



INSTITUTO SUPERIOR DE TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES

**DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE WIMAX PARA PROVER
SERVIÇOS DE INTERNET BANDA LARGA DA TDM NO DISTRITO
DE MARRACUENE**

Mayra Patrícia Duarte Sofiano

Projecto Final do Curso

Licenciatura em Engenharia Informática e de Telecomunicações

Supervisora:

Prof^a Doutora Eng^a Yicel Frias Cabrera

Departamento de Tecnologia de Informação e Comunicação

Maio de 2015



INSTITUTO SUPERIOR DE TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES

**DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE WIMAX PARA PROVER
SERVIÇOS DE INTERNET BANDA LARGA DA TDM NO DISTRITO
DE MARRACUENE**

Mayra Patrícia Duarte Sofiano

Projecto Final do Curso

Licenciatura em Engenharia Informática e de Telecomunicações

Supervisora:

Prof^a Doutora Eng^a Yicel Frias Cabrera

Departamento de Tecnologia de Informação e Comunicação

Maio de 2015

DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE WIMAX PARA PROVER SERVIÇOS DE
INTERNET BANDA LARGA DA TDM NO DISTRITO DE MARRACUENE

Mayra Sofiano



ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	IV
DEDICATÓRIA	V
DECLARAÇÃO DE HONRA	VI
ÍNDICE DE TABELAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS	X
RESUMO	XIII
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificação do tema.....	1
1.2 Desenho teórico	2
1.2.1 Problemática	2
1.2.2 Problema de investigação	2
1.2.3 Objecto de investigação.....	2
1.2.4 Objectivo geral de investigação.....	3
1.2.4.1 Objectivos específicos de investigação	3
1.2.5 Perguntas da investigação.....	3
1.3 Metodologia.....	4
1.3.1 Abordagem da investigação	4
1.3.2 Desenho da investigação	4
1.3.3 Hipótese	5
1.3.4 Variáveis de investigação	5
1.3.5 Métodos de investigação	5
1.3.6 Resultados esperados de investigação	5
1.3.7 Tarefas de investigação	6
CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL DA INVESTIGAÇÃO	8
2.1 Rede de acesso.....	8
2.1.1 Arquitectura das redes de acesso	8
2.2 Clientes das redes de acesso	9
2.2.1 Rede de acesso residencial	9
2.2.2 Rede de acesso corporativo	9
2.3 Redes de acesso sem fio	10
2.4 Tecnologia WiMax	10

2.4.1 Características da tecnologia WiMax	11
2.4.2 Funcionamento das redes WiMax	12
2.4.3 Conceitos importantes das redes WiMax	13
2.5 Padrão IEEE 802.16	15
2.5.1 Famílias do padrão IEEE 802.16.....	16
2.6 Faixa de frequência das redes WiMax.....	17
2.7 Canal de propagação das redes WiMax.....	17
2.7.1 NLOS (<i>none line of sight</i>)	17
2.7.2 LOS (<i>line of sight</i>)	18
2.8 Zona de <i>Fresnel</i>	19
2.9 Topologias do padrão 802.16	19
2.9.1 Arquitectura P2P (ponto-a-ponto)	20
2.9.2 Arquitectura PMP (ponto-multi-ponto)	20
2.10 Tipos de modulação.....	21
2.10.1 Modulação de amplitude em quadratura (QAM)	21
2.11 Técnicas de duplexação	22
2.11.1 TDD (<i>Time Division Duplexing</i>)	22
2.11.2 FDD (<i>Frequency division duplexing</i>)	23
2.12 Técnicas de multiplexação	23
2.12.1 FDM (multiplexação por divisão de frequência).....	23
2.12.2 OFDM (Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal)	24
2.13 Qualidade de serviço (QoS).....	24
2.13.1 Parâmetros de qualidade de serviço	25
2.14 Vantagens e desvantagens da rede WiMax	27
2.14.1 Vantagens da rede WiMax	27
2.14.2 Desvantagens da rede WiMax	27
2.15 Aplicações oferecidas pela rede WiMax	28
2.16 Comparação da tecnologia WiMax com a tecnologia WiFi.....	30
CAPÍTULO 3 - MARCO CONTEXTUAL DA INVESTIGAÇÃO	31
3.1 Descrição do distrito de Marracuene	31
3.2 Estado actual da empresa TDM.....	33
3.3 Situação actual da rede da TDM em Marracuene.....	33
3.3.1 Situação actual da infra-estrutura TDM até ao distrito de Marracuene...	34

