

**PROJETO DE REDES**

[www.projetoderedes.com.br](http://www.projetoderedes.com.br)



UNIÃO EDUCACIONAL MINAS GERAIS S/C LTDA  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS DE MINAS**  
Autorizada pela Portaria no 577/2000 – MEC, de 03/05/2000  
**BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

# **PLANEJAMENTO DE UM PROJETO PARA REDES WIMAX**

VITOR FERREIRA RIBEIRO

Uberlândia

2007

VITOR FERREIRA RIBEIRO

# **PLANEJAMENTO DE UM PROJETO PARA REDES WIMAX**

Trabalho de Final de curso submetido à UNIMINAS como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. M.Sc. Flávio de Oliveira  
Silva

Uberlândia

2007

VITOR FERREIRA RIBEIRO

# **PLANEJAMENTO DE UM PROJETO PARA REDES WIMAX**

Trabalho de Final de curso submetido à UNIMINAS como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Prof. M.Sc. Flávio de Oliveira Silva

Banca Examinadora:

Uberlândia, 24 de março de 2007.

Prof. Dr. Mauro Hemerly Gazzani

Profa. Dra. Kátia Lopes Silva

Prof. M.Sc. Flávio de Oliveira Silva (Orientador)

Uberlândia

2007

A

Meus pais Flávio e Euzande, por todo apoio que recebi durante o curso e em toda minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu bondoso Deus.

Ao Flávio, meu professor e orientador de curso.

A toda a minha família e amigos.

## RESUMO

Pode-se notar no presente, um grande crescimento entre aparelhos portáteis e dos mais diversos tipos que utilizam comunicação sem fio para as mais diversas finalidades de uso, assim, proporcionando maior mobilidade, flexibilidade e praticidade. Com os computadores está acontecendo o mesmo, quando se tratam de comunicação em rede a curta e a longa distância. Com padrões para redes sem fio em total funcionamento para computadores, não podíamos de deixar de falar sobre o padrão IEEE 802.16d que atende os requisitos de aplicações multimídias com uma maior largura de banda, restrições de atraso e atendimento a um grande número de usuários a longas distâncias. Este trabalho apresenta o padrão para redes sem fio metropolitanas fixo conhecido como 802.16d, ratificado em julho de 2004 e teve os seus primeiros equipamentos homologados em janeiro de 2006 pelo laboratório espanhol Cetecom.

Os principais fornecedores de equipamentos WiMax “Fixo” no Brasil são: Aperto Networks, Alvarion, Redline Communications, Airspan e Siemens. Uma das grandes vantagens da tecnologia WiMax Fixo “explodir” no Brasil é o fato de poder operar em bandas de frequências Licenciadas (2,5 GHz e 3,5 GHz) e frequências Não Licenciadas (5,8 GHz). Os principais interesses dos fornecedores de equipamentos WiMax no mercado brasileiro e a grande divulgação da tecnologia são: a recente certificação de alguns equipamentos destes fornecedores para o WiMax Fixo, as operadoras de telecomunicações que já possuem licenças na faixa de 3,5 GHz (Embratel e Brasil Telecom), a banda de 2,5 GHz como recente anúncio do regulamento desta frequência pela ANATEL em fevereiro de 2006 e também as operadoras que vão competir pelas “sobras” de licenças de 3,5 GHz do leilão que será feito pela ANATEL (PRADO, 2007). A RFC para o padrão é definida como RFC 3344 e expandida nas RFC's 3519, 3543, 3583, 3776, 3846, 3947 e 3963.

Segundo o padrão 802.16d, as redes sem fio metropolitanas atenderão a todas as expectativas dos atuais projetos de rede e oferecendo qualidade de serviço. Será apresentado neste trabalho dados técnicos da tecnologia, exemplos de seu funcionamento e um planejamento de um projeto para a instalação da rede em qualquer local independente dos aspectos físicos que o lugar apresenta.

**Palavras-chave:** IEEE 802.16d, WiMax, Banda Larga Sem Fio.

## **ABSTRACT**

It can be noticed, a great growth between portable devices and of the most diverse types that use wireless communication for the most diverse purposes of use, thus, providing bigger mobility and flexibility. With the computers happens the same thing considering short and long distance communication. Standards for wireless communication are widely accepted and working for computers, we could not leave of saying on the IEEE standard 802.16d a new standard which takes care of the multimedia requirements of applications like a broadband, fewer restrictions of delay and attendance to a great number of users the long distances. This work presents a standard metropolitans wireless networks known as 802.16d. According to standard, these nets will take care of to all the expectations of the current network projects, offering quality of service. It will be presented, in this work, a technical vision of this standard, examples of its functioning and a planning of a project for the installation of the determined net in one local one.

## Lista de Figuras

FIGURA 1:	Zona de Fresnel .....	21
FIGURA 2:	Modelo propagação NLOS .....	22
FIGURA 3:	Localização de um assinante com NLOS .....	23
FIGURA 4:	Subportadoras de um sinal OFDM .....	24
FIGURA 5:	Espectros FDM e OFDM .....	25
FIGURA 6:	Arquitetura ponto a ponto .....	26
FIGURA 7:	Arquitetura ponto multiponto .....	27
FIGURA 8:	Arquitetura mesh .....	28
FIGURA 9:	Diferença entre SISO e MIMO .....	30
FIGURA 10:	Pilha de protocolos do padrão 802.16 .....	32
FIGURA 11:	Esquema de modulação do padrão 802.16 .....	35
FIGURA 12:	Quadros e slots de tempo para TDD .....	36
FIGURA 13:	Formato da sub camada MAC .....	37
FIGURA 14:	Formato MAC PDU .....	39
FIGURA 15:	Formato do cabeçalho genérico .....	40
FIGURA 16:	Formato do cabeçalho de requisição de largura de banda .....	41
FIGURA 17:	Torres WiMax .....	43
FIGURA 18:	WiMax com Wi-Fi .....	44
FIGURA 19:	Tipos de antenas WiMax .....	50

## Lista de Tabelas

TABELA 1:	Faixas de Frequências e sua características de operação para o padrão 802.16d .....	
TABELA 2:	Modulações utilizadas pelo padrão 802.16d .....	33

## **Lista de Abreviaturas e Símbolos**

ATM	Asynchronous Transfer Mode
CPE	Customer Premises Equipment
DES	Data Encryption Standard
DHCP	Host Configuration Protocol
DSL	Digital Subscriber Line
FDD	Frequency Division Duplexing
FDM	Frequency Division Multiplexed
FEC	Forward Error Corrector
GPS	Global Positioning System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
LAN's	Local Area Network
LMDS	Local Multipoint Distribution System
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MIMO	Multiple-Input, Multiple-Output
NLOS	Non Line of Sight
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PKM	Privacy Key Management
RLC	Radio Link Control
RSL	Receive Signal Levels
SDUs	Service Data Unit
SISO	Single-Input, Single-Output
SLA	Service Level Agreement
SNMP	Simple Network Management Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TFTP	Trivial file Transfer Protocol
VLANS	Virtual Local Area Network
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMax	Worldwide Interoperability of Microwave Access

WLL Wireless Local Loop

WMAN Wireless Metropolitan Area Network

# Sumário

<b>1. Introdução</b> .....	13
1.1. Redes Sem fio .....	13
1.2. Motivações .....	14
1.3. Objetivo .....	14
<b>2. Funcionamento da Rede WiMax</b> .....	15
2.1. Introdução .....	15
2.2. O Padrão 802.16 .....	16
2.2.1. Características da tecnologia .....	17
2.2.2. Propagação NLOS contra propagação LOS .....	18
2.3. Multiplexação .....	21
2.3.1. Transmissão FDM e OFDM .....	21
2.4. Determinando a Arquitetura de Rede .....	23
2.4.1. Arquitetura Ponto a Ponto .....	24
2.4.2. Arquitetura Ponto Multiponto .....	24
2.4.3. Arquitetura Mesh .....	25
2.5. Tipos de Antena .....	26
<b>3. Características Técnicas do Padrão 802.16d</b> .....	28
3.1. Introdução .....	28
3.2. Arquitetura da Pilha de Protocolos 802.16 .....	28
3.3. Camada Física .....	30
3.4. Camada MAC .....	33
3.4.1. Subcamada de Convergência .....	34
3.4.2. Subcamada da Parte Comum .....	35
3.4.2.1. Formato da PDU .....	36
3.4.3. Subcamada de Privacidade .....	38
3.5. Tecnologias (SISO e MIMO) .....	39
<b>4. Projetando uma Rede WiMax</b> .....	40
4.1. Introdução .....	40
4.2. Iniciando um projeto .....	42
4.3. Identificação o local para o projeto .....	43
4.4. Estudo do local para a torre .....	44

4.5. Instalação das Antenas .....	46
4.5.1. Antenas Broadband WiMax .....	47
4.6. Análise de Disposição dos Componentes .....	48
4.7. Teste de Cobertura e Monitoramento da Rede .....	49
4.7.1. Monitoramento da Instalação .....	50
4.7.2. Manutenção da Rede .....	50
<b>5. Conclusão</b> .....	<b>52</b>
Referências Bibliográficas .....	54

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1. Redes Sem Fio

Com o grande crescimento de padrões para a comunicação sem fio entre diversos tipos de equipamentos desde computadores até portáteis de mão, estas redes de comunicação sem fio ganharam popularidade pela mobilidade que provêem aos usuários e pela facilidade de transferência de dados. A tecnologia sem fio, muito conhecido no ramo da telefonia celular, teve uma boa aceitação em redes de computadores por oferecer mobilidade na comunicação em rede e praticidade na instalação por evitar o manuseio de cabos.

Atualmente o padrão mais utilizado para a transmissão de dados através do ar é o 802.11, conhecido como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) que permite a comunicação em curtas distâncias e com transmissão de dados de até 54Mbps. Este padrão é uma ótima solução para redes locais conhecidas como LAN's (*Local Area Network*), inclusive adotada em aeroportos, hotéis, universidades e residências oferecendo conexão a Internet em sua área de cobertura.

Com a grande utilização da comunicação sem fio entre computadores e dispositivos de rede nos mais diversos lugares, proporcionaram um grande crescimento em pesquisas para a criação de um novo padrão que atendesse não apenas a uma área local mais que abrangessem toda uma área metropolitana ou WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*).

Assim surgiu o padrão 802.16, conhecido como WiMax (*Worldwide Interoperability of Microwave Access*), que fornece sinal de rádio em longas distâncias em um raio de 50 Km sem precisar da linha de visada entre o emissor e o receptor, uma alta transmissão de dados de até 75Mbps e bandas de frequências que podem ser licenciadas ou não licenciadas. A transmissão do sinal sem linha de visada só é possível com a modulação OFDM que aproveita as construções de uma cidade para refletir os sinais até o seu destino. Também é possível a utilização da modulação LOS que requer o caminho livre para permitir uma transmissão eficiente, mas oferecendo um grande aumento na cobertura da célula WiMax. No quadro 1 são ilustradas as faixas de frequências e suas características de operação que foram obtidas em aplicações reais:

Faixa de Frequência	Características
2,5 GHz	<p>Frequência licenciada. Esta é a melhor frequência disponível para WiMAX no Brasil. É a mais baixa, então teremos os melhores alcances, exigindo uma menor quantidade de estações rádio-base para cobrir uma determinada área.</p> <p>Alcance com Linha de Visada (LOS) = 18 – 20 km</p> <p>Alcance sem Linha de Visada (NLOS) = 9 – 10 km</p>
3,5 GHz	<p>Frequência licenciada. Esta é a frequência disponível para WiMAX no Brasil, utilizada pelas operadoras e prestadoras de serviço de telecomunicações.</p> <p>Alcance com Linha de Visada (LOS) = 12 – 14 km</p> <p>Alcance sem Linha de Visada (NLOS) = 6 – 7 km</p>
5,8 GHz	<p>Frequência NÃO-licenciada. Esta é a frequência LIVRE disponível para WiMAX no Brasil, podendo ser utilizada por qualquer empresa prestadora de serviços. Por ser não licenciada, existe a possibilidade de interferências e congestionamento de frequências em áreas de grande densidade. É importante, pois não exige gastos com a aquisição de licenças, o que pode viabilizar o plano de negócio de muitas áreas no Brasil.</p> <p>Alcance com Linha de Visada (LOS) = 7 – 8 km</p> <p>Alcance sem Linha de Visada (NLOS) = 3 – 4 km</p>
10,5 GHz	<p>Frequência licenciada. Não existem ainda equipamentos de WiMAX para cobertura desta Frequência. O principal motivo é a necessidade de microcélulas, pois o poder de cobertura em grandes distâncias nesta frequência é baixo.</p>

**Tabela 1 – Faixas de Frequências e sua características de operação para o padrão 802.16d. Fonte: PRADO (2007)**

No Brasil a Intel assume um grande papel com os projetos pilotos das cidades digitais. A adição destas redes WiMax veio a fortalecer o futuro da tecnologia no país. Esses projetos pilotos foram realizados em cidades que apresentam aspectos físicos e geográficos diferentes, as cidades que o projeto piloto são: Brasília(DF), a cidade montanhosa de Ouro Preto(MG), no litoral Mangaratiba(RJ), em Belo Horizonte(MG) e a cidade de São Paulo(SP), (INTEL, 2007). Outras informações sobre o projeto piloto das cidades digitais, podem ser acessadas no site da Intel.

