

CENTRO PAULA SOUZA 4 ANOS
COMPETÊNCIA EM EDUCAÇÃO PÚBLICA PROFISSIONAL

**GOVERNO DE
SÃO PAULO**

**Faculdade de Tecnologia de Americana
Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação**

WIRELESS LAN: ESTUDO DO PADRÃO IEEE 802.11

EDUARDO TADAO MATSUNAGA

**Americana, SP
2012**



**Faculdade de Tecnologia de Americana
Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação**

WIRELESS LAN: ESTUDO DO PADRÃO IEEE 802.11

EDUARDO TADAO MATSUNAGA

eduardo.matsunaga@fatec.sp.gov.br

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido em cumprimento à exigência curricular do Curso Superior de Tecnologia em Segurança da Informação, sob a orientação do Prof. Evandro Varonil.

Área: Wireless

**Americana, SP
2012**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Evandro Varonil (Orientador)

Prof. Carlos Henrique Sarro

Prof. José William Gomes

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus que sempre está presente em minha vida, me guiando, orientando e iluminando meu caminho.

Aos meus pais, Milton e Elza, para quem devo tudo que sou, meus exemplos de vida, seus ensinamentos constantes seguirão comigo por toda a vida.

A todos os meus familiares e amigos que sempre me apoiaram e incentivaram nos momentos mais difíceis.

A todos os professores da Fatec Americana, em especial ao orientador deste trabalho, Evandro Varonil, que sempre nos apoiaram e ajudaram durante todo o curso de Segurança da Informação, compartilhando seus conhecimentos e experiências com todos os alunos.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, irmãos, familiares e amigos que se fizeram sempre presentes em todos os momentos necessários.

RESUMO

Nos últimos anos, o avanço da tecnologia e a crescente necessidade de maior mobilidade e flexibilidade, fizeram com que as *wireless* LANs (redes sem fio locais) ocupassem um espaço importante no segmento de redes de computadores. Cada vez mais pessoas, empresas, locais públicos e órgãos governamentais tem utilizado as redes sem fio. O rápido avanço das tecnologias *wireless*, a redução dos preços de dispositivos sem fio, o aumento das velocidades de transmissão e o melhoramento da segurança dessas redes foram fatores primordiais para aumentar a popularidade das redes sem fio, fazendo com que elas se tornassem uma necessidade. Com base neste cenário atual, este trabalho visou realizar um estudo do padrão IEEE 802.11, que é o padrão de fato usado nas redes sem fio. É importante entender o funcionamento das tecnologias envolvidas, suas características e peculiaridades, afim de tirar o melhor proveito possível dos benefícios que o uso das redes *wireless* nos proporcionam.

Palavras Chave: *wireless* LANs, padrão IEEE 802.11, mobilidade

ABSTRACT

In the last few years, technology advances and the increasing need for greater mobility and flexibility, have made wireless LANs (Local Area Network) occupy an important space in the segment of computer networks. More and more people, companies, public places and the government have been using wireless networks. The rapid advancement of wireless technologies, the decreasing of the prices of wireless devices, the increase in transmission speeds and the security improvements of those networks were main factors for increasing the popularity of wireless networks, causing them to become a people's need. Based on this current scenario, this project aimed to conduct a study of IEEE 802.11 standard, which is the one used in wireless networks. It is important to understand all technologies involved, their characteristics and peculiarities, in order to enjoy the benefits that wireless networks can provide us.

Keywords: wireless LANs, IEEE 802.11 standard, mobility

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1 REDES SEM FIO: VISÃO GERAL, FUNDAMENTOS, TECNOLOGIAS E ORGANIZAÇÕES	3
1.1 HISTÓRIA DAS REDES SEM FIO LOCAIS (WLAN)	3
1.2 O QUE O TERMO WI-FI SIGNIFICA?	4
1.3 ORGANIZAÇÕES DE NORMALIZAÇÃO DAS REDES SEM FIO.....	5
1.4 RADIOFREQUÊNCIA (RF)	7
1.4.1 Comportamentos da Radiofrequência	11
1.4.2 Unidades Básicas de Medida de Radiofrequência.....	15
1.4.3 Componentes.....	16
1.5 MÉTODOS DE ACESSO A REDE.....	17
1.5.1 <i>Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)</i>	17
1.5.2 <i>Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)</i>	18
1.5.3 <i>Distributed Coordination Function (DCF)</i>	19
1.6 TECNOLOGIA SPREAD SPECTRUM	20
1.6.1 <i>Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)</i>	21
1.6.2 <i>Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)</i>	22
1.6.3 <i>High Rate/Direct-Sequence Spread Spectrum (HR/DSSS)</i>	22
1.6.4 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)</i>	23
1.6.5 <i>Multiple Input/Multiple Output (MIMO)</i>	23
2 PRINCIPAIS PADRÕES IEEE 802.11	25
2.1 VISÃO GERAL DO PADRÃO IEEE 802.11	25
2.2 EXTENSÕES RATIFICADAS IEEE 802.11	29
2.2.1 802.11b.....	29
2.2.2 802.11a.....	29
2.2.3 802.11g.....	30

2.2.4	802.11i.....	33
2.2.5	802.11n.....	35
2.2.6	Outras Extensões do Padrão IEEE 802.11	38
2.2.7	A Próxima Geração de Padrões: Padrão IEEE 802.11ac.....	39
3	ESTUDO DE CASOS	43
3.1	PRIMEIRO CENÁRIO - JPERF	45
3.2	SEGUNDO CENÁRIO - JPERF	47
3.3	CONCLUSÕES DO PRIMEIRO E SEGUNDO CENÁRIOS.....	48
3.4	TESTE COM <i>STREAMING</i> DE VÍDEO	49
3.4.1	Primeiro Cenário - <i>Streaming</i> de Vídeo	49
3.4.2	Segundo Cenário - <i>Streaming</i> de Vídeo	50
3.5	TESTE - COPIANDO ARQUIVOS.....	52
3.5.1	Primeiro Cenário - Copiando Arquivo	52
3.5.2	Segundo Cenário - Copiando Arquivo	52
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Wi-Fi Certified Logo (Coleman, 2009)	6
Figura 2: Radio Frequência usada em diferentes dispositivos e aplicações para prover comunicação (Bartz, 2009)	8
Figura 3: RF transmissor e receptor. Numa WLAN podem ser o ponto de acesso ou o dispositivo cliente (Bartz, 2009).....	8
Figura 4: O comprimento de onda é a distância de um ciclo completo, medido em centímetros ou polegadas (Bartz, 2009)	9
Figura 5: Frequência de uma onda (Bartz, 2009).....	9
Figura 6: Amplitude - Dois sinais na mesma frequência com diferentes amplitudes (Bartz, 2009).....	10
Figura 7: Fase é a diferença em graus entre dois sinais (Bartz, 2009)	10
Figura 8: Absorção de RF (Bartz, 2009).....	12
Figura 9: Reflexão de RF (Bartz, 2009).....	12
Figura 10: Refração de RF (Bartz, 2009)	13
Figura 11: Difração de RF (Bartz, 2009)	13
Figura 12: Espalhamento de RF (Bartz, 2009)	14
Figura 13: Dispositivos WLAN usando CSMA/CA e DCF (Bartz, 2009)	20
Figura 14: Tecnologia Spread Spectrum (Bartz, 2009)	20
Figura 15: Gerações de Padrões - Linha do Tempo (Broadcom, 2012).....	39
Figura 16: 5G Wi-Fi Logo (Broadcom, 2012).....	40
Figura 17: Roteador Dlink DIR-600 - Configurações avançadas de wireless (Arquivo Pessoal)	44
Figura 18: Primeiro Cenário - Mapa da Rede - Desktop (802.11n) / Sony Vaio (802.11g) (Arquivo Pessoal).....	44
Figura 19: Segundo Cenário - Mapa da Rede - Desktop (802.11n) / Lenovo (802.11b) (Arquivo Pessoal).....	45
Figura 20: Jperf - Configuração do Servidor (Arquivo Pessoal)	45
Figura 21: Jperf - Configuração do Cliente (Arquivo Pessoal)	46

Figura 22: Jperf - Resultado do teste referente ao Primeiro Cenário - 802.11g - Parte 1 (Arquivo Pessoal)	46
Figura 23: Jperf - Resultado do teste referente ao Primeiro Cenário - 802.11g - Parte 2 (Arquivo Pessoal)	47
Figura 24: Desktop (192.168.0.100) usando o padrão 802.11n e o Lenovo (192.168.0.101) usando o padrão 802.11b (Arquivo Pessoal)	47
Figura 25: Jperf - Resultado do Segundo Cenário - 802.11b (Arquivo Pessoal)	48
Figura 26: Configuração do Roteador - Primeiro Cenário Streaming (Arquivo Pessoal)	50
Figura 27: Resultado do Teste de Streaming - Primeiro Cenário (Arquivo Pessoal)	50
Figura 28: Configuração do Roteador - Segundo Cenário Streaming (Arquivo Pessoal)	51
Figura 29: Resultado do Teste de Streaming - Segundo Cenário (Arquivo Pessoal)	51
Figura 30: Resultado do Primeiro Cenário - Copiando iTunes64.exe - 802.11g (Arquivo Pessoal)	52
Figura 31: Resultado do Segundo Cenário - Copiando iTunes64Setup.exe - 802.11b (Arquivo Pessoal)	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Canais na faixa de frequência de 2.4 GHz ISM (Bartz, 2009)	11
Tabela 2: Canais de Frequência na faixa de 5 GHz (Bartz, 2009)	11
Tabela 3: Padrão 802.11-1999 e suas extensões, 1-8 foram incorporados pelo padrão 802.11-2007 (IEEE Communications Magazine, 2010).....	26
Tabela 4: Padrão 802.11-2007 tem 5 extensões. Para evitar confusão com outros padrões as letras l, o, q e x não são usadas (IEEE Communications Magazine, 2010)	28
Tabela 5: Extensões em desenvolvimento (IEEE Communications Magazine, 2010)	28
Tabela 6: Comparativo do padrão 802.11 (Coleman, 2009)	33
Tabela 7: Taxa de dados dos padrões 802.11 a/b/g/n em Mbps (Wi-Fi Alliance, 2009)	37

GLOSSÁRIO

AC	- Corrente Alternada
AES	- <i>Advanced Encryption Standard</i>
ALOHA	- Primeira rede sem fio, criada pela Universidade do Havai
AP	- <i>Access Point</i>
CCK	- Chaveamento de Código Complementar
CCMP	- <i>Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol</i>
CSMA/CA	- <i>Carrier Sense Multiple Access /Collision Avoidance</i>
CSMA/CD	- <i>Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection</i>
dB	- Decibel
dBd	- Decibel Dipolo
dBi	- Decibel Isotrópico
dBm	- Decibel Relativo a um Milliwatt
DCF	- <i>Distributed Coordinated Function</i>
DSSS	- <i>Direct-Sequence Spread Spectrum</i>
EAP	- <i>Extensible Authentication Protocol</i>
EIRP	- <i>Equivalent Isotropically Radiated Power</i>
ERP	- <i>Extended Rate Physical</i>
FCC	- <i>Federal Communications Commission</i>
FHSS	- <i>Frequency-Hopping Spread Spectrum</i>
FSPL	- <i>Free Space Path Loss</i>
Gbps	- Gigabit por segundo
GHz	- Gigahertz
HR	- <i>High Rate</i>
HT	- <i>High Transmission</i>
HT	- <i>High Throughput</i>
IEEE	- <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
ISM	- <i>Industrial, Scientific and Medical</i>
IR	- <i>Intentional Radiator</i>
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>

ITU-R	- <i>International Telecommunication Union Radiocommunication Sector</i>
Kbit/s	- Kilobits por segundo
LAN	- <i>Local Area Network</i>
MAC	- Abreviação usada para se referir a Camada MAC do Modelo OSI
Mbps	- Mega bits por segundo
MHz	- Megahertz
MIMO	- Multiple Input Multiple Output
mW	- Milliwatt
OFDM	- <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
PHY	- Abreviação usada para se referir Camada Física do Modelo OSI
PSK	- <i>Pre-shared Key</i>
QoS	- <i>Quality of Service</i>
RF	- Radiofrequência
RSN	- <i>Robust Security Network</i>
SGI	- <i>Short Guard Interval</i>
SISO	- <i>Single Input Single Output</i>
SM	- <i>Spatial Multiplexing</i>
STBC	- <i>Space Time Block Coding</i>
TG	- <i>Task Group</i>
TKIP	- <i>Temporal Key Integrated Protocol</i>
VHF	- <i>Very High Frequency</i>
W	- Watt
WECA	- <i>Wireless Ethernet Compatibility Alliance</i>
WEP	- <i>Wired Equivalent Privacy</i>
Wi-Fi	- Nome pelo qual é conhecido a <i>wireless LAN</i>
WLAN	- <i>Wireless Local Area Network</i>
WPAN	- <i>Wireless Personal Area Network</i>
UNII	- <i>Unlicensed National Information Infrastructure</i>

INTRODUÇÃO

No cenário tecnológico atual, nos últimos anos, as redes *wireless*, em especial as redes Wi-Fi, conquistaram um espaço importantíssimo no cotidiano das pessoas, empresas, escolas, bares, lanchonetes, aeroportos, cafés, etc. As redes sem fio estão cada vez mais presentes no dia-a-dia das pessoas e isso se deve principalmente a crescente necessidade de maior mobilidade, flexibilidade, relocação, interligação e cobertura de locais difíceis de se ligar ou de difícil acesso. O rápido avanço das tecnologias *wireless*, que proporcionam conexões mais rápidas e estáveis, maior alcance, maior segurança, combinados com preços mais acessíveis estão contribuindo, e muito, para aumentar a popularidade das redes sem fio. Apesar de toda essa demanda, as redes sem fio ainda são uma novidade para a maioria das pessoas. Ao mesmo tempo que ela é mais acessível ao usuário iniciante, ela traz consigo uma imensa variedade de tecnologias e conceitos os quais vão desde as leis da física até as tecnologias de ponta. Com o intuito de melhor usar e melhor aproveitar os benefícios que as redes sem fio nos proporcionam, faz-se necessário um entendimento mais abrangente do seu funcionamento e das tecnologias que estão atreladas à essas redes.

O objetivo geral deste trabalho foi proporcionar uma visão geral do padrão IEEE 802.11, que é padrão de fato usado nas *wireless* LANs. O IEEE foi o órgão responsável pela criação e padronização do padrão 802.11, o qual se divide em várias outras extensões. Faz-se necessário um entendimento mais profundo e abrangente de todos os conceitos que o padrão usa para melhor usufruir de seus benefícios.

O método científico de pesquisa utilizado foi uma revisão bibliográfica, baseado em livros técnicos, artigos, periódicos, *websites*, revistas e também na própria Internet. Também foram consultados profissionais da área, para um melhor entendimento do assunto tratado.

O trabalho foi estruturado em quatro capítulos, sendo que o primeiro proporciona uma visão geral do conceito de *wireless*, fala também sobre as organizações de normalização e as tecnologias usadas.

O segundo capítulo conceitua os principais padrões IEEE 802.11, entre eles podemos destacar o padrão original 802.11 e os padrões 802.11 a/b/g/n. O final desse capítulo é caracterizado com uma prévia do novo padrão IEEE 802.11ac, que ao que tudo indica será o sucessor do padrão 802.11n, que é o padrão mais atual e mais comumente usado. O padrão 802.11ac promete trazer melhorias incríveis para as redes sem fio locais.

O terceiro capítulo trata de alguns estudos de casos, através da realização de alguns testes práticos. O objetivo principal desse capítulo foi demonstrar na prática as diferenças de um padrão para o outro. Foram utilizados alguns *softwares* livres para realização desses testes como por exemplo o Jperf (para medir a vazão de dados e o desempenho) e o Networx (para medir a velocidade de transferência e o tempo). Foram executados testes de vazão de dados, *streaming* de vídeo (tecnologia que permite a execução de áudio e vídeo na rede) e cópia de arquivos.