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	35
4.1 Arquitectura da rede proposta.....	35
4.2 Estrutura para o dimensionamento da rede WiMax no plano analítico.....	36
4.2.1 Identificação dos pontos referentes ao enlace ponto a ponto	36
4.2.2 Localização geográfica das estações	36
4.2.3 Selecção do padrão WiMax e a faixa de frequência de operação	37
4.2.4 Cálculo da altura das antenas.....	38
4.3 Selecção dos equipamentos para o dimensionamento da rede WiMax	42
4.3.1 Equipamentos para o enlace ponto a ponto	42
4.3.3 Cálculos de viabilidade técnica do enlace ponto a ponto	46
4.4 Dimensionamento para cobertura da rede WiMax	49
4.4.1 Determinação do raio de cobertura e do número de células.....	50
4.4.2 Planeamento celular.....	52
4.4.3 Sectorização da estação rádio base	52
4.5 Cálculo dos débitos em função da modulação.....	52
4.6 Caracterização dos serviços.....	54
4.7 Estrutura para o dimensionamento da rede WiMax no plano simulado.....	56
4.7.1 Simulador Radio Mobile	56
4.8 Estimativa de custos dos equipamentos.....	63
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
5.1 Conclusões.....	65
5.2 Recomendações	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
BIBLIOGRAFIA	70
ANEXOS	74

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Abú Sofiano e Elizabete Duarte pelo amor e educação proporcionados, sempre no incentivo, confiança e acima de tudo pelas críticas.

Aos meus irmãos Àuria Calú, Eduardo Calú e Estaline Sofiano pelo apoio dispensado ao longo da minha vida, pela amizade e pela contribuição nos meus estudos.

Aos meus familiares pelo tempo dedicado, pelo companheirismo proporcionado durante este período.

A Prof^a Doutora Eng^a Yicel Frias Cabrera pela sua disponibilidade em transmitir-me seus conhecimentos e experiências, pelo tempo dedicado auxiliando-me, orientando-me e incentivando-me de modo que o trabalho fosse concluído com êxito, e acima de tudo pela confiança depositada em mim desde o início e durante a supervisão proporcionada.

Aos meus amigos, colegas por terem-me inspirado pela qualidade e valor dos meus actos, onde de forma amigável mostravam se dispostos e presentes para apoiar me, transmitindo seus conhecimentos e experiencias vividas, e pelas críticas levantadas.

Ao ISUTC pelos conhecimentos teóricos e práticos proporcionados ao longo destes quatro anos curriculares que disponibilizarão uma melhor integração no mercado de trabalho, assim como na vida profissional de sucesso.

A TDM, ao Governo do Distrito de Marracuene, ao INE, pela paciência e disponibilidade ao transmitir-me a informação e material necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

E por fim, aos demais que contribuíram directa ou indirectamente para a realização deste trabalho através dos ensinamentos transmitidos, cumplicidade, convivência, humildade, dedicação e auxílio ao longo da minha formação.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus país Abú Sofiano, Elizabete Duarte e aos meus irmãos Áuria Calú, Eduardo Calú, Estaline Sofiano, que apoiaram-me durante o meu percurso estudantil, mostrando-se sempre amáveis e pacientes, acreditando nas minhas capacidades e na concretização dos meus sonhos.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Mayra Patrícia Duarte Sofiano declaro por minha honra que o presente Projecto Final do Curso é exclusivamente de minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura: _____

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas geográficas das estações	36
Tabela 2: Factor de liberação da elipsóide de Fresnel.....	38
Tabela 3: Cálculo da desobstrução da 1ª zona de Fresnel	39
Tabela 4: Cálculo da altura da antena receptora.	40
Tabela 5: Dados dos equipamentos para o balanço de potencia.	46
Tabela 6: Balanço de potência do sistema de rádio frequência.....	49
Tabela 7: Parâmetros dos equipamentos da rede WiMax	49
Tabela 8: Parâmetros da modulação OFDM com largura de banda de 7 MHz.....	53
Tabela 9: Débitos em função da modulação para <i>downlink</i> e <i>uplink</i>	53
Tabela 10: Caracterização dos serviços, cálculo de largura para os utilizadores	54
Tabela 11: Estimativa de custos dos equipamentos	64
Tabela 12: Custo total do dimensionamento do projecto	64
Tabela 13: Comparação entre a família de padrões IEEE 802.16.....	B
Tabela 14: Faixas e frequências disponíveis para o WiMax	C
Tabela 15: Comparação entre TDD e FDD	D
Tabela 16: Comparação entre as tecnologias Wi-Fi e WiMax.....	E
Tabela 17: Comparação entre padrões.	F

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Arquitectura típica de uma rede de acesso.	9
Figura 2: Rede WiMax.	13
Figura 3: Link WiMax backhaul.	14
Figura 4: Sem linha de visada.	18
Figura 5: Linha de Visada.	