O WiMax Fórum, que é uma organização sem fins lucrativos é formado por empresas fabricante de equipamentos que tem por objetivo promover em larga escala a utilização desta rede.

Com uma breve descrição sobre a tecnologia de rede sem fio WiMax, será apresentado neste trabalho dados técnicos sobre tecnologia incluindo um projeto para o mesmo.

## **1.2. Motivações**

São motivações para este trabalho de final de curso:

- Obter conhecimento para elaboração de projetos de redes metropolitanas sem fio que independem dos aspectos físicos que o local apresenta assim contornando estes problemas;
- A identificação de problemas em tecnologias de comunicação sem fio que podem ser contornados com a utilização do WiMax Fixo, são problemas relacionados com a largura de banda do canal, técnicas de transmissão de sinais com baixa eficiência, barreiras físicas nos locais de operação da rede que limitam o alcance e potência do sinal e problemas de interferências no sinal causados pela faixa de frequência.
- Elaborar uma documentação em português divulgando o interesse pelo estudo da tecnologia em outras pessoas e apresentar uma nova solução para fornecimento de comunicação em banda larga;

- A certeza de que esta tecnologia será bastante explorada e utilizada pelo mercado corporativo como uma nova solução para o acesso a Internet, por se adaptar tão facilmente a diversos ambientes diferentes e como uma boa qualidade de serviço mesmo em lugares mais remotos, o que significa um grande avanço;

### **1.3. Objetivo**

Este trabalho apresenta um planejamento de projeto para a implementação de redes metropolitanas com a tecnologia WiMax Fixo, independentemente dos aspectos físicos encontrados no local e oferecendo serviço de banda larga sem fio. Suas características e aplicabilidades também serão apresentadas neste trabalho para oferecer ao leitor um melhor conhecimento e entendimento de funcionamento do padrão 802.16d, com o intuito de eliminação de qualquer dúvida quanto a esta tecnologia.

Serão apresentados no trabalho, procedimentos para analisar uma real possibilidade de implementação dessa rede de comunicação em constante crescimento, que poderá ser aplicada em qualquer localidade possibilitando uma boa comunicação com ou sem linha de visada.

O trabalho está organizado da seguinte forma. O capítulo 1 apresenta informações necessárias sobre redes WiMax no padrão fixo e o conteúdo que será abordado durante o decorrer do trabalho. No capítulo 2 é apresentado o modo de operação da rede WiMax, características do padrão 802.16d e as tecnologias utilizadas em conjunto para sua operação. Também são abordados problemas comuns encontrados nas tecnologias de comunicação sem fio atuais como o tipo de modulação, multiplexação dos dados, frequências e padrões de antenas. O capítulo 3 descreve as características técnicas do padrão 802.16d, como o formato da pilha de protocolos e serviços oferecidos pelas camadas e sub-camadas. O capítulo 4 apresenta o planejamento de projeto para redes WiMax no padrão 802.16d ou fixo, onde são apresentados procedimentos e análises para a aplicação de uma real possibilidade de rede. E o sexto capítulo conclui todo o desenvolvimento do trabalho.

## Capítulo 2

### Funcionamento da Rede WiMax

#### 2.1. Introdução

As soluções até recentemente encontradas para transmissão de dados sem fio são bastante limitadas quando se fala em largura de banda, alcance e principalmente transmissão sem interferência. A partir destes problemas que surgiu a tecnologia WiMax, que veio para solucionar tais barreiras encontradas nas tecnologias anteriores como também oferecer acesso (*broadband*) banda larga sem fio.

Com o fornecimento de acesso a banda larga sem fio a longa distância, a sua distribuição fica bem mais rápida, o escalonamento fica mais flexível, podendo oferecer o serviço de Internet em lugares remotos e áreas rurais com as mesmas disponibilidades de um acesso DSL (*Digital Subscriber Line*).

O serviço de acesso *broadband* tem o seu funcionamento bem parecido como as de sistemas celulares, usam-se estações bases que tem como alcance uma faixa de vários quilômetros que atende vários usuários e organizações que utilizam o serviço WiMax. As estações WiMax, não precisam ser obrigatoriamente instaladas em torres para obter um bom funcionamento. Elas podem ser instaladas em lugares com uma estrutura elevada como no terraço de um edifício ou em um telhado de uma casa no que se localiza em um ponto alto de uma cidade. E no lado do cliente usa-se uma estrutura similar a de uma TV por assinatura para a conexão com a antena de transmissão.

Mas o grande diferencial do WiMax em frente das outras tecnologias é o fato de ser um padrão aberto, que possibilitará a fabricação de equipamentos interoperáveis e significativamente mais baratos (BROERSMA, 2005).

## 2.2. O Padrão 802.16

O padrão 802.16 oficializado em 2004 pelo IEEE representa um conjunto de especificações para a implementação de redes metropolitanas sem fio através de ondas de rádio.

A tecnologia WiMax é conhecida pelos padrões: IEEE 802.16d que é um padrão ratificado para implementação de redes sem fio à banda larga fixa a longa distância (WiMax Fixo) onde os receptores se localizam em locais fixos sem a possibilidade de se locomoverem de um lugar para outro e o padrão IEEE 802.16e, ratificado em 2005, como acesso sem fio a banda larga móvel (WiMax Móvel), oferecendo mobilidade nas comunicações através da recepção de sinais de rádio enquanto as partes estão se locomovendo de um lugar para outro, habilitando os usuários a fazerem roaming entre as áreas de serviço.

Por ser uma tecnologia que se comunica com centenas de estações estacionárias de assinantes, ela utiliza tecnologias como WLL (*Wireless Local Loop*) e LMDS (*Local Multipoint Distribution System*) para fornecer serviços de voz, dados, Internet e vídeos em banda larga, utilizando uma arquitetura de rede similar às redes que são utilizadas por sistemas de celulares.

A tecnologia WLL é conhecida como acesso fixo sem fio que utiliza a radiofrequência para prover a comunicação de um terminal fixo sem fio telefônico a uma estação base receptora para a comunicação com a central telefônica. Essa comunicação é feita através de um equipamento de rádio ligado ao telefone fixo e uma estação base que converte os sinais de rádio em sinais compreensíveis para a central telefônica (PINHEIRO, 2005). Por ser uma tecnologia mais nova, o LMDS trabalha com transmissão ponto-multiponto oferecendo os mesmos serviços de comunicações que o WLL oferece, mas distribuindo o seu sinal de radiofrequência para vários receptores fixos oferecendo transmissão de dados, áudio e vídeo (Erriquez, Paschoal, 2005).

Sendo uma tecnologia escalável é possível aumentar a capacidade do sinal em um determinado local em um breve período de tempo utilizando a conexão de uma antena com uma outra, conhecido como topologia ponto-a-ponto.

O padrão 802.16d possibilita a conexão sem linha de visada direta pela utilização da propagação NLOS (*Non Line of Sight*) e modulação OFDM (Multiplexação por divisão de frequências ortogonais), isso significa que as barreiras existentes no caminho entre o emissor e o receptor, como por exemplo, edifícios e árvores, não impedirão a comunicação o que vem ser um grande avanço quando comparado com tecnologias que utilizam transmissões de rádio

e que necessitam de linha de visada para a comunicação. Com isso o WiMax permite que vários clientes sejam conectados a uma única torre de transmissão reduzindo assim o custo do serviço.

A tecnologia WiMax possibilita o uso da topologia em malha (*mesh*) permitindo que os dados passem de um ponto para o outro no caso de obstáculos com montanhas ou até mesmo se uma estação base estiver com defeito, permitindo assim o pleno funcionamento.

Como esta tecnologia foi projetada para trabalhar sem linha de visada os seus sinais de rádio transmitidos são refletidos em prédios e paredes para que este sinal possa chegar ao seu destino. A modulação utilizada pelo padrão 802.16d para oferecer este tipo de comunicação e resolver o problema de linha de visada é o OFDM. Esta modulação, ao contrario do FDM (Multiplexação por divisão de frequências), não transmite apenas uma única portadora, mas consiste na transmissão paralela de dados em diversas portadoras o que ocorre ao contrário da tecnologia FDM que para transmitir sinais simultaneamente depende da frequência da portadora e da largura do canal.

A tecnologia WiMax foi projetada para oferecer a comunicação sem fio em distâncias longas que podem chegar num raio de 50 Km de distância. Mesmo com esta distância, a diferença entre usuários mais próximos contra os usuários mais distantes passa a ser significativa para a tecnologia, na qual ela garante que mesmo com essas diferenças de atrasos para os usuários mais distantes todos os usuários sejam atendidos com a qualidade de serviço contratada (FORUM WIMAX, 2005).

### 2.2.1. Características da tecnologia

Operando em velocidades mais altas que outras redes sem fio, o WiMax pode atingir em sua taxa de transmissão a faixa de 70 Mbits e distâncias de até 50 Km, assim o WiMax abrange um número maior de usuários em relação à tecnologia Wi-fi, ampliando a sua cobertura em áreas mais remotas.

Um sistema WiMax consiste em duas partes:

- **Uma torre WiMax** – similar a uma torre de telefone celular, usada para emitir os dados para os seus clientes. Conhecida como estação base.
- **Um receptor WiMax** – que é parecida como uma antena de TV por assinatura também conhecida como CPE (*Customer Premises Equipment*).

Uma torre emissora ou estação base é conectada diretamente a um backbone usando uma elevada taxa de banda que será distribuída entre vários usuários, oferecendo uma conexão ponto-multi-ponto. Podemos também conectar uma torre WiMax com uma outra torre, fazendo uma conexão ponto-a-ponto para disponibilizar a comunicação em lugares ainda mais distantes. Introduz suporte para CPE indoor NLOS, que são equipamentos para serem utilizados em ambientes fechados e que não necessitam de linha de visada direta.

O padrão 802.16 trabalha com faixas licenciadas e faixas não licenciadas, e ambas as faixas tem suas vantagens e desvantagens, o que cabe a análise de custo/benefício para definir a melhor escolha para o projeto de rede.

Para que os sinais de rádio permaneçam livres de qualquer interferência, as frequências utilizadas precisam ser planejadas e controladas. E esse controle de frequência é feito através da licença da banda de frequência.

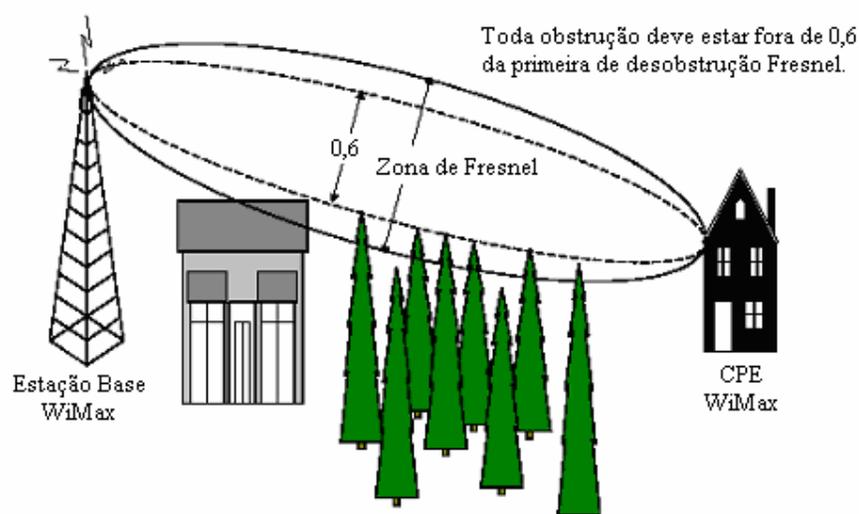
As bandas licenciadas oferecidas pelos órgãos como a Anatel do Brasil ou a FCC dos EUA, permitem uma faixa livre de interferências, com um melhor desempenho em comparação as bandas não licenciadas, entretanto, para a utilização da frequência faz-se necessário a sua regulamentação.

Ao contrário das bandas licenciadas, as bandas não licenciadas têm o problema de sofrerem interferências. Hoje existem muitos produtos que operam com a mesma faixa de frequência, podendo causar interferências e comprometer a performance do sinal ou até parar o serviço. O custo de utilização da banda não licenciada é zero (PRADO, 2006).

O padrão 802.16 determinou que focará os procedimentos de teste e submissão e interoperabilidade em equipamentos que suportam a camada física OFDM 256 e operam em faixas licenciadas de 2.5GHz e 3.5GHz e na faixa não licenciada de 5.8GHz.