Com base nas informações conseguidas a partir dos estudos realizados nos capítulos anteriores, o quarto capítulo se reserva às considerações finais no que se referem as redes *wireless* e ao padrão IEEE 802.11. Nesse capítulo, de uma maneira geral, é feito uma análise de tudo que foi incluído nesse trabalho, as pesquisas, as experiências, os testes, enfim, é feito uma análise global do trabalho, onde o objetivo maior foi concluir o que esse trabalho proporcionou e o que o futuro nos espera, em se falando de redes *wireless*.

1 REDES SEM FIO: VISÃO GERAL, FUNDAMENTOS, TECNOLOGIAS E ORGANIZAÇÕES

Este capítulo tem como finalidade fornecer uma visão geral sobre as redes sem fio, um pouco de sua história e sua evolução até chegar nos dias atuais. Serão abordados também os principais fundamentos e tecnologias utilizadas nessas redes.

1.1 HISTÓRIA DAS REDES SEM FIO LOCAIS (WLAN)

Foi no século 19 que começaram a surgir as primeiras teorias sobre os conceitos de radiofrequência eletromagnética. Dentre os primeiros inventores e cientistas podemos citar Michael Faraday, James Clerk Maxwell, Heinrich Rudolf Hertz, Nikola Tesla, David Edward Hughes, Thomas Edison e Guglielmo Marconi, eles foram os primeiros a desenvolver e experimentar a comunicação sem fio.

A tecnologia de redes sem fio foi usada pela primeira vez pelos militares norte-americanos durante a Segunda Guerra Mundial. Planos de batalhas eram enviados através de meios de radiofrequência usando tecnologia de criptografia através das linhas inimigas. As tecnologias de rádio de espectro espalhado (*spread spectrum*) mais usadas hoje nas redes sem fio locais (WLAN - *Wireless Local Area Network*) foram patenteadas durante a Segunda Guerra, embora sua implementação tenha ocorrido apenas quase duas décadas mais tarde.

Em 1970, a Universidade do Havaí desenvolveu a primeira rede sem fio, chamada de ALOHA, usada na transmissão sem fio de dados entre as ilhas havaianas. A rede usava um sistema de interconexão de comunicação aberto, cujo protocolo era de camada 2 (enlace) e operava na faixa de frequência de 400 MHz.

Somente a partir de 1990 que os fornecedores de redes comerciais começaram a produzir produtos de redes sem fio de baixa velocidade, os quais operavam na faixa de frequência de 900 MHz. O Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE - *Institute of Electrical and Electronic Engineers*) começou a discutir a padronização das redes sem fio locais (WLAN) em 1991. Em 1997, o IEEE ratificou o padrão original 802.11 que deu origem as tecnologias WLAN que

conhecemos hoje. A tecnologia legada 802.11 foi implementada de fato entre 1997 e 1999, principalmente nas indústrias, com leitores de código de barra sem fio.

Em 1999, o IEEE definiu o padrão 802.11b, o qual operava com velocidades altas de dados, para a época. A introdução de taxas de dados com velocidades de 11 Mbps (Mega bits por segundo), junto com a baixa de preços dos equipamentos sem fio (*wireless*), impulsionou a venda destes para pequenos escritórios e pequenas empresas. Apesar de uma resistência inicial à tecnologia 802.11, pequenas companhias, médias empresas e corporações perceberam a importância e o valor da implementação da tecnologia sem fio 802.11 nas suas empresas (Coleman, 2009).

1.2 O QUE O TERMO WI-FI SIGNIFICA?

Muitas pessoas erroneamente assumem que Wi-Fi é um acrônimo de Wireless Fidelity, porém Wi-Fi é simplesmente uma marca de mercado usada para se referir a tecnologia 802.11 WLAN. O grupo WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance* ou Aliança de Compatibilidade de Redes Sem Fio), seu fundador, mudou o seu nome para Wi-Fi Alliance. Isso contribuiu para que as pessoas assumissem o termo Wi-Fi como o seu acrônimo. De acordo com Coleman (2009:3):

[...] o termo Wi-Fi define a interoperabilidade de dispositivos através do padrão 802.11. Ser certificado Wi-Fi garante que o produto foi testado e aprovado pelo laboratório de testes Wi-Fi Alliance e isso garante que ele está pronto para interoperar com outros produtos certificados Wi-Fi.

Eles também destacam que:

[...] a tecnologia IEEE 802.11, mais conhecida como Wi-Fi, é uma tecnologia padrão para prover comunicações de redes locais (LAN) usando radiofrequência (RF). O IEEE designou o padrão 802.11-2007 como um guia para prover parâmetros operacionais para redes sem fio locais (WLANs).

1.3 ORGANIZAÇÕES DE NORMALIZAÇÃO DAS REDES SEM FIO

As principais organizações de normalização segundo Coleman (2009) são:

Federal Communications Commission (FCC)

A Comissão de Comunicação Federal (FCC) regulamenta as comunicações dentro e fora dos Estados Unidos. A FCC é responsável por regular as comunicações interestaduais e internacionais de rádio, televisão, fio, satélite e cabo. A tarefa da FCC nas redes sem fio é regular os sinais de rádio que são usados pelas redes sem fio. Existem duas categorias de comunicação sem fio: licenciada e não licenciada. Ambas são controladas de acordo com as seguintes áreas:

- Frequência;
- Largura de Banda;
- Potência máxima do radiador intencional;
- Equivalente máximo da potência isotropicamente irradiada;
- Uso interno e ou externo.

International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R)

União Internacional de Telecomunicação do Setor de Radiocomunicação (ITU-R) é o órgão responsável pelo gerenciamento global de radiofrequência de *spectrum*. O ITU-R mantém um banco de dados com as consignações de frequências do mundo todo.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

O Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos, comumente conhecido como IEEE, é uma sociedade profissional mundial com mais de 350.000 membros. A missão do IEEE é "promover a inovação tecnológica e excelência para o benefício da humanidade". O IEEE é provavelmente mais conhecido como os padrões LAN (*Local Area Network* ou redes locais). Por exemplo, o grupo de trabalho IEEE 802.3

é responsável pela criação dos padrões *Ethernet*, usado pelas redes cabeadas. Já o grupo de trabalho IEEE 802.11 é responsável por criar os padrões das redes sem fio locais (WLAN).

Wi-Fi Alliance

A Aliança Wi-Fi é uma associação industrial global sem fins lucrativos com mais de 300 companhias associadas com a finalidade de promover o crescimento das redes sem fio locais (WLANs). Uma das tarefas da Wi-Fi Alliance é comercializar a marca Wi-Fi e informar os consumidores sempre que novas tecnologias 802.11 estiverem disponíveis. A principal tarefa da Wi-Fi Alliance é promover a interoperabilidade de produtos WLAN através de testes de certificação. Isso garante a compatibilidade de produtos entre diferentes fornecedores. A Wi-Fi Alliance foi inicialmente chamada de *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* (WECA), foi fundada em Agosto de 1999. O nome foi mudado para *Wi-Fi Alliance* em Outubro de 2002.

The Wi-Fi Certified logo



Figura 1: Wi-Fi Certified Logo (Coleman, 2009)

International Organization for Standardization (ISO)

Organização Internacional para Padronização, mais conhecida como ISO, é uma organização global não governamental que identifica as necessidades de negócio, governo e sociedade e desenvolve padrões em parceria com setores que o colocarão em uso. Segundo Tanenbaum (2003), a ISO é responsável pela criação do modelo OSI (*Open Systems Interconnection* - Interconexão de Sistemas Abertos) que tem sido um padrão de referência para comunicação de dados entre computadores desde o final de 1970.

As camadas do modelo OSI são as seguintes:

- Camada 7, Aplicação;
- Camada 6, Apresentação;
- Camada 5, Sessão;
- Camada 4, Transporte;
- Camada 3, Rede;
- Camada 2, Enlace;
- Camada 1, Física.

1.4 RADIOFREQUÊNCIA (RF)

Radiofrequência desempenha um papel importante quando se fala em tecnologia de redes sem fio locais (WLAN). Ela é usada em uma grande variedade de comunicações como rádio, televisão, telefones sem fio, redes sem fio locais e comunicações de satélites. Bartz (2009:142) descreve a radio frequência como:

[...] sinais de uma corrente alternada (AC) de alta frequência passando por um cabo conectado a uma antena. A antena irá transformar o sinal recebido em ondas de rádio que se propagarão através do ar. O sinal de corrente alternada (AC) mais comum é a onda senoidal. Esta onda é o resultado de uma corrente elétrica variando de tensão durante um período de tempo.

Rufino (2007) destaca que quando pensamos em radiofrequências, temos que ter em mente que um sinal será propagado no espaço por alguns centímetros ou por vários quilômetros. A distância percorrida está diretamente ligada às frequências do sinal. Ou seja, quanto mais alta a frequência, menor será a distância alcançada.

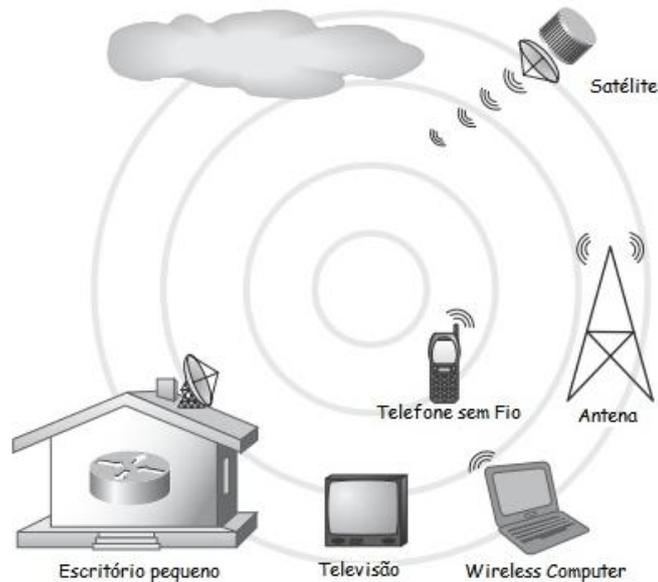


Figura 2: Radio Frequência usada em diferentes dispositivos e aplicações para prover comunicação (Bartz, 2009)

Uma transmissão de rádio bem sucedida consiste de no mínimo dois componentes, um transmissor e um receptor. Para cada radio transmissor deve haver no mínimo um radio receptor.



Figura 3: RF transmissor e receptor. Numa WLAN podem ser o ponto de acesso ou o dispositivo cliente (Bartz, 2009)

As características de transmissão de radio frequências são muito importantes. Veremos abaixo os principais, segundo Bartz (2009:98):

Comprimento de Onda: é a distância entre duas cristas (picos) ou dois vales de uma onda padrão. De uma maneira geral, um comprimento de onda é a distância que um único ciclo de um sinal de radio frequência realmente viaja.

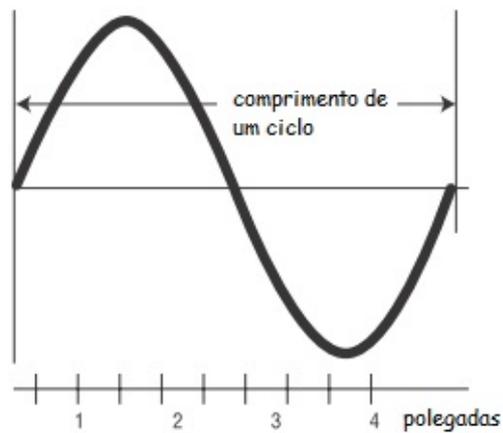


Figura 4: O comprimento de onda é a distância de um ciclo completo, medido em centímetros ou polegadas (Bartz, 2009)

Frequência: é o número de vezes que um evento específico ocorre dentro de um intervalo de tempo. Em geral, frequência é definida como o número de ciclos completos que ocorrem em um segundo. A frequência se relaciona inversamente com o comprimento de onda. Quanto mais alta a frequência, mais curto é o comprimento de onda.

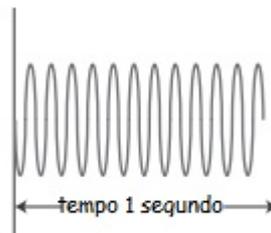


Figura 5: Frequência de uma onda (Bartz, 2009)

Amplitude: é a altura ou tensão de uma onda senoidal. Quando falamos de transmissões sem fio, ela é referenciada como o quão alto ou forte um sinal é. Pode ser definida como o deslocamento máximo de uma onda contínua.

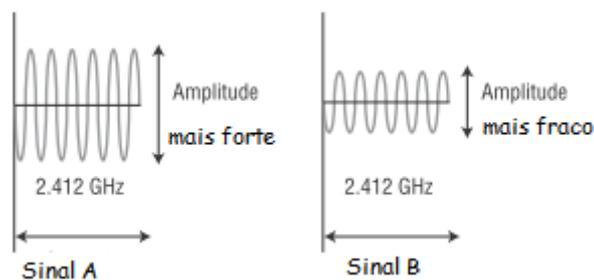


Figura 6: Amplitude - Dois sinais na mesma frequência com diferentes amplitudes (Bartz, 2009)

Fase: é a diferença em graus designada para o começo e o fim de duas sobreposições diferentes de ondas senoidais. É importante entender o efeito que a fase tem na amplitude quando os cartões de rádio recebem múltiplos sinais. Separação de fase tem um efeito cumulativo. Dependendo da quantidade de separações de fases de dois sinais, o sinal recebido pode tanto aumentar como diminuir.

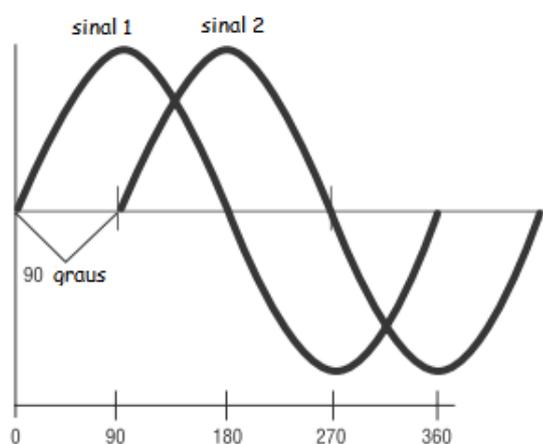


Figura 7: Fase é a diferença em graus entre dois sinais (Bartz, 2009)

Canais: radiofrequência é dividida em faixas, as quais podem ser separadas em canais. Um exemplo seria a televisão que opera em uma frequência muito alta (*Very High Frequency* - VHF). As redes *wireless* usam canais da mesma maneira. Certas faixas de frequências não licenciadas são alocadas para as redes *wireless* e aquelas faixas de frequência são subdivididas em canais. Para que um transmissor e um receptor possam se comunicar um com o outro, eles precisam estar no mesmo

canal. A faixa 2.4 GHz ISM tem um total de 14 canais disponíveis para redes *wireless*. A localidade onde eles estão é quem determina quais dos 14 canais podem ser legalmente usados pelas redes *wireless*.

Tabela 1: Canais na faixa de frequência de 2.4 GHz ISM (Bartz, 2009)

2.4 GHz ISM Band						
Channel number	Frequency in GHz	USA	Europe	Israel*	China	Japan
1	2.412	X	X	X	X	X
2	2.417	X	X	X	X	X
3	2.422	X	X	X	X	X
4	2.427	X	X	X	X	X
5	2.432	X	X	X	X	X
6	2.437	X	X	X	X	X
7	2.442	X	X	X	X	X
8	2.447	X	X	X	X	X
9	2.452	X	X	X	X	X
10	2.457	X	X	X	X	X
11	2.462	X	X	X	X	X
12	2.467		X	X		X
13	2.472		X	X		X
14	2.484					X

* Israel only allows 5–13 outdoors, but 1–13 indoors.

