



**UNIVERSIDADE FUMEC  
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA – FEA**

**IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE SEM FIO PARA INTERLIGAÇÃO  
ENTRE OS ÓRGÃOS PÚBLICOS DA CIDADE DE NOVA LIMA-MG**

**ANDRÉ FERNANDES MACHADO  
CONRADO MIRANDA DE PINHO TAVARES  
HARLEN TEIXEIRA DUARTE  
MÁRCIO LORENA ARANTES VILELA  
RAFAEL AVELAR COSTA**

**BELO HORIZONTE  
2009**

**ANDRÉ FERNANDES MACHADO  
CONRADO MIRANDA DE PINHO TAVARES  
HARLEN TEIXEIRA DUARTE  
MÁRCIO LORENA ARANTES VILELA  
RAFAEL AVELAR COSTA**

**IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE SEM FIO PARA INTERLIGAÇÃO  
ENTRE OS ÓRGÃOS PÚBLICOS DA CIDADE DE NOVA LIMA-MG**

Projeto final de curso apresentado à Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC, como requisito para a conclusão do curso de Engenharia de Telecomunicações.  
Orientador: Manuel da Rocha Fiúza Branco Junior

BELO HORIZONTE  
2009

**André Fernandes Machado**  
**Conrado Miranda de Pinho Tavares**  
**Harlen Teixeira Duarte**  
**Márcio Lorena Arantes Vilela**  
**Rafael Avelar Costa**

Trabalho de TFC apresentado à Faculdade de Engenharia e Arquitetura da  
Universidade FUMEC, como requisito para conclusão do curso de Engenharia de  
Telecomunicações.

**Data de aprovação: 05/12/2009**

**Banca examinadora**

**MANUEL ROCHA FIÚZA BRANCO JÚNIOR**

**SEVERINO DIAS CARNEIRO**

**EVERTON LEONARDO ANTUNES DE RESENDE**

## RESUMO

Na últimas décadas, as tecnologias de rede sem fio tem crescido de forma expressiva no Brasil devido ao seu baixo custo e facilidade no atendimento de banda larga em locais remotos sem a necessidade de alto investimento em infraestrutura. O objetivo deste trabalho é apresentar a implantação de rede sem fio para o município de Nova Lima, Minas Gerais, utilizando a tecnologia WiMAX, beneficiando todos os tipos de usuários tais como: escolas, residências, órgãos públicos, pequenas e médias empresas e demais estabelecimentos situados no município de Nova Lima com a inclusão digital de alta velocidade. Para o desenvolvimento do projeto foi estudado o padrão da tecnologia a ser implantada, o 802.16, locais de instalação de BTS, raios de cobertura do serviço, enlace entre BTS's, segurança da rede e todos os parâmetros necessários para um atendimento de qualidade aos clientes finais.

**Palavras Chave:** Banda Larga sem fio, WI-MAX, IEEE 802.16.

## **ABSTRACT**

*In recent decades, the wireless networking technologies have grown significantly in Brazil due to the low cost and ease broadband service in remote locations, without high investment in infrastructure. The aim of this article is to present the implementation of wireless network in the city of Nova Lima using Wi-MAX technology, bringing benefit to all types of users, as schools, home users, public agencies, small and medium companies and others, with high-speed digital network. For the development of the project, it was evaluated the technology standard 802.16, the locations of BTS, the radius of coverage, linkage between BTS'S, network security and all the parameters needed for a quality service for all users.*

**Keywords:** *Wireless Broadband, WI-MAX, IEEE 802.16.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da região de Nova Lima .....	16
Figura 2 – Câmara Municipal de Nova Lima.....	17
Figura 3 – Comunicação Multimídia .....	19
Figura 4 – Padronização IEEE para redes sem fio [ITU, 2003] .....	20
Figura 5 - Aplicações sem fio [Stepanov ,2002] .....	21
Figura 6 - O padrão IEEE 802.16 viabiliza soluções banda larga [Intel, 2003] .....	22
Figura 7 - Publicação dos padrões.....	23
Figura 8 - <i>Soft handoff</i> .....	25
Figura 9 – Espectro de um sinal QAM .....	28
Figura 10 – Subportadoras de um Sinal OFDM .....	29
Figura 11 – Sobreposição espectral entre o FDM e o OFDM.....	29
Figura 12 - Topologia da rede WI-MAX como <i>Backhaul</i> conectando a rede WI-FI.....	31
Figura 13 - Topologia da rede chegando no cliente final .....	32
Figura 14 – Esquema adaptativo em função das condições do canal.....	37
Figura 15 – Arquitetura de Protocolos WI-MAX.....	38
Figura 16 –Coordenadas coletadas no GPS .....	40
Figura 17 - Bússola .....	40
Figura 18 – Localização dos pontos.....	41
Figura 19 – Estação da Oi .....	42
Figura 20 - Torre da Oi .....	43
Figura 21 - Perfil Oi X Estação Radio Base.....	44
Figura 22 - Estação Rádio Base .....	44
Figura 23 - Cadastro da Estação Rádio Base na Anatel. ....	45
Figura 24 - <i>Container</i> da operadora TIM. ....	46
Figura 25 - Torre da operadora TIM.....	47
Figura 26 - Visada entre a ERB e coletora Oi. ....	47

Figura 27 - Tribunal Regional do trabalho.....	48
Figura 28 - Linha de visada entre o Tribunal Regional do Trabalho e a ERB .....	49
Figura 29 - Visada entre a ERB e Tribunal Regional.....	49
Figura 30 - Perfil entre a estação Rádio Base e Tribunal Regional. ....	50
Figura 31 - Câmara Municipal e a estação Rádio Base.....	50
Figura 32 - Linha de visada entre a Câmara.....	51
Figura 33 - Linha de visada entre a estação Rádio Base e Câmara Municipal. ....	51
Figura 34 - Perfil entre a estação Rádio Base e Câmara Municipal. ....	52
Figura 35 - Municipal Emilia de lima e a ERB.....	52
Figura 36 - Linha de visada entre a Escola.....	53
Figura 37 - Linha de visada entre a estação Rádio Base e Escola M. Emilia de Lima. ....	53
Figura 38 - Perfil entre a estação Rádio Base e Escola Municipal Emilia de Lima. ....	54
Figura 39 - Prefeitura Municipal. ....	54
Figura 40 – Linha de visada entre a Prefeitura e a Estação de Rádio Base. ....	55
Figura 41 - Linha de visada entre a estação Rádio Base e Prefeitura de Nova Lima.....	55
Figura 42 - Perfil entre a estação Rádio Base e Prefeitura Municipal de Nova Lima. ....	56
Figura 43 - Topologia geral da rede. ....	57
Figura 44 – Topologia geral da rede .....	58
Figura 45 – Infra para instalação do armário que abrigará os equipamentos .....	60
Figura 46 – Infra para instalação do armário que abrigará os equipamentos .....	60
Figura 47 – Rádio Tsunami™MP-8100 Series .....	62
Figura 48 – Antena Setorial .....	63
Figura 49 - QDCA.....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Projeção do PIB de Nova Lima .....	18
Tabela 2 - Custos para Implantação do Projeto .....	72
Tabela 3 - Custos Mensais de Manutenção do Projeto .....	73
Tabela 4 – Cronograma de Implantação .....	74



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características do padrão IEEE 802.16.....	35
---	----

## LISTA DE SIGLAS

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas;  
**ADSL** - *Assymmetric Digital Subscriber Line*;  
**ATM** - *Asynchronous Transfer Mode*;  
**CBC** - *Cipher Block Chaining*;  
**CPE** - *Customer Premises Equipament*;  
**DES** - *Data Encryption Standard*;  
**ETSI** - *European Telecommunications Standards Institute*;  
**FDM** - *Frequency Division Multiplexing*;  
**IEEE** - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*;  
**ISM** – *Instrumentation, Scientific & Medical*;  
**ITU** - *International Telecommunication Union*;  
**LAN** – *Local Area Network*;  
**LOS** - *Line of Sigth*;  
**MAC** – *Medium Access Control*;  
**MIMO** - *Multiple Input - Multiple Output*;  
**NLOS** - *Non Line of Sigth*;  
**OFDM** - *Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais*;  
**PAN** – *Personal Area Network*;  
**PDU** - *Protocol Data Unit*;  
**PHY** – *Physical*;  
**PKM** - *Privacy Key Management*;  
**PSK** – *Phase Shift Keying*;  
**QAM** – *Quadrature Amplitude Modulation*;  
**QoS** - *Qualidade de serviço*;  
**QPSK** - *Quadrature Phase-Shift Keying*;  
**RADIUS** – *Remote Dial-in Service Protocol*;  
**SISO** – *Single Input – Single Output*;  
**TDM** – *Time Division Multiplexing*;  
**TDMA** - *Time Division Multiplexing Access*;  
**TKIP** - *Temporal Key Integrity Protocol*;  
**UHF** - *Ultra Hight Frequency*;  
**VHF** - *Very Hight Frequency*;

**WAN** – *Wide Area Network;*

**WEP** – *Wired Equivalent Privacy;*

**WiFi** – *Wireless Fidelity;*

**WIMAX** - *Worldwide Interoperability for Microwave Access;*

**WPA** – *Wi-fi Protected Access;*

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	14
2.	O MUNICÍPIO DE NOVA LIMA .....	15
2.1.	Câmara Municipal de Nova Lima .....	16
2.2.	Prefeitura .....	17
2.3.	Escolas .....	17
2.4.	Perspectiva econômica .....	18
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	19
3.1.	Redes sem Fio .....	19
3.2.	Padrão 802.16 .....	21
3.2.1.	Introdução .....	21
3.2.2.	Forum Wi-Max .....	22
3.2.3.	Família 802.16 .....	23
3.2.4.	Padrão 802.16a .....	24
3.2.5.	Padrão 802.16d .....	24
3.2.6.	Padrão 802.16e .....	24
3.3.	Frequências disponíveis para Wi-Max .....	26
3.3.1.	Frequências Licenciadas .....	26
3.3.1.1.	Frequência de 2,5 GHz .....	26
3.3.1.2.	Frequência de 3,5 GHz .....	26
3.3.1.3.	Frequência de 10,5 GHz .....	26
3.3.2.	Não Licenciada .....	27
3.3.2.1.	Frequência de 5,8 GHz .....	27
3.4.	Transmissão OFDM .....	27
3.4.1.	Aspectos da Transmissão .....	28
3.5.	Topologia da Rede .....	30
3.5.1.	Wi-Max como Rede Fixa .....	30

3.5.2.	Wi-Max chegando a Clientes Finais .....	31
3.6.	Segurança.....	32
3.7.	Características Técnicas.....	34
3.8.	Camada Física .....	36
3.8.1	Subcamada MAC .....	37
4.	O PROJETO .....	39
4.1.	<i>Site Survey</i> .....	39
4.2.	Coletora de Acesso a Rede Mundial de Computadores e Internet.....	41
4.3.	Estação Rádio Base .....	45
4.4.	Localidades a serem atendidas .....	48
4.4.1.	Justiça do Trabalho .....	48
4.4.2.	Câmara Municipal de Nova Lima .....	50
4.4.3.	Escola Municipal Emília de Lima.....	52
4.4.4.	Prefeitura Municipal .....	54
4.5.	Topologia.....	56
4.6.	Transmissão .....	58
4.7.	Equipamentos de Infraestrutura .....	59
4.8.	Infraestrutura e equipamentos ativos e passivos da Estação de Rádio Base .....	61
4.9.	Principais especificações técnicas dos equipamentos .....	61
4.9.1.	Rádio.....	61
4.9.2.	Antena.....	62
4.9.3.	Cabos.....	63
4.9.4.	Conectores.....	63
4.9.5.	Energia .....	64
4.10.	Infraestrutura e equipamentos ativos e passivos das Estações Clientes .....	64
4.11.	Principais especificações técnicas dos equipamentos .....	65
4.11.1.	Antenas.....	65
4.11.2.	Cabos.....	65

4.11.3.	Conectores.....	66
4.12.	Estudo de viabilidade técnica.....	66
4.12.1.	Estudo de viabilidade técnica para atendimento à Justiça do Trabalho .....	67
4.12.2.	Estudo de viabilidade técnica para atendimento à Câmara Municipal.....	68
4.12.3.	Estudo de viabilidade técnica para atendimento à Escola M. Emília de Lima .....	69
4.12.4.	Estudo de viabilidade técnica para atendimento à Prefeitura Municipal.....	70
4.13.	Licenciamento .....	71
4.14.	Levantamento de Custos.....	71
4.14.1.	Custo de Implantação .....	72
4.14.2.	Custo Mensal.....	72
4.15.	Cronograma de Implantação.....	73
4.16.	Viabilidade Financeira .....	75
5.	CONCLUSÃO .....	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	ANEXOS .....	79

## 1. INTRODUÇÃO

As novas técnicas de transmissão, confiabilidade e flexibilidade de acesso deram origem ao avanço recente das redes locais para comunicação sem fio. O baixo custo e facilidade de implantação destacam-se como os principais fatores para este crescente avanço.

Possibilitando amplo acesso à Internet e também a dados armazenados, sem a necessidade dos altos custos em infraestrutura de cabos e fibras ópticas, as redes sem fio podem proporcionar um grande impulso no processo de inclusão digital principalmente em locais não atendidos pelas concessionárias públicas.

Este projeto apresentado à disciplina TRABALHO FINAL DE CURSO (TFC) do curso de Engenharia de Telecomunicações da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC, tem como principal objetivo propor a implantação de uma rede Wi-Max para a interconexão entre os órgãos públicos do município de Nova Lima em Minas Gerais.

O projeto consiste na integração entre órgãos públicos do município de Nova Lima através de WiMAX possibilitando agilidade e eficiência na comunicação dos mesmos. De acordo com a análise de demanda foram escolhidos os seguintes locais: Tribunal Regional do Trabalho, Câmara Municipal, Escola Municipal Emilia de Lima e Prefeitura Municipal. Este projeto está apto a atender uma extensa área do município caso ocorra necessidade de ampliação das unidades.

## 2. O MUNICÍPIO DE NOVA LIMA

No ano de 1701, o bandeirante paulista Domingos Rodrigues da Fonseca chega a uma região de matas virgens e inexploradas e descobriu dois córregos auríferos aonde se iniciou a mineração. Com a notícia da descoberta de ouro e pedras preciosas, muitas pessoas foram atraídas. Foram fundadas varias minas como: Bela Fama, Cachaça, Vieira, Urubu, Gaia, Gabriela, Faria, Garcês, Batista e Morro Velho. Nas minas da região era muito comum encontrar uma erva chamada “congonhas” usada pelos índios para uso medicinal. Juntando que a região era de garimpo e com as ervas encontradas nas minas a região passou a ser conhecida como Congonha das Minas de Ouro (Brazil Channel).

No ano de 1814, a mina de Morro Velho era propriedade de Padre Freitas. Alguns anos depois, uma empresa inglesa de mineração chegou à região para suprir a falta de recursos técnicos. A chegada da empresa inglesa criaria novos moldes na região, adquirindo assim um padrão inglês de novos costumes.

Em 8 de abril de 1836, o arraial se torna o distrito de Congonhas do Sabará, e alguns anos depois, no dia 5 de fevereiro de 1891, o distrito é elevado a cidade com o nome Vila Nova Lima em homenagem ao governador Augusto de Lima Junior. Em 1923, o nome é abreviado para o nome usado até hoje.

Nova Lima hoje pertence à região metropolitana de Belo Horizonte, no qual faz limites com os seguintes municípios: Belo Horizonte, Brumadinho, Itabirito, Rio Acima, Raposos e Sabará, conforma FIG.1.





Figura 1 – Mapa da região de Nova Lima  
Fonte: Pin

## 2.1. Câmara Municipal de Nova Lima

A função primordial da Câmara é a função legislativa, ou seja, aquela pertinente à elaboração de leis. Dai intitular-se a Câmara de Poder Legislativo. Através dessa função, a Câmara dita normas à Administração Municipal e estabelece regras a serem respeitadas pelos munícipides. Sua função é de legislar, também chamada de função normativa. A função legislativa consiste, em linhas gerais, em votar leis sobre assuntos da competência municipal, não podendo legislar sobre matérias da competência privativa da União ou do Estado-membro. Uma lei municipal sobre direito civil ou penal, por exemplo, nenhum valor jurídico teria, seria inconstitucional e, por isso mesmo, nula de pleno direito, por dispor sobre assunto constitucionalmente reservado à lei federal. A câmara municipal de Nova Lima pode ser observada conforme FIG. 2 abaixo.



Figura 2 – Câmara Municipal de Nova Lima  
Fonte: Autores

## 2.2. Prefeitura

A cidade de Nova Lima conta com um prefeito e dez vereadores que tem como papel fundamental atuar nas reivindicações da população, avaliar as necessidades de caráter local tais como: saneamento básico, educação fundamental, moradia, transporte coletivo, uso do solo, coleta de lixo, iluminação e etc.

A prefeitura é assessorada pelas secretarias de Assistência Social, Educação, Esporte, Infraestrutura, Meio Ambiente, Obras, Saúde e Turismo que tem um importante papel para o desenvolvimento da cidade.

## 2.3. Escolas

Segundo os dados da prefeitura, o município de Nova Lima possui 22 escolas municipais, 6 escolas estaduais, 11 escolas particulares, 2 escolas técnicas e 5 instituições de ensino superior.

