INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O PADRÃO IEEE802.11G E O DRAFT 2.0 IEEE802.11N

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DO CURSO DE SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES

Orientador: ROSINEI HENRIQUE DA SILVA
Co-Orientador: ODILSON TADEU VALLE

São José, 03 de março de 2009.

FARLEIR LUÍS MINOZZO

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O PADRÃO IEEE802.11G E O DRAFT 2.0 IEEE802.11N

Trabalho de conclusão de curso a ser apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Tecnólogo do curso de Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Unidade de São José.

Orientador: Rosinei Henrique da Silva

Co-Orientador: Odilson Tadeu Valle

Autoria: Farleir Luís Minozzo

Título: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O PADRÃO IEEE802.11g E O *DRAFT* 2.0 IEEE802.11N

Trabalho de conclusão de curso a ser apresentado como parte das atividades para obtenção do título de Tecnólogo do curso de Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Unidade de São José.

Os componentes da banca de avaliação, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado.				
	Nome	**Titulação**	**Assinatura**	**Instituição**
1	Rosinei Henrique da Silva	Eng.		Intelbras S.A.
2	Odilson Tadeu Valle	Ms.		IFSC - Campus São José
3	Evandro Cantu	Dr.		IFSC - Campus São José

Data da aprovação: _23_ de _____Março____ de __2009__.

“Dedico este trabalho para:

Para aquelas pessoas que me fazem sorrir...
Para as pessoas que me trouxeram ao mundo...
Para as pessoas que sempre estiveram junto de mim...
Para as pessoas que fizeram a diferença em minha vida...
Para as pessoas que quando olho para trás sinto saudades...
Para as pessoas que me aconselharam quando me senti sozinho...
Para pessoas que me deram força quando eu não estava animado...
Para as pessoas que encontro todos os dias e nunca tive coragem e a oportunidade de dizer tudo que sinto olhando nos seus olhos...
Para as pessoas que tiveram coragem de mostrar como a vida é não permitindo que eu vivesse em um mundo de mentiras...
Para as pessoas que encontro apenas em meus sonhos...
Para as pessoas que me cuidavam enquanto eu dormia...
Para as pessoas que me ajudaram a evoluir e crescer...
Para as pessoas que me ensinaram com seus erros...
Para as pessoas com as quais trabalhei...
Para as pessoas com as quais estudei...
Para as pessoas que abracei...
Para as pessoas que amei...
Para mim...”

Texto Adaptado

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente a todos
que estiveram comigo durante a
elaboração deste trabalho:

Minha Família,
Minha Namorada,
Meus Amigos,
Minhas Amigas,
Meus Colegas de Trabalho,
Meus Colegas de Estudo,
Meus Orientadores,
Meus Professores,
a Deus.

RESUMO

As tecnologias de redes sem fio estão difundidas e consolidadas em todo o mundo. Entre as que estão presentes na maior parte dos dispositivos (*handleds*, *notebooks*, celulares, etc.), encontram-se os padrões do IEEE (*Institute of Engineering Electrical and Electronic*), especificamente os padrões da família IEEE802.11, dos quais dois deles são objetos de estudo deste trabalho.

Esta monografia tem como objetivo descrever um estudo comparativo realizado entre duas tecnologias de redes sem fio definidas pelo IEEE. O padrão que será comparado com o *Draft* 2.0 do IEEE802.11N (300Mbps), em atual desenvolvimento, será o IEEE802.11g (54Mbps), já consolidado. Na parte teórica serão realizados estudos comparativos das técnicas utilizadas nos padrões já consolidados e também algumas novas técnicas que ainda estão em fase de desenvolvimento e estudo. E a parte prática se limitará a comparativos relacionados à taxa efetiva de transmissão (*throughput*) das duas tecnologias.

Para efeito de comprovação serão utilizados equipamentos disponíveis no mercado mundial, nos quais as tecnologias estudadas já estão implementadas. Nestes, foram realizados testes com a utilização de ferramentas (*softwares*) e equipamentos de análise (analisador espectral e câmara anecóica) de forma a obter maior confiabilidade aos testes. Em função dos resultados obtidos no experimento pretende-se verificar comparativamente o desempenho dos produtos em relação à tecnologia analisada, no que diz respeito ao principal objeto de estudo deste trabalho, a taxa efetiva na transmissão de dados.

Foram elaborados dois cenários distintos, um com equipamento em modo Infra-Estrutura (multi-ponto) e outro em modo *Ad-Hoc* (ponto-a-ponto). No primeiro cenário foram constatadas taxas de aproximadamente 20Mbps no padrão IEEE802.11g e 100Mbps no IEEE802.11N *Draft* 2.0, e no segundo cenário, taxas de 25Mbps no IEEE802.11g e 130Mbps no IEEE802.11N *Draft* 2.0. Assim foi possível provar a eficácia da nova tecnologia que aumentou em muito a velocidade de vazão de dados.

Palavras-chave: Wireless LAN, IEEE802.11N, MIMO, IEEE802.11g, Throughput.

ABSTRACT

The technologies of wireless networks are present and currently used in world-wide. Among the ones present in most devices (handleds, notebooks, cell phones, etc) are the standards of IEEE (Institute of Engineering, Electrical and Electronic), specifically the standard of family IEEE802.11, two of them are object of studies of this work.

This monographic target is to describe comparative study carried out comparing two wireless network technologies defined by IEEE. The standard which will be compare with Draft 2.0 IEEE802.11N (in development nowadays) will be the IEEE802.11g (already consolidate). Considering the theory, comparisons estudies will be made between the used techniques on the standard already consolidated and also some new techniques which are still in development and study. The practice will be limited to comparative related to effective transmission rate (throughput) in relation to both technologies.

For confirmation, will be used equipments available in global market, in which the studied technologies are already implemented. In this products, tests were made true the used of tools (softwares) and analyses equipments (spectral analyzer and anechoic chamber) with the intention to get more reliability to the tests. According to the experiments results it's intended to check comparatively the performance of the products related to the analyzed technology, considering the main object of study on this work, the effective rate in data transmission.

Were prepared two different scenarios, one with equipment in Infrastructure mode (multi-point) and the other in Ad-Hoc mode (point-to-point). In the first scenario were found rates of approximately 20Mbps in the IEEE802.11g standard and 100Mbps in the IEEE802.11N Draft 2.0, and the second scenario, rates of 25Mbps in IEEE802.11g and 130Mbps in IEEE802.11N Draft 2.0. Thus it was possible to prove the effectiveness of new technology that has much increased the speed of data flow.

Key Words: Wireless LAN, IEEE802.11N, MIMO, IEEE802.11g, Throughput.

SUMÁRIO

Lista de ilustrações **14**
Lista de tabelas **16**
Lista de acrônimos e siglas **17**
Introdução **19**
1.1 Justificativa do projeto *19*
1.2 Objetivos do projeto *20*
1.2.1 Objetivos Gerais 20
1.2.2 Objetivos Específicos 20
1.2.3 Objetivo Final 20
1.3 Etapas de desenvolvimento do projeto *21*
1.4 Organização do Texto *21*
2 Redes Sem Fio **23**
2.1 Conceituação *23*
2.2 Tipos de redes sem fio *24*
2.2.1 Redes sem fio metropolitanas (WMANs) 24
2.2.2 Redes sem fio pessoais (WPANs) 24
2.2.3 Redes sem fio locais (WLANs) 25
2.3 Histórico das redes sem fio locais *27*
2.4 Aplicações *28*
2.5 Delimitação do Tema *29*
3 Padrões Wireless LAN **30**
3.1 Padronização *30*
3.1.1 Órgãos regulamentadores 30
3.1.2 Freqüências de operação 31
3.1.3 Sobreposição de Canais 33
3.1.4 Potência de Irradiação 34
3.1.5 Distribuição espectral 34

4 Novo Padrão IEEE802.11n 37
4.1 Especificações técnicas e comerciais 37
4.2 Tecnologias e seus ganhos 38
4.2.1 Sub-Portadoras 39
4.2.2 FEC (Forward Error Correction) 39
4.2.3 Intervalo de Guarda (Guard Interval) 39
4.2.4 Técnica de Múltiplas Antenas 40
4.2.5 Aumentos da largura de banda do canal 41
4.3 Melhorias da Camada de Acesso ao Meio (MAC) 42
4.3.1 Agregação 43
4.3.2 Bloco de Confirmação 43
4.4 Melhorias da Camada Física (PHY) 43
4.4.1 Modo Greenfield 44
4.4.2 Modulações e suas taxas 44
4.5 Interoperabilidade e coexistência de padrões 45
5 Experimentação Prática 46
5.1 Isolamento espectral 46
5.2 Ambiente de Testes 47
5.2.1 Equipamentos analisados 47
5.2.2 Cenários estipulados 48
5.2.3 Montagem do cenário de teste 50
5.2.4 Problemas encontrados 51
5.2.5 Soluções encontradas 51
5.3 Testes de Eficiência 53
5.3.1 Cenário 1 (Produtos baseados no IEEE802.11g): 54
5.3.2 Cenário 1 (Produtos baseados no IEEE802.11N *Draft* 2.0) 55
5.3.3 Cenário 2 (Produtos baseados no IEEE802.11g) 56
5.3.4 Cenário 2 (Produtos baseados no IEEE802.11N *Draft* 2.0) 57
5.4 Conclusão dos Resultados 58
6 Conclusões 59
6.1 Comparativo entre as tecnologias 59
6.2 Resultados e conclusões dos testes 60
6.3 Sugestões para novos trabalhos 60
Considerações finais 61
Anexos 64

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplificação do modo de operação em infra-estrutura 25

Figura 2 – Exemplificação do modo de operação ponto-a-ponto..... 26

Figura 3 – Exemplificação do modo de operação Mesh 27

Figura 4 – Sobreposição de canais na faixa de 2.4GHz baseado no padrão IEEE802.11g. 32

Figura 5 - Sobreposição de canais na faixa de 2.4GHz baseado no Draft 2.0 IEEE802.11N. 33

Figura 6 – “Diagrama de Bode” aplicável ao padrão IEEE802.11g (CISCO, 2004)..... 35

Figura 7 – Análise espectral prática de um produto operando no canal 6 que utiliza o padrão 802.11g através de um analisador de espectro. 35

Figura 8 – “Diagrama de Bode” utilizado no padrão IEEE802.11n (AIRMAGNET, 2008)..... 36

Figura 9 – Visualização espectral prática de um produto operando no canal 6 que utiliza a tecnologia 802.11N (*Draft* 2.0) através de um analisador de espectro. 36

Figura 10 – Representação em blocos de um correto Intervalo de Guarda e um segundo com Intervalo de Guarda curto demais, causando Interferência Intersimbólica. (Cisco, 2007) 40

Figura 11 – Diagrama representativo de uma conexão utilizando múltiplas antenas. 41

Figura 12 – Representação da camada de Controle de Acesso do padrão IEEE802.11n (PERAHIA, STACEY, 2008). 42

Figura 13 – Exemplificação de um frame completo (Cisco, 2007)..... 43

Figura 14 – Representação em blocos dos itens que devem estar obrigatoriamente (Mandatory) e opcionais (Optional) na camada Física do padrão IEEE802.11n (PERAHIA, STACEY, 2008). 44

Figura 15 – Foto da câmara isoladora (Rhode-Schwarz, 2005)..... 47

Figura 16 – Diagrama representativo dos equipamentos presentes no Cenário 1. 49

Figura 17 – Diagrama representativo dos equipamentos presentes no Cenário 2. 49

Figura 18 – Foto do Cenário 1 mostrando a câmara com os equipamentos utilizados. 50

Figura 19 – Foto do Cenário 2 mostrando os computadores utilizados nos testes. 50

Figura 20 - Foto traseira da câmara isoladora 50

Figura 21 – Foto mostrando as conexões laterais dos dois dispositivos USB na câmara..... 52

Figura 22 - Saída do software Jperf (direita) e sua comprovação através do medidor gráfico do próprio sistema operacional Windows ® (esquerda)..... 54

Figura 23 – Gráfico gerado pelo software Jperf no receptor USB. 54

Figura 24 – Medidor gráfico do software Jperf gerado pela saída do software Iperf. 55

Figura 25 - Gráfico gerado pelo software gerenciador do dispositivo USB. © Intelbras 55

Figura 26 – Saída do software Jperf (direita) e sua comprovação através do medidor gráfico do próprio sistema operacional Windows ® (esquerda)..... 56

Figura 27 – Gráfico gerado pelo software Jperf no receptor USB em modo 802.11g 56

Figura 28 – Figura mostrando a saída do software Iperf (à esquerda) e sua comprovação através do medidor gráfico do próprio sistema operacional Windows® (à direita)..... 57

Figura 29 - Gráfico gerado pelo software gerenciador do dispositivo USB. © Intelbras 57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de operação de algumas tecnologias IEEE802.11 (ANATEL, 2008). 31

Tabela 2 - Disposição dos canais na faixa de 2.4GHz no padrão IEEE802.11g (SILVA, 2006)..... 31

Tabela 3 - Disposição dos canais na faixa de 2.4GHz no padrão Draft 2.0 IEEE802.11N. 32

Tabela 4 - Intensidade de campo permitido nas freqüências de radiação restrita (ANATEL, 2004) 34

Tabela 5 - Taxas de transferência presentes no padrão 802.11 (WILSON apud Intel Labs, 2004). 37

Tabela 6 - Esquemas de modulação, taxas e tempos de intervalo de guarda para cada velocidade de throughput possíveis no Draft2.0 do padrão IEEE802.11n. (Cisco – 2007)..... 45

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

A

ACK (*Acknowledge* – Confirmação de recebimento)
ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações)
AP (*Access Point* – Ponto de Acesso)

B

BER (*Bit Error Rate* – Taxa de Erro de Bit)

C

CDMA (*Code Division Multiple Access* – Acesso Múltiplo por Divisão de Código)

G

GSM (*Global Standard Mobile* - Padrão Global de Comunicações Móveis)

H

HT (*High Throughput* – Alta Taxa Efetiva)
HDTV (*High-definition Television* – Televisão de Alta Definição)

I

IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)
IETF (*Internet Engineering Task Force*)
ITU (*International Telecommunication Union*)
ISM (*Industrial Scientific Medical* – Industriais, Científicas e Médicas).

M

MAC (*Medium Access Control Layer* - Camada de Controle de Acesso ao Meio)
MCS (*Modulation coding scheme* - Esquemas de Códigos e Modulação)
MIMO (*Multiply Input Multiply Output* – Múltiplas Entradas Múltiplas Saídas)

O

OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplex* – Multiplexação por Divisão na Freqüência Ortogonal)

OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol* – Protocolo de Roteamento Otimizado para o Estado do Link).

P

PCI (*Peripheral Component Iinterconnect* - Interconector de Componentes Periféricos)
PHY (*Physical Layer* – Camada Física)

R

RAM (*Radiantion Absorbent Material* – Material Absorvente de Radiação)
Rx (*Reception* – Recepção)

S

SISO (*Single Input Single Output* – Única Entrada Única Saída)
SOHO (*Small Office and Home Office* – Pequenos Escritórios e Casas)

T

TCP (*Transmission Control Protocol* - Protocolo de Controle de Transmissão)
Tx (*Transmission* – Transmissão)

U

UDP (*User Datagram Protocol* - Protocolo de Datagramas de Utilizador)
USB (*Universal Serial Bus* – Barramento Serial Universal)

V

VoIP (*Voice Over IP* – Voz sobre IP)

W

WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance* – Atualmente *WiFi Alliance*)
WLAN (*Wireless Local Area Network* – Rede Local Sem Fio)
WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network* – Rede Metropolitana Sem Fio)
WPAN (*Wireless Personal Area Network* – Rede Pessoal Sem Fio)

INTRODUÇÃO

"Veja bem, o telégrafo a fio é um tipo de gato muito, mas muito comprido. Você puxa seu rabo em Nova York e sua cabeça mia em Los Angeles. Você consegue entender isso? E o rádio opera exatamente da mesma maneira: você envia sinais aqui, e eles recebem lá. A única diferença é que não existe gato."
Albert Einstein

1.1 Justificativa do projeto

A constante busca por aumento nas taxas de transferência de dados em redes sem fio, aliado a dificuldades de propagação de sinal e aumento da área de cobertura, fez surgir um novo desafio. Em vista destas necessidades foi criado, no ano de 2003, o IEEE802.11 *Task Group N* (TGn), contando com empresas como a Wi-Fi Alliance e a Intel, para especificar e criar os documentos requisitos de uma nova tecnologia de rede sem fio, que venha para melhorar o desempenho dos padrões já existentes.

