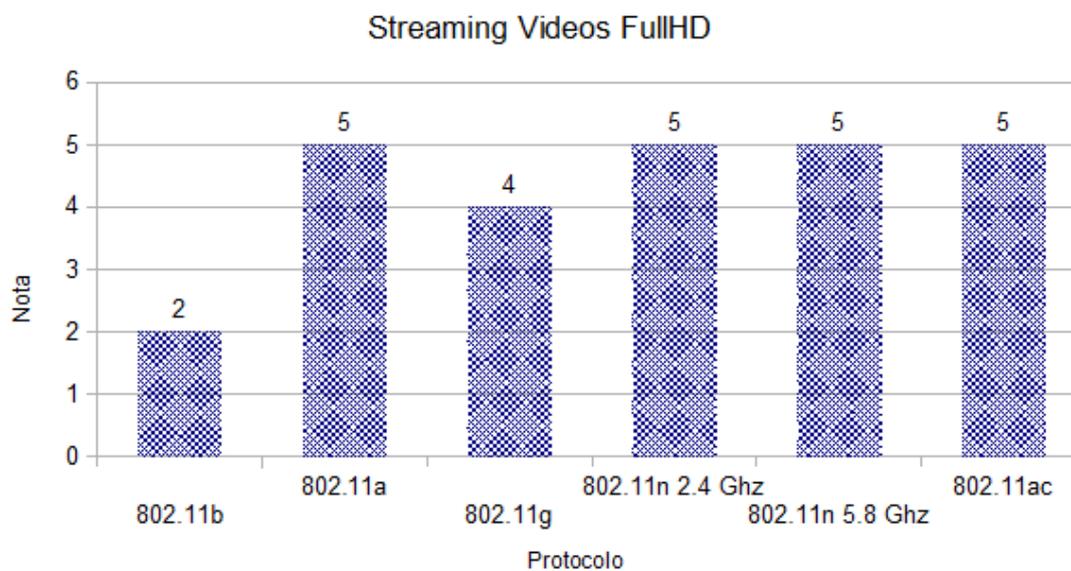
Gráfico 5 – Streaming Vídeos SD



Fonte: elaborado pelo autor.

Todos os protocolos obtiveram desempenho satisfatório ao transmitir vídeos em qualidade *SD*, o que demonstra que qualquer protocolo de rede sem fio testado neste estudo é capaz de transmitir de forma fluida vídeos em qualidade reduzida.

Gráfico 6 – Streaming Vídeos FullHD

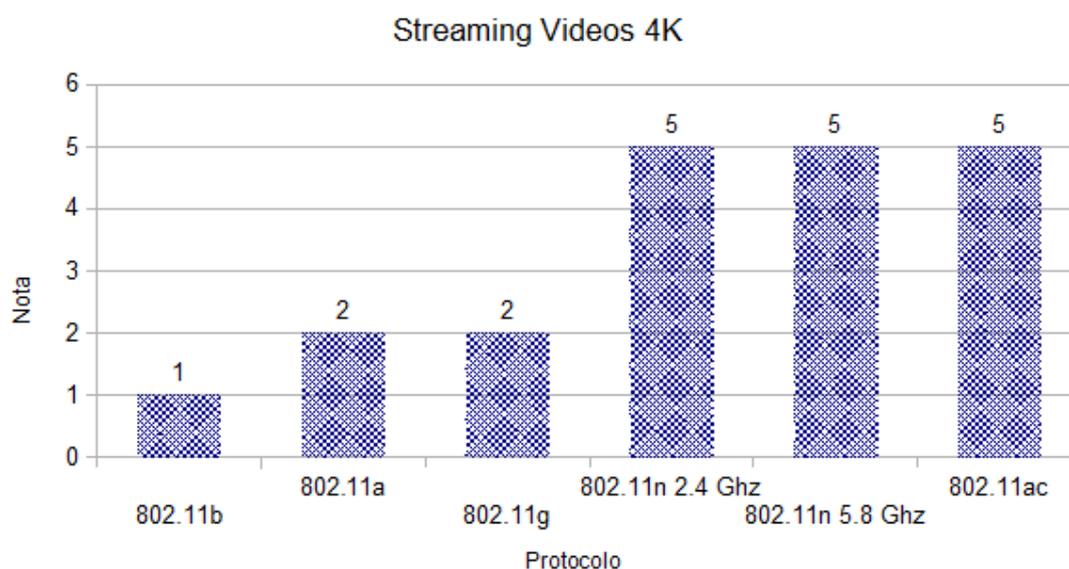


Fonte: elaborado pelo autor.