### **2.2.2. Propagação NLOS contra propagação LOS**

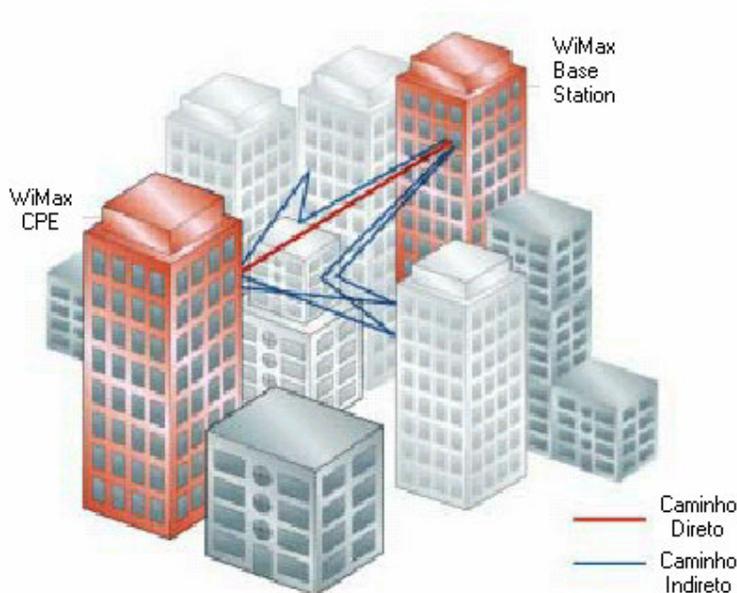
O canal de rádio de um sistema de comunicação sem fio é descrito como sendo LOS (*Line of Sight*), ou NLOS. Em um link com o protocolo LOS, o sinal de rádio viaja sobre um caminho direto e desobstruído do transmissor para o receptor. Um link LOS requer que a zona de Fresnel que é uma linha imaginária entre o emissor e o receptor esteja totalmente livre, sem nenhum tipo de obstrução para que ocorra às condições prévias de visada direta, conforme mostrado na figura 1 (FORUM WIMAX, 2005).



**Figura 1 – Zona de Fresnel (LOS). Fonte: (FORUM WIMAX)**

Na imagem acima o campo dentro do círculo é chamada de Zona de Fresnel. Quanto este campo estiver mais limpo de obstruções melhor será o sinal. Obstáculos entrando na zona de Fresnel como estes pinheiros, podem prejudicar o sinal. Um corte na zona de Fresnel de até 20% permite o tráfego aceitável, mas se a zona for comprometida com mais de 20%, o sinal fica mais fraco não permitindo uma comunicação eficiente entre o emissor e o receptor.

Em um link NLOS, o sinal localiza o receptor através de reflexões, difusão e difração. Os sinais que chegam aos receptores consistem em componentes do caminho direto, reflexão múltipla de caminhos, energia difundida e caminhos diferentes de propagação. Estes sinais diferem expansões de atrasos, atenuação, polarizações e estabilidade relativa para o caminho direto (FORUM WIMAX, 2005). A figura 2 apresenta a propagação do protocolo NLOS.

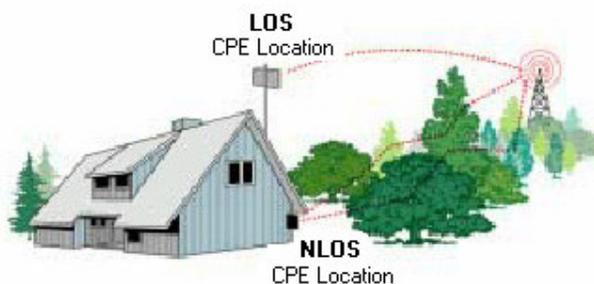


**Figura 2 – modelo propagação NLOS. Fonte: (FORUM WIMAX)**

O fenômeno de múltiplos caminhos pode causar a mudança na polarização do sinal. Assim a polarização usa meios de ré-uso da frequência, como é feito normalmente em desenvolvimentos LOS podem ser problemáticos em aplicações NLOS.

A vantagem de prover serviços em condições NLOS é poder utilizar múltiplos caminhos para a emissão de sinais em um sistema de rádio. Um produto que somente aumenta o poder para penetrar nas obstruções (*Near Line of Sight*) não é uma tecnologia NLOS, porque esta aproximação ainda confia em um caminho direto sem usar energia nos sinais indiretos.

Há várias vantagens que fazem o desenvolvimento NLOS desejável. Por exemplo, rígidas exigências no planejamento e restrições de altura nas antenas, não permitem frequentemente que as antenas sejam posicionadas para LOS. Para amplos desenvolvimentos contíguos de celulares, aonde é crítico o ré uso de frequência, abaixar a antena é vantajoso para reduzir o canal de interferência de células locais adjacentes. Sistemas LOS não podem reduzir a altura da antena porque com a redução tiraria a linha de visada do cliente para a estação base. A figura 3 mostra a diferença na comunicação LOS com a NLOS de um CPE com uma estação base.



**Figura 3 – Localização de um assinante com NLOS. Fonte: (FORUM WIMAX)**

### **2.3. Multiplexação**

Para que ocorra a comunicação sem linha de visada, o padrão 802.16d utiliza um protocolo para multiplexação dos sinais a serem enviados. Antes de o sinal ser enviado para o receptor ocorre a multiplexação, que é um processo que possibilita que vários sinais sejam enviados ao mesmo tempo em um mesmo canal.

A modulação FDM não é utilizada pelo padrão 802.16d pelo fato desta modulação esperar que um sinal seja totalmente transmitido para que em seguida o outro sinal possa ser enviado para o receptor.

O protocolo OFDM é utilizado pelo padrão 802.16 e trabalha com sobreposição espectral de subportadoras sem que estes interferissem uns com os outros.

#### **2.3.1. Transmissão FDM e OFDM**

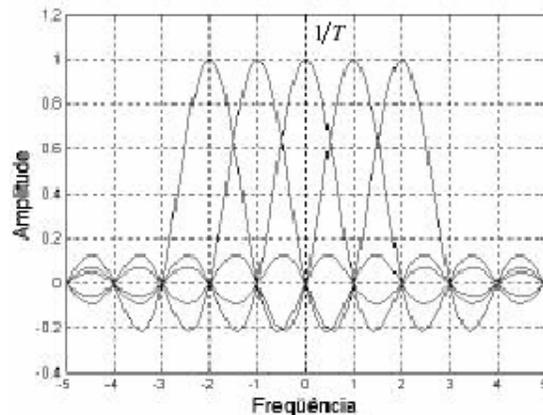
A modulação OFDM surgiu através da técnica convencional, já utilizada em outras tecnologias que é conhecida como FDM. A tecnologia FDM utiliza bandas de guarda para a separação das subportadoras na recepção do sinal, enquanto, a tecnologia OFDM trabalha com partículas de sobreposição espectral de subportadoras.

Esta técnica de transmissão OFDM vem sendo particularmente considerada para ser utilizada em radiodifusão, em transmissões digitais em linhas de telefones e em redes sem fio.

A técnica OFDM traz como vantagem trabalhar-se como uma segunda dimensão, o domínio da frequência, o qual permite obter ganhos adicionais na utilização de técnicas de melhoria do sinal.

Num sistema convencional de transmissão, os símbolos são enviados em seqüência através de uma única portadora, cujo espectro ocupa toda a faixa de freqüência disponível. A técnica OFDM consiste na transmissão paralela de dados em diversas subportadoras com modulação.

Num sistema OFDM o espaçamento entre subportadoras é cuidadosamente selecionado de forma que cada subportadora seja locada em pontos de cruzamentos de zero do espectro das demais, conforme é ilustrado na figura 4 (PINTO, 2005).

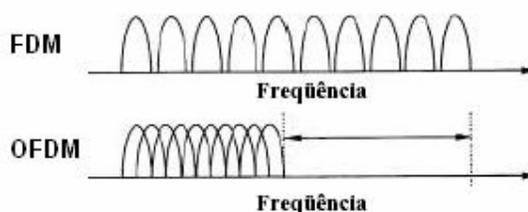


**Figura 4 – Subportadoras de um sinal OFDM. Fonte: PINTO (2005)**

Embora exista sobreposição espectral de subportadoras moduladas, a informação conduzida por cada uma delas poderá ser isolada das demais através de um correlador ou filtro casado adequado.

Admitindo sincronização de relógio, a saída deste correlador corresponderá à projeção do sinal OFDM recebido sobre as subportadoras a ele associada. É possível mostrar que tal projeção depende apenas da informação conduzida por esta subportadora. Assim existe ortogonalidade entre as subportadoras, a qual se deve ao espaçamento de freqüência empregado. Então para que se tenha ortogonalidade entre os subcanais na recepção, é necessário que as subportadoras estejam centradas nas respectivas freqüências dos subcanais OFDM, além de se ter à devida sincronização de relógio.

Cabe notar que esta sobreposição espectral particular produz uma economia significativa de banda relativamente quando se compara à técnica FDM tradicional, que é mostrada na figura 5 (PINTO, 2005).



**Figura 5 - Espectros FDM e OFDM. Fonte: PINTO (2005)**

Em princípio a geração direta e a demodulação do sinal OFDM requerem conjuntos de osciladores coerentes para que ocorra o processo

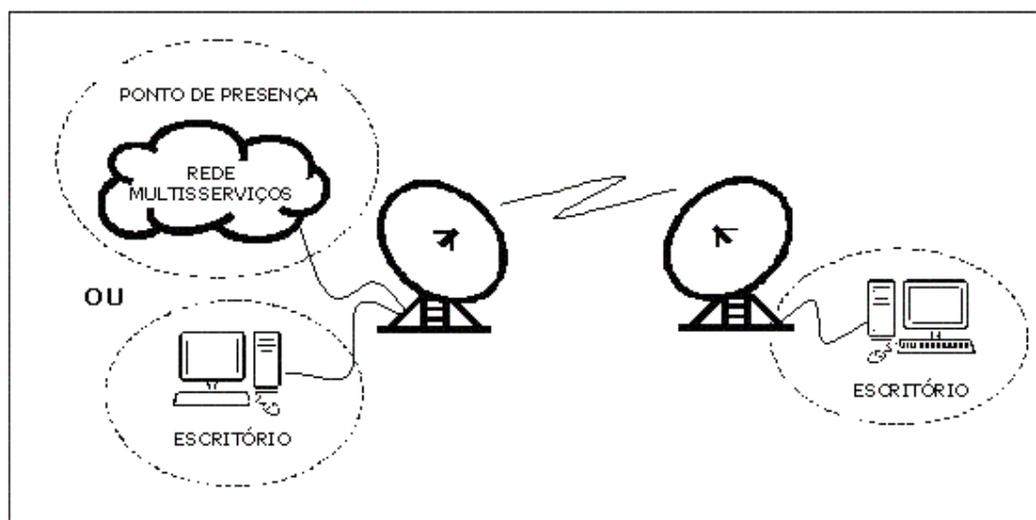
Embora a técnica OFDM é conhecida pelo termo de multiplexação, deve-se ter em mente que não ocorre multiplexação, mas sim a transmissão paralela de uma seqüência de bits originalmente única (PINTO, 2005).

## 2.4. Determinando a Arquitetura de Rede

O padrão IEEE 802.16d foi projetado para suportar vários tipos de arquitetura de redes, e a arquitetura a ser utilizada no projeto deve ser decidida logo no início. As arquiteturas suportadas são: a arquitetura ponto-a-ponto, ponto-multiponto e a arquitetura *mesh*. Também é possível utilizar arquiteturas híbridas que consiste em utilizar uma ou mais topologias. Assim definir a arquitetura a ser utilizada em um projeto é extremamente importante na hora da implantação da rede WiMax, pois se torna importante saber as características de cada arquitetura a fim de avaliar qual será a melhor escolha para o projeto.

### 2.4.1. Arquitetura Ponto a Ponto

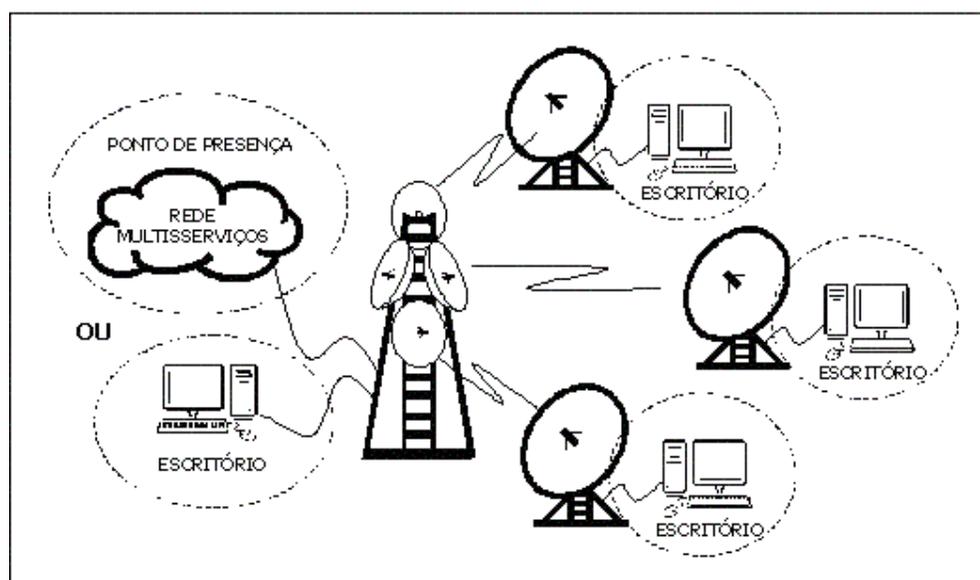
Na arquitetura ponto a ponto serão utilizadas duas antenas de rádio onde estarão interligando dois pontos. Na arquitetura ponto a ponto ela atende isoladamente a um único usuário interligado, por exemplo, a matriz e a filial de uma empresa, como também para servir uma solução de última milha para atender um usuário a partir de um Ponto de Presença de uma rede multiserviços (OLIVEIRA, 2005). Esta arquitetura é menos escalável, visto que, há pouca facilidade de adição de novos nós na rede, mas existe uma maior banda passante nesta solução. A figura 6 apresenta o funcionamento da arquitetura ponto a ponto.