Tabela 2: Canais de Frequência na faixa de 5 GHz (Bartz, 2009)

Locale	Frequency	Number of Channels
Americas/EMEA	UNII-1 band (5.15–5.25)	4
Americas/EMEA	UNII-2 band (5.25–5.35)	4
Americas/EMEA	UNII-2e band (5.470–5.725)	11
Americas/EMEA (with restrictions)	UNII-3 band (5.725–5.825)	4
Americas	ISM (5.725–5.850)	1

1.4.1 Comportamentos da Radiofrequência

Como uma radiofrequência viaja através do ar e de outros meios, ela pode mover e se comportar de diferentes maneiras. A maneira com que ondas de

radiofrequência se movem é conhecida como propagação. De acordo com Bartz (2009: 117), o comportamento da radio frequência é o resultado das condições ambientais que incluem:

Absorção: quando um material absorve uma radiofrequência, nenhum sinal penetra através do material. Um bom exemplo de absorção é o corpo humano. O corpo humano contém uma alta concentração de água e irá absorver os sinais de radiofrequência. Absorção pode ser um problema no planejamento de redes *wireless*, principalmente em locais densamente povoados como aeroportos e salas de conferências.

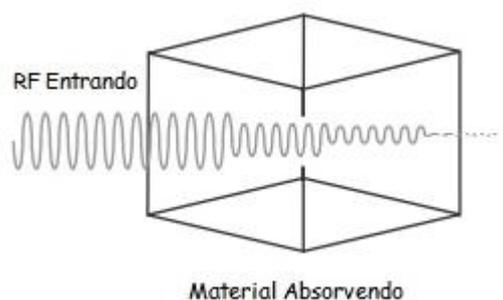


Figura 8: Absorção de RF (Bartz, 2009)

Reflexão: ocorre quando um sinal de radiofrequência acerta um objeto liso que não o absorve, então a RF é refletida e se move em outra direção.

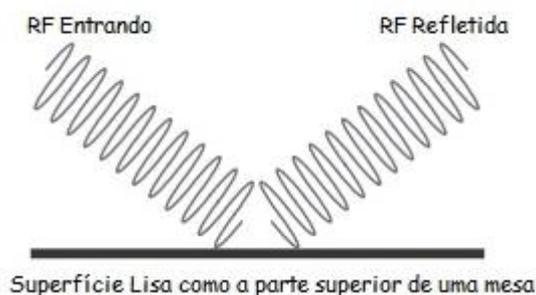


Figura 9: Reflexão de RF (Bartz, 2009)

Refração: quando um sinal de radiofrequência passa através meios de diferentes densidades, ele pode mudar de velocidade e também desviar. Esse comportamento da RF é chamado de Refração.

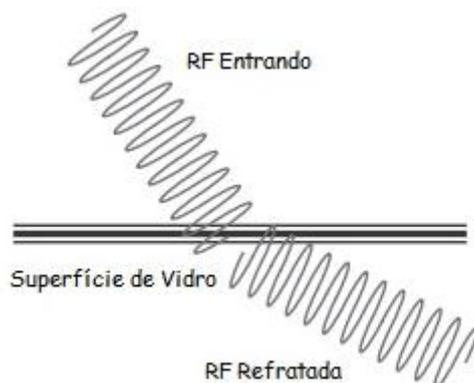


Figura 10: Refração de RF (Bartz, 2009)

Difração: é o desvio e o espalhamento de um sinal de radiofrequência, quando este encontra um obstáculo. Não confundir com Refração (na refração o sinal de RF passa através do meio).

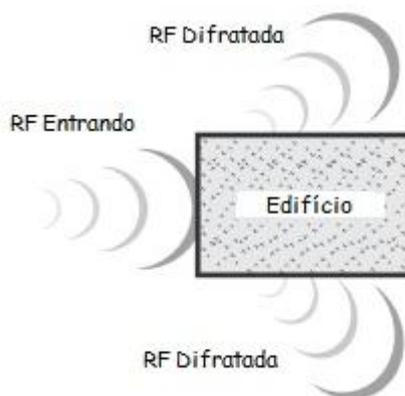


Figura 11: Difração de RF (Bartz, 2009)

Espalhamento: pode ser facilmente descrito como reflexões múltiplas. Essas múltiplas reflexões ocorrem quando o comprimento de onda do sinal eletromagnético é maior que os pedaços de qualquer meio que o sinal está passando.

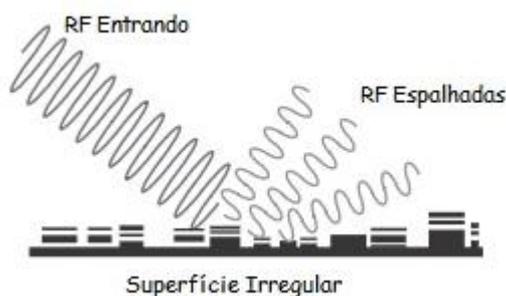


Figura 12: Espalhamento de RF (Bartz, 2009)

Perda (Atenuação): Perda, também conhecida como atenuação ou enfraquecimento, é melhor descrito como a redução da amplitude ou força do sinal. O sinal pode perder força tanto no cabo como no ar.

Perda de Caminho em Espaço Livre (*Free Space Path Loss - FSPL*): Por causa das leis da Física, um sinal eletromagnético irá enfraquecer pois ele viaja, independentemente da falta de atenuação causada por obstrução, absorção, reflexão, difração, etc. Perda de caminho em espaço livre é a perda da força do sinal causada pela ampliação natural das ondas, frequentemente referida como divergência de feixe. A energia do sinal de RF se espalha por grandes áreas e viaja para longe de uma antena, como resultado a força do sinal enfraquece.

Múltiplos Caminhos (*Multipath*): é o fenômeno da propagação que resulta em dois ou mais caminhos de um sinal chegando a uma antena receptora ao mesmo tempo ou dentro de nano segundos de um para outro. Por causa da ampliação natural das ondas, os comportamentos de propagações de reflexão, espalhamento, difração e refração ocorrerão diferentemente em ambientes diferentes. Um sinal pode refletir em um objeto ou espalhar, refratar, ou difratar. Estes comportamentos de propagação podem resultar em múltiplos caminhos do mesmo sinal.

Ganho (Amplificação): pode ser melhor descrito como o aumento da amplitude ou força do sinal. Os dois tipos de ganho são conhecidos como Ganho

Ativo (geralmente causado pelo uso de um amplificador e necessita de uma fonte de energia externa) e Ganho Passivo (faz uso de uma antena e não requer uma fonte de energia externa).

1.4.2 Unidades Básicas de Medida de Radiofrequência

A unidade básica de medida de uma RF é o watt. Um Ponto de Acesso (*Access Point* - AP) de uma rede *wireless* pode ser configurado com uma saída de 30 mW (milliwatts) de potência. Um milliwatt é 1/1000 de um watt. Outras unidades de medidas para RF são dB, dBi, dBd e dBm. Segundo Coleman (2009:70):

Watt (W): o watt é a unidade básica de medida de energia. Esse é um valor absoluto ou um valor mensurável. Muitas funções de redes *wireless* estão na faixa de milliwatt. Nível de potência em watts é uma medição comum em aplicações de longas distâncias ponto a ponto e ponto a multipontos.

Milliwatt (mW): um milliwatt é 1/1000 de um watt. Esse é um valor comum usado em trabalhos de RF e IEEE 802.11 *wireless* LANs (redes sem fio locais do padrão IEEE 802.11). A potência de saída de um ponto de acesso geralmente varia de 1mW a 100mW. O milliwatt é também uma unidade absoluta de medição de potência.

Decibel relativo a um Milliwatt (dBm): dBm é o nível de potência comparado a 1 mW. Ele é baseado em uma função logarítmica. Uma boa dica para lembrar é que 0 dBm = 1 mW. Este valor é considerado o zero absoluto.

Decibel (dB): é a razão entre dois níveis diferentes de potência causado por uma mudança na potência. Ele é usado para representar a diferença entre dois valores. Em outras palavras, um dB é a expressão relativa e a medição de mudança em potência. Em redes *wireless*, decibels são frequentemente usados para comparar a potência de dois transmissores ou comparar a diferença ou perda entre a saída de antenas transmissoras e a quantidade de potência recebida por uma antena receptora.

Decibel Isotrópico (dBi): é a unidade que representa o ganho ou aumento na força de um sinal de uma antena. O termo isotrópico no mundo da RF significa transmissão de energia igualmente em todas as direções de uma forma esférica.

Decibel Dipolo (dBd): o ganho de algumas antenas pode ser medido em decibel dipolo. Ele se refere ao ganho da antena quando é comparado ao sinal de uma antena dipolo. Nas *wireless* LANs, o ganho da maioria das antenas é medido em decibel isotrópico (dBi), porém alguns fabricantes podem referenciar o ganho em dBd. Fórmula de Conversão: $dBi = dBd + 2.14$

1.4.3 Componentes

Muitos componentes contribuem para o sucesso da transmissão e recepção de um sinal de radiofrequência. Segundo Coleman (2009:65), os principais componentes são:

Transmissor: é o componente inicial na criação de um meio *wireless*. O computador entrega os dados ao transmissor e é o trabalho dele começar a comunicação de radiofrequência. O transmissor pega os dados fornecidos e modifica o sinal da corrente alternada (AC) usando uma técnica de modulação para codificar os dados no sinal. O sinal de corrente alternada modulada é agora um sinal de transporte, contendo os dados a serem transmitidos. O sinal transportador é então transportado diretamente para a antena ou através do cabo para uma antena.

Antena: possui duas funções em um sistema de comunicação. Quando conectada a um transmissor, ela coleta o sinal de AC que recebe do transmissor e direciona ou difunde as ondas de RF para longe da antena em um padrão específico à um tipo de antena. Quando conectada ao receptor, a antena pega as ondas de RF que recebe através do ar e direciona o sinal de AC para o receptor. O receptor converte o sinal de AC para bits e bytes. As antenas podem ser omnidirecional, semidirecional e altamente direcional.

Receptor: é o componente final de um meio *wireless*. O receptor pega o sinal transportador que é recebido da antena e converte os sinais modulados em 1s e 0s (bits e bytes), e então leva esses dados até o computador para serem processados.

O trabalho do receptor não é o mais fácil. O sinal que é recebido é muito menos poderoso em comparação com o sinal que foi transmitido. Isso se deve a distância que ele viaja e aos diversos tipos de interferência a que está sujeito.

Intentional Radiator (IR): Radiador Intencional (IR) é um dispositivo que intencionalmente gera e emite energia de radiofrequência por radiação ou indução. Basicamente, é algo que é projetado especificamente para gerar RF em oposição a algo que gera RF como um subproduto da sua função principal.

Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP): Potência Isotrópica Radiada Equivalente (EIRP) é o mais forte sinal de RF que é transmitido de uma antena em particular.

1.5 MÉTODOS DE ACESSO A REDE

De acordo com Bartz (2009:178), os métodos de acesso a rede permitem que dispositivos conectados a uma mesma infraestrutura se comuniquem e transmitam dados através do meio de rede de um dispositivo para o outro. As redes *Ethernet* 802.3 (mais conhecidas como redes cabeadas) possuem a capacidade de detectar colisões, por isso o método de acesso usado é o CSMA/CD. Já as redes *wireless* 802.11 (mais conhecidas como redes Wi-Fi ou redes sem fio) não possuem essa capacidade de detectar colisões. Por isso as redes *wireless* 802.11 usam o CSMA/CA como método de acesso. Partindo do fato de que múltiplos dispositivos *wireless* podem acessar um mesmo ponto de acesso (AP) ao mesmo tempo, dispositivos *wireless* que estão conectados ao AP estão competindo para compartilhar o mesmo meio, por isso é importante o controle do meio afim de evitar colisões. O processo CSMA/CA provém este controle.

1.5.1 *Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)*

Redes 802.3 *Ethernet* usam CSMA/CD para compartilhar o meio. O nome desse método de acesso descreve suas funções:

- **Carrier Sense** (percepção do meio): dispositivos checam o meio (neste caso o cabo Ethernet) para ver se está limpo (nenhum dado sendo transmitido);
- **Multiple Access** (acessos múltiplos): muitos acessando o meio ao mesmo tempo;
- **Collision Detection** (detecção de colisão): detectar colisões que acontecem no meio durante a transmissão de dados.

CSMA/CD é um método de controle de acesso baseado em disputa que dispositivos *Ethernet* usam para compartilhar o meio. Este método permite que somente um dispositivo transmita a qualquer hora. CSMA/CD funciona desse modo:

1. Um dispositivo com dados a serem transmitidos checa se há algum dado sendo transmitido no cabo *Ethernet* (detecção);
2. Se o dispositivo detecta que o meio está limpo e nenhum dado está sendo transmitido, ele transmite o seus dados;
3. Se mais de um dispositivo transmitem simultaneamente, uma colisão ocorre e os dados são perdidos. Os dispositivos detectam a colisão e cada um recua por um período aleatório de tempo;
4. Depois de um período aleatório de tempo, o dispositivo checa o cabo e tenta enviar os dados novamente.

Esta disputa do segmento *Ethernet* é uma das razões para a diminuição da transferência de dados dos dispositivos transmissores.

1.5.2 **Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)**

Wireless LANs usam o CSMA/CA para compartilhar o meio. A principal diferença entre o CSMA/CD e o CSMA/CA é o CA - *Collision Avoidance* (evitar colisões). CSMA/CA funciona dessa maneira:

- **Carrier Sense** (percepção do meio): checando o meio, neste caso o ar;

- **Multiple Access** (acessos múltiplos): muitos acessando o meio ao mesmo tempo;
- **Collision Avoidance** (evitar colisões): evitar colisões que podem ocorrer no meio durante a transmissão.

Ao invés de detectar colisões nas transmissões, o CSMA/CA usa mecanismos que tentam evitar colisões. Embora esses mecanismos gerem uma sobrecarga, o maior benefício é uma melhor transferência de dados porque as colisões de dados são minimizadas. Esta sobrecarga ocorre porque os dispositivos tem um temporizador regressivo, o qual faz com eles tenham que esperar um certo período de tempo antes de estarem aptos a transmitir novamente. Isso ajuda a evitar colisões.

Uma analogia para o CSMA/CA é o período de perguntas e respostas que sucede uma palestra ou uma conferência. Na sala da palestra existem muitas pessoas (múltiplo acesso). Depois de terminar o seu discurso, o palestrante pergunta: "Alguém tem alguma dúvida ou pergunta?". Um participante chamado Paulo ouve (detecta o transportador, nesse caso o ar). Ele não ouve ninguém falando, então faz a sua pergunta. Embora hajam muitas pessoas na sala (múltiplo acesso), eles podem ouvir que Paulo tem a palavra então eles esperam e não perguntam até que a pergunta feita por Paulo tenha sido respondida pelo palestrante (evitar colisão).

1.5.3 *Distributed Coordination Function (DCF)*

Outro método de acesso que dispositivos *wireless* LAN usam para se comunicar é o *Distributed Coordinated Function* (DCF). Esse método de acesso consiste em reservar um certo tempo para a transmissão de dados e assim evitar colisões. Afim de evitar colisões, os dispositivos seguem os seguintes passos:

- Anunciam quanto tempo é necessário para a troca de quadro;
- Detectam a energia de radiofrequência;
- Esperam por um período de tempo pré-determinado entre quadros;

- Recuam e repetem se o meio está ocupado.



Figura 13: Dispositivos WLAN usando CSMA/CA e DCF (Bartz, 2009)

1.6 TECNOLOGIA SPREAD SPECTRUM

Bartz (2009:138) enfatiza que a comunicação por *spread spectrum* é parecido com o que acontece quando um auditório é dividido em pequenos grupos onde cada membro está se comunicando com os outros membros do mesmo grupo. Essas pessoas irão falar em um tom de voz muito mais baixo e sem ajuda de microfone, o volume da conversação não excederá a área na qual o grupo está situado.