## 2.4. Perspectiva econômica

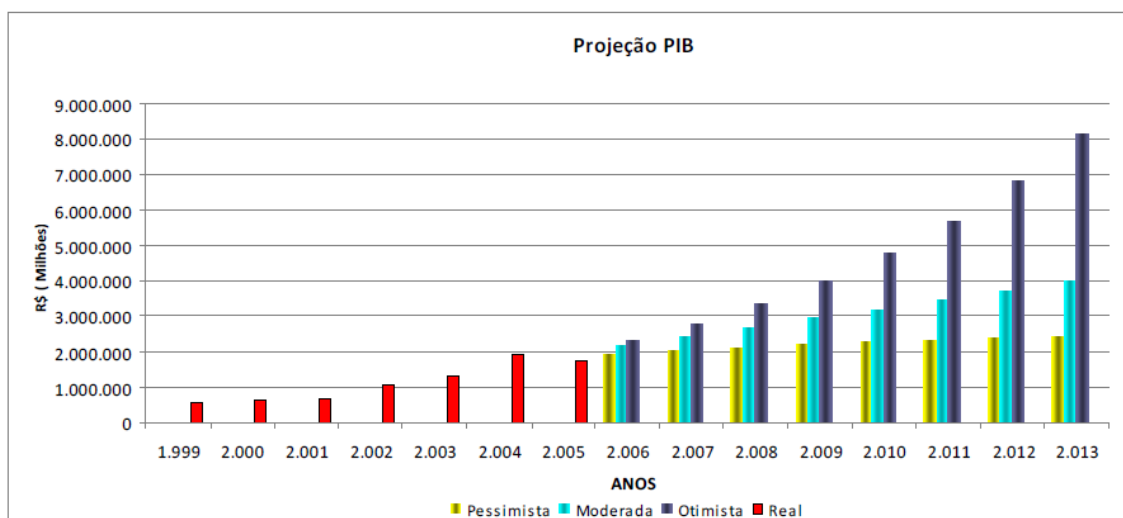
O município de Nova Lima tornou-se nos últimos anos uma referência no mercado imobiliário, voltado principalmente para as classes econômicas de maior poder aquisitivo. A idéia de cidade altamente mineradora aos poucos tem diminuído. Ainda que essas atividades existam e representam uma considerável parte da arrecadação do município, a cidade tomou novos rumos e expectativas econômicas.

Com a chegada de grandes condomínios à região, as projeções estão concentradas no desenvolvimento da infraestrutura, comércio e prestação de serviços. Novos centros comerciais são criados regularmente na região e novas possibilidades surgem em conjunto com esse desenvolvimento demandando cada vez mais um controle rígido dos órgãos públicos para acompanhar este crescimento.

Como consequência desse desenvolvimento, cabe à administração municipal impor metas para um desenvolvimento controlado. Um descontrole pode ocasionar grandes problemas como crescimento populacional, desemprego, degradação do meio-ambiente, indisponibilidade de serviços, dentre outros problemas de cunho social, econômico ou ambiental.

Para os próximos anos, Nova Lima será uma grande fonte de demanda de serviços, representando uma ótima oportunidade de investimento e retorno econômico.

Tabela 1 – Projeção do PIB de Nova Lima  
Fonte: Pin



### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. Redes sem Fio

O desenvolvimento da rede sem fio (*Wireless*) teve início devido aos avanços da comunicação que ficou dependente dos cabos durante muito tempo. Com o crescimento da comunicação sem fio, várias tecnologias *Wireless* passaram a ter popularidade pela mobilidade e necessidade de seus usuários, facilitando assim a transferência de dados e melhor qualidade na conexão, conforme a FIG. 3.

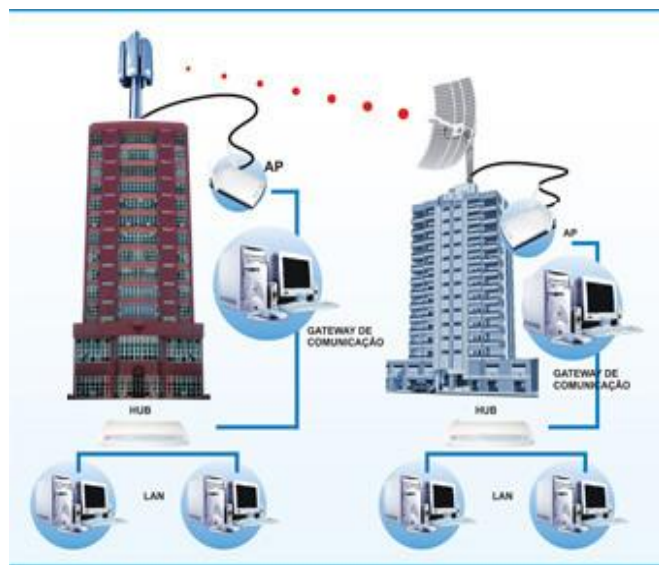


Figura 3 – Comunicação Multimídia

Fonte: images.google.com.br

A popularização das redes sem fio se iniciou com a criação pelo IEEE do padrão 802.11 que se refere a redes locais sem fio (*Wireless LAN* ou WLAN) ou ainda Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) que foi a marca registrada por um grupo de fabricantes com o propósito de garantir uma melhor qualidade para este tipo de tecnologia.

Com o avanço das redes locais sem fio Wi-Fi, nasceu a necessidade de criação de redes metropolitanas banda larga sem fio para interligar residências e toda uma área

urbana. Sendo assim, o IEEE desenvolveu o padrão IEEE 802.16 WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

Com a evolução das redes sem fio, o IEEE definiu uma hierarquia para os padrões estabelecidos para este tipo de rede como descrito na FIG. 4. São eles: Redes pessoais (*Personal Area Network – PAN*) padrão IEEE 802.15, redes locais (*Local Area Network – LAN*) IEEE 802.11, redes metropolitanas IEEE 802.16 e IEEE 802.20 para as redes geograficamente distribuídas (*Wide Area Network – WAN*). Cada padrão oferece tipos de serviços distintos para auxiliar a prestação de serviços.

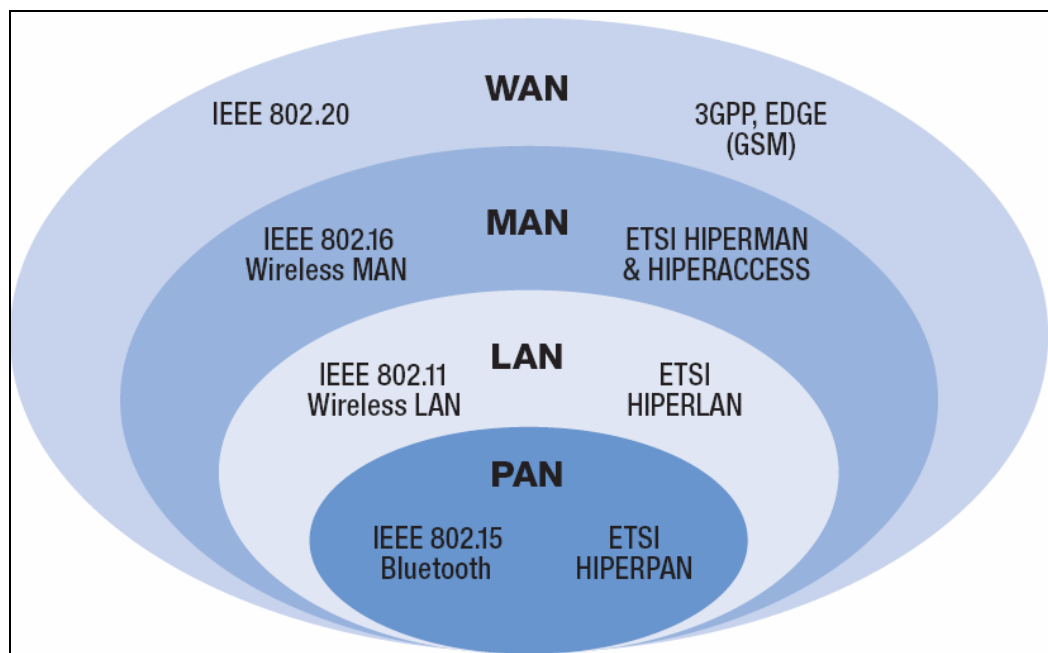


Figura 4 – Padronização IEEE para redes sem fio [ITU, 2003]

FONTE: <http://www-di.inf.puc-rio.br/~endler/paperlinks/TechReports/MCC29-06.pdf>

Para uma visão geral das redes sem fio e suas aplicações, a FIG. 5 ilustra alguns padrões de redes sem fio abordando suas respectivas taxas de dados e serviços utilizados.

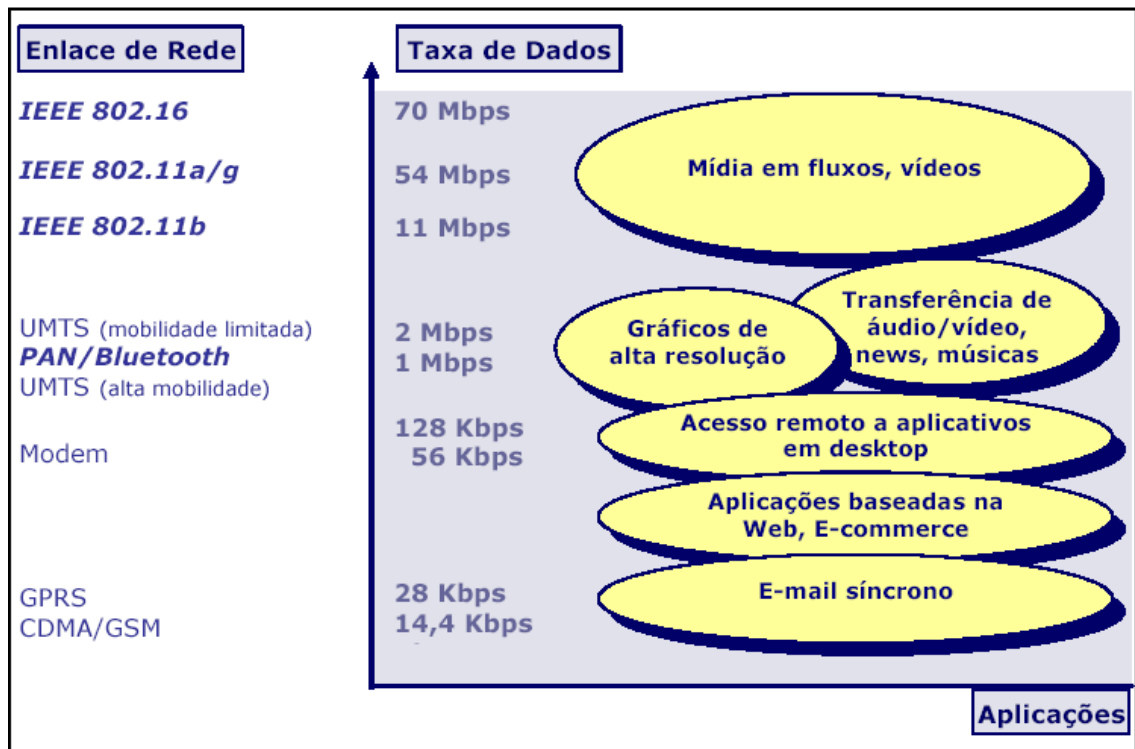


Figura 5 - Aplicações sem fio [Stepanov ,2002]

Fonte: [://www-di.inf.puc-rio.br/~endler/paperlinks/TechReports/MCC29-06.pdf](http://www-di.inf.puc-rio.br/~endler/paperlinks/TechReports/MCC29-06.pdf)

### 3.2. Padrão 802.16

#### 3.2.1. Introdução

O padrão 802.16 conhecido como WiMAX tem por objetivo disponibilizar acesso banda larga sem fio para regiões metropolitanas sem a necessidade de alto custo de infraestrutura como por exemplo redes cabeadas, cobrindo uma maior área quando comparado com o padrão 802.11 e ADSL.

A FIG. 6 ilustra uma visão geral para solucionar problemas de infraestrutura para acessos de última milha conectando residências e pequenas empresas à rede de comunicação.

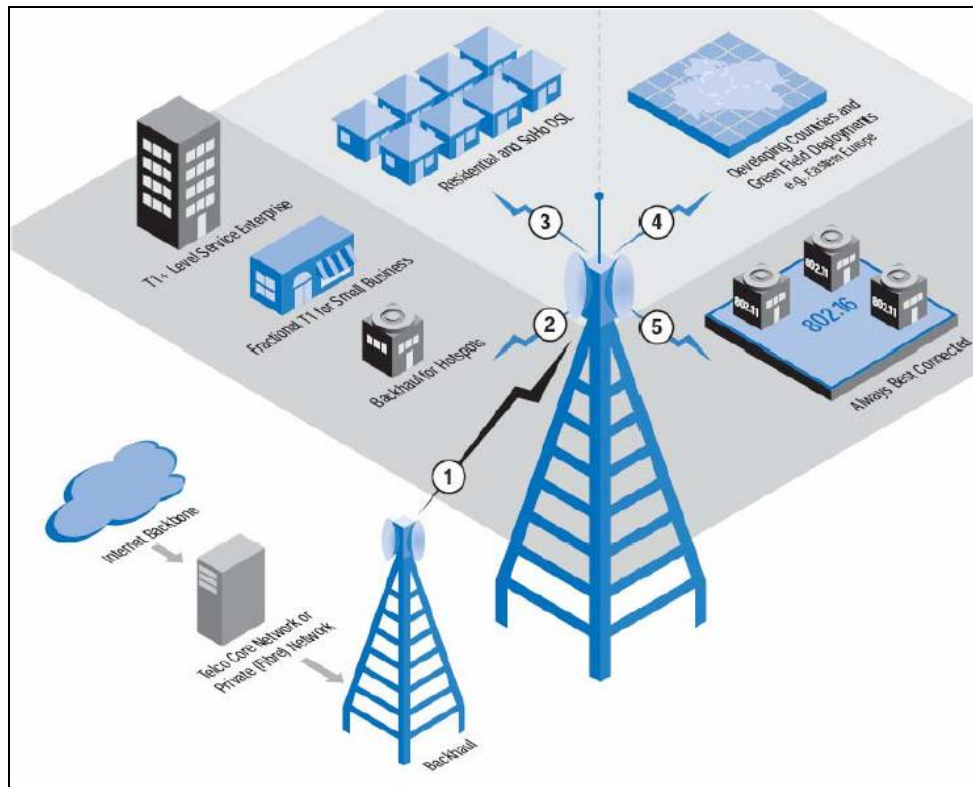


Figura 6 - O padrão IEEE 802.16 viabiliza soluções banda larga [Intel, 2003]

Fonte: [http://homepages.dcc.ufmg.br/~evaladao/storage/relatorios/20060801-wimax,qos-relatorio\\_tecnico-projeto\\_iniciacao\\_cientifica.pdf](http://homepages.dcc.ufmg.br/~evaladao/storage/relatorios/20060801-wimax,qos-relatorio_tecnico-projeto_iniciacao_cientifica.pdf)

O padrão 802.16 foi desenvolvido para ser compatível com os padrões do ITU (*International Telecommunication Union*) e do ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

As redes sem fio tiveram um crescimento efetivo devido à padronização. Este é um ponto importante, pois com a padronização é possível a produção de equipamentos em larga escala tornando assim a tecnologia mais acessível.

### 3.2.2. Forum Wi-Max

O Fórum WiMAX é uma organização sem fins lucrativos, formada por empresas fabricantes de equipamentos e de componentes com o objetivo de promover em larga escala a utilização de redes ponto multiponto.

Semelhante ao *Wi-Fi Alliance*, o Fórum WiMAX é responsável pelo desenvolvimento e o rápido crescimento do WiMAX no Brasil e no mundo.

### 3.2.3. Família 802.16

A Certificação original do padrão 802.16, publicada em abril de 2002, opera nas frequências de 10 a 66 GHz com visada direta (LOS – *Line Of Sight*). Este padrão atinge uma taxa de transmissão que varia entre 32 e 134 Mbps utilizando canais de 28 MHz podendo atender a distâncias de até 50 km.