**Figura 6 – Arquitetura ponto a ponto. Fonte: OLIVEIRA (2005)**

#### **2.4.2. Arquitetura Ponto-Multiponto**

Na arquitetura ponto-multiponto, a rede implantada permitirá que a rede alcance vários assinantes, limitando o número de roteadores, *switches* e outros equipamentos que são necessários para o funcionamento de uma rede cabeada. Na arquitetura ponto-multiponto, vários usuários são atendidos simultaneamente a partir de um ponto base que é posicionado estrategicamente (OLIVEIRA, 2005). Este ponto base cobre uma área aonde será oferecido o serviço aos assinantes, reduzindo custos e oferecendo uma maior facilidade no caso de adição de nós (clientes ou CPE), mas com menor banda passante. A figura 7 apresenta o funcionamento da arquitetura ponto-multiponto.



**Figura 7 – Arquitetura ponto multiponto. Fonte: OLIVEIRA (2005)**

Na arquitetura Ponto Multiponto, são formadas células que podem utilizar antenas do tipo onidirecional (360°) ou setorial. O ângulo de abrangência da antena setorial pode ser de 30°, 60°, 90° ou 120° dependendo da área de cobertura. Estas células podem ser configuradas para trabalhar com várias antenas posicionadas sequencialmente formando-se setores consecutivos proporcionando uma grande à de cobertura do sinal (OLIVEIRA, 2005).

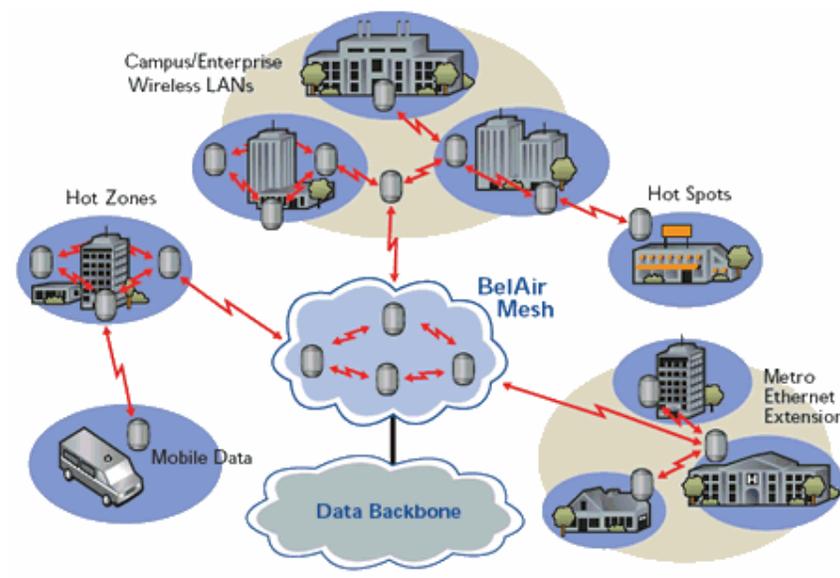
As antenas onidirecionais apresentam uma maior facilidade uso, isso porque elas não precisam ser direcionadas uma com as outras, o que ocorre com as antenas setoriais. Estas antenas são utilizadas tanto nas estações bases emissoras como nas receptoras. O seu funcionamento não permite enlace muito longo, mas podem ser instalados amplificadores externos para aumentar a sua capacidade de enlace.

### 2.4.3. Arquitetura Mesh

A arquitetura *mesh* é bem parecida com a arquitetura ponto multiponto, mas existe uma diferença entre as duas. A diferença esta no modo de operação entre as duas arquiteturas. Enquanto que na tecnologia ponto multiponto o tráfego ocorre entre a estação base e os assinantes e vice-versa, na arquitetura mesh o trafego pode ser roteado através de outros

assinantes como também pode ocorrer diretamente entre os assinantes, aonde cada assinante funciona como uma estação ou um “nó” repetidor.

Com esta capacidade de comunicação por "nós", se cria uma rede com várias rotas alternativas, evitando assim os pontos de congestionamento, aprimorando ainda mais o desempenho da rede com a adição de novos clientes. A figura 8 apresenta o funcionamento da arquitetura mesh. A arquitetura mesh oferece redundância e maior confiabilidade, mas é a arquitetura mais cara de se construir porque cada nó ou cliente da rede requer um roteador.



**Figura 8 – Arquitetura mesh. Fonte: TEIXEIRA (2006)**

## 2.5. Tipo de Antenas

As antenas utilizadas em redes sem fio são divididas em direcionais e onidirecionais.

As antenas direcionais são antenas que focalizam o sinal em uma direção específica, enviando o sinal a uma certa zona de cobertura, um ângulo determinado, fazendo com que estas antenas tenham um grande alcance. Essas antenas são utilizadas para levar sinais a longas distâncias, tais como edifício para edifício.

As antenas direcionais são conhecidas como:

- Setorizadas: são antenas projetadas para dividir a área de cobertura circular em setores, com o ângulo de abrangência que pode ser de 30°, 60°, 90° ou 120° graus, a fim de facilitar a alocação e o reuso. Geralmente as antenas setorizadas são utilizadas em arquitetura ponto multiponto (OLIVEIRA, 2005).
- Parabólicas: são antenas usadas principalmente em transmissões via satélite.

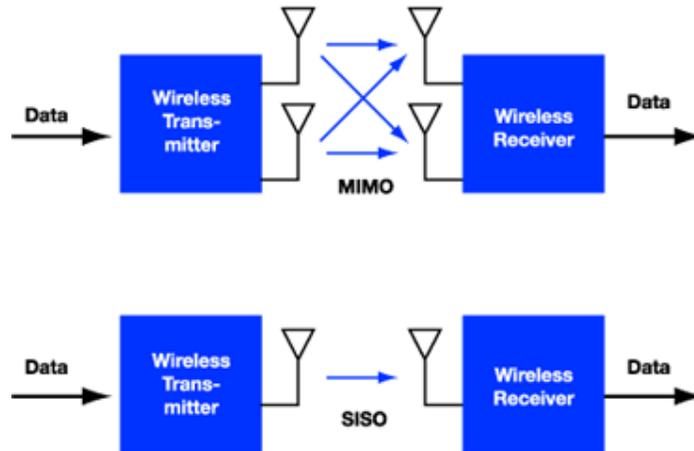
As antenas onidirecionais enviam sinais em todas as direções, 360 graus, sendo possível estabelecer comunicação independentemente do ponto em que se está. Em contrapartida, o alcance destas antenas é menor em relação às antenas direcionais.

Geralmente as antenas onidirecionais são utilizadas em redes onde a mobilidade é requerida, no caso em celulares e em redes sem fio locais padrão 802.11. Sistemas mesh utilizam antenas onidirecionais, mas podem fazer a utilização de antenas setoriais.

## **2.6. Tecnologias (SISO e MIMO)**

As transmissões ocorridas em TV e rádio usam um sistema tradicional de comunicação. Neste caso uma antena transmite o sinal e uma segunda o recebe. Este tipo de configuração é chamado de SISO (*Single-Input, Single-Output*) (INTEL MAGAZINE, 2006).

As novas tecnologias de transmissão à rádio estão estudando modelos nos quais as transmissões e recepções usam múltiplas antenas em ambos os lados da comunicação que é um método chamado MIMO (*Multiple-Input, Multiple-Output*). Abaixo a figura 16 apresenta a diferença entre as antenas SISO e MIMO (INTEL MAGAZINE, 2006).



**Figura 9 – Diferença entre SISO e MIMO. Fonte: INTEL MAGAZINE (2006)**

Tendo a lógica de processamento do sinal extremamente complexo, essas antenas são conhecidas como *smart* (inteligentes). O princípio básico das antenas *smart* é que cada antena recebe um sinal separado e distinto. Dependendo de como cada sistema sem fio é configurado, o receptor pode usar um sinal para melhorar a qualidade de outro sinal, ou pode combinar os dados de múltiplos sinais para aumentar a largura de banda (INTEL MAGAZINE, 2006).

As tecnologias que comparam a qualidade dos sinais a partir de duas antenas e escolhem a mais forte aumentam bastante a qualidade do sinal (INTEL MAGAZINE, 2006).

O padrão 802.16d suporta esquemas de antenas inteligentes (MIMO) permitindo um maior alcance e uma melhor potência da antena.

## Capítulo 3

### Características Técnicas do Padrão 802.16d

#### 3.1. Introdução

O padrão 802.16d, definido em 2001 e aprovado no ano de 2002, determinando a especificação de redes metropolitanas sem fio.

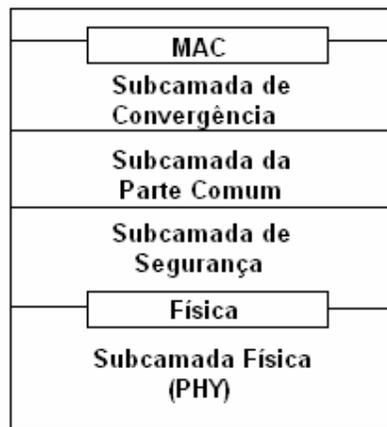
Por ser caracterizado por suas altas taxas de transferências de dados transmitindo em bandas licenciadas e não licenciadas, suporta centenas de estações estacionárias de usuários e pode utilizar a tecnologia ponto-multiponto como também a ponto-a-ponto e a mesh.

O protocolo MAC (*Camada de Acesso ao Meio*) que é utilizado pelo padrão 802.16 suporta vários tipos de protocolos para tráfego, inclusive a tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) como também protocolos que são baseados em pacotes, suportando de forma eficiente quaisquer tipos de tráfego. Outro diferencial desta tecnologia é o suporte de qualidade de serviço (QoS) e por ser totalmente orientado a conexões a fim de garantir qualidade de serviço na comunicação.

O mecanismo de requisição e de concessão de largura de banda foi projetado para ser escalonável, eficiente e auto corretivo, sem perder a eficiência (EKLUND, 2006).

#### 3.2. Arquitetura da Pilha de Protocolos 802.16

A pilha de protocolos do padrão 802.16 é semelhante às outras pilhas de outros padrões 802, só que possui uma característica diferente, ela possui um a maior número de subcamadas. A estrutura da pilha de protocolos do padrão 802.16 é formada pela camada física (PHY) e pela camada de acesso ao meio (MAC). A figura 9 mostra a pilha de protocolos 802.16.



**Figura 10 – Pilha de protocolos do Padrão 802.16**

A camada física que é a camada inferior provê vários tipos de serviços como:

- Espectro de frequência;
- Modulação;
- Técnicas de correção de erros;
- Sincronização entre o emissor e o receptor;
- Taxa de dados;
- Multiplexação;

A camada física define vários tipos de modulação que se diferem na distância entre o emissor e o receptor como também o problema com relação entre sinal/ruído.

Acima da camada física encontram-se as funções da camada (MAC):

- Transmissão de Dados;
- Controle de acesso ao meio;

Por serem funções de serviços oferecidos aos usuários, estes são agrupados dentro da camada de acesso ao meio (MAC). O protocolo MAC define como e quando acontecerá o início da transmissão do canal tanto da estação base para os assinantes, como ao contrário.

Quando ocorre a transmissão da estação base para os assinantes, que são os usuários finais (*downlink*), só existe um transmissor que é a estação base, então temos um protocolo MAC relativamente simples. Quando a transmissão é o inverso, no caso dos clientes para a estação base (*uplink*), a situação muda um pouco pela existência de múltiplos assinantes que competem pelo acesso, resultando assim em um protocolo mais complexo.

A camada MAC possui três subcamadas que são:

- Subcamada de segurança;
- Subcamada da parte comum;
- Subcamada de convergência específica ao serviço;

A subcamada de segurança oferece o serviço de privacidade e segurança. Na subcamada da parte comum estão localizados os principais protocolos como o de gerenciamento de canais. A subcamada de convergência de serviços específicos prove os serviços a serem oferecidos, como definir também a interface entre a camada MAC para a camada de rede. Os serviços oferecidos pelo wimax são: *multicast* de áudio e vídeo digital, telefonia digital, suporte ao TCP/IP, ATM e Frame Relay (EKLUND, 2006).

### 3.3. Camada Física

O projeto de especificação da camada física para faixa de 10-66 Ghz utiliza modulação de portadora única (*Single Carrier*) com uma taxa de transmissão de até 134,4 Mbps (EKLUND, 2006). As microondas nesta faixa de frequências se propagam em linha reta, fazendo com que seja necessária à propagação com linha de visada, algo que é possível em faixa de frequências mais baixas 2-10 Ghz.

Outra consequência disto é que as microondas podem ser concentradas em feixes direcionais. Deste modo, uma mesma estação base pode direcionar várias antenas para diferentes setores com grande independência.

