

LARISSE MARIA ROMANINI GOIS

ESTUDO DE REDES SEM FIO WIMAX

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de São
Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase
em Eletrônica

ORIENTADOR: Amílcar Careli César

São Carlos
2008

Dedico este estudo ao querido professor e amigo Amílcar Careli César que compartilhou comigo sua experiência e demonstrou confiança no meu trabalho, fundamentais para o meu crescimento acadêmico.

Resumo

A crescente necessidade de acesso rápido à informação em qualquer lugar tem gerado grande demanda por serviços de redes sem fio. Atualmente existem dois padrões que suportam redes sem fio: o WiFi (*Wireless Fidelity*, IEEE 802.11) e WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, IEEE 802.16). O padrão WiMAX tem se mostrado vantajoso uma vez que o mesmo possui área de cobertura de até 20 km e pode alcançar taxas de transmissão de até 70 Mbps.

Neste trabalho é apresentado um estudo sobre as características do padrão WiMAX, tanto para acesso fixo como para acesso móvel, regulamentações de faixas de freqüência da Anatel, características das camadas física e de acesso e um breve estudo sobre as oportunidades de aplicação do padrão IEEE 802.16 no mercado brasileiro.

Palavras-chave: Redes Móveis de Comunicação, acesso a banda-larga, WiMAX.

Abstract

The growing need for a quick access to information anywhere has generated a great demand for wireless networks services. Nowadays there are two standards which bear wireless network: WiFi (*Wireless Fidelity*, IEEE 802.11) and WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, IEEE 802.16). The WiMAX standard has been more advantageous whereas it covers a 20 km area and can reach transmission rate of 70 Mbps.

In this research, features of WiMAX standard are presented, as for fixed access as for mobile access, frequency bands regulation from Anatel, access (MAC) and physical (PHY) layers characteristics and a brief study about usage opportunities of the IEEE 802.16 standard in the Brazilian market.

Sumário

<i>Resumo</i>	i
<i>Abstract</i>	ii
<i>Lista de figuras</i>	iv
<i>Lista de tabelas</i>	v
<i>Lista de siglas</i>	vi
1. Introdução	1
1.1 Objetivo do Trabalho	1
1.2 Organização do Texto.....	2
2. Padrão WiMAX (<i>Worldwide interoperability for microwave access</i>)	3
2.1 Padrão IEEE 802.16-2004	5
2.2 Padrão IEEE 802.16e	5
3. WiMAX Fórum	7
4. Faixas de Freqüências Utilizadas pelo WiMAX	7
4.1 Vantagem das Faixas de Freqüências entre 2 e 11 GHz.....	7
4.2 Faixa de Freqüências Licenciada de 2,5 GHz.....	8
4.3 Faixa de Freqüências Licenciada de 3,5 GHz.....	8
4.4 Faixa de Freqüências Não-Licenciada de 3,5 GHz	9
5. Camada Física (Camada PHY)	9
5.1 OFDM (<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>).....	10
5.2 OFDMA (<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>)	11
5.3 Técnicas de Duplexação.....	12
5.3.1 FDD (<i>Frequency Division Duplex</i>).....	13
5.3.2 TDD (<i>Time Division Duplex</i>)	13
5.4 Modulação Adaptativa	14
5.4.1 Técnicas de Modulação PSK (<i>Phase Shift Keying</i>)	15
5.4.1.1 Modulação BPSK (<i>Binary Phase Shift Keying</i>).....	15
5.4.1.2 Modulação QPSK (<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>).....	16
5.4.2 Técnicas de Modulação QAM (<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>).....	16
5.4.2.1 Modulação 16-QAM (<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>)	16
5.4.2.2 Modulação 64-QAM (<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>)	17
6. Camada de Controle de Acesso ao Meio (Camada MAC)	18
6.1 Subcamada de Convergência (MCS)	19
6.2 Subcamada de Parte Comum (MCPS)	19
6.2.1 Fragmentação e Concatenação de MSDUs	19
6.2.2 QoS (<i>Quality of Service</i>)	20
6.2.2.1 UGS (<i>Unsolicited Grant Services</i>)	20
6.2.2.2 rtPS (<i>Real-Time Polling Services</i>).....	21
6.2.2.3 nrtPS (<i>Non-Real-Time Polling Services</i>)	21
6.2.2.4 BE (<i>Best-Effort Services</i>).....	21
6.2.2.5 ERT-VR (<i>Extended Real-Time Variable Rate Services</i>)	22
6.3 Subcamada de Segurança (MSS)	22
7. WiMAX no Brasil	23
7.1 Regulamentação do Padrão WiMAX no Brasil	23
7.2 Mercado de WiMAX	24
7.2.1 Redes Privadas	25
7.2.2 Governos.....	25
7.2.3 Redes Públicas	26
7.3 Expectativas do WiMAX no Brasil	27
8. Conclusão	28
9. Referências	29

Lista de Figuras

Figura 1 - Padronização IEEE para redes sem fio [1].....	3
Figura 2 - Exemplo de aplicação do padrão 802.16-2004 (Elaboração própria).....	5
Figura 3 – Exemplo de aplicação do padrão 802.16e (Elaboração própria).	6
Figura 4 - Faixas de freqüências designadas para utilização do WiMAX [2].....	8
Figura 5 – Composição de um símbolo OFDM no domínio da freqüência [4].....	10
Figura 6 - Composição de um símbolo OFDMA no domínio da freqüência [4].	11
Figura 7 - Uplink para as técnicas de modulação OFDM e OFDMA [5].....	12
Figura 8 - Exemplo de transmissão utilizando a técnica duplexação FDD [6].	13
Figura 9 - Exemplo de transmissão utilizando a técnica duplexação TDD [6].	14
Figura 10 - Modulação a ser utilizada em relação à distância entre ERB e usuário [5].	15
Figura 11 - Diagrama de constelação BPSK [7].....	15
Figura 12 - Diagrama de constelação QPSK [7].	16
Figura 13 - Diagrama de constelação 16-QAM [7].	17
Figura 14 - Diagrama de constelação 64-QAM [7].	17
Figura 15 - Camada MAC do padrão WiMAX [4].....	18
Figura 16 - Exemplos de quadros MPDUs [4].	20
Figura 17 - Mapa atual de licenças de 2,5 GHz, 3,5 GHz e 10,5 GHz no Brasil [10]....	24
Figura 18 - Mapa de disponibilidade de acesso banda larga no Brasil [11].....	27

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características dos padrões WiMAX móvel e fixo.....	6
Tabela 2 – Parâmetros das camadas físicas WirelessMAN OFDM e WirelessMAN OFDMA [4].....	12
Tabela 3 - Faixas de freqüências definidas para os padrões 802.16-2004 e 802.16e....	13
Tabela 4 – Características dos métodos de modulação BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM	18
Tabela 5 - Faixas de freqüência designadas para a utilização do WiMAX no Brasil [1].	23

Lista de Siglas

3DES	<i>Triple Data Encryption Standard</i>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Loop</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
AMC	<i>Adaptive Modulation and Coding</i>
ARQ	<i>Automatic Repeat Request</i>
BE	<i>Best-Effort Service</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
BRS	<i>Broadband Radio Services</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CID	<i>Connection Identifier</i>
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i>
dB	Relação entre potências de saída e entrada de um sistema, na escala logarítmica
dBm	Representação da potência de saída de um sistema, na escala logarítmica, em referência a 1 miliwatt (1 mW)
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
ERB	Estação rádio-base
ERT-VR	<i>Extended Real-Time Variable Rate Service</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FIPS	<i>Federal Information Processing Standard</i>
GHz	gigaherz
GMC	<i>Generic MAC Header</i>
HFC	<i>Hybrid Fiber-Coax – Cable Modem</i>
ICI	Interferência entre Portadoras
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
Kbps	quilobits por segundo
km	quilômetro
LAN	<i>Local Area Network</i>
LMDS	<i>Local Multipoint Distribution Service</i>
LOS	<i>Line of sight – Visada direta</i>
MAC	Camada de Controle de Acesso ao Meio
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
Mbps	megabits por segundo

MCPS	<i>MAC Common Part Sublayer</i>
MCS	MAC Convergence Layer
MMDS	<i>Multichannel Multipoint Distribution Service</i>
MPDUs	<i>MAC Protocol Data Units</i>
MPEG	<i>Motion Picture Experts Group</i>
MSDUs	<i>MAC Service Data Units</i>
MSS	<i>MAC Security Sublayer</i>
NLOS	<i>Non line of sight - Ausência de visada direta</i>
nrtPS	<i>Non-Real-Time Polling Services</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
PCMCIA	<i>Personal Computer Memory Card International Association</i>
PDA	<i>Personal Data Assistant</i>
PDUs	<i>Protocol Data Units</i>
PHY	Camada Física
PKMv2	<i>Privacy and Key Management Protocol Version 2</i>
PSK	<i>Phase Shift Keying</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
rtPS	<i>Real-Time Polling Services</i>
SMS	<i>Short Messaging Service</i>
SOFDMA	<i>Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
UGS	<i>Unsolicited Grant Services</i>
VLAN	<i>Virtual Area Local Network</i>
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>
WiMAX	<i>Worldwide interoperability for microwave access</i>

1. Introdução

O serviço de comunicações móveis foi incorporado ao dia-a-dia dos usuários devido à evolução e popularização das redes de telefonia celular, que proporciona mobilidade plena (deslocamento em altas velocidades) e amplas áreas de cobertura. Esta popularização, juntamente com o crescente uso de banda larga para acesso à Internet, tem gerado interesse crescente por novos serviços multimídia oferecidos numa rede que possa integrar aspectos de banda larga e mobilidade, que até hoje não se combinam totalmente.

