

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS, GERÊNCIA E
SEGURANÇA DE REDES DE COMPUTADORES

MARCELO DE NARDIN

**Análise comparativa entre redes sem fio
locais e metropolitanas, camada física**

Trabalho de Conclusão apresentado como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Especialista

Prof. Dr. Juergen Rochol
Orientador

Prof. Dr. Sérgio Luis Cechin
Prof. Dr. Luciano Paschoal Gaspar
Coordenadores do Curso

Porto Alegre, dezembro de 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenadores do Curso: Profs. Sérgio Luis Cechin e Luciano Paschoal Gaspary

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Visão Geral.....	11
1.2 Motivação.....	12
1.3 Objetivos.....	13
1.4 Estrutura do trabalho.....	13
2 PADRONIZAÇÃO EM REDES SEM FIO	14
2.1 Introdução.....	14
2.2 Técnicas de transmissão.....	16
2.2.1 FHSS.....	17
2.2.2 DSSS.....	18
2.2.3 OFMD.....	19
2.2.4 OFDMA.....	21
3 REDES WLAN	24
3.1 Introdução.....	24
3.2 Evolução das redes WLAN.....	27
3.2.1 IEEE 802.11.....	27
3.2.2 IEEE 802.11a.....	28
3.2.3 IEEE 802.11b.....	28
3.2.4 IEEE 802.11g.....	28
3.2.5 IEEE 802.11n.....	29
3.3 Características e desempenho dos padrões Wi-Fi.....	29
4 REDES WMAN	31
4.1 Introdução.....	31
4.2 Evolução das redes WMAN.....	32
4.2.1 Sistemas sem fio de banda estreita (WLL).....	33
4.2.2 Sistemas de banda larga com linha de visada (LOS) de primeira geração.....	33

4.2.3	Sistemas de banda larga sem linha de visada (NLOS) de segunda geração.....	34
4.2.4	Sistemas de banda larga sem fio padronizadas.....	35
4.3	Características e desempenho dos padrões WiMAX	37
5	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE REDES WLAN E WMAN	44
5.1	Introdução	44
5.2	Evolução e concorrentes.....	45
5.3	Desempenho	45
6	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT&T	American Telephone and Telegraph
BPSK	Binary phase-shift keying
CAC	Connection Admission Control
CCK	Complementary Code Keying
CDMA	Code Division Multiple Access
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance
DAMA	Demand Assignment Multiple Access
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DFS	Dynamic Frequency Selection
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying
DSL	Digital Subscriber Line
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ERP-OFDM	Extended Rate PHY - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Commission
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FSDD	Frequency Shift Division Duplexing
GFSK	Gaussian Frequency-Shift Keying
HIPERMAN	High-Performance Metropolitan Area Network
HR-DSSS	High Rate Direct Sequence Spread Spectrum
HUMAN	High-speed Unlicensed MAN
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IrDA	Infrared Data Association
ISI	Inter Symbol Interference

ISM	Industrial Scientific & Medical
LAN	Local Area Network
LLC	Logical Link Control
LMDS	Local Multipoint Distribution Systems
LOS	Line-Of-Sight
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Services
NLOS	Non-Line-Of-Sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection
PAN	Personal Area Network
PHY	Physical Layer
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service
SC	Single Carrier
SCa	Single Carrier Adaptive
SDM	Spatial Division Multiplexing
TDD	Time Division Duplex
TDM	Time-Division Multiplexing
WECA	Wireless Ethernet Compatibility Alliance
WiBRO	Wireless Broadband
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLL	Wireless Local-Loop
WLAN	Wireless Local Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Mapa de distâncias máximas típicas por modalidade de rede sem fio.....	15
Figura 2.2: Estrutura de camadas dos padrões IEEE 802.11 e IEEE 802.16	16
Figura 2.3: Diagrama frequência x tempo em FHSS	17
Figura 2.4: Alocação de canais DS-SS na faixa de 2,4 GHz segundo o padrão IEEE 802.11b	19
Figura 2.5: Ortogonalidade no domínio da frequência.....	20
Figura 2.6: Subportadoras definidas nos padrões IEEE 802.11a/g	20
Figura 2.7: Exemplo de alocação de recursos em OFDMA	22
Figura 3.1: Vendas de unidades Wi-Fi de 2004 a 2007 por segmento	25
Figura 3.2: Redes sem fio no aeroporto de Congonhas-SP	26
Figura 3.3: Redes sem fio e potência de sinal no aeroporto de Congonhas-SP	26
Figura 4.1: WiMAX Roadmap	37
Figura 4.2: Modulações por distância	40
Figura 4.3: Duplexação TDD	41
Figura 4.4: Duplexação FDD.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Faixas de frequência de WLANs - principais países	15
Tabela 2.2: Detalhes de codificação para diferentes taxas de transferência OFDM	21
Tabela 3.1: Vazão máxima esperada para ambiente 802.11 indoor.	30
Tabela 4.1: Faixas de frequência do espectro eletromagnético	32
Tabela 4.2: Datas importantes no desenvolvimento de redes de banda larga sem fio ...	36
Tabela 4.3: Dados Básicos sobre os Padrões IEEE 802.16	38
Tabela 4.4: Fluxos de Serviço Suportados na WiMAX	43
Tabela 5.1: Comparação de WiMAX com Wi-Fi.....	46
Tabela 5.2: Perfis de certificação WiMAX	47
Tabela 5.3: Parâmetros de Tráfego para Aplicações de Banda Larga.....	48

RESUMO

O avanço recente das redes locais sem fio deu-se bastante devido às suas novas técnicas de transmissão, que permitiram maiores taxas de transmissão, confiabilidade e flexibilidade de acesso.

As redes metropolitanas sem fio ainda são uma novidade e contam com técnicas já consagradas das redes locais sem fio, além de novas técnicas e recursos, visando disputar o mercado com as redes cabeadas existentes.

Este trabalho visa comparar os atuais padrões de redes locais e metropolitanas sem fio, visto sua similaridade na busca de fatias determinadas de mercado e concorrência direta com as redes cabeadas tradicionais. O trabalho também propõe uma comparação de sua evolução, seus sistemas de transmissão, taxas de transmissão obtidas e níveis de confiabilidade alcançados.

Palavras-Chave: Redes sem fio, WMAN, WLAN, WiMAX, Wi-Fi, 802.16, 802.11.

Local and Metropolitan area Wireless Networks – A comparative study

ABSTRACT

A large portion of the recent progress of the wireless local area networks can be attributed to their new transmission techniques, which allowed higher transmission rates, reliability and flexibility.

The metropolitan area networks are still very recent and use a set of techniques already known in the wireless local area networks, in addition to newer techniques, in a clear attempt to compete with existent wired networks.

This work intends to make a comparative study between the current local and metropolitan area wireless networks standards, due to their similarity and search for specific market shares and direct competition with traditional wired networks. Both local and metropolitan area wireless networks, and their evolution, transmission techniques, transmission rates and reliability levels will be compared.

Keywords: Wireless Networks, WMAN, WLAN WIMAX, Wi-Fi, 802.16, 802.11.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Visão Geral

É cada vez maior o uso de equipamentos móveis na comunicação de dados no Brasil e no mundo, e a tendência é o crescimento ainda mais acelerado nos próximos anos. A maior utilização de equipamentos está bastante ligada ao seu maior nível de confiabilidade e maiores taxas de transferência conseguidas recentemente.

O uso das redes locais sem fio (WLAN), baseadas no padrão IEEE 802.11, denominadas comercialmente redes Wi-Fi, já é bastante difundido em todo o mundo, caracterizando-se como uma tecnologia que conseguiu um sucesso notável, e em vários locais já substituiu as redes cabeadas tradicionais por completo.

Redes sem fio 802.11 têm um alcance bastante limitado, da ordem de cem metros, quando comparadas com redes metropolitanas sem fio (WMAN) dos padrões IEEE 802.16, que têm alcance da ordem de dezenas de quilômetros. No devido tempo, observar-se-á se as redes WiMAX, nome comercial dado aos mais novos padrões 802.16, conseguirão o mesmo nível de sucesso. Como redes metropolitanas, e que os padrões 802.11 conseguiram como redes locais.

As redes WiMAX não virão a concorrer diretamente com as redes Wi-Fi, atuando mais de forma colaborativa. Redes metropolitanas sem fio concorrem mais diretamente com as atuais redes DSL e CATV, no provimento direto aos assinantes ou acesso da última milha no perímetro metropolitano de alguns quilômetros de alcance.

As redes Wi-Fi, por sua vez, atuam concorrendo diretamente com redes Ethernet (IEEE 802.3), no provimento de redes locais com até poucas centenas de metros de

alcance. O que é esperado é um provimento aos pontos de acesso das redes Wi-Fi pelas redes WiMAX, não atuando, portanto, como concorrentes, como muitas vezes é interpretado.

No contexto da segurança, as redes sem fio aparecem como um desafio particular no compartilhamento dos dados. Em redes cabeadas, os usuários e os administradores de redes têm conhecimento dos limites da mesma, pois em seu nível mais básico, o físico, pode se perceber até onde a rede se estende, podendo ser contida apenas no perímetro desejado. Já no caso de redes sem fio, a transmissão dos dados facilmente ultrapassa as barreiras físicas e excedem o perímetro desejado, e até mesmo as tentativas de limitar o alcance da transmissão sem fio por barreiras e outros métodos não têm sua eficácia garantida.

1.2 Motivação

O uso cada vez mais difundido das redes sem fio é notável, e tem uma nítida tendência ao crescimento, principalmente devido ao incremento nas taxas de transferência, maiores níveis de confiabilidade e resiliência conseguidos mais recentemente nas redes locais sem fio.

Estas melhorias recentes permitiram que muitas redes, antes cabeadas, fossem substituídas, em alguns casos completamente, ou incrementadas por equipamentos sem fio.

Apesar de, comparativamente às redes cabeadas, as sem fio ainda serem inferiores em suas taxas de transferência, eficiência e confiabilidade, considera-se muitas vezes que possuem taxas suficientes para o uso.

As redes sem fio têm uma maior praticidade e mobilidade em comparação às redes cabeadas, colaborando de forma significativa para a ubiqüidade, permitindo o acesso a qualquer informação a qualquer hora e em qualquer lugar.

Em alguns casos, redes sem fio apresentam também redução de custos de instalação, o que também auxiliou em alguns casos a sua grande adoção. No Brasil, com sua infraestrutura de rede cabeada ainda pobre, em comparação com a maior parte dos países desenvolvidos, as redes sem fio têm um potencial enorme.

Devido à combinação da mobilidade com a alta performance e a possibilidade de distribuição em larga escala com um custo inferior ao das redes cabeadas, as redes metropolitanas sem fio podem chegar a lugares antes tidos como economicamente inviáveis.

1.3 Objetivos

O sucesso obtido pelas redes locais sem fio baseadas no padrão IEEE 802.11, em especial os padrões 802.11a/b/g, serve como comparativo do que pode ser esperado para os padrões relativamente novos de redes metropolitanas sem fio baseadas na IEEE 802.16.

A análise comparativa dos padrões de redes locais e metropolitanas sem fio desenvolvidos pelo IEEE, sua evolução histórica, técnicas de transmissão, modulação e codificação, níveis de desempenho, confiabilidade e resiliência é o que visa este trabalho.

1.4 Estrutura do trabalho

No capítulo dois, apresenta-se de forma breve os conceitos inerentes às redes sem fio.

No capítulo três é realizada uma revisão dos padrões de WLAN desenvolvidos pela IEEE, sua evolução histórica, análise das tecnologias empregadas em cada padrão e seus níveis de resistência e desempenho.

No capítulo quatro, as mesmas análises são feitas para os padrões WMAN.

Por fim, no capítulo cinco é feita a comparação entre os padrões apresentados, de forma a verificar as potenciais oportunidades do padrão IEEE 802.16 e sua integração com o padrão IEEE 802.11.

2 PADRONIZAÇÃO EM REDES SEM FIO

2.1 Introdução

As redes sem fio se caracterizam pela não utilização de fios para a transmissão de dados, tendo sua transmissão pelo meio aéreo, através de ondas eletromagnéticas. Os padrões de destaque usados comercialmente que serão verificados neste trabalho são os definidos pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc*) e ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

Os padrões do IEEE e do ETSI são interoperáveis, e seu enfoque está principalmente nas redes sem fio baseadas em pacotes. Para melhor entendimento, serão utilizados os termos e padrões de acordo com a nomenclatura do IEEE.

Os padrões de redes sem fio de destaque definidos pelo IEEE em função de sua abrangência são os seguintes:

- IEEE 802.15 - Redes pessoais sem fio (*Wireless Personal Area Networks - WPANs*), uso em distâncias curtas, de até 10 metros;
- IEEE 802.11 - Redes locais sem fio (*Wireless Local Area Networks - WLANs*), alcançando distâncias máximas típicas de poucas centenas de metros;
- IEEE 802.16 - Redes metropolitanas sem fio (*Wireless Metropolitan Area Networks - WMANs*), com distâncias máximas da ordem de dezenas de quilômetros, no caso de WiMAX de até 50 quilômetros.