Entre as especificações técnicas e de marketing do projeto, foi estipulado o aumento do *throughput* (taxa efetiva real) para no mínimo 100Mbps (Megabits por segundo), além da manutenção da compatibilidade entre as tecnologias sem fio já existentes (IEEE802.11a/b/g) (WILSON, 2004). Para tal contenda foram utilizadas tecnologias já existentes, como OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing* - Multiplexação por divisão de freqüência ortogonal) e foram agregadas novas técnicas como a MIMO (*Multiple Input Multiple Output* – Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas) que se vale do fenômeno de Diversidade Espacial com o intuito de obter um melhor desempenho em tecnologias que utilizam o espectro eletromagnético para transmitir dados através de antenas.

O presente trabalho objetiva avaliar esta tecnologia com base em produtos já existentes no mercado baseados no *Draft* 2.0 do padrão IEEE802.11n e fazer testes de performance, utilizando ferramentas para saturação da largura de banda e medição de desempenho na comunicação entre dois *hosts* conectados através de dispositivos baseados em IEEE802.11g e IEEE802.11N (*Draft* 2.0).

1.2 Objetivos do projeto

1.2.1 Objetivos Gerais

Conhecer a fundo a tecnologia de redes sem fio, para assim elaborar um estudo comparativo entre o *Draft* IEEE802.11N (Versão 2.0) e o padrão 802.11g, verificando as técnicas utilizadas em ambos os padrões e concluindo como foi possível o aumento na taxa de transferência efetiva no novo padrão em desenvolvimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

Com base em textos e artigos conhecer algumas das técnicas que permitiram ao novo padrão o ganho de performance e comprovar, através da implementação de cenários de teste, o funcionamento real da tecnologia implementada em produtos de comercialização atual. Para os testes de desempenho serão utilizadas ferramentas para medição e coleta de dados (gráficos) das taxas de transferência em ambientes reais com menor interferência possível.

1.2.3 Objetivo Final

Ao término do projeto pretende-se possuir uma visão crítica sobre o desempenho das tecnologias sem fio com base em testes, para poder elaborar um documento que possa verificar a real eficiência, ou não, da nova tecnologia implementada em produtos disponíveis no mercado.

1.3 Etapas de desenvolvimento do projeto

Para atingir os objetivos do projeto serão necessárias inúmeras etapas, partindo desde o estudo bibliográfico (normas, artigos e textos) das técnicas já padronizadas e do *Draft* IEEE802.11N, até testes práticos em produtos utilizando as duas tecnologias em produtos como Roteadores e Adaptadores PCI (*Peripheral Component Iinterconnect* - Interconector de Componentes Periféricos) e USB (*Universal Serial Bus* – Barramento Serial Universal).

O presente projeto foi dividido nas seguintes etapas:

- A primeira etapa constitui-se de um estudo Bibliográfico básico relativo às técnicas de redes sem fio já padronizadas, com o foco no padrão IEEE802.11g.
- A segunda fase corresponde a um estudo do Draft IEEE802.11N, no qual foram verificadas as técnicas que estão sendo utilizadas para obter ganhos de desempenho e, através de testes práticos com produtos a fim de verificar o funcionamento da tecnologia.
- A terceira fase foi a implementação de cenários de teste com isolamento de possíveis variáveis, como interferência de outros dispositivos que operam na mesma faixa de freqüência. Nos testes foram utilizados softwares de saturação de largura de banda instalados tanto em sistemas abertos (Linux®) e proprietários (Windows®).
- Na quarta parte descreve-se os procedimentos de teste e apresentam-se os resultados obtidos em função dos experimentos.

1.4 Organização do Texto

Uma breve introdução da justificativa e dos objetivos do estudo são apresentados no primeiro capítulo.

O segundo capítulo contempla uma descrição das tecnologias de redes sem fio já existentes, bem como um breve histórico da tecnologia WLAN (*Wireless Local Area Network* – Rede Local Sem Fio), objeto de estudo deste trabalho.

Posteriormente, no terceiro capítulo há um relato dos padrões IEEE802.11 já consolidados, bem como as normas vigentes e os órgãos regulamentadores para operação em faixas de freqüências.

No quarto capítulo são descritas algumas diferenças técnicas que permitiram ao *Draft* IEEE802.11N se tornar mais eficiente, em relação à taxa efetiva, comparando-se com o padrão atual IEEE802.11g.

O quinto capítulo apresenta por objetivo relatar fielmente alguns cenários ideais de teste utilizando equipamentos disponíveis no mercado que utilizam as duas tecnologias estudadas.

No sexto capítulo, são apresentados os resultados obtidos, no qual é evidenciada a eficiência da nova tecnologia. Para tal, fez-se concluir através de análises criticas até que ponto a tecnologia implementada nos produtos analisados é eficiente.

2 REDES SEM FIO

"A primeira grande experiência é quando as pessoas entram na banda larga. A segunda é quando passam para o sem fio". ***Michael George, vice-presidente da Dell Inc.***

2.1 Conceituação

Rede sem fio (*wireless*) pode ser considerada qualquer tecnologia que utilize freqüências para transmitir sinais e que possua um protocolo para interligar dois ou mais dispositivos. Dispositivos sem fio podem utilizar a luz infravermelha ou ondas de rádio para transmitir dados ou voz, através de redes de pequena distância ou até mesmo redes globais com a utilização de ondas de rádio através de satélites (MICROSOFT, 2003).

Com o advento da Internet em dispositivos móveis, como Celulares, *Notebooks*, *Handleds*, as redes sem fio foram difundidas em escala mundial. Para assegurar interoperabilidade, as organizações como o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), a IETF (*Internet Engineering Task Force*), a WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance* – Atualmente *WiFi Alliance*) e a ITU (*International Telecommunication Union*) são responsáveis pela padronização destas redes.

Em relação ao tema para este trabalho, o órgão responsável pelos padrões "802.11" é o IEEE, a qual juntamente com os documentos de empresas como a Cisco® serão utilizados como referências nos temas aqui analisados.

2.2 Tipos de redes sem fio

Bem como redes tradicionais, as redes sem fio podem ser classificadas em diversas categorias, no que se refere a abrangência geográfica, podem ser classificadas em:

2.2.1 Redes sem fio metropolitanas (WMANs)

As redes WMANs (*Wireless Metropolitan Area Network* – Redes Metropolitanas Sem Fio) podem estabelecer conexões entre locais em uma região metropolitana, por exemplo, entre residências ou escritórios localizados em casas ou prédios separados por vários quilômetros, o que dificultaria e elevaria o custo no caso da instalação de cabos de cobre ou fibras. Essas redes normalmente utilizam ondas de rádio e em alguns casos específicos que possuam visada de comunicação, podem utilizar luz infravermelha para transmitir dados. No mercado atual a demanda crescente por acesso sem fio à Internet em qualquer região está se consolidando através de tecnologias como 3G, que aproveitam a planta do sistema GSM (*Global Standard Mobile* - Padrão Global de Comunicações Móveis) já instalada. Mas a banda larga com mobilidade em grandes distâncias já é uma necessidade e por isso vem sendo regulamentada pelo IEEE através de tecnologias como WiMax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access* – Interoperabilidade Mundial para Acesso de Microondas), também conhecida pelo padrão IEEE802.16. (MICROSOFT, 2003)

2.2.2 Redes sem fio pessoais (WPANs)

As tecnologias WPAN (*Wireless Personal Area Network* – Rede Sem Fio Pessoal) são voltadas para comunicação em pequenas distâncias, que permitem aos usuários estabeleçam vínculos em modo *Ad Hoc* (Ponto-a-Ponto) entre dispositivos como Telefones Celulares ou *Notebooks* que são utilizados em um espaço pessoal, considerado uma distância de 10 metros em torno do qual está irradiando. Atualmente, as duas principais tecnologias WPAN são a *Bluetooth* e *Infra-Red*, nas quais as comunicações são realizadas através de ondas de rádio na freqüência de 2.4GHz e através de luz infravermelha, respectivamente.

2.2.3 Redes sem fio locais (WLANs)

As tecnologias WLAN (*Wireless Local Area Network* – Rede Local Sem Fio), objeto de estudo deste trabalho, são voltadas para áreas locais limitadas, como escritórios, casas ou até mesmo um campus universitário. As WLANs foram difundidas devido a sua facilidade e baixo custo de instalação, se comparado a tecnologias com fio utilizando cobre ou fibra óptica. Também vem sendo utilizada de maneira a complementar uma LAN (*Local Area Network* – Rede Local) já existente, de modo que os usuários possam utilizá-la em diferentes locais aonde o cabeamento não chega ou não está instalado por diversos fatores físicos.

Existem maneiras diferentes de se conectar a uma rede Wireless LAN, sendo estas:

- **Modo infra-estrutura:** Estações sem fio, que nada mais são do que dispositivos com placas de rede de rádio ou dispositivos externos, como adaptadores USB se conectam a Roteadores ou Pontos de Acesso sem fio, que funcionam como pontes entre as estações e o *backbone* de rede existente (Fig. 1).

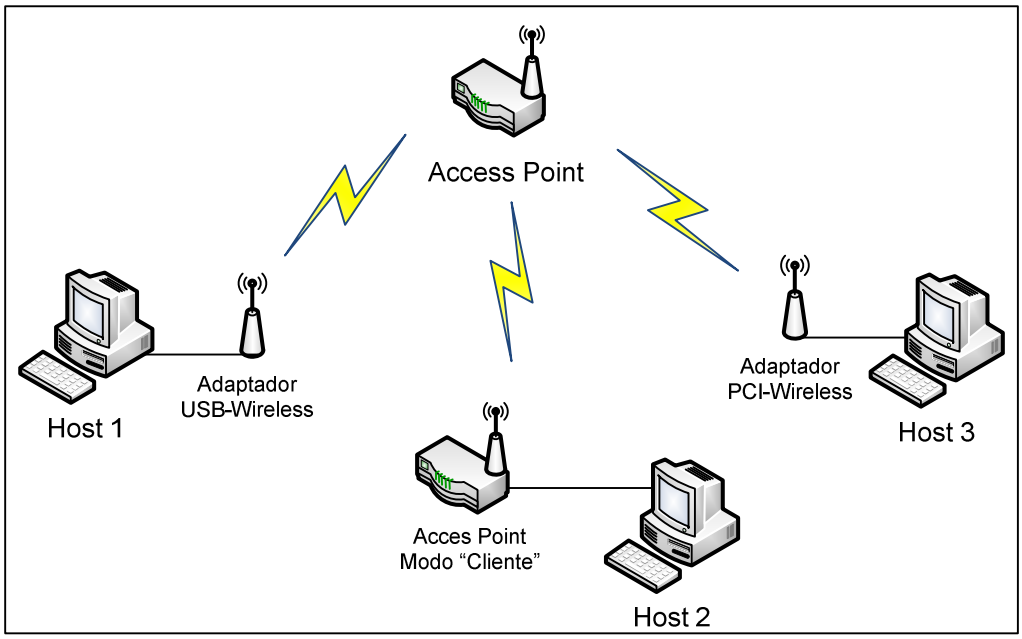

Figura 1 – Exemplificação do modo de operação em infra-estrutura

- **Modo *Ad-Hoc*:** Em WLANs ponto a ponto, vários usuários em uma área limitada, como uma sala de conferências, podem formar uma rede temporária sem usar pontos de acesso como exemplificada na Figura 2.

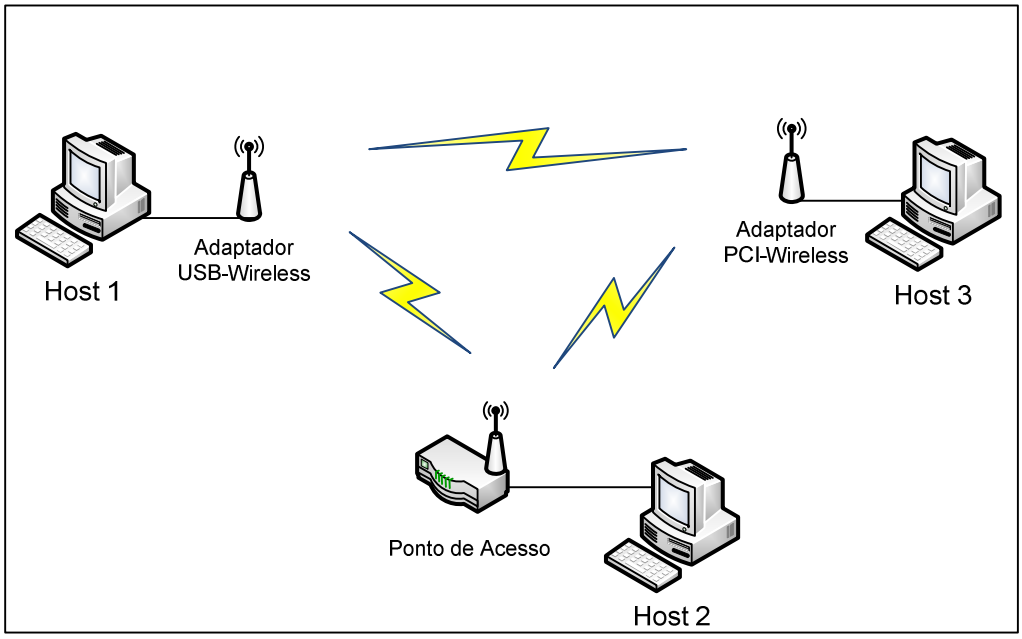

Figura 2 – Exemplificação do modo de operação ponto-a-ponto

- **Modo *Mesh*:** É uma rede que utiliza nós para se interligar e pode ser considerada a união dos dois modos acima citados é chamada Rede em Malha. Em uma Rede *Mesh* todos os nós de uma rede estão interligados através de protocolos de roteamento em tempo real, que definem qual a melhor rota para o *gateway* utilizando algoritmos como OLSR (*Optimized Link State Routing Protocol* – Protocolo de Roteamento Otimizado para o Estado do Link).

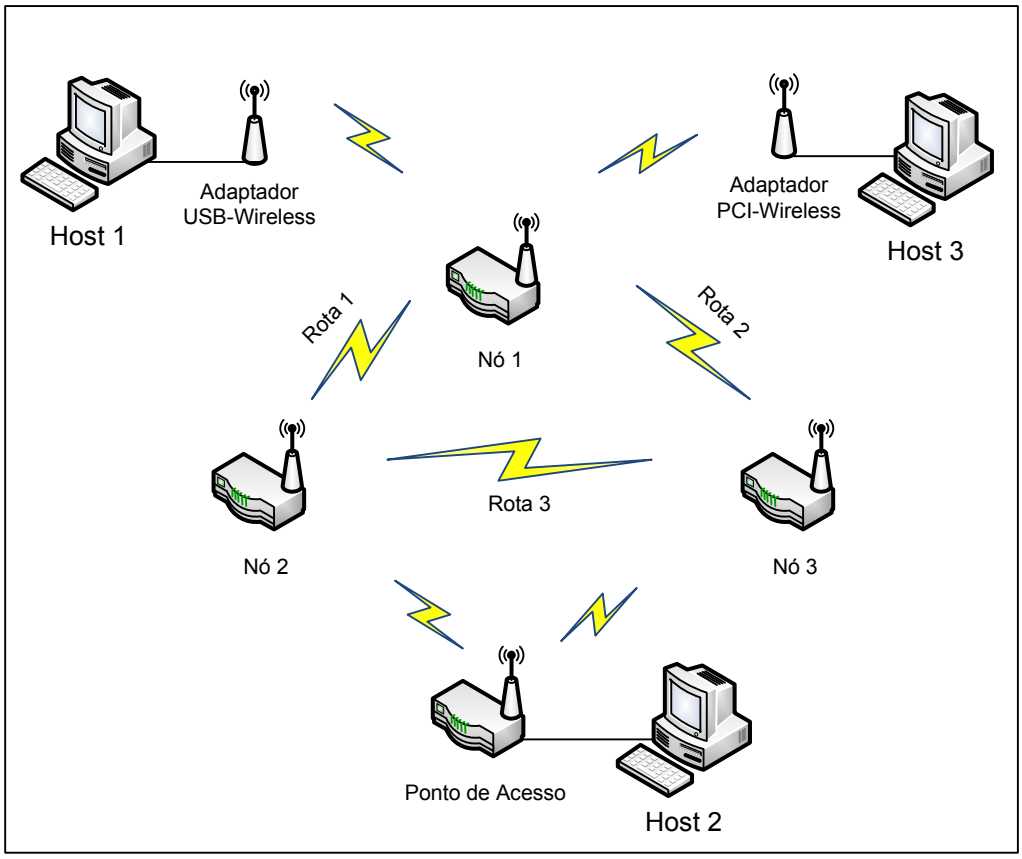

Figura 3 – Exemplificação do modo de operação Mesh

Obs.: Devido a pouca difusão do Modo *Mesh* e limitações no nível de configuração e especificação de produtos, os modos que foram analisados na etapa experimental deste projeto foram o Infra-Estrutura e o modo *Ad-Hoc*.