Os padrões foram sendo desenvolvidos e publicados conforme a figura 7 abaixo:

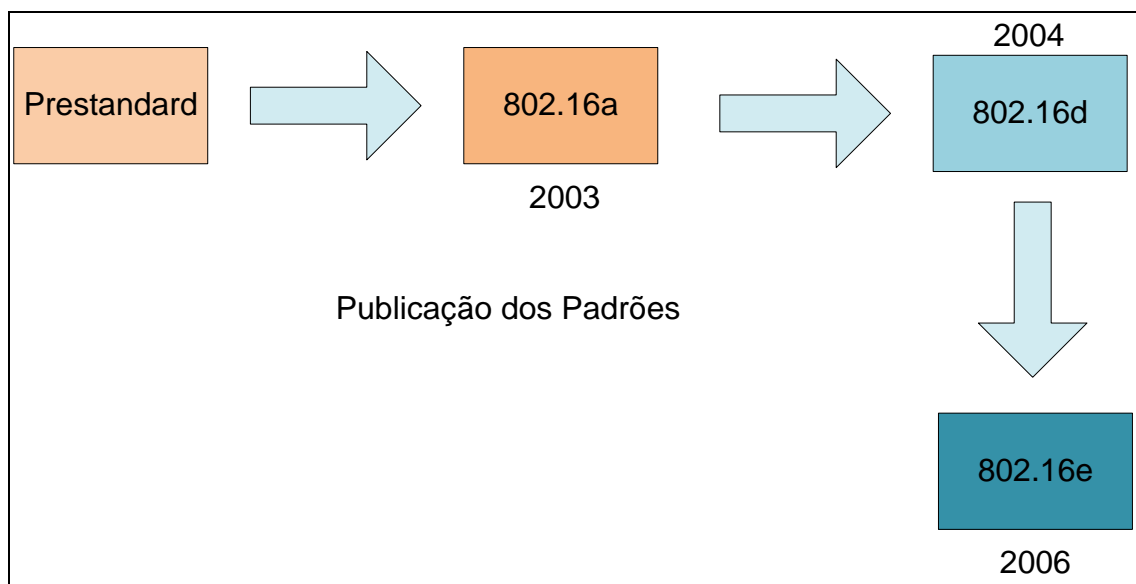


Figura 7 - Publicação dos padrões

Fonte: Adaptado de <<http://paginas.fe.up.pt/~ee99207/Tecnologias/WMAN/WIMAX.html>>



#### **3.2.4. Padrão 802.16a**

Foi projetado para trabalhar em frequências mais baixas: 2 a 11 GHz. Aprovado em Janeiro de 2003, utiliza-se neste padrão sistemas Sem Linha de visada (NLOS - *Non Line Of Sight*). Sua taxa de transmissão fica em torno dos 75 Mbps e utiliza canais de 20 MHz.

#### **3.2.5. Padrão 802.16d**

Ratificado em Junho de 2004, entre as alterações destaca-se o suporte para antenas MIMO (*Multiple Input - Multiple Output*). Isto aumenta o alcance através dos múltiplos percursos.

A tecnologia wireless *Multiple-input multiple-output* (MIMO) utiliza múltiplas antenas para transmissão e recepção de sinais, aumentando assim a capacidade quando comparada com o sistema *Single-Input Single-Output* (SISO) usando a mesma largura de banda e potência de transmissão. Mostrou-se que a capacidade do sistema MIMO aumenta linearmente com o número de antenas na presença de um ambiente muito disperso.

O padrão 802.16d opera nos mesmos parâmetros do 802.16a nas frequências de 2 a 11 GHz, com taxas de transmissão em torno de 75 Mbps utilizando canais de 20 MHz. Este padrão consegue alcançar de 8 a 12 km em cobertura NLOS (sem visada) transpondo assim barreiras naturais como arvores, montanhas e outros obstáculos, e de 30 a 40 km em cobertura LOS. Este padrão não consegue realizar handoff entre as ERB'S

#### **3.2.6. Padrão 802.16e**

O 802.16e é capaz de realizar handoff entre as ERB'S em altas velocidades podendo o equipamento móvel estar a até 150 km/h, porém com taxas de

transmissão inferiores ao padrão 802.16a/802.16d. Com canais de 5 MHz, consegue-se velocidades em torno dos 15 Mbps.

O mecanismo do handoff mantém uma sessão de comunicação do usuário quando o mesmo se desloca de um lugar para o outro, conseguindo o mínimo de delay e conectado em várias BS ao mesmo tempo. A FIG. 8 ilustra o funcionamento do *handoff*.

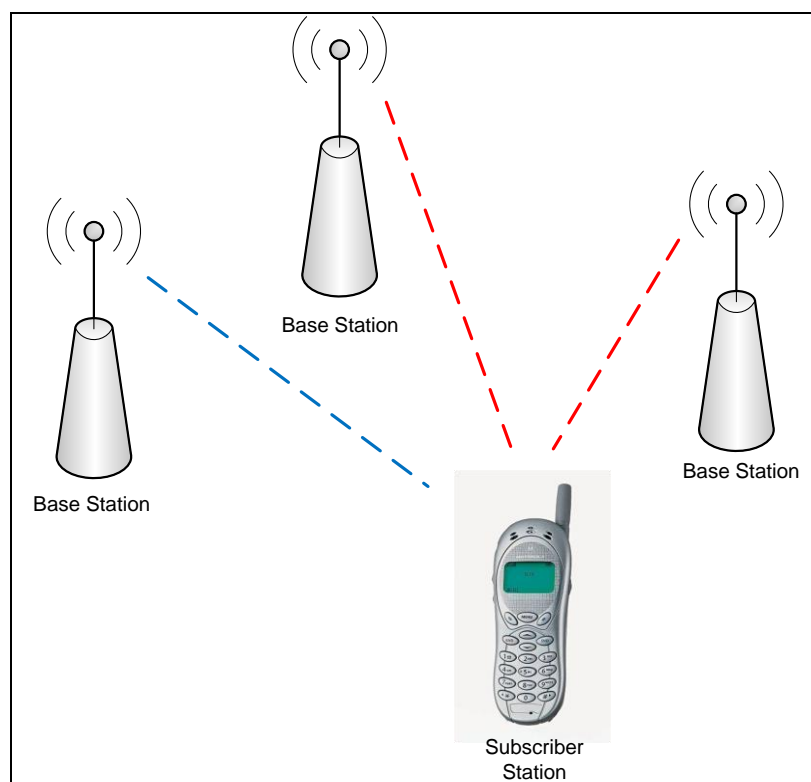


Figura 8 - *Soft handoff*

Fonte: Adaptado de <<http://www.conniq.com/WiMAX/handoff.htm>>

### 3.3. Frequências disponíveis para Wi-Max

#### 3.3.1. Frequências Licenciadas

No Brasil, as faixas licenciadas devem ser adquiridas através de licitações do órgão regulador que neste caso é a ANATEL.

##### 3.3.1.1. Frequência de 2,5 GHz

Frequência licenciada através da resolução N<sup>o</sup> 429, de 13 de fevereiro de 2006.

Por ser uma frequência mais baixa, tem alcance maior e consequentemente menos estações cobrindo assim uma grande área.

- Alcance com Linha de Visada (LOS) = 18 – 20 km;
- Alcance sem Linha de Visada (NLOS) = 9 – 10 km.

##### 3.3.1.2. Frequência de 3,5 GHz

Licenciada pela resolução nº 416, de 14 de outubro de 2005.

Esta frequência é a utilizada pelas operadoras de telecomunicações para prestação de serviços WIMAX.

- LOS = 12-14 km;
- NLOS= 6- 7 km.

##### 3.3.1.3. Frequência de 10,5 GHz

Licenciada pela resolução nº 307, de agosto de 2002. Para esta frequência ainda não são comercializados equipamentos. Nesta frequência, a cobertura é limitada necessitando assim de micro-células para o atendimento aos clientes.

### 3.3.2. Não Licenciada

Faixas de frequência não licenciadas são aquelas que podem ser utilizadas por qualquer empresa prestadora de serviço sem a necessidade de ser licenciadas, porém estas frequências podem ter níveis de interferência maior, dependendo da região de operação.

#### 3.3.2.1. Frequência de 5,8 GHz

É uma frequência disponível para WiMAX no Brasil e não licenciada a ponto de poder ser utilizada por qualquer prestadora de serviço sem a necessidade de gastos com aquisição de licenças podendo atender áreas de baixa renda.

Esta faixa de frequência pode atingir alcances como mostrado abaixo:

- Alcance com Linha de Visada (LOS) = 7 – 8 km;
- Alcance sem Linha de Visada (NLOS) = 3 – 4 km.

### 3.4. Transmissão OFDM

Transmissão OFDM (Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais) é uma técnica de transmissão que surgiu com uma evolução da técnica convencional, FDM (*Frequency Division Multiplexing*), Multiplexação por Divisão de Frequência onde, no lugar de utilizarem-se bandas de guarda para a separação do sinal, trabalha-se com uma particular sobreposição espectral de subportadoras. Pesquisas e testes comprovam que esta técnica será empregada em radiodifusão, transmissão digital em linhas de telefone e também em rede locais sem fio (*Wireless LAN*).

A grande vantagem de utilizar a técnica de transmissão por OFDM é poder utilizar o domínio da frequência com ganhos adicionais na utilização de técnicas de melhoria de sinal.

### 3.4.1. Aspectos da Transmissão

Na transmissão por OFDM, os dados são enviados em diversas subportadoras com modulação QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) ou PSK (*Phase Shift Keying*) que são transmitidos paralelamente. A redução na taxa de transmissão implica em uma diminuição da sensibilidade à seletividade em frequência causada por multipercurso.

Utilizando símbolos ciclicamente estendidos na técnica de modulação por OFDM, torna esse modelo mais eficaz no combate a desvanecimentos desta natureza.

A FIG. 9 ilustra o espectro de um pulso gerado na modulação QAM com frequência normalizada em relação ao valor  $1/T$ .

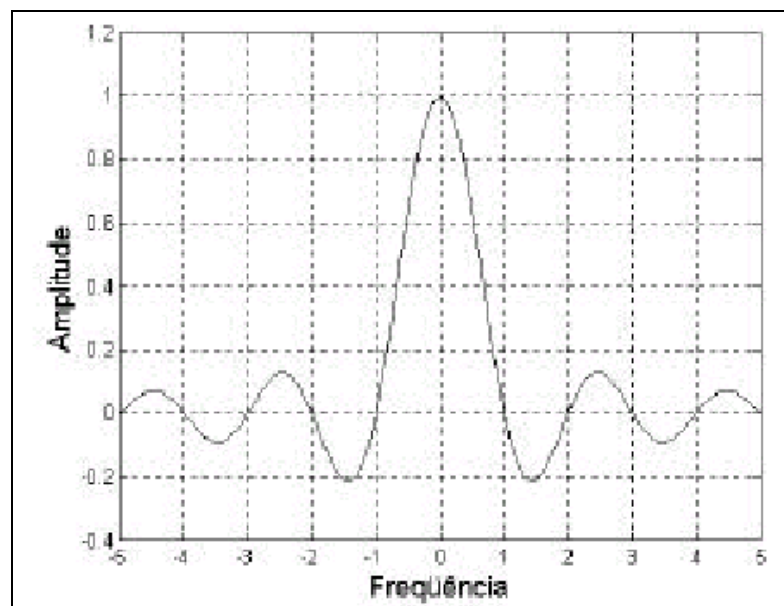


Figura 9 – Espectro de um sinal QAM

Fonte: [www.cetuc.puc-rio.br](http://www.cetuc.puc-rio.br)

Espaçamento entre subportadoras num sistema OFDM é cuidadosamente selecionado para que cada subportadora seja locada em pontos de cruzamento de zero do espectro das demais. A FIG. 10 ilustra esse caso:

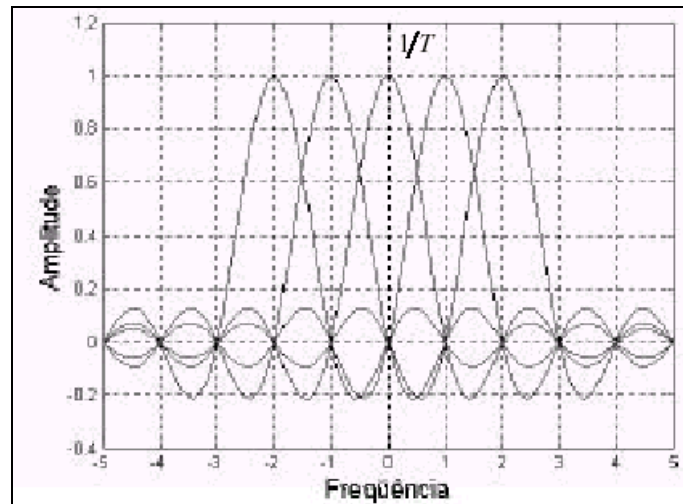


Figura 10 – Subportadoras de um Sinal OFDM

Fonte: [www.cetuc.puc-rio.br](http://www.cetuc.puc-rio.br)

Por existir sobreposição espectral de subportadoras moduladas, a informação conduzida por cada uma delas poderá ser isolada das demais através de um filtro casado adequado. A saída desse filtro corresponderá à projeção do sinal OFDM recebido sobre a subportadora a ele associada, e essa projeção, depende apenas da informação conduzida por esta subportadora.

O espaçamento de frequências empregado é entendido como ortogonalidade entre as portadoras e, para que se tenha essa ortogonalidade, faz-se necessário que as subportadoras estejam centradas nas respectivas frequências dos subcanais OFDM conforme pode ser observado na FIG. 11 que ilustra como a sobreposição espectral particular produz uma economia significativa de banda em relação à técnica FDM tradicional.

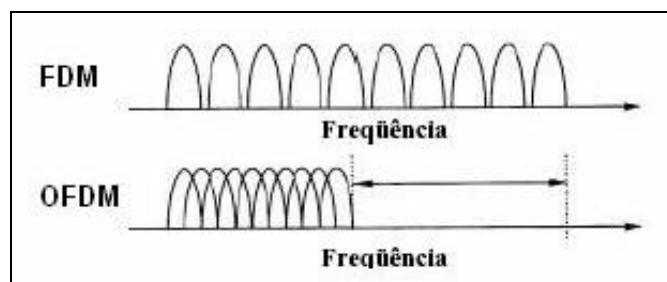


Figura 11 – Sobreposição espectral entre o FDM e o OFDM

Fonte: <http://si.uniminas.br/TFC/monografias/Vitor%20Monografia.pdf>

Em um sistema OFDM, a largura de faixa dos subcanais é dada pela divisão da largura de faixa total destinada ao sistema pelo número de subportadoras empregadas. É bem notável um grande benefício na seletividade em frequência quando se trabalha com canais mais estreitos ao invés de um único canal mais largo.

### 3.5. Topologia da Rede

*“Topologia de rede é a relação lógica e física dos nós em uma rede. É um mapa de uma rede que indica os segmentos de rede, os pontos de interconexão e as comunidades de usuários”. (Redes Sem Fio Metropolitanas Baseadas No Padrão 802.16: Um Estudo de Caso Para Belém-PA).*

A tecnologia WiMAX pode ser dividida em duas topologias:

- WiMAX como rede fixa;
- WiMAX chegando a clientes finais.

#### 3.5.1. Wi-Max como Rede Fixa

Pode ser utilizado em redes metropolitanas podendo ser do tipo *Backhaul* formando vários enlaces entre Estações Base e Estações Cliente sem atender o cliente final. O cliente final nesta topologia geralmente é atendido com WI-FI conforme ilustrado na FIG. 12.

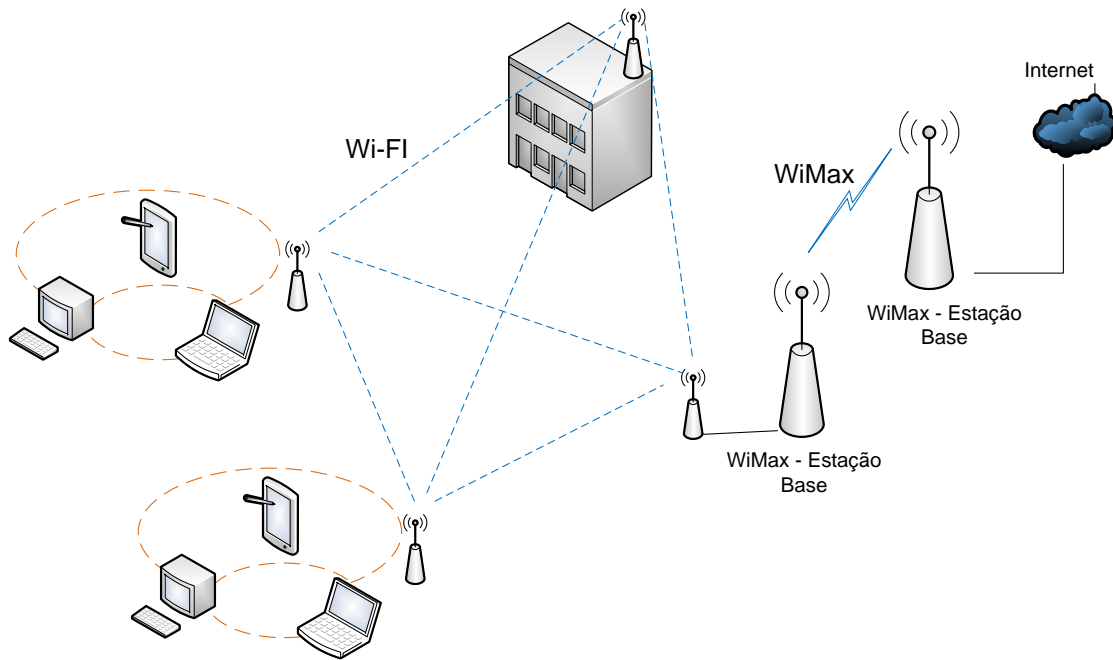


Figura 12 - Topologia da rede WI-MAX como *Backhaul* conectando a rede WI-FI  
 Fonte: Adaptado de <Intel, Understanding Wi-fi and Wi-max as Metro access solution ,2004>

### 3.5.2. Wi-Max chegando a Clientes Finais

Para o atendimento a clientes neste tipo de topologia é necessária a instalação de uma antena no cliente chamada de CPE (*Customer Premises Equipment*) que pode ser instalada no telhado do cliente com ou sem visada direta. Com este serviço foi possível conseguir uma melhor qualidade quando comparada a outras tecnologias. A FIG. 13 ilustra a topologia da rede.