Devido às grandes distâncias cobertas por uma rede metropolitana, a potência recebida na estação base pode variar significativamente de estação para estação, fazendo com que a relação sinal/ruído diminua. Por isso, são utilizados esquemas de modulação diferentes.

A modulação adaptativa permite que o sistema WiMax ajuste o esquema de modulação, dependendo do sinal com relação ao ruído (SNR) com a condição de qualidade do link. Neste esquema, a modulação é ajustada dependendo da condição do link. Quando o link possui alta qualidade, é usado o esquema de modulação mais elevado. Quando ocorre atenuação no sinal do link, o padrão pode alterar o esquema de modulação a fim de manter a qualidade da conexão e estabilidade do link. A modulação é modificada em relação à distância entre o emissor e o receptor. No caso os assinantes mais próximos utilizam uma modulação mais elevada, o contrário dos mais distantes que utilizam a modulação mais baixa.

A modulação PSK (*Phase Shift Keying*) consiste o chaveamento de onda portadora. Este tipo de modulação é bastante ineficiente em termos de qualidade de bits transmitidos por largura de banda, e para reduzir esta ineficiência utilizam-se modulações PSK multiníveis (MIYOSHI, 2002). Existem dois tipos de modulação PSK:

- Modulação 4PSK – 2 bits;
- Modulação 8PSK – 3 bits;

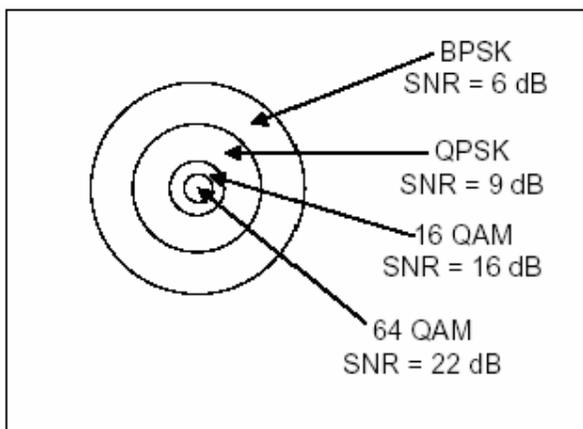
A modulação QAM (Quadrature Amplitude Modulation) é caracterizada pela superposição de duas portadoras em quadratura moduladas em amplitude. Utilizam-se normalmente modulações multiníveis para atingir uma boa eficiência espectral que corresponde a 4 bits (16QAM), (MIYOSHI, 2002). Existem, portanto três tipos de modulação QAM:

- Modulação 16QAM – 4 bits;
- Modulação 64QAM – 6 bits;
- Modulação 128QAM – 7bits;

<b>Modulações Utilizadas</b>	
QAM-64	Distâncias Menores
QAM-16	Distâncias Médias
PSK	Distâncias Longas

**Tabela 2 – Modulações utilizadas pelo padrão 802.16d. Fonte: FORUM WIMAX (2005)**

A faixa de atuação de cada esquema é mostrada na figura 10.



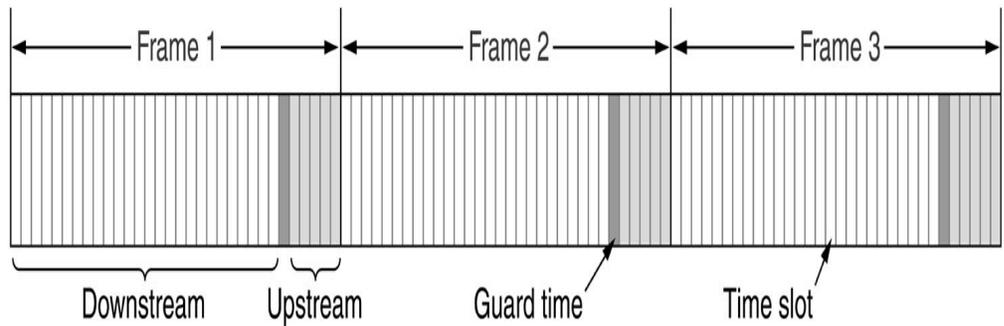
**Figura 11 – Esquema de modulação do padrão 802.16d. Fonte: FORUM WIMAX (2005)**

O método de modulação pode ser ajustado quase instantaneamente às mudanças nas condições do link para se obter uma melhor transferência de dados. Essa modulação adaptável permite o uso eficiente da banda prestada para os assinantes.

A multiplexação dos sinais transmitidos da estação base para o assinante é feita por TDM (*Time Division Multiplexing*) e o acesso dos assinantes à estação base é por TDMA (*Time Division Multiple Access*).

Para que seja possível alocar banda de modo flexível, são usados dois tipos de duplexação: a FDD (*Frequency Division Duplexing*) e a TDD (*Time Division Duplexing*). Na primeira, o uplink e o downlink estão em canais separados, podendo operar simultaneamente, enquanto que, no segundo, o canal é dividido, não permitindo a transmissão simultânea.

Na TDD, a estação base transmite quadros periodicamente. Cada quadro é formado por slots de tempo, sendo que os primeiros destinam-se ao tráfego downstream. Antes dos slots para tráfego upstream, há um tempo de proteção, durante o qual as estações comutam o sentido (LELLO, 2006). Quadros e slots de tempo TDD são ilustrados na figura 11.



**Figura 12 – Quadros e slots de tempo para TDD. Fonte: MIYOSHI (2002)**

O número de slots alocados pode ser alterado dinamicamente. Essa flexibilidade permite que haja eficiência em aplicações com diferentes exigências. Por exemplo, na transmissão de voz o tráfego é praticamente simétrico, enquanto que para o acesso a Internet o tráfego downstream é, em geral, maior que o upstream.

Há suporte tanto para assinantes full-duplex FDD quanto para half-duplex FDD. A implementação da última, que é mais complexa, justifica-se por evitar desperdício de banda, já que muitas aplicações não exigem transmissão e recepção simultâneas (LELLO, 2006).

O padrão utiliza um recurso para correção de erros, conhecida como FEC (*Forward Error Corrector*), que é destinada à correção de erros sem a necessidade de retransmissão da mensagem. O FEC utiliza códigos que contêm redundância suficiente para permitir a detecção e correção de erros no receptor, sem requerer a retransmissão da mensagem. A técnica de correção de erros utilizada é a Reed-Solomon GF (256), (EKLUND, 2006).

### 3.4. Camada MAC

Acima da camada física se encontra a camada de controle de acesso ao meio (MAC), nela se encontra as funções de fornecimento de serviços para o usuário de rede. A camada de controle de acesso ao meio é composta de três subcamadas que são:

- Subcamada da segurança;
- Subcamada da parte comum;
- Subcamada de convergência específica ao serviço;

O formato das subcamadas é apresentado na figura 12.



**Figura 13 – formato da subcamada MAC. Fonte: EKLUND (2006)**

A subcamada de convergência realiza a comunicação com as interfaces superiores e se encontra acima da subcamada parte comum que realiza as funções-chave da MAC. Logo abaixo da subcamada parte comum, se localiza a subcamada de privacidade que é específica para autenticação e privacidade (EKLUND, 2006).

A camada de acesso ao meio (MAC) exercer funções relacionadas ao controle de acesso para determinar quais as estações acessam a rede e transmissão de dados para os serviços atribuídos.

O protocolo MAC trabalha com altas taxas de bits, tanto para *uplink*, como para *downlink*. Os algoritmos de acesso e alocação de banda reservam centenas de terminais por canal, sendo que cada terminal pode ser compartilhado por múltiplos usuários (EKLUND, 2006).

### **3.4.1. Subcamada Convergência**

O padrão IEEE 802.16 define dois tipos de serviços específicos para a subcamada de convergência para 802.16d.

A subcamada de convergência ATM é definida para serviços ATM e a subcamada de convergência de pacotes é definida para mapear serviços de pacotes como Ipv4, Ipv6, Ethernet e VLANS (*Virtual Local Area Network*). A primeira tarefa da subcamada de convergência é dividir as SDUs (*Service Data Unit*), que são camadas utilizadas em todas as arquiteturas de redes que contém pequenos dados, entre as conexões MAC apropriadas, preservando ou ativando a QoS e permitindo uma transmissão confiável e transparente para os usuários.

Em adição a estas funções básicas, a subcamada de convergência também pode realizar funções mais sofisticadas como supressão e reconstrução de cabeçalhos de carga útil, para melhorar a eficiência do link aéreo (EKLUND, 2006).

### 3.4.2. Subcamada da Parte Comum

A camada MAC do padrão IEEE 802.16d é orientada a conexão. Todos os serviços, incluindo os inerentemente sem conexão, são mapeados para uma conexão. Isto provê um mecanismo para requisitar largura de banda, associando parâmetros de QoS e tráfego, transportando e roteando dados para a subcamada de convergência apropriada e todas as outras ações associadas com as condições contratuais do serviço. As conexões são referenciadas através de identificadores de conexão (CIDs) de 16 bits e podem requisitar largura de banda garantida continuamente ou largura de banda sob demanda.

Cada assinante possui um endereço MAC de 48 bits, que serve principalmente como um identificador de equipamentos, uma vez que os primeiros endereços utilizados durante a operação são os CIDs. Após entrar na rede, atribui aos assinantes três conexões de gerenciamento em cada direção. Estas três conexões refletem requisitos de QoS usados por diferentes níveis de gerenciamento (EKLUND, 2006). São elas:

- Conexão Base;
- Conexão Primária de Gerenciamento;
- Conexão Secundária de Gerenciamento;

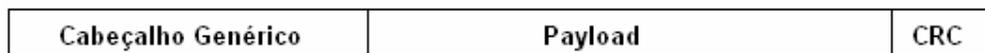
A conexão base é usada para transferir mensagens MAC curtas de tempo crítico e mensagens RLC (*Radio Link Control*). A conexão primária de gerenciamento é utilizada para transferir mensagens longas e mais tolerantes ao atraso, como também são usadas para autenticação e para estabelecimento de conexão. A conexão secundária de gerenciamento é usada para transferir mensagens de gerenciamento baseadas em padrões, como *Dynamic Host Configuration Protocol* (DHCP), *Trivial file Transfer Protocol* (TFTP), e *Simple Network Management Protocol* (SNMP), (EKLUND, 2006).

Além destes administradores de conexão, são alocadas conexões de transporte aos assinantes para os serviços contratados. As conexões de transporte são unidirecionais para facilitar a diferenciação entre parâmetro de tráfego e QoS no *uplink* e *downlink*, sendo que estes parâmetros são tipicamente atribuídos a pares de serviços (EKLUND, 2006).

A camada MAC reserva conexões adicionais para outros propósitos. Uma das conexões está reservada é para o acesso inicial. Outra conexão está reservada para a transmissão de broadcast no downlink que serve para carregar informações específicas do sistema e da célula (Identidade de estação base, alocação de frequência, e seqüências de frequência-hopping), como também para sinalizar o tráfego de *polling* no broadcast, que é um método de comunicação para o estabelecimento da comunicação entre a antena central (controladora) e os assinantes WiMax.

### 3.4.2.1. Formato da PDU

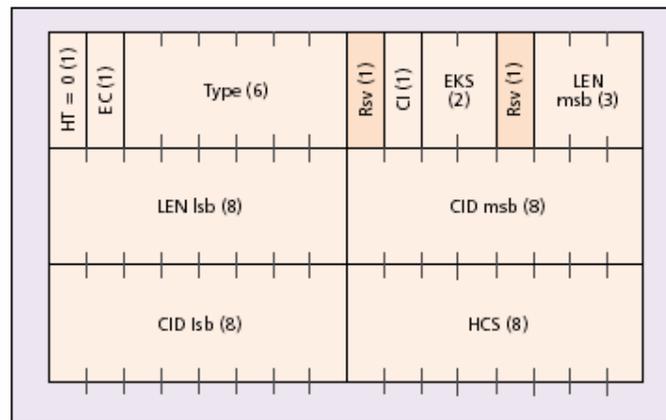
A PDU (Unidade de Dados de Protocolo) da camada MAC é a unidade de dados trocada entre as camadas MAC da estação e de seus assinantes. A MAC PDU consiste de um cabeçalho de tamanho fixo, de uma carga útil de tamanho variável e de uma verificação de redundância cíclica (CRC). Formato da MAC PDU apresentado na figura 13.



**Figura 14 – Formato MAC PDU**

Existem dois formatos para o cabeçalho, distinguindo pelo campo *HT*, são definidos: o cabeçalho genérico e o cabeçalho de requisição da largura de banda.

No cabeçalho genérico, o campo *HT* fica em 0, o que indica que se trata de um cabeçalho genérico. O bit *EC* informa se a carga útil está criptografada. O campo *Type* indica o tipo do quadro além de informar se a compactação e a fragmentação estão presentes. O campo *CI* indica a presença ou ausência da verificação CRC no final da PDU MAC. O campo *EKS* informa qual das chaves de criptografia está sendo usada (se houver). O campo *LEN* fornece o comprimento do quadro, incluindo também o cabeçalho CRC. O campo *Cid* informa qual conexão a PDU pertence. O campo *HCS* é utilizado para detectar erros no cabeçalho (EKLUND, 2006). A figura 14 apresenta o cabeçalho genérico.