Uma apresentação gráfica do exposto pode ser visualizada na Figura 2.1.

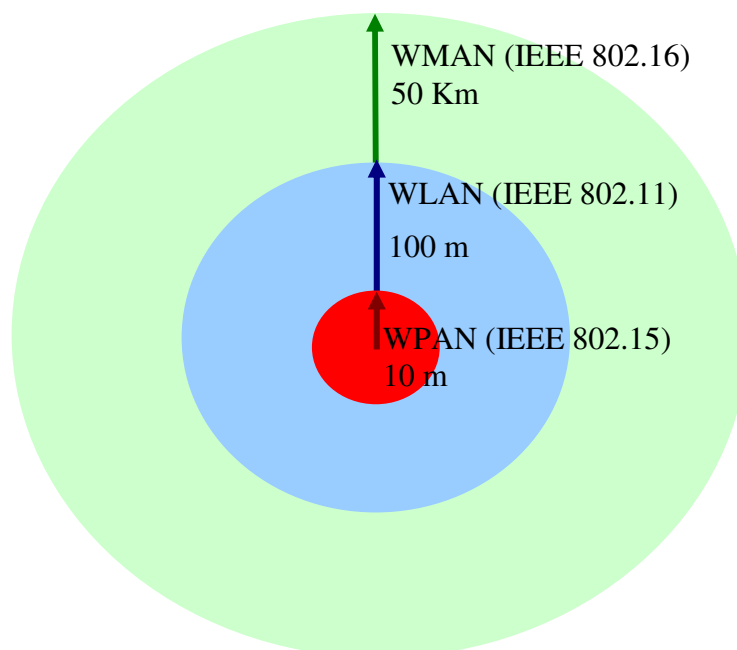


Figura 2.1: Mapa de distâncias máximas típicas por modalidade de rede sem fio

O IEEE estabelece em seus padrões de redes sem fio as faixas de frequência para operação dos equipamentos. Apesar de certas similaridades nas faixas disponibilizadas em cada país as mesmas possuem algumas diferenças. No caso do Brasil, quem regula a permissão de uso das faixas é a ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações. A Tabela 1 apresenta exemplos de diferenciações no uso das frequências que podem ocorrer entre países.

Tabela 2.1: Faixas de frequência de WLANs - principais países

País	Faixa de Frequência (GHz)	Restrições de potência
EUA, Canadá	2,401 – 2,4835	1W irradiado
	5,15 – 5,35	50-250 mW irradiado
Brasil	2,400 – 2,4835	1W
	5,15 – 5,35	EIRP £ 200 mW
	5,47 – 5,725	250 mW e EIRP £ 1W
	5,725 – 5,850	1W
ETSI 1 (Europa)	2,401-2,4835	100mW ERP até 1W
	5,15 – 5,35; 5,47 – 5,725	
Japão	2,4 – 2,495	10mW/MHz 2
	4,9-5;5,15-5,25	10mW/MHz

Fonte: BULHMAN; CABIANCA, 2006. p. 3

Os padrões IEEE 802.11 e 802.16 especificam a camada nível físico (PHY) e seu controle de acesso (MAC) do modelo OSI, conforme demonstra a Figura 2.2. Neste trabalho será abordada apenas a camada física do modelo de referência.

MR-OSI	IEEE 802.11					IEEE 802.16			
Aplicação									
Apresentação									
Sessão									
Transporte									
Rede									
Enlace	IEEE 802.2 Logical Link Control (LLC)					Entidade de Gerenciamento do Service Specific CS			
	IEEE 802.11 Media Access Control (MAC)					Entidade de Gerenciamento do MAC CPS			
						Subnível de segurança			
Físico	Infra vermelho	FHSS	DSSS	HRDSSS	OFDM	WirelessMAN SC	WirelessMAN SCa,	OFDM	OFDMA

Figura 2.2: Estrutura de camadas dos padrões IEEE 802.11 e IEEE 802.16

2.2 Técnicas de transmissão

As principais técnicas de transmissão existentes em redes WLAN e WMAN definidas pelo IEEE são: Espalhamento Espectral por Saltos em Frequências (FHSS - *Frequency Hopping Spread Spectrum*), Espalhamento Espectral por Seqüência Direta (DSSS - *Direct Sequence Spread Spectrum*), Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência (OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e Acesso Múltiplo por Divisão Ortogonal da Frequência (OFDMA - *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*), cada um detalhado a seguir:

2.2.1 FHSS

Espalhamento Espectral por Saltos em Frequências (FHSS - *Frequency Hopping Spread Spectrum*), primeira técnica de multiplexação para redes sem fio do padrão IEEE 802.11. Foi o primeiro passo para o desenvolvimento de técnicas de transmissão mais avançadas e complexas.

Nesta técnica, utiliza-se uma determinada banda de frequência com portadora associada por um período de tempo muito curto, e então alterna-se para uma portadora de outra banda de frequência, de acordo com um padrão de saltos pseudo-randômicos conhecidos tanto pelo transmissor como pelo receptor. Isto faz com que os dados cada vez sejam transmitidos em um canal diferente, utilizando um espectro de frequência amplo, o que proporciona menos interferências, inclusive entre transmissores posicionados próximos.

No caso das redes IEEE 802.11, toda a banda de 2.4 GHz ISM é separada em canais com espaçamento de 1MHz, e o transmissor altera a frequência da portadora a cada 400 milissegundos ou menos. Os padrões de pulso são descritos por 3 conjuntos contendo 26 seqüências de salto cada. Estes padrões são definidos de forma que as seqüências em cada conjunto causem o mínimo de interferência mútua entre os diferentes pontos de acesso.

Uma vez que a banda ISM utilizada nas redes 802.11 é de 2,4 a 2,4835 GHz, a banda de largura de 83,5 MHz é dividida em 83 subcanais de 1 MHz cada. Os sistemas FHSS utilizam, pelo menos 75 destes subcanais e os saltos devem ter uma distância mínima de 6 canais. Um diagrama do funcionamento da técnica FHSS é apresentado na figura 2.3.

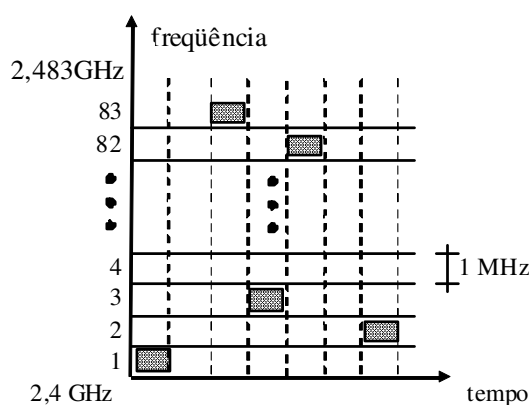


Figura 2.3: Diagrama frequência x tempo em FHSS (ROCHOL, 2007.)

A técnica FHSS utiliza modulação por chaveamento de frequência Gaussiana (*Gaussian Frequency-Shift Keying* - GFSK) 2-GFSK (1 bit/símbolo) e 4-GFSK (2 bits/símbolo). Com a modulação 2-GFSK atinge taxas de transferência máximas de 1 Mbit/s, e com a modulação 4-GFSK atinge taxas de até 2 Mbit/s.

2.2.2 DSSS

Espalhamento Espectral por Sequência Direta (DSSS - *Direct Sequence Spread Spectrum*), utilizado também no primeiro padrão definido no IEEE 802.11 foi aprimorado no padrão 802.11b.

Nesta técnica de transmissão utilizam-se seqüências de pseudo-ruído, juntamente com uma modulação por fase, de modo que a fase do sinal modulado varie aleatoriamente de acordo com o código PN (*pseudo-noise* ou pseudo-ruído).

O código PN é formado por seqüências binárias à uma taxa muito maior que a taxa do sinal de informação. O código PN é usado para modular a portadora de modo a expandir a largura da banda do sinal de rádio frequência transmitido.

No padrão 802.11 o DSSS utiliza um código PN de 11 bits para a codificação dos símbolos, chamado de seqüência de Barker. Desta forma, cada seqüência de 11 bits será utilizada para codificar cada bits de dado, gerando então os símbolos, que serão transmitidos. Desta forma cada tempo de bit é dividido em n subintervalos, denominados *chips*, para transmitir 1 bit, uma estação deve enviar a uma seqüência de *chips*.

No receptor o sinal de informação é recuperado através de um processo complementar usando um gerador de código local similar e sincronizado com o código gerado na transmissão.

Devido à utilização de uma grande largura de banda para transmissão, os sistemas em seqüência direta dispõem de poucos canais dentro da banda. Estes canais são totalmente separados de forma a não gerar interferência entre eles.

A figura 2.4 demonstra como se dá a alocação de canais na técnica DSSS na faixa de frequência de 2,4 GHz a 2,483 GHz.

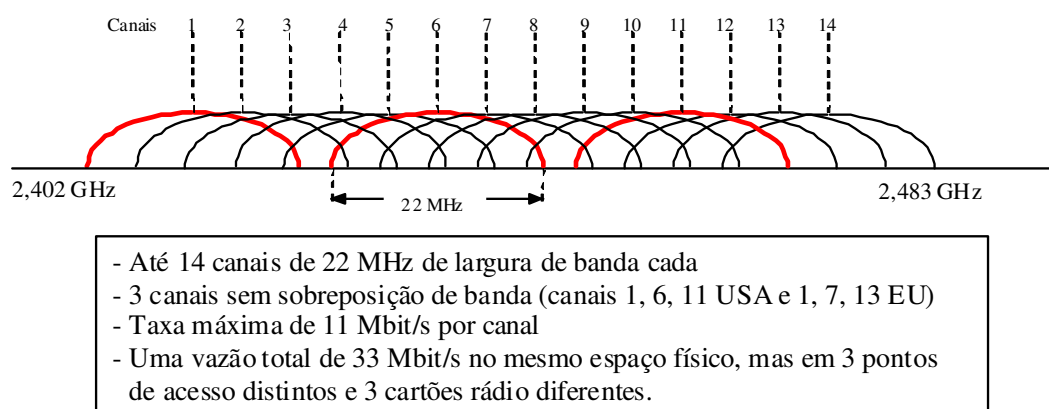


Figura 2.4: Alocação de canais DS-SS na faixa de 2,4 GHz segundo o padrão IEEE 802.11b (ROCHOL, 2007)

O padrão 802.11 original utilizava modulação DBPSK para atingir taxas de até 1 Mbit/s e modulação DQPSK para atingir taxas de até 2 Mbit/s.

O avanço para as taxas de até 11 Mbit/s conseguidos no padrão 802.11b está na utilização de chaves de codificação complementares, que dividem o fluxo de *chips* em palavras de código de 8 bits (*Complementary Code Keying* - CCK). Esta melhoria na técnica DSSS original foi denominada Espalhamento Espectral por Seqüência Direta de Alta Taxa (HR-DSSS – *High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*).

2.2.3 OFDM

Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência (OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), definido primeiramente no padrão IEEE 802.11a e depois adaptado através do ERP-OFDM (*Extended Rate PHY* - OFDM) no padrão IEEE 802.11g.

Ortogonal é um termo matemático, derivado da palavra grega *orthos*, que significa reto, correto, ou verdadeiro. Na matemática, a palavra “ortogonal” é usada para descrever itens independentes. A ortogonalidade é mais facilmente vista no domínio de frequência, na decomposição espectral de um sinal, sendo que o produto entre as duas funções apresenta resultante nula. A OFDM funciona porque as frequências das subportadoras são selecionadas de forma que na frequência de cada subportadora, todas as outras subportadoras não contribuam para o formato de onda geral. Uma maneira comum de ver a ortogonalidade é mostrada na Figura 2.5. O sinal foi dividido em suas três subportadoras. O pico de cada subportadora, mostrado pelo ponto escuro no topo, codifica os dados. O conjunto das subportadoras é cuidadosamente projetado para serem

em ortogonais. Note que, no pico de cada uma das subportadoras, as outras duas subportadoras têm amplitude zero.