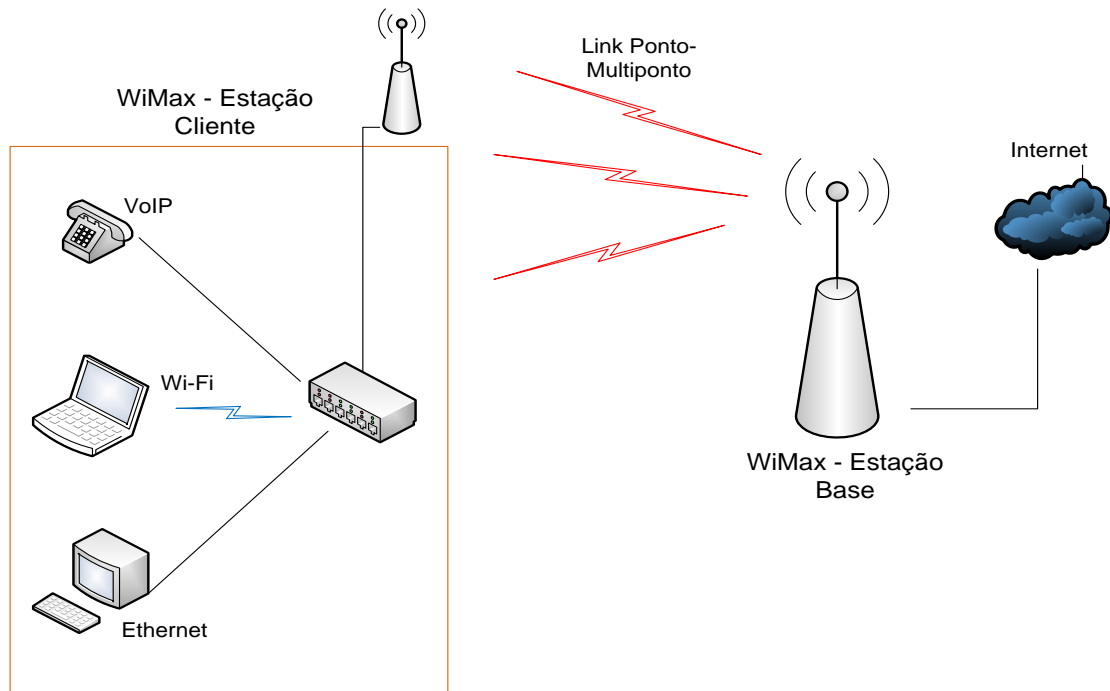


Figura 13 - Topologia da rede chegando no cliente final

Fonte: Adaptado de <Intel, Understanding Wi-fi and Wi-max as Metro access solution ,2004>.

### 3.6. Segurança

Segurança em rede WIMAX, como em qualquer outra rede, é um item fundamental para o seu bom funcionamento, ainda mais por se tratar de uma rede sem fio, que não apresenta dificuldade no acesso. Ao contrário da rede por cabos onde é necessário chegar ao meio físico, as redes sem fio ficam mais expostas à violação do que as redes chamadas de cabeadas.

As principais funções de uma camada de segurança são:

- Sigilo de informações;
- Autenticação e autorização;
- Troca de chaves;
- Certificação digital.

Para a comunicação entre a estação base e as estações clientes é necessário que haja um caminho confiável para a comunicação entre estes pontos. Para isso, no início da comunicação, a estação cliente busca a estação base através de um canal de controle e esta autentica a estação cliente através do protocolo PKM (*Privacy Key Management*) gerando assim as chaves de segurança que estabelecem a comunicação.

Neste processo de autenticação, a estação base não é autenticada por não ser possível operar sem autorização e sem interrupção do serviço e o cabeçalho não é criptografado, somente a informação é criptografada. A criptografia destes dados é realizada normalmente utilizando o DES (*Data Encryption Standard*) e executado em modo CBC (*Cipher Block Chaining*). Estes sistemas por serem de chaves simétricas, fazem com que as operações sejam mais rápidas do que se fosse usado um sistema de chaves assimétricas.

O padrão 802.16 define elementos necessários para o funcionamento das redes WiMAX, sendo o acesso a uma rede sem fio, sem a permissão de mobilidade. Estabelece também requisitos de implantação de antenas, protocolos de comunicação em pontos de acesso e estações de assinantes.

O padrão 802.16e (*Mobile WiMAX*) define a implantação de uma rede 802.16 trazendo ao usuário toda a mobilidade de um acesso sem fio, sendo este acesso rápido a qualquer rede e lugar, justificando a vantagem sobre as redes cabeadas em regiões em que a demanda para tráfego de dados é limitada, inviabilizando a construção de uma infraestrutura.

A necessidade de se tratar de segurança para estas redes se deve ao fato da utilização de um canal aéreo através de frequências definidas por órgãos de regulamentação. As soluções para redes Wi-Fi (802.11) já são bem conhecidas e bem definidas de certa forma.

As redes Wi-Fi (802.11) tem esquemas de segurança definidos pelos seguintes elementos:

- Criptografia WEP (*Wired Equivalent Privacy*): utilizando um algoritmo RC4 com uma chave secreta de 40 bits ou 104 bits e um vetor de inicialização de 24 bits;
- WPA (*Wi-Fi Protected Access*): conhecido no mercado também como o WEP “melhorado” trazendo como vantagem o upgrade da criptografia de dados, onde se utiliza um protocolo de chave temporária (TKIP) que possibilita a criação de chaves por pacotes e um vetor de inicialização de 48 bits;
- Infraestrutura de chaves públicas;
- Certificados digitais;
- Autenticação por meio de servidores RADIUS (*Remote Dial-in Service Protocol*).

Os servidores RADIUS foram criados em meados de 1992 para viabilizar acesso remoto, até então para usuários em redes discadas. Os objetivos do RADIUS eram: ser um protocolo aberto, independente de máquina, expansível e de fácil implementação.

O RADIUS com o passar do tempo evoluiu de forma significativa e passou a ser um serviço de autenticação não só para usuários discados. Atualmente a grande maioria dos servidores de acesso remoto tem suporte a esse protocolo.

Ao tratar de esquemas de segurança para redes WiMAX, é necessário lembrar que o WiMAX é uma tecnologia recente. Alguns aspectos de segurança foram tratados em 2004 quando se estabeleceu o padrão 802.16 e com o passar dos anos, novas especificações foram desenhadas, principalmente para o padrão 802.16e.

Para o projeto, o modelo de segurança adotado será o de chave de acesso sendo exigido login e senha de todos os usuários.

### 3.7. Características Técnicas

Para as características técnicas, o padrão IEEE 802.16 leva em consideração suas altas taxas de transferência de dados, com velocidades de transmissão em 134,4 Mbps em bandas licenciadas e a 75 Mbps em bandas não licenciadas.

Outra característica importante e diferencial no padrão IEEE 802.16 é que a interface área transmite dados ou tráfego multimídia necessitando de alto suporte de qualidade de serviço (QoS). Este padrão não admite atraso na qualidade de serviço em comunicação de telefonia e multimídia, pois é totalmente orientado a conexões.

O padrão IEEE 802.16 apresenta também uma característica técnica em um sistema de modulação adaptativa, utilizando três esquemas de modulação: QAM-64; QAM-16 e QPSK. O esquema de modulação do sinal nesse sistema é ajustado dependendo da condição do canal. Se o canal de rádio é de alta qualidade, utiliza-se um esquema de modulação mais elevado (QAM-64). Se o sinal atenua, o padrão pode alterar o esquema de modulação a fim de manter qualidade do sinal. Assim a modulação passa para QAM-16 ou QPSK.

O QUADRO 1 abaixo ilustra as principais características do padrão IEEE 802.16 comparando com sua variação, o padrão IEEE 802.16a:

Quadro 1 – Características do padrão IEEE 802.16  
Fonte: [www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=174](http://www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=174)

Descrição	802.16	802.16 <sup>a</sup>
<b>Completado</b>	Dezembro de 2001	Janeiro de 2003
<b>Espectro de Frequência</b>	10-66 GHz	2-11 GHz
<b>Condições do canal</b>	Apenas visada direta	Suporta a falta de linha de visada
<b>Taxa de transferência</b>	32-134,4 Mbps	1-75 Mbps
<b>Modulação</b>	QAM-64, QAM-16, QPSK - Single Carrier	QAM-64, QAM-16, QPSK - Single Carrier - OFDM 256
<b>Duplexação</b>	TDD/FDD	TDD/FDD
<b>Largura de banda do canal</b>	20, 25 e 28 MHz	Largura de banda do canal flexível entre 1.25 e 20
<b>Mobilidade</b>	Fixa	Fixa

Analisando o QUADRO 1, observa-se que no padrão 802.16a há suporte a falta de visada direta. Já no padrão 802.16 isso não é permitido. A taxa de transmissão do padrão 802.16 é bem maior que a no padrão 802.16a. Os padrões são sistemas fixos, portanto, não há mobilidade para os assinantes da rede.

### 3.8. Camada Física

A escolha da banda de 10 a 66 GHz para operar o padrão 802.16 se deve a necessidade de mais espectro do que as bandas ISM (*Instrumentation, Scientific e Medical*) podem oferecer para as redes sem fio de banda larga. Nessa faixa de frequência, as microondas se propagam em linha reta, semelhantemente à luz, sendo necessária a propagação com linha de visada (*line-of-sight*). As microondas também podem ser concentradas em feixes direcionais. Assim, uma mesma estação base pode direcionar antenas para diferentes setores com grande independência.

Como as redes metropolitanas são cobertas por grandes distâncias, pode ocorrer variação significativa da potência recebida na estação base de estação para estação, dessa forma diminuindo a relação sinal/ruído. Dependendo da distância entre o assinante e a estação base, são utilizados três esquemas diferentes de modulação: o QAM-64 (6 bits/ baud); o QAM-16 (4 bits/ baud) e o QPSK (2 bits/ baud). A FIG. 14 ilustra a atuação dos três esquemas:

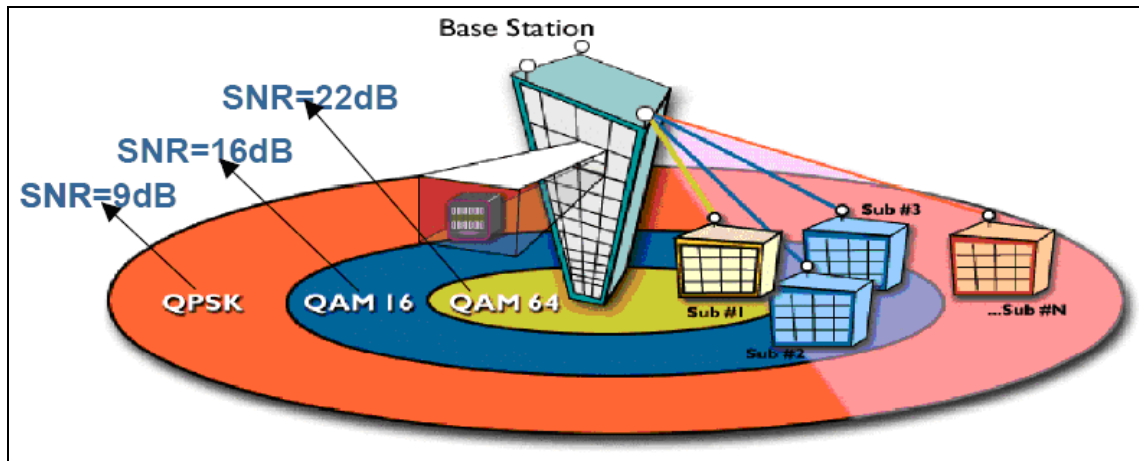


Figura 14 – Esquema adaptativo em função das condições do canal

Fonte: [http://www.ravel.ufrj.br/arquivosPublicacoes/cos762\\_apres\\_GustavoDias.pdf](http://www.ravel.ufrj.br/arquivosPublicacoes/cos762_apres_GustavoDias.pdf)

A especificação da camada física para a faixa de frequência de 10 a 66 GHz utiliza modulação de portadora única (*Single Carrier*). Entre a estação base e o assinante a multiplexação dos sinais transmitidos é feita por TDM (*Time Division Multiplexing*) e por TDMA (*Time Division Multiple Access*) é feita a multiplexação dos sinais entre o acesso dos assinantes e a estação base.

### 3.8.1 Subcamada MAC

A subcamada MAC (*Medium Access Control*) no ambiente sem fio suporta alguns protocolos de transporte como ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), Ethernet e IP, sendo também projetada para atender a futuros protocolos que ainda não foram desenvolvidos. Projetada para elevadas taxas de transmissão (até 268 Mbps em cada sentido), a subcamada MAC permite ainda QoS (*Quality of Service*) compatível com ATM.

A função da subcamada MAC é controlar o acesso ao meio e garantir o nível de QoS na interface área, usando mecanismos dinâmicos de reserva de banda e priorização de tráfego. O conjunto das principais funcionalidades da subcamada MAC é, adicionalmente, o suporte a múltiplas interfaces para camadas físicas e para a rede-núcleo assim como os mecanismos de sincronismo e segurança da informação.

Alguns mecanismos na subcamada MAC garantem QoS diferenciado pelo fato de suportar diferentes necessidades das diversas aplicações. Um exemplo é a comunicação por voz e vídeo, que requer baixa latência, mas toleram alguma taxa de erro. Já as aplicações genéricas de dados são mais restritivas a erro, mas a latência geralmente não é crítica.

A subcamada MAC utiliza PDU's (*Protocol Data Unit*) de tamanho variável que juntamente com outros conceitos, garante um aumento significativo na eficiência do padrão. Múltiplos PDU's de subcamada MAC podem ser concatenados a uma rajada única, tendo economia de overhead na camada PHY (*Physical*).

A FIG. 15 abaixo ilustra arquitetura de protocolos especificando, segundo versão atual do padrão IEEE 802.16, a interface área para frequências até 66 GHz incluindo a camada de enlace de dados – subcamada MAC – e múltiplas camadas físicas – PHY.

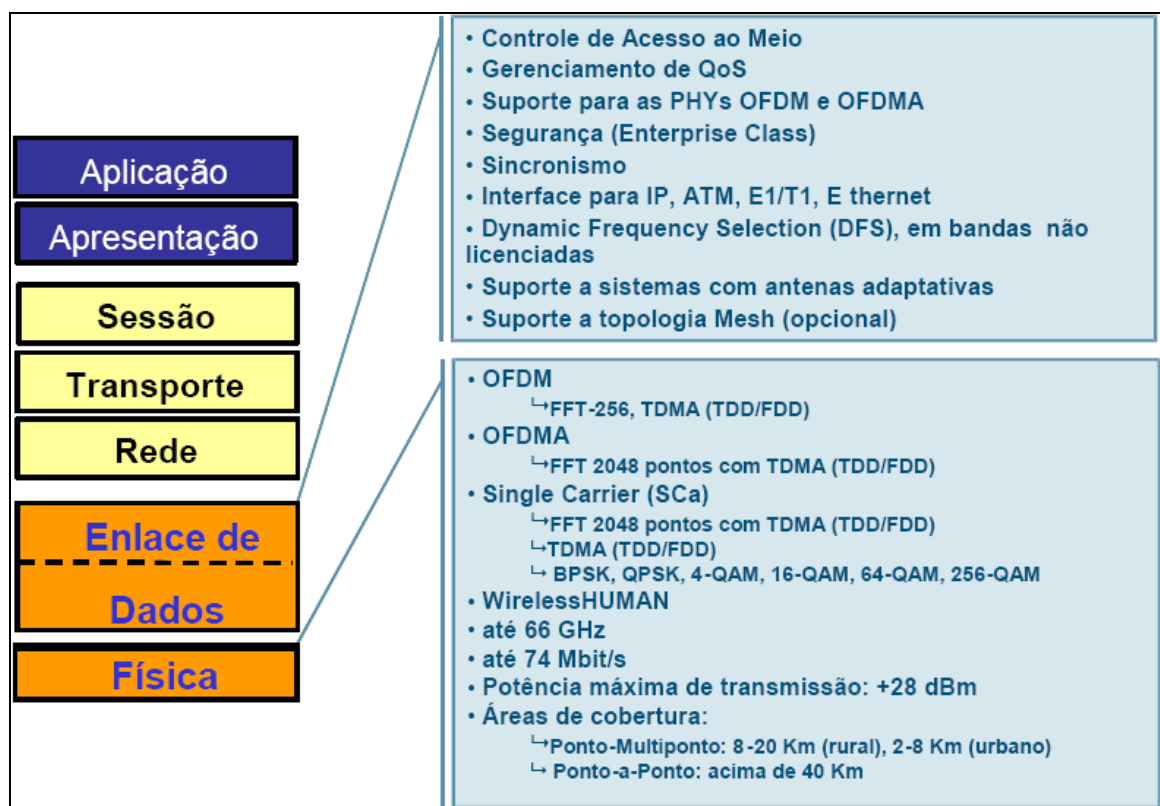


Figura 15 – Arquitetura de Protocolos WI-MAX

Fonte: [http://www.cpqd.com.br/file.upload/sas1437\\_tecnologia\\_wimax\\_port\\_v02.pdf](http://www.cpqd.com.br/file.upload/sas1437_tecnologia_wimax_port_v02.pdf)

## 4. O PROJETO

O projeto tem como objetivo a integração entre todos os órgãos públicos da cidade de Nova Lima, visando uma maior interação entre eles, através da tecnologia WIMAX, possibilitando uma comunicação mais acessível e eficiente trazendo maior comodidade para a população.