2.3 Histórico das redes sem fio locais

No ano de 1997 ocorreu o surgimento de novas tecnologias de redes sem fio, como o *HiperLAN*/2 da ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) e *Bluetooth* do Grupo SIG (*Special Interest Group*) que operavam em faixas de freqüência livres (900MHz nos EUA e 2,4GHz na Europa) conhecidas internacionalmente como ISM (*Industrial Scientific Medical* – Industrial, Científica e Médica).

Posteriormente o IEEE lançou o padrão denominado IEEE802.11 (1 e 2Mbps) que por sua vez deu origem a dois outros padrões em 1999, o IEEE802.11a (54Mbps em 5GHz) e IEEE802.11b (11Mbps em 2.4GHz) de comitês diferentes. Somente a partir de Junho de 2003 foi lançado oficialmente o padrão IEEE802.11g,

um dos objetos de estudo deste projeto. Através da tecnologia OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing* – Multiplexação por Divisão de Freqüências Ortogonais) foi possível obter a velocidade nominal de 54Mbps no padrão IEEE802.11g, o qual opera no Brasil na faixa de freqüência de 2,4 - 2,4835GHz divididos em 13 canais.

Especificamente no ano de 2007, foram iniciados os estudos para criação de um novo padrão, o IEEE802.11n que prevê como principal característica o aumento na taxa real efetiva *(throughput)* para no mínimo 100Mbps.

Segundo o último *Status Project* IEEE 802.11n (IEEE, 2009) de Janeiro de 2009, a versão *Draft* 7.0 do IEEE foi aprovada, mas a versão que está em atual comercialização é a *Draft* 2.0 que é certificada pela *Wi-Fi Alliance*.

De acordo com GOLDMAN (2009) a versão final do padrão IEEE802.11n esta prevista para ser concluída até Janeiro de 2010.

2.4 Aplicações

A utilização das redes sem fio vão desde auxiliar viajantes a acessar e-mails através de celulares em redes GSM ou CDMA (*Code Division Multiple Access*) de 2G e 3G (Segunda e Terceira geração), até acessos limitados a ambientes internos nos quais o acesso a Internet é apenas um dos serviços disponíveis.

Outra grande utilização das redes sem fio é em lugares públicos, que possuam grande fluxo de pessoas, como aeroportos e centros de compras, que por sua vez necessitam de pontos de acesso com conexão com a Internet. Esses lugares foram popularizados com o nome de *Hot Spot* e tem como premissa permitir acesso gratuito a seus utilizadores.

Sua grande utilização também se dá em ambientes conhecidos como SOHO (*Small Office and Home Office* – Pequenos Escritórios e Casas), nos quais a transferência de arquivos e compartilhamento de serviços como o acesso a Internet com mobilidade são o objetivo.

2.5 Delimitação do Tema

O trabalho irá se limitar a análise do padrão IEEE802.11g e compará-lo em nível de taxa efetiva com o *Draft* (Padrão em desenvolvimento) IEEE802.11N, sendo este último amplamente descrito, para que seja possível evidenciar com dados, como o seu desempenho se propõe a ser superior.

Com algumas limitações relacionadas ao alcance e taxas de transmissão os padrões foram evoluindo e sendo adaptados conforme as necessidades do mercado. Nos dias atuais uma nova passagem se faz necessária, e esta traz desafios como a compatibilidade com padrões já consolidados.

Entre as principais características das redes sem fio atuais estão sua grande escalabilidade e facilidade de uso. Ao desenvolverem padrões de redes sem fio, organizações como o IEEE abordam assuntos como gerenciamento de energia, largura de banda, segurança e questões que são exclusivas das redes sem fio.

Esse trabalho terá como principal objetivo comparar duas tecnologias já existentes consolidadas mercadologicamente (IEEE802.11g e o IEEE802.11N em sua versão Draft 2.0), expondo suas técnicas e artifícios que possibilitaram sua criação e padronização.

3 PADRÕES WIRELESS LAN

3.1 Padronização

3.1.1 Órgãos regulamentadores

O IEEE através da recomendação IEEE 802.11 define toda padronização que torna possível a comunicação entre dois ou mais dispositivos, bem como as faixas de freqüência possíveis para os dispositivos dotados com essa tecnologia.

No Brasil a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) é o órgão responsável por distribuir e gerenciar toda a faixa do espectro eletromagnético compreendido entre a freqüência de 9 kHz até 300GHz. No caso das tecnologias desenvolvidas pelo IEEE, as faixas de freqüências utilizadas são conhecidas como “faixas não licenciadas”, nas quais a irradiação sem fins comerciais e com uma potência limitada a um determinando nível, não necessita de concessão da Agência Brasileira. Segundo a regulamentação vigente, o Anexo a Resolução 365 de 2004 define:

> Art. 1o Este Regulamento tem por objetivo caracterizar os equipamentos de radiação restrita e estabelecer as condições de uso de radiofreqüência para que possam ser utilizados com dispensa da licença de funcionamento de estação e independentes de outorga de autorização de uso de radiofreqüência, conforme previsto no art. 163, § 2o, inciso I da Lei no 9.472, de 16 de julho de 1997.
>
> Art. 2o Para os efeitos deste Regulamento, são adotadas as seguintes definições e conceitos:
> (...)
> XVI – Sistema de Acesso sem Fio em Banda Larga para Redes Locais: termo aplicado a equipamento, aparelho ou dispositivo, utilizado em aplicações diversas em redes locais sem fio que necessitem de altas velocidades de transmissão, ou seja, de pelo menos 6 Mbit/s, nas faixas de radiofreqüências e potências estabelecidas neste Regulamento. (ANATEL, 2004)

Portanto, equipamentos podem operar em caráter não licenciado na faixa estabelecida no Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Freqüências do Brasil, disposto no Ato Nº 1.805 de 1º de Abril de 2008, no qual são definidas as freqüências denominadas ISM (*Industrial Scientific Medical* – Industriais, Científicas e Médicas).

Tabela 1 - Faixa de operação de algumas tecnologias IEEE802.11 (ANATEL, 2008).

Padrão	Freqüência Inicial	Freqüência Final
IEEE802.11a	4.915GHz	5.825GHz
IEEE802.11b	2.4GHz	2.4835GHz
IEEE802.11g	2.4GHz	2.4835GHz
IEEE802.11n	2.4GHz e 4.915GHz	2.4835GHz e 5.825GHz

3.1.2 Freqüências de operação

Para delimitação do trabalho e por características técnicas dos produtos aqui analisados, somente será analisada a faixa de 2.4GHz no padrão IEEE802.11g e no IEEE802.11N *Draft 2.0.*

- **Padrão IEEE802.11g**

Os canais a faixa de 2.4GHz são subdivididos nas seguintes freqüências:

Tabela 2 - Disposição dos canais na faixa de 2.4GHz no padrão IEEE802.11g (SILVA, 2006).

Canal	Freqüência Central (MHz)	Freqüência Inicial (MHz)	Freqüência Final (MHz)
1	2412	2401	2423
2	2417	2406	2428
3	2422	2411	2433
4	2427	2416	2438
5	2432	2421	2443
6	2437	2426	2448
7	2442	2431	2453
8	2447	2436	2458
9	2452	2441	2463
10	2457	2446	2468
11	2462	2451	2473
12	2467	2456	2478
13	2472	2461	2483
14	2484	2473	2495

Como pode ser verificado na Tabela 1, devido a restrições de largura de banda, o canal 14 não pode ser utilizado no território Brasileiro, pois boa parte de sua largura de banda excede o limite de 2483,5MHz.

A Figura 4 apresenta como fica divido o espectro nesta faixa:

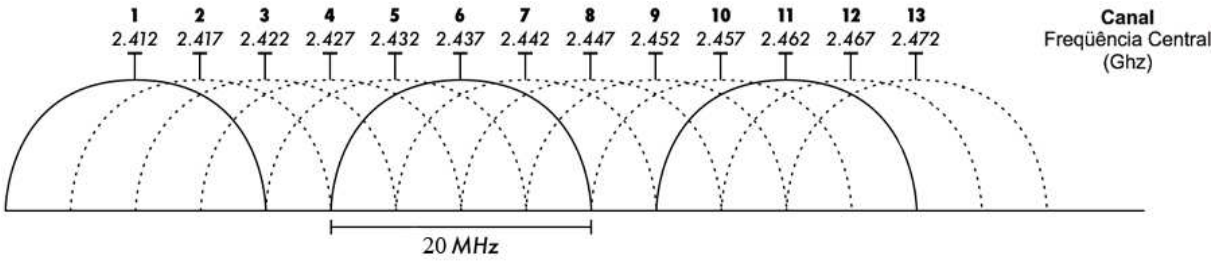

Figura 4 – Sobreposição de canais na faixa de 2.4GHz baseado no padrão IEEE802.11g.

Neste caso, é possível verificar que os canais alocados na faixa de freqüência de 2.4GHz acabam sobrepondo uns aos outros, causando alguns efeitos indesejáveis que serão citados posteriormente no Item 3.1.3.

- **Draft 2.0 do padrão IEEE802.11n**

Os canais a faixa de 2.4GHz devem ser subdivididos nas seguintes freqüências:

Tabela 3 - Disposição dos canais na faixa de 2.4GHz no padrão Draft 2.0 IEEE802.11N.

Canal	Freqüência Central (MHz)	Freqüência Inicial (MHz)	Freqüência Final (MHz)
1	2422	2402	2442
2	2427	2407	2447
3	2432	2412	2452
4	2437	2417	2457
5	2422	2402	2442
6	2427	2407	2447
7	2432	2412	2452
8	2437	2417	2457
9	2442	2422	2462
10	2447	2427	2467
11	2452	2432	2472
12	2457	2437	2477
13	2462	2442	2482

Através da Figura 5 é possível verificar como fica divido o espectro:

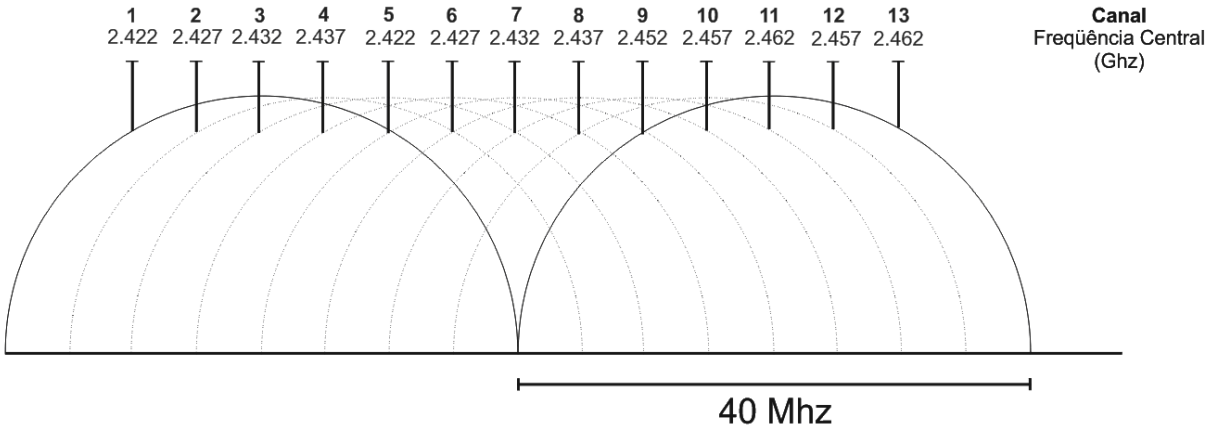

Figura 5 - Sobreposição de canais na faixa de 2.4GHz baseado no Draft 2.0 IEEE802.11N.

Algumas informações são necessárias para entendimento da Figura 5. Primeiramente deve-se ter como verdade que a divisão de canais exemplificada deve ser compatível com o padrão IEEE802.11g/b apresentado na Figura 4. Portanto, faz-se necessária a mesma distribuição de freqüências centrais dos canais de 20MHz. O que muda no Draft 2.0 é que são colocados mais 20MHz de largura de banda, sendo os canais de 1 a 4 são colocados a direita (maior freqüência) e nos canais de 5 a 13 são alocados a esquerda do espectro (freqüências menores). Então, se analisada Figura 5 e a Tabela 3 pode-se concluir que as freqüências centrais dos 4 primeiros canais (1,2,3 e 4) acaba coincidindo com os canais 5,6,7 e 8.

3.1.3 Sobreposição de Canais

Como pode ser analisado nas Figuras 4 e 5, a maioria dos canais da faixa de 2.4GHz compartilham o mesmo espaço espectral, com exceção dos canais 1,6 e 11 no padrão IEEE802.11g e dos canais 1 e 13 no Draft 2.0 do padrão IEEE802.11n, nos quais é possível a convivência de até 3 e 2 canais sem sobreposição, respectivamente.

Os efeitos da sobreposição de canais não são foco de estudo deste trabalho e podem ser aprofundados em SILVA (2006), porém através da experimentação prática foi possível evidenciar alguns dos efeitos colaterais da convivência de dispositi-

vos que operam na mesma faixa de freqüência, não somente baseados nos padrões IEEE802.11g, mas também inúmeros produtos, como telefones sem fio, dispositivos *Bluetooth* e inúmeros outros que operam em 2.4GHz. Os efeitos vão desde pequenas instabilidades, diminuição da taxa efetiva na conexão dos dispositivos Wireless, até algumas quedas de conexão. Para isolar esta variável de maneira que não causasse efeitos indesejáveis nos testes, foi utilizada uma câmara de isolamento como descrito no Item 5.1 do quinto capítulo.

3.1.4 Potência de Irradiação

Apesar dos equipamentos Wireless LAN que operam em faixas nas quais não necessitam de licenças, a ANATEL (2004) define um limite de irradiação através da Resolução 365, na qual fica definido que:

> § 4º Os limites de intensidade de campo média, medida a uma distância de 3 metros, de um equipamento de radiação restrita operando nas faixas 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2400-2483,5 MHz, 5725-5875 MHz e 24,00-24,25 GHz não devem exceder ao especificado na Tabela III. A intensidade de campo de pico de qualquer emissão não deve exceder o valor médio especificado por mais de 20 dB. As emissões fora das faixas de freqüências especificadas, exceto harmônicos, devem estar atenuadas por, no mínimo, 50 dB do nível da fundamental ou atender aos limites gerais de emissão da Tabela II, devendo-se considerar o menor entre os dois valores. (ANATEL, 2004)

Tabela 4 - Intensidade de campo permitido nas freqüências de radiação restrita (ANATEL, 2004)

Freqüência Fundamental	Intensidade de Campo da Freqüência Fundamental (multivolt por metro)	Intensidade de Campo de Harmônicos (microvolt por metro)
902-907,5MHz	50	500
915-928MHz	50	500
2400-2483,5MHz	50	500
5725-5875MHz	50	500
24,00-24,25GHz	250	2500

3.1.5 Distribuição espectral

A seguir podem ser visualizados dois gráficos e duas figuras (Figuras 6 à 9) de distribuição espectral que podem ser utilizados para efeito comparativo das duas

tecnologias estudadas. Ambos os padrões, possuem uma largura de banda limitada, os quais devem obedecer a uma máscara espectral definida pelo IEEE:

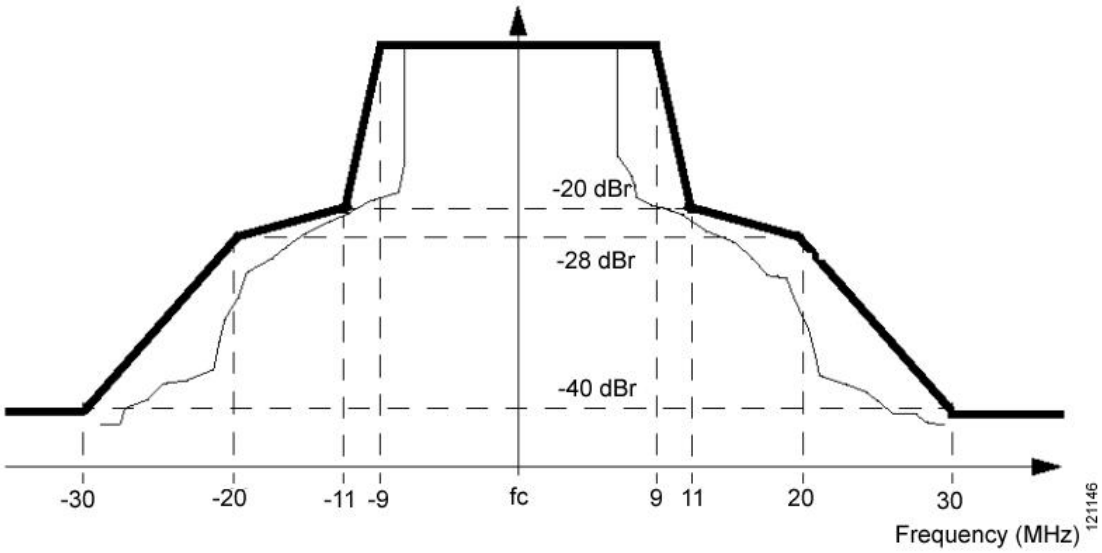

Figura 6 – "Diagrama de Bode" aplicável ao padrão IEEE802.11g (CISCO, 2004).