A primeira experiência envolvendo banda larga para acesso móvel foi a tecnologia WiFi (*Wireless Fidelity*). Esta tecnologia permite que dispositivos se conectem à rede local (LAN – *local area network*) e à internet em bandas de até 54Mbps (banda larga) livres de cabos, porém não permite mobilidade plena e permite alcance de apenas 100 metros de distância de cada ponto de acesso. Apesar de a tecnologia WiFi (IEEE 802.11) estar se tornando cada vez mais popular, os usuários já demandam maiores áreas de cobertura para o serviço.

A tecnologia que tem se destacado como a grande promessa de rede de banda larga pessoal (ou Internet móvel) é a tecnologia WiMAX (IEEE 802.16). A proposta da tecnologia WiMAX é proporcionar ao usuário funcionalidades como:

- Amplas áreas de cobertura e acordos de *roaming* nacional e internacional.
- Mobilidade plena, possibilitando ao móvel manter a conexão com o provedor de serviço mesmo se deslocando com velocidades de veículos automotores.
- Velocidades de acesso a dados de, no mínimo, 400 kbps.

1.1. Objetivo do Trabalho

O objetivo deste trabalho é estudar as principais características do padrão WiMAX (IEEE 802.16) como: acesso fixo e móvel, camada física, camada móvel, técnicas de modulação, qualidade de serviço (QoS) e segurança.

1.2. Organização do Texto

O texto está organizado em capítulos da seguinte maneira. No Capítulo 2 é apresentada uma breve descrição dos padrões de WiMAX fixo e móvel e das vantagens da aplicação dos mesmos. No Capítulo 3 é apresentado o órgão responsável pela certificação dos equipamentos

de WiMAX, o WiMAX Forum. No Capítulo 4 são apresentadas as faixas de freqüências determinadas mundialmente para a utilização do padrão WiMAX. O Capítulo 5 apresenta as características da camada física, como técnicas de modulação, duplexação e modulação adaptativa. O Capítulo 6 apresenta as características da camada de acesso, como constituir a interface entre a camada superior e a camada física, QoS e segurança. No capítulo 7 é apresentado um breve estudo da situação do padrão WiMAX no Brasil, como regulamentação, ofertas de mercado e expectativas.

2. Padrão WiMAX (*Worldwide interoperability for microwave access*)

O WiMAX é uma tecnologia de banda larga sem fio com abrangência metropolitana (MAN – *metropolitan area network*), que foi desenvolvida com a finalidade de superar os obstáculos apresentados pelas redes de comunicações via cabo, como também pelo padrão WiFi. Ela é definida pelo padrão IEEE 802.16 e suportada pelo WiMAX Forum (consórcio mundial da indústria que tem como objetivo promover globalmente a tecnologia, bem como garantir a interoperabilidade dos equipamentos). É destinado às aplicações: Internet, vídeo, teleconferência, troca de arquivos, comércio, governo eletrônico e VoIP (*voice over Internet protocol*).

A Figura 1 mostra o posicionamento do padrão WiMAX e de outros padrões wireless [1].

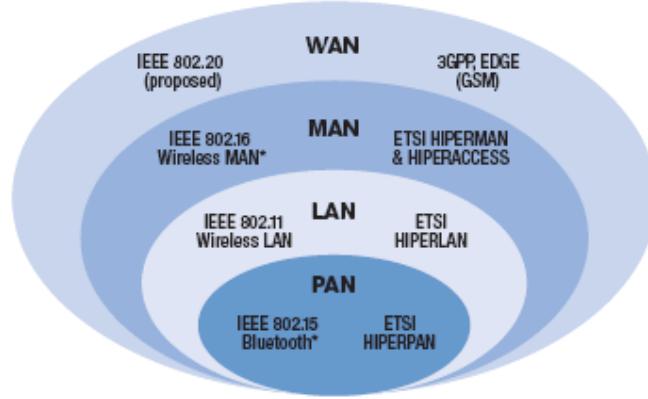


Figura 1 - Padronização IEEE para redes sem fio [1].

A fim de aperfeiçoar o atendimento de requisitos técnicos e permitir diferentes tipos de acesso para os usuários, foram definidas duas versões do padrão WiMAX:

- IEEE 802.16-2004, anteriormente conhecido como 802.16d, foi aprovado em julho de 2004. É destinado as aplicações fixas e nômades¹ tanto em condições de visada direta (LOS) como em condições de ausência de visada direta (NLOS), em freqüências de 2 a 11 GHz.
- IEEE 802.16e, foi aprovado em dezembro de 2005. Complementa os serviços de WiMAX fixo, suportando aplicações portáteis e móveis em ambas as condições de propagação, LOS e NLOS, em freqüências de 2 a 6 GHz.

¹ nômade, do inglês nomadic, que significa comunicação móvel em baixa velocidade

As principais vantagens apresentadas pelo WiMAX são [2]:

1. Arquitetura flexível: suporta tanto arquiteturas ponto-multiponto como também arquitetura ponto a ponto entre estação rádio-base (ERB) e CPE (*customer premises equipment*);
2. QoS (*quality of service*): conforme acordos entre o provedor de serviço e cada usuário final, os protocolos de QoS são gerenciados e fornecidos pela rede;
3. Serviços de banda larga fixa: a versão 802.16-2004 suporta banda larga fixa equivalente às tecnologias via cabo, porém com a vantagem adicional da mobilidade em baixa velocidade;
4. Banda larga pessoal: a versão 802.16e suporta banda larga portátil e móvel, com múltiplas aplicações de voz sobre IP, dados e vídeos;
5. Mobilidade: a versão 802.16e suporta *handoffs* entre células para usuários deslocando-se a velocidades de até 160 km/h;
6. Interoperabilidade: por ser baseado em padrões IEEE e ser certificado quanto à interoperação por laboratórios selecionados pelo WiMAX Forum, o padrão WiMAX possibilita que um provedor de serviços possa escolher equipamentos de diferentes fabricantes para sua rede.
7. Área de cobertura: o padrão WiMAX tem cobertura teórica de 50 km em níveis inferiores de modulação, com BPSK e QPSK, porém na prática atinge áreas menores, de aproximadamente 30 km;
8. Operação NLOS: por ser baseado em tecnologia OFDM o padrão WiMAX permite operação em condição de ausência de visada direta (as tecnologias wireless MMDS e LMDS não obtiveram sucesso nos EUA por operarem apenas em condição de visada direta);
9. Grande capacidade: é capaz de propiciar banda de acesso de até 70 Mbps para canais com largura de banda 20 MHz;
10. Segurança: suporta os protocolos AES (*advanced encryption standard*) e 3DES (*triple data encryption standard*) na interface aérea entre ERB e CPE, como também suporte a VLAN (*virtual area local network*) para proteger os dados de diferentes usuários;
11. Baixo custo: por não utilizar uma estrutura de instalação de cabos apresenta menor custo que as redes via cabo e existe também a possibilidade de que, com o aumento da demanda, o preço dos equipamentos se torne inferior aos de outras tecnologias celulares;
12. Rapidez de implementação: quando comparada à implementação de infra-estruturas via cabo, o WiMAX oferece rapidez e simplicidade.

2.1. Padrão IEEE 802.16-2004

O padrão 802.16-2004, também conhecido como WiMAX fixo, foi desenvolvido para suportar acessos fixos e nômades da tecnologia WiMAX, ou seja, ele foi desenvolvido para competir com as redes DSL e HFC. Entretanto, ele também pode ser utilizado para complementar as tecnologias via cabo, uma vez que viabiliza o acesso a banda larga em áreas onde estas tecnologias são inviáveis, como áreas rurais, devido à dificuldade de cabeamento ou ao custo elevado. Outra funcionalidade do WiMAX fixo é a solução de *backhaul* sem fio para pontos de acesso WiFi ou também para redes celulares, como mostra a Figura 2.

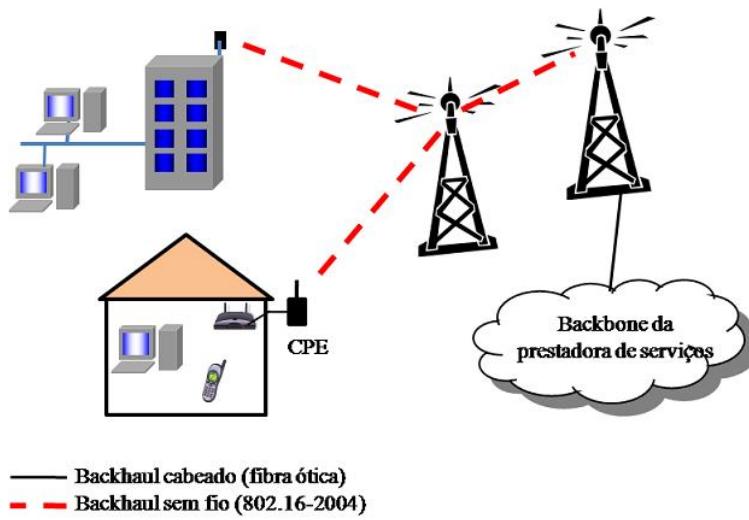


Figura 2 - Exemplo de aplicação do padrão 802.16-2004 (Elaboração própria).