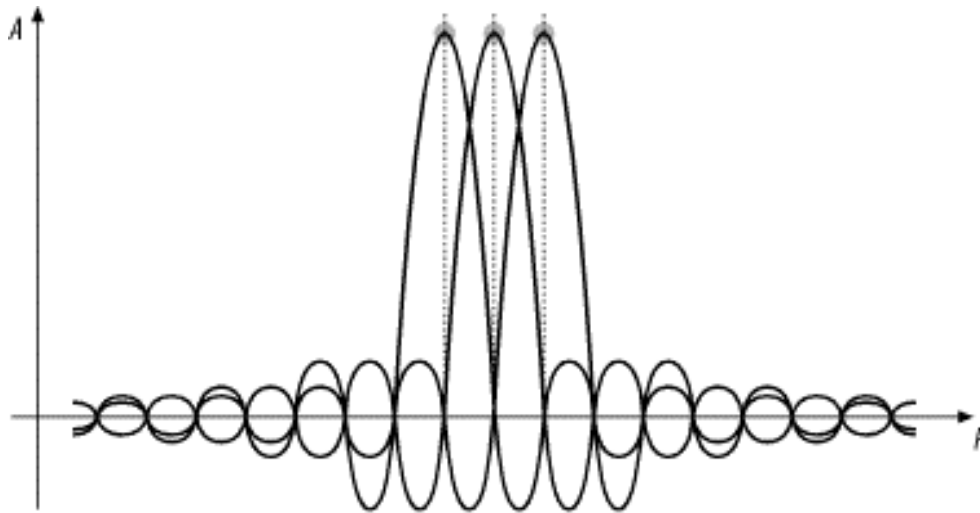


Figura 2.5: Ortogonalidade no domínio da frequência (GHAST, 2002)

A OFDM toma o sinal codificado de cada subcanal e usa a transformada de Fourier inversa (IFFT - *inverse fast Fourier transform*) para criar um formato de onda composto a partir da amplitude de cada subcanal. Receptores de OFDM podem então aplicar a transformada rápida de Fourier (FFT - *fast Fourier transform*) a um formato de onda recebido para extrair a amplitude de cada subportadora componente. [GHAST]

No padrão IEEE 802.11a e IEEE 802.11g são definidas 52 subportadoras, sendo 48 delas de dados e 4 subportadoras piloto; os canais são de 16,6 MHz, conforme demonstra a figura 2.6.

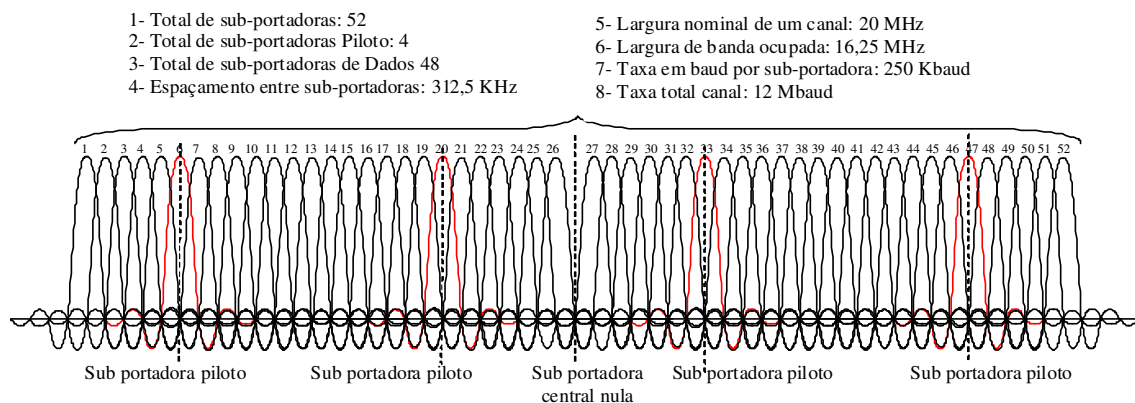


Figura 2.6: Subportadoras definidas nos padrões IEEE 802.11a/g (ROCHOL, 2007)

A modulação utilizada nos sistemas OFDM são BPSK (*Binary Phase Shift Keying*), QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) e 64-QAM.

A modulação BPSK codifica apenas 1 bit por símbolo, QPSK codifica 2 bits e as modulações 16-QAM e 64-QAM codificam respectivamente 4 e 6 bits por símbolo de subportadora.

Nos padrões 802.11, a técnica OFDM suporta velocidades de 6 a 54 Mbit/s. 6, 12 e 24 Mbit/s são as velocidades mais baixas nas modulações mais robustas.

A maior robustez nas taxas mais baixas de cada modulação também se dá devido à maior destinação de bits aos códigos convolucionais, destinados à correção de erros.

A codificação convolucional é um tipo de código de correção de erros em que cada conjunto de m símbolos é transformado em um conjunto de n símbolos, onde n é maior ou igual a m . Essa transformação é função dos últimos símbolos na entrada do codificador, e a razão m/n é conhecida como taxa de código.

A tabela 2.2 apresenta os métodos de codificação OFDM por cada taxa de transferência em WLAN.

Tabela 2.2: Detalhes de codificação para diferentes taxas de transferência OFDM

Taxa de transferência (Mbit/s)	Modulação e taxa de codificação convolucional	Bits codificados por portadora	Bits de código por símbolo (n)	Bits de dados por símbolo (m)	Razão de código m/n
6	BPSK, R=1/2	1	48	24	1/2
9	BPSK, R=3/4	1	48	36	3/4
12	QPSK, R=1/2	2	96	48	1/2
18	QPSK, R=3/4	2	96	72	3/4
24	16-QAM, R=1/2	4	192	96	1/2
36	16-QAM, R=3/4	4	192	144	3/4
48	64-QAM, R=2/3	6	288	192	2/3
54	64-QAM, R=3/4	6	288	216	3/4

Fonte: GHAST, 2002. p. 216

2.2.4 OFDMA

Acesso Múltiplo por Divisão Ortogonal da Frequência (OFDMA - *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*), consiste na versão multiusuários do sistema OFDM. Um exemplo de como se dá a alocação de recursos a múltiplos usuários é demonstrado na figura 2.7.

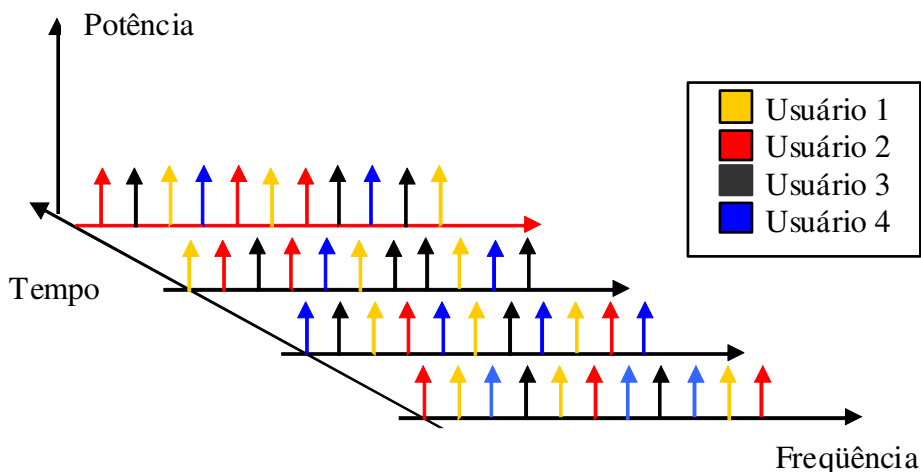


Figura 2.7: Exemplo de alocação de recursos em OFDMA (ROCHOL, 2008)

O sistema OFDMA se baseia na troca de informações sobre as condições do canal e permite uma adaptação rápida a estas condições, permitindo uma resistência maior a interferências e tornando possível uma eficiência ainda maior.

Um número diferente de subportadoras pode ser designado para diferentes usuários, o controle de qualidade (QoS), taxas de transferência e probabilidade de erro são controlados de forma individualizada para cada usuário.

OFDMA pode ser visto como uma alternativa à combinação de OFDM com Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA - *Time Division Multiple Access*), e permite múltiplos usuários com uma baixa taxa de transferência simultaneamente.

O uso de OFDMA proporciona várias vantagens sobre outras formas de transmissão, sendo extremamente flexível e adaptável em curtos espaços de tempo e através de várias

faixas de frequência. Permite um uso bastante eficiente das faixas de frequência disponíveis no sistema.

O uso de OFDMA é algo bastante recente, e a quantidade de variáveis e usuários com que o sistema tem que lidar simultaneamente torna o sistema bastante complexo.

Apesar de se adaptar rapidamente para lidar com interferências no meio, a sensibilidade deste sistema a interferências é maior que a dos demais sistemas de transmissão apresentados anteriormente.

3 REDES WLAN

3.1 Introdução

No ano de 1990, o IEEE iniciou o desenvolvimento de padrões de conectividade sem fio utilizando as bandas ISM. O primeiro padrão WLAN definido pela IEEE 802.11 surgiu em 1997, e apesar de não ter obtido grande sucesso inicialmente, as redes sem fio tiveram um grande ganho em desempenho e confiabilidade em um curto espaço de tempo.

Os primeiros padrões definidos pela IEEE 802.11 foram bastante importantes para o amadurecimento das redes WLAN e melhoria das técnicas de transmissão. Em 1997, a taxa de transferência máxima era de apenas 2 Mbit/s.

Em apenas dois anos, dois novos padrões foram desenvolvidos, fazendo as taxas de transferência subirem para 11 e 22 Mbit/s, utilizando a mesma faixa de frequência do padrão inicial, e 54 Mbit/s, utilizando faixas mais altas. Nos dois novos padrões também se conseguiu alcançar distâncias maiores que no padrão inicial.

Com taxas mais altas e técnicas de transmissão mais eficientes, o mercado das redes locais sem fio começou a se desenvolver e cresceu de forma muito acelerada. O que pode ser observado na Figura 3.1, que demonstra o crescimento nas vendas de equipamentos Wi-Fi de 2004 a 2007 e as previsões de crescimento até 2011 da Wi-Fi Alliance.

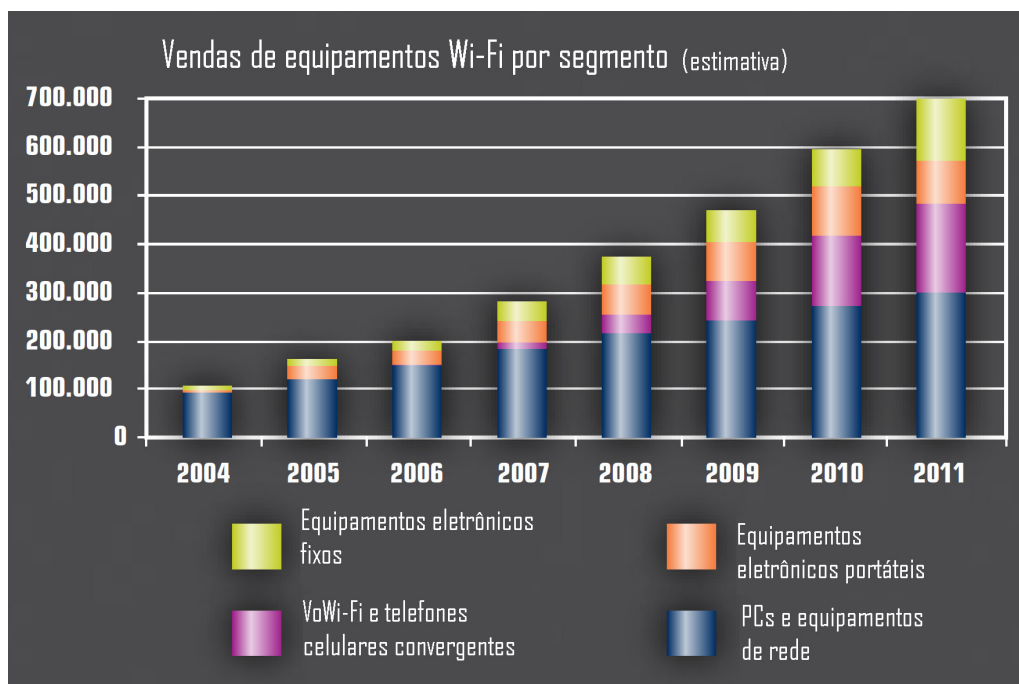


Figura 3.1: Vendas de unidades Wi-Fi de 2004 a 2007 por segmento (Wi-Fi Annual report, 2007)

Com o crescimento nas vendas ocorreu também um barateamento nos equipamentos, assim como a incorporação de dispositivos de rede na grande maioria dos dispositivos móveis. Hoje em dia é difícil encontrar no mercado notebooks sem suporte aos três padrões mais utilizados pelo mercado: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b e IEEE 802.11g.

Com o aumento do número de concorrentes na fabricação de equipamentos, devido ao aquecimento do mercado, alguns fabricantes passaram a oferecer alguns recursos próprios para se diferenciar no mercado.

Novos equipamentos com sistemas mais avançados de antenas, inclusive múltiplas antenas e antenas direcionais, permitem, em alguns casos, que as distâncias máximas e capacidade de passagem de barreiras das redes sem fio típicas sejam ultrapassadas.

Equipamentos móveis com múltiplas antenas e suporte a múltiplas tecnologias de rede sem fio embutidas já são mais comuns, e os *hot-spots* já estão presentes de forma maciça nos centros urbanos e principalmente em locais públicos. As figuras 3.2 e 3.3 apresentam as redes em operação no aeroporto de Congonhas no dia 12/11/2008 por um notebook com suporte a redes IEEE 802.11a, IEEE 802.11b e IEEE 802.11g e 3 antenas wireless embutidas.