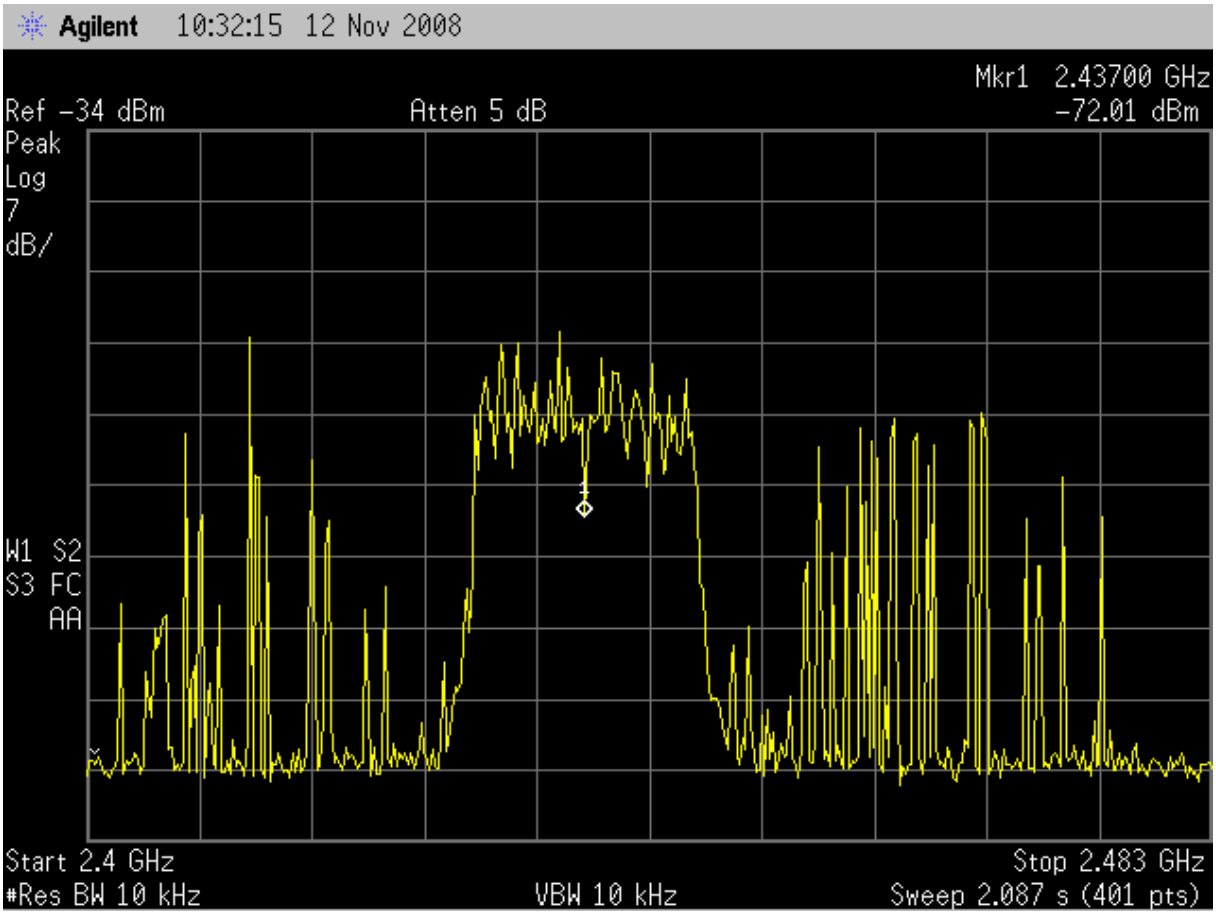

Figura 7 – Análise espectral prática de um produto operando no canal 6 que utiliza o padrão 802.11g através de um analisador de espectro.

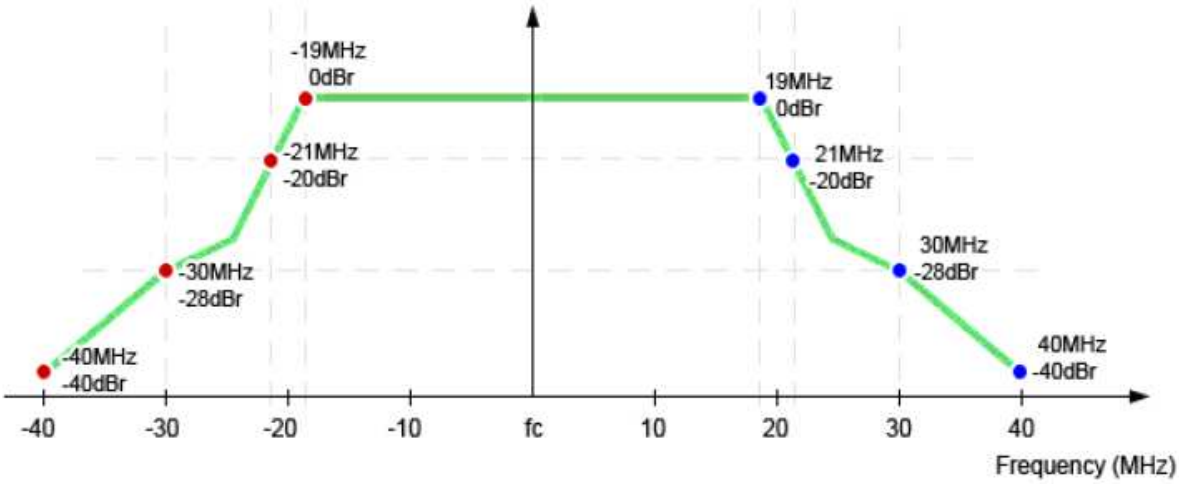

Figura 8 – "Diagrama de Bode" utilizado no padrão IEEE802.11n (AIRMAGNET, 2008)

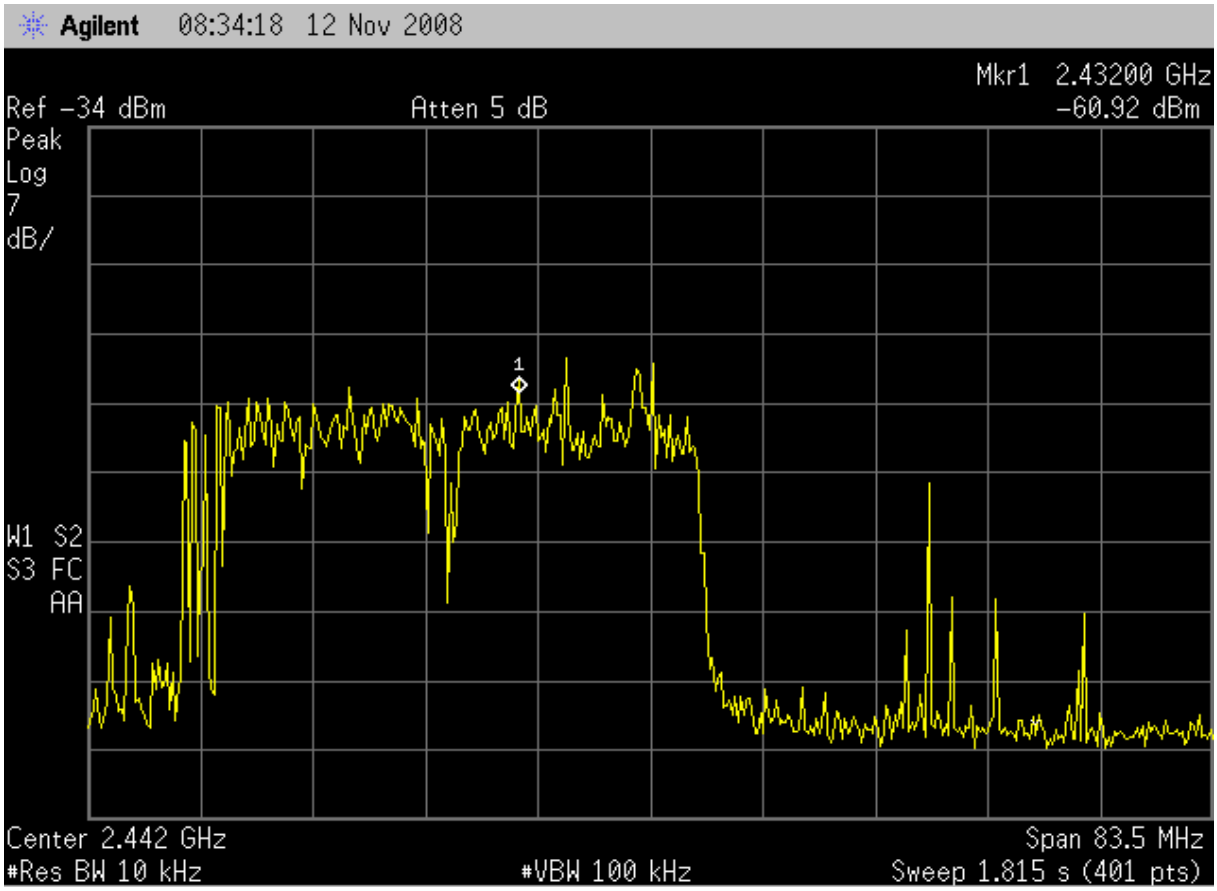

Figura 9 – Visualização espectral prática de um produto operando no canal 6 que utiliza a tecnologia 802.11N (*Draft* 2.0) através de um analisador de espectro.

As Figuras 6, 7, 8 e 9 apenas tem a finalidade de comparar os dois padrões de rede no nível de potência espectral, mostrando a máscara que devem obedecer os produtos. Devido à impossibilidade de efetuar medições no espectrometro, não há como precisar se os produtos analisados atendem a máscara espectral definida.

4 NOVO PADRÃO IEEE802.11N

Neste capítulo serão expostas desde as especificações comerciais e técnicas, bem como todas as tecnologias que tornaram possível a criação do novo padrão WLAN 802.11n.

4.1 Especificações técnicas e comerciais

O grupo de estudo TGn (Task Group N) (IEEE, 2009) foi aprovado em meados de 2003 pelo IEEE-SA (*Institute of Electrical and Electronics Engineers - Standards Association*) com o objetivo de definir modificações para a PHY/MAC (*Physical Layer and Medium Access Control Layer* — Camada Física e Camada de Controle de Acesso ao Meio) que ofereça uma taxa efetiva (*throughput*) de no mínimo 100Mbps no SAP (*Service Access Point* — Ponto de Acesso do Serviço) da MAC (topo da MAC) conforme Tabela 5 (WILSON, 2004).

Tabela 5 - Taxas de transferência presentes no padrão 802.11 (WILSON apud Intel Labs, 2004).

Padrão WLAN IEEE	Estimativas OTA (Over-the-Air)	*Estimativas MAC SAP (Camada de Controle de Acesso à Mídia, Ponto de Acesso de Serviço)
802.11b	11 Mbps	5 Mbps
802.11g	54 Mbps	25 Mbps (Quando o 11b não estiver presente)
802.11a	54 Mbps	25 Mbps
802.11n	200+ Mbps	100 Mbps

A Wi-Fi Alliance[1] depois de demonstrar interesse no trabalho do TGn relacionado ao 802.11n, reuniu representantes do setor industrial intitulado Grupo de Tarefa Marketing de Alta *Throughput* da Wi-Fi Alliance para definir o MRD (*Marketing Requirements Document* — Documento de Requisitos de Marketing).

Segundo James M. Wilson, “há três áreas importantes que precisam ser consideradas ao tratar dos aumentos no desempenho da LAN sem fio. Primeiro, serão necessários aprimoramentos na tecnologia de rádio para aumentar a taxa de transferência física. Segundo, é necessário desenvolver novos mecanismos que implementem o gerenciamento eficaz dos modos de desempenho PHY. Terceiro, são necessários aprimoramentos na eficiência da transferência de dados para reduzir os impactos dos cabeçalhos PHY e atrasos de tempo de resposta via rádio sobre o desempenho, os quais, de outra forma, prejudicariam as otimizações alcançadas com os aumentos na taxa de transferência física.” (WILSON, 2004)

Em função disto, são apresentadas algumas das principais tecnologias empregadas no novo padrão, bem como seus resultados de ganho na taxa nominal de transferência para cada uma das melhorias empregadas.

4.2 Tecnologias e seus ganhos

Como todo novo padrão tecnológico, algumas evoluções são necessárias nas técnicas de modulação, codificação e transmissão, que, juntamente com a criação de novas técnicas, tornam possível o objetivo principal, que é o aumento da taxa efetiva. Cada Item a seguir é composto da descrição da técnica analisada, bem como seu ganho em taxa nominal discriminado no futuro padrão IEEE802.11n. Outras técnicas serão melhor descritas no Item 4.3 onde será detalhado algumas das melhorias previstas nas camadas MAC/PHY.

[1] Órgão responsável por certificar produtos de rede que utilizam as tecnologias IEEE802.11, inclusive o Draft 2.0 do padrão IEEE802.11n.

4.2.1 Sub-Portadoras

Em comparação com o padrão IEEE802.11g, o novo padrão a ser instituído prevê o aumento de 4 sub-portadoras, totalizando 52 sub-portadoras OFDM[2] em um canal de 20MHz. Em função do exposto na seção 4.2.5 pode-se constatar que o aumento da largura de banda também permite o aumento no número de portadoras ortogonais. Através deste feito foi possível um aumento na taxa nominal de: 54Mbps para 58.5Mbps (WI REVOLUTION, 2007).

4.2.2 FEC (Forward Error Correction)

Também conhecida como Correção Antecipada de Erro, a FEC (Forward Error Correction) tem como principal objetivo reduzir a BER (*Bit Error Rate* – Taxa de Erro de Bit), mas para isso necessita enviar mais informações que o real necessário.

Todo código de correção de erro possui uma taxa de codificação, que no padrão IEEE802.11g é de 3/4, ou seja, a cada 3 bits é inserido 1 bit de redundância. Já no IEEE802.11n o código utilizado possuíra taxa de 5/6, aumentando a taxa nominal de 58.5Mbps para 65Mpbs (WI REVOLUTION, 2007).

4.2.3 Intervalo de Guarda (Guard Interval[3])

Em comparação com o padrão IEEE802.11g que possui um intervalo de guarda na casa dos 800ns, o IEEE802.11n diminuirá pela metade esse intervalo, possibilitando um aumento de 65Mpbs para 72.2Mbps (WI REVOLUTION, 2007).

O intervalo de guarda reduz o tempo de símbolo de 4 para 3.6 microssegundos. Essa alteração pode gerar um fenômeno conhecido com interferência inter-simbólica, na qual podem haver perdas significativas de dados (CISCO, 2007), como exemplificado na Figura 10, onde há um exemplo de intervalo correto e outro com intervalo curto demais, no qual ocorre a interferencia entre símbolos.

---

[2] A técnica OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – Multiplicação por Divisão de Freqüência Ortogonal) consiste na multiplexação de portadoras separadas em freqüência, dotadas de sinais ortogonais entre si.

[3] Tempo ocioso utilizado pelo transmissor, para que o receptor após as reflexões e múltiplos caminhos no canal, não confunda os símbolos na resolução dos dados recebidos.

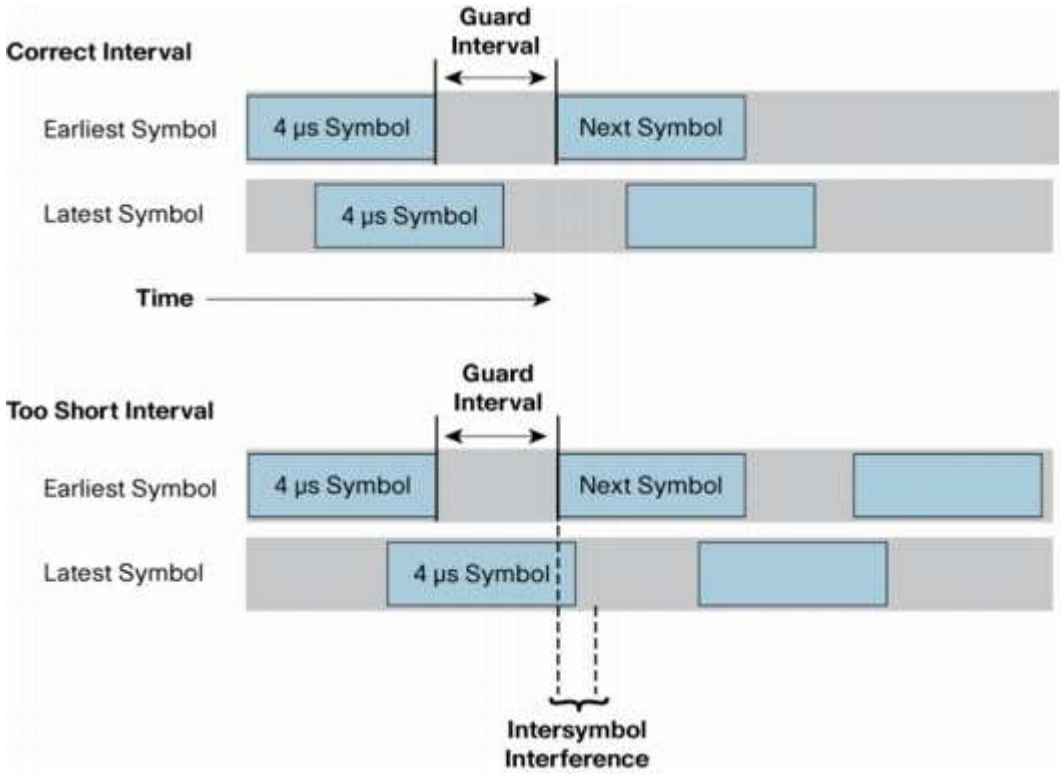

Figura 10 – Representação em blocos de um correto Intervalo de Guarda e um segundo com Intervalo de Guarda curto demais, causando Interferência Intersimbólica. (Cisco, 2007)

Devido a esse fenômeno a versão *Draft*2.0 do padrão ainda não adota a técnica.