Apesar de em muitos países o *backhaul* sem fio ainda não ser muito utilizado (nos EUA apenas 20% das torres celulares utilizam esta aplicação de comunicações móveis) a tendência é que este quadro mude, uma vez que o WiMAX, quando utilizado como *backhaul* apresenta vantagens como capacidade de suportar vários sites, capacidade de futura expansão para possíveis novos serviços e menor custo de implementação.

O WiMAX fixo suporta duas diferentes técnicas de modulação: OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*) com 256 portadoras e OFDMA (*orthogonal frequency division multiple access*) com 2048 portadoras e, no Brasil, opera em faixa de freqüências licenciada de 3,5 GHz e não-licenciada de 5,8 GHz.

2.2. Padrão IEEE 802.16e

O padrão 802.16e foi desenvolvido para suportar acessos portáteis e móveis, permitindo ao usuário total mobilidade, uma vez que permite *handoff* entre as estações durante sessões

ativas suportando velocidades de veículos automotores, porém com taxas de transferência de dados reduzidas. A Figura 3 exemplifica a utilização do WiMAX móvel.

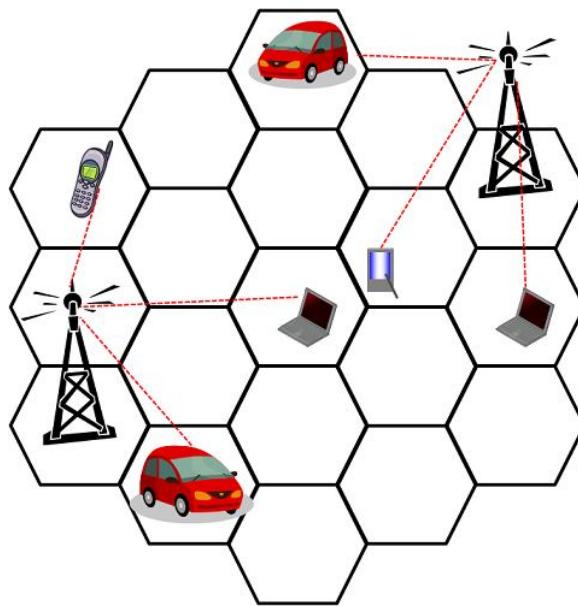


Figura 3 – Exemplo de aplicação do padrão 802.16e (Elaboração própria).

O WiMAX móvel suporta a técnica de modulação SOFDMA (*scalable orthogonal frequency division multiple access*), que pode possuir 128, 512, 1024 ou 2048 portadoras e, no Brasil, está em fase de regulamentação para operar na faixa de freqüências de 2,5 GHz.

A Tabela 1 apresenta uma breve comparação entre os padrões 802.16-2004 e 802.16e.

Padrão	Acesso	Dispositivos	Pontos de Acesso	Velocidade	Técnica de Modulação
802.16-2004	Fixo	CPEs outdoor e indoor	Único	Estacionária	OFDM OFDMA
802.16-2004	Nômade	CPEs indoor e cartões PCMCIA	Múltiplos	Estacionária	OFDM OFDMA
802.16e	Portátil	Laptops e cartões PCMCIA	Múltiplos	Baixa	SOFDMA
802.16e	Móvel	Laptops, cartões PCMCIA, PDAs e smartphones	Múltiplos	Alta	SOFDMA

Tabela 1 - Características dos padrões WiMAX móvel e fixo.

3. WiMAX Fórum

O WiMAX Fórum é uma corporação sem fins lucrativos formada por centenas de fabricantes de equipamentos e componentes de grande importância no mercado mundial, como a Alcatel, Fujitsu, Intel, Nortel, Motorola e Siemens. Ele tem como objetivo garantir a compatibilidade e interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes, incentivando desta forma a concorrência entre eles de forma a garantir mais flexibilidade de escolha e menores custos aos usuários. Ele também é responsável por certificar os equipamentos voltados para implementação de redes baseadas no padrão 802.16, garantindo aos usuários que operam corretamente e atendem todas as especificações do IEEE.

4. Faixas de Freqüências Utilizadas pelo WiMAX

O padrão 802.16 original, publicado em abril de 2002, determinou a utilização das faixas de freqüências entre 10 e 66 GHz para aplicações ponto a ponto em condições de visada direta (LOS), porém em 2003 foi aprovada a versão 802.16a, que prevê a utilização de faixas de freqüências entre 2 e 11 GHz e aplicações ponto-multiponto.

4.1. Vantagem das faixas de freqüência entre 2 e 11 GHz

Nestas faixas de freqüências, as ERBs e móveis podem operar em condições de ausência de visada direta (NLOS) entre eles, tornando a transmissão mais viável em ambientes urbanos. Outra vantagem apresentada é que os padrões 802.16-2004 e 802.16e foram mundialmente regulamentados para operarem em faixas de freqüências entre 2 e 11 GHz.

A utilização das faixas de freqüências para o padrão WiMAX em diferentes países e áreas geográficas é apresentada na Figura 4 [2].

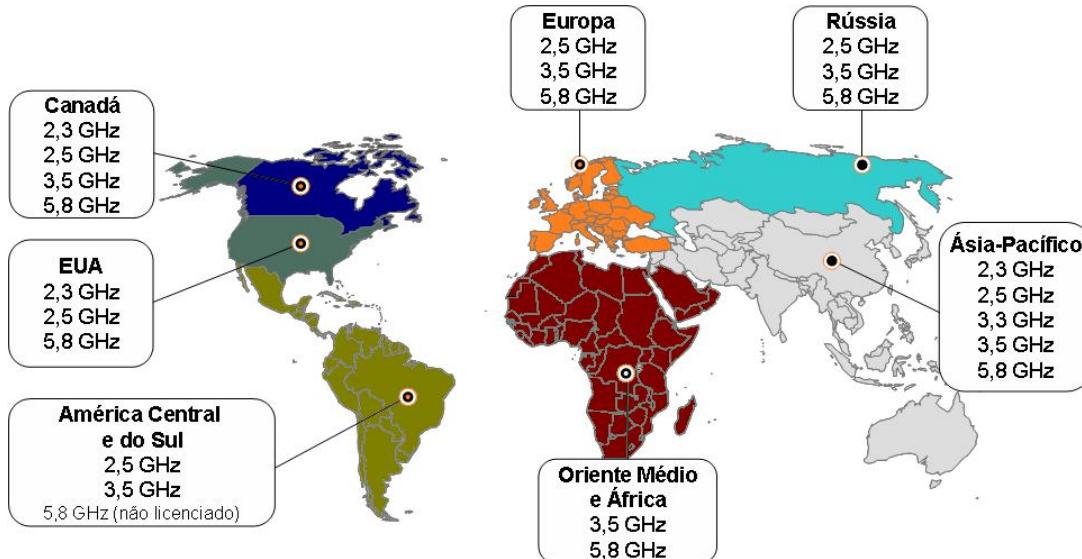


Figura 4 - Faixas de freqüências designadas para utilização do WiMAX [2].

4.2. Faixa de Freqüências Licenciada de 2,5 GHz

A faixa de freqüências de 2,5 GHz, também conhecida como banda BRS (*broadband radio services*), tem sido alocada para serviços de WiMAX nos Estados Unidos, Canadá, México, Brasil e em alguns países no sul da Ásia. Ela permite serviços fixos e móveis, operações FDD (*frequency division duplex*) e TDD (*time division duplex*) e, quando comparada às outras faixas de freqüências, apresenta maior alcance.

No Brasil a faixa de freqüências de 2,5 GHz, conforme a resolução nº429 da Anatel de 13/02/2006, possui largura de banda de 110 MHz e potência de transmissão de 100 W (50 dBm); é controlada pelas empresas de MMDS/SCM (prestadoras de serviços de TV Digital e outros serviços multimídia) e recentemente também pela Telefônica [3].

4.3. Faixa de Freqüências Licenciada de 3,5 GHz

A faixa de freqüência de 3,5 GHz foi a primeira a ser alocada para serviços de banda larga sem fio na maioria dos países do mundo, com exceção dos Estados Unidos, onde ela é utilizada pelo Governo Federal. Ela é utilizada apenas para acessos fixos e nômades. Em alguns países ela permite apenas operações FDD, porém em outros são permitidas ambas as operações, FDD e TDD.

No Brasil esta faixa de freqüências, de acordo com a Resolução nº416 da Anatel de 14/10/2005, apresenta largura de banda de 49 MHz e potência de transmissão limitada em 2 W (33 dBm); é controlada pela Embratel, Brasil Telecom, Grupo Sinos e WKVE [3].

4.4. Faixa de Freqüências Não-Licenciada de 5,8 GHz

A faixa de freqüências de 5,8 GHz se tornou atrativa por poder ser usada livremente. Ela vem sendo vista como opção para implantação de serviços de WiMAX em áreas rurais e de baixa densidade populacional, porém apenas em acessos fixos, uma vez que a alta freqüência juntamente com a baixa potência de transmissão permitida dificilmente permitirá que a faixa de freqüência de 5,8 GHz seja utilizada para fornecer acesso móvel.