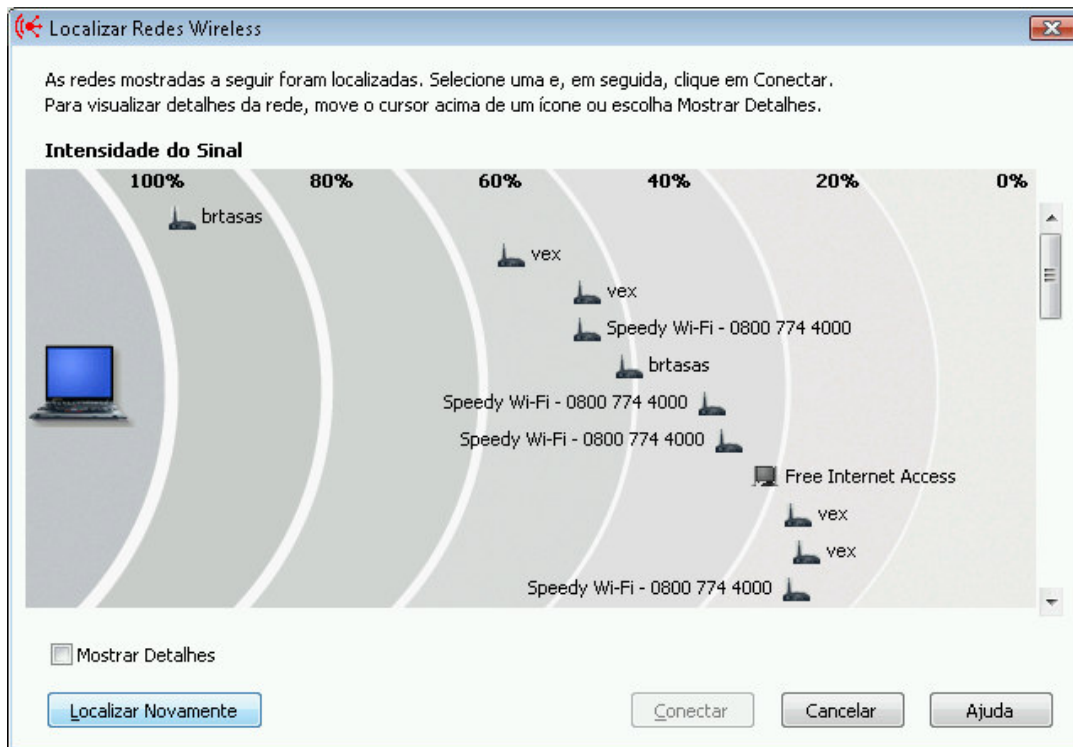


Figura 3.2: Redes sem fio no aeroporto de Congonhas-SP

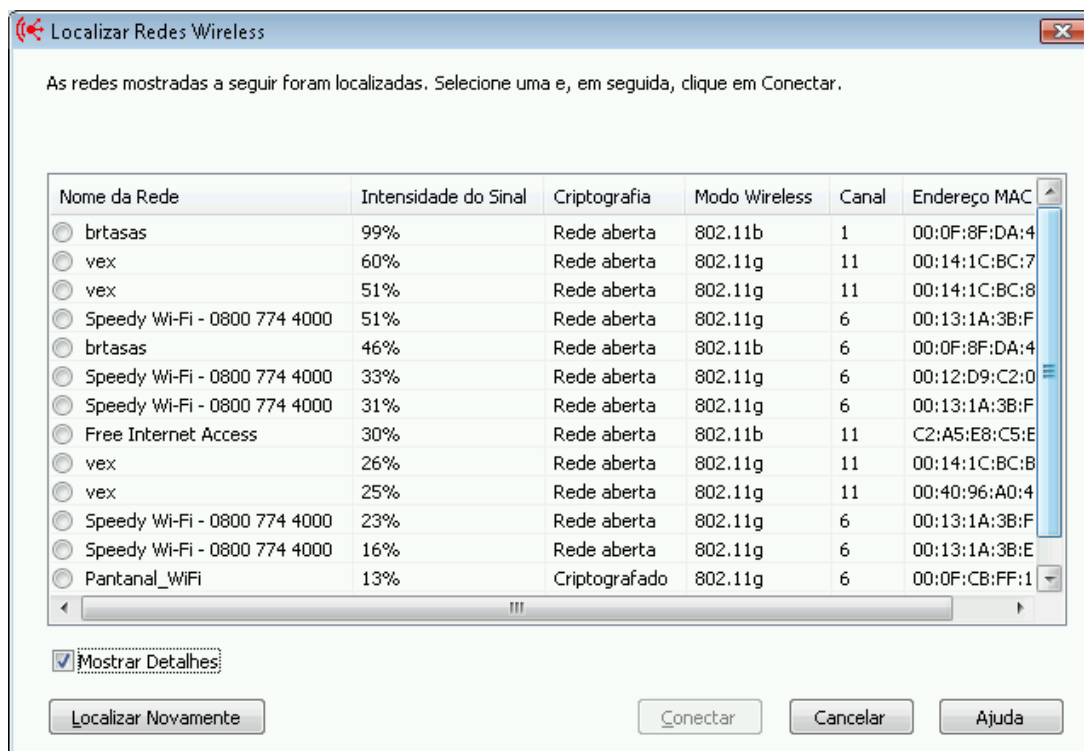


Figura 3.3: Redes sem fio e potência de sinal no aeroporto de Congonhas-SP

As figuras também demonstram o domínio dos padrões IEEE 802.11g e IEEE 802.11b no aeroporto, o que pode ser atribuído ao baixo nível de desempenho das redes anteriores. O recente padrão IEEE 802.11n e a demora no desenvolvimento do padrão

IEEE 802.11a e sua faixa de frequência não classificada dentro das bandas ISM em todos os países, quando ocorreu seu lançamento, também contribuem para que os mesmos ainda não estejam tão disseminadas.

Os principais padrões desenvolvidos pela IEEE para redes WLAN e suas características de operação e desempenho serão apresentados a seguir.

3.2 Evolução das redes WLAN

3.2.1 IEEE 802.11

O primeiro padrão desenvolvido pela IEEE para redes locais sem fio teve seu desenvolvimento iniciado em 1990 e foi lançado em 1997. O padrão definiu as necessidades estruturais para a utilização de redes sem fio.

Este primeiro padrão definiu os protocolos de controle de acesso ao meio CSMA/CA e utiliza modulações FHSS e DSSS na banda ISM de 2,4 GHz, operando a uma taxa de transferência máxima de 1 ou 2 Mbit/s. Este primeiro padrão também definiu os principais componentes da estrutura de redes sem fio, placa de rede e ponto de acesso.

O padrão 802.11 também inclui uma especificação para uso da camada física baseada em radiação infravermelha. Apesar do custo reduzido para a fabricação deste tipo de equipamento, e do uso desta faixa de frequência não ser regulado, há uma grande limitação de distância e dificuldade em ultrapassar objetos sólidos no uso desta faixa de frequência.

Equipamentos baseados no padrão 802.11 de transmissão por infra-vermelho não chegaram a ser produzidos, as portas infra-vermelhas encontradas nos equipamentos da época se baseavam nos padrões definidos pela *Infrared Data Association* (IrDA), e não no padrão 802.11.

O padrão IEEE 802.11-1997 definiu a técnica de transmissão DSSS em redes sem fio e esta foi continuada e aprimorada, no padrão IEEE 802.11b. O padrão teve grande importância histórica para a definição dos conceitos iniciais das redes sem fio.

3.2.2 IEEE 802.11a

O padrão IEEE 802.11a desenvolvido em 1999 adotou o sistema de transmissão OFDM, atingindo taxas de transferência da ordem de 54 Mbit/s. O sistema OFDM tornou-se a base para os sistemas de transmissão de rede sem fio mais utilizados atualmente.

Trabalhando em uma faixa de frequência mais alta, 5 GHz. As desvantagens desta faixa de frequência seriam as distâncias máximas inferiores aos padrões de frequências mais baixas e não estar classificada como frequência ISM de uso público nos principais países quando de seu lançamento.

O padrão demorou a chegar ao mercado e não era compatível com os padrões IEEE 802.11 e 802.11b, e não chegou a se tornar um padrão comum. Porém, as tecnologias apresentadas neste padrão serviram para o desenvolvimento das novas tecnologias sem fio, com destaque para o padrão IEEE 802.11g, que usou estas técnicas na faixa de 2,4 GHz, mantendo compatibilidade com o padrão anterior (IEEE 802.11b) e obtendo grande sucesso.

3.2.3 IEEE 802.11b

O padrão IEEE 802.11b foi o primeiro a ter grande penetração no mercado e deu uma maior visibilidade para as redes sem fio. Durante a época de ascensão do padrão, em 1999, foi criada a WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), que se tornaria em 2000 a Wi-Fi Alliance, nome que se tornou sinônimo de WLAN entre os usuários de redes sem fio.

Trabalhando na faixa de frequência de 2,4 GHz com capacidade teórica de 11 Mbit/s o padrão utiliza DSSS para diminuição de interferência. O padrão conseguiu concorrer com as redes Ethernet de 10 Mbit/s e tinha um bom nível de confiança e desempenho, que permitiu seu crescimento.

3.2.4 IEEE 802.11g

Lançado no início de 2003, o padrão IEEE 802.11g era similar ao padrão 802.11a, mas com frequência de operação de 2,4 GHz e compatibilidade com o padrão IEEE 802.11b.

Contava com as mesmas taxas de transferência teóricas do padrão IEEE 802.11a e mesmo sistema de transmissão OFDM. Por trabalhar em faixas de frequência já mundialmente padronizadas, de alcance maior que o padrão IEEE 802.11a, e ter compatibilidade com o padrão já bem aceito pelo mercado, IEEE 802.11b, teve um sucesso bastante rápido.

3.2.5 IEEE 802.11n

O padrão IEEE 802.11n teve seu desenvolvimento iniciado em 2004, com término previsto para o ano de 2009, também utiliza o sistema OFDM e promete taxas de transferência ainda maiores, de até 300 Mbit/s.

Este novo padrão utilizará a faixa de frequência de 5 Ghz, devido à faixa de 2,4 GHz já estar bastante saturada, de forma a garantir um maior ganho de desempenho.

O padrão IEEE 802.11n introduz o conceito de múltiplas antenas MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), permitindo que a placa utilize diversos fluxos de transmissão, utilizando vários conjuntos transmissores, receptores e antenas, transmitindo os dados de forma paralela.

Há um incremento da vazão de dados neste padrão por meio da divisão de fluxos espaciais (*Spatial Division Multiplexing - SDM*), múltiplos fluxos de dados independentes são transferidos simultaneamente dentro de um canal espectral de banda.

O novo padrão também permite a junção de canais, utilizando canais com largura de banda de 20 MHz como um único canal de 40 MHz, e reduz o *guard interval* (intervalo do espectro entre os canais) de 800 ns para 400 ns, proporcionando em um ganho de cerca de 11% na taxa de transmissão.

3.3 Características e desempenho dos padrões Wi-Fi

As redes locais sem fio baseadas nos padrões IEEE 802.11 tiveram um grande incremento em suas taxas de transmissão com as técnicas desenvolvidas em seus padrões mais recentes.

Mesmo com os incrementos nas taxas de transmissão, a utilização das redes IEEE 802.11 é bastante focada em ambientes internos e curtas distâncias. Na tabela 3 podem-

se observar os níveis de desempenho conseguidos em função das distâncias pelas redes mais comuns no mercado atualmente:

Tabela 3.1: Vazão máxima esperada para ambiente 802.11 indoor.

Distância [m]	802.11b [Mbit/s]	802.11a [Mbit/s]	802.11g [Mbit/s]
3	5,8	24,7	24,7
15	5,8	19,8	24,7
30	5,8	12,4	19,8
45	5,8	4,9	12,4
60	3,7	0	4,9
75	1,6	0	1,6
100	0,9	0	0,9

Fonte: BULHMAN; CABIANCA, 2006. p. 4

Pode-se perceber a rápida diminuição nos níveis de desempenho após cerca de 30 metros, especialmente no padrão IEEE 802.11a, que conta com frequências mais altas e de degradação mais rápida em distâncias curtas.

Para a utilização destas redes sem fio em distâncias maiores, faz-se necessário o uso de novas técnicas, como múltiplas antenas, antenas direcionais e incremento na potência de transmissão.

4 REDES WMAN

4.1 Introdução

O desafio para o desenvolvimento das redes metropolitanas de alta velocidade é muito maior que o das redes locais de alta velocidade. Devido às suas maiores distâncias, maior número de usuários, maior espalhamento e sujeição às condições atmosféricas, tais redes necessitam de um arcabouço de tecnologias e técnicas que garantam o máximo de eficiência, para uma eficiente utilização de faixas de frequência, apesar da degradação do sinal.