Conforme estudo de demanda de serviços de telecomunicações e visita ao município de Nova Lima, realizado no Projeto Integrado (PIIn), verificou-se que o serviço de banda larga tem potencial para um grande crescimento.

Inicialmente, os locais a serem atendidos foram escolhidos de acordo com a necessidade básica do município:

- Tribunal Regional do Trabalho;
- Câmara Municipal;
- Escola Municipal Emilia de Lima;
- Prefeitura Municipal.

O projeto prevê a cobertura de uma extensa área na cidade caso ocorra, de acordo com a demanda do município, a necessidade de ampliação de suas unidades.

### 4.1. *Site Survey*

O *site survey* tem como objetivo obter um levantamento da topologia inicial da rede no local, sendo necessários alguns equipamentos que auxiliam na vistoria como, por exemplo:

- GPS: tem a função de levantar as coordenadas no ponto de atendimento, conforme FIG. 16;





Figura 16 –Coordenadas coletadas no GPS

Fonte: Autores.

- Binóculo: utilizado para localizar se o ponto atendido tem visada direta para coletora ou vice e versa;
- Bússola: utilizada para verificar o azimuth dos pontos atendidos referente à coletora e vice versa.

Na FIG. 17 é ilustrado o funcionamento da bússola verificando o azimuth dos pontos atendidos.



Figura 17 - Bússola

Fonte: Autores

Primeiramente, é necessário localizar os pontos de atendimento escolhidos através da ferramenta *Google Earth*, demarcando todos os pontos para facilitar o levantamento da distância, acesso e numeração dos pontos a serem atendidos. A FIG. 18 mostra esse procedimento.



Figura 18 – Localização dos pontos.

Fonte: Autores

Foram verificadas em campo, através do GPS, as coordenadas corretas dos locais de atendimento, da estação Rádio base do Wimax e da estação de acesso pertencente à operadora Oi.

#### 4.2. Coletora de Acesso a Rede Mundial de Computadores e Internet

Conforme vistoria realizada em campo, a melhor opção para o funcionamento do sistema é utilizar o *backhaul* (entroncamento) alimentado por um link de transmissão que promova acesso a rede mundial de computadores Internet e sistema através de

um link de transmissão fornecido pela Oi, operadora que atualmente promove esse serviço na região de Nova Lima e também a que melhor viabiliza este produto.

As FIG. 19 e 20 abaixo mostram a infraestrutura e coordenadas (latitude 19° 58' 57.0", longitude 43° 51' 06.7") da estação Oi em Nova Lima de onde será contratado o link de comunicação.



Figura 19 – Estação da Oi  
Fonte: Autores.



Figura 20 - Torre da OI

Fonte: Autores.

Após o levantamento das coordenadas, buscou-se traçar o Perfil do enlace através do SIGAnatel – Sistema de Informações Geográficas, conforme FIG. 21, no qual foi verificado que não há nenhum impedimento com as linhas de *Fresnel*, ou seja, o enlace possui visada direta com a Estação Rádio Base não tendo nenhum impedimento ou obstrução entre a estação coletora e a estação Rádio Base. A FIG. 21 e 22 abaixo ilustra essa análise.

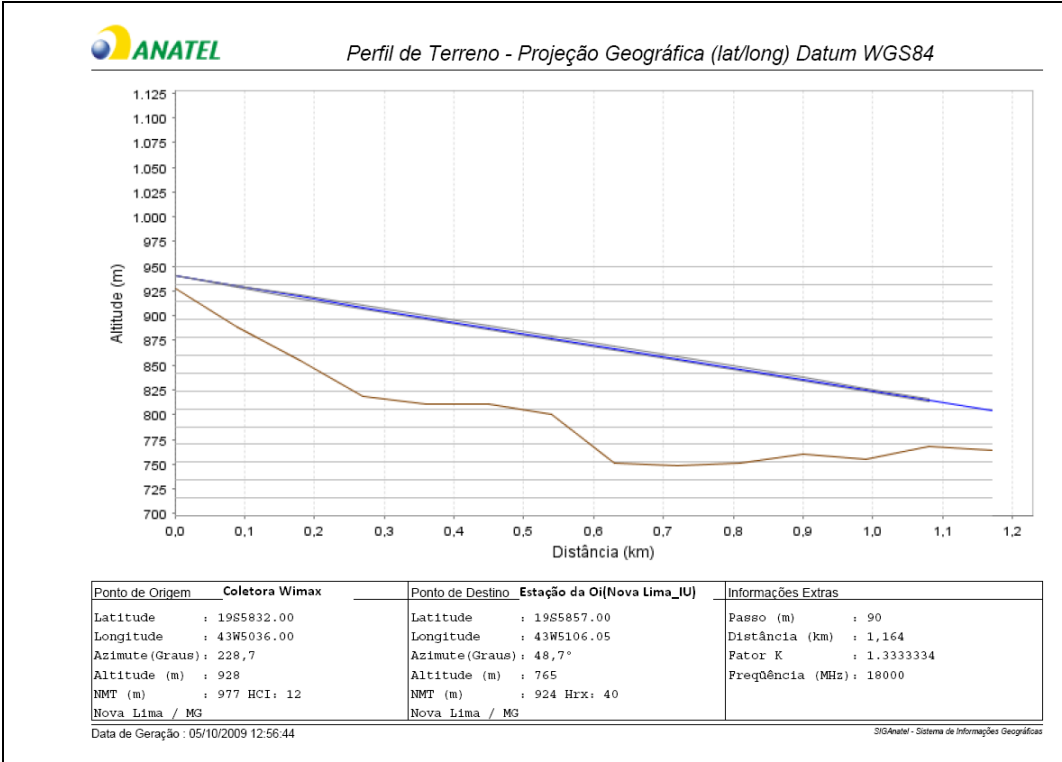


Figura 21 - Perfil Oi X Estação Radio Base  
Fonte: Programa SigAnatel do site [www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br).



Figura 22 - Estação Rádio Base  
Fonte: Autores.



### 4.3. Estação Rádio Base

Em vistoria no local para escolher o ponto de concentração onde será instalado o rádio base, foi observado que o ponto melhor será a instalação da estação Rádio base na torre de telefonia celular da operadora TIM NORDESTE S.A. A estação NLCE01, localizada no bairro Mingu na Rua Jose J. SOUZA, nº 300 conforme consulta na Anatel, está autorizada pelo órgão regulador a prestar o serviço móvel pessoal. A FIG. 23 ilustra a consulta realizada no site da Anatel.

Ministério das Comunicações									
Destaque do Governo									
ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações									
Sistemas Interativos									
Menu Principal									
Tela Inicial Resultado da Consulta									
Resultado da Consulta									
Empresas Autorizadas no Estado : MG									
Serviço: 010 - SERVIÇO MÓVEL PESSOAL									
UF: MG									
Município: Nova Lima									
Número/Nome: 3951324 - CLARO S.A.									
Número/Nome: 1020757 - TELEMIG CELULAR S.A.									
Número/Nome: 1164481 - TIM NORDESTE S.A.									
Número/Nome: 1278410 - TIM PCS S.A.									
Total Erbs no Município: 61									
Dados da Entidade									
Número/Nome: 1164481 - TIM NORDESTE S.A.									
CNPJ/CPF: 01006686000144									
Serviço: 010 - SERVIÇO MÓVEL PESSOAL									
Número FISTEL: 11020179309									
Qtde. Estações: 15									
Lista de Estação(ões) por Localidade									
Entidade nº1164481									
Estação	Nome	UF	Município	Bairro	Logradouro	Latitude	Longitude	Data Cadastro	Data 1º Lic.
379989620 NLSP03		MG	Nova Lima	VALE DO SERENO	ALAMEDA DA SERRA - nº 420	195585300	43W563870	27/08/1998	14/10/1999
870989735 NLCE01		MG	Nova Lima	MINGU	RUA JOSE J SOUZA - nº 300	195582970	43W503700	28/08/1998	23/08/2002
441819028 NLVD04		MG	Nova Lima	CONDOMÍNIO VILA DEL REY	ALAMEDA CONDE DO RIO PARDO - nº SN	195594740	43W565870	30/07/1999	08/11/1999
442175981 NLLI06		MG	Nova Lima	(RURAL)	CLUBE DE VOO SERRA DA MOEDA - nº 5/N	205114000	43W584420	17/09/1999	30/11/1999
442753322		MG	Nova Lima	JARDIM CANADA	RUA MELITA, 86 - nº .	205034100	43W590100	04/11/1999	10/01/2000
443767165		MG	Nova Lima	MORRO DO CHAPEU	RUA DO LAZER, 900 - nº .	205060400	43W555400	12/01/2000	09/05/2000
533072333		MG	Nova Lima	PAU POMBO	ALAMEDA DAS TULIPAS, 418 - nº .	205000400	43W533100	10/05/2000	07/07/2000
534774067 ITRC02		MG	Nova Lima	KM37	FAZENDA RETIRO DA SAUDADE, KM 37 DA RODOVIA BR 356 - nº KM37	205113430	43W535760	11/07/2000	30/08/2000
687289920 NLCR09		MG	Nova Lima	CRISTAIS	RUA RIO PARANAIBA - nº 63	195595400	43W504000	14/07/2005	22/07/2005
687424933 NLIN12		MG	Nova Lima	VILA DA SERRA	RUA SENADOR MILTON CAMPOS - nº 155	195591100	43W564900	22/08/2005	08/09/2005
687425131 NLIN13		MG	Nova Lima	VILA DA SERRA	RUA SENADOR MILTON CAMPOS - nº 175	195591200	43W565400	13/03/2009	15/04/2009
687560365 NLMA08		MG	Nova Lima	SAO SEBASTIAO DAS AGUAS CLARAS	ESTRADA DOS MENDES, FAZENDA PASSO GRANDE - nº 5/N	205023950	43W543380	06/10/2005	24/11/2005
688256830 NLCE14		MG	Nova Lima	CENTRO	RUA JOSE DAVILA - nº 55	195585820	43W510650	09/03/2006	29/03/2006
688910963 NLMT11		MG	Nova Lima	RODOVIA	RODOVIA BR 040 - nº SN	205025860	43W580240	06/12/2006	21/12/2006
700225472 NLRP10		MG	Nova Lima		SERRA DA CALÇADA BR 040 - nº 5/N	205025630	43W585940	06/10/2005	24/11/2005

Figura 23 - Cadastro da Estação Rádio Base na Anatel.

Fonte: [www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br).

O ponto de concentração escolhido foi devido à localização geográfica, acesso, facilidade de instalação do sistema, economia com infraestrutura e viabilidade em implantar uma rede para ambientes LOS (*Line-of-sight* – Com Visada Direta).

Para viabilizar a implantação da rede, torna-se necessário solicitar junto a TIM o compartilhamento de infraestrutura para o presente projeto.

As características do ponto de concentração, visualização para os pontos a serem atendidos e juntamente os Perfis traçados para cada ponto de atendimento, podem ser observados nas FIG. 24 à 44.



Figura 24 - *Container* da operadora TIM.  
Fonte: Autores.



Figura 25 - Torre da operadora TIM  
Fonte: Autores.



Figura 26 - Visada entre a ERB e coletora Oi.  
Fonte: Autores.



#### 4.4. Localidades a serem atendidas

O *Site Survey* define vários requisitos tais como: os ponto de instalação, necessidade para essa instalação, ou seja, toda necessidade do projeto.

Através do *Site Survey* foram direcionados os pontos de atendimento, onde todos os pontos possuem visada direta para a estação Rádio Base, ou seja, não há nenhum impedimento ou obstrução entre os pontos a serem atendidos e a estação rádio base. O enlace será do tipo visada direta conforme visto nos Perfis traçados.

Vários fatores podem influenciar na implantação do projeto, desde o acesso ao local até os detalhes finais. As localidades a serem atendidas foram determinadas de acordo com a necessidade básica do município, sendo apresentadas as características dos pontos de atendimento assim como a visualização para a estação Rádio base, conforme visto nas FIG. 27 a 42.

##### 4.4.1. Justiça do Trabalho



Figura 27 - Tribunal Regional do trabalho.

Fonte Autores.

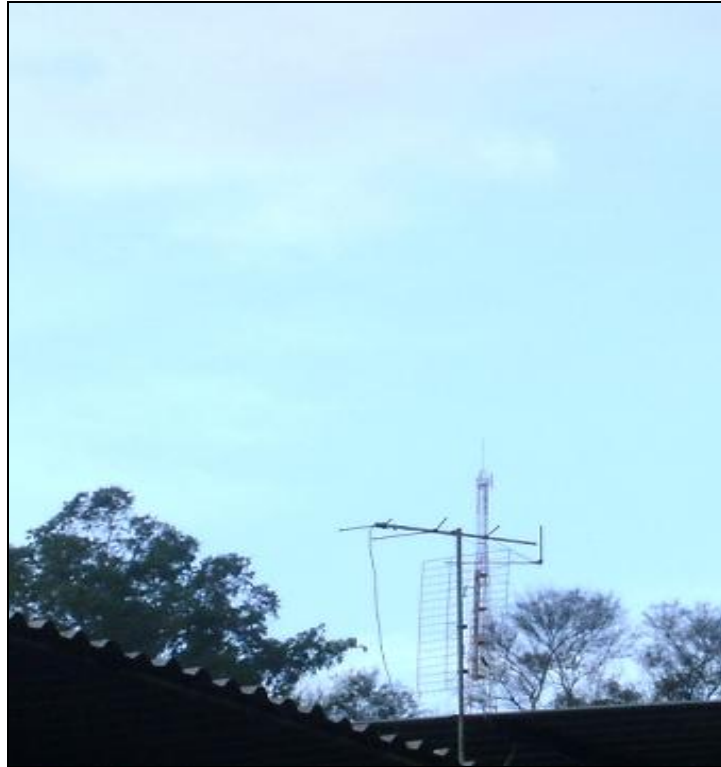


Figura 28 - Linha de visada entre o Tribunal Regional do Trabalho e a ERB  
Fonte: Autores.



Figura 29 - Visada entre a ERB e Tribunal Regional.  
Fonte: Autores.

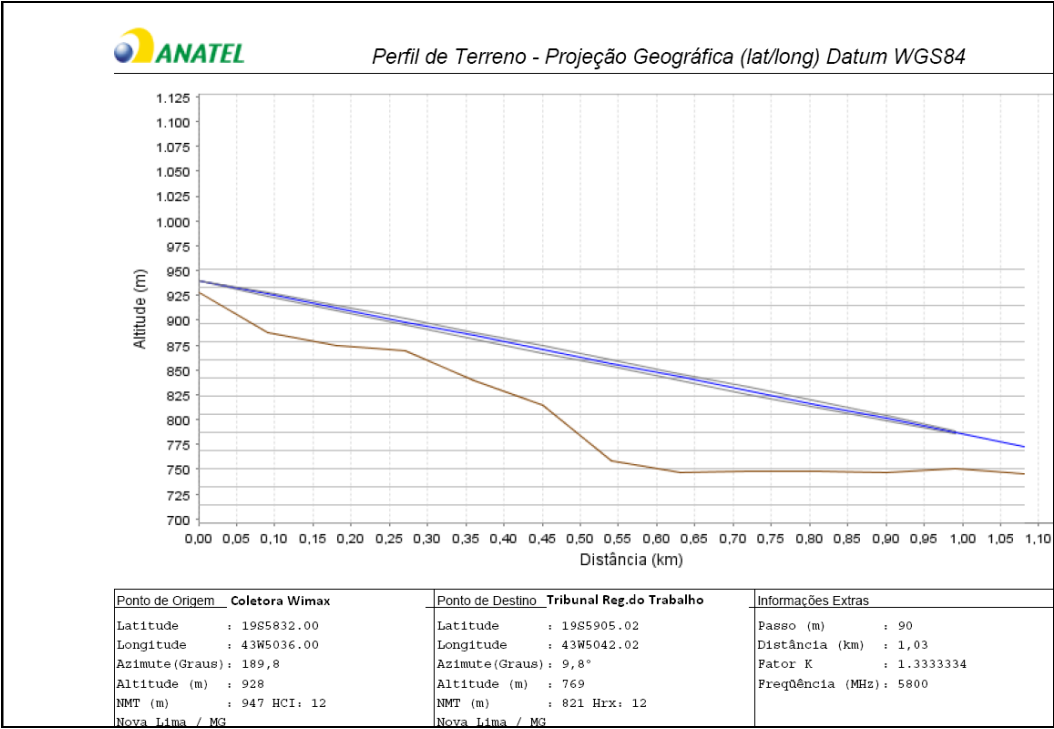


Figura 30 - Perfil entre a estação Rádio Base e Tribunal Regional.  
Fonte: Programa SigAnatel do site [www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br).