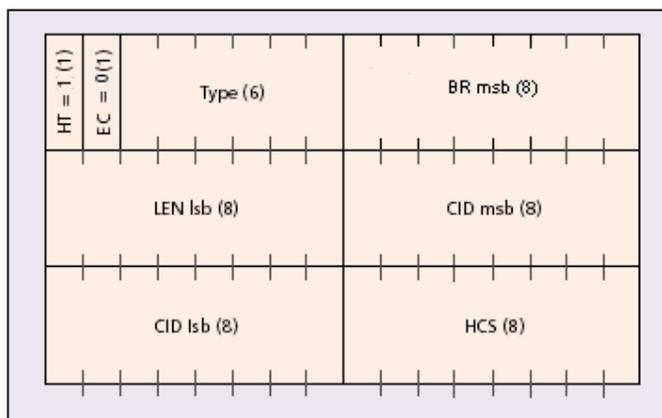


**Figura 15 – Formato do cabeçalho genérico. Fonte: EKLUND (2006)**

Existem ainda três tipos de sub-cabeçalhos presentes no cabeçalho genérico da PDU MAC, sendo localizados no campo Type, são eles:

- Sub-cabeçalho de gerenciamento de concessão: é utilizada pelo assinante para informar suas necessidades de gerenciamento de largura de banda a sua estação base, ou seja, os assinantes utilizam este cabeçalho para transportar o pedido de banda a sua estação base.
- Sub-cabeçalho de fragmentação: contem informações que indicam a presença e a orientação de fragmentos de SDUs na carga útil.
- Sub-cabeçalho de empacotamento: é utilizado para indicar o empacotamento de varias SDUs em uma única PDU.

O cabeçalho de requisição de largura de banda possui o campo HT setado em 1, indicando que o cabeçalho é de requisição de largura de banda. O cabeçalho possui o campo BR, formando um numero de 16 bits, que indica a quantidade de largura de banda necessária para transportar o numero especificado de bytes. O campo EC que é sempre setado em zero, indica que não há criptografia. O campo Type, se setado em zero indica requisição de largura de banda incremental, se ajustado em 1 indica requisição agregada (EKLUND, 2006). A figura 15 apresenta o cabeçalho de requisição de largura de banda.



**Figura 16 – Formato do cabeçalho de requisição de largura de banda**

### 3.4.3. Subcamada de Privacidade

O protocolo de privacidade para o padrão IEEE 802.16d é baseado no protocolo PKM (*Privacy Key Management*) da especificação DOCSIS BPI (EKLUND, 2006). O protocolo PKM utiliza certificados digitais X.509. O certificado X.509 inclui não apenas o nome e a chave pública de um usuário, mas também varias outras informações sobre o mesmo o que o torna um ponto de partida em uma hierarquia digital de confiança. O certificado x.509 tem um prazo de validade e após expirar não é mais válido (MICROSOFT, 2006).

O X.509 com o algoritmo RSA de chave pública para autenticação e autorização de troca de chaves que utiliza a fatoração de dois números primos onde o primeiro é a chave de cifragem e o segundo de decifragem. Para os dados criptografados é utilizado DES (*Data Encryption Standard*) que corre dentro do bloco encadeado cifrado (CBC) com chave de 56 bits ou DES triplo que aumenta o número de chaves e codifica três vezes o dado, utilizando chaves diferentes em cada estágio da codificação tendo um efeito de 168 chaves (UNICAMP, 2006).

O PKM foi construído ao redor de um conceito de associações seguras (SAs). Uma associação de segurança (AS) contém informações sobre o algoritmo de criptografia a ser aplicada, qual chave a ser usada e assim por diante. Cada assinante estabelece pelo menos uma SA durante a inicialização. Cada conexão, com exceção das de gerenciamento básico é mapeada em uma SA tanto no momento de estabelecimento de conexão como dinamicamente durante a operação (EKLUND, 2006).

## Capítulo 4

### Projetando uma Rede WiMax

#### 4.1. Introdução

O direcionamento deste trabalho só teve início a partir da convivência e conhecimentos adquiridos através do provedor de minha cidade que oferece o serviço de Internet sem fio a vários usuários utilizando o padrão 802.11b, onde foram eliminadas várias dúvidas com relação à operação desta rede e dando o passo inicial para encaminhar o desenvolvimento do material apresentado.

Uma rede metropolitana baseada no padrão WiMax é configurada da mesma maneira de uma rede celular tradicional com estações bases localizadas estrategicamente utilizando arquitetura ponto-multiponto oferecendo serviço no raio de quilômetros que depende da frequência, potência de transmissão e sensibilidade no receptor.

Em áreas com alta densidade de população a escala terá a capacidade limitada devido à limitação do spectrum disponível.

A escala e a propagação NLOS tornam a tecnologia atrativa e com o custo-eficaz em uma variedade larga dos ambientes. A tecnologia sem linha de visada ofereceu no começo wireless *last mile*, no caso, acesso broadband em Áreas Metropolitanas (MAN) com desempenho e serviço comparável, ou melhor, do que as tradicionais DSL, Cable ou linha T1/E1. Os seguimentos de mercado que serão dirigidos juntamente com o projeto são:

- Acesso de alta velocidade residencial: Este segmento de mercado é primeiramente dependente da disponibilidade do DSL ou do cabo. Em algumas áreas os serviços disponíveis não podem encontrar-se com as expectativas do cliente para o desempenho ou confiabilidade e/ou são demasiado caros. Em muitas áreas rurais os clientes residenciais são limitados aos serviços de baixa velocidade que são as conexões dial-up. Em alguns países há nenhum meio disponível para o acesso a Internet devido às circunstâncias demográficas.
- Pequenos e Médios negócios: A tecnologia WiMax com custo-eficaz pode encontrar-se com as exigências de negócios nas áreas urbanas competindo com a DSL ou Cable.

- Wi-fi Hot Spot Backhaul: O hot spot está sendo instalado em um ritmo muito rápido. Um dos obstáculos para o crescimento continuado do hot spot, entretanto, é a disponibilidade da capacidade elevada. Esta aplicação pode também ser dirigida com a tecnologia WiMax. E com potencialidade nômade, WiMax pode também preencher a cobertura do hot spot do Wi-fi.

Tradicionalmente, as regiões demográficas são divididas em áreas urbanas, suburbana e rural. Uma nova área foi adicionada e se chamará exurban. As áreas de exurban são primeiramente residenciais e comparando com as áreas suburbanas são mais adicionais do centro urbano com densidades mais baixas de casas. A disponibilidade do DSL é limitada devido à distância entre o usuário final e a central e o cabo utilizado na comunicação é simplesmente muito caro. A figura 17 mostra a comunicação de uma estação base com outras três sub estações, localizadas em regiões demográficas diferentes:

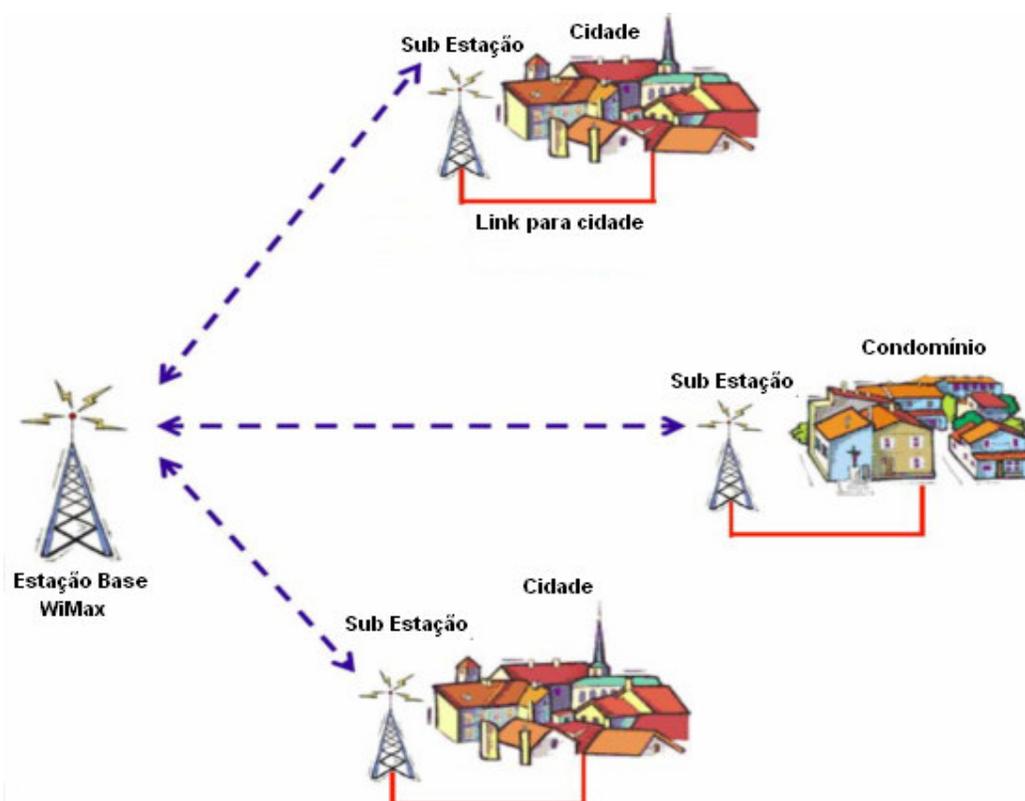
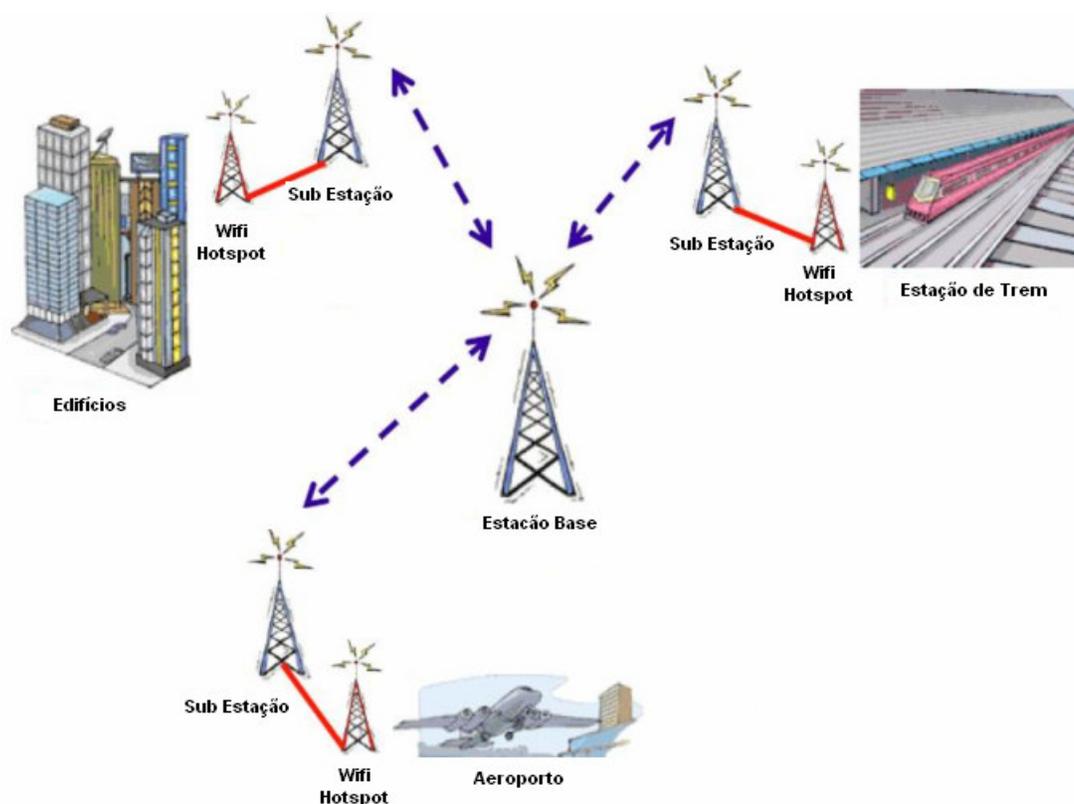


Figura 17 – Torres WiMax. Fonte: BURKE (2006)

Na figura 17 existe uma comunicação entre várias torres bases WiMax com objetivo de estender a cobertura do sinal, oferecendo conexão a cidades vizinhas, condomínios e ao meio rural. O cenário da figura 18, ocorre uma integração entre tecnologias, as sub estações WiMax levam o sinal até as estações Wi-Fi particulares que oferecem o serviço de Internet em sua células restritas, no caso: entre os edifícios que possuem vários escritórios, em uma estação de trem e na sala de embarque do aeroporto.



**Figura 18 – WiMax com Wi-Fi. Fonte: BURKE (2006)**

#### 4.2. Iniciando um projeto

Como todo projeto, o planejamento de instalação de uma rede envolve estabelecer uma programação e atribuir recursos. Por exemplo, podem precisar de dois instaladores para trabalhar por certo período de semanas a fim de instalar alguns pontos bases em uma determinada área.