No Brasil esta faixa de freqüência apresenta potência de transmissão limitada em 1 W de acordo com a Resolução nº 365 da Anatel de 10/05/2004, Seção X.

5. Camada Física (Camada PHY)

O desenvolvimento da camada física do padrão WiMAX, assim como do padrão WiFi, foi baseado na técnica de modulação OFDM, a qual é utilizada para transmitir altas taxas de dados mesmo em condições de ausência de visada direta. Devido à criação de versões do padrão 802.16, como as versões 802.16-2004 e 802.16e, hoje existem quatro diferentes camadas físicas definidas pelo padrão WiMAX [4]:

1. WirelessMAN SC: foi definida na especificação original do padrão WiMAX, para ser utilizada em faixas de freqüência de 11 a 66 GHz e em condições de visada direta.
2. WirelessMAN SCA: foi definida na especificação da versão 802.16a para ser utilizada em faixas de freqüências de 2 a 11 GHz para aplicações ponto-multiponto.
3. WirelessMAN OFDM: sua definição foi finalizada na especificação da versão 802.16-2004. É suportada pela técnica de modulação OFDM com 256 portadoras e pode ser utilizada em acessos fixos e nômades, para condições LOS e NLOS, para operações ponto-multiponto e em faixas de freqüências de 2 a 11 GHz.
4. WirelessMAN OFDMA: foi definida na especificação da versão 802.16e para ser utilizada em acessos portáteis e móveis, para condições LOS e NLOS, para operações ponto-multiponto e em faixas de freqüências de 2 a 11 GHz. A definição inicial desta camada física era suportada pela técnica de modulação OFDMA com 2048 portadoras, porém foi modificada baseada na técnica de modulação SOFDMA e hoje, dependendo das condições de transmissão, pode possuir 128, 512, 1.024 ou 2.048 portadoras.

5.1. OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)

A técnica de modulação OFDM é uma variação da multiplexação por divisão de freqüência (FDM) usada nos sistemas de telefonia e nas tecnologias de redes de acesso como o ADSL e redes wireless. Ela pertence a um grupo de técnicas de modulação chamado multiplexação multiportadoras e é baseada na idéia de dividir um fluxo digital de alta taxa de bits em diversos fluxos digitais de baixa taxa de bits e, posteriormente, modular e transmitir esses fluxos em diferentes portadoras. As diversas portadoras, ou subportadoras, são geradas pela OFDM de forma que elas sejam ortogonais (linearmente independentes) entre si, ou seja, de forma que cada portadora não sofra qualquer influência das outras portadoras transmitidas, tornando praticamente nula a interferência entre portadoras (ICI). Elas possuem a mesma amplitude e são transmitidas paralelamente, porém, entre os símbolos OFDM, são inseridas portadoras pilotos e bandas de guarda. As portadoras pilotos são utilizadas para sincronização e as bandas de guarda são utilizadas para eliminar completamente a ICI, uma vez que possuem duração maior que o tempo de atraso da transmissão de cada símbolo OFDM.

A Figura 5 ilustra a composição de um símbolo OFDM [4].

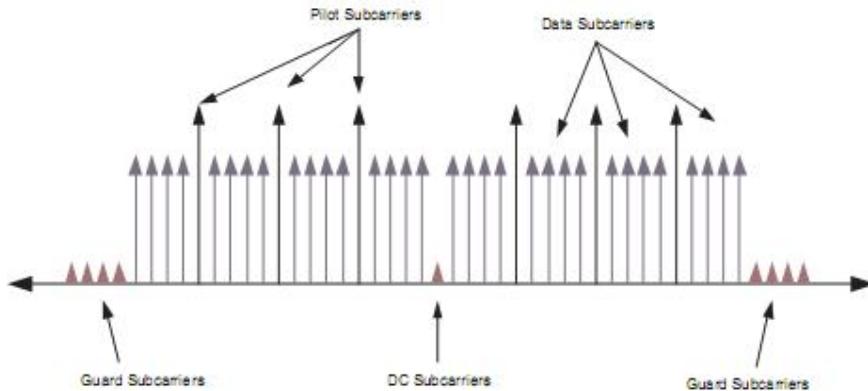


Figura 5 – Composição de um símbolo OFDM no domínio da freqüência [4].

Das 256 portadoras suportadas pela técnica de modulação OFDM, 192 são utilizadas para transmissão de dados, 8 são portadoras pilotos e as portadoras restantes são utilizadas como banda de guarda.

5.2. OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*)

A técnica de modulação OFDMA apresenta a possibilidade das portadoras criadas pela OFDM serem divididas novamente de forma que a camada física possa possuir 128, 512, 1024 ou 2048 subportadoras, as quais são separadas em grupos denominados subcanais.

A Figura 6 ilustra a composição de um símbolo OFDMA [4].

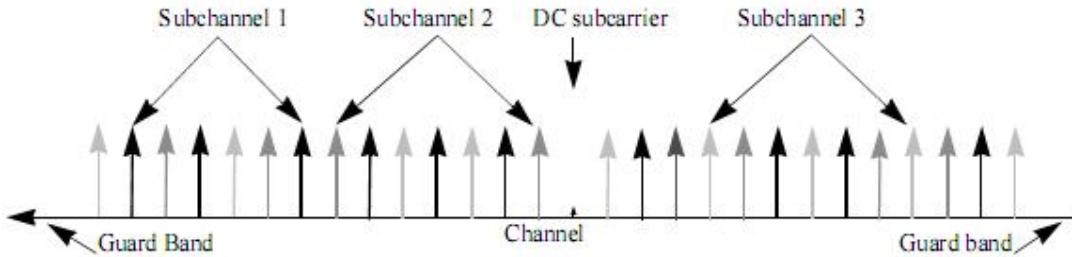


Figura 6 - Composição de um símbolo OFDMA no domínio da freqüência [4].

Para *downlink* (transmissão da ERB para o usuário) cada subcanal pode ser utilizado por apenas um único usuário, porém para *uplink* (transmissão do usuário para a ERB) cada subcanal pode ser utilizado por diversos usuários. A subcanalização para *uplink* é também chamada de modulação e codificação adaptativa (AMC – *adaptive modulation and coding*), uma vez que permite que diversos usuários transmitam ao mesmo tempo utilizando um único subcanal com diferentes técnicas de modulação e codificação. Outra vantagem da subcanalização é que ela permite que a potência de transmissão seja administrada de acordo com a necessidade dos usuários que estão transmitindo dados ao mesmo tempo, alocando maior potência de transmissão para usuários em condições desfavoráveis de transmissão (por exemplo, usuários que estejam bastante distantes da ERB ou em condições críticas de NLOS) e menor potência para usuários que estejam transmitindo em condições mais favoráveis.

A diferença de *uplink* nas técnicas de modulação OFDM e OFDMA é mostrada na Figura 7 [5].

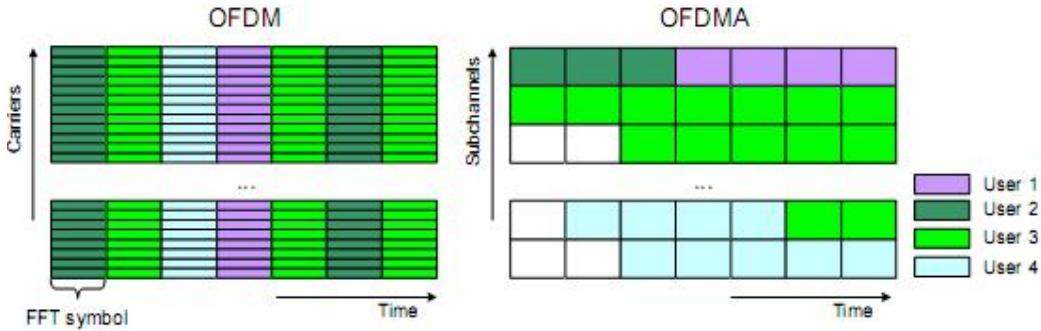


Figura 7 - Uplink para as técnicas de modulação OFDM e OFDMA [5].

A Tabela 2 mostra os parâmetros utilizados nas camadas físicas WirelessMAN OFDM e WirelessMAN OFDMA [4].

Parâmetros	WirelessMAN OFDM	WirelessMAN OFDMA			
	256	128	512	1024	2048
Número de portadoras	256	128	512	1024	2048
Número de portadoras de dados	192	72	360	720	1440
Número de portadoras pilotos	8	12	60	120	240
Número de portadoras de banda de guarda	56	44	92	184	368

Tabela 2 – Parâmetros das camadas físicas WirelessMAN OFDM e WirelessMAN OFDMA [4].

A técnica de modulação SOFDMA, assim como a OFDMA, permite a subcanalização, porém ela apresenta a vantagem de a largura do subcanal ser variável (1,25 MHz a 20 MHz), sendo definida de acordo com a necessidade do usuário.

5.3. Técnicas de Duplexação

O padrão WiMAX oferece duas opções de duplexação: a TDD (*time division duplex*) e FDD (*frequency division duplex*). A Tabela 3 mostra os perfis definidos pelos WiMAX Fórum para os padrões 802.16-2004 e 802.16e [1] [3].