4.2.4 Técnica de Múltiplas Antenas

A técnica conhecida como MIMO (*Multiply Input Multiply Output* – Múltiplas Entradas Múltiplas Saídas) é uma inovação na qual utilizam-se múltiplas antenas para transmitir e receber dados. O seu princípio de funcionamento está baseado em multipercursos, que se valendo de fenômenos como reflexão, aumentam consideravelmente a performance da transmissão e recepção.

Segundo a WiFi Alliance (WIFI ALLIANCE, 2007), a diversidade especial aliada aos STBC (*Space Time Block Coding* - Códigos de Bloco Espaço Temporais) e ao CSD (*Cyclic Shift Diversity* - Diversidade por Deslocamento Cíclico) geram uma combinação que provê ao sinal um conjunto recepção/transmissão muito superior a um sistema SISO (*Single Input Single Output* – Única Entrada Única Saída).

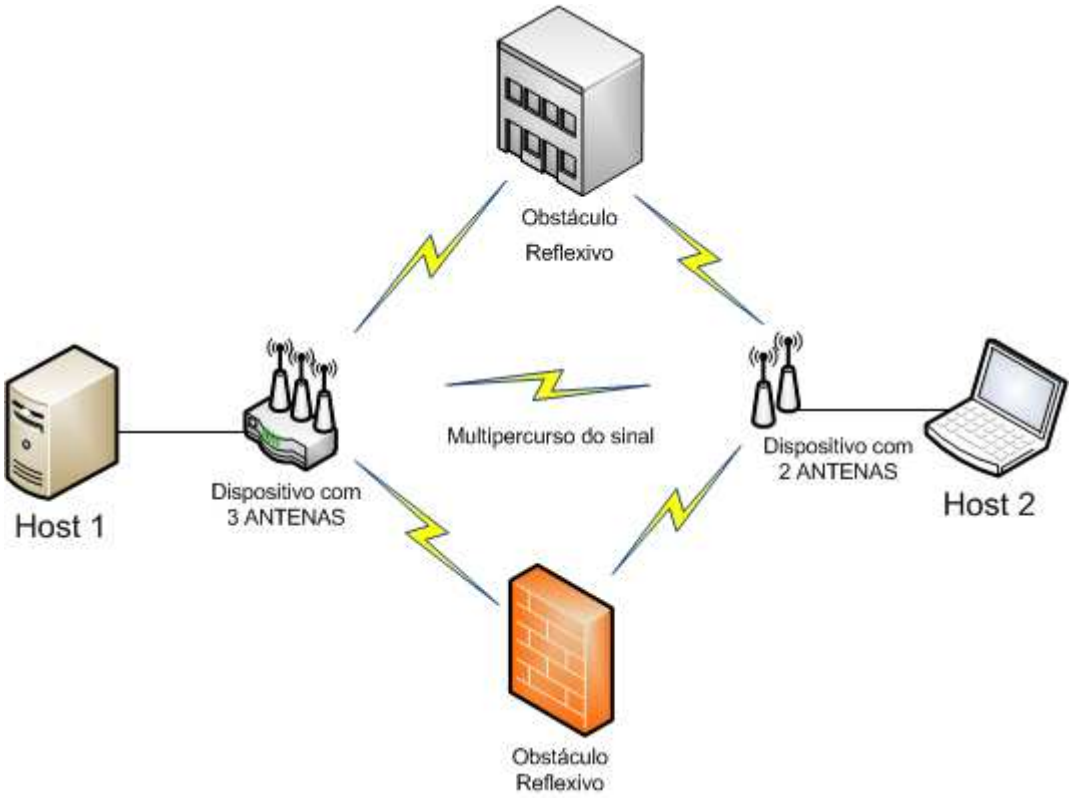

Figura 11 – Diagrama representativo de uma conexão utilizando múltiplas antenas.

Através de diversidade espacial representada na Figura 11, as múltiplas antenas tanto da transmissão quanto da recepção, podem se valer dos múltiplos caminhos espaciais (multipercursos) para trocar dados.Graças à utilização da tecnologia MIMO foi possível quadruplicar a velocidade nominal do padrão, chegando a 288.8Mbps teóricos (WI REVOLUTION, 2007).

4.2.5 Aumentos da largura de banda do canal

Como pode-se verificar na Figura 4, os padrões já estabelecidos pelo IEEE (802.11a/b/g) utilizam canais com largura de banda de 20MHz. No novo padrão será mantido o canal de 20MHz para compatibilidade com as demais tecnologias já existentes, sendo acrescidos em um modo opcional de operação mais 20MHz, gerando canais com largura de banda de 40MHz.Tal característica pode ser verificada em uma demonstração prática apresentada na Figura 9.

Essa mudança juntamente com a técnica OFDM, que permite o aumento para 108 sub-potadoras, torna possível atingir a taxa teórica de 600Mbps na versão final do padrão IEEE802.11n (WI REVOLUTION, 2007).

4.3 Melhorias da Camada de Acesso ao Meio (MAC)

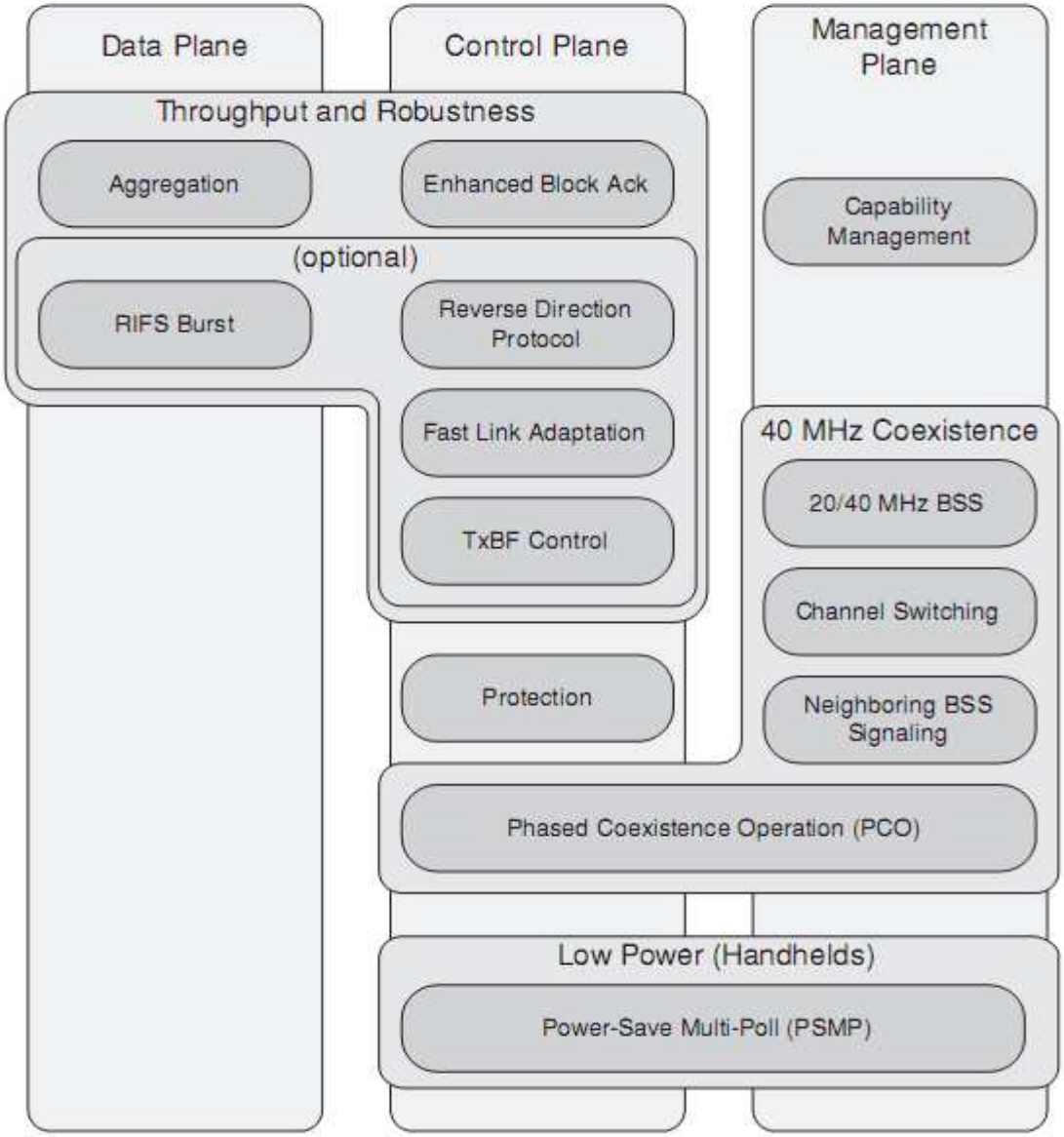

Figura 12 – Representação da camada de Controle de Acesso do padrão IEEE802.11n (PERAHIA, STACEY, 2008).

Na Figura 12 é possível verificar a divisão das técnicas utilizadas na Camada MAC em três Planos: Dados, Controle e Gerenciamento, os quais possuem funções especificas como, por exemplo, a compatibilidade entre canais de 20 e 40 MHz. Com base na Figura 12, foram elencadas duas das técnicas que não foram contempladas no Item 4.2 para serem aprofundadas, sendo elas: Agregação e Bloco de Confirmação.

4.3.1 Agregação

A técnica conhecida como *aggregation* aumenta a eficiência da camada MAC (*Medium Access Control Layer* – Camada de Controle de Acesso ao Meio), pois ela funciona de maneira que acumula frames para serem enviados simultaneamente, reduzindo assim o *overhead*[4] típico em redes Wireless (Cisco, 2007). Através desta técnica foi possível aumentar o tamanho máximo do frame de 4k para 64k.

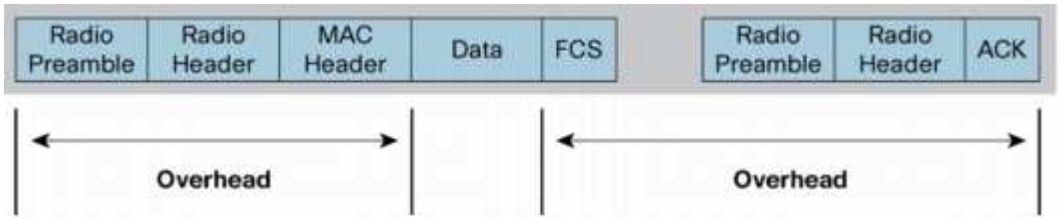

Figura 13 – Exemplificação de um frame completo (Cisco, 2007).

4.3.2 Bloco de Confirmação

Para prover maior robustes a sistemas sem fio, existem os chamados *Block Acknowledgements,* responsáveis por confirmar o recebimento de cada frame nos padrões IEEE802.11a/b/g.

No novo padrão estes blocos de confirmação somente serão enviados após diversos frames recebidos, o que diminui significativamente o tráfego de resposta, a qual, segundo a WiFi Alliance (2007) pode influenciar positivamente no funcionamento de serviços como VoIP e Videoconferência.

4.4 Melhorias da Camada Física (PHY)

Além das técnicas citadas no Item 4.2, neste item serão contempladas duas das principais melhorias implementadas na Camada Física do padrão IEEE802.11n, que pode ser dividida em itens Opcionais (*Optional*) e Obrigatórios (*Mandatory*), conforme representado na Figura 14.

---

[4] Informação enviada para controle de transmissões, contendo dados necessários para definir, por exemplo, a seqüência e o tamanho de blocos, sendo esta não computada na contagem efetiva dos dados enviados.

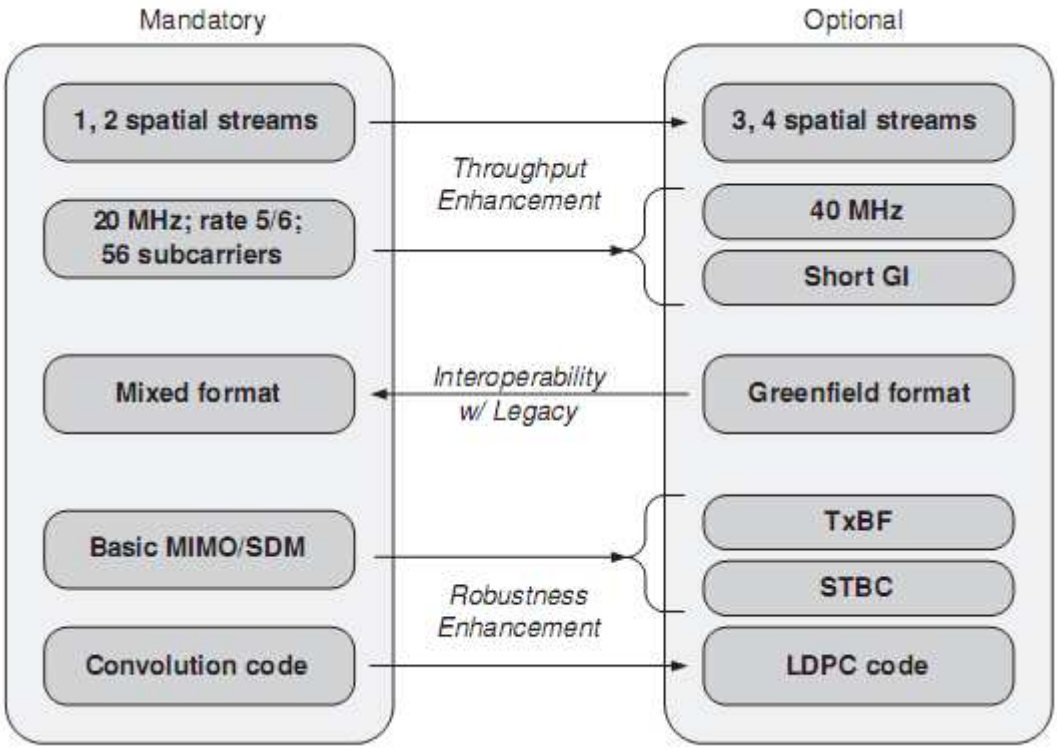

Figura 14 – Representação em blocos dos itens que devem estar obrigatoriamente (Mandatory) e opcionais (Optional) na camada Física do padrão IEEE802.11n (PERAHIA, STACEY, 2008).

4.4.1 Modo Greenfield[5]

Está previsto para o padrão um modo de operação no qual apenas dispositivos compatíveis com o padrão IEEE802.11n possam se associar entre si. Neste modo é possível obter o máximo desempenho do novo padrão, pois todas as técnicas utilizadas passam a ser utilizadas de maneira conjunta e na sua forma que permite maior desempenho.

4.4.2 Modulações e suas taxas

As taxas MCS (*Modulation coding scheme* - Esquemas de Códigos e Modulação) definem quais as Modulações e a Taxa do Código a ser utilizada. Em condições ideais é possível prever a velocidade que a tecnologia atingirá com determina-

[5] Greenfield – Modo de operação somente 802.11n, sem compatibilidade com 802.11a/b/g, também conhecido como HT (*High Throughput* – Alta Taxa Efetiva).

dos esquemas e taxas. A Tabela 6 exemplifica alguns destes esquemas previstos somente para a versão Draft 2.0 que chega a 300Mbps.