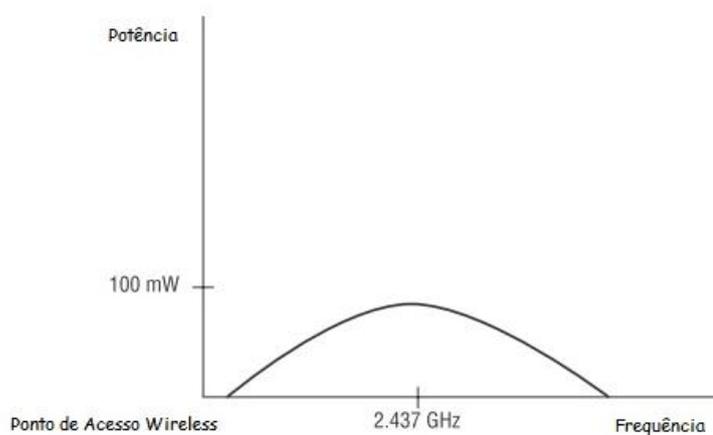


Figura 14: Tecnologia Spread Spectrum (Bartz, 2009)

Dois tipos de tecnologia *Spread Spectrum* (propagação de espectro) são usadas no padrão IEEE 802.11 original:

- *Frequency-hopping spread spectrum* (FHSS);
- *Direct-sequence spread spectrum* (DSSS).

Essas tecnologias de espectro espalhado se comunicam na faixa de frequência de 2.4 GHz ISM. Há vantagens e desvantagens para cada uma dessas tecnologias. Tecnologias *spread spectrum* pegam a informação digital gerada por um computador e através do uso de tecnologias de modulação, enviam ela através do ar entre dispositivos usando radiofrequência. Ambos os dispositivos devem estar usando a mesma tecnologia de *spread spectrum* afim de se ter uma comunicação eficiente.

Vejamos as principais tecnologias de espectro espalhado segundo Bartz (2009:138):

1.6.1 *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS)

FHSS é usado em uma variedade de dispositivos em computadores e comunicações. Apesar de estar definido do padrão IEE 802.11 original, esta tecnologia é considerada um legado (ultrapassado) em redes *wireless*. Entretanto, FHSS ainda é comum em dispositivos como telefones sem fio, 802.15 WPANs (redes sem fio pessoais), incluindo *bluetooth*, mouses, câmeras e outros dispositivos *wireless* antigos.

FHSS trabalha enviando pequenas quantidades de informação como dados digitais através da faixa 2.4 GHz ISM. Como o próprio nome já diz, essa tecnologia muda de frequência (saltos) constantemente. Um transmissor e um receptor irão ser sincronizados com a mesma sequência de saltos (*hops*), permitindo assim os dispositivos se comunicarem um com o outro.

A taxa de dados do FHSS é somente de 1 a 2 Mbps (Mega bits por segundo), a qual é considerada baixa para a maioria das aplicações de computadores

modernos. Mas para alguns dispositivos ela ainda é viável como os *scanners* portáteis.

1.6.2 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

DSSS é uma tecnologia de espectro espalhado usada em *wireless* LANs e definida pelo padrão IEEE 802.11 original. Assim como o FHSS, suporta taxas de 1 a 2 Mbps, a qual é considerada baixa para os padrões de redes modernos.

DSSS usa técnicas especiais para transmitir dados digitais através do ar usando radiofrequência. Isso é feito pela modulação e modificação das características da radiofrequência como fase, amplitude e frequência. Além disso, DSSS usa uma tecnologia conhecida como *spreading code* para fornecer redundância dos dados digitais pois estes viajam através do ar. O *spreading code* transmite informação em múltiplos subtransmissores e a redundância ajuda o receptor a detectar erros de transmissão devido a interferências. Este espalhamento de informações através do canal amplo de 22 MHz é o que ajuda o DSSS a ser resiliente a interferências. A tecnologia de *spreading code* permite que o receptor determine se um bit de dado digital recebido é um 0 binário ou 1 binário. Dependendo da taxa de dados, o transmissor e o receptor entendem o *spreading code* em uso e assim são capazes de se comunicar.

DSSS opera dentro da faixa de RF conhecida como canal amplo, de 22 MHz, é um dos 14 canais das faixas 2.4 GHz e 2.5 GHz ISM. O país ou localidade do dispositivo irá determinar quais dos 14 canais estará disponível para uso.

1.6.3 High Rate/Direct-Sequence Spread Spectrum (HR/DSSS)

HR/DSSS é definido no padrão IEEE 802.11b. HR/DSSS introduziu alta taxa de dados de 5.5 a 11 Mbps. Esta tecnologia ajudou no crescimento dos padrões IEEE baseados em tecnologia para *wireless* LAN.

Como o DSSS, HR/DSSS usa um dos 14 canais de 22 MHz amplo para transmitir e receber dados. A principal diferença entre essas duas tecnologias é que o HR/DSSS suporta altas taxas de dados. HR/DSSS (802.11b) usa um *spreading code* diferente ou uma técnica de codificação diferente do DSSS. HR/DSSS usa chaveamento de código complementar (CCK) para transmitir dados a 5.5 e 11 Mbps.

1.6.4 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM é usado pelos padrões IEEE 802.11a (OFDM), IEEE 802.11g *Extended Rate Physical Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (ERP-OFDM) e 802.11n *Draft*. OFDM permite uma taxa de transferência de dados muito maior que o DSSS e HR/DSSS, acima de 54 Mbps e maior para o 802.11n. OFDM é a tecnologia projetada para transmitir muitos sinais simultaneamente por um caminho de transmissão em um meio compartilhado e é usado em *wireless* e outros sistemas de transmissões. Cada sinal viaja dentro da sua própria frequência subtransmissora (um sinal separado feito em uma transmissão de RF principal).

OFDM distribui dados por 52 sub transmissores igualmente espaçados e 4 dos 52 sub transmissores não carregam dados e são usados como canais pilotos. Os muitos sub transmissores permitem uma alta taxa de dados em dispositivos *wireless* LAN IEEE 802.11a e IEEE 802.11g. Dispositivos 802.11n *Draft* (HT-OFDM) podem usar multiplexação espacial (SM), a qual usa várias antenas para transmitir diferentes pedaços da mesma informação simultaneamente, aumentando a taxa de transferência. Além da alta taxa de dados, OFDM também ajuda a prover resiliência contra interferência de outros dispositivos *wireless*.

1.6.5 Multiple Input/Multiple Output (MIMO)

MIMO é a tecnologia usada por dispositivos certificados IEEE 802.11n *Draft* 2.0. A tecnologia MIMO promete taxas de dados acima de 600 Mbps. MIMO fornece aos usuários uma melhor experiência com comunicação de dados, voz e vídeo com uma taxa de transferência cinco vezes maior que as atuais redes 802.11a/g que usam *single input/single output* (SISO), simples entrada/simples saída.

MIMO permite que redes 802.11n tenham um melhor rendimento na mesma distância que redes baseadas em DSSS ou OFDM. Redes IEEE 802.11n baseadas em MIMO oferecem uma compatibilidade com as redes 802.11a/b/g e dispositivos em ambas faixas de 2.4 GHz ISM e 5 GHz UNII, permitindo que continuem usando o hardware existente. Alguns dos benefícios das redes 802.11n MIMO incluem rendimento, confiabilidade e previsibilidade:

- 5 vezes mais produtividade. Transferência avançada de arquivos e velocidades de *download* para grandes arquivos;
- 2 vezes mais seguro. Baixa latência para comunicações móveis;
- 2 vezes mais previsível. Cobertura mais consistente e maior taxa de transferência para aplicações móveis.

Pontos de acesso MIMO usam múltiplos rádios com várias antenas. Isso possibilita ao MIMO a capacidade de processar sinais refletidos. Ele usa múltiplas cadeias de rádio e múltiplas antenas para transmitir e receber dados. Sistemas 802.11n usam tecnologia MIMO. Eles têm mais receptores e são muito mais sensíveis que a maioria dos outros sistemas.

2 PRINCIPAIS PADRÕES IEEE 802.11

O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) é a sociedade de profissionais ou grupo de pesquisas que criaram e mantêm os padrões atuais que usamos para as comunicações de redes sem fio. Esse projeto, denominado de padrão IEEE 802.11 nasceu em 1990, mas ficou por aproximadamente 7 anos inerte, provavelmente devido a baixa taxa de transferência de dados que a tecnologia inicialmente oferecia (na faixa de Kbit/s - Kilobits por segundo).

Os grupos de trabalho 802.11 incluem mais de 250 companhias *wireless* e tem mais de 650 membros ativos. Consiste de comitês permanentes, grupos de estudos e vários grupos de trabalho ou forças tarefas. Vários grupos de trabalho são responsáveis por revisar e melhorar o padrão original que foi desenvolvido pelo grupo de trabalho MAC e pelo grupo de trabalho PHY. Para cada grupo é atribuído uma letra do alfabeto e é comum ouvir o termo 802.11 "sopa de letrinhas" quando referem-se a todos os melhoramentos e extensões criados pelos múltiplos grupos de trabalho 802.11. Vejamos alguns dos principais padrões 802.11, segundo Coleman (2009:155):

2.1 VISÃO GERAL DO PADRÃO IEEE 802.11

O 802.11 é um conjunto de padrões criados pelo IEEE para o uso em redes *wireless*. O padrão 802.11 original foi publicado em Junho de 1997 como padrão IEEE 802.11-1997 e é frequentemente referenciado como 802.11 *Prime* porque foi o primeiro padrão WLAN. O padrão foi revisado em 1999, reiterado em 2003 e publicado como padrão IEEE 802.11-1999 (R2003). Em Março de 2007, uma nova iteração do padrão foi aprovada, padrão IEEE 802.11-2007. Este novo padrão é uma atualização do padrão IEEE 802.11-1999. A tabela abaixo contém todos os documentos substituídos e também os que foram lançados na última revisão, fornecendo aos usuários um documento único com todos os melhoramentos que o padrão possui:

Tabela 3: Padrão 802.11-1999 e suas extensões, 1-8 foram incorporados pelo padrão 802.11-2007 (IEEE Communications Magazine, 2010)

Title	Project approval date	Final approval date	802.11-1999 Amendment	Title	Comment
802.11-1997	1991-03-21	1997-06-26		IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications	Initial standard
802.11-1999	1997-09-12	1999-03-18		Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications	Superseded by ISO/IEC 8802.11: 1999
ISO/IEC 8802.11: 1999	N/A	2005-09-30		IEEE Std 802.11-1999 (R2003)	International standard
802.11a	1997-09-16	1999-09-16	1	Higher Speed PHY Extension in the 5 GHz Band	54 Mb/s OFDM PHY @ 5 GHz
802.11b	1997-12-09	1999-09-16	2	Higher Speed PHY Extension in the 2.4 GHz Band	11 Mb/s DSSS PHY @ 2.4 GHz
802.11b-cor1	2000-01-30	2001-10-10		Corrigenda to IEEE 802.11b-1999	Clarifies amendment 2
802.11d	1999-06-26	2001-06-14	3	Operation in Additional Regulatory Domains	Allows devices to comply with regional requirements
802.11e	2000-03-30	2005-09-22	8	MAC Enhancements	Support for QoS
802.11f	2000-03-30	2003-06-12		Inter-Access Point Protocol Across Distribution Systems Supporting IEEE 802.11 Operation	Released as 802.11.1 and administratively withdrawn by IEEE-SA Standards Board on 2006-02-03
802.11g	2000-09-21	2003-06-12	4	Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band	54 Mb/s OFDM PHY @ 2.4 GHz
802.11h	2000-12-07	2003-09-11	5	Spectrum and Transmit Power Management Extensions in the 5 GHz Band in Europe	In Europe, 5 GHz devices must implement 802.11h
802.11i	2001-05-30	2004-06-24	7	MAC Security Enhancements	MAC Security enhancements, known as WPA and WPA2 from Wi-Fi Alliance
802.11j	2002-12-11	2004-09-23	6	4.9 GHz–5 GHz Operation in Japan	Compliance with Japanese 5 GHz spectrum regulation
802.11ma	2003-03-20	2007-03-08		802.11 Standard Maintenance & Revision	Prepared 802.11-2007 that supersedes 802.11-1999
802.11t	2004-08-12	2009-12-31		Recommended Practice for the Evaluation of 802.11 Wireless Performance	Task Group aimed to develop 802.11.2, 2006-02-03 administratively withdrawn by IEEE-SA

Essa revisão também inclui correções, clarificações e melhorias. O IEEE define as tecnologias 802.11 na camada física e na sub camada MAC da camada de enlace de dados do modelo OSI. O padrão 802.11 não endereça as camadas superiores do modelo OSI, embora hajam interações entre a camada MAC 802.11 e

as camadas superiores por parâmetros como por exemplo qualidade de serviço (QoS). O grupo de trabalho PHY trabalhou em conjunto com o grupo de trabalho MAC para definir o padrão 802.11 original. O PHY definiu três especificações da camada Física original:

Infrared (IR): Tecnologia *Infrared* ou Infravermelho usa luzes baseadas no meio. Embora um meio infravermelho fora definido de fato no padrão original 802.11, a implementação é obsoleta.

Frequency hopping spread spectrum (FHSS): Sinais de radiofrequência podem ser definidos como sinais *narrowband* ou sinais *spread spectrum*. Um sinal de RF é considerado *spread spectrum* quando a largura de banda é maior que a requerida para carregar os dados. FHSS é uma tecnologia de *spread spectrum* que foi originalmente patenteada durante a Segunda Guerra Mundial.

Direct sequence spread spectrum (DSSS): DSSS é outra tecnologia de espectro espalhado que é frequentemente usada e facilmente implementada.

Definido como 802.11 *Prime*, o espaço de frequência no qual ambos os cartões de rádio FHSS ou DSSS podem transmitir é a faixa não licenciada 2.4 GHz *Industrial, Scientific and Medical* (ISM). Cartões de rádio DSSS 802.11 podem transmitir em canais sub divididos por toda a faixa 2.4 GHz até a faixa 2.4835 GHz ISM. O IEEE é mais restritivo para os cartões de rádio FHSS, os quais podem transmitir em 1 MHz entre as faixas 2.402 GHz e 2.480 GHz da faixa 2.4 GHz.

As taxas de dados definidas pelo padrão 802.11 original eram de 1 Mbps e 2 Mbps sem considerar quais tecnologias *spread spectrum* eram usadas. A taxa de dados é o número de bits por segundo que a camada física transporta durante uma transmissão simples, normalmente relatado como o número de milhões de bits por segundo (Mbps). É importante lembrar que a taxa de dados é a velocidade e não a taxa de transferência real. Por causa dos métodos de acesso ao meio, a taxa de transferência agregada é tipicamente a metade ou menos do que a velocidade da taxa de dados disponível.

Tabela 4: Padrão 802.11-2007 tem 5 extensões. Para evitar confusão com outros padrões as letras l, o, q e x não são usadas (IEEE Communications Magazine, 2010)

Title	Project approval date	Final approval date	802.11-2007 Amendment	Title	Comment
802.11-2007	2003-03-20	2007-03-08		Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications	802.11-2007 supersedes 802.11-1999 and incorporates amendments a, b, d, e, & g-j
802.11c	1997-12-09	1998-09-16		Media Access Control (MAC) Bridges — Supplement for Support by IEEE 802.11	Part of IEEE 802.1D-2004 bridging standard
802.11k	2002-12-11	2008-03-31	1	Radio Resource Measurement	Measurements of the wireless channel
802.11n	2003-09-11	2009-09-11	5	Enhancements for Higher Throughput	600 Mb/s MIMO PHY @ 2.4 GHz and 5 GHz
802.11r	2004-05-13	2008-06-30	2	Fast Roaming	Fast hand-off for moving devices
802.11w	2005-03-20	2009-09-30	4	Protected Management Frames	Security for management frames
802.11y	2006-03-16	2008-06-30	3	3650–3700 MHz Operation in USA	Contention-based protocols for FCC band 3.65 GHz in the U.S.