Faixas de Freqüências (MHz)		Técnica de Duplexação
Padrão 802.16-2004	3400 a 3600	TDD ou FDD
	5725 a 5850	TDD
Padrão 802.16e	2300 a 2400	TDD
	2305 a 2320	TDD
	2345 a 2360	TDD
	2496 a 2690	TDD
	3300 a 3400	TDD
	3400 a 3800	TDD

Tabela 3 - Faixas de freqüências definidas para os padrões 802.16-2004 e 802.16e.

5.3.1. FDD (*Frequency Division Duplex*)

A técnica de duplexação FDD utiliza diferentes faixas de freqüência para transmissão e recepção, o que permite que ambas *uplink* e *downlink* possam ocorrer simultaneamente (*full-duplex*). São determinados *slots* de tempo fixos, facilitando a utilização de diferentes técnicas de modulação e diminuindo a complexidade dos algoritmos de alocação de banda.

A Figura 8 ilustra a transmissão e recepção de dados de acordo com a técnica de duplexação FDD [6].

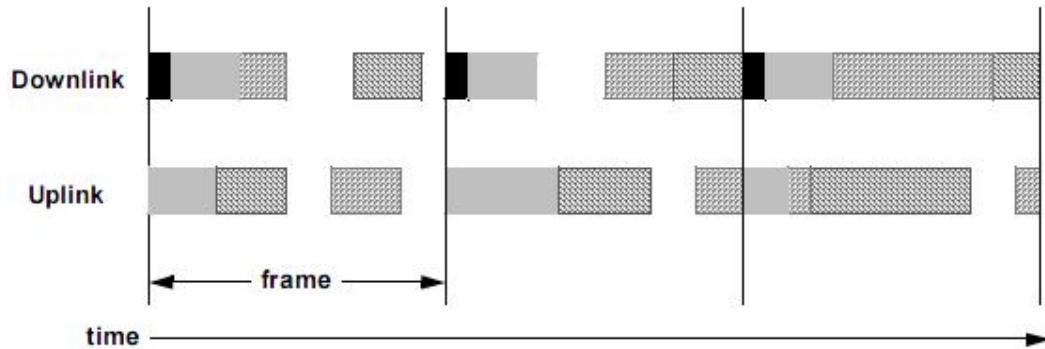


Figura 8 - Exemplo de transmissão utilizando a técnica duplexação FDD [6].

5.3.2. TDD (*Time Division Duplex*)

A técnica de duplexação TDD utiliza apenas um canal para *uplink* e *downlink*, não permitindo que a transmissão e recepção ocorram simultaneamente. São transmitidos quadros de tempo que são divididos em dois subquadros, como mostra a Figura 9 [6]. O primeiro subquadro é destinado para o tráfego *downlink*, imediatamente após este subquadro, há um

pequeno tempo de guarda utilizado para comutar o sentido e, em seguida, o subquadro é destinado ao tráfego *uplink*. A quantidade de tempo destinada a cada subquadro é adaptativa, o que permite que seja destinado maior intervalo de tempo para o sentido de comunicação de maior exigência de tráfego.

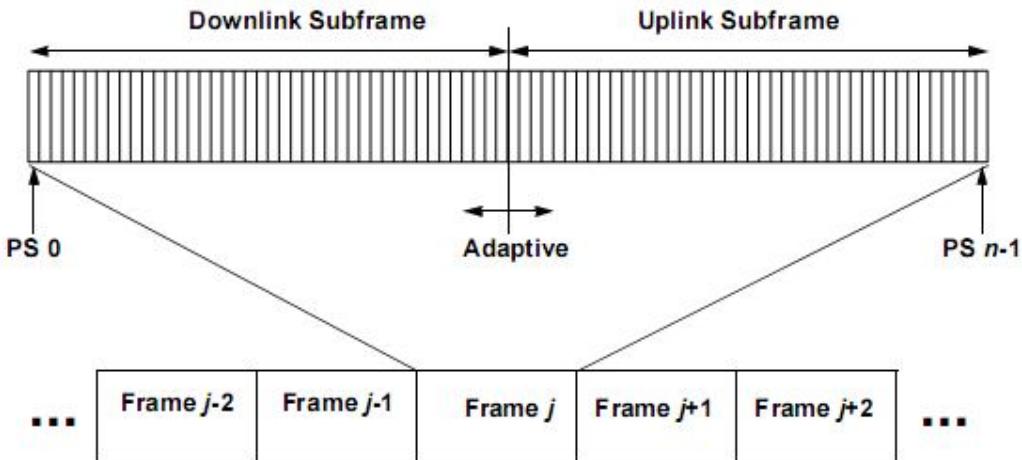


Figura 9 - Exemplo de transmissão utilizando a técnica duplexação TDD [6].

5.4. Modulação Adaptativa

A tecnologia WiMAX utiliza a modulação adaptativa com a finalidade de tirar vantagem das flutuações que ocorrem no canal de comunicação, sendo que as modulações superiores são aquelas que apresentam no mínimo 16 bits por símbolo, e nas inferiores os símbolos são formados por menor número de bits. Assim, quando o canal apresenta boas condições de comunicação é transmitida a maior taxa de dados possível utilizando modulações superiores, porém quando o canal não apresenta boas condições para comunicação os dados são transmitidos em velocidades menores e com técnicas de modulação inferiores, evitando desta forma um número excessivo de perda de pacotes. A qualidade do canal é estimada pela ERB através da análise da relação sinal-ruído do sinal.

A Figura 10 representa a relação entre as técnicas de modulação e a distância entre a ERB e o usuário [5].

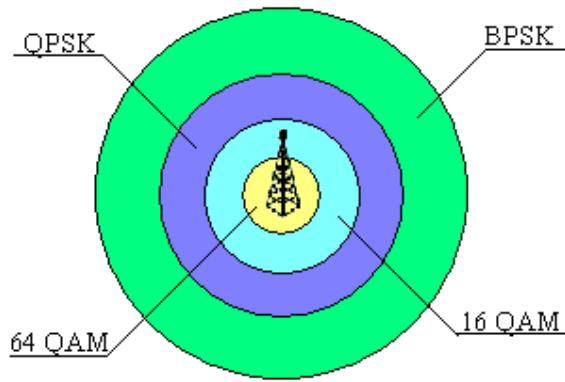


Figura 10 - Modulação a ser utilizada em relação à distância entre ERB e usuário [5].

5.4.1. Técnicas de Modulação PSK (*Phase Shift Keying*)

Na modulação PSK há uma variação da fase da portadora senoidal mediante as variações do sinal digital a ser transmitido e, por este motivo, a modulação PSK é também conhecida por modulação de deslocamento de fase.

5.4.1.1. Modulação BPSK (*Binary Phase Shift Keying*)

A modulação BPSK é a mais simples das modulações PSK, uma vez que ela utiliza apenas duas fases, 0° ou 180° , para codificar o sinal, como mostra a Figura 11 [7]. Ela é considerada modulação PSK mais robusta, pois apresenta uma ótima taxa de erro. Entretanto, como é capaz de modular apenas um bit por símbolo, não apresenta altas taxas de transmissão.

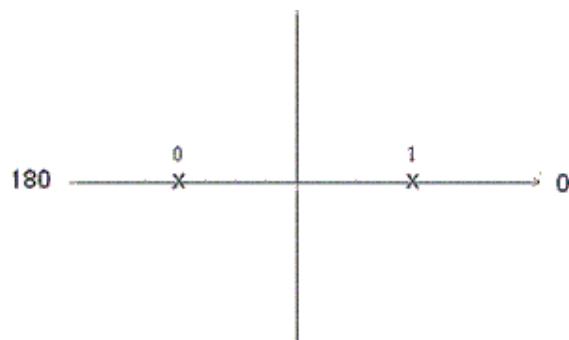


Figura 11 - Diagrama de constelação BPSK [7].

5.4.1.2. Modulação QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*)

Na modulação QPSK cada símbolo é codificado com dois bits, amplitude fixa e pode possuir quatro diferentes fases. A fase de um ponto é indicada pelo ângulo formado entre a linha que liga este ponto à origem e o eixo x que, neste caso, são: 45° , 135° , 225° e 315° . A Figura 12 [7] apresenta um diagrama de constelação QPSK onde é possível observar os quatro estados possíveis.

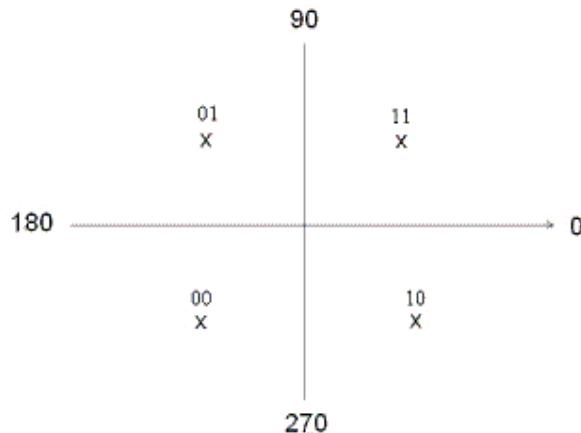


Figura 12 - Diagrama de constelação QPSK [7].

5.4.2. Técnicas de Modulação QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)

A técnica de modulação QAM utiliza duas portadoras para transmitir os dados, as quais são sempre defasadas em 90° e, por isso, são chamadas portadoras em quadratura. Tais portadoras sofrem variação de fase de acordo com a informação digital a ser transmitida. A QAM também é representada pelo diagrama de constelação.