Tabela 6 - Esquemas de modulação, taxas e tempos de intervalo de guarda para cada velocidade de throughput possíveis no Draft2.0 do padrão IEEE802.11n. (Cisco – 2007)

MCS Index	Number of Spatial Streams	Modulation	Coding Rate	N_{SD}		N_{CBPS}		GI = 800ns		GI = 400ns	
								Rate In	Rate In	Rate In	Rate In
				20	40	20MHz	40MHz	20MHz	40MHz	20MHz	40MHz
0	1	BPSK	1/2	52	108	52	108	6.5	13.5	7 2/9	15
1	1	QPSK	1/2	52	108	104	216	13	27	14 4/9	30
2	1	QPSK	3/4	52	108	104	216	19.5	40.5	21 2/3	45
3	1	16-QAM	1/2	52	108	208	432	26	54	28 8/9	60
4	1	16-QAM	3/4	52	108	208	432	39	81	43 1/3	90
5	1	64-QAM	2/3	52	108	312	648	52	108	57 7/9	120
6	1	64-QAM	3/4	52	108	312	648	58.5	121.5	65	135
7	1	64-QAM	5/6	52	108	312	648	65	135	72 2/9	157.5
8	2	BPSK	1/2	52	108	104	216	13	27	14 4/9	30
9	2	QPSK	1/2	52	108	208	432	26	54	28 8/9	60
10	2	QPSK	3/4	52	108	208	432	39	81	43 1/3	90
11	2	16-QAM	1/2	52	108	416	864	52	108	57 7/9	120
12	2	16-QAM	3/4	52	108	416	864	78	162	86 2/3	180
13	2	64-QAM	2/3	52	108	624	1296	104	216	115 5/9	240
14	2	64-QAM	3/4	52	108	624	1296	117	243	130	270
15	2	64-QAM	5/6	52	108	624	1296	130	270	144 4/9	300

4.5 Interoperabilidade e coexistência de padrões

Ao mesmo tempo que novas técnicas estão sendo incorporadas as redes sem fio, as mesmas tem como um de seus requisitos manterem a compatibilidade entre os padrões IEEE802.11a/b/g. Para tal foram previstos determinados modos de operação no padrão IEEE802.11n nos quais, por exemplo, ocorre a adaptação do Preâmbulo[6]. Um maior aprofundamento neste assunto pode ser obtido em CISCO (2007).

[6] O Preâmbulo ou *Preamble,* em inglês, é uma informação introdutória enviada antes de cada transmissão.

5 EXPERIMENTAÇÃO PRÁTICA

Os itens a seguir pretendem relatar com maior fidelidade possível todos os ambientes práticos nos quais os produtos baseados no padrão IEEE802.11g e IEEE802.11N (*Draft* 2.0) foram submetidos a testes práticos, bem como as ferramentas e equipamentos que foram utilizadas para conferir maior confiabilidade aos testes.

Devido a alguns pontos que já foram comentados, a versão *Draft* 2.0 do padrão IEEE802.11n atinge a taxa nominal de 300Mbps, a qual será utilizada como referência nos testes práticos aqui descritos.

5.1 Isolamento espectral

Por se tratar de uma faixa livre e amplamente difundida, existem inúmeros tipos de dispositivos que utilizam a faixa espectral analisada (Telefones sem fio, Equipamentos *Wireless*, *Bluetooth*, Microondas, etc.), os quais podem vir a influenciar prejudicialmente aos testes em ambientes sujeitos a essas interferências. Portanto, se fez necessário a utilização de um princípio físico de isolamento eletromagnético muito conhecido, a Gaiola de Faraday[7].

Por se tratar de uma freqüência muito elevada (2.4GHz), a caixa na qual os dispositivos foram enclausurados não deveria possuir em suas paredes espaços maiores que o comprimento de onda do sinal. O valor do comprimento de onda (lâmbda) pode ser calculado segundo a fórmula $\lambda = c/f$ onde c é a velocidade da luz e "*f* " a

[7] Gaiola de Faraday foi um experimento de Michael Faraday no qual provou que no interior de uma caixa metálica fechada o campo elétrico é nulo e, portanto não sofre de interferências externas.

freqüência a ser verificada. Portanto para freqüências entre 2.4GHz e 2.4835GHz as cavidades metálicas não devem ultrapassar o diâmetro de 0,125m ou 12,5cm.

Como existia a possibilidade de utilizar um equipamento industrializado para tal experimento, foi utilizada a câmara atenuadora de RF (Rádio Freqüência) CMU-Z11 produzida pela empresa Rohde & Schwarz, que efetua atenuação de sinais eletromagnéticos através de materiais RAM (*Radiantion Absorbent Material* – Material Absorvente de Radiação), como uma fina tela metálica em suas paredes e também por um material em formato piramidal em suas paredes superiores e inferiores:

Figura 15 – Foto da câmara isoladora (Rhode-Schwarz, 2005)

5.2 Ambiente de Testes

Todos os testes aqui descritos foram realizados em ambientes para os quais os equipamentos foram projetados, ou seja, ambientes *Indoor,* especificamente ambientes fechado por paredes de concreto.

5.2.1 Equipamentos analisados

Foram analisados os seguintes equipamentos:

Roteador 54Mbps

Características Técnicas:

- 5 portas Ethernet 10/100Mbps
- 1 Antena externa 5dBi
- Alimentação 12VDC

Adaptador USB 54Mbps

Características Técnicas:

- USB-A 2.0 (velocidade de 480Mbps)
- 1 Antena interna no próprio Circuito Impresso

Roteador 300Mbps (baseado no *Draft* 2.0 IEEE802.11N)

Características Técnicas:

- 5 portas Ethernet 10/100Mbps
- 3 Antenas externas 2dBi
- Tecnologia MIMO 2Tx/3Rx
- Alimentação 9VDC

Adaptador USB 300Mbps (baseado no *Draft* 2.0 IEEE802.11N)

Características Técnicas:

- USB-A 2.0 (velocidade de 480Mbps)
- 2 Antenas internas sobressalentes
- Tecnologia MIMO 2Tx/2Rx

5.2.2 Cenários estipulados

Os cenários apresentados na Figuras 16 e 17 foram escolhidos devido à possibilidade de maior taxa efetiva de transmissão (*throughput*).

- Cenário 1: Ethernet – USB

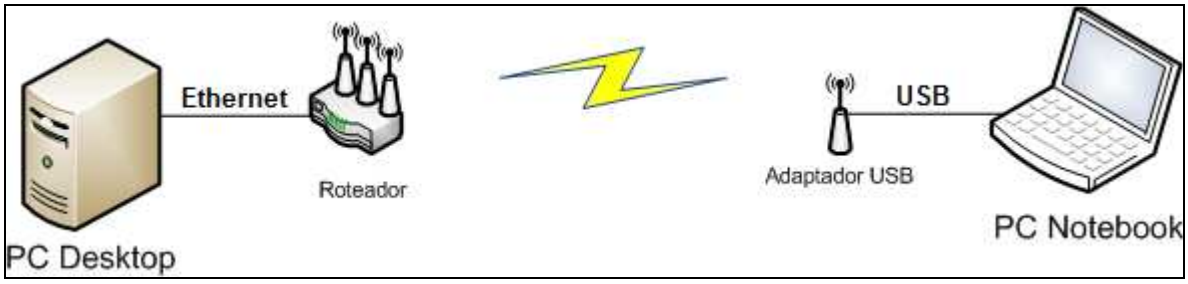

Figura 16 – Diagrama representativo dos equipamentos presentes no Cenário 1.

- Cenário 2: USB – USB

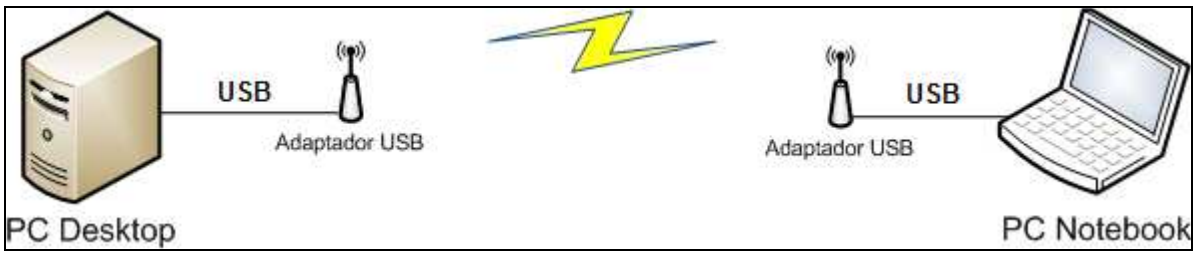

Figura 17 – Diagrama representativo dos equipamentos presentes no Cenário 2.

Por se tratar de um teste em redes sem fio que compartilham o espectro eletromagnético, não seria possível avaliar a taxa máxima se fossem analisados dois sentidos de transmissão, pois nesse caso o espectro seria dividido desigualmente e poderia interferir nos resultados do teste. Por tal fator não se optou por gerar tráfego que utilize resposta de confirmação, como o TCP (*Transmission Control Protocol* - Protocolo de Controle de Transmissão) que utiliza o ACK (*Acknowledge* – Confirmação de recebimento). Portanto, para tal foi utilizado o UDP (*User Datagram Protocol* - Protocolo de Datagramas de Utilizador) que tem seu funcionamento baseado em um só fluxo de transmissão e, portanto não gera a confirmação de recebimento que poderia vir a gerar dados imprecisos.

Com base nos Cenários 1 (Figura18) e 2 (Figura 19) foram efetuados testes de taxa efetiva utilizando o software Iperf para gerar o trafego UDP nos computadores:

- Microcomputador Dell Optiplex 740
- Notebook HP 2133

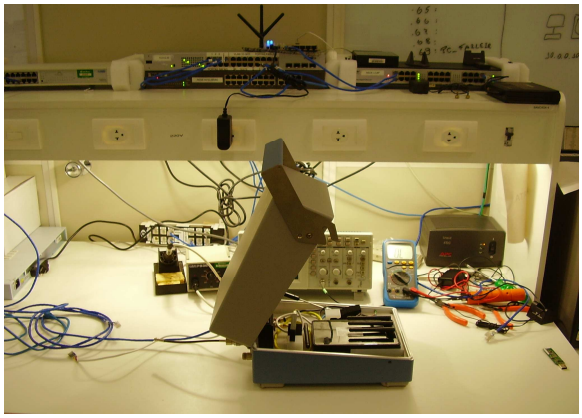

Figura 18 – Foto do Cenário 1 mostrando a câmara com os equipamentos utilizados.

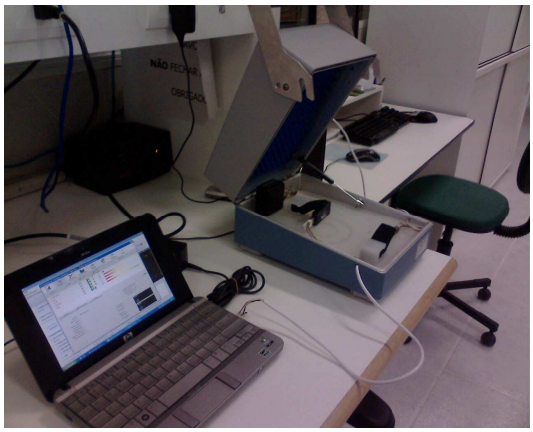

Figura 19 – Foto do Cenário 2 mostrando os computadores utilizados nos testes.

5.2.3 Montagem do cenário de teste

Com a utilização de uma câmara atenuadora foi possível obter maior isolamento de variáveis como distância e poluição espectral, porém outras dificuldades surgiram. Uma delas foi como ligar a alimentação e cabos de dados dentro da câmara.

A Figura 20 mostra que o equipamento utilizado possuí 4 interfaces de conexão externas, sendo dois conectores N Fêmea (um para conexão de antenas e seus cabos e outro com uma antena helicoidal interna localizada na parte inferior da câmara), um conector DB-15 fêmea/macho para passagem de dados, e outro conector N fêmea, acoplado a uma antena *Bluetooth*.

Figura 20 - Foto traseira da câmara isoladora

Para correta ligação dos equipamentos, foi necessário a confecção de um cabo que incluía alimentação DC, cabo de rede Cat-5e e USB, lembrando que todos foram elaborados de maneira que pudessem ser acoplados ao DB-15 macho/fêmea e, portanto foram feitos em duplicidade.

5.2.4 Problemas encontrados

Depois de realizada a montagem dos cabos e conectores adaptados para que fosse possível ligar os equipamentos dentro da câmara isoladora foram iniciados os testes e conexões com computadores através de interfaces Ethernet e USB.

Logo nas primeiras tentativas de conexão foi possível evidenciar problemas de reconhecimento da velocidade correta dos dispositivos, por exemplo, a conexão de rede atingia apenas 10Mbps e o dispositivo USB apenas equalizava em modo USB 1.0 (12Mbps).

Como o teste realmente era dependente das variáveis afetadas, era fundamental importância que o problema fosse resolvido, caso contrário não seria possível a realização dos mesmos.

5.2.5 Soluções encontradas

Após o problema ocorrido foram buscadas possíveis explicações e uma resolução para o problema. Uma das soluções estipuladas seria colocar dentro da própria câmara um mini-notebook (*Netbook*). Apesar de o recurso ter sido adquirido, o mesmo não coube dentro da caixa e também necessitaria de uma conexão externa para ligá-lo a outro computador, já que o teste necessita de dois hosts.

Posteriormente foi buscado por especificações mais detalhadas referentes à câmara, porém não foi encontrado nada que descrevesse o conector nela instalado. Sendo assim, foi necessária a ajuda de alguns profissionais que já haviam utilizado a câmara, e foi neste ponto que se obteve a informação de que o conector DB-15 sobre o qual se tentava transmitir dados, é um componente que possui um isolamento especial utilizando um componente conhecido como *feedthrough*, que nesse caso apresentou o efeito de filtro passa baixas em cada um de seus 15 condutores.

Concluiu-se que por se tratar uma câmara isoladora de RF, todas as componentes de altas freqüências são isoladas do sistema interno, bem como isoladas para que não passem pelos conectores que a interligam ao mundo externo. Após essa descoberta procurou-se por uma solução paliativa ao problema. Os cenários estipulados necessitavam de no mínimo oito conexões, tanto para USB que utiliza dois fios para alimentação e mais 2 para Tx/Rx, quanto para as conexões de rede 100Mbps, que utilizam somente os fios 1, 2,3 e 6 de um cabo Cat 5e de 4 pares.

A solução encontrada foi retirar dois parafusos laterais e através dos orifícios que possuíam diâmetro de aproximadamente 2mm passar os fios, pois os mesmos não influenciariam no isolamento da câmara quando fechada. Então ficou apenas o efeito indutivo dos fios, que pela espessura do orifício não puderam ter blindagem metálica. A Figura 20 mostra uma foto do sistema montado dentro da câmara.

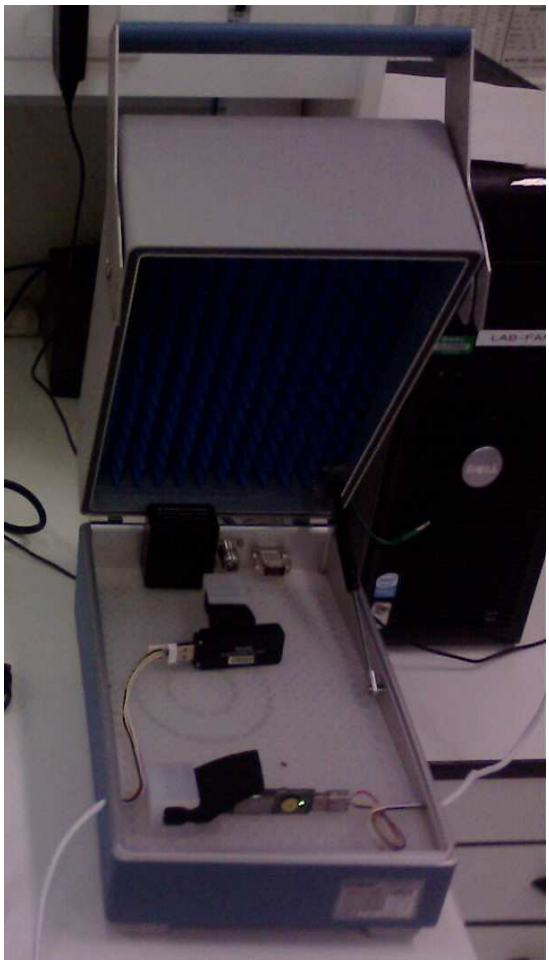

Figura 21 – Foto mostrando as conexões laterais dos dois dispositivos USB na câmara.

5.3 Testes de Eficiência

A seguir são apresentados os melhores resultados obtidos durante todas as etapas de testes, os quais tem como principal objetivo corroborar sobre a real eficiência dos padrões IEEE802.11 em produtos já existentes no mercado.

Todos os testes de saturação de banda foram realizados com o software Iperf, um programa escrito em C++ que utiliza o modelo cliente/servidor para se inicializar e estabelecer uma seção, na qual ambos os hosts podem enviar ou receber dados encapsulados por protocolos TCP ou UDP. O Iperf tem a possibilidade de inserção de parâmetros[8] que vão determinar, por exemplo, o intervalo de tempo de envio de cada pacote e a velocidade de transmissão no caso do UDP.