Durante o teste de streaming de vídeos em *FullHD*, o protocolo 802.11b teve

um desempenho ruim, seguido do protocolo 802.11g que por um detalhe não obteve nota máxima, os demais protocolos desempenharam a função sem problemas, obtendo nota máxima.

Gráfico 7 – Streaming Vídeos 4K

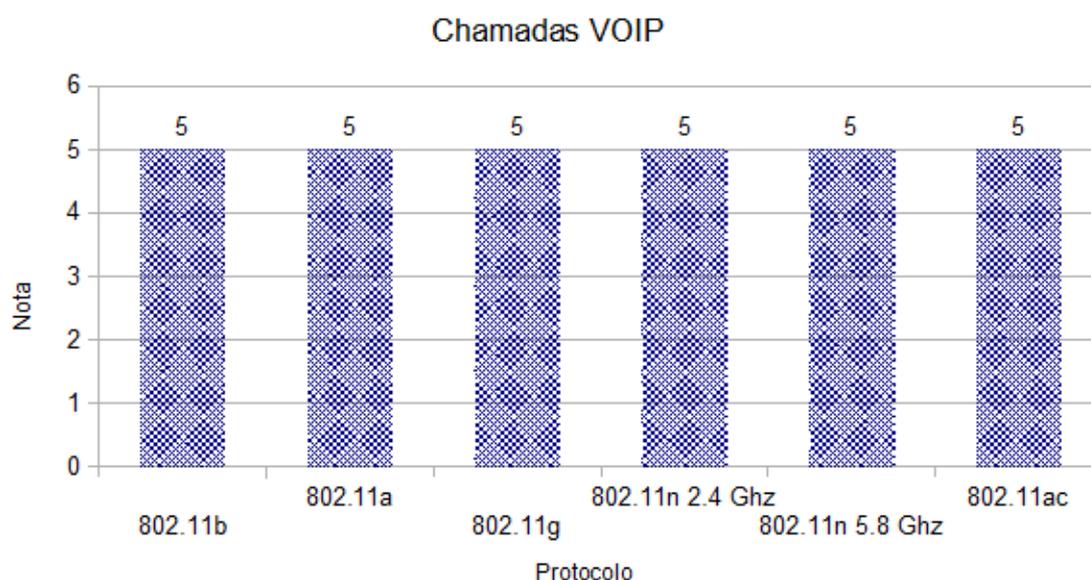


Fonte: elaborado pelo autor.

Durante os testes de *streaming* de vídeo em *4K*, os únicos protocolos que obtiveram resultados satisfatórios, foram os protocolos 802.11n em 2.4 ou 5.8 GHz e o protocolo 802.11ac, os demais não são recomendados a este tipo de aplicação.

O último teste de cada protocolo, o teste de chamadas *VOIP* revelou os dados da tabela abaixo.

Gráfico 8 – Chamadas VOIP



Fonte: elaborado pelo autor.

Para os testes de chamadas *VOIP*, todos os protocolos obtiveram resultados satisfatórios, se o objetivo da rede sem fio é proporcionar chamadas *VOIP* ou aplicações semelhantes, qualquer protocolo é capaz de desempenhar esta tarefa sem problemas.

Dois apêndices localizados ao final do trabalho demonstram em formato de quadro os resultados de testes para cada cenário. O Apêndice A – Análise de Resultados, demonstra os dados para os testes de *throughput*, latência, *download* e *upload*, já o Anexo B – Análise do teste com vídeo, representa os resultados para os testes de vídeo em cada protocolo.

6 CONCLUSÃO

A quantidade cada vez maior de dispositivos e aplicações que utilizam a *internet* demanda das redes sem fio, uma capacidade cada vez maior, este estudo se propôs a analisar o desempenho de cada protocolo de rede sem fio cujos equipamentos estão comercialmente disponíveis no mercado, e os testes revelaram que é evidente a evolução desta tecnologia ao longo dos anos.

O primeiro objetivo específico do estudo, analisar o desempenho de cada protocolo de rede sem fio, foi executado com êxito, trazendo parâmetros de comparação e análise entre eles.

Para o segundo e terceiro objetivo específico do estudo, a comparação dos resultados de cada protocolo, verificou-se que para determinadas aplicações, os protocolos que possuem menor capacidade, são suficientes para proporcionar a fluidez necessária, já quando as aplicações demandam mais capacidade como no caso de *streaming* de vídeos em *FullHD* ou *4K*, deve-se optar por protocolos de rede sem fio mais avançados que possam proporcionar mais capacidade.