5.4.2.1. Modulação 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)

A modulação 16-QAM é capaz de modular quatro bits por símbolo, possibilitando que o símbolo possua 16 diferentes possíveis estados.

A Figura 13 apresenta um diagrama de constelação da técnica de modulação 16-QAM [7].

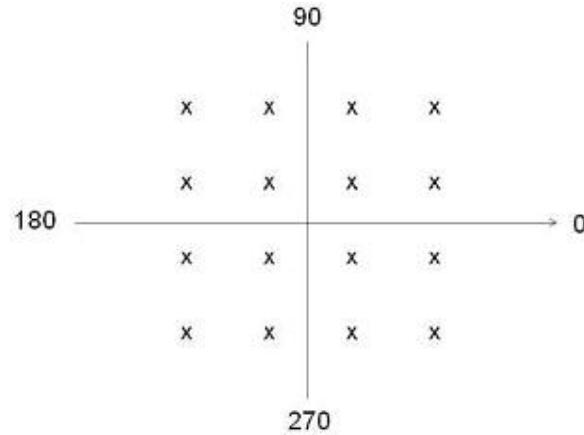


Figura 13 - Diagrama de constelação 16-QAM [7].

5.4.2.2. Modulação 64-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)

A modulação 64-QAM é semelhante à 16-QAM, porém ela permite 64 combinações diferentes, de forma que podem ser transmitidos seis bits por símbolo conforme indica a Figura 14 [7].

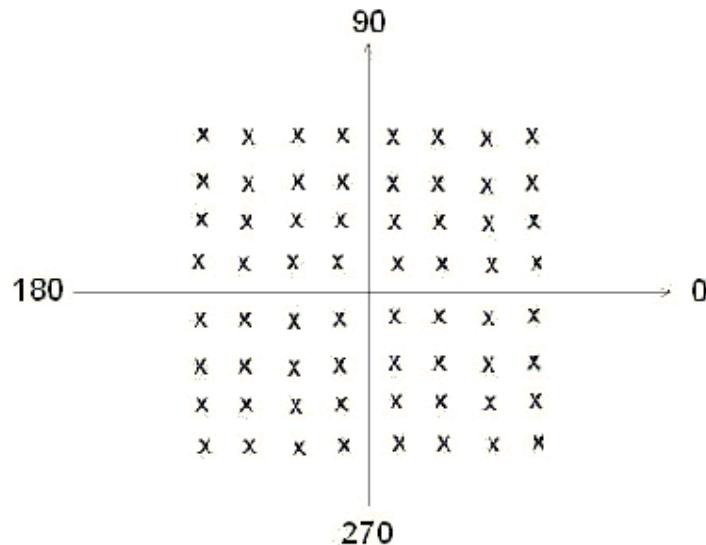


Figura 14 - Diagrama de constelação 64-QAM [7].

As técnicas de modulação PSK podem ser consideradas técnicas especiais de modulação QAM onde a amplitude da portadora permanece fixa. A Tabela 4 apresenta uma breve comparação das características dos quatro métodos de modulação apresentados [7] [8].

Técnica de Modulação	Número de possíveis estados por símbolo	Número de bits por símbolo	Número de amplitudes possíveis	Número de fases possíveis
BPSK	2	1	1	2
QPSK	4	2	1	4
16-QAM	16	4	3	12
64-QAM	64	6	9	52

Tabela 4 – Características dos métodos de modulação BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM.

6. Camada de Controle de Acesso ao Meio (Camada MAC)

A principal função da camada MAC é constituir uma interface entre as camadas de transporte mais elevadas e a camada física. Para garantir a eficiência desta operação ela é dividida em três subcamadas: subcamada de convergência (MCS – *MAC convergence layer*), subcamada de parte comum (MCPS – *MAC common part sublayer*) e subcamada de segurança (MSS – *MAC security sublayer*), como mostra a Figura 15 [4].

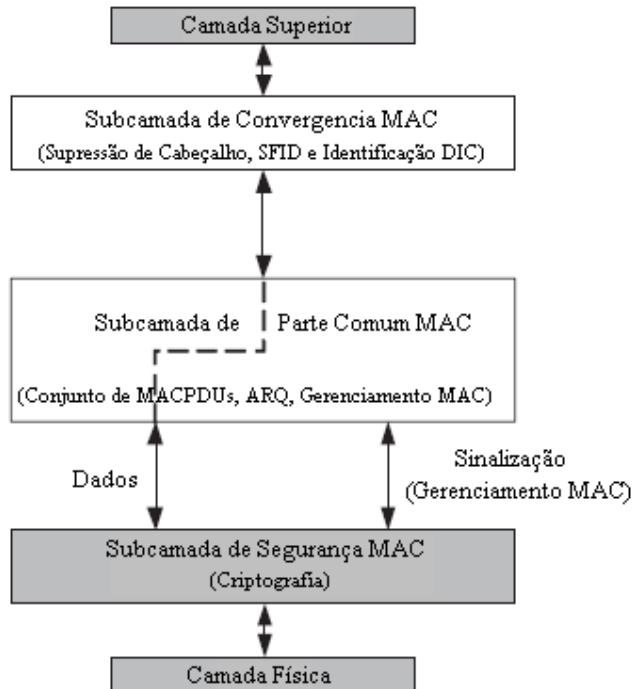


Figura 15 - Camada MAC do padrão WiMAX [4].

6.1. Subcamada de Convergência (MCS)

A MCS é responsável pelo protocolo interfacial entre a camada MAC e a camada acima. Ela é responsável por organizar os pacotes vindos da camada acima (MSDUs – *MAC service data units*) em pacotes para transmissão no ar (MPDUs - *MAC protocol data units*) e também por fazer o processo contrário, ou seja, transformar MPDUs em MSDUs para sinais recebidos. As subcamadas de convergência para os padrões 802.16-2004 e 802.16e foram definidas para serem capazes de constituir a interface entre as camadas com uma variedade de protocolos. Porém, devido à predominância do uso dos protocolos IP e Ethernet o WiMAX Fórum decidiu que as mesmas devem suportar, pelo menos por enquanto, apenas estes dois protocolos.

6.2. Subcamada de Parte Comum (MCPS)

A MCPS é responsável pelas operações independentes da camada superior e referentes ao gerenciamento de pacotes, como fragmentação e concatenação de MSDUs e MPDUs, ARQ (*automatic repeat request*) e controle de QoS.

6.2.1. Fragmentação e Concatenação de MSDUs

A fim de garantir maior eficiência na transmissão dos pacotes, os MPDUs e MSDUs podem ter comprimento variável: diversos MPDUs que serão enviados para o mesmo usuário e que possuem o mesmo cabeçalho PHY podem ser agregados em um único quadro para evitar que o mesmo cabeçalho seja enviado repetidamente. Diversos MSDUs também podem ser agregados em um único quadro com a mesma finalidade e um único MSDU pode ser fragmentado em diversos MPDUs. Cada um destes quadros possui um cabeçalho genérico (GMC – *generic MAC header*) que contém a identificação da conexão (CID – *connection identifier*), o comprimento do quadro, além de bits para informar se existem subcabeçalhos ou se os dados estão criptografados e, caso estejam, a chave para descriptografar a mensagem. A Figura 16 [4] mostra diversos exemplos de quadros MPDUs.

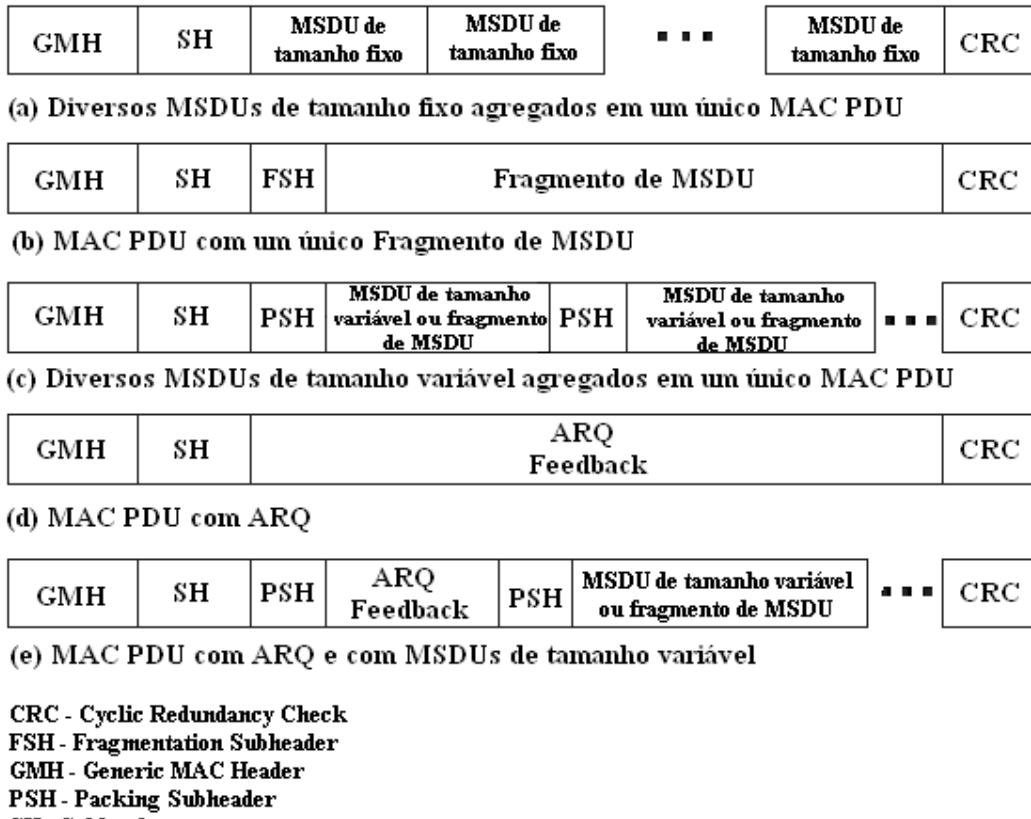


Figura 16 - Exemplos de quadros MPDUs [4].