O Jperf é uma interface gráfica de código aberto desenvolvida em Java para o Iperf, que é capaz dentre outras coisas de gerar gráficos em tempo real.

A geração dos pacotes UDP foi efetuada pelo software Iperf através da interface gráfica do Jperf, que nesse caso necessita da especificação exata do valor que se deseja gerar. Portanto, em todos os casos, foi especificada no computador transmissor (Cliente) a taxa máxima a ser gerada, que era limitada pela velocidade das interfaces sem fio e cabeada.

Por se tratar de uma transmissão sem confirmação, o método de medição utilizado foi no receptor, ou seja, somente foram computados os dados recebidos.

Assim como qualquer rede baseada na pilha TCP/IP, a rede necessitou de uma configuração lógica. Por ser uma rede ponto a ponto, sem a utilização de gateways, bastou apenas setar o endereço IP e uma máscara valida, que em todos os cenários servidor/cliente foi a seguinte:

Endereço IP: 10.0.0.1 e 10.0.0.2 ou 10.0.0.100 e 10.0.0.101

Máscara de Rede: 255.0.0.0 ou 255.255.255.0

---

[8] O significado de cada uma das opções utilizadas no software Iperf pode ser verificada no Item 1 dos Anexos.

5.3.1 Cenário 1 (Produtos baseados no IEEE802.11g):

Comando executado no computador Dell (Cliente) com IP 10.0.0.101:

iperf.exe -c 10.0.0.100 -u -P 1 -i 1 -p 5001 -f k -b 54M -t 100000 -T 1

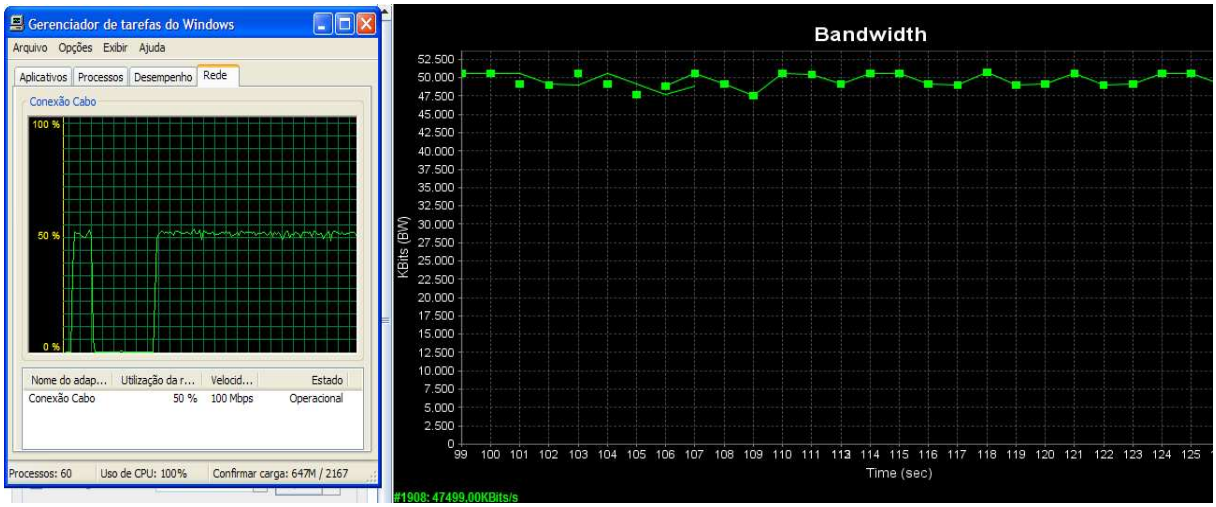

Figura 22 - Saída do software Jperf (direita) e sua comprovação através do medidor gráfico do próprio sistema operacional Windows ® (esquerda).

Comando executado no computador HP (Servidor) com IP 10.0.0.100:

 # iperf.exe -s -u -P 0 -i 1 -p 5001 -f k

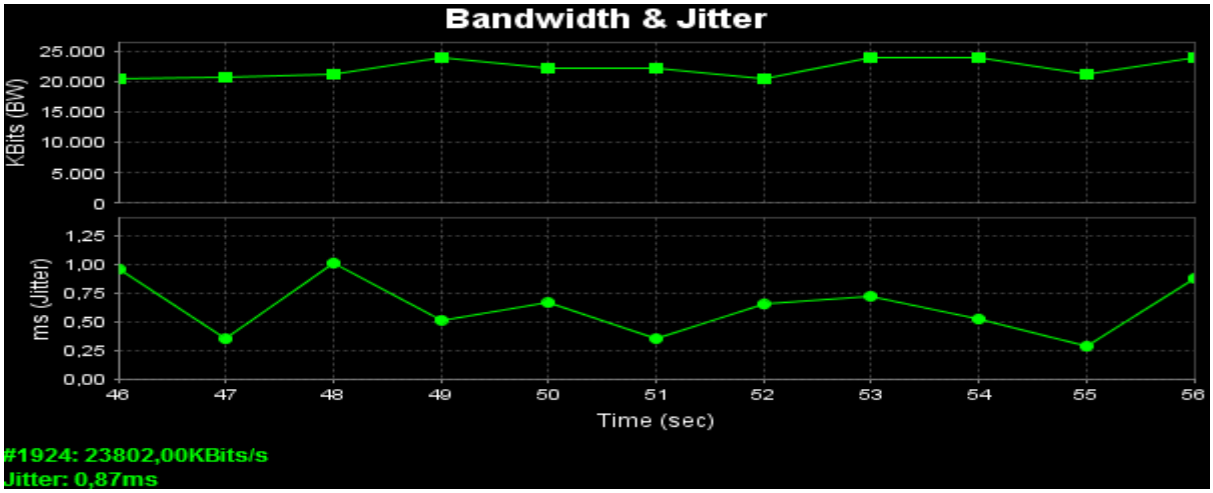

Figura 23 – Gráfico gerado pelo software Jperf no receptor USB.

Apesar da taxa de emissão (Cliente) apresentada na Figura 22 estar próxima dos 54Mbps teóricos, facilmente obtidos devido a utilização de interfaces ethernet de 100Mbits, pode ser observado na Figura 23 que a taxa efetiva no receptor (Servidor) ficou apenas entre 20 e 25Mbps, o esperado para o padrão IEEE802.11g.

5.3.2 Cenário 1 (Produtos baseados no IEEE802.11N *Draft* 2.0)

Comando executado no computador Dell (Cliente) de IP 10.0.0.101:

 # iperf.exe -c 10.0.0.100 -u -P 1 -i 1 -p 5001 -f k -b 100M -t 100000 -T 1

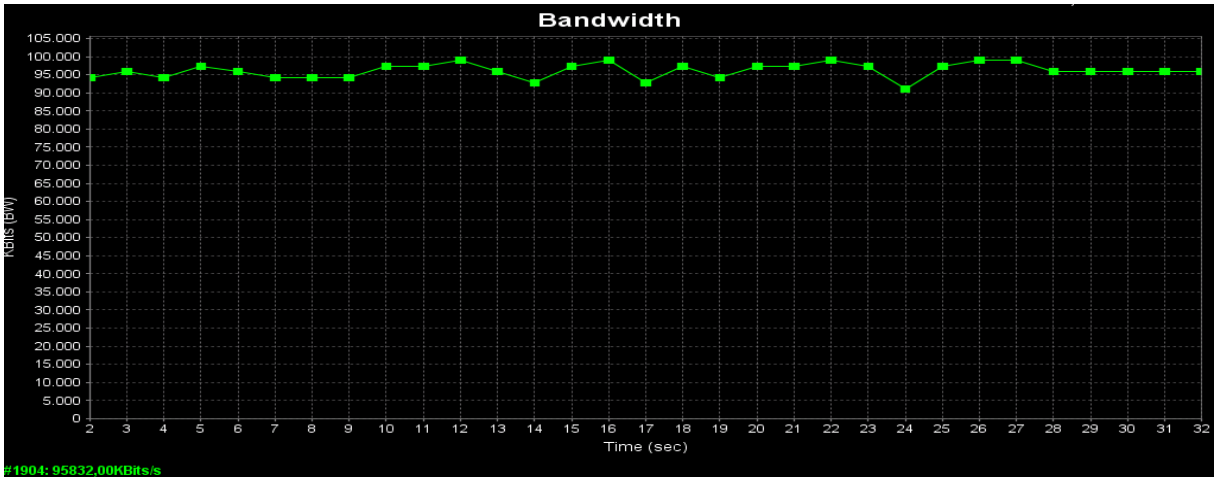

Figura 24 – Medidor gráfico do software Jperf gerado pela saída do software Iperf.

Comando executado no computador HP (Servidor) de IP 10.0.0.100:

 # iperf.exe -s -u -P 0 -i 1 -p 5001 -f m

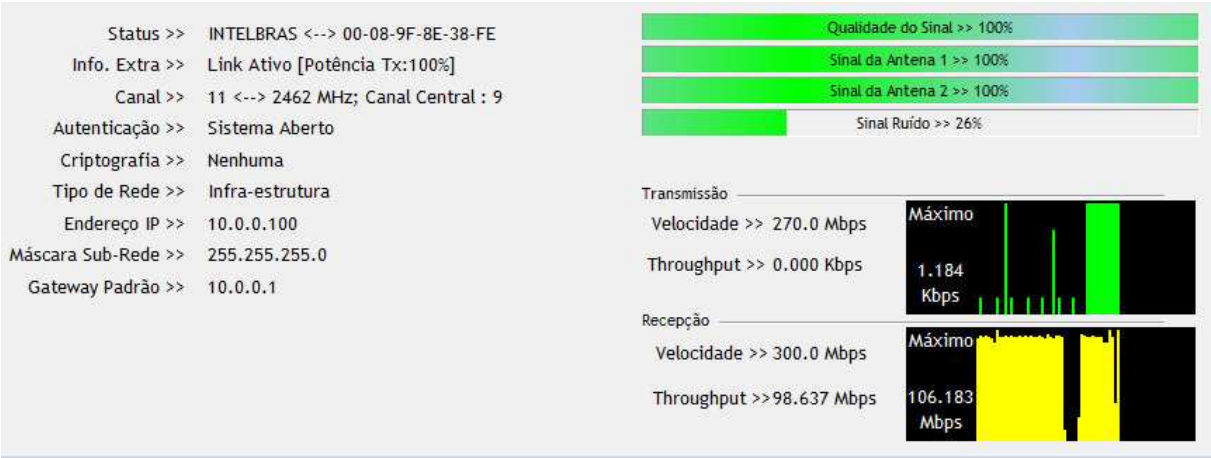

Figura 25 - Gráfico gerado pelo software gerenciador do dispositivo USB. © Intelbras

Na Figura 25 é possível verificar que há uma limitação na taxa máxima obtida no receptor que fica muito próxima aos 100Mbits, aos quais a rede Fast Ethernet está limitada. Esse fato será comentado posteriormente nas conclusões dos testes (Item 5.4).

5.3.3 Cenário 2 (Produtos baseados no IEEE802.11g)

Comando executado no computador Dell (Cliente) de IP 10.0.0.2:

 # iperf.exe -c 10.0.0.1 -u -P 1 -i 1 -p 5001 -f k -b 54M -t 100000 -T 1

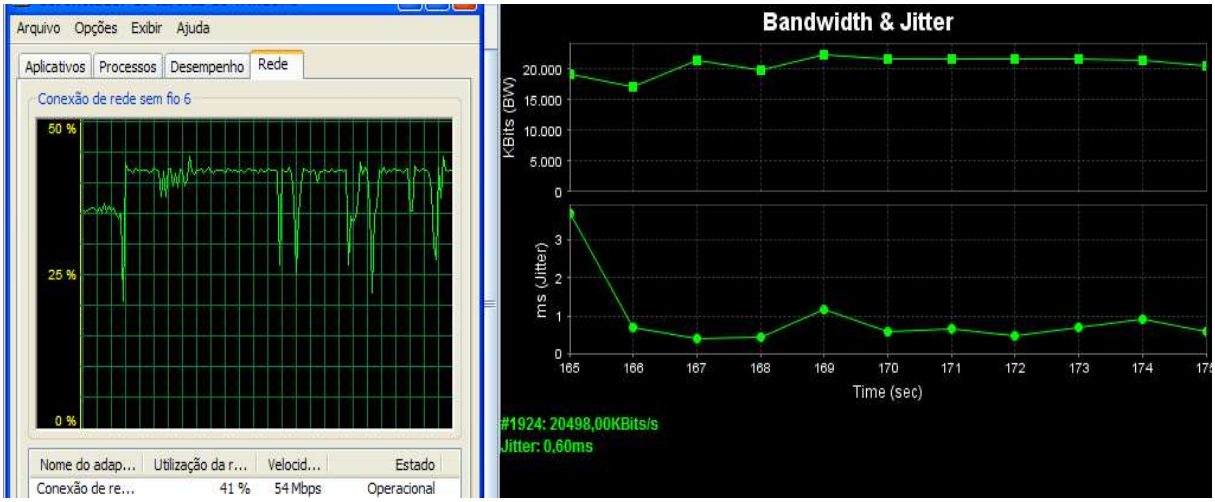

Figura 26 – Saída do software Jperf (direita) e sua comprovação através do medidor gráfico do próprio sistema operacional Windows ® (esquerda).

Comando executado no computador HP (Cliente) de IP 10.0.0.1:

 # iperf.exe -s -u -P 0 -i 1 -p 5001 -f k

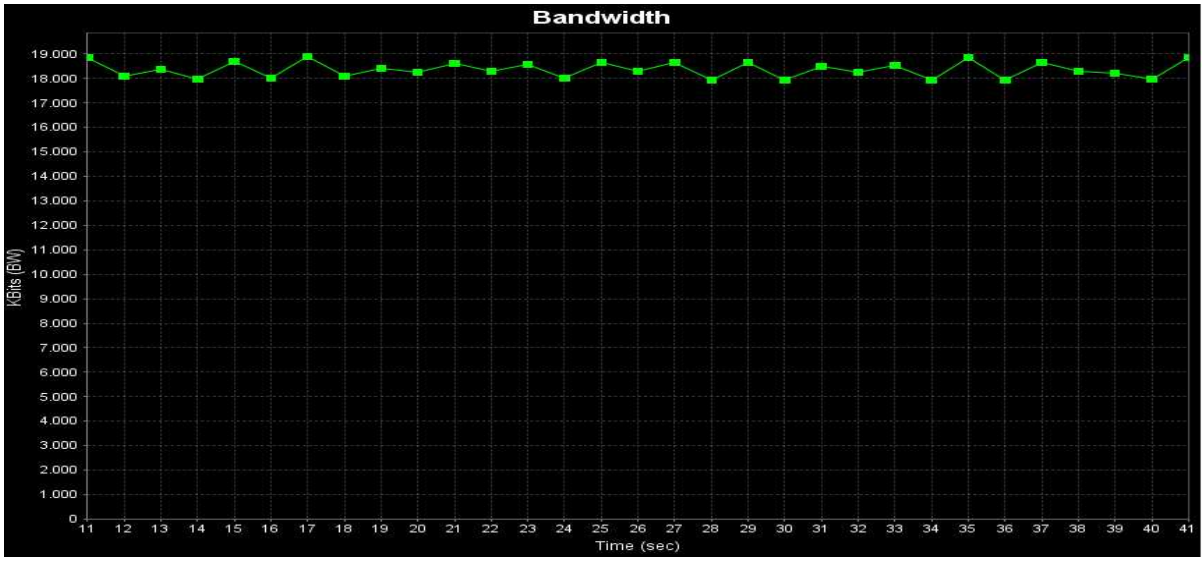

Figura 27 – Gráfico gerado pelo software Jperf no receptor USB em modo 802.11g

Como pode ser verificado através da Figura 27, aproximadamente 19Mbits, dos 21Mbits transmitidos (Servidor) chegaram ao receptor (Cliente) e foram computados.