4.4.2. Câmara Municipal de Nova Lima



Figura 31 - Câmara Municipal e a estação Rádio Base.  
Fonte: Autores.



Figura 32 - Linha de visada entre a Câmara  
Fonte: Autores.



Figura 33 - Linha de visada entre a estação Rádio Base e Câmara Municipal.  
Fonte: Autores.

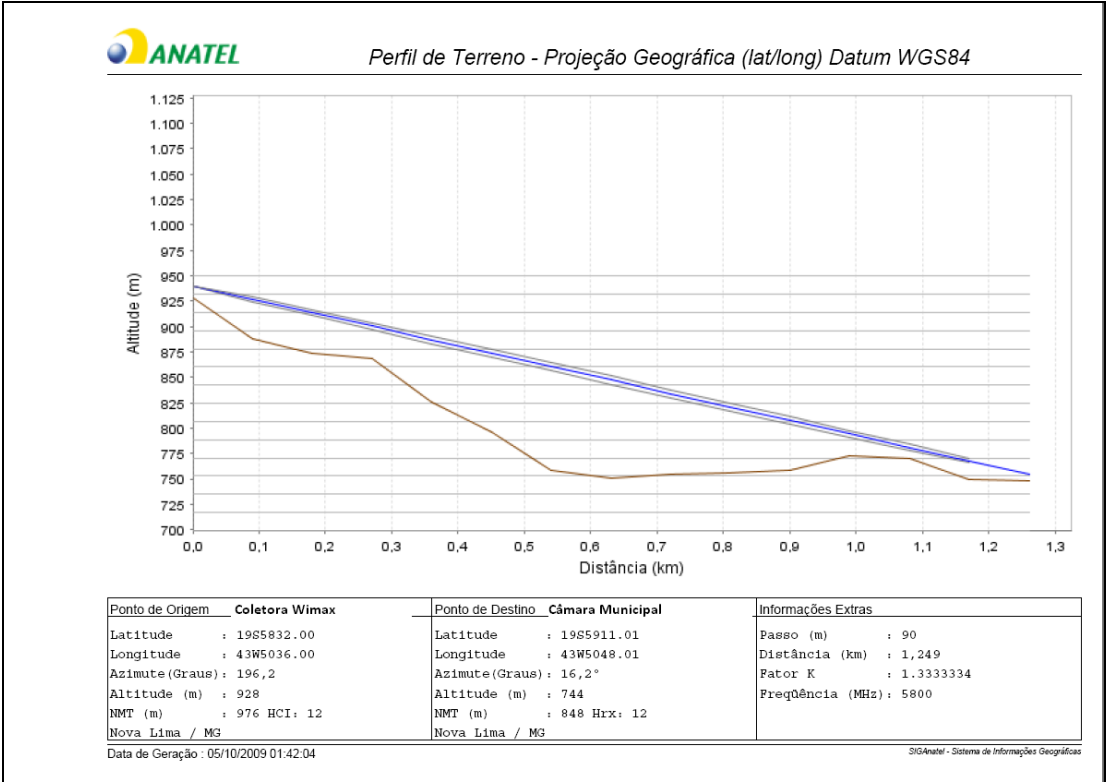


Figura 34 - Perfil entre a estação Rádio Base e Câmara Municipal.  
Fonte: Autores.

4.4.3. Escola Municipal Emília de Lima



Figura 35 - Municipal Emilia de lima e a ERB.  
Fonte: Autores





Figura 36 - Linha de visada entre a Escola  
Fonte: Autores.



Figura 37 - Linha de visada entre a estação Rádio Base e Escola M. Emilia de Lima.  
Fonte: Autores.

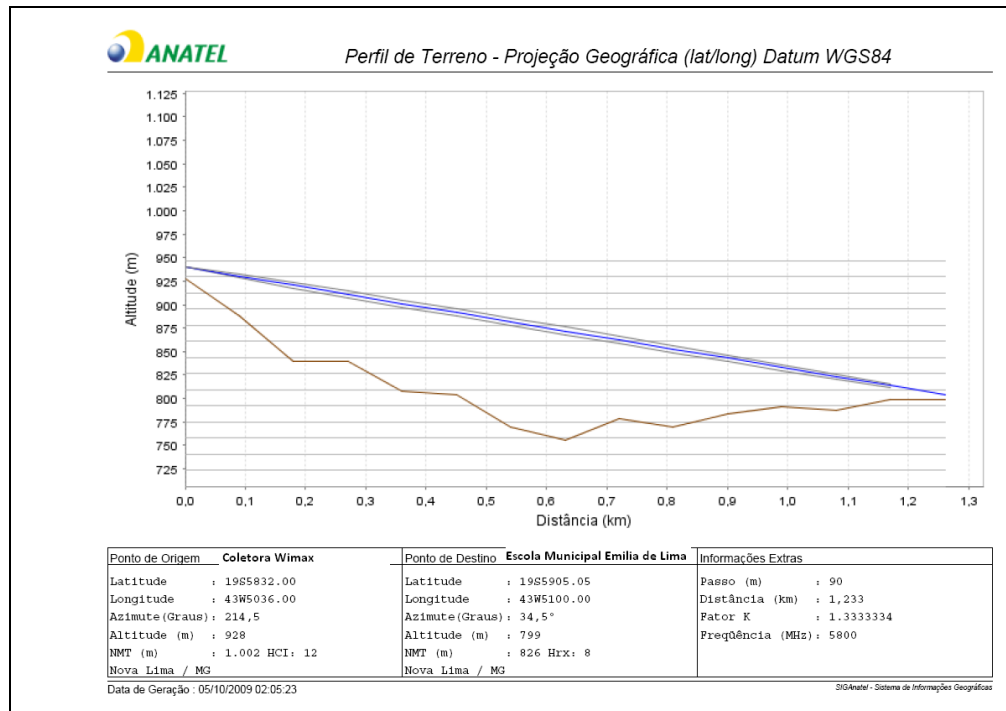


Figura 38 - Perfil entre a estação Rádio Base e Escola Municipal Emília de Lima.  
Fonte: Programa SigAnatel do site [www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br).

#### 4.4.4. Prefeitura Municipal



Figura 39 - Prefeitura Municipal.  
Fonte: Autores.



Figura 40 – Linha de visada entre a Prefeitura e a Estação de Rádio Base.  
Fonte: Autores.



Figura 41 - Linha de visada entre a estação Rádio Base e Prefeitura de Nova Lima.  
Fonte: Autores.



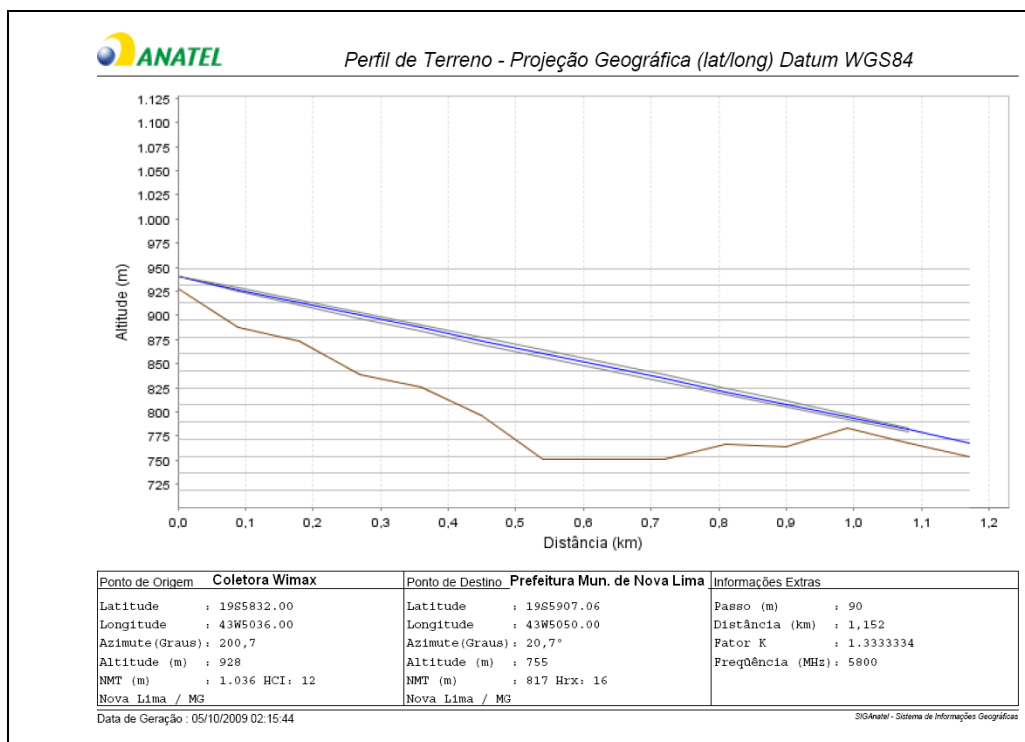


Figura 42 - Perfil entre a estação Rádio Base e Prefeitura Municipal de Nova Lima.  
Fonte: Programa SigAnatel do site [www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br).

#### 4.5. Topologia

Para suprir a demanda do projeto, a rede irá necessitar de um link de transmissão que será contratado da operadora Oi, através de um enlace rádio ponto-a-ponto entre a Coletora Oi e a estação Rádio base. Dessa forma, será necessário traçar o Perfil para certificar a viabilidade do enlace.

A topologia para implantação da rede WiMAX no município de Nova Lima consiste na instalação de uma antena com largura de feixe de 120° que será a estação Rádio Base, solicitando compartilhamento com a Torre da TIM NORDESTE S.A. Este sistema será responsável por atender a princípio às quatro localidades escolhidas, podendo ser a mesma ampliada de acordo com a necessidade e demanda do município, conforme mostra a FIG. 43 abaixo.

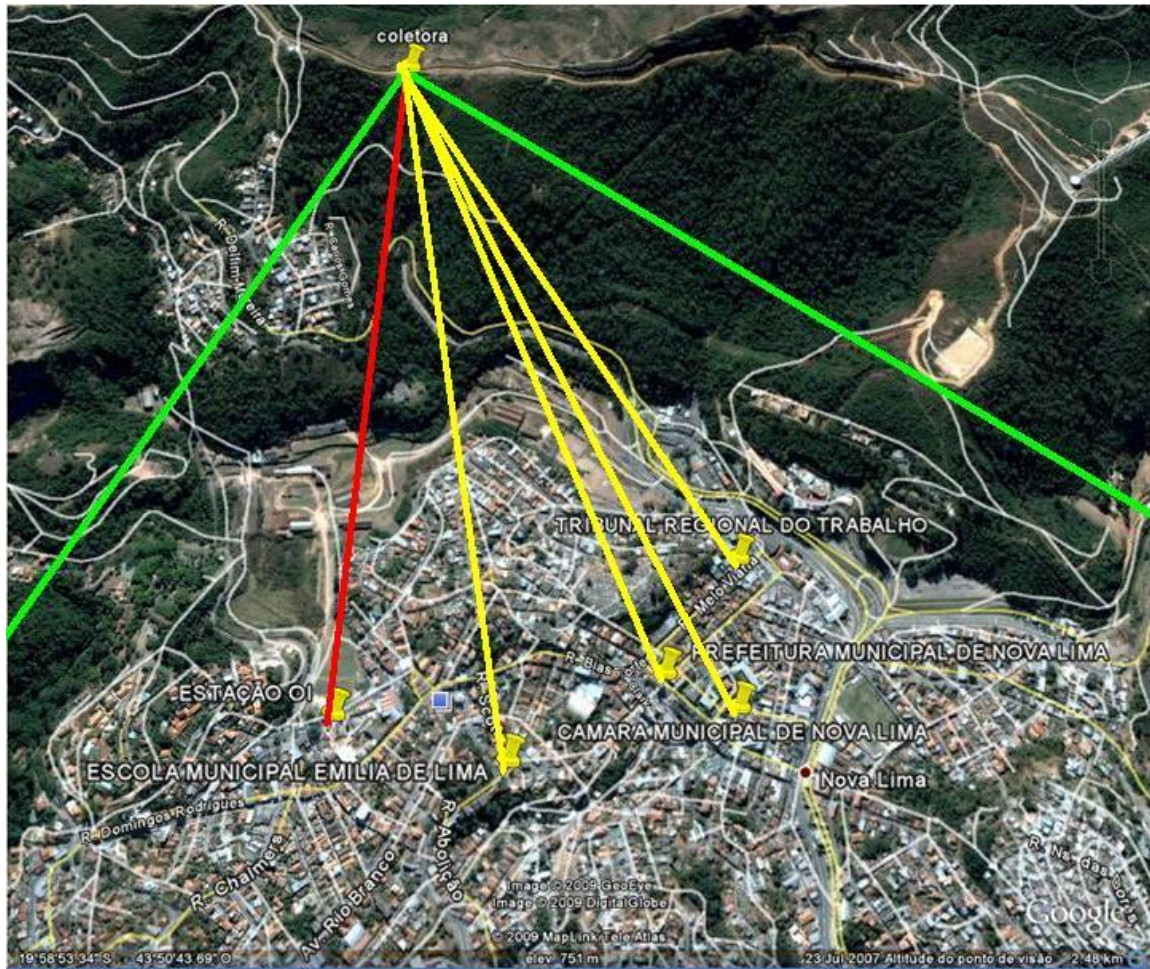


Figura 43 - Topologia geral da rede.

Fonte: Autores.

Para que o sistema tenha flexibilidade e segurança, foi adotada uma solução ponto-multiponto WiMAX em ambiente LOS (*Line-of-sight* – Com Visada Direta), utilizando a faixa de frequência disponível para WiMAX no Brasil e não licenciada de 5,8 GHz, podendo a mesma atingir alcance em ambiente LOS de 7 à 8 Km.

A FIG. 44 ilustra a topologia geral da rede com os pontos a serem atendidos inicialmente:

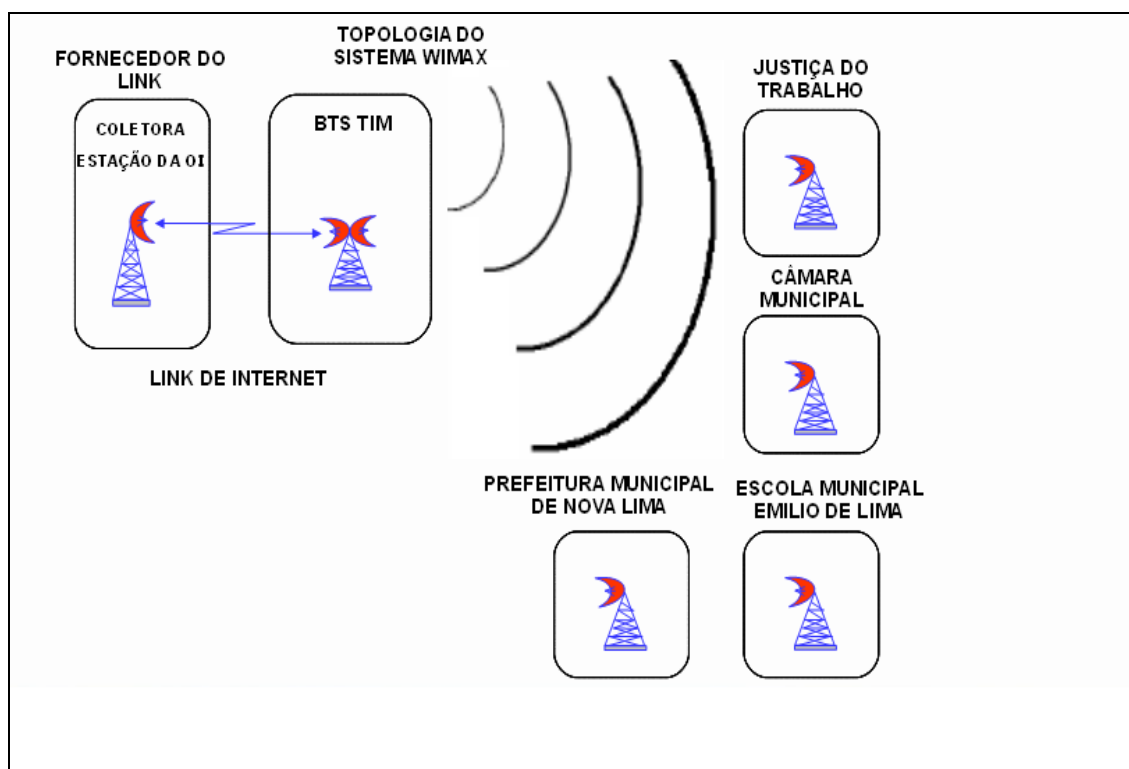


Figura 44 – Topologia geral da rede

Fonte: Autores.

#### 4.6. Transmissão

Conforme apresentado na topologia, será necessário contratar um link da operadora Oi que entrará nos custos operacionais do projeto.

A princípio, o link de transmissão a ser utilizado será de 4E1 (8 Mbps), podendo ser ampliado o sistema para 8E1 (16Mbps), observando sempre a capacidade máxima de transmissão suportada pelos equipamentos da rede.

Após o início das operações, será necessário observar a funcionalidade de cada usuário, a capacidade do tráfego utilizado, para assim analisar uma possível ampliação.