As tecnologias responsáveis pelo sucesso das redes 802.11 também estão presentes nas redes 802.16 mais atuais, além de várias outras tecnologias e diferenciações que se fazem necessárias para assegurar os níveis de qualidade em condições mais adversas.

O uso de faixas de frequência diferenciadas e de canais maiores, também se faz necessário. Mesmo tirando proveito de técnicas mais avançadas, para obter uma maior eficiência na utilização das faixas de frequência, significando mais bits/Hz, bandas maiores são necessárias para a transmissão de mais informações, devido ao elevado número de usuários.

Uma diferença importante entre as redes sem fio atuais é o uso apenas de faixas de frequência públicas nas redes 802.11 e a utilização de faixas de frequência licenciadas nas redes 802.16 mais recentes. Faixas de frequência estão sendo adquiridas em todo o mundo, inclusive no Brasil, para a implementação mais completa das redes 802.16 atuais.

Outro destaque é que as faixas de frequência utilizadas pelas redes 802.11 são mais baixas em comparação com as faixas típicas utilizadas nos padrões 802.16. Redes 802.11 operam tipicamente em frequências UHF, enquanto as frequências mais utilizadas pelas redes WiMAX são desde faixas UHF até faixas EHF, como pode ser observado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Faixas de frequência do espectro eletromagnético

Designações:	Uso	Limites
Extremely low-frequency (ELF) band		30 Hz–300 Hz
Voice-frequency (VF) band		300 Hz–3 kHz
Very low-frequency (VLF) band		3 kHz–30 kHz
Low-frequency (LF) band		30 kHz–300 kHz
Medium-frequency (MF) band		300 kHz–3 MHz
High-frequency (HF) band		3 MHz–30 MHz
Very high-frequency (VHF) band		30 MHz–300 MHz
Ultrahigh-frequency (UHF) band	802.11	300 MHz–3 GHz
Super high-frequency (SHF) band	802.11/802.16	3 GHz–30 GHz
Extremely high-frequency (EHF) band	802.16	30 GHz–300 GHz

4.2 Evolução das redes WMAN

As redes metropolitanas sem fio, em seu conceito original, representam uma alternativa às redes cabeadas. Porém, em sua maioria, não chegaram a representar uma efetiva ameaça às redes cabeadas, tendo ficado relegadas a uma fatia do mercado na qual as redes cabeadas não viam oportunidades de crescimento. No que se refere aos novos padrões WMAN, surgiram tentando se firmar como uma alternativa viável às redes cabeadas tradicionais.

No passado, nenhuma rede WMAN obteve um nível de sucesso considerável neste sentido. Na última década, sistemas de acesso sem fio foram desenvolvidos e tiveram muitas diferenças em suas performances, protocolos e faixas de frequências utilizadas.

Nenhum destes sistemas anteriores conseguiu se firmar como padrão a ser utilizado em redes WMAN, e houve uma fragmentação na indústria, devido às grandes diferenças entre os padrões, e apenas alguns padrões se estabeleceram em nichos específicos. O

surgimento do WiMAX visa mudar esta situação e se estabelecer como padrão em redes WMAN.

A tecnologia de redes metropolitanas sem fio evoluiu em quatro estágios: sistemas sem fio de banda estreita (WLL – *Wireless Local Loop*), sistemas de banda larga com linha de visada (*line-of-sight* – LOS) de primeira geração, sistemas de banda larga sem linha de visada (*non-line-of-sight* – NLOS) de segunda geração, e sistema de banda larga sem fio padronizado, a partir de onde surgiu o WiMAX Forum.

4.2.1 Sistemas sem fio de banda estreita (WLL)

Os sistemas sem fio de banda estreita, denominados *Wireless Local-Loop* (WLL), tiveram como primeira destinação a telefonia, e tiveram um certo sucesso em países com estrutura de redes pouco desenvolvida, como o Brasil.

Em mercados com uma estrutura mais robusta, serviços diferenciados tiveram que ser oferecidos pelo WLL. Um exemplo foi o “*Project Angel*” da AT&T, anunciado em fevereiro de 1997, para a faixa de frequência de 1900 MHz, que disponibilizava duas linhas de voz e uma conexão de 128Kbit/s para seus assinantes.

A AT&T descontinuou o serviço em dezembro de 2001, citando o aumento dos custos e pouca aderência ao serviço como causas. No mesmo período, outras empresas de menor porte utilizaram a tecnologia sem fio para disponibilizar acesso à internet com algumas centenas de Kbit/s, utilizando faixas de frequência ISM.

4.2.2 Sistemas de banda larga com linha de visada (LOS) de primeira geração

Com o surgimento de sistemas DSL e a cabo, os sistemas sem fio tiveram que suportar velocidades mais altas para serem competitivos. Os sistemas começaram a ser desenvolvidos para frequências mais altas, tais como faixas de 2,5GHz e 3,5GHz.

Sistemas de velocidades muito altas, chamados sistemas de distribuição local multiponto (LMDS – *Local Multipoint Distribution System*), suportando velocidades de até várias centenas de Mbit/s, foram desenvolvidos, na faixa de frequência de ondas milimétricas, tais como 24GHz e 39GHz.

Serviços baseados em LMDS eram dirigidos a usuários corporativos, e no final dos anos 90 desfrutaram de um sucesso rápido, mas por pouco tempo. Problemas em se

obter acesso aos telhados para a instalação das antenas, combinados com sua capacidade para curtas distâncias, esmagaram seu crescimento.

No final dos anos 90, um dos mais importantes lançamentos de redes sem fio aconteceu na então chamada faixa de distribuição de serviços multicanal multiponto (MMDS - *Multichannel Multipoint Distribution Service*) a 2,5GHz (serviços similares foram distribuídos internacionalmente na faixa de 3,5GHz). Tal faixa era usada para distribuição de vídeo, o que sofreu um grande impacto com o início da distribuição via satélite. Algumas operadoras começaram a oferecer serviços de internet de uma via, utilizando a linha telefônica como linha de retorno.

Em setembro de 1998, com o relaxamento nas regras da FCC quanto ao uso da faixa MMDS, foi permitida comunicação de duas vias. As empresas MCI WorldCom e Sprint pagaram cada uma cerca de um bilhão de dólares para comprar licenças de uso do espectro MMDS, e várias empresas começaram a desenvolver soluções em redes sem fio de alta velocidade nesta faixa.

As primeiras soluções de rede sem fio utilizando a faixa MMDS fez uso das mesmas antenas usadas antes para distribuição de vídeo, com cobertura LOS até 55 Km, com assinantes com antenas externas apontadas para a torre. A necessidade de visão da torre e uma antena externa foram impedimentos consideráveis na utilização desta tecnologia, além da grande área coberta por uma única torre limitou a capacidade dos sistemas.

4.2.3 Sistemas de banda larga sem linha de visada (NLOS) de segunda geração

Uma segunda geração de redes de banda larga sem fio conseguiu driblar os problemas do visão da torre e fornecer maior capacidade, o que foi conseguido através do uso da arquitetura celular, melhoria nas técnicas de processamento de sinal e condições de múltiplos caminhos.

Muitas companhias iniciantes desenvolveram sistemas com um ganho considerável em relação aos sistemas de primeira geração. A maioria tinha um bom desempenho em técnicas NLOS e muitas conseguiram isso através de técnicas como OFDM, CDMA e processamento com múltiplas antenas. Alguns sistemas conseguiram um desempenho considerável, de alguns Mbit/s, em distâncias de poucos quilômetros com usuários que não necessitavam de antenas externas.

4.2.4 Sistemas de banda larga sem fio padronizadas

Em 1998, o IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.*) iniciou os trabalhos para o desenvolvimento do padrão IEEE 802.16 para desenvolver um padrão para o que foi denominado Redes Metropolitanas Sem Fio (WMAN). Originalmente o grupo se focou no desenvolvimento de soluções na faixa de 10 a 66GHz, com a aplicação primária de permitir conexões de alta velocidade para empresas que não podem utilizar fibras. [ANDREWS, 2007]

O grupo formado desenvolveu um padrão (*Wireless MAN-Single Carrier*) que foi aprovado em dezembro de 2001, e especificou a camada física de uma única portadora e uma camada MAC (*media access control*), com estrutura de multiplexação por divisão de tempo (TDM) em rajada, suportando tanto duplexação por divisão de frequências (FDD) e duplexação por divisão de tempo (TDD).

Após completar esta especificação o grupo estendeu o mesmo para suportar faixas de frequência de 2GHz a 11GHz, o que permitiria a desenvolvimentos NLOS. A emenda IEEE 802.16a, terminou em 2003, com a inclusão de esquemas OFDM na camada física, suportando ambientes de múltiplos caminhos, e também adicionando opções na camada MAC, OFDMA.

Mais revisões ao padrão 802.16a foram realizadas e completadas em 2004 – IEEE 802.16-2004 – que integrou os padrões 802.16, 802.16a e 802.16c em um único padrão, que também é a base para o padrão HIPERMAN (*high-performance metropolitan network*) do ETSI.

Em 2003 o grupo começou a trabalhar em aprimoramentos de forma a permitir o uso de aplicações móveis veiculares; esta revisão, conhecida como 802.16e, foi completada em dezembro de 2005 e foi publicada formalmente como 802.16-2005. Ela especifica OFDM escalonável para a camada física e faz mais algumas modificações na camada MAC para acomodar mobilidade de alta velocidade.

Apesar do IEEE ter desenvolvido as especificações, a indústria ficou incumbida de transformar estes padrões em um padrão inter-operável que possa ser certificado. O WiMAX Forum se formou com o objetivo de criar este padrão, nos moldes da Wi-Fi Alliance, que obteve um sucesso na família dos padrões IEEE 802.11. O fórum iniciou

os testes de interoperabilidade e anunciou seu primeiro produto baseado no IEEE 802.16-2004 para aplicações fixas em janeiro de 2006.

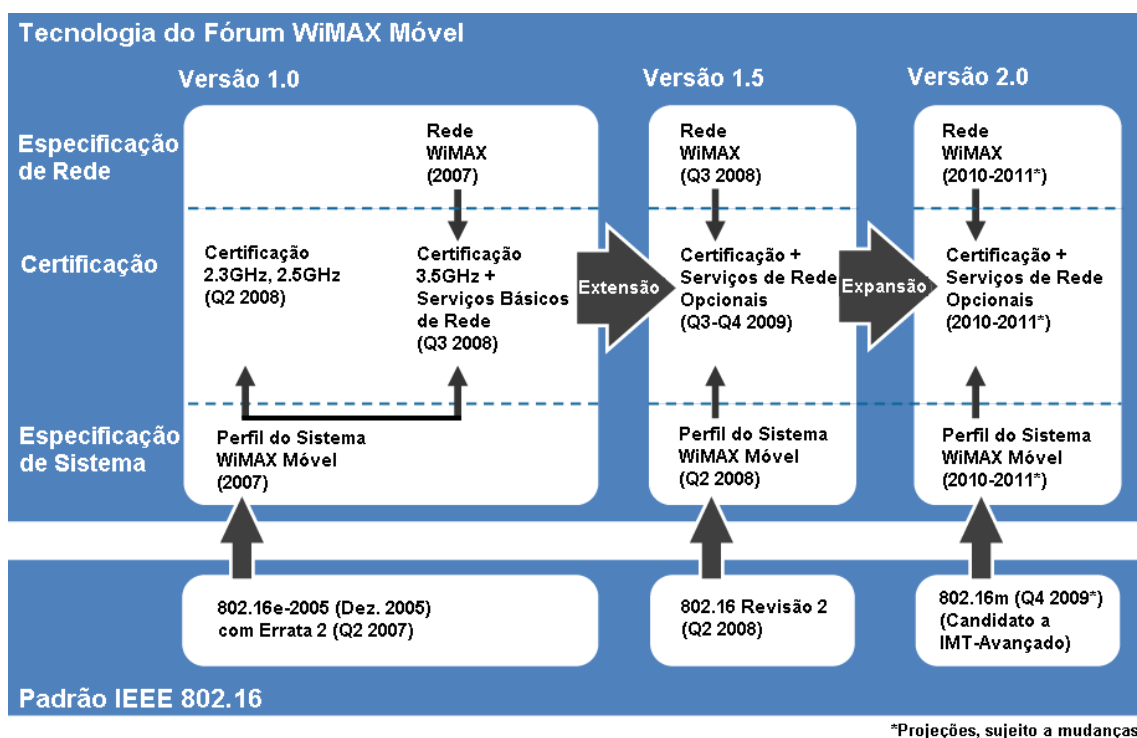
A tabela 4.2 mostra algumas datas importantes no desenvolvimento das redes de banda larga sem fio:

Tabela 4.2: Datas importantes no desenvolvimento de redes de banda larga sem fio

Data	Evento
Fevereiro de 1997	AT&T anuncia o desenvolvimento da tecnologia de rede sem fio fixa de codinome "Project Angel"
Fevereiro de 1997	FCC leiloa espectro de 30MHz na faixa de frequência de 2.3GHz para serviço de comunicação sem fio (<i>wireless communications services - WCS</i>)
Setembro de 1997	American Telecasting (posteriormente comprada pela Sprint) anuncia serviços de acesso à internet sem fio na banda MMDS, oferecendo 750Kbit/s de <i>downstream</i> com uso de modem de linha discada para <i>upstream</i>
Setembro de 1998	FCC relaxa as regras para a banda MMDS para permitir a comunicação de duas vias
Abril de 1999	MCI e Sprint compram vários operadores de distribuição de vídeo sem fio para conseguir acesso ao espectro MMDS
Julho de 1999	Primeira reunião do grupo de trabalho do IEEE 802.16
Março de 2000	AT&T lança o primeiro serviço comercial de rede sem fio de alta velocidade após anos de tentativas
Mai de 2000	Sprint lança o primeiro serviço MMDS em Phoenix, Arizona, usando a tecnologia LOS de primeira geração
Junho de 2001	WiMAX Forum estabelecido
Outubro de 2001	Sprint pára os lançamentos de MMDS
Dezembro de 2001	AT&T descontinua os serviços de redes sem fio
Dezembro de 2001	Padrões IEEE 802.16 completados para faixas acima de 11GHz.
Fevereiro de 2002	Coréia aloca espectro na faixa de 2.3GHz para o wireless broadband (WiBro)
Janeiro de 2003	Padrão IEEE 802.16a completo
Junho de 2004	Padrão IEEE 802.16-2004 completo e aprovado
Setembro de 2004	Intel inicia as vendas dos primeiro chipset WiMAX, chamado Rosedale
Dezembro de 2005	Padrão IEEE 802.16e completo e aprovado
Janeiro de 2006	Primeiro produto certificado pelo WiMAX Forum anunciado para aplicações fixas
Junho de 2006	Serviços comerciais WiBro lançados na Coréia
Agosto de 2006	Sprint e Nextel anunciam planos para lançar WiMAX móvel nos Estados Unidos

O WiMAX Forum atualmente está em ainda desenvolvendo as revisões do padrão móvel WiMAX e realizando a certificações e especificações de rede, conforme pode ser observado na figura 4.1.

Figura 4.1: WiMAX Roadmap



Fonte: WiMAX The WiMAX Forum Certified™ program - Driving the adoption of interoperable wireless broadband worldwide - September 2008. p. 14

4.3 Características e desempenho dos padrões WiMAX

Como pode ser observado, houve uma evolução de forma acelerada nos padrões utilizados pelas redes WMAN e mais recentemente especificamente pelas redes WiMAX.

Atualmente os dois padrões já definidos e utilizados pela indústria são o IEEE 802.16-2004 e o IEEE 802.16-2005, sendo que o padrão IEEE 802.16-2004 é muitas vezes visto como um padrão importante para o desenvolvimento das redes WiMAX, mas que não chegará a se estabelecer plenamente no mercado, sendo substituído rapidamente pelo padrão IEEE 802.16-2005, da WiMAX móvel.

O IEEE 802.16-2004, também conhecido também como WiMAX fixo, ou nômade, ou portátil, define interface aérea para acesso fixo. Tem cobertura de 8 a 12 km em NLOS e de 30 a 40 km em LOS. Utiliza bandas licenciadas nas faixas de 2,5 a

3,5 GHz (NLOS) e bandas não licenciadas em 5 a 8 GHz (LOS), com taxas de transferência que podem chegar a 75 Mbit/s, sem mobilidade entre ERBs, sem *handoff* automático (processo de transferir uma estação móvel de uma estação rádio-base para outra ou de um canal para outro entre estações rádio-base). Utiliza gerenciamento de potência, múltiplas antenas, seleção dinâmica de frequências (DFS), controle de interferência e possui segurança intrínseca (X.509), encriptação DES.

O IEEE 802.16-2005, inclui a emenda IEEE 802.16e publicada em dezembro de 2005, também conhecido como o WiMAX móvel. Engloba as características do IEEE 802.16-2004 mas acrescenta acesso móvel ao WiMAX. Não possui ainda um plano de frequências definido, faz *handoff* entre ERBs a velocidade de 120km/h.

Segue abaixo uma tabela com as principais diferenças entre os padrões WiMAX fixo e móvel até o momento:

Tabela 4.3: Dados Básicos sobre os Padrões IEEE 802.16

	802.16	802.16-2004	802.16e-2005
Status	Completo em dezembro de 2001	Completo em junho de 2004	Completo em dezembro de 2005
Faixa de frequência	10GHz-66GHz	2GHz-11GHz	2GHz-11GHz para fixo; 2GHz-6GHz para aplicações móveis
Aplicação	LOS fixo	NLOS fixo	NLOS fixo e móvel
Arquitetura MAC	Ponto a multiponto, mesh	Ponto a multiponto, mesh	Ponto a multiponto, mesh
Esquema de transmissão	Apenas portadora única	Portadora única, 256 OFDM ou 2048 OFDM	Portadora única, 256 OFDM ou OFDM escalável com 128, 512, 1024 ou 2048 subportadoras
Modulação	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Taxa bruta de dados	32Mbit/s-134.4Mbit/s	1Mbps-75Mbps	1Mbps-75Mbps
Multiplexação	Rajada TDM/TDMA	Rajada TDM/TDMA/OFDMA	Rajada TDM/TDMA/OFDMA
Duplexação	TDD e FDD	TDD e FDD	TDD e FDD
Larguras de banda dos canais	20MHz, 25MHz, 28MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz	1.75MHz, 3.5MHz, 7MHz, 14MHz, 1.25MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 8.75MHz
Designação de interface com o ar	WirelessMAN-SC	WirelessMAN-SCa WirelessMAN-OFDM WirelessMAN-OFDMA WirelessHuman ^a	WirelessMAN-SCa WirelessMAN-OFDM WirelessMAN-OFDMA WirelessHuman ^a
Implementação da WiMAX	Nenhuma	256 – OFDM como WiMAX Fixa	OFDMA escalável como WiMAX móvel

Fonte: ANDREWS, 2007. p. 35

O conceito de WMAN não é novo, porém, o nível de confiança, desempenho e segurança que podem ser oferecidos em redes WiMAX caracterizam a tecnologia como uma tecnologia de ruptura. A seguir será exposto de que forma estas altas exigências são conseguidas, e que são relacionadas principalmente com a camada física da tecnologia.

Camada física baseada em OFDM: Favorece o desempenho quando se verificam múltiplos caminhos e já é amplamente utilizado em sistemas Wi-Fi, com sucesso reconhecido e permite o WiMAX operar em condições NLOS.

Taxas de transferência bastante elevadas: Com uma taxa de transferência de até 74 Mbit/s, utilizando canais com largura de banda de 20MHz. Permite uma vazão típica de até 25Mbit/s de *downlink* e 6,7Mbit/s de *uplink*, utilizando modulação 64 QAM com uma razão de codificação de erros de 5/6. Em condições muito favoráveis até taxas mais altas podem ser alcançadas.

Suporte a largura de banda e taxa de transferência escalonada: Com uma arquitetura da camada física hierarquizada, pode-se facilmente aumentar a taxa de transferência com a banda de rede disponível no canal.

Esta escalabilidade é suportada no modo OFDMA, onde o tamanho da transformada rápida de Fourier (FFT) pode ser escalado baseado na largura de banda presente no canal. Por exemplo, um sistema WiMAX pode utilizar FFTs de 128-, 512- ou 1048-subportadoras baseado em se a banda do canal é de 1,25 MHz, 5 MHz ou 10 MHz respectivamente.

O escalonamento pode ser feito dinamicamente para suportar o deslocamento do usuário entre as diferentes redes que podem ter diferentes condições de propagação.

Modulação e codificação adaptativa (AMC): WiMAX suporta uma quantidade de modulações e esquemas de codificação de correção de erros (FEC) e permite que o esquema seja modificado por usuário e por quadro de forma regular, de acordo com as condições do canal. O algoritmo de adaptação escolhe a modulação e o esquema de codificação que permitam o máximo de eficiência pela relação sinal-ruído (SNR) e interferência observada na conexão.

A possibilidade de uso de modulações variáveis entre 64 QAM, 16 QAM, e QPSK e BPSK ajustável de acordo com a relação sinal ruído (SNR) detectada, garante uma maior eficiência na utilização do espectro disponível.

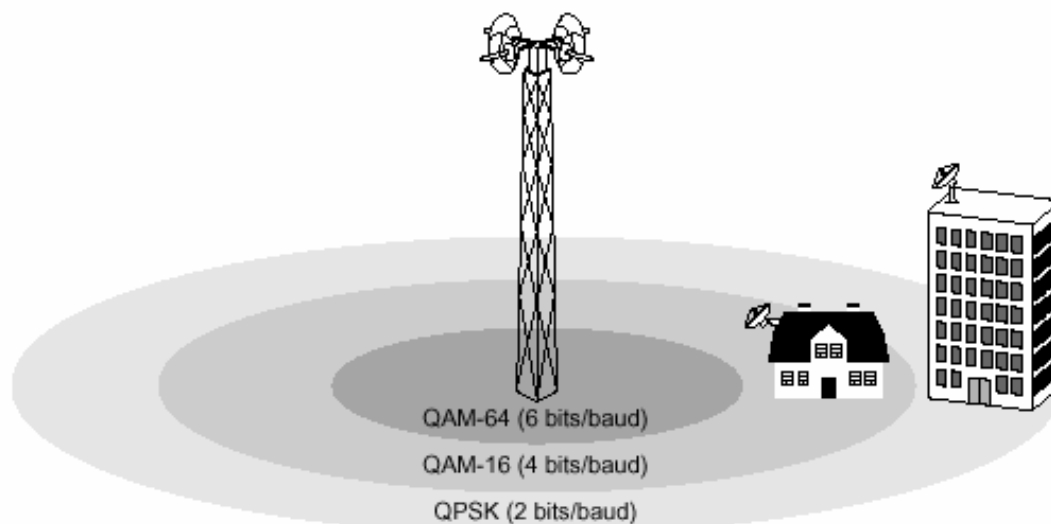


Figura 4.2: Modulações por distância (CARÍSSIMI, 2007)

Retransmissões na camada de enlace: Para conexões que necessitam de um nível de confiabilidade aprimorado, WiMAX suporta pedidos de retransmissão automáticos (ARQ) na camada de enlace. Conexões com este aprimoramento solicitam que cada pacote transmitido seja reconhecido (ACK) pelo receptor, e pacotes sem reconhecimento são interpretados como perdidos e então retransmitidos. WiMAX também suporta ARQ híbrido, que é um híbrido entre ARQ e FEC.

Suporte a TDD e FDD: Tanto o padrão de WiMAX nômade como o móvel suportam tanto duplexações por tempo (TDD) (Figura 4.3) como por frequência (FDD) (Figura 4.4), o que permite uma implementação de um sistema de baixo custo.

TDD possui algumas vantagens, como sua maior flexibilidade para mudar as relações de *downlink* e *uplink*, explorar a reciprocidade do canal, poder ser implementada sem necessidade de espectros separados de *downlink* e *uplink* e ter um design de transceiver menos complexo. Todos os perfis de espectro iniciais de WiMAX são baseadas em TDD, exceto por dois perfis fixos de WiMAX a 3,5 GHz.