6.2.2. QoS (*Quality of Service*)

O suporte a QoS é outro fator fundamental para garantir a eficiência da transmissão de dados no WiMAX. Os padrões 802.16-2004 e 802.16e foram definidos para suportar 5 diferentes tipo de serviços de QoS (UGS – *unsolicited grant services*, rtPS – *real-time polling services*, nrtPS – *non-real-time polling services*, BE – *best-effort service* e ERT-VR - *extended real-time variable rate service*) devendo ser escolhidos e fornecidos de acordo com a necessidades da conexão, uma vez que eles são definidos considerando prioridade de tráfego, atraso, jitter (tempo de atraso necessário para garantir a ordenação dos pacotes recebidos), taxa de dados e taxa de erro.

6.2.2.1. UGS (*Unsolicited Grant Services*)

O serviço UGS foi projetado para suportar pacotes de dados com tamanho fixo, como tráfego CBR (*constant bit rate*) como transmissões T1/E1 e VoIP. Os fluxos CBR estão sujeitos

a admissão pelo receptor, e uma vez que é permitido o acesso o UGS garante a largura de banda necessária para a transmissão durante toda a conexão.

Os parâmetros que definem o UGS são máxima taxa de transmissão sustentável, jitter tolerável e política de transmissão: regras de formação dos PDUs (*protocol data units*) e permissão para fragmentação dos PDUs.

6.2.2.2. rtPS (*Real-Time Polling Services*)

O serviço rtPS foi projetado para suportar fluxo de dados em tempo real que geram pacotes de dados de tamanho variável em intervalos periódicos, ou seja, aplicações em que a largura de banda necessária para transmissão pode variar, como vídeo no formato MPEG. Para tanto, a ERB faz consultas periódicas para requisitar a largura de banda necessária.

Os parâmetros que definem o rtPS são mínima largura de banda reservada, máxima taxa de transmissão sustentável e, assim como o UGS, política de transmissão.

6.2.2.3. nrtPS (*Non-Real-Time Polling Services*)

O serviço nrtPS foi projetado para suportar fluxos de dados que tem certa tolerância a atrasos, ou seja, serviços que não necessitam ser em tempo real e que geram pacotes de dados de tamanho variável em intervalos periódicos, como o tráfego gerado por transferência de arquivos grandes, e-mail, SMS (*short messaging service*), etc.

Os parâmetros que definem o nrtPS são máxima taxa de transmissão sustentável, prioridade de tráfego e política de transmissão.

6.2.2.4. BE (*Best-Effort Service*)

O serviço BE é designado para aplicações que não requerem garantia de integridade dos dados, ou seja, não requerem condições especiais para recuperar dados perdidos ou corrompidos, o que faz que a rede opere mais eficientemente. Neste caso, não são feitas consultas para necessidade de largura de banda e os usuários devem disputar a largura de banda disponível. Este serviço é tipicamente aplicado para o tráfego gerado por navegação na Web.

Os parâmetros que definem o BE são máxima taxa de transmissão sustentável, prioridade de tráfego e política de transmissão.

6.2.2.5. ERT-VR (Extended Real-Time Variable Rate Service)

O serviço ERT-VR foi projetado para suportar aplicações em tempo real que possuem pacotes de dados com tamanho variável, como VoIP com supressão de silêncio², que necessitam de largura de banda e não permite atrasos. Este serviço é suportado apenas pelo padrão 802.16e.

Os parâmetros que definem o ERT-VR são mínima largura de banda reservada, máxima taxa de transmissão sustentável, jitter tolerável e prioridade de tráfego.

6.3. Subcamada de Segurança (MSS)

A MSS é responsável por assegurar ao usuário privacidade através de cifração (criptografia) e decifração dos dados, autorização e pela troca de chaves de criptografia entre a ERB e o usuário, prevenindo desta forma acessos não autorizados aos dados transmitidos. Os aspectos de segurança definidos pela MSS para o padrão WiMAX (802.16) são:

1. Suporte a privacidade: os dados são criptografados através da utilização dos protocolos AES (*advanced encryption standard*) ou 3DES (*triple data encryption standard*) garantindo a privacidade dos dados enviados. O protocolo AES deverá ser mais utilizado, uma vez que foi aprovado pelo FIPS (*Federal Information Processing Standard*) e também é mais fácil de implementar;
2. Autenticação: o padrão WiMAX permite flexibilidade de autenticação para evitar acessos não autorizados. Ele utiliza métodos como nome de usuário e senha ou smart cards para autenticação de usuários e, para dispositivos que suportam o padrão 802.16, certificados digitais contendo a chave de criptografia e o endereço MAC dos componentes autorizados;
3. Protocolo de gerenciamento de chaves de criptografia: o protocolo PKMv2 (*privacy and key management protocol version 2*) é utilizado para transmitir a chave de criptografia da ERB para o usuário com segurança e também para renová-la periodicamente, dificultando ainda mais o acesso não autorizado aos dados;
4. Suporte para handoff rápido: o padrão WiMAX permite ao usuário uma pré-autenticação para facilitar e acelerar a transição de uma célula para outra a fim de evitar ataques durante a transição.

² Supressão de silêncio: ao invés do transmissor enviar N vezes um dado X que se repete de modo consecutivo ele envia a informação N*X, porém o receptor interpreta a informação e reproduz N vezes o dado X.

7. WiMAX no Brasil

As redes de banda larga móvel ainda não estão disponíveis no Brasil, porém a Intel, em parceria com universidades e governo, já vêm realizando testes para diferentes aplicações do WiMAX em algumas cidades brasileiras desde 2004 [9]:

1. Belo Horizonte (MG): utilização do WiMAX a fim de prover acesso rápido e sem fio a hospitais, órgãos públicos e escolas;
2. Mangaratiba (RJ): utilização do WiMAX para viabilização do projeto Município Digital, o qual é voltados às áreas de educação, saúde, turismo e comércio;
3. Ouro Preto (MG): interligação de escolas de ensino básico, através do WiMAX, com o propósito de promover a inclusão digital com acesso a Internet.

Os testes foram considerados satisfatórios, principalmente na cidade de Ouro Preto, uma vez que o relevo da cidade dificulta qualquer tipo de comunicação que necessite de visada direta.

7.1. Regulamentação do padrão WiMAX no Brasil

Além das três faixas de freqüências padronizadas pelo WiMAX Fórum para suportar o padrão 802.16 (2,5 GHz, 3,5 GHz, 5,8 GHz), a Anatel destinou também a faixa de 10,5 GHz, conforme resolução nº. 307, de 14/02/2008. As freqüências utilizadas para WiMAX no Brasil em cada faixa de freqüência são apresentadas na Tabela 5 [1].

Faixa	Regulamentação	Freqüências (MHz)
2,5 GHz	Resolução nº. 429 de 13/02/2006	2500 – 2530
		2570 – 2620
		2620 – 2650
3,5 GHz	Resolução nº. 416 de 14/10/2005	3400 – 3600
5,8 GHz	Resolução nº. 365 de 10/05/2004	5150 – 5350
		5470 – 5725
10,5 GHz	Resolução nº. 307 de 14/02/2008	

Tabela 5 - Faixas de freqüência designadas para a utilização do WiMAX no Brasil [1].

Atualmente as faixas de freqüências de 2,5 GHz, 3,5 GHz e 10,5 GHz no Brasil são controladas em sua maioria pela Brasil Telecom, WKVE, Universal Telecom, Grupo Sinos, Embratel e empresas de MMDS, como mostra a Figura 17 [10].



Figura 17 - Mapa atual de licenças de 2,5 GHz, 3,5 GHz e 10,5 GHz no Brasil [10].

7.2. Mercado de WiMAX

Atualmente, em aspectos de análise de mercado, só é possível citar serviços fixos e nômades uma vez que o WiMAX Fórum ainda não certificou nenhum produto baseado no padrão 802.16e. Desta forma, as oportunidades de mercado são baseadas nos serviços fixos de banda larga em áreas onde as tecnologias via cabos são inviáveis

ou de difícil acesso, serviços fixos de banda larga para prefeituras e governos e serviços nômades de banda larga de dados.

7.2.1. Redes Privadas

As redes privadas poderão ser implementadas no Brasil utilizando o WiMAX fixo, uma vez que ele é capaz de garantir os requisitos de banda de acesso e segurança. Entretanto, as redes só poderão operar na faixa de freqüência não-licenciada de 5,8 GHz devido à dificuldade de se adquirir espectro licenciado em competição com os prestadores de serviços públicos.