#### 4.7. Equipamentos de Infraestrutura

Conforme já visto na topologia, no ponto de concentração da solução do rádio enlace será solicitado compartilhamento com a TIM. Sendo assim, será utilizado a ERB para interligação entre o link dedicado do provedor no qual será alugado junto à operadora Oi e o ponto de acesso do cliente, que é a CPE através da interface aérea.

A estação rádio base estabelece qualquer comunicação entre a estação do assinante, onde deve possibilitar comunicação padronizada em banda larga, assegurando confiabilidade por se tratar de um ambiente LOS (*Line-of-sight* – Com Visada Direta).

Toda a parte de infraestrutura e equipamentos ativos ou passivos tanto da estação rádio base quanto da estação cliente será descrito com detalhes nos sub itens abaixo.

Segue abaixo as FIG. 45 e 46 da infraestrutura necessária para a instalação do armário que abrigará os equipamentos.





Figura 45 – Infra para instalação do armário que abrigará os equipamentos  
Fonte: Autores.



Figura 46 – Infra para instalação do armário que abrigará os equipamentos  
Fonte: Autores.

#### 4.8. Infraestrutura e equipamentos ativos e passivos da Estação de Rádio Base

Neste projeto, a estação rádio base utilizará a infraestrutura de uma estação compartilhada com TIM NORDESTE S.A, estação NLCE01, localizada no bairro Mingu, na Rua Jose J SOUZA, nº 300. Com isso, será compartilhada a torre existente e uma área para instalação de gabinete para alocação dos equipamentos necessários e também a energia elétrica para alimentação dos equipamentos.

Na estação rádio base, para a transmissão do sinal WiMax, são necessários os seguintes equipamentos:

- Armário para alocação dos equipamentos;
- Torre para fixação das antenas que será compartilhada;
- 1 Rádio Base *Wireless* MP-8100-BSU-WD;
- 1 antena setorial de 120°;
- 20 metros de cabo LMR 400;
- 1 protetor de surto;
- 2 conectores.

#### 4.9. Principais especificações técnicas dos equipamentos

##### 4.9.1. Rádio

- Frequência de operação: Possui canais flexíveis, podendo operar na faixa de frequências licenciadas (2,3 à 2,5 GHz) e também na faixa de frequências não-licenciadas (4,9 à 6,0 GHz);
- Modulação: OFDM com BPSK, QPSK, QAM16 e QAM64;
- Largura do canal: 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz e 40 MHz;
- Potência de transmissão: Até 18 dBm (na porta da antena) com ajustes a cada 1 dB;

- Sensibilidade de recepção: Para a largura de faixa de 40 MHz considerada para os cálculos do projeto, a sensibilidade de recepção varia de -87dBm à -69dBm, sendo considerado para os cálculos do projeto o maior valor (-69 dBm).



Figura 47 – Rádio Tsunami™ MP-8100 Series  
Fonte: Proxim.

#### **4.9.2. Antena**

- 1 antena setorial 120°;
- Ganho de 15 dBi.



Figura 48 – Antena Setorial  
Fonte: Proxim.

#### **4.9.3. Cabos**

- 20 metros de cabo LMR 400;
- Atenuação de 0,31 dB a cada metro.

#### **4.9.4. Conectores**

- Tipo N;
- Atenuação de 0,5 dB para cada conector.



#### 4.9.5. Energia

- A alimentação dos equipamentos será feita através do compartilhamento do QDCA (Quadro de distribuição de corrente alternada) da detentora do site, no caso a TIM. Segue abaixo a FIG. 49 do QDCA.



Figura 49 - QDCA  
Fonte: Autores.

#### 4.10. Infraestrutura e equipamentos ativos e passivos das Estações Clientes

Para o projeto, inicialmente foram considerados quatro pontos de atendimentos que serão as estações clientes. Estes pontos são os seguintes órgãos públicos do município de Nova Lima:

- Prefeitura Municipal;
- Câmara Municipal;
- Tribunal Regional do Trabalho;
- Escola Municipal Emília de Lima.

A infraestrutura para atendimento a estes quatro pontos serão idênticas. Para recebimento do sinal é necessário ter os seguintes equipamentos em cada estação cliente:

- 1 Rádio Client MP-8100-SUR-WD;
- 1 Mastro de aproximadamente 2 metros a ser instalado sobre o prédio;
- 1 Antena parabólica 21 dBi;
- 20 metros de cabo LMR 400;
- 1 protetor de surto;
- 2 conectores;
- 1 Fonte.

#### 4.11. Principais especificações técnicas dos equipamentos

##### 4.11.1. Antenas

- Antena parabólica;
- Ganho de 21 dBi.

##### 4.11.2. Cabos

- 20 metros de cabo LMR 400 para cada estação do cliente;
- Atenuação de 0,31 dB a cada metro.

#### 4.11.3. Conectores

- Tipo N;
- Atenuação de 0,5 dB para cada conector.

#### 4.12. Estudo de viabilidade técnica

Considerando os dados obtidos no estudo do projeto e nas especificações técnicas dos equipamentos, foi realizado um estudo para verificação da viabilidade técnica de atendimento aos quatro pontos projetados através dos cálculos da Fórmula de Friis, que é a fórmula matemática para o cálculo de propagação no espaço livre com visada direta. Para estes cálculos, foi considerada a potência transmitida, ganho de transmissão e recepção das antenas, a atenuação no espaço livre, a atenuação em cabos e conectores, a distância entre transmissor e receptor, a frequência utilizada e o valor típico da sensibilidade de recepção do equipamento.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - A_{el} - A_{si}$$

Sendo que:

$$A_{el} = 20\log[(4\pi R)/(c/f)]$$

Onde:

$P_{rx}$  = Potência de recepção em dBm;

$P_{tx}$  = Potência de transmissão em dBm;

$G_{tx}$  = Ganho da antena de transmissão em dBi;

$G_{rx}$  = Ganho da antena de recepção em dBi;

$A_{el}$  = Atenuação no espaço livre em dB;

$A_{si}$  = Atenuação do sistema irradiante, considera-se cabos e conectores em dB;

$R$  = Distância entre transmissor e receptor em metros;

$C$  = Velocidade da luz no vácuo = 300.000.000 m/s;

$f$  = Frequência;

Valor típico da sensibilidade de recepção considerado para os cálculos = -69dBm.

#### **4.12.1. Estudo de viabilidade técnica para atendimento à Justiça do Trabalho**

Para o cálculo da viabilidade técnica para atendimento a Justiça do Trabalho foram considerados os seguintes parâmetros:

$P_{rx}$  = A ser calculado

$P_{tx}$  = 18 dBm

$G_{tx}$  = 15 dBi

$G_{rx}$  = 21 dBi

$f$  = 5,8 GHz

$R$  = 1,03 km

➤ Cálculo de  $A_{el}$

$$A_{el} = 20\log[(4 \cdot \pi \cdot 1030)/(300.000.000/5.800.000.000)] = 107,98 \text{ dB}$$

➤ Cálculo de  $A_{si}$

Atenuação do cabo = 0,31 dB a cada metro, considerando 20 metros temos uma atenuação de 6,2 dB

Atenuação nos conectores = 0,5 dB por conector, considerando 2 conectores temos uma atenuação de 1 dB

Com isso, temos  $A_{si} = (6,2 + 1) \text{ dB} = 7,2 \text{ dB}$

➤ Cálculo de  $P_{rx}$

$$P_{rx} = 18 + 15 + 21 - 107,98 - 7,2 = - 61,18 \text{ dBm}$$

➤ Conclusão

O atendimento a Justiça do Trabalho é viável tecnicamente, pois através dos cálculos acima foi verificado que a potência de recepção de -61,18 dBm atende o valor considerado para a sensibilidade de recepção do equipamento que é de -69dBm.

#### 4.12.2. Estudo de viabilidade técnica para atendimento à Câmara Municipal

Para o cálculo da viabilidade técnica para atendimento a Câmara Municipal foram considerados os seguintes parâmetros:

$P_{rx}$  = A ser calculado;

$P_{tx}$  = 18 dBm;

$G_{tx}$  = 15 dBi;

$G_{rx}$  = 21 dBi;

$f$  = 5,8 GHz;

$R$  = 1,249 km.

➤ Cálculo de  $A_{el}$ :

$$A_{el} = 20\log[(4 \cdot \pi \cdot 1249)/(300.000.000/5.800.000.000)] = 109,65 \text{ dB.}$$

➤ Cálculo de  $A_{si}$ :

Atenuação do cabo = 0,31 dB a cada metro, considerando 20 metros temos uma atenuação de 6,2 dB;

Atenuação nos conectores = 0,5 dB por conector, considerando 2 conectores temos uma atenuação de 1 dB;

Com isso, temos  $A_{si} = (6,2 + 1) \text{ dB} = 7,2 \text{ dB.}$

➤ Cálculo de  $P_{rx}$ :

$$P_{rx} = 18 + 15 + 21 - 109,65 - 7,2 = - 62,85 \text{ dBm.}$$

➤ Conclusão:

O atendimento a Camara Municipal é viável tecnicamente, pois através dos cálculos acima foi verificado que a potência de recepção de -62,85 dBm atende o valor considerado para a sensibilidade de recepção do equipamento que é de -69dBm.

#### **4.12.3. Estudo de viabilidade técnica para atendimento à Escola M. Emília de Lima**

Para o cálculo da viabilidade técnica, para atendimento a Escola Municipal Emília de Lima, foram considerados os seguintes parâmetros:

$P_{rx}$  = A ser calculado;

$P_{tx}$  = 18 dBm;

$G_{tx}$  = 15 dBi;

$G_{rx}$  = 21 dBi;

$f$  = 5,8 GHz;

$R$  = 1,233 km.

➤ Cálculo de  $A_{el}$ :

$$A_{el} = 20\log[(4*\pi*1233)/(300.000.000/5.800.000.000)] = 109,54 \text{ dB.}$$

➤ Cálculo de  $A_{si}$ :

Atenuação do cabo = 0,31 dB a cada metro, considerando 20 metros temos uma atenuação de 6,2 dB;

Atenuação nos conectores = 0,5 dB por conector, considerando 2 conectores temos uma atenuação de 1 dB;

Com isso, temos  $A_{si} = (6,2 + 1) \text{ dB} = 7,2 \text{ dB}$ .

➤ Cálculo de  $P_{rx}$ :

$$P_{rx} = 18 + 15 + 21 - 109,54 - 7,2 = - 62,74 \text{ dBm}.$$

➤ Conclusão:

O atendimento a Escola Municipal Emília de Lima é viável tecnicamente, pois através dos cálculos acima foi verificado que a potência de recepção de -62,74 dBm atende o valor considerado para a sensibilidade de recepção do equipamento que é de -69dBm.

#### **4.12.4. Estudo de viabilidade técnica para atendimento à Prefeitura Municipal**

Para o cálculo da viabilidade técnica para atendimento a Prefeitura Municipal foram considerados os seguintes parâmetros:

$P_{rx}$  = A ser calculado;

$P_{tx}$  = 18 dBm;

$G_{tx}$  = 15 dBi;

$G_{rx}$  = 21 dBi;

$f$  = 5,8 GHz;

$R$  = 1,152 km.

➤ Cálculo de  $A_{el}$ :

$$A_{el} = 20\log[(4*\pi*1152)/(300.000.000/5.800.000.000)] = 108,95 \text{ dB}.$$

➤ Cálculo de  $A_{si}$ :

Atenuação do cabo = 0,31 dB a cada metro, considerando 20 metros temos uma atenuação de 6,2 dB;

Atenuação nos conectores = 0,5 dB por conector, considerando 2 conectores temos uma atenuação de 1 dB;

Com isso, temos  $A_{si} = (6,2 + 1) \text{ dB} = 7,2 \text{ dB}$ .

➤ Cálculo de  $P_{rx}$ :

$$P_{rx} = 18 + 15 + 21 - 108,95 - 7,2 = - 62,15 \text{ dBm}.$$

➤ Conclusão:

O atendimento a Prefeitura Municipal é viável tecnicamente, pois através dos cálculos acima foi verificado que a potência de recepção de -62,15 dBm atende o valor considerado para a sensibilidade de recepção do equipamento que é de -69dBm.

#### 4.13. Licenciamento

A frequência utilizada para a Rede WiMAX neste projeto é de 5,8 GHz, faixa de frequência esta não licenciada e que pode ser utilizada por qualquer prestadora de serviços sem a necessidade de aquisição de licenças junto a Anatel.

#### 4.14. Levantamento de Custos

A partir do estudo do projeto e especificações dos equipamentos e serviços necessários para a implantação do projeto foi realizado um levantamento de custos para verificar a viabilidade financeira do projeto.

Para este levantamento de custos foram considerados todos os custos referentes à implantação e a manutenção do projeto.



#### 4.14.1. Custo de Implantação

Para o cálculo do custo da implantação foram considerados todos os custos referentes à aquisição dos equipamentos e materiais, custos referentes às obras civis, serviços de instalação e treinamento e também os custos referentes à elaboração do projeto.

Conforme mostra a TAB. 2, o custo total para implantação do projeto será de R\$ 117.363,00, já incluído em todos os itens os impostos, taxas, direitos e outros encargos federais, estaduais e municipais.

Tabela 2 - Custos para Implantação do Projeto  
Fonte: Autores.

DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS E SERVIÇOS	VALOR
<b>Equipamentos e Materiais</b>	R\$ 74.863,00
<b>Obras civis</b>	R\$ 10.000,00
<b>Serviços de instalação e treinamento</b>	R\$ 12.500,00
<b>Projeto</b>	R\$ 20.000,00
<b>Valor Total</b>	<b>R\$ 117.363,00</b>

#### 4.14.2. Custo Mensal

Para a manutenção do projeto, foram considerados gastos mensais com o aluguel do compartilhamento da infraestrutura da estação TIM utilizada para implantação do projeto e também a contratação de um Link de Provedor de Acesso de 8 Mbps da OI.

Para a aquisição do compartilhamento da estação TIM, o Governo Municipal firmará um contrato de dois anos e três meses com a empresa TIM, pagando um valor mensal estimado em R\$ 1.500,00 em troca do espaço para implantação e manutenção dos equipamentos necessários para implantação do projeto.

Para a contratação do Link de Provedor de Acesso de 8 Mbps, o governo Municipal firmará um contrato de 2 anos com a empresa OI, pagando um valor mensal estimado em R\$ 3.500,00 ficando a cargo da OI toda a responsabilidade e custos referentes ao provimento e manutenção deste serviço.

Com isto, o valor mensal para manutenção do projeto será de R\$ 5.000,00, salientando, porém, que tanto para a estimativa de preço do compartilhamento da estação TIM, quanto para a contratação do Link de Acesso da OI, foram considerados preços de mercado, não tendo sido nenhum contrato realmente firmado em nenhum dos dois casos. A seguir a TAB. 3 mostra a descrição destes custos mensais.

Tabela 3 - Custos Mensais de Manutenção do Projeto

Fonte: Autores.

<b>DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS E SERVIÇOS</b>	<b>VALOR</b>
<b>Compartilhamento de Infraestrutura</b>	R\$ 1.500,00
<b>Link de Provedor de Acesso</b>	R\$ 3.500,00
<b>Valor Total</b>	R\$ 5.000,00

#### 4.15. Cronograma de Implantação

A partir do levantamento de todos os equipamentos, materiais e serviços necessários para a implantação do projeto, foi realizado um cronograma detalhado com os custos para implantação mês a mês, conforme mostrado na TAB. 5.

Para realização deste cronograma, foram considerados fatores como prazo de 30 dias para entrega dos equipamentos pelo fornecedor, pagamento dos equipamentos em 30 e 60 dias, obras civis nos 30 primeiros dias, pagamento de 20% dos custos referentes ao projeto na assinatura do contrato e os 80% restantes divididos igualmente em duas parcelas para pagamentos no 2º e 3º mês. Para o link de

provimento de acesso da OI, o contrato de dois anos começará a partir do 4º mês da assinatura do projeto.