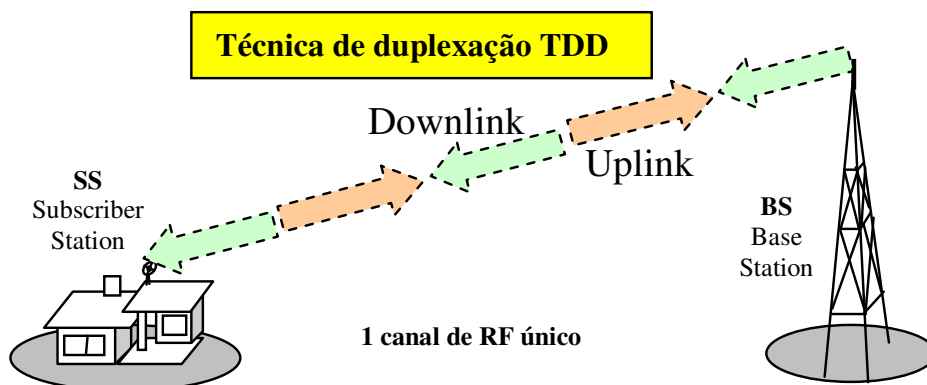


Figura 4.3: Duplexação TDD (ROCHOL, 2007)

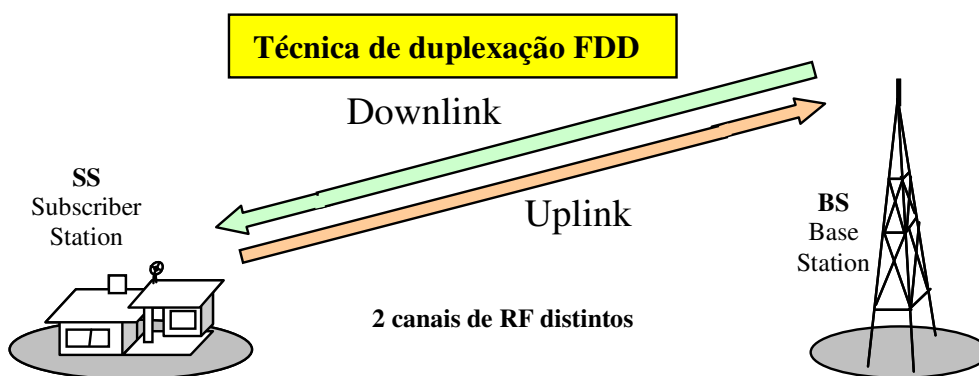


Figura 4.4: Duplexação FDD (ROCHOL, 2007)

OFDMA: WiMAX móvel utiliza OFDM como uma técnica de múltiplo acesso; desta forma, diferentes usuários podem ter diferentes subconjuntos de subportadoras OFDM alocados. O acesso múltiplo é fornecido, atribuindo um subconjunto de subportadoras para um único receptor específico.

Alocação de recursos por usuário dinâmica e flexível: A alocação de recursos tanto para *uplink* e *downlink* são controladas por um CAC (*Connection Admission Control*) na estação base. A capacidade é compartilhada entre múltiplos usuários por demanda, usando um esquema de transmissão em rajadas.

No modo OFDMA, a multiplexação é feita no domínio da frequência, alocando-se diferentes subconjuntos de subportadoras OFDM para diferentes usuários.

O padrão permite que recursos de largura de banda sejam alocados em tempo, frequência e espaço, e tenham um mecanismo flexível de transmissão da informação sobre a alocação de recursos na base quadro a quadro.

Suporte a técnicas avançadas de antenas: Através de técnicas de antenas múltiplas, como *beamforming* e SDM, a capacidade do sistema e a eficiência espectral podem ser aumentadas, utilizando mais de uma antena no receptor e/ou transmissor.

Suporte a mobilidade: Além do acesso de banda larga fixo, WiMAX visualiza quatro possibilidades de acesso com mobilidade:

- Nomádico, permitindo o acesso em mais de um local fixo;
- Portátil, acesso nomádico através de dispositivos móveis, como notebooks;
- Mobilidade simples, onde o assinante pode se mover a velocidades de até 60 km/h, com breves interrupções (menos de 1 segundo) durante o *handoff*.
- Mobilidade total, com mobilidade de até 120 Km/h e handoff imperceptível, com latência de menos de 50 ms e menos de 1% de perdas de pacotes.

Os sistemas também contarão com mecanismos de economia de energia para poupar a bateria dos dispositivos móveis.

Suporte a QoS: A camada MAC de WiMAX tem uma arquitetura orientada à conexão, de modo a suportar uma variedade de aplicações, como serviços de voz e multimídia. Sendo projetada para uma quantidade considerável de usuários simultâneos, e exigência distintas de QoS por conexão de usuário. Os fluxos de serviço suportados são demonstrados na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Fluxos de Serviço Suportados na WiMAX

Designação do Fluxo de Serviço	Definição dos Parâmetros QoS	Exemplos de Aplicação
Serviços de banda garantida (UGS)	Taxa máxima sustentada Tolerância de latência máxima Tolerância de jitter	Voz sobre IP (VoIP) sem supressão de silêncio
Serviço de alocação de banda por <i>polling</i> em Tempo Real (rtPS)	Taxa mínima reservada Taxa máxima sustentada Tolerância de latência máxima Prioridade de tráfego	Transmissão de áudio e vídeo, MPEG (Motion Picture Experts Group) codificado
Serviço por <i>polling</i> não em tempo real (nrtPS)	Taxa mínima reservada Taxa máxima sustentada Prioridade de tráfego	Protocolo de Transferência de Arquivos (FTP)
Serviço de melhor esforço por contenda (BE)	Taxa máxima sustentada Prioridade de tráfego	Navegação, transferência de dados
Serviço por <i>polling</i> em tempo real extendido (ErtPS)	Taxa mínima reservada Taxa máxima sustentada Tolerância de latência máxima Tolerância a jitter Prioridade de tráfego	VoIP com supressão de silêncio

Fonte: ANDREWS, 2007. p. 51

Segurança robusta: As redes WiMAX possuem abaixo da camada MAC uma sub-camada de segurança denominada como Controle de Acesso e Segurança em WiMAX. Esta sub-camada de segurança corrige as falhas de segurança encontradas nas redes Wi-Fi anteriormente, suportando criptografias DES e AES e certificados X.509.

5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE REDES WLAN E WMAN

5.1 Introdução

O mercado das redes locais sem fio baseadas nos padrões IEEE 802.11 teve um grande crescimento e continua a se expandir de forma acelerada em todo o mundo.

As redes metropolitanas sem fio baseadas nos padrões IEEE 802.16 são uma nova aposta do mercado, e esperam ter um sucesso semelhante ao que os padrões de redes locais sem fio tiveram recentemente a continuam tendo.

Para conseguir este sucesso, as redes WiMAX contam com grandes inovações em técnicas de transmissão que são também utilizadas nas redes sem fio locais mais modernas.

Além da adição destas técnicas de transmissão, visando obter o máximo de desempenho, as redes WiMAX contam com novos recursos e diferenciais visando atender o desafio de transmissão a um número maior de usuários e em áreas também muito maiores, apresentando um desafio de engenharia de transmissão maior que o ambiente das redes locais.

Nas próximas páginas será realizada uma análise comparativa dos atuais padrões de redes locais e metropolitanas sem fio, comparando brevemente sua evolução, seus sistemas de transmissão, taxas de transmissão atingidas e níveis de confiabilidade.

5.2 Evolução e concorrentes

No aspecto evolutivo, ambas as redes possuíram um desenvolvimento bastante acelerado e as redes Wi-Fi conseguiram uma aderência bastante rápida a seus clientes. Equipamentos de rede que inicialmente tinham preços bastante elevados e níveis de desempenho que deixavam a desejar, rapidamente evoluíram e tiveram seus preços reduzidos e desempenho melhorado.

Neste aspecto há uma grande similaridade entre as redes Wi-Fi e WiMAX. Devido ao *WiMAX Forum* seguir o modelo da *Wi-Fi Alliance*, tendo grandes empresas associadas para garantir a interoperabilidade entre os equipamentos, a aderência dos fabricantes e a compatibilidade entre equipamentos já é um obstáculo vencido. Além disso, devido ao número elevado e ao porte das empresas, os canais de distribuição e promoção dos equipamentos também são bastante facilitados.

Tendo em vista o modelo que envolve os principais fabricantes e desenvolvedores de tecnologias, já podemos observar, por exemplo, o início da distribuição de equipamentos móveis com a tecnologia WiMAX já incorporada, ou seja, o mesmo que ocorreu em relação ao Wi-Fi que se tornou padrão da indústria de equipamentos móveis.

Neste ponto a tecnologia WiMAX tem inclusive uma vantagem em relação ao que ocorreu com as redes Wi-Fi, uma vez que equipamentos móveis vem com suporte a ambas tecnologias de rede local; cabeadas ou sem fio. O mesmo não ocorre com a tecnologia WiMAX, que tem entre seus concorrentes ISPs que utilizam tecnologias DSL e *cable modem*, e necessitam de modems a parte.

5.3 Desempenho

Redes sem fio Wi-Fi conseguiram níveis de desempenho aceitáveis para redes locais e devido a isto conseguiram o sucesso que se observa atualmente. As técnicas de transmissão e modulação presentes em Wi-Fi estão também presentes em WiMAX, como pode ser visto nos capítulos anteriores.

Porém, as redes WiMAX necessitam manter os níveis de eficiência e desempenho adequados para um número muito maior de clientes, numa área também maior em condições mais adversas que as redes Wi-Fi.

Para conseguir lidar com estes desafios, as redes WiMAX contam com melhorias nos sistemas de transmissão e mais alguns diferenciais de forma a evitar interferências, como maior largura de banda utilizável, maior quantidade de canais e uso de faixas de frequência menos utilizadas que as atuais redes Wi-Fi.

A tabela 5.1 faz um comparativo entre as redes WiMAX nomádicas, móveis e redes Wi-Fi IEEE 802.11 a/g/n com suas faixas de frequência já em operação. Já na tabela 5.2 pode se verificar o potencial uso de outras faixas de frequências por redes WiMAX.

Tabela 5.1: Comparação de WiMAX com Wi-Fi

Parâmetro	WiMAX Fixa	WiMAX móvel	Wi-Fi
Padrões	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.11a/g/n
Pico de taxa de transferência de <i>downlink</i>	9,4 Mbit/s em 3,5MHz com razão 3:1 DL-to-UL TDD; 6,1 Mbit/s com 1:1	46 Mbit/s com relação 3:1 DL- to-UL TDD; 32 Mbit/s com 1:1	54 Mbit/s compartilhados, usando 802.11a/g; mais de 100 Mbit/s de vazão no nível 2 usando 802.11n
Pico de taxa de transferência de <i>uplink</i>	3,3 Mbit/s em 3,5MHz com razão 3:1 DL-to-UL; 6,5 Mbit/s com 1:1	7 Mbit/s em 10MHz com razão 3:1 DL-to-UL; 4 Mbit/s com 1:1	
Largura de banda	3,5 MHz e 7 MHz na faixa 3,5GHz; 10 MHz na faixa 5,8GHz	3,5 MHz, 7 MHz, 5 MHz, 10 MHz, e 8,75MHz inicialmente	20 MHz para 802.11a/g; 20/40 MHz para 802.11n
Modulação	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Multiplexação	TDM	TDM/ OFDMA	CSMA
Duplexação	TDD, FDD	TDD inicialmente	TDD
Frequência	3,5 GHz e 5,8 GHz inicialmente	2,3 GHz, 2,5 GHz, e 3,5 GHz inicialmente	2,4 GHz, 5 GHz
Cobertura (típica)	5 a 8 Km	Menos de 3 Km	Menos de 40 m indoor; menos de 400 m outdoor
Mobilidade	Não se aplica	Média	Baixa

* DL-to-UL = *downlink* para *uplink*

Fonte: ANDREWS, 2007. p. 18 (adaptado)

Tabela 5.2: Perfis de certificação WiMAX

Perfis de certificação de WiMAX fixa					
Nome do perfil	Banda de espectro	de	Largura de banda do canal	Duplexação	Status
ET01	3.4-3.6GHz		3.5MHz	TDD	Ativo
ET02	3.4-3.6GHz		3.5MHz	FDD	Ativo
Perfis de certificação de WiMAX móvel					
Nome do perfil	Banda de espectro	de	Largura de banda do canal	Duplexação	Status
MP01	2.3-2.4GHz		8.75MHz	TDD	Ativo
MP02	2.3-2.4GHz		5,10MHz	TDD	2009*
MP05	2.496-2.69GHz		5 e 10MHz	TDD	Ativo
MP09	3.4-3.6GHz		5MHz	TDD	4Q2008*
MP10	3.4-3.6GHz		7MHz	TDD	4Q2008*
MP12	3.4-3.6GHz		10MHz	TDD	4Q2008*

* Data de início previsto para os testes de certificação, sujeito a mudanças

Fonte: WiMAX The WiMAX Forum Certified™ program - Driving the adoption of interoperable wireless broadband worldwide - September 2008. p. 13

Este grande número de faixas de frequências que constam nas tabelas anteriores, reflete o potencial principalmente em países como os Estados Unidos. No Brasil, tanto grandes empresas que competem nacionalmente quanto empresas regionais estão interessadas nas faixas de frequência que serão disponibilizadas pela ANATEL, separadas por regiões.

O leilão das frequências no Brasil sofreu alguns atrasos, porém, está previsto para ocorrer no ano de 2009. Mesmo no caso de compra por empresas regionais de algumas faixas de frequência é esperado que ocorram parcerias com empresas maiores em alguns casos.

Devido às limitações de faixas de frequência e larguras de banda disponibilizadas em redes sem fio, o uso da mesma de forma escalonável, como é suportado no modo OFDMA do WiMAX, é muito importante permitir que múltiplos usuários utilizem de forma otimizada o meio físico.

Além disso, a modulação e codificação adaptativa apresentada nas redes WiMAX traz grande agilidade e adaptabilidade ao meio nestas redes. A possibilidade de que o

esquema seja modificado, por usuário e por quadro, de forma regular, de acordo com as condições do canal, vem trazer a máxima eficiência suportada pela relação sinal-ruído e interferência do canal.