Algumas das aplicações para redes privadas baseadas na tecnologia WiMAX são:

1. Conectar as diferentes unidades de uma única empresa espalhadas em uma área metropolitana (bancos, postos de gasolina, etc) com grande capacidade de transmissão de dados permitindo que informações sensíveis a atraso cheguem ao receptor sem prejuízos e com segurança (criptografia de dados);
2. Conectar unidades industriais e escritórios de empresas de ramos, como petróleo e gás, ou de transporte marítimo às suas plataformas, navios, embarcações cobrindo vários quilômetros sobre o mar;
3. Conectar vários prédios de grandes áreas fabris ou de campus universitário, utilizando enlaces ponto-a-ponto ou ponto-multiponto e permitindo alto desempenho e segurança com menores custos.

7.2.2. Governos

Os governos brasileiros têm se espelhado nas experiências de sucesso de cidades digitais como Taipei (Taiwan) e Filadélfia (EUA), criando projetos de inclusão digital e incentivando a utilização de tecnologias sem fio nas áreas de segurança pública, saúde e educação. O WiMAX fixo pode ser utilizado para atender as necessidades do governo uma vez que permite grande área de cobertura, banda de acesso, qualidade de serviço e segurança.

Algumas das demandas do governo que podem ser atendidas com a utilização do WiMAX são:

1. Inclusão digital: prefeituras estão planejando utilizar recursos públicos ou promover parcerias público-privadas para proporcionar acessos banda larga para cidadãos em municipalidades e áreas suburbanas ou rurais onde a conectividade é crítica ou inviável, permitindo que eles tenham acesso a serviços de voz, Internet e a programas e portais do governo on-line;
2. Conexão de órgãos públicos: instalações administrativas, escolas e hospitais podem ser conectados entre si e aos demais órgãos públicos permitindo compartilhamento de dados, videoconferências, serviços de voz, etc;
3. Conexão de órgãos de segurança pública: secretarias de segurança pública, polícia, bombeiros e delegacias podem ser interligados entre si e a hospitais, agilizando o atendimento em situações de emergência, uma vez que possibilita comunicação entre os grupos e compartilhamento de informações.

7.2.3. Redes Públicas

Redes públicas são aquelas que prestam serviços de telecomunicações para sociedade, como operadoras de telefonia, provedoras de Internet e emissoras de televisão. A utilização do WiMAX em redes públicas proporcionará ao usuário final acesso de maneira rápida e econômica, suporte a *triple play* (voz, Internet e TV) e futuramente suportará cobertura contínua através de *handoff* permitindo o suporte a *quadruple play* (voz, Internet, TV e mobilidade).

As novas propostas de serviços que serão proporcionados pelas redes públicas com a utilização do WiMAX são:

1. Proporcionar ofertas integradas de acesso banda larga com recursos de segurança, QoS, etc.
2. *Backhaul*: possibilitará a interconexão entre provedores de serviços, interligação das estações das redes celulares ou de pontos de acesso de WiFi de forma econômica, flexível e com grande capacidade. Atualmente essas interconexões são feitas através de redes de rádio ponto-a-ponto ou fibra óptica.

7.3. Expectativas do WiMAX no Brasil

Acredita-se que a utilização da tecnologia WiMAX crescerá rapidamente no Brasil assim como a telefonia celular. Tais expectativas são principalmente baseadas em dois fatores: grande parte do território brasileiro ainda não possui oferta de banda larga fixa como mostra a Figura 18 [11], o que torna o WiMAX fixo uma ótima alternativa para atender tais regiões, uma vez que é uma alternativa mais barata e de rápida implantação; o mercado já vêm apresentando grande interesse em investir grandes quantias na reestruturação de suas redes para que as mesmas suportem o padrão WiMAX móvel, viabilizando acesso de banda larga com mobilidade.

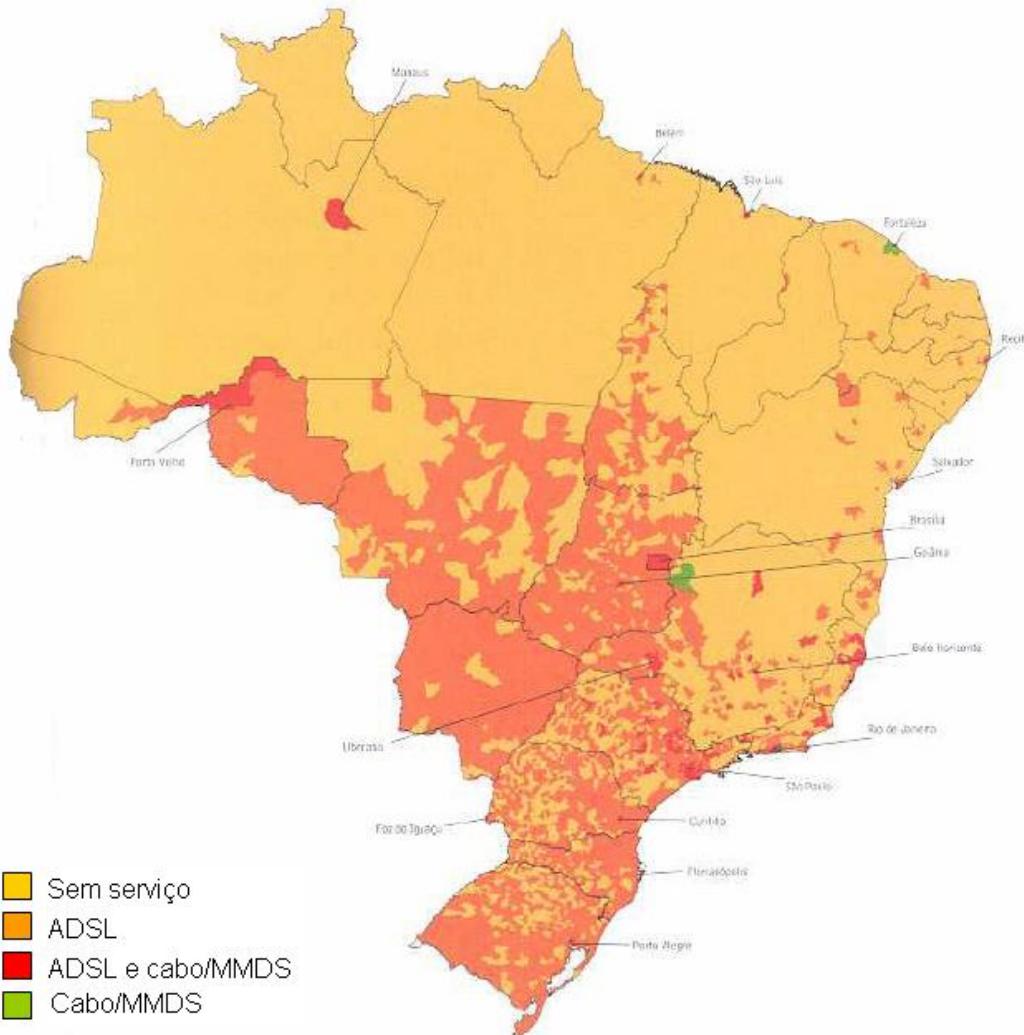


Figura 18 - Mapa de disponibilidade de acesso banda larga no Brasil [11].

8. Conclusão

A tecnologia WiMAX apresenta características bastante vantajosas. Apesar de outras tecnologias, sejam elas utilizadas individualmente ou combinadas, também serem capazes de atender a demanda de conectividade do mercado, espera-se que em um futuro próximo o padrão WiMAX esteja sendo mundialmente utilizado, proporcionando aos usuários não apenas acesso banda larga, mas também a tão esperada mobilidade.

Neste trabalho foram realizados estudos sobre funcionalidades apresentadas pelo padrão WiMAX, características do padrão para acessos fixos e móveis, regulamentações de faixas de freqüência da Anatel, características da camada física como técnicas de modulação e duplexação, características da camada de acesso como QoS e segurança e quais são as oportunidades de aplicação do WiMAX no Brasil.

9. Referências

- [1] <http://www.teleco.com.br>
- [2] Hensi, C., WiMAX – O Caminho para Banda Larga Pessoal, Promon *Business and Technology Review*, 2007.
- [3] www.revistadewimax.com.br
- [4] Andrews, J.G.; Ghosh, A.; Muhamed R., *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall, 2007.
- [5] www.wimaxforum.org
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers, 802.16 IEEE Standard for Local and Metropolitan Networks, 2004. (www.wimaxtrends.com/docs/technical_specs/802.16e-2005.pdf)
- [7] Tanenbaum, A. S., Redes de Computadores, 4^a ed, Elsevier, 2003.
- [8] Fazel, K.; Kaiser S., *Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems*, Prentice Hall, 2003.
- [9] www.abee-go.com.br/artigos/wimax.pdf.
- [10] Atlas Brasileiro de Telecomunicações, Revista Teletime, 2008.
- [11] Atlas Brasileiro de Telecomunicações, Revista Teletime, 2007.
- [12] Haykin, S.; Moher, M., *Modern Wireless Communications*, Prentice Hall, 1931
- [13] Rappaport, T. S., *Wireless Communications – Principles e Practice*, Prentice Hall, 1960.