Caberá realizar uma coordenação para assegurar de que a instalação esteja terminada na programação que foi apresentada, além de discutir todo o projeto em andamento com a equipe de funcionários para que ocorra a integração eficaz do projeto como também a eliminação de dúvidas que se tornam presentes no andamento do mesmo.

Antes mesmo de começar o projeto é necessário conhecer as áreas que receberá o serviço, um mapa topográfico e de extrema importância para o conhecimento da área. Uma boa estratégia inicial é utilizar o mapa para a identificação dos pontos mais elevados.

Em seguida, dirigir fisicamente em cada local escolhido com um sistema de posicionamento global (GPS) e examinar cada uma das posições como a longitude, latitude e a elevação de cada local. Anotar também se você vê ou não alguma outra antena instalada nas posições escolhidas no mapa topográfico.

Examinado o local, contratar companhias de gerência de estruturas para ver quais exigências como: contrato, seguro e taxas são requeridos para instalar o equipamento no caso a torre de transmissão do sinal.

Os seguintes tópicos são essenciais para a elaboração de um projeto wimax (WIMAX TECHNOLOGY, 2005):

- Identificação do local para o projeto de uma rede wimax
- Estudo do local para torre
- Instalação das Antenas
- Análise de Disposição dos componentes
- Teste de cobertura e monitoramento da rede wimax
- Monitoramento da Instalação
- Manutenção da rede

#### **4.3. Identificação do local para o projeto**

Uma vez em que um município ou uma operadora considera o modelo de negócios e aspectos financeiros de uma rede wimax como também o exame detalhado do local terminados, um projeto preliminar é requerido. Com as informações retiradas do local examinado para o projeto de rede, permite que o coordenador do projeto faça uma escolha eficaz em termos de equipamentos e da arquitetura para a implementação da rede. Então este projeto deve seguir detalhadamente vários tópicos:

- Um sumário com todos os objetivos da rede, das vantagens e dos desafios totais da rede e de uma perspectiva arquitetura. Esta vista geral deve incluir considerações da largura de faixa, disponibilidade do link, seleção da frequência, número dos locais e setores, tipos de sistemas recomendados, etc.
- No projeto deve-se incluir um book completo da rede com uma lista detalhada de vendedores recomendados para as unidades de pontos de acessos, cabeamento, antenas, switches, conectores etc.
- Deve-se ter controle também dos custos sobre a aquisição do local, a integração, testes dos equipamentos, treinamento da equipe, otimização do local para a instalação da torre e custos finais da torre.
- Ponto detalhado para apontar perfis dos orçamentos e do trajeto do link RF do backhaul para cada link na rede.
- Uma análise detalhada da trajetória e do trajeto do link.
- Resultados do spectrum e análise de ruído que foram executados durante o exame dos locais de cobertura do sinal. Essa análise é requerida para determinar níveis aceitáveis da força do sinal.
- Os suportes e as abraçadeiras devem ser apropriados quando se fala da segurança da estrutura da torre, proporcionando uma maior segurança em relação a ventos, chuvas fortes e outros fenômenos naturais que podem prejudicar a torre, interferindo em seu funcionamento.
- Detalhamento completo do hardware específico utilizado pelas torres e a análise de propagação da cobertura geográfica oferecida pelas antenas bases WiMax. Este mapa pode ser usado mais tarde para mostrar aos clientes o potencial da cobertura como também para futuras modificações ou instalações de novas antenas bases.

O projeto preliminar é terminado uma vez concordada pela operadora prestadora de serviços a implementar a rede WiMax (WIMAX TECHNOLOGY, 2005).

#### **4.4. Estudo do local para torre**

As redes WiMax fixas requerem tipicamente estruturas em locais altos para efetuar uma melhor transmissão do sinal. Como esboçado nos tópicos do exame do projeto, o terreno

joga um papel crítico em encontrar as posições direitas da torre. Terminado o exame de vários locais para a instalação da antena base, o melhor local será escolhido para a instalação do mesmo. Finalizada o processo, a aquisição formal do local começará para a continuidade do projeto.

Existem muitos aspectos para a aquisição do local, para a preparação do local e a sua construção, estes aspectos são:

- **Aluguel:** O proprietário do terreno deve ser informado inicialmente sobre o que será realizado no terreno. Se o proprietário aprovar a negociação o operado do serviço determina vários interesses como acesso ao local 24/7 e taxas de renovação do lugar alugado.
- **Desenhos de engenharia:** A planta do local e os desenhos de engenharia devem ser submetidos ao proprietário do terreno para a aprovação da obra. Toda a estrutura a ser construída e varias outras informações como a dimensão física da obra deve ser fornecida.
- **Licenças:** Em alguns locais há a necessidade de licenças para a instalação de antenas a rádio dentro dos limites municipais. Só poderá ocorrer a instalação caso a licença for aprovada.
- **Caminhada ao local:** Uma vez executada o aluguel do local, uma visita deve ser feita ao local com todo o pessoal da construção física da torre. Nesta visita deve ser feita a inspeção de cada local da área alugada para concluir as decisões finais sobre a instalação do sistema e o trabalho restante a ser feito.
- **Serviços elétricos:** O serviço elétrico deve estar disponível no local. Outras opções como a energia solar pode ser aplicada como solução caso a utilização do sistema elétrico seja muito caro. Se o serviço elétrico é instável a aquisição e instalação de um *nobreak* se torna essencial para evitar a paralisação do serviço.
- **Plataforma:** Após o serviço elétrico ser instalado, a infra-estrutura da torre pode ser comprada para a instalação da plataforma.

- **Instalação:** Durante a instalação as equipes serão responsáveis por vários aspectos, incluindo o roteador, os interruptores, proteção contra relâmpagos etc.
- **Equipamentos:** A instalação de alguns equipamentos como grandes antenas requerem um esforço de três dias, desde a instalação até o seu ajuste. Os equipamentos devem ser todos testados após o seu ajuste na torre para não haver dúvida quanto ao seu funcionamento.
- **Testes:** Vários testes devem ser feitos uma vez que o sistema está todo instalado como throughput, latência, perda de pacote e raio de cobertura.

Uma equipe de projeto forte e experiente pode planejar o projeto da rede para manter na programação certa e no orçamento (WIMAX TECHNOLOGY, 2005).

#### 4.5. Instalação das Antenas

Montar as antenas para o funcionamento de uma rede sem fio é a parte mais crítica do processo de instalação, sendo que posições a serem utilizadas em um determinado lugar, têm o impacto significativo quando se fala no desempenho, e esse mesmo aspecto tem que ser estudado delicadamente. As antenas são instaladas em elevações consideráveis, no mínimo 25 ou 30 metros acima do nível da rua e preferivelmente muito mais elevado. Quanto maior a distância que a transmissão alcança, maior é a elevação da antena acima da superfície. As antenas podem ser instaladas em cima de prédios ou de torres que deverá ser firmemente prendida a superfície de modo que a antena montada possa suportar o movimento dos ventos e toda condição de tempo adversa. Esta mesma estrutura deve ser aterrada corretamente para resistir aos efeitos de relâmpagos. Os cuidados nas instalações das antenas devem ser seguidos, pois uma instalação irregular pode comprometer a confiabilidade da rede e colocar o operador de rede em situações de responsabilidades pesadas caso ocorra alguma queda de suas antenas.

O procedimento para a instalação do cabeamento também é muito importante para o pleno funcionamento. Conexões ruins podem impor a perdas inaceitáveis no sinal ou a queda do serviço.

As antenas bases também podem ser instaladas em cima de montanhas em uma superfície estável de modo a não comprometer o pleno funcionamento, nesse caso quando queremos levar o sinal para lugares mais remotos como zonas rurais ou cidades vizinhas.

Decidido o local certo para a instalação das bases, o próximo passo é oferecer a cobertura e o desempenho desejável para todos os seus assinantes daquela célula ou área que terá a cobertura. Faça teste com receptores de sinais para saber se estar havendo comunicação adequada do link oferecido pela base WiMax emissora (WIMAX TECHNOLOGY, 2005).

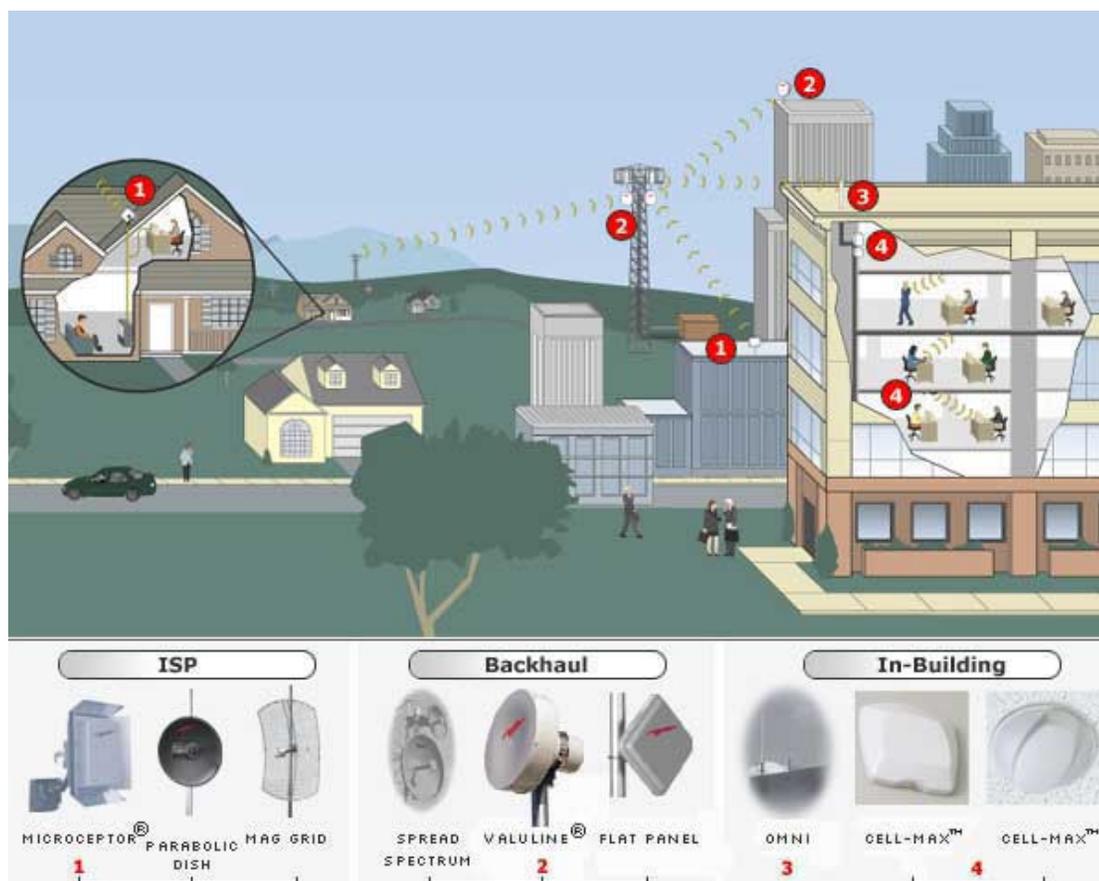
#### 4.5.1. Antenas Broadband WiMax

Neste tópico apresentaremos alguns tipos de antenas para o serviço WiMax, antenas para comunicação ponto a ponto como também para a comunicação ponto multiponto. Cada tipo de antena apresentado tem as suas exigências específicas e locais específicos para o seu funcionamento.

Essas antenas são conhecidas como:

- **ISP antenas:** A unidade do assinante é projetada para operar com uma infinidade de estações bases compatíveis com WiMax. Esta unidade apresenta o indicador de nível de sinal no receptor para facilitar a instalação e proporcionar alto desempenho em empresas, escritórios, assinantes residenciais e prédios.
- **Backhaul:** Antena externa encontrada nas estações bases para conexões em arquiteturas ponto a ponto, ponto multiponto e mesh.
- **In-Building:** As antenas In-Building caracterizam um projeto *multiband* permitido que uma larga escala de frequências seja coberta por uma pequena antena. Criada para ambientes de escritórios, estacionamentos, aeroportos e áreas difíceis de cobertura. Projetado para simples instalação e impacto visual mínimo.

A figura 19 ilustra a localização certa para cada antena:



**Figura 19 – Tipos de antenas WiMax. Fonte: ANDREW COMPANY (2006)**

#### 4.6. Análise de Disposição dos componentes

Um dos problemas no planejamento de uma rede WiMax é a disposição do sinal da base a ser instalada. Esta disposição do sinal depende da frequência em que a rede está operando e da capacidade dos equipamentos utilizados.

O primeiro passo do projeto de uma rede WiMax é estabelecer o local para a instalação da base para o pleno funcionamento da rede. A regra básica na decisão do local aonde será instalada a estação base é que esteja adequada tanto em termos de distribuição do sinal quanto em termos de aquisição de assinantes.

No caso de uma rede com operação NLOS a escolha do local é mais simples e está basicamente relacionada com a distância entre a estação base e os usuários finais, ou seja, a

estação base deve estar localizada de forma que a sua célula alcance todos os assinantes do projeto, além de possibilitar a rápida inclusão de outros possíveis usuários.

Uma alternativa para a instalação de uma estação base seria em um morro ou uma montanha que possibilite a vista panorâmica da cidade. Outra alternativa seria a instalação da antena base dentro da própria área metropolitana. Neste caso a estação base poderia ser fixada nas estruturas mais altas da cidade, como torres.