É importante salientar que para que se tenha a capacidade total de um determinado protocolo ambos equipamentos utilizados em uma rede sem fio devem ser compatíveis com o mesmo, de nada adianta fazer a substituição de um roteador, por exemplo, se o *notebook*, *smartphone* ou qualquer outro dispositivo não seja compatível com o protocolo em que o roteador opera.

O presente estudo, deve auxiliar na decisão por parte de usuários domésticos ou gestores de redes sem fio, na aquisição de equipamentos de wireless

compatíveis com um determinado protocolo ou outro, dependendo do nível de desempenho que cada rede deve proporcionar no ambiente.

Sugere-se para trabalhos futuros, uma análise de desempenho dos protocolos em enlaces do tipo ponto-multi-ponto, além da utilização de equipamentos de fabricantes diferentes, o que enriqueceria ainda mais o estudo de comparação entre os protocolos de rede sem fio.

REFERÊNCIAS

AAKER, D. A.; KUMAR, V.; DAY, G. S. **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas, 2011.

BARROS, Aidil J. da Silveira; LEHFELD, Neide A. de Souza. **Fundamentos de metodologia científica**: um guia para a iniciação científica. São Paulo: Makron Books, 2000.

BEUREN, Ilse Maria. **Como Elaborar Trabalhos de Monografia em Contabilidade**: Teoria e Prática. 3. ed., São Paulo, 2006.

CHEMIN, Beatris Francisca. **Manual da Univates para trabalhos acadêmicos**: planejamento, elaboração e apresentação. 3. ed. Lajeado: ed. Univates, 2015.

FLICKENGER, Rob et al. **Redes sem fio no mundo em desenvolvimento**. 2. ed. Hacker Friendly, 2007.

FOROUZAN, Behrouz A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 4. ed. São Paulo: Mc Graw Hil, 2008.

FUNKE, E. **Modelagem para a Mensuração de desempenho com base na Satisfação de clientes da BRASILATA S/A**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

GIL, Antonio C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MALHOTRA, Naresh K. **Pesquisa de marketing**: foco na decisão. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

MORAES, Alexandre Fernades de. **Redes sem fio: Instalação, configuração e segurança**. 1. ed. São Paulo: Erica, 2010.

PLAZA, William R. **Entendendo o Wi-Fi 802.11ac**. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/artigos/entendendo-Wi-Fi-802.11-ac/>>. Acesso em: 11 out. 2015.

SILUK, J. M. **Modelo de gestão organizacional com base em um sistema de avaliação de desempenho**. 2007. 176f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

TANENBAUM, Andrew S., WETHERALL, David. **Redes de computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Análise de resultados

Cenários	1	2	3	4	5	6
Equipamento	Mikrotik SXT 2	Mikrotik SXT 5 AC	Mikrotik SXT 2	Mikrotik SXT 2	Mikrotik SXT 5 AC	Mikrotik SXT 5 AC
Protocolo	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11n	802.11AC
Frequência	2,4Ghz	5.8Ghz	2,4Ghz	2.4 Ghz	5.8Ghz	5.8Ghz
Variável	Valores					
Throughput médio	6.5 Mbps	28.3 Mbps	26.6 Mbps	161.9 Mbps	204.6 Mbps	298.8 Mbps
Throughput máximo	6.8 Mbps	29.0 Mbps	28.5 Mbps	199.7 Mbps	235.8 Mbps	363.6 Mbps
Latência média	431 ms	83 ms	103 ms	15 ms	15 ms	10 ms
Latência máxima	492 ms	89 ms	126 ms	60 ms	27 ms	19 ms
Latência mínima	415 ms	81 ms	97 ms	5 ms	1 ms	1 ms
Perda de pacotes	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Download 1 Gb	24:37	5:47	5:57	2:35	0:56	0:41
Upload 1 Gb	26:21	5:59	6:12	2:17	1:10	0:47

APÊNDICE B – Análise do teste com Vídeo

Cenários	1	2	3	4	5	6
Equipamento	Mikrotik SXT 2	Mikrotik SXT 5 AC	Mikrotik SXT 2	Mikrotik SXT 2	Mikrotik SXT 5 AC	Mikrotik SXT 5 AC
Protocolo	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11n	802.11AC
Frequência	2,4 Ghz	5.8 Ghz	2,4 Ghz	2.4 Ghz	5.8 Ghz	5.8 Ghz
Formato do vídeo	Notas para a Qualidade de Vídeo					
SD	5	5	5	5	5	5
FULLHD	2	5	4	5	5	5
4K	1	2	2	5	5	5
	Resultado					
	8	12	11	15	15	15