5.3.4 Cenário 2 (Produtos baseados no IEEE802.11N *Draft* 2.0)

Comando executado no computador Dell (Servidor) de IP 10.0.0.1:

 # iperf.exe -c 10.0.0.2 -u -P 1 -i 1 -p 5001 -f m -b 100M -t 100000 -T 1

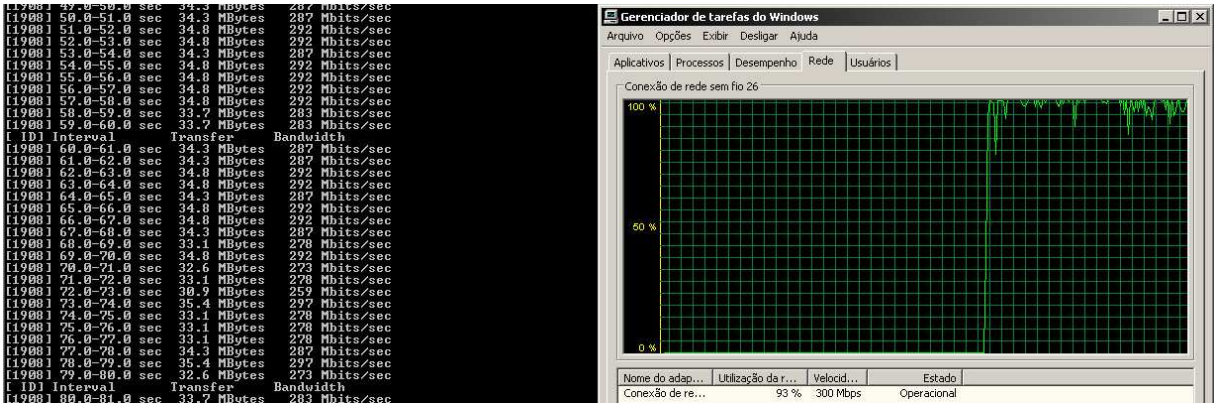

Figura 28 – Figura mostrando a saída do software Iperf (à esquerda) e sua comprovação através do medidor gráfico do próprio sistema operacional Windows® (à direita).

Comando executado no computador HP (Cliente) de IP 10.0.0.2:

 # iperf.exe -s -u -P 0 -i 1 -p 5001 -f m

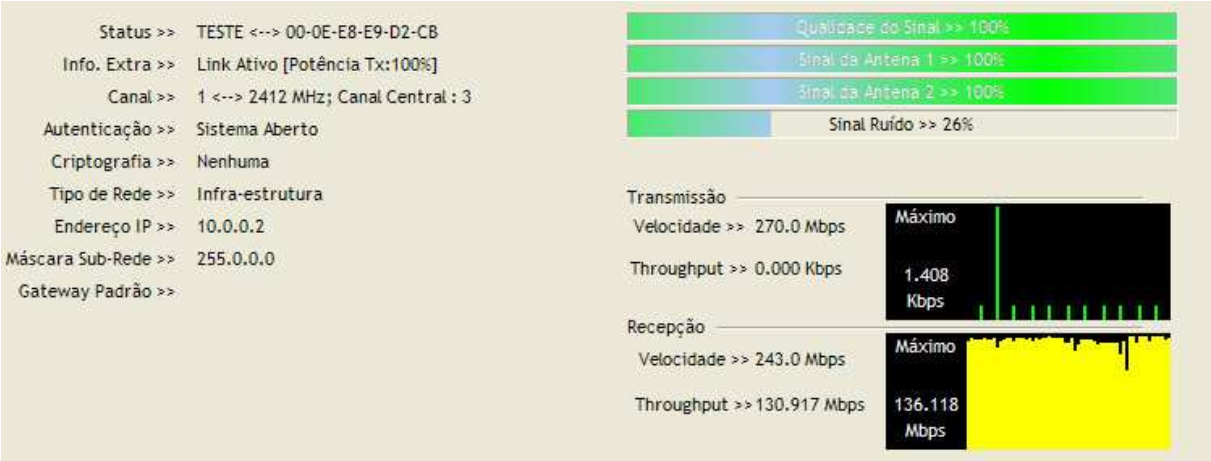

Figura 29 - Gráfico gerado pelo software gerenciador do dispositivo USB. © Intelbras

Observando a Figura 28 pode-se verificar que a vazão na transmissão foi de aproximadamente 300Mbits, o limite do *Draft* 2.0 do padrão IEEE802.11N. Na recepção, ilustrada na Figura 29, obteve um taxa efetiva de aproximadamente 130Mbps, a maior taxa registrada em todos os testes.

Após este ultimo teste pode-se ter certeza da real eficiência do novo padrão.

5.4 Conclusão dos Resultados

Ao término dos testes práticos acima descritos, são possíveis algumas conclusões:

a) Por se tratar de equipamentos que operam na faixa de freqüência de 2.4GHz, poderiam existir inúmeras variáveis devido a grande poluição espectral nesta faixa, a utilização da câmara de isolamento eletromagnético reduziu a números insignificativos essas interferências.

b) Apesar da dificuldade para obtenção e montagem de um local propício, o isolamento eletromagnético se mostrou fundamental para um correto teste de dispositivos que utilizam ondas de rádio para transmitir informações através de antenas;

c) Devido a algumas limitações de especificação de produto, alguns equipamentos não são dimensionados corretamente e acabam não obtendo o desempenho que a tecnologia poderia proporcionar, como foi o caso do roteador no qual sua rede Ethernet estava limitada a 100Mbps, o que não foi suficiente Para suportr a taxa efetiva total que a tecnologia poderia prover.

d) Assim como qualquer outra tecnologia, o poder de processamento dos circuitos integrados ali instalados deve ser levada em conta e, neste fato, inúmeras outras variáveis podem influenciar, como por exemplo pode-se supor que a temperatura é uma destas variáveis.

e) Inúmeros artigos e testes (MILINARSKY, 2007) encontrados na Rede Mundial de Computadores (Internet) vieram por corroborar os resultados aqui obtidos, tanto em relação ao padrão IEEE802.11g, quanto o *Draft* 2.0 do padrão IEEE802.11n.

f) O resultado obtido no ultimo teste vem provar o alto desempenho do novo padrão em sua versão Draft 2.0, o que pode ser considerado um dos grandes objetivos deste trabalho foi alcançado.

6 CONCLUSÕES

Com a evolução cada vez maior no processamento de dados e a possibilidade de mobilidade destes dispositivos, surge a necessidade pelo aumento da largura de banda, pois somente assim alguns serviços, como vídeo sobre demanda em formatos HDTV (*High Definition Television* – Televisão de Alta Definição) ou até uma simples troca de arquivos, podem operar de forma satisfatória e rápida.

Para isso se tornar uma realidade, inúmeras organizações se envolveram para criar e estabelecer um padrão de rede sem fio que possa vir a suprir estas necessidades. A evolução do padrão de IEEE802.11g, o IEEE802.11n surgiu com este objetivo, de prover uma taxa comparável a de uma rede *Ethernet* de 100Mbits, e como pode ser comprovado ao longo deste trabalho já se mostra eficiente no seu *Draft* 2.0, em relação à taxa efetiva.

6.1 Comparativo entre as tecnologias

No capítulo 4 é possível verificar as inúmeras técnicas e tecnologias que foram aprimoradas e desenvolvidas para que o novo padrão em sua versão *Draft* 2.0 (IEEE802.11n) obtivesse uma eficiência de quase 7 vezes maior que seus antecessores (IEEE802.11a/g), pulando da taxa de aproximadamente 20Mbps para 140Mbps de taxa efetiva.

Na descrição detalhada das técnicas pode-se também verificar o ganho individual de cada tecnologia para que seja possível chegar a taxa esperada de 600Mbps nominais na versão final do padrão IEEE802.11n.

6.2 Resultados e conclusões dos testes

Fanny Milinarsky da empresa *OctoScope* através do artigo “Competitive Test of Draft 802.11n Products” (MILINARSKY, 2007), documenta um estudo comparativo de *throughput*, no qual através de testes práticos ele mostra a eficiência de produtos baseados no IEEE802.11n *Draft 2.0* quando comparados a produtos IEEE802.11g. O artigo mostra taxas efetivas próximas de 140Mbps no *Draft 2.0* e aproximadamente 20Mbps no padrão IEEE802.11g, a exemplo dos resultados obtidos na experimentação do Cenário 2 deste trabalho, que atingiram a 136Mbps e 21Mbps respectivamente.

Com este fato é possível provar que realmente a tecnologia implementada nos *microchips* que controlam os dispositivos analisados é o IEEE802.11n em sua versão *Draft* 2.0.

6.3 Sugestões para novos trabalhos

Seguem alguns itens que não foram abordados profundamente neste trabalho e poderiam ser assunto de outras monografias:

- *Simulação do novo padrão IEEE802.11n em sistemas computacionais:* Através de modelamento matemático é possível fazer a implementação de todos os blocos aqui descritos e testar sua eficiência através de estimação de canais;
- *Simulação e testes de taxa efetiva em padrões IEEE802.11 em ambientes com diversidade espacial*: Simples teste em diversos ambientes (Casas, Escritórios);
- *Testes de alcance da tecnologia MIMO no padrão IEEE802.11n*: Verificar em ambientes abertos a real eficiência na utilização de múltiplas antenas;
- *Análise de interferência co-canal em equipamentos IEEE802.11*: Estudo das interferências entre canais sobrepostos na faixa de 2.4GHz, a mais utilizada hoje;
- *Análise de desempenho das camadas MAC e PHY do novo padrão IEEE 802.11n:* Fazer um estudo crítico das futuras implementações no novo padrão;
- *Atenuação e isolamento eletromagnético para ondas de 2.4 a 2.5GHz*: Estudar os fenômenos eletromagnéticos e seu isolamento em faixas espectrais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento significativo do uso de dispositivos sem fio para serviços multimídia, surge a necessidade de redes *wireless* cada vez mais robustas e velozes. Estas novas tecnologias de redes sem fio tornam possível o acompanhamento da evolução tecnológica dos dispositivos móveis, pois estes estão com cada vez maior poder de processamento e armazenamento, e logo demandam uma maior largura de banda para usufruírem de serviços que necessitam altas taxas de transferência.

Neste trabalho procurou-se evidenciar a grande evolução do padrão IEEE802.11g em relação a taxa efetiva para a versão Draft 2.0 do futuro padrão IEEE802.11n. Esse processo foi relatado através de uma breve introdução aos padrões existentes, seguida de um detalhamento maior dos padrões em questão, sempre comparando um ao outro. Ao fim foram realizados testes comparativos práticos nas duas variantes em produtos de comercialização atual.

Após todos os testes e estudos realizados pode-se atestar positivamente na eficiência da tecnologia, desde que sejam respeitadas algumas premissas, como por exemplo, a utilização de dispositivos com interfaces de comunicação igualmente dotadas de tamanha vazão de dados.

Sem dúvida a tecnologia tem tudo para dar certo e se consolidar mundialmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRMAGNET, Whitepaper. **802.11n Primer**. Agosto de 2008. Disponível em: <http://www.airmagnet.com/assets/whitepaper/WP-802.11nPrimer.pdf> Acesso em: 20 nov. 2008.

ANATEL: AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Anexo a Resolução Nº 365**. Maio de 2004. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br> Acesso: 21 nov. 2008.

ANATEL: AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Plano de atribuição, destinação e distribuição de faixas de freqüências no Brasil**. Abril de 2008. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br> Acesso: 21 nov. 2008.

CISCO, Whitepaper. **802.11n: The Next Generation of Wireless Performance.** Agosto de 2007. Disponível em: <http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps6973/ps8382/prod_white_paper0900aecd806b8ce7.pdf> Acesso: 10 jan. 2009.

CISCO, Whitepaper. **802.11n Design and Deployment Guidelines.** Janeiro de 2008. Disponível em: <http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns340/ns394/ns348/ns767/white_paper_80211n_design_and_deployment_guidelines.pdf> Acesso: 10 jan. 2009.

CISCO, Whitepaper. **Channel Deployment Issues for 2.4-GHz 802.11 WLANs**. 2004. Disponível em: <http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/technology/channel/deployment/guide/Channel.pdf > Acesso: 12 jan. 2009.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers. **Status of Project IEEE 802.11n**. Disponível em: < http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgn_update.htm> Acesso em: 20 fev. 2009.

GOLDMAN, Jeff. **802.11n To Be Ratified in 2010**. Fevereiro de 2009. Disponível em: <http://www.wi-fiplanet.com/news/article.php/3806341> Acesso em: 03 mar. 2009.

KEEFE, Bob. **Rede de computadores sem fio já está pronta para decolagem**. Novembro de 2003. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/midiaglobal/cox/2003/11/29/ult584u288.jhtm> Acesso em 20 jan. 2009.

MICROSOFT, TechNet. **Visão geral sobre redes sem fio**. 2003. Disponível em: <http://technet.microsoft.com/pt-br/library/cc784756.aspx> Acesso em 10 jan. 2009.

MILINARSKY, Fanny. **Competitive Test of Draft 802.11n Products.** *OctoScope* Corp. Junho de 2007. Disponível em: <http://www.octoscope.com/reports/octoscope_11n_test_19jun07.pdf> Acesso em 09 out. 2008.

PERAHIA, Eldad. **IEEE 802.11n Development: History, Process, and Technology.** Intel Corporation. Julho 2008. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4557042> Acesso em 13 nov. 2008.

PERAHIA, STACEY. Eldad, Robert. **Next Generation Wireless LANs: Throughput, Robustness, and Reliability in 802.11n**. Cambridge Univ. Press, 2008.

RAPPAPORT, Theodore S. **Wireless Communications**. 2°ed. Pearson, 2002.

RHODE-SCHWARZ. **Antenna Coupler/RF Shielding Cover/Bluetooth® Antenna/USB Feedthrough CMU-Z10/-Z11/-Z12/-Z13**. Setembro de 2005. Disponível em: <http://www2.rohde-schwarz.com/file_1188/CMU-Z10_en.pdf> Acesso em: 16 nov. 2008.

Ross, John. **The Book of Wi-Fi.** Editora Alta Books. 2003.

SILVA, Marcel William Rocha da. **Alocação de canal em redes sem fio IEEE802.11 independentes**. Rio de Janeiro, dezembro de 2006.

SOWELL, Steven. **802.11n: A Feature Overview of The Latest WLAN Standard**. Disponível em: <http://www.ccprep.com/resources/cc-whitepapers/802n%20feature%20overview.pdf> Acesso em 24 nov. 2008.

WIFI ALLIANCE, Wi-Fi CERTIFIED. **802.11n draft 2.0: Longer-Range, Faster-Throughput, Multimedia-Grade Wi-Fi® Networks.** Junho de 2007. Disponível em: <http://www.wi-fi.org/files/kc/WFA_802_11n_Industry_June07.pdf> Acesso em 15 ago. 2008.

WI REVOLUTION, Mobile Unified Communications. Setembro de 2007. **How does 802.11n get to 600Mbps?** Disponível em: <http://www.wirevolution.com/2007/09/07/how-does-80211n-get-to-600mbps/> Acesso em 15 set. de 2008.

WILSON, James M. **Surge a próxima geração de LAN sem fio com o 802.11n**. 2004. Disponível em: <http://www.intel.com/portugues/technology/magazine/archive/2004/aug/wi08041.pdf > Acesso em: 15 set. 2008.

ANEXOS

1 – Help do Software Iperf

```
Usage: iperf [-s|-c host] [options]
       iperf [-h|--help] [-v|--version]

Client/Server:
  -f, --format    [kmKM]   format to report: Kbits, Mbits, KBytes, MBytes
  -i, --interval  #        seconds between periodic bandwidth reports
  -l, --len       #[KM]    length of buffer to read or write (default 8 KB)
  -m, --print_mss          print TCP maximum segment size (MTU - TCP/IP header)
  -o, --output    <filename> output the report or error message to this specified file
  -p, --port      #        server port to listen on/connect to
  -u, --udp                use UDP rather than TCP
  -w, --window    #[KM]    TCP window size (socket buffer size)
  -B, --bind      <host>   bind to <host>, an interface or multicast address
  -C, --compatibility      for use with older versions does not sent extra msgs
  -M, --mss       #        set TCP maximum segment size (MTU - 40 bytes)
  -N, --nodelay            set TCP no delay, disabling Nagle's Algorithm
  -V, --IPv6Version        Set the domain to IPv6
Server specific:
  -s, --server             run in server mode
  -D, --daemon             run the server as a daemon
  -R, --remove             remove service in win32

Client specific:
  -b, --bandwidth #[KM]    for UDP, bandwidth to send at in bits/sec (default 1 Mbit/sec, implies -u)
  -c, --client    <host>   run in client mode, connecting to <host>
  -d, --dualtest           Do a bidirectional test simultaneously
  -n, --num       #[KM]    number of bytes to transmit (instead of -t)
  -r, --tradeoff           Do a bidirectional test individually
  -t, --time      #        time in seconds to transmit for (default 10 secs)
  -F, --fileinput <name>   input the data to be transmitted from a file
  -I, --stdin              input the data to be transmitted from stdin
  -L, --listenport #       port to recieve bidirectional tests back on
  -P, --parallel  #        number of parallel client threads to run
  -T, --ttl       #        time-to-live, for multicast (default 1)

Miscellaneous:
  -h, --help               print this message and quit
  -v, --version            print version information and quit
[KM] Indicates options that support a K or M suffix for kilo- or mega-
The TCP window size option can be set by the environment variable
TCP_WINDOW_SIZE. Most other options can be set by an environment variable
IPERF_<long option name>, such as IPERF_BANDWIDTH.
```