Tabela 5: Extensões em desenvolvimento (IEEE Communications Magazine, 2010)

Title	Project approval date	Expected final approval date	Title	Comment
802.11mb	2007-03-22	2011-03-31	802.11 Accumulated Maintenance Changes	Second maintenance TG
802.11p	2004-09-23	2010-06-30	Wireless Access for the Vehicular Environment	Car to car communication, closely related to IEEE 1609
802.11s	2004-05-13	2010-09-30	Mesh Networking	Transparent multi-hop operation
802.11u	2004-12-08	2010-09-30	Interworking with External Networks	Convergence of 802.11 and GSM
802.11v	2004-12-08	2010-06-30	Wireless Network Management	Management
802.11z	2007-08-22	2010-01-31	Extensions to Direct Link Setup (DLS)	AP independent DLS
802.11aa	2008-03-27	2011-06-30	Video Transport Streams	MAC enhancements for robust audio video streaming
802.11ac	2008-09-26	2012-12-31	Very High Throughput <6 GHz	Enhancements for >1 Gb/s throughput for operation in bands below 6 GHz
802.11ad	2008-12-10	2012-12-31	Very High Throughput 60 GHz	Enhancements for >1 Gb/s throughput for operation in 60 GHz band

2.2 EXTENSÕES RATIFICADAS IEEE 802.11

Nos anos seguintes à publicação do padrão 802.11 original, novos grupos de trabalhos foram montados para adicionar melhorias potenciais ao padrão. As principais extensões ratificadas serão descritas a seguir, conforme abordado por Coleman (2009:157).

2.2.1 802.11b

Embora o mercado consumidor de Wi-Fi continue crescendo em um ritmo acelerado, os equipamentos WLAN compatíveis 802.11b deram à indústria a primeira grande contribuição. Em 1999, o IEEE Grupo de Trabalho b (TGb) publicou o padrão IEEE 802.11b-1999, o qual mais tarde foi melhorado e corrigido como padrão IEEE 802.11b-1999/Cor-2001. Todos os aspectos da extensão ratificada 802.11b pode ser encontrado na cláusula 18 do padrão 802.11-2007.

O meio da camada física que é definida pelo 802.11b é *High-Rate DSSS* (HR-DSSS). O espaço de frequência no qual o 802.11b pode operar é entre a faixa não licenciada 2.4 GHz até 2.4835 GHz ISM.

2.2.2 802.11a

Durante o mesmo ano que o melhoramento 802.11b era aprovado, outra importante extensão era ratificada e publicada como padrão IEEE 802.11a-1999. Os engenheiros do Grupo de Trabalho a (TGa) começaram a definir como as tecnologias 802.11 operariam na recém alocada faixa de frequência *Unlicensed National Information Infrastructure* (UNII). Cartões de rádio 802.11a podem transmitir em três diferentes faixas não licenciadas de 100 MHz na faixa de 5 GHz. Um total de 12 canais estão disponíveis nas três faixas UNII. Todos os aspectos do melhoramento ratificado 802.11a pode ser encontrado na cláusula 17 do padrão 802.11-2007.

A faixa 2.4 GHz ISM é o espaço de frequência muito mais povoada do que a faixa 5 GHz UNII. Fornos de micro-ondas, dispositivos *bluetooth*, telefones sem fio e vários outros dispositivos, todos operam na faixa 2.4 GHz ISM, por isso são potenciais fontes de interferência. Uma grande vantagem do uso de equipamentos 802.11a WLAN é que eles operam na faixa menos poluída de 5 GHz UNII.

Devemos notar também que cartões de rádio 802.11a não se comunicam com os cartões de rádio 802.11 legado, 802.11b ou 802.11g por duas razões: Primeiro, cartões de rádio 802.11a usam uma tecnologia de espectro espalhado diferente dos dispositivos 802.11 legado ou 802.11b. Segundo, dispositivos 802.11a transmitem na faixa de 5 GHz UNII, enquanto que os dispositivos 802.11/802.11b/802.11g operam na faixa de 2.4 GHz ISM. A boa notícia é que 802.11a pode coexistir no mesmo espaço físico que os dispositivos 802.11, 802.11b ou 802.11g porque estes dispositivos podem transmitir em faixas de frequências distintas.

2.2.3 802.11g

Outro melhoramento que gerou enormes expectativas no mercado de Wi-Fi foi publicado como padrão IEEE 802.11g-2003. O IEEE define os cartões 802.11g como cláusula de dispositivos 19, os quais transmitem na faixa de 2.4 GHz à 2.4835 GHz ISM. A cláusula 19 define a tecnologia chamada *Extended Rate Physical* (ERP). Todos os aspectos da extensão ratificada 802.11g podem ser encontrados na cláusula 19 do padrão 802.11-2007.

O maior objetivo do Grupo de Trabalho g (TGg) foi melhorar a camada física do 802.11b para atingir grandes larguras de bandas e ainda ser compatível com o 802.11 MAC. Duas camadas físicas ERP mandatórias e duas opcionais são definidas pelo melhoramento 802.11g. As PHYs mandatórias são ERP-OFDM e ERP-DSSS/CCK. Para atingir altas taxas de dados, a tecnologia PHY chamada de *Extended Rate Physical* OFDM (ERP-OFDM) é obrigatória. Taxas de dados de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mbps são possíveis usando esta tecnologia, embora o IEEE requer somente taxa de dados de 6, 12 e 24 Mbps. Para manter a compatibilidade com as versões anteriores com redes 802.11 (somente DSS) e 802.11b, a tecnologia

PHT chamada de *Extended Rate Physical* DSSS (ERP-DSSS/CCK) é usada com suporte para as taxas de dados de 1, 2, 5.5 e 11 Mbps.

Qual é a diferença entre ERP-DSSS/CCK, DSSS e HR-DSSS?

Segundo Coleman (2009:160), do ponto de vista técnico, não há diferença entre ERP-DSSS/CCK, DSSS e HR-DSSS. O fator primordial do melhoramento 802.11g foi manter compatibilidade com rádios 802.11 (somente DSSS) e 802.11b enquanto que ao mesmo tempo atingia altas taxas de dados. Dispositivos 802.11g usam ERP-OFDM para altas taxas de dados. ERP-DSSS/CCK é efetivamente da mesma tecnologia que DSSS o qual é usado por dispositivos 802.11 legado e HR-DSSS que é usado pelos dispositivos 802.11b.

Qual é a diferença entre OFDM e ERP-OFDM?

Segundo Coleman (2009:161), do ponto de vista técnico, não há diferença entre OFDM e ERP-OFDM. A única diferença é a frequência transmitida. OFDM refere-se à dispositivos 802.11a que são transmitidos nas faixas de frequências 5 GHz UNII-1, UNII-2 e UNII-3. ERP-OFDM refere-se aos dispositivos 802.11g que são transmitidos na faixa de frequência de 2.4 GHz.

Fabricantes Wi-Fi normalmente permitem um ponto de acesso (AP) 802.11g ser configurado em três modos distintos:

- **Modo somente b:** quando o AP 802.11g está sendo executado nesse modo operacional, suporte para tecnologias DSSS, HR-DSSS e ERP-DSSS/CCK são unicamente permitidos. Efetivamente, o ponto de acesso é configurado para ser um ponto de acesso 802.11b e somente clientes 802.11b serão capazes de se comunicar com o AP usando taxas de dados de 11, 5.5, 2 e 1 Mbps. O rendimento global será o mesmo que o conseguido em uma rede 802.11b;
- **Modo somente g:** APs configurados como somente g se comunicarão com estações clientes 802.11g usando somente a tecnologia ERP-OFDM. Suporte para ERP-DSSS/CCK, HR-DSSS e DSSS é desabilitado, portanto clientes 802.11b não serão capazes de se associar com o ponto de acesso. Somente cartões ERP (802.11g)

serão capazes de se comunicar com o ponto de acesso usando taxas de dados de 6~54 Mbps. A taxa de transferência total de um AP com uma taxa de dados de 54 Mbps pode ser de aproximadamente 19 Mbps a 20 Mbps. Uma WLAN somente g é às vezes referida como uma rede g pura;

- **Modo b/g:** Este é o modo operacional padrão da maioria dos pontos de acessos 802.11g e é frequentemente chamado de modo misto. Suporte para ambos ERP-DSSS/CCK e ERP-OFDM são habilitados. Por isso, cliente 802.11 DSSS, 802.11b e 802.11g podem se comunicar com o ponto de acesso. Entretanto, um preço deve ser pago pela coexistência dessas tecnologias diferentes. Assim que as primeiras estações 802.11 DSSS ou 802.11b HR-DSSS tentam se associar, o sinal do ponto de acesso sinaliza para todas as estações 802.11g habilitarem "proteção". Embora o mecanismo de proteção permite clientes 802.11 (somente DSSS), 802.11b e 802.11g coexistirem, o resultado é uma degradação imediata e significativa no rendimento. Um ponto de acesso 802.11b/g com uma taxa de dados de 54 Mbps pode ver uma diminuição na taxa de transferência total de 20 Mbps para pouco mais de 8 Mbps no instante em que o mecanismo de proteção é habilitado;

A extensão 802.11g requer suporte para ambos ERP-DSSS/CCK e ERP-OFDM. A boa notícia é que um AP 802.11g pode se comunicar com estações clientes 802.11g bem como com estações 802.11 (somente DSSS) ou 802.11b. A ratificação da extensão 802.11g desencadeou um monumental aumento nas vendas de Wi-Fi voltado para pequenos escritórios, escritórios domésticos e mercados empresariais devido ao aumento nas taxas de dados e a compatibilidade com equipamentos mais antigos. Diferentes tecnologias de *spread spectrum* não podem se comunicar um com o outro, mesmo que a extensão 802.11g tenha suporte para ambos ERP-DSSS/CCK e ERP-OFDM. Em outras palavras, tecnologias ERP-OFDM e ERP-DSSS/CCK podem coexistir, mesmo que eles não conversem um com o outro. Por isso, o padrão 802.11g chama um mecanismo de proteção que permite as duas tecnologias coexistirem. O objetivo do mecanismo de proteção é prevenir

antigos cartões de rádio 802.11b HR-DSSS ou 802.11 DSSS de transmitirem ao mesmo tempo que cartões de rádio 802.11g.

A maior inovação do padrão 802.11g é o suporte de quatro camadas físicas diferentes que combinam a provisão das taxas de dados do IEEE 802.11a com a compatibilidade com versões anteriores, os padrões IEEE 802.11 e IEEE 802.11b. As características da nova camada física suportada (atributo de rede ERP) melhoram a capacidade do canal, principalmente quando todas as estações tem interfaces *wireless* IEEE 802.11g (com suporte para taxa de dados ERP).

Tabela 6: Comparativo do padrão 802.11 (Coleman, 2009)

	802.11 Legacy	802.11b	802.11g	802.11a
Frequência	2.4 GHz ISM band	2.4 GHz ISM band	2.4 GHz ISM band	5 GHz UNII-1, UNII-2, UNII-3 bands
Tecnologia Spread Spectrum	FHSS ou DSSS	HR-DSSS	ERP: ERP-OFDM e ERP-DSSS/CCK são mandatórios	OFDM
Taxa Dados	1, 2 Mbps	DSSS: 1, 2 Mbps HR-DSSS: 5.5 e 11 Mbps	ERP-DSSS/CCK: 1, 2, 5.5 e 11 Mbps ERP-OFDM: 6, 12 e 24 Mbps são mandatórios. Também suportados 9, 18, 36, 48 e 54 Mbps. ERP-PBCC: 22 e 33 Mbps	6, 12 e 24 Mbps são mandatórios. Também suportados 9, 18, 36, 48 e 54 Mbps.
Compatível	N/A	802.11 DSSS somente	802.11b HR-DSSS e 802.11 DSSS	Nenhum
Ratificado	1997	1999	2003	1999

2.2.4 802.11i

De 1997 a 2004, não foi definido muito em termos de segurança do padrão original 802.11. Os dois componentes principais em segurança *wireless* são privacidade de dados (criptografia) e autenticação (verificação de identidade). Por sete anos, o único método de criptografia definido em uma rede 802.11 foi o uso de uma criptografia estática de 64 bits chamada *Wired Equivalent Privacy* (WEP).

Criptografia WEP já foi "crackeada" e por isso não é considerada um meio aceitável de prover privacidade de dados. O padrão original 802.11 definiu dois métodos de autenticação. O método padrão é o *Open System Authentication* (autenticação aberta de sistemas), o qual verifica a identidade de todos sem exceção. O outro método é o *Shared Key Authentication* (autenticação de chave compartilhada), o qual abriu uma lacuna enorme para propagação de *worms* e riscos potenciais de segurança.

O padrão 802.11i foi ratificado e publicado como padrão IEEE 802.11i-2004, ele definiu métodos de criptografia mais fortes e melhores métodos de autenticação. Definiu também o *Robust Security Network* (RSN). O principal objetivo do RSN era melhor proteger os dados trafegados pelo ar e ao mesmo tempo fornecer uma melhor proteção. O padrão 802.11i é sem dúvidas um dos principais aprimoramentos do padrão 802.11 original por causa da seriedade de proteger adequadamente uma rede *wireless*. Os principais aprimoramentos de segurança do 802.11 são:

Data Privacy (Privacidade dos Dados): Necessidades de confidencialidade são protegidas no 802.11i pelo uso de um método de criptografia mais forte chamado *Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol* (CCMP), o qual usa o algoritmo *Advanced Encryption Standard* (AES). O método de criptografia é geralmente abreviado como CCMP/AES, AES CCMP ou simplesmente CCMP. O 802.11i também oferece um método de criptografia adicional chamado *Temporal Key Integrity Protocol* (TKIP), o qual usa o RC-4 que é um algoritmo de cifrar fluxo, ele é basicamente um aprimoramento da criptografia WEP.

Authentication (Autenticação): O 802.11i define 2 métodos de autenticação usando tanto uma estrutura de autorização 802.1x ou *pre-shared keys* (chaves pré-compartilhadas - PSKs). Uma solução 802.1x requer o uso de *Extensible Authentication Protocol* (EAP), embora o padrão 802.11i não especifique qual método EAP usar.

Robust Security Network (RSN): Define todo o método de estabelecimento de autenticação, negociando associações de segurança e dinamicamente gerando chaves criptografadas pra clientes e pontos de acessos.

2.2.5 802.11n

Um evento que chamou a atenção do mercado de Wi-Fi foi a passagem do padrão 802.11n. Desde 2004, o Grupo de Trabalho n (TGn) tem trabalhado no aperfeiçoamento do padrão 802.11 com a finalidade de conseguir um maior rendimento. O objetivo principal do 802.11n é aumentar a taxa de transferência em ambas as faixas de frequências 2.4 GHz e 5 GHz. O padrão 802.11n define uma nova operação conhecida como *High Throughput* (HT), o qual fornece melhoramentos em PHY e MAC para suportar rendimentos de 100 Mbps ou maiores.

HT usa tecnologia *multiple-input multiple-output* (MIMO) em união com a tecnologia OFDM. MIMO usa múltiplas antenas para recebimento e transmissão e tira proveito dos efeitos do *multipath* ao invés de eliminá-los. Dos efeitos benéficos do uso do MIMO podemos citar o aumento na taxa de transferência e um maior alcance.

Segundo a Wi-Fi Alliance, o padrão 802.11n é o maior passo na evolução da tecnologia Wi-Fi que se tem até o momento, isso porque ao contrário dos seus antecessores 802.11a e 802.11g, o 802.11n é mais que um novo protocolo da camada física (PHY). Ele incorpora vários aperfeiçoamentos dos quais podemos citar um melhor rendimento e um maior alcance. Ele provém uma largura de banda suficiente para suportar aplicações de vídeos, jogos, dados e voz, além de cobrir facilmente uma área específica, como por exemplo uma casa ou escritório. Vejamos abaixo algumas das principais características do padrão 802.11n:

Taxa de Transferência: é a medida real de performance. Por definição, é um sub conjunto de taxa de dados de um dispositivo da camada física. Taxa de dados é uma expressão que se refere a capacidade de transmissão bruta de um dispositivo na camada física. 802.11n provém uma alta taxa de transferência se comparado com os seus antecessores.