Uma rede que opera com equipamentos configurados para ter visada direta (LOS), necessitará que a base esteja localizada em uma estrutura realmente alta para permitir que os assinantes se conectem com a antena da estação base, por isso requer uma definição com maior precisão dos lugares para serem instaladas as antenas de emissão e recepção.

Equipamentos sem linha de visada (NLOS), não teria uma preocupação maior com a altura das antenas.

As operações tanto em ambientes LOS quanto em ambientes NLOS devem observar o raio máximo da célula da estação base de que sejam alcançados por todos os assinantes pretendidos pelo projeto (WIMAX TECHNOLOGY, 2005).

#### **4.7. Teste de Cobertura e Monitoramento da Rede**

Todo o trabalho adiante do planejamento, projeto e instalação de uma rede WiMAX a qualidade pode ser prejudicada se a rede não for pro ativamente monitorada ou corretamente mantida. As cidades e os operadores dos serviços provavelmente usariam redes WiMAX como um método da entrega para dados críticos e os serviços de voz (tais como o de segurança pública) e ter uma rede monitorada e mantida severamente mantendo desempenho apropriado e sucesso total.

Em uma rede wireless existem centenas de dispositivos a serem monitorados. Estes dispositivos podem incluir routers, switches, pontos de acesso, CSU/DSUs, links ponto a ponto e outros itens relacionados. A agilidade de controlar remotamente e monitorar remotamente estes dispositivos variam de um fabricante a outro. Na maioria das partes, a infra-estrutura permite o gerenciamento remoto através do protocolo SNMP (WIMAX TECHNOLOGY, 2005).

#### **4.7.1. Monitoramento da Instalação**

Com o primeiro nível do monitoramento, a firma de monitoramento pode seguir se um dispositivo está respondendo ou não está respondendo. Este monitoramento básico recomenda se os elementos da rede que estão sendo monitorados são operacionais ou não.

Segundo, os níveis da linha da base RSSI para cada rádio devem ser ajustados a fim estabelecer linhas de base com performance usando RSL (*Receice Signal Levels*). Estes níveis devem ser gravados quando os rádios foram instalados.

As armadilhas do ponto inicial são instaladas dentro de uma escala de 25% do desempenho máximo e esse nível é ajustado a um disparador que cria um alarme. Esta escala de 25% permite que o rádio continue a executar, mas advertir o problema antes que o link do rádio caia.

Quando uma armadilha for disparada é tipicamente criada uma impressão gráfica no NOC da firma de monitoramento para a correção do determinado problema. A potencialidade permite que o pessoal seja notificado 24/7, isto quer dizer, que o sistema de monitoramento funciona vinte e quatro horas por dia.

Um bom integrador ajusta também colisões acima da rede que segue o monitoramento de todas as colisões dos dados e da perda dos dados na própria rede. Também a firma de monitoramento deve monitorar as portas dos interruptores dos rádios verificando se estão conectados a fim determinar se houver problemas nesse nível.

O integrador ou a firma que fornece o serviço de monitoramento da rede deve também fornecer visitas técnicas que podem ser diárias, semanais ou mensais. Com essas visitas o técnico pode visualizar e monitorar o desempenho da rede incluindo a perda de pacotes, e qualidade do RF. Certificando a qualidade do sinal e do desempenho total (WIMAX TECHNOLOGY, 2005).

#### **4.7.2. Manutenção da Rede**

Dependendo do erro do alarme, alguns problemas podem ser reparados remotamente através de protocolos de gerenciamento. Reciclando o rádio e atualizando os perfis ou as configurações podem às vezes reparar um problema que acontece no local. Há, entretanto atividades do campo da manutenção que necessitam ser planejada. Tais atividades são:

- Ação pró-ativa de atualização e testes dos firmware mais atrasados
- Inspeção semi anualmente para todos os componentes da rede (*indoor ou outdoor*) para assegurar se os componentes de rede estão operacionais e não estão em risco de falha.
- Uma potencialidade a mais na manutenção é a disponibilidade do envio de técnicos da manutenção para o local quando ocorrem problemas que não podem ser reparados remotamente.
- O pessoal do suporte local deve ser capaz de conectar no equipamento via porta serial ou através de conexões Ethernet e resolver a questão do problema local.
- O pessoal do suporte também tem que ter toda a informação necessária para ter o acesso ao local durante fora de hora caso haja uma falha na antena por motivos naturais ou físicos (WIMAX TECHNOLOGY, 2005).

Um acordo do nível de serviço SLA (*Service Level Agreement*), que é um contrato de serviço de TI ou telecomunicações, deve ser desenvolvido pela operadora para controlar o compromisso da companhia de monitoramento e de manutenção pelos serviços prestados.

E na não conformidade dos serviços requeridos dentro do prazo estimado no SLA as companhias prestadoras de serviços são multadas com penalidades de acordo com o contrato. Caso queira mais informações sobre o acordo de serviço SLA, acesse (TUDE, 2006).

## Conclusão

Este trabalho apresentou uma solução de rede sem fio chamada WiMax, padrão IEEE 802.16d para redes metropolitanas. A tecnologia WiMax oferece transmissão de dados em banda larga, atendendo as necessidades do mercado em transmissão de vídeo e voz, com uma alta eficiência por utilizar técnicas de modulação e propriedades de transmissão adaptáveis. Uma rede WiMax tem como vantagem o baixo custo e a facilidade de implantação física quando se compara a outras redes metropolitanas que utilizam cabeamentos físicos. Sendo que a sua instalação se resume na instalação dos equipamentos para transmissão e recepção do sinal.

Para uma melhor compreensão foram apresentados dados técnicos de como é feita a transmissão do sinal no padrão WiMax com o objetivo de oferecer ao leitor o conhecimento de suas características técnicas, cenários que ilustram o seu funcionamento para eliminações de dúvidas de como é oferecido o serviço e o planejamento para um futuro projeto de rede sem fio que poderá ser implementado em qualquer região. O planejamento em si oferece um passo a passo para se obter um conhecimento inicial de como projetar uma rede WiMax. Assim, oferecendo uma ampla visão do que deve ser feito, mas o material apresentado não oferece um esquema para montagem das estruturas, tipos de profissionais especializados para o projeto e as normas a serem seguidas perante a lei. O que pode ser melhorado em um trabalho futuro.

Com o decorrer do trabalho foram encontradas muitas dificuldades com relação ao conteúdo a ser utilizado para a montagem do material, principalmente no início, devido às poucas informações disponibilizadas sobre a tecnologia e o seu esquema de funcionamento. Mas com o grande número de projetos teste e pilotos implantados nos mais diferentes países inclusive no Brasil, o assunto começou a ser mais abordado na Internet por vários tipos de profissionais de tecnologia e sites especializados sobre tecnologia sem fio.

Com toda esta pesquisa realizada, foi possível adquirir um grande conhecimento não só da tecnologia WiMax e de suas expectativas e modificações para o futuro, mas também da utilização e funcionamento do padrão 802.11b, pela convivência com pessoas que trabalham com este tipo de solução para o mercado cooperativo. Foi a partir desta convivência que várias dúvidas foram eliminadas com relação ao entendimento do funcionamento da tecnologia sem fio inclusive as dificuldades encontradas.

Os objetivos propostos inicialmente foram atingidos visto que foi possível mostrar os procedimentos necessários para uma análise real de implementação de uma rede de comunicação sem fio utilizando o padrão WiMax.

## Referências Bibliográficas

**FORUM WIMAX.** WiMAX's technology for LOS and NLOS environments. Disponível em: <<http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>>. Acesso em: 21 de abr. de 2005.

**PRADO, Eduardo.** Tudo sobre Wimax – Vale a pena dar uma olhada!. Disponível em: <<http://www.istf.com.br/vb/archive/index.php?t-8545.html>>. Acesso em: 10 de abr. de 2007.

**PRADO, Eduardo.** Dimensionamento de Redes Wimax. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswimax/default.asp>>. Acesso em: 10 de abr. de 2007.

**INTEL.** Cidades Digitais: Rumo ao futuro digital do País. Disponível em: <[http://www.intel.com/portugues/intel/intelbrasil/intelbrasil\\_3.htm](http://www.intel.com/portugues/intel/intelbrasil/intelbrasil_3.htm)>. Acesso em: 16 de abr. de 2007.

**BROERSMA.** WiMax - don't believe the hype. Disponível em: <<http://www.techworld.com/mobility/news/index.cfm?NewsID=1475>>. Acesso em: 20 de abr. de 2005.

**PINHEIRO, José Maurício Santos.** A Tecnologia WLL. Disponível em: <[http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_tecnologia\\_wll.php](http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_tecnologia_wll.php)>. Acesso em: 20 de jun. de 2005.

**ERRIQUEZ, Paschoal.** LMDS: Local Multipoint Distribution Service. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriallmds/default.asp>>. Acesso em: 20 de jun. de 2005.

**FORUM WIMAX.** WiMAX's technology for LOS and NLOS environments. Disponível em: <<http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf>>. Acesso em: 23 de jun. 2005.

**PINTO, Ernesto Leite. ALBUQUERQUE, Cláudio Penedo.** A Técnica de Transmissão OFDM. Disponível em: <[http://www.inatel.br/revista/volume-05-n1/artigos/Artigo\\_Transmissao\\_OFDM.pdf](http://www.inatel.br/revista/volume-05-n1/artigos/Artigo_Transmissao_OFDM.pdf)>. Acesso em: 5 de jul. de 2005.

**OLIVEIRA, Félix T. Xavier. FILHO, Huber Bernal.** Rádio Spread Spectrum (Técnica de Espalhamento Espectral). Disponível em: <[http://www.wirelessip.com.br/wirelessip/noticia/show\\_new?aURL=/planetarium/noticias/2004/11/1099337171/index\\_wirelessip.html](http://www.wirelessip.com.br/wirelessip/noticia/show_new?aURL=/planetarium/noticias/2004/11/1099337171/index_wirelessip.html)> Acesso em: 14 de jul. de 2005.

**INTEL MAGAZINE.** Smart Antennas for WLANs. Disponível em: <<http://www.intel.com/technology/magazine/communications/wi09041.pdf>>. Acesso em: 12 de mai. de 2006.

**TEIXEIRA, Edson Rodrigues Duffles.** Tutorial Banda larga e VOIP. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwmn/pagina\\_3.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwmn/pagina_3.asp)>. Acesso em 23 de jan de 2006.

**EKLUND**, Carl. **MARKS**, Roger. **STANWOOD**, Kenneth. **WANG**, Stanley. A Technical Overview of the WirelessMAN. Disponível em:  
<[http://www.ieee802.org/16/docs/02/C80216-02\\_05.pdf](http://www.ieee802.org/16/docs/02/C80216-02_05.pdf)>. Acesso em: 07 de jan de 2006.

**MIYOSHI**, Edson Mitsugo. Sanches, Carlos Alberto Projeto de Sistemas de Rádio. 2. ed. São Paulo: Érica LTDA, 2002.

**LELLO**, Guilherme Caldeira. Camada Física. Disponível em:  
<[http://www.gta.ufrj.br/grad/05\\_1/wimax/html/1.html](http://www.gta.ufrj.br/grad/05_1/wimax/html/1.html)>. Acesso em: 12 de jan. de 2006.

**EKLUND**, Carl. The IEEE 802.16 Standard for Broadband Wireless Access. Disponível em:  
<<http://docenti.ing.unipi.it/ew2002/proceedings/pmp002.pdf>>. Acesso em 24 de jan. de 2006.

**MICROSOFT**. Certificados digitais X.509. Disponível em:  
<<http://www.microsoft.com/brasil/security/guidance/topics/devsec/secmod39.msp#ELC>>. Acesso em: 12 de fev. de 2006.

**UNICAMP**. Técnicas Criptografia. Disponível em:  
<<http://www.security.unicamp.br/docs/conceitos/o3.html>>. Acesso em: 24 de abr de 2006.

**WIMAX TECHNOLOGY**. Disponível em: <<http://www.wimax.com>>. Acesso em 12 de abr, de 2005.

**BURKE**, Justin. Lopez, Ken. What is WiMAX?. Disponível em:  
<<http://nislabs.bu.edu/nislabs/education/sc441/JustinKen/JustinKen/Networking%20Webpage/index.htm>>. Acesso em 27 de mai. de 2006.

**ANDREW COMPANY**. Tipos de antenas WiMax. Disponível em:  
<[http://www.andrew.com/isol/unlicenced\\_chart.aspx](http://www.andrew.com/isol/unlicenced_chart.aspx)>. Acesso em: 25 de mai. de 2006.

**TUDE**, Eduardo. Service Level Agreement. Disponível em:  
<[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorials/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorials/pagina_1.asp)> Acesso em: 12 de jun de 2006.

**PRADO**, Eduardo. Regulamentação do uso de frequência para o WiMax no Brasil. Disponível em:  
<[http://www.wirelessbrasil.org/eduardo\\_prado/revista\\_wimax/espectro.html](http://www.wirelessbrasil.org/eduardo_prado/revista_wimax/espectro.html)>. Acesso em: 28 de ago. de 2006.