Após a realização do cronograma de implantação, foi necessário realizar uma projeção levando em conta a descapitalização dos valores mês a mês, considerando juros de 0,5 % a.m. que são os juros atuais da poupança, para então obter o valor total do investimento atual (VPL) que ficou em R\$ 224.564,61, conforme ilustrado na TAB. 4 abaixo:

Tabela 4 – Cronograma de Implantação  
Fonte: Autores

DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS E SERVIÇOS	1º MÊS	2º MÊS	3º MÊS	4º AO 27º MÊS
<b>Rádio Base Wireless MP-8100-BSU-WD</b>	R\$ 0,00	R\$ 19.225,00	R\$ 19.225,00	R\$ 0,00
<b>Atena setorial 120º</b>	R\$ 0,00	R\$ 1.021,50	R\$ 1.021,50	R\$ 0,00
<b>Antenas parabolica 21 dBi</b>	R\$ 0,00	R\$ 1.996,00	R\$ 1.996,00	R\$ 0,00
<b>Cabos LMR 400 20 ft</b>	R\$ 0,00	R\$ 1.087,50	R\$ 1.087,50	R\$ 0,00
<b>Protetor de surto</b>	R\$ 0,00	R\$ 1.007,50	R\$ 1.007,50	R\$ 0,00
<b>Radio Client MP-8100-SURWD</b>	R\$ 0,00	R\$ 12.288,00	R\$ 12.288,00	R\$ 0,00
<b>Fonte</b>	R\$ 0,00	R\$ 806,00	R\$ 806,00	R\$ 0,00
<b>Obras civis</b>	R\$ 10.000,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
<b>Custo de mão de obra, montagem e testes</b>	R\$ 4.000,00	R\$ 6.500,00	R\$ 2.000,00	R\$ 0,00
<b>Projeto</b>	R\$ 4.000,00	R\$ 8.000,00	R\$ 8.000,00	R\$ 0,00
<b>Compartilhamento de Infraestrutura</b>	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00 P/ MÊS x 24 MÊS = R\$ 36.000,00
<b>Link de Provedor de Acesso</b>	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 3.500,00 P/ MÊS x 24 MÊS = R\$ 84.000,00
<b>Valor total mensal do projeto</b>	<b>R\$ 19.500,00</b>	<b>R\$ 53.431,50</b>	<b>R\$ 48.931,50</b>	<b>R\$ 5.000,00 P/ MÊS x 24 MÊS = R\$ 120.000,00</b>
<b>Valor total do projeto R\$ 241.863,00</b>				
<b>Valor para investimento hoje R\$ 224.564,61</b>				

#### 4.16. Viabilidade Financeira

A viabilidade financeira deste projeto será possível, por ser um projeto que pode ser considerado um projeto de inclusão digital municipal e que poderá contar com parcerias como a do Governo Estadual.

Outro fator importante para a viabilidade deste projeto é o fato de o Governo Municipal passar a contar com uma rede própria garantindo assim maior velocidade da rede para execução de seus serviços, segurança maior para comunicação entre seus órgãos e também podendo no futuro ampliar estes atendimentos beneficiando toda a população.

## 5. CONCLUSÃO

Conforme levantamentos efetuados no PROJETO INTEGRADO referente à Nova Lima, realizado no segundo semestre de 2008, detectamos a demanda de ampliarmos o serviço de banda larga para os órgãos públicos de Nova Lima, pois hoje esse serviço é oferecido somente em alguns pontos do município através de par metálico.

Sendo assim, realizamos uma análise técnica do município para verificar qual seria a melhor rede a ser implantada e tecnologia, realizando análise topográfica, levantamento de equipamentos e/ou intervenções necessárias em relação ao planejamento urbano, impactos no município, implantação, investimentos e viabilidade econômica, manutenção, mobilidade.

Certifica-se que a rede *Wireless*, ou seja, sem fio engloba todos os quesitos citados, buscando viabilidade econômica para implantação do projeto através de recursos próprios, parcerias e verbas da iniciativa pública, promovendo maior qualidade e agilidade nos serviços prestados a população, maior visibilidade para o município e compartilhamento de informação entre os diversos órgãos públicos. A princípio foram escolhidos quatro órgãos municipais, mas a rede pode ser ampliada abrangendo outros.

A tecnologia implantada terá excelente competitividade com outras tecnologias existentes no município, pelo fato de não haver alto custo com infraestrutura de abordagem, proporcionando uma ampla área de atendimento a clientes.

## REFERÊNCIAS

- [1] **ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações.** Disponível em: < <http://sistemas.anatel.gov.br/sis/SistemasInterativos.asp>>. Acesso em: 02 set.2009.
- [2] Andrews *et. al*. **Fundamentals of WiMAX. Understanding Broadband Wireless Networking.** Massaschusetts, 2007.
- [3] **CPQD. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás.** Disponível em <[http://www.cpqd.com.br/file.upload/sas1437\\_tecnologia\\_wimax\\_port\\_v02.pdf](http://www.cpqd.com.br/file.upload/sas1437_tecnologia_wimax_port_v02.pdf)>. Acesso em: 26 ago.2009.
- [4] **INATEL.Instituto Nacional de Telecomunicações.** Disponível em: < <http://telecom.inatel.br/home/>>. Acesso em: 15 out2009.
- [5] **ITU. International Telecommunication Union.** Disponível em: <<http://www.itu.int/en/pages/default.aspx>>.Acesso em: 04 out.2009.
- [6] **Proxim.** Disponível em: < <http://www.proxim.com>>. Acesso em: 15 out2009.
- [7] **Revista de WiMAX.** Disponível em: <<http://www.revistadewimax.com.br>>. Acesso em: 15 set.2009.
- [8] **Teleco Informação e Serviços de Telecomnicações Ltda.** Disponível em: <[www.teleco.com.br](http://www.teleco.com.br)>. Acesso em: 10 out.2009.
- [9] **Trabalho apresentado na disciplina Projeto Integrado I**, denominado “Estudo de Demanda e Serviços de Telecomunicações – Município: Nova Lima – Minas Gerais”.Universidade Fumec.Belo Horizonte,2008.
- [10] **Wikipedia.** Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org>>. Acesso em: 21 ago.2009
- [11] **WiMAX: Padrão IEEE 802.16 para Banda Larga Sem Fio.PUC. RIO.2004.** Disponível em: <<http://www-di.inf.puc-rio.br/~endler/paperlinks/TechReports/MCC29-06.pdf>>. Acesso em: 10 out.2009.

[12] Ravel. **IEEE 802.16 – WiMAX**. Disponível em:  
<[http://www.ravel.ufrj.br/arquivosPublicacoes/cos762\\_apres\\_GustavoDias.pdf](http://www.ravel.ufrj.br/arquivosPublicacoes/cos762_apres_GustavoDias.pdf)>.  
Acesso em: 22 set.2009.

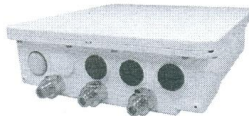
[13] **Redes Sem Fio Metropolitanas Baseadas No Padrão 802.16: Um Estudo de Caso Para Belém-PA**.  
Disponível em: <[www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=174](http://www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=174)>. Acesso em: 01 set.2009.

## ANEXOS

**proxim**  
wireless

### Tsunami™ MP-8100 Series

Wireless Point-to-Multipoint System Delivering 300Mbps Bandwidth



Tsunami™ MP-8100 Series

#### End-to-End Broadband Wireless Product Portfolio

- **Tsunami™MP11** – Our best selling Point-to-Multipoint product line
- **MeshMAX** – An all-in-one solution containing Point-to-Multipoint, Wi-Fi mesh, and Wi-Fi access point radios
- **ORiNOCO®AP** – The industry's highest-performance 802.11a/b/g/n access points
- **Tsunami™MP16** – WiMAX for the 3.3 – 3.65 GHz frequency bands

Proxim Wireless is a global pioneer of end-to-end broadband wireless systems that deliver the quadruple play of video, voice, data and mobility. From Wi-Fi to wireless Gigabit Ethernet – our WLAN, Wi-Fi Mesh, WiMAX and point-to-point wireless backhaul products are available through our extensive global channel networks.

#### Presenting a Wireless Solution that Exceeds 4G Speed Requirements with 300 Mbps Bandwidth !

With over 20 years of wireless innovation, Proxim has been providing Point-to-Multipoint (PtMP) solutions to carriers of all sizes for many years. Leveraging the advantages of OFDM, MIMO radio innovations and Proxim's proprietary Wireless Outdoor Routing Protocol (WORP), the Tsunami™ MP-8100 exceeds the ITU requirements for 4G throughput speeds while providing Non-Line-Of-Sight functionality with the widest range of frequencies available. With incredible channel capacity, excellent spectrum flexibility and a prioritization platform for delivering voice, video and data applications, the MP-8100 satisfies service providers and government organizations with requirements for fast and worry-free wireless connectivity.

With data rates of 300 Mbps, the Tsunami™ MP-8100 is an ideal solution for everything from last mile broadband wireless access (BWA) to wireless video surveillance. As the industry's first PtMP product to provide dual Gigabit Ethernet ports with PoE out, the Tsunami™ MP-8100 becomes the first solution capable of powering IP video cameras or additional radios for even greater ease of deployment.

#### World-class Performance

- A fixed PtMP solution that can deliver 300 Mbps data rates
- The only PtMP product in the market to include dual Gigabit Ethernet ports, enabling higher throughput which would otherwise be limited by the 10/100 Ethernet ports seen in other devices
- Provides reliable high performance under all traffic loads using Proxim's Wireless Outdoor Routing Protocol (WORP)

#### Non-Line-of-Sight and Advanced Features

- Non-line-of-sight capable, utilizing OFDM and enhanced 3x3 MIMO techniques to improve link performance and penetrate through or around obstructions better
- Comes packaged in a compact form factor with a set of accessories for even greater ease of installation
- Features dual Gigabit Ethernet ports with PoE in/out to power other devices like surveillance cameras and wireless access points
- Create tiered QoS service classes with ease

#### Widest Range of Frequencies

- Operates in licensed and unlicensed frequency bands
- Provides flexible channel planning with planned support for 2.3 - 2.5 GHz and 4.9 - 6.0 GHz frequencies

#### Carrier-Grade Security

- Implements tiered security layers for the most secure outdoor wireless communications in the unlicensed frequency spectrum
- Utilizes Proxim's Wireless Outdoor Routing Protocol (WORP), which prevents snooping, and features highly-secure remote management via SSL, SSH and SNMPv3
- Provides military-grade security with AES encryption technology, prevents unsecure client-to-client communications and leverages MAC, Ethertype and IP address packet filtering for granular network security

#### Part of a Product Family

- Connects to all existing Tsunami MP11 and MeshMAX products
- Can utilize existing mounting kits of the Tsunami product line



## Tsunami™ MP-8100 Series

### Technical Specifications

PRODUCT MODELS													
MP-8100-BSU-US	Tsunami™ MP 8100 Base Station Unit, 300 Mbps, 5.8 GHz, Type-N Connectors - US PoE												
MP-8100-SUA-US	Tsunami™ MP 8100 Subscriber Unit, 5.8 GHz, Type-N Connectors - US PoE												
MP-8150-SUR-US	Tsunami™ MP 8150 Subscriber Unit, 5.8 GHz, MIMO 2x2, 21 dBi Integrated antenna - US PoE												
MP-8100-BSU-WD	Tsunami™ MP 8100 Base Station Unit, 300 Mbps, 2.4 and 5 GHz, Type-N Connectors - WD PoE												
MP-8100-SUA-WD	Tsunami™ MP 8100 Subscriber Unit, 2.4 and 5 GHz, Type-N Connectors - WD PoE												
MP-8150-SUR-WD	Tsunami™ MP 8150 Subscriber Unit, 5 GHz, MIMO 2x2, 21 dBi Integrated antenna - WD PoE												
INTERFACES													
WIRED ETHERNET	Two auto MDI-X RJ45 10/100/1000Mbps Ethernet - Port #1 with PoE in & Data - Port #2 with PoE out (802.3af pin out) & Data												
WIRELESS PROTOCOL	WORP (Wireless Outdoor Router Protocol)												
RADIO & TX SPECS													
MIMO	3x3 MIMO												
MODULATION	OFDM with BPSK, QPSK, QAM16, QAM64												
FREQUENCY	2.3 – 2.5 GHz 4.9 – 6.0 GHz (Subject to Country Regulations)												
CHANNEL SIZE	40 MHz, 20 MHz, 10 MHz*, 5MHz*												
DATA RATE	MCS 0 to 15 for High Throughput mode (6.5 – 300 Mbps) BPSK, QPSK, 16-QAM and 64-QAM for legacy mode (6Mbps - 54Mbps)												
TX POWER	Up to 18dBm at antenna port												
TX POWER CONTROL	0 – 18dB, in 1dB steps												
RX SENSITIVITY (BER=10 <sup>-5</sup> )	<table><tr><th>Channel Size</th><th>40 MHz</th><th>20 MHz</th></tr><tr><td>MCS 0 / MCS 8</td><td>-87dBm</td><td>-93dBm</td></tr><tr><td>MCS 7</td><td>-71dBm</td><td>-75dBm</td></tr><tr><td>MCS 15</td><td>-69dBm</td><td>-71dBm</td></tr></table>	Channel Size	40 MHz	20 MHz	MCS 0 / MCS 8	-87dBm	-93dBm	MCS 7	-71dBm	-75dBm	MCS 15	-69dBm	-71dBm
	Channel Size	40 MHz	20 MHz										
	MCS 0 / MCS 8	-87dBm	-93dBm										
	MCS 7	-71dBm	-75dBm										
MCS 15	-69dBm	-71dBm											
ANTENNA													
Model MP-8150-SUR includes an Integrated 2x2 MIMO 21dBi Dual Polarized Antenna													
Model MP-8100-BSU and MP-8100-SUA includes three N-type Antennas Connectors with built-in Surge Protection													
MANAGEMENT													
LOCAL	RS-232 serial (RJ11 to DB-9 dongle provided)												
REMOTE	Telnet and SSH, WebGUI and SSL, TFTP, SNMPv3												
SNMP	SNMP v1-v2c-v3, RFC-1213, RFC-1215, RFC-2790, RFC-2571, RFC-3412, RFC-3414, Private MIB												
NETWORK													
GATEWAY FEATURES	DHCP Server & relay, NAT with Std ALGs, Bridging, Routing, Syslog, SNTP												
QoS	<table><tr><td>Asymmetric Bandwidth Control</td><td>Uplink and Downlink CIR Control "committed information rate" per service flow Uplink and Downlink MIR Control "maximum information rate" per service flow</td></tr><tr><td>Packet Classification Capabilities</td><td>802.1D/802.1Q/802.1p priority, IPTOS, VLAN ID, IP source/destination address, source/destination port, Ethernet source/destination address, IP protocol, and EtherType</td></tr><tr><td>Scheduling</td><td>Best Effort, Real Time Polling Services</td></tr></table>	Asymmetric Bandwidth Control	Uplink and Downlink CIR Control "committed information rate" per service flow Uplink and Downlink MIR Control "maximum information rate" per service flow	Packet Classification Capabilities	802.1D/802.1Q/802.1p priority, IPTOS, VLAN ID, IP source/destination address, source/destination port, Ethernet source/destination address, IP protocol, and EtherType	Scheduling	Best Effort, Real Time Polling Services						
Asymmetric Bandwidth Control	Uplink and Downlink CIR Control "committed information rate" per service flow Uplink and Downlink MIR Control "maximum information rate" per service flow												
Packet Classification Capabilities	802.1D/802.1Q/802.1p priority, IPTOS, VLAN ID, IP source/destination address, source/destination port, Ethernet source/destination address, IP protocol, and EtherType												
Scheduling	Best Effort, Real Time Polling Services												
VLAN	802.1Q Management VLAN, Transparent, Access and Trunk mode												

### APPLICATIONS

- Last Mile Access**  
 Competitive broadband service access alternative to DSL or cable for residences and T1 or Ethernet for businesses
- Security and Surveillance**  
 High definition IP-surveillance cameras for monitoring city streets, airports, bridges, seaports, transportation hubs, offices and warehouses
- Metropolitan Area Networks**  
 Secure and reliable connectivity between city buildings
- Emergency First Responders**  
 Critical information delivery such as medical data and video feeds during in-progress events
- Enterprise Campus Connectivity**  
 Extend the main network to remote offices, warehouses or other buildings without leased lines

ENVIRONMENTAL SPECS		PACKAGE CONTENTS	
TEMPERATURE		<ul style="list-style-type: none"><li>One Tsunami™ MP 8100-BSU with three N-type surge protected connectors, One Tsunami™ MP 8150-SUR with 5 GHz dual polarity 21 dBi Integrated antenna, or One Tsunami™ MP 8100-SUA with three N-type surge protected connectors</li><li>One power injector and country specific power cord</li><li>One Wall/Pole mounting kit</li><li>One Connector weatherproofing kit (Includes all recommended weatherproofing material)</li><li>Three N-connector weather proofing caps installed at factory (for Connectorized Version Only)</li><li>One Serial (RJ-11 to DB9) dongle</li><li>One Grounding kit</li><li>One Gigabit PoE Surge Arrestor</li><li>One Documentation</li><li>Software CD-ROM</li></ul>	
OPERATING	-40° to 60°C (-40° to 140° Fahrenheit)		
STORAGE	-55° to 80°C (-67° to 176° Fahrenheit)		
HUMIDITY	Max 100% relative humidity (non-condensing)		
PHYSICAL SPECS			
DIMENSIONS			
PACKAGED	15.94 x 15.94 x 8.46 in (405 x 405 x 215 mm)		
UNPACKAGED	10.51 x 10.51 x 3.27 in (267 x 267 x 83 mm)		
WEIGHT			
PACKAGED	14.77 lbs (6.7 kg)		
UNPACKAGED	7.27 lbs (3.3 kg)		
IP RATING	IP67		
SAFETY STANDARDS	UL 60950, CAN/CSA-C22.2 No. 60950, IEC 60950, EN-60950		
WARRANTY		1-year on parts and labor; ServPak Extended Support available	

\*Available by Firmware Upgrade

For detailed technical specifications, please go to <http://www.proxim.com>

©2009 Proxim Wireless Corporation. All rights reserved. Proxim is a registered trademark and the Proxim logo and Tsunami™ are trademarks of Proxim Wireless Corporation. All other trademarks mentioned herein are property of their respective owners. Specifications are subject to change without notice.

DS\_0809\_MP8100\_A4

**proxim**  
wireless

Proxim Wireless Corporation  
[www.proxim.com](http://www.proxim.com)