Alcance e Confiabilidade: Alcance é a distância na qual um dispositivo pode operar efetivamente. Ele incorpora elementos de rendimento e robustez que é a percepção do usuário do alcance de um dispositivo, o qual combina distância com expectativas sobre a velocidade e qualidade da conexão. Os valores de alcances

que o 802.11n implantou, podem ser claramente vistos em aplicações de voz e vídeo.

Múltiplas Antenas ou MIMO: MIMO tira proveito do *multipath*. *Multipath* é o fenômeno em transmissões *wireless* no qual o sinal reflete em paredes, objetos ou móveis, causando uma distorção do sinal para o receptor. O padrão IEEE 802.11n incorpora o MIMO, o qual usa o *multipath* para melhorar a comunicação, bem diferente do que fazem os padrões 802.11a/b/g que usam técnicas para sobrepor os efeitos negativos do *multipath*.

Um sistema MIMO tem alguns transmissores (T) e receptores (R), sinais de cada transmissor T pode alcançar os receptores R através de diferentes caminhos no canal. Um dispositivo MIMO com múltiplas antenas é capaz de enviar e receber múltiplos fluxos espaciais. Ele pode multiplicar a taxa de dados através de uma técnica chamada multiplexação espacial (*spatial multiplexing*), dividindo o fluxo de dados em diversas ramificações e enviando-as ao mesmo tempo como múltiplos fluxos de dados paralelos no mesmo canal.

MIMO pode também ser usado para melhorar a robustez e o alcance das comunicações 802.11n através de uma técnica chamada diversidade espacial (*spatial diversity*). Quando o mesmo fluxo de dados é transmitido através de múltiplos fluxos espaciais, erros de taxas podem ser reduzidos. Uma outra técnica para melhorar o alcance e a confiabilidade é o *Space Time Block Coding* (Codificação em bloco de espaço de tempo - STBC). STBC melhora a recepção pela codificação em blocos do fluxo de dados, os quais são distribuídos por transmissões através de múltiplas antenas de transmissão e através do tempo. Na antena receptora o sinal é recombinação em um meio apropriado, fazendo uso da codificação. STBC requer múltiplas antenas de transmissão e proporciona benefícios para os dispositivos com a habilidade de receber um ou mais fluxos de dados.

Canalização: Além dos benefícios providos da multiplexação espacial no MIMO, a tecnologia 802.11n usa várias outras técnicas para suportar a rápida taxa de dados, habilitando o uso de canais mais amplos. Enquanto redes 802.11a/b/g operam no canal 20 MHz, 802.11n define o uso dos canais 20 e 40 MHz. Canais de 40 MHz permitem dobrar a taxa de dados para 150 Mbps. Todos os dispositivos

802.11 enviam um pacote no ar como uma sequência de símbolos. Dispositivos usando canais de 40 MHz podem codificar e transmitir mais dados em cada símbolo. Dependendo do grau de complexidade que o ambiente suporta, dispositivos 802.11 escolhem uma taxa de dados apropriada para o uso sobre o ar. Por exemplo, o padrão IEEE 802.11b suporta taxa de dados de 1, 2, 5.5 e 11 Mbps.

Características opcionais como multiplexação espacial e canais de 40 MHz, podem aumentar as taxas de dados até 600 Mbps.

Tabela 7: Taxa de dados dos padrões 802.11 a/b/g/n em Mbps (Wi-Fi Alliance, 2009)

	20 MHz Channel				40 MHz Channel			
	1 stream	2 streams	3 streams	4 streams	1 stream	2 streams	3 streams	4 streams
	Data Rate, in Mbps							
802.11b 2.4 GHz	1, 2, 5.5, 11							
802.11a 5 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54							
802.11g 2.4 GHz	1, 2, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54							
802.11n 2.4 and 5 GHz	6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5, 65	13, 26, 39, 52, 78, 104, 117, 130	19.5, 39, 58.5, 78, 117, 156, 175.5, 195	26, 52, 78, 104, 156, 208, 234, 260	13.5, 27, 40.5, 54, 81, 108, 121.5, 135	27, 54, 81, 108, 162, 216, 243, 270	40.5, 81, 121.5, 162, 243, 324, 364.5, 405	54, 108, 162, 216, 324, 432, 486, 540
802.11n, SGI enabled 2.4 and 5 GHz	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	14.4, 28.9, 43.3, 57.8, 86.7, 115.6, 130, 144.4	21.7, 43.3, 65, 86.7, 130, 173.3, 195, 216.7	28.9, 57.8, 86.7, 115.6, 173.3, 231.1, 260, 288.9	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150	30, 60, 90, 120, 180, 240, 270, 300	45, 90, 135, 180, 270, 360, 405, 450	60, 120, 180, 240, 360, 480, 540, 600

Roaming: é um mecanismo importante quando se fala em *wireless* LAN. Coleman (2009) define *roaming* como um mecanismo que permite que estações clientes que já estão se comunicando através de um AP ser capaz de pular ou mudar de uma área de cobertura do AP original e continuar as comunicações através de um novo AP. Foi publicado no padrão original 802.11 que o *roaming* fosse

suportado por todos os fabricantes de APs. *Roaming* permite a mobilidade, que é o coração e a alma da verdadeira rede sem fio e conectividade.

O padrão 802.11n traz inovações que reduzem a sobrecarga e melhoram a eficiência das transmissões, contribuindo diretamente para o melhoramento da taxa de transferência (*throughput*). MIMO e canalização afetam diretamente a taxa de dados dos dispositivos. Além disso, uma técnica do 802.11n chamada *Short Guard Interval* (Intervalo de Guarda Curto - SGI) também pode melhorar a taxa de dados, reduzindo o tamanho dos espaços entre os símbolos.

Muito do melhoramento do rendimento no 802.11n vem de técnicas de agregação. Agregação de quadro (*Frame Aggregation*) melhoram a eficiência dos sistemas 802.11n, reduzindo a sobrecarga do protocolo que é requerido para transmissão de quadros de protocolo. Transmissão de vídeo pode se beneficiar pelo fato de ser transportado usando o tamanho máximo de quadros agregados, uma vez que o tráfego de vídeo envia muitos quadros para o mesmo destino.

Enquanto o MIMO aumenta a taxa de dados sobre o ar por meios bem definidos, o impacto das técnicas de agregação no rendimento é dependente do padrão de tráfego. O impacto de todas as características é dependente do ambiente no qual o equipamento é usado, configuração do equipamento e da proximidade

2.2.6 Outras Extensões do Padrão IEEE 802.11

Como mencionado anteriormente, existem várias outras extensões do padrão IEEE 802.11, porém o escopo desse trabalho não é suficiente para abranger todos eles. O Intuito foi focar nos principais padrões, os mais usados e importantes no cenário atual. Não que os outros padrões não sejam importantes, pelo contrário, cada um tem a sua parcela de contribuição para o crescimento e aperfeiçoamento do padrão como um todo. De um modo geral, alguns padrões foram lançados para serem usados em outros países, como o Japão, outros nem chegaram a ser ratificados. Por isso as pessoas costumam chamar padrão 802.11 "sopa de letrinhas".

Existem alguns padrões já ratificados como os padrões c, e, f, h, j, k, ma, r, t, w, y, e outros padrões que ainda estão em desenvolvimento, padrões ad, aa, z, v, u, s, p, mb. A maioria deles podem ser encontrados em um único documento: padrão IEEE 802.11-2007, disponível em www.ieee.org (acesso em 20/04/2012).

2.2.7 A Próxima Geração de Padrões: Padrão IEEE 802.11ac

O provável sucessor do atual padrão 802.11n, deverá ser o padrão 802.11ac, que ainda está em fase de desenvolvimento e tem previsão pra ser finalizado no segundo semestre de 2012.

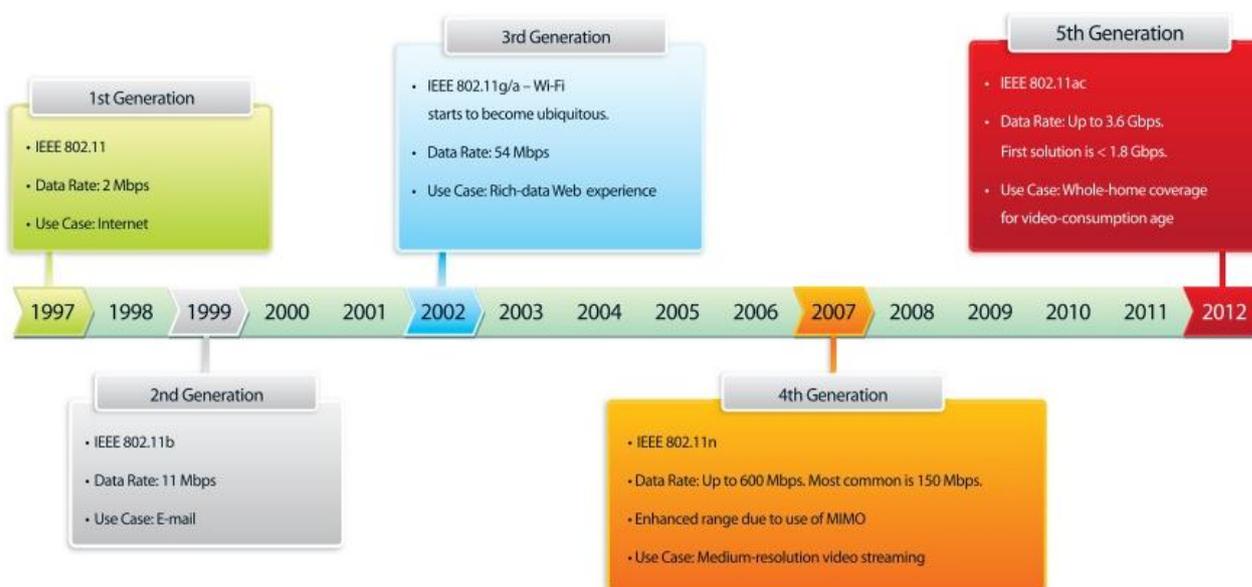


Figura 15: Gerações de Padrões - Linha do Tempo (Broadcom, 2012)

De acordo com a Broadcom (2012:2), o padrão IEEE 802.11ac é a quinta geração em padrões de redes *wireless* e possibilitará *streaming* de vídeo de alta qualidade e sincronismo de dados e backup instantâneos para *notebooks*, *tablets* e telefones celulares, os quais tem se tornado nossas companhias no dia-a-dia. Esse novo padrão já está sendo chamado de 5G Wi-Fi.



Figura 16: 5G Wi-Fi Logo (Broadcom, 2012)

Os melhoramentos nas velocidades de transmissão serão consideráveis. Dispositivos IEEE 802.11ac fornecerão taxas de dados de 433 Mbps, o que já é pelo menos três vezes mais rápido que o atual padrão 802.11n. O novo padrão possibilitará aos fabricantes escolher entre uma variedade de produtos com diferentes níveis de performance, alguns dispositivos 802.11ac de alta velocidade oferecerão uma transmissão *wireless* que ultrapassará 1 Gbps (Gigabit por segundo), o que faz com que o IEEE 802.11ac se aproxime muito das velocidades fornecidas pelas redes cabeadas mais rápidas.

Embora haja muitos benefícios da tecnologia IEEE 802.11ac, ele está sendo desenvolvido focando em três características principais: *streaming* de vídeo, sincronização de dados e backup.

Streaming de Vídeo: diversão em vídeo tornou-se um dos principais motivos do uso de dispositivos eletrônicos, o que também ocasiona muito do tráfego de Wi-Fi. Além disso, *streaming* de vídeo também requer muita largura de banda. O IEEE 802.11ac vem pra solucionar esse problema, fornecendo transmissões de dados mais rápidas, de 433 Mbps, usando uma simples antena e largura de banda de 80 MHz. Com isso será possível transmitir filmes de alta definição em Blu-ray ou qualquer outra aplicação de vídeo muito mais fácil e rápido, em comparação do que acontece hoje.

Sincronismo de dados e Backup: As altas taxas de transferências do IEEE 802.11ac reduzirão muito o tempo de sincronização de dados. Será possível sincronizar (transferir dados) listas de reprodução e calendários em segundos. Filmes e grandes arquivos poderão ser transferidos em minutos, tudo isso rapidamente e sem muito esforço. Criação de cópias de segurança (*backup*) de seus

dispositivos fixos e móveis é de suma importância. A velocidade do IEEE 802.11ac facilitará muito o processo de criação de cópias de seguranças de celulares, *tablets* e computadores, evitando possíveis perdas de dados.

Vejamos também alguns detalhes técnicos e características do novo padrão, segundo artigo publicado pela Broadcom (2012:3):

Mudanças de *Spectrum*: Ao contrário dos outros padrões, o IEEE 802.11ac trabalha exclusivamente na faixa de *spectrum* mais limpa ou menos congestionada, de 5 GHz. Com isso as taxas de transmissões nesse padrão melhoram consideravelmente. Outra vantagem do IEEE 802.11ac é em relação à largura de banda. Isso se deve ao fato de que cada canal de comunicação é cerca de quatro vezes maior do que os canais disponíveis no IEEE 802.11n. Podemos fazer uma analogia com uma rodovia com seis pistas que suporta muito mais carros do que uma rodovia com apenas duas pistas.

***Beamforming*:** É a habilidade de um transmissor Wi-Fi de aprender a evitar caminhos ineficientes entre ele e o dispositivo para o qual está transmitindo através do uso de sensores direcionais e *multipath*. Com isso é possível expandir o alcance e a cobertura *wireless*, sendo possível cobrir um prédio com vários andares, por exemplo.

Alcance e Área de Cobertura: As transmissões do IEEE 802.11ac começam muito mais rápido que os padrões antecessores, isso permite à um AP IEEE 802.11ac obter o mesmo rendimento de dados a 9 metros de distância, sendo que um AP IEEE 802.11n conseguiria o mesmo a 3 metros de distância. Além disso, o IEEE 802.11ac tem uma habilidade maior de transmitir sinais através de obstáculos como muros de concreto, edifícios e metais do que os seus padrões antecessores. Isso é possível devido ao uso de *beamforming* e outras inovações do padrão. Tudo isso faz com que o IEEE 802.11ac consiga um alcance e uma área de cobertura bem maiores.

Múltiplas Antenas: Um dispositivo IEEE 802.11ac pode conter entre um e oito antenas. As velocidades de transmissões são diretamente proporcionais ao número de antenas. Assim, quanto maior o número de antenas, maior a velocidade de transmissão.

O padrão IEEE 802.11ac ainda não está completo, mas as expectativas sobre ele são inúmeras. Segundo a IEEE, ele deve estar estável e pronto para o uso somente em 2013, mas ao que tudo indica ele vem para abalar o mercado de *wireless*. Velocidade de transmissão, alcance, cobertura e interoperabilidade são apenas alguns dos aperfeiçoamento do novo padrão. Cada vez mais a sociedade faz uso da tecnologia e essa tem mudado constantemente. O futuro tecnológico ainda é uma incógnita onde todos anseiam por saber o que está por vir.

3 ESTUDO DE CASOS

Este capítulo visa a execução de alguns testes de velocidade e performance de *wireless* LAN, padrões 802.11 b/g/n. Iremos utilizar 2 *Notebooks*, 1 computador Desktop e alguns softwares *freeware* que podem ser encontrados para *download* sem custo algum na Internet. O intuito é demonstrar características e diferenças entre os principais padrões IEEE 802.11 b/g/n.

Equipamentos utilizados:

- 1 Notebook Lenovo: Processador Intel Core 2 duo T7300 de 2 GHz, 2 GB de memória RAM, Disco rígido de 120 GB com *Windows XP service pack 3*;
- 1 Notebook Sony Vaio: Processador Intel Core i3 M330 de 2.13 GHz, 4 GB de memória RAM, Disco rígido de 500 GB com *Windows 7 Home Premium*;
- 1 Computador Desktop: Processador Intel Core 2 Quad Q6600 de 2.4 GHz, 4 GB de memória RAM, 2 Discos rígidos de 500 GB com *Windows 7 Professional service pack 1*;
- 1 Roteador Dlink DIR-600 Padrão n, 150 Mbps de velocidade de transmissão.