A qualidade de serviço, agora presente no padrão WiMAX, e que não estava presente nos primórdios das redes Wi-Fi, vem garantir melhor utilização e priorização do tráfego de pacotes de acordo com o serviço. A tabela 5.3 demonstra exemplos de tipos de tráfego e suas diferentes prioridades na rede.

Tabela 5.3: Parâmetros de Tráfego para Aplicações de Banda Larga

Parâmetro	Jogos Online	Voz	Transmissão de mídia	Dados	Vídeo
Taxa de dados	50Kbit/s-85Kbit/s	4Kbit/s-64Kbit/s	5Kbit/s-384Kbit/s	0.01Mbit/s-100Mbit/s	> 1Mbit/s
Exemplos de aplicação	Jogos online	VoIP	Música, fala, vídeos	Navegação, e-mail, mensagens instantâneas (IM), telnet, download de arquivos	IPTV, download de filmes, compartilhamento de vídeos P2P
Fluxo de tráfego	Tempo real	Contínuo em tempo real	Contínuo, em rajada	Tempo não-real, em rajada	Contínuo
Perda de pacotes	Zero	< 1%	< 1% para áudio; < 2% para vídeo	Zero	< 10 ⁻⁸
Variação de atraso	Não aplicável	< 20 ms	< 2 s	Não aplicável	< 2 s
Atraso	< 50 ms-150 ms	< 200 ms	< 250 ms	Flexível	< 100 ms

Fonte: ANDREWS, 2007. p. 27

De acordo com a necessidade de tratamento e priorização de pacotes, o esquema de codificação de dados pode ser alterado, de forma a priorizar os serviços para evitar a possibilidade de erros, redução da latência, manutenção de um fluxo com uma taxa de atraso baixa ou constante.

O nível de segurança, que foi bastante aprimorado nas redes WiMAX, é um destaque da tecnologia em relação às redes WLAN, que tiveram severas críticas quanto à sua segurança frágil que foi corrigida e ainda está sendo desenvolvida.

A segurança das redes WiMAX vem de encontro com sua ampla área de cobertura e maior vulnerabilidade. Neste aspecto, as redes WiMAX também apresentam uma evolução em relação às redes Wi-Fi, utilizando melhorias realizadas nestas redes e adicionando novos esquemas de privacidade e sigilo das informações.

6 CONCLUSÕES

O crescimento e evolução das redes sem fio é algo que pode ser facilmente percebido atualmente. A busca pela maior praticidade e mobilidade, sempre foi algo visado pelo mercado, porém, esbarrava no baixo desempenho e/ou alto custo da tecnologia.

A crescente substituição de *desktops* por *notebooks*, a miniaturização dos equipamentos, a incorporação de novas funções e o aumento dos recursos em equipamentos como o celular, demonstram a ânsia do mercado pela mobilidade. Some-se a isto a redução dos gastos na implementação que as redes sem fio possibilitam e a possibilidade, portanto, de levar a conectividade cada vez mais em todos os lugares.

Do ponto de vista tecnológico, a evolução é rápida e contínua. As tecnologias criadas para padrões anteriores continuam sendo utilizadas nas novas tecnologias desenvolvidas e são melhoradas. A organização das empresas do setor, de forma a utilizar e desenvolver um padrão comum para a operação e não criar padrões múltiplos e concorrentes entre si também colabora para a adesão em massa por parte dos usuários e pleno crescimento dos novos padrões criados.

Diante destes fatores, é nítido o direcionamento para as redes sem fio como a grande tendência de desenvolvimento. Uma vez que a barreira do desempenho e custo elevado da tecnologia já foi derrubada, a barreira que restava era a da distância, que possibilitava apenas a conectividade e mobilidade parcial.

Com o nível tecnológico atual das redes WiMAX, as mesmas aparecem como a grande promessa do mercado, permitindo a conectividade com desempenho, mobilidade, segurança e em distâncias cada vez maiores.

REFERÊNCIAS

ABRAS, G. E.; SANCHES J. C. G. **WIRELESS LAN**. 2002. 64 f. Monografia (Especialização em Redes e Sistemas Distribuídos) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

ALBLUWI, Q. **Introduction to WiMax** (Mesh Mode). Disponível em: <<http://research.cs.queensu.ca/home/qutaiba/reserach/Introduction%20to%20WiMax.pdf>>. Acesso em: nov. 2008.

ANDREWS, J. G.; GHOSH, A.; MUHAMED, R. **Fundamentals of WiMAX : understanding broadband wireless networking**, Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc, 2007.

AHSON, S. ILYAS, M.; **WiMAX: Technologies, Performance Analysis, and QoS**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2008.

BARROS, M. **IEEE 802.16**. Mundo Wireless. Disponível em: <<http://www.mundowireless.com.br/ieee-80216>>. Acesso em: nov. 2008.

BULHMAN, H. J.; CABIANCA, L. A. **Redes LAN/MAN Wireless I: Padrões 802.11 a, b e g**. Teleco, 2006. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialr wlanman1>>. Acesso em: nov. 2008.

CARISSIMI, A. **Princípios de Redes de Computadores**. Disponibilizado em mídia óptica. Acesso em: nov. 2008.

FIGUEIREDO, F. L. **Fundamentos da Tecnologia WiMAX**. Disponível em: <http://www.cpqd.com.br/file.upload/sas1437_tecnologia_wimax_port_v02.pdf>. Acesso em: nov. 2008.

GHASt, N. **802.11® Wireless Networks: The Definitive Guide**. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2002.

IDG Now. **Bluetooth, Wi-Fi e Wimax: conheça as tecnologias de conexão sem fio**. Disponível em: <<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2007/02/08/idgnoticia.2007-02-08.5288943928/>>. Acesso em: nov. 2008.

IDG Now. **Fujitsu ingressa no mercado de WiMax**. Disponível em: <<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2008/02/06/fujitsu-ingressa-no-mercado-de-wimax/>>. Acesso em: nov. 2008.

IDG Now. **Gartner aconselha que empresas posterguem investimentos em WiMax**. Disponível em: <<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2008/07/21/gartner-aconselha-que-empresas-posterguem-investimentos-em-wimax/>>. Acesso em: nov. 2008.

IDG Now. **Hacker ético teme pelo futuro da segurança móvel**. Disponível em: <<http://idgnow.uol.com.br/seguranca/2008/05/14/entrevista-hacker-etico-teme-pelo-futuro-da-seguranca-movel/>>. Acesso em: nov. 2008.

IDG Now. **Mercado brasileiro de WiMax tem potencial de mais de 700 mil assinantes até 2010**. Disponível em: <<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2006/09/28/idgnoticia.2006-09-27.9647803447/>>. Acesso em: nov. 2008.

IDG Now. **Nokia revela dispositivo que permite acesso a redes WiMax**. Disponível em: <<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2008/04/01/nokia-revela-dispositivo-que-permite-acesso-a-redes-wimax/>>. Acesso em: nov. 2008.

IDG Now. **Pequenas operadoras e empresas de telefonia polarizam interesse em WiMax**. Disponível em: <<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2006/09/28/idgnoticia.2006-09-27.3363317454/>>. Acesso em: nov. 2008.

IDG Now. **Rede WiMax pode ser classificada como serviço móvel pela Anatel**. Disponível em: <<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2008/11/05/rede-wimax-pode-ser-classificada-como-servico-movel-pela-anatel/>>. Acesso em: nov. 2008.

IDG Now. **WiMax: a revolução da banda larga vem pelo ar**. Disponível em: <<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2006/09/28/idgnoticia.2006-09-27.0500026409/>>. Acesso em: nov. 2008.

IDG Now. **WiMax ainda enfrenta indefinição.** Disponível em:
<<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2008/03/31/wimax-ainda-enfrenta-indefinicao/>>.
Acesso em: nov. 2008.

Intel. **Entenda o Wi-Fi e o WiMAX como Soluções de Acesso Metropolitano.**
Disponível em: <http://www.intel.com/portugues/netcomms/wp03_port.pdf>. Acesso
em: nov. 2008.

LOBO, A. P. **Brasil ficou para trás, alerta executivo do WiMAX Forum.**
Convergência Digital. Disponível em:
<<http://www.convergenciadigital.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=10793&sid=58>>. Acesso em: nov. 2008.

OHRTMAN, F. **WiMAX Handbook: Building 802.16 Wireless Networks.** New York:
McGraw-Hill, 2005.

PEREIRA, D. C. **Estudo De Segurança Das Redes Sem-Fio (Wireless) Na Região De Ponta Grossa.** 2005. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

PEREIRA FILHO, J. L. **The Broadband and Digital Broadcasting Conference: Keynote Speech.** ANATEL. Disponível em:
<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=54493&assuntoPublicacao=?Broadband%20Access%20and%20Digital%20Broadcasting:&caminhoRel=Cidadao-Telefonia%20M%F3vel&filtro=1&documentoPath=acontece_anatel/palestras/conselho_diretor/palestra_jl_06_05_2003.pdf>. Acesso em: nov. 2008.

Portal da SERPRO. **A Nova Geração.** Disponível em:
<http://www.serpro.gov.br/imprensa/publicacoes/Tema/tema_175/materias/a-nova-geracao>. Acesso em: nov. 2008.

PRADO, E. **Tudo sobre o Wimax - Vale a pena dar uma olhada!** InfoSecurity Task Force. Disponível em: <<http://www.istf.com.br/vb/seguranca-wireless/8545-tudo-sobre-o-wimax-vale-pena-dar-uma-olhada.html>>. Acesso em: nov. 2008.

PRANGE, C. R. **Análise de Desempenho por Simulação da Subcamada MAC do Padrão IEEE 802.11 para Redes Locais sem Fio.** 1998. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.

RAO, G. S. V. R. K.; RADHAMANI, G. **WiMAX: A Wireless Technology Revolution.** Boca Raton, FL: Auerbach Publications, 2008.

RSA. Wireless Adoption Increases, Security Improves in World's Major Cities.

Disponível em: <http://www.rsa.com/press_release.aspx?id=6870>. Acesso em: nov. 2008.

SARDENBERG, R. M. Plano De Atribuição, Destinação E Distribuição De Faixas De Frequências No Brasil, ANATEL. Disponível em:

<<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=211561&assuntoPublicacao=Plano%20de%20Atribui%20E3o,%20Destina%20E3o%20e%20Distribui%20E3o%20de%20Faixas%20de%20Freq%20FC%20E20Ancias%20%20&caminhoRel=Cidadao-Radiofreq%20FCencia-Atribui%20E3o,%20Destina%20E3o%20e%20Distribui%20E3o%20de%20Faixas&filtro=1&documentoPath=211561.pdf>>. Acesso em: nov. 2008.

SIMÕES, J. E. WiMAX. Disponível em:

<http://www.gta.ufrj.br/grad/07_2/jefferson/index.html>. Acesso em: nov. 2008.

SCARTEZINI, N. C. Planejamento de espectro para banda larga sem fio: Um roteiro necessário. Teleco. Disponível em:

<<http://www.teleco.com.br/emdebate/newtoncs03.asp>>. Acesso em: nov. 2008.

TAVEIRA, D. M. Redes PLC Internas. Disponível em:

<http://www.gta.ufrj.br/grad/04_1/redesplc/3.html>. Acesso em: nov. 2008.

Teleco. **WiMAX no Brasil.** Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/wimax.asp>>. Acesso em: nov. 2008.

Teleco. **Implantação do Wimax no Mundo.** Disponível em:

<http://www.teleco.com.br/wimax_mundo.asp>. Acesso em: nov. 2008.

Teleco. **WiMAX Tecnologia.** Disponível em:

<http://www.teleco.com.br/wimax_tecnologia.asp>. Acesso em: nov. 2008.

WI-FI ALLIANCE. Annual Report 2007. Disponível em: <http://www.wi-fi.org/register.php?file=wfa_2007_annual_report_public.pdf>.

Acesso em: nov. 2008.

WiMAX Fórum. **WiMAX™ Networks Worldwide 2008.** Disponível em:

<http://www.wimaxforum.org/documents/documents/wimax_networks_worldwide_11x17.pdf>. Acesso em: nov. 2008.

WiMAX Forum. **A Comparative Analysis of Mobile WiMAX™ Deployment Alternatives in the Access Network.** Disponível em:

<http://www.wimaxforum.org/documents/downloads/mobile_wimax_deployment_alternatives.pdf>. Acesso em: nov. 2008.

WiMAX Forum. **Driving the adoption of interoperable wireless broadband worldwide September 2008**. Disponível em:

<http://www.wimaxforum.org/documents/downloads/SenzaFili_CertificationWP_Final_080925.pdf>. Acesso em: nov. 2008.

XIAO, Y.; SHEN, X.; DU, D. **Wireless Network Security**. New York: Springer Science+Business Media, 2007.