Softwares utilizados:

Jperf: gratuito e disponível abertamente, Iperf é uma ferramenta de linha de comando útil para medir o desempenho de uma rede. Jperf é uma ferramenta gráfica feita em Java que executa todas as funções do Iperf. Jperf possui uma estrutura simples para gravação e execução de testes automatizados de performance e escalabilidade. Ele pode ser executado como servidor ou cliente, além disso pode-se escolher entre os protocolos TCP e UDP para a execução dos testes. Basicamente ele mede a performance entre dois pontos distintos de uma rede.

Networx: é um aplicativo que mede a velocidade de banda de uma conexão por meio da coleta de dados de entrada e saída. Ele auxilia na avaliação de velocidade de banda de uma conexão. É um aplicativo muito útil para monitorar a atividade de uma rede e sua interface é bem simples e intuitiva. É um software totalmente grátis.

O roteador Dlink está configurado como mostra a figura abaixo:

ADVANCED WIRELESS SETTINGS

Transmit Power : 100% ▾

Beacon interval : 100 (msec, range:20~1000, default:100)

RTS Threshold : 2346 (range: 256~2346, default:2346)

Fragmentation : 2346 (range: 1500~2346, default:2346, even number only)

DTIM interval : 1 (range: 1~255, default:1)

Preamble Type : Short Preamble Long Preamble

CTS Mode : None Always Auto

Wireless Mode : 802.11 Mixed(n/g/b) ▾

Band Width : 20/40 MHz(Auto) ▾

Short Guard Interval :

WIRELESS 802.11N

SSID : dlink
Channel : 1
Encryption : CIPHER_AUTO

Figura 17: Roteador Dlink DIR-600 - Configurações avançadas de wireless (Arquivo Pessoal)

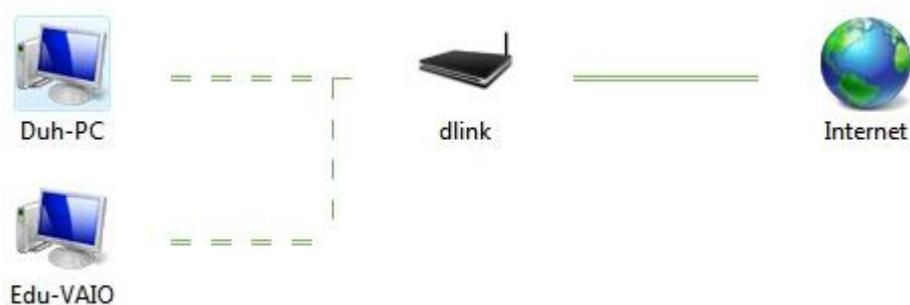


Figura 18: Primeiro Cenário - Mapa da Rede - Desktop (802.11n) / Sony Vaio (802.11g) (Arquivo Pessoal)

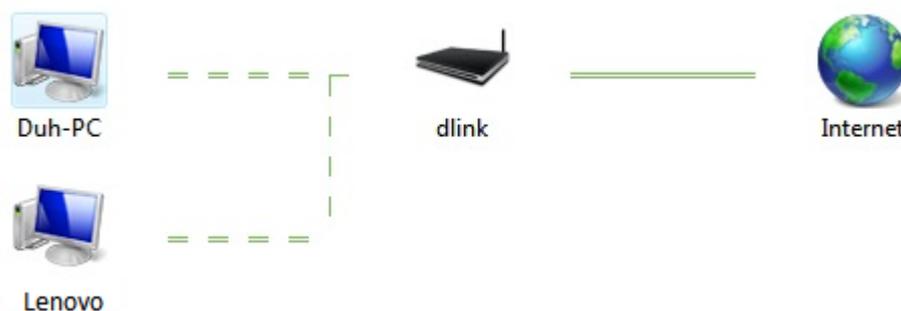


Figura 19: Segundo Cenário - Mapa da Rede - Desktop (802.11n) / Lenovo (802.11b) (Arquivo Pessoal)

3.1 Primeiro Cenário - Jperf

Neste primeiro cenário vamos usar o *software* Jperf para medir a performance da rede. Os computadores usados serão o Desktop e o Sony Vaio. O Desktop (Duh-PC) será o servidor e usaremos as configurações padrões do Jperf para ambos. O Sony Vaio (Edu-Vaio) será a máquina cliente.

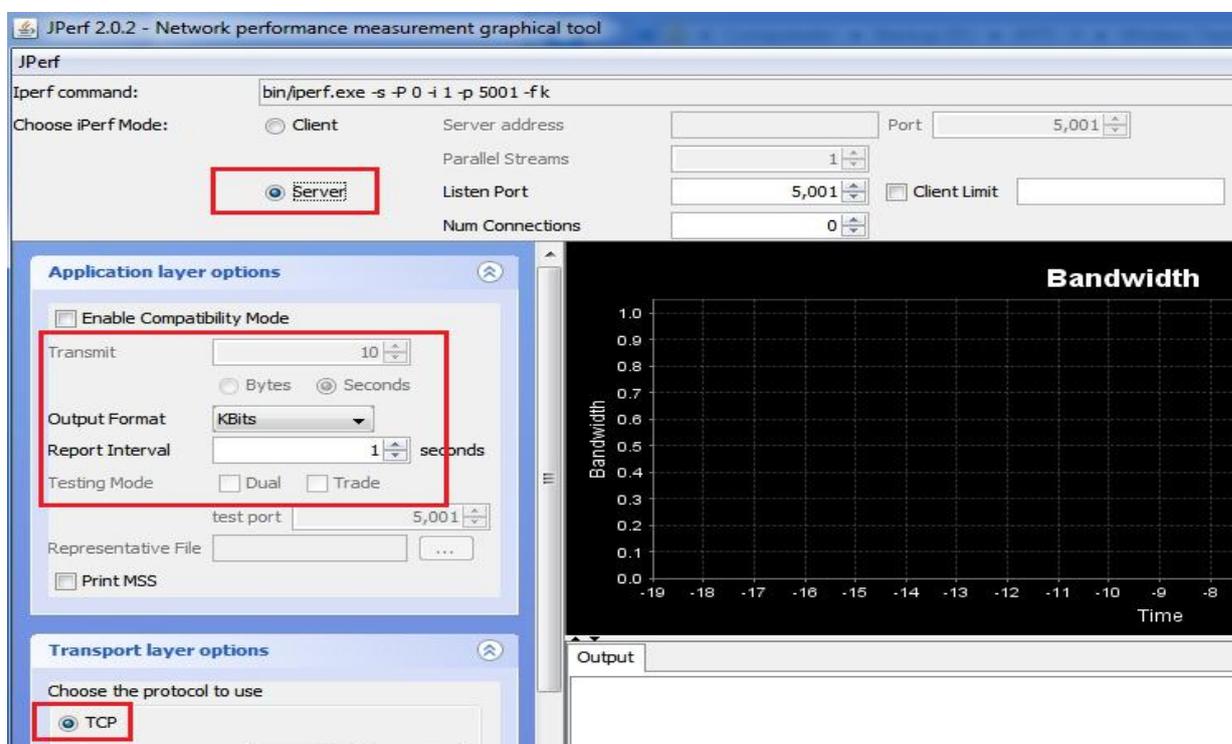


Figura 20: Jperf - Configuração do Servidor (Arquivo Pessoal)

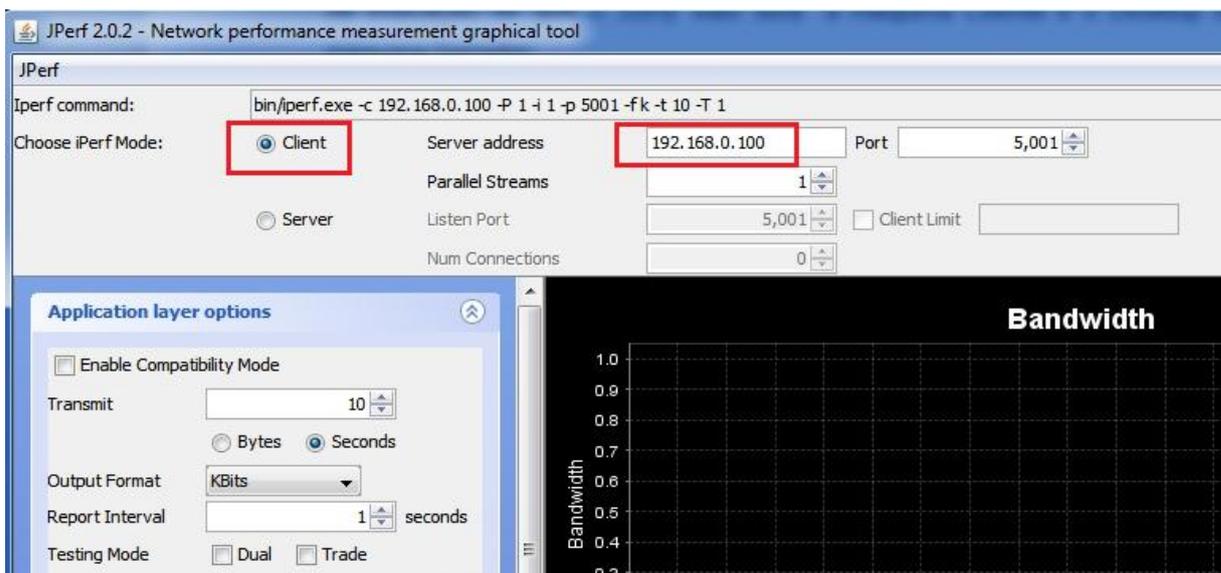


Figura 21: Jperf - Configuração do Cliente (Arquivo Pessoal)

Executando o teste obtemos os seguintes resultados:

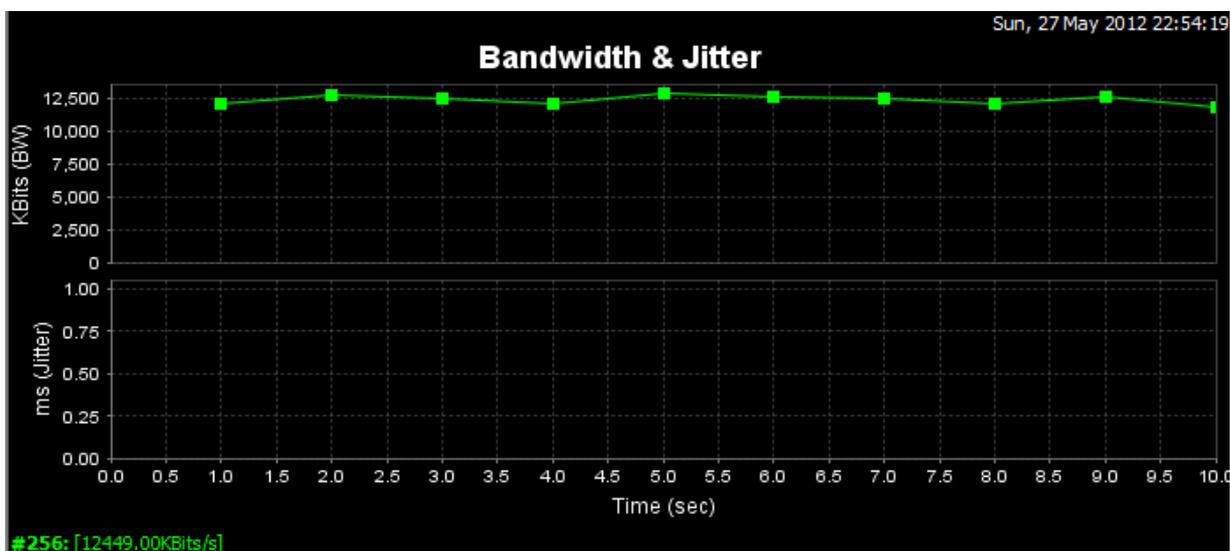


Figura 22: Jperf - Resultado do teste referente ao Primeiro Cenário - 802.11g - Parte 1 (Arquivo Pessoal)

```

Output
bin/iperf.exe -s -P 0 -i 1 -p 5001 -f k
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[256] local 192.168.0.100 port 5001 connected with 192.168.0.102 port 50206
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth
[256] 0.0- 1.0 sec  1488 KBytes   12190 Kbits/sec
[256] 1.0- 2.0 sec  1568 KBytes   12845 Kbits/sec
[256] 2.0- 3.0 sec  1536 KBytes   12583 Kbits/sec
[256] 3.0- 4.0 sec  1480 KBytes   12124 Kbits/sec
[256] 4.0- 5.0 sec  1576 KBytes   12911 Kbits/sec
[256] 5.0- 6.0 sec  1552 KBytes   12714 Kbits/sec
[256] 6.0- 7.0 sec  1529 KBytes   12529 Kbits/sec
[256] 7.0- 8.0 sec  1479 KBytes   12112 Kbits/sec
[256] 8.0- 9.0 sec  1544 KBytes   12648 Kbits/sec
[256] 9.0-10.0 sec  1440 KBytes   11796 Kbits/sec
[256] 0.0-10.0 sec  15216 KBytes  12449 Kbits/sec

```

Figura 23: Jperf - Resultado do teste referente ao Primeiro Cenário - 802.11g - Parte 2 (Arquivo Pessoal)

3.2 Segundo Cenário - Jperf

Neste segundo cenário usaremos novamente o Desktop como servidor, porém configurando o notebook Lenovo para se conectar na rede usando o padrão 802.11b como cliente.

CONNECTED WIRELESS CLIENT LIST					
The Wireless Client table below displays Wireless clients Connected to the AP (Access Point).					
NUMBER OF WIRELESS CLIENTS : 2					
Connect Time	MAC Address	IP Address	Mode	Rate	Signal (%)
0 days, 11:20:4	54:E6:FC:9A:A5:73	192.168.0.100	11n	135.0	100
0 days, 00:00:57	00:1F:3B:38:9B:CF	192.168.0.101	11b	11	100

Figura 24: Desktop (192.168.0.100) usando o padrão 802.11n e o Lenovo (192.168.0.101) usando o padrão 802.11b (Arquivo Pessoal)

Executando o mesmo teste do primeiro cenário obtemos o seguinte:

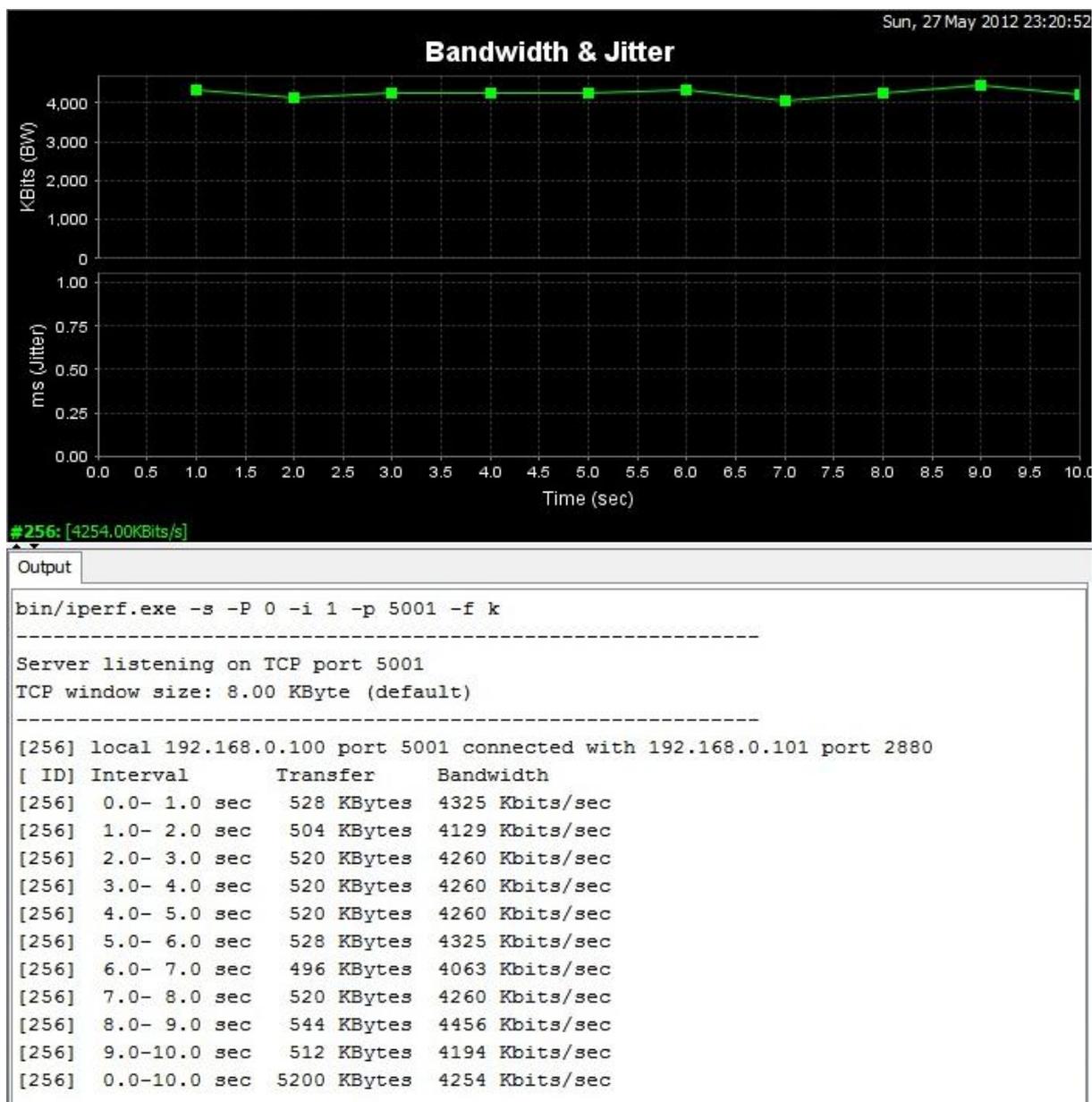


Figura 25: Jperf - Resultado do Segundo Cenário - 802.11b (Arquivo Pessoal)

3.3 Conclusões do Primeiro e Segundo Cenários

Fazendo uma comparação entre os dois cenários podemos ver que a diferença entre o primeiro e o segundo é bem visível. Usando as mesmas configurações em um intervalo de 10 segundos, o padrão 802.11g (primeiro cenário) obteve uma Taxa de Transferência (*Transfer*) de 15216 Kbytes e Largura de Banda

(*Bandwidth*) de 12449 Kbits/segundo. Já o padrão 802.11b (segundo cenário) obteve uma Taxa de Transferência de 5200 Kbytes e Largura de Banda de 4254 Kbits/segundo.

Infelizmente pra esses testes não foi possível usar o padrão 802.11n pois seria preciso dois computadores usando o 802.11n. Porém, através desses testes podemos tirar duas conclusões importantes:

Primeiro: apesar de ser um teste simples, é possível ver claramente que existe sim uma diferença grande de performance e velocidade entre os diversos padrões. Isso inclui largura de banda (*bandwidth*), taxa de transferência ou vazão de dados (*throughput*), taxa de transmissão (*data rate*) e alcance (*range*).

Segundo: mesmo você tendo um computador usando o padrão 802.11n (velocidade de 150 Mbps) e outro usando o padrão 802.11b (velocidade de 11Mbps), a performance da rede tende a cair mais precisamente pro lado do 802.11b. Pra você conseguir uma performance máxima de sua *wireless* LAN, não basta ter um roteador padrão n, todos os dispositivos conectados a ele também deverão ser todos padrão n, sem contar outros fatores que podem influenciar na performance.

3.4 Teste com *Streaming* de Vídeo

Nesse outro exemplo prático, vamos testar a execução de *streaming* de vídeo (executar um vídeo remotamente de outro computador) através da rede *wireless* em ambos os padrões 802.11b e 802.11g. Infelizmente, não foi possível executar o teste no padrão 802.11n pois seria preciso 2 computadores com placas *wireless* padrão 802.11n. Para esse teste usaremos o Medidor de Velocidade do Networx, um *software freeware* simples, porém bem útil.

3.4.1 Primeiro Cenário - *Streaming* de Vídeo

Nesse cenário usaremos o computador Desktop (padrão 802.11n) e o Sony Vaio (padrão 802.11g) para execução do teste. O teste consiste em executar um

vídeo de um filme (Constantine, 2005) do *laptop* Sony Vaio, através do computador *Desktop* usando o padrão 802.11g e o *software* Networx para medição de velocidade. O cenário é o seguinte:

NUMBER OF WIRELESS CLIENTS : 2					
Connect Time	MAC Address	IP Address	Mode	Rate	Signal (%)
0 days, 2:57:9	54:E6:FC:9A:A5:73	192.168.0.100	11n	135.0	100
0 days, 00:6:2	2C:81:58:F2:A5:85	192.168.0.102	11g	54	100

Figura 26: Configuração do Roteador - Primeiro Cenário Streaming (Arquivo Pessoal)

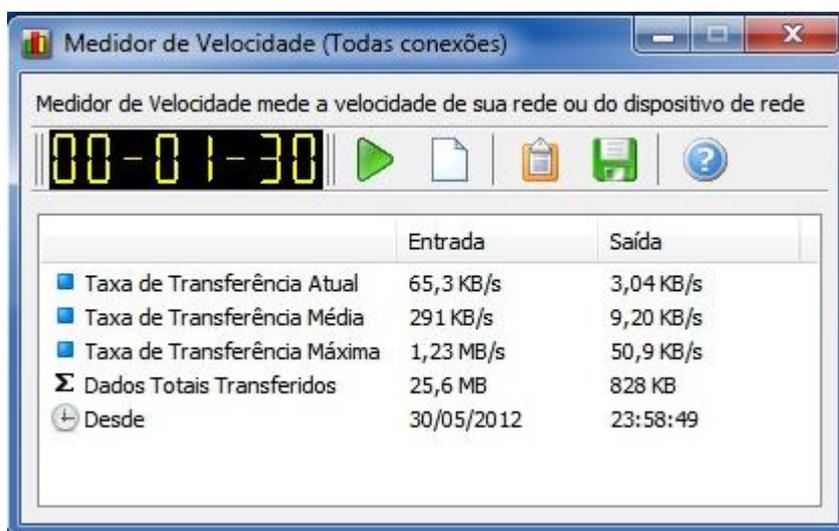


Figura 27: Resultado do Teste de Streaming - Primeiro Cenário (Arquivo Pessoal)

Analisando os dados colhidos pelo *Networx* em um intervalo de 1 minuto e 30 segundos, o destaque fica por conta da taxa de transferência média de 291 KB/s e taxa de transferência máxima de 1,23 MB/s.

3.4.2 Segundo Cenário - Streaming de Vídeo

Nesse cenário usaremos o computador *Desktop* (padrão 802.11n) e o *Lenovo* (padrão 802.11b) para execução do teste. O teste consiste em executar um vídeo de

um filme (Constantine, 2005) do laptop Lenovo, através do computador Desktop usando o padrão 802.11b e o software Networx para medição de velocidade. A execução é o seguinte:

NUMBER OF WIRELESS CLIENTS : 2					
Connect Time	MAC Address	IP Address	Mode	Rate	Signal (%)
0 days, 2:27:50	54:E6:FC:9A:A5:73	192.168.0.100	11n	135.0	100
0 days, 1:10:35	00:1F:3B:38:9B:CF	192.168.0.101	11b	11	100

Figura 28: Configuração do Roteador - Segundo Cenário Streaming (Arquivo Pessoal)

Medidor de Velocidade (Todas conexões)

Medidor de Velocidade mede a velocidade de sua rede ou do dispositivo de rede

00-01-30

	Entrada	Saída
Taxa de Transferência Atual	73,7 KB/s	1,82 KB/s
Taxa de Transferência Média	305 KB/s	5,89 KB/s
Taxa de Transferência Máxima	590 KB/s	11,7 KB/s
Σ Dados Totais Transferidos	26,8 MB	530 KB
Desde	30/05/2012	22:37:28

Figura 29: Resultado do Teste de Streaming - Segundo Cenário (Arquivo Pessoal)

Nesse teste o Networx computou, em um intervalo de 1 minuto e 30 segundos, uma taxa de transferência média de 305 KB/s e uma taxa de transferência máxima de 590 KB/s.

Pelos dados do primeiro e segundo cenários, podemos ver que a velocidade das taxas de transferência máxima e média do padrão 802.11g é bem superior ao padrão 802.11b, quando na execução de *streaming* de vídeo.

3.5 Teste - Copiando Arquivos

Este exemplo prático irá mostrar mais algumas diferenças entre os padrões 802.11g e 802.11b. O teste consiste em copiar um arquivo de um computador para o outro através da rede *wireless*. O objetivo é mostrar que há diferenças entre ambos os padrões. O exemplo usado nesse teste foi o arquivo de instalação do iTunes (iTunes64Setup.exe) que tem um tamanho aproximado de 70 MB.

3.5.1 Primeiro Cenário - Copiando Arquivo

Nesse teste, copiaremos o executável do iTunes do *laptop* Sony Vaio para o computador Desktop, através da rede usando o padrão 802.11g. O Networx será o *software* responsável pela medição da velocidade.



Figura 30: Resultado do Primeiro Cenário - Copiando iTunes64.exe - 802.11g (Arquivo Pessoal)

3.5.2 Segundo Cenário - Copiando Arquivo

Nesse teste, a cópia do arquivo do iTunes será feita do *laptop* Lenovo para o computador Desktop, usando padrão 802.11b.



Figura 31: Resultado do Segundo Cenário - Copiando iTunes64Setup.exe - 802.11b (Arquivo Pessoal)

Pelos testes de cópia de arquivo pode-se notar a gritante diferença entre os padrões. No 802.11g, a cópia do arquivo foi feita em 58 segundos, obteve-se uma taxa de transferência média de 1,24 MB/s e taxa de transferência máxima de 1,39 MB/s. Já o 802.11b, a cópia foi completada em 2 minutos e 5 segundos, em uma taxa de transferência média de 579 KB/s e taxa de transferência máxima de 633 KB/s. Por esses números, pode-se concluir que o padrão 802.11g é muito mais rápido que o 802.11b. Ele fez a cópia do arquivo em menos da metade do tempo do 802.11b.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

“Disciplina, Paciência, Dedicção e Determinação. Esse é o meu segredo!”

(Bruce Lee)

A partir da apresentação e análise dos dados contidos nesse trabalho, observa-se que, cada vez mais, as redes sem fio estão presentes no cotidiano das pessoas, sejam em ambiente doméstico, empresarial, público ou privado. Algo que há alguns anos atrás parecia impossível, hoje prova-se o contrário. Atualmente, tudo está conectado. A Internet cresce a passos largos e com ela uma imensidão de redes e informações, que unem pessoas, cidades, estados e países. Estamos nos tornando dependentes dessas redes.

Há muito tempo, as conexões eram possíveis somente com cabos. Mas esse paradigma está mudando, está sendo quebrado através das redes *wireless*. Serão as redes sem fio o futuro das redes locais e da Internet? Isso ainda é uma incógnita. Mas o que vemos hoje nos faz pensar que daqui a alguns anos as conexões existentes serão tudo *wireless* (sem fio). Pois as redes sem fio nos proporcionam uma imensa variedade de benefícios como mobilidade, flexibilidade, velocidade, disponibilidade, segurança, conveniência, produtividade, escalabilidade, etc., sem contar o fato de poder conectar lugares de difícil acesso, onde seria quase impossível fazê-lo através de cabos.

O padrão IEEE 802.11 original provia uma velocidade de transmissão de 1 a 2 Mbps, considerada baixa para os padrões atuais. Isso foi sendo melhorado com os padrões 802.11b, 802.11a e 802.11g, até chegar finalmente no padrão 802.11n que provém velocidades de até 600 Mbps. A nova geração de padrões, em especial o padrão 802.11ac, possível sucessor do 802.11n, prometem revolucionar ainda mais o modo como as redes de computadores operam. O 802.11ac promete prover velocidade de transmissão acima de 1Gbps, o que aproximaria muito as redes *wireless* das redes *Ethernets* (redes cabeadas) de fibra óptica.

O objetivo principal desse trabalho era fornecer uma visão geral das redes Wi-Fi, principalmente no que diz respeito ao padrão IEEE 802.11. Ao mesmo tempo que as redes *wireless* são bem simples de usar, ela traz consigo uma imensidão de

tecnologias e conceitos. Para um melhor aproveitamento de seus benefícios e até mesmo no que diz respeito a segurança das redes, é fundamental saber, conhecer como funcionam essas redes, suas características, vantagens e vulnerabilidades. Só assim, será possível usufruir ao máximo dos seus benefícios. O foco deste trabalho foi o padrão IEEE 802.11, entendendo bem o seu funcionamento e todos os conceitos referentes as tecnologias envolvidas, têm-se uma base sólida para lidar com qualquer tipo de rede sem fio. A princípio esse objetivo foi alcançado. O assunto em questão, aqui tratado, é muito abrangente, abrindo brechas para, quem sabe, futuros trabalhos sejam realizados e que possam vir a completar este um que aqui se finaliza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Citação:** NBR-14724/abri - 2011. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BARTZ, R.J. **CWTS - Certified Wireless Technology Specialist Official Study Guide**. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2009. 511p.

BROADCOM CORPORATION. **IEEE 802.11ac - Wi-Fi for the Mobile and Video Generation**. p.1-6, jan. 2012.

CARPENTER, T.; BARRET, J. **CWNA - Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide**. Fourth Edition. United States of America: McGraw Hill Companies, 2008. 673 p.

CLUBE DO HARDWARE. Disponível em: <http://www.hardware.com.br/tutoriais/padroes-wireless>. Acesso em 15 abr. 2012. 15h30.

COLEMAN, D.D; WESTCOTT, D.A. **CWNA - Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide**. Indianapolis: Wiley Publishing , Inc., 2009. 709 p.

HIERTZ, G.; DENTENEER, D.; STIBOR, L.; ZANG, Y.; COSTA, X.P.; WALKE, B. The IEEE 802.11 universe. **IEEE Communications Magazine**, v.48, p.62-70, jan. 2010.

IEEE. Disponível em: <http://www.ieee.org>. Acesso em 15 abril. 2012. 21h30.

JPERF. Disponível em: <http://sourceforge.net/projects/jperf/>. Acesso em 15 mai. 2012. 23h30.

KUROSE, J. F.; ROSS, K.W. **Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. 5. edição. Tradução Opportunity Translations. Revisão Técnica Zucchi, W.L. São Paulo: Pearson Education, Inc., 2010. 614 p.

NETWORX. Disponível em: <http://www.softperfect.com/products/networx/>. Acesso em 20 mai. 2012. 22h30.

PERAHIA, E. The IEEE 802.11n Development: History, Process and Technology. **IEEE Communications Magazine**, p.48-55, jun. 2008.

RUFINO, N. M. **Segurança em Redes sem Fio: Aprenda a proteger suas informações em ambientes Wi-Fi e Bluetooth**. Segunda Edição. São Paulo: Novatec Editora, 2007. 206 p.

TANENBAUM, A.S. **Redes de Computadores**. Quarta Edição. Tradução SOUZA, V. D. Editora Campus. 2003.

TELECO. Disponível em: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwanman1/pagina_2.asp. Acesso em 15 abr. 2012. 14h12.

VASSIS, D.; KORMENTZAS, G.; ROUSKAS, A.; MAGLOGIANNIS, I. The IEEE 802.11g standard for high data rate WLANs. **IEEE Network Magazine**, v.19, p.21-26, mai. 2005.

WI-FI ALLIANCE. Wi-Fi CERTIFIED n: Longer-Range, Faster-Throughput, Multimedia-Grade Wi-Fi Networks. **White Paper**, p.1-17, set. 2009.

5GWIFI. Disponível em: <http://www.5gwifi.org/index.php>. Acesso em 06 mai. 2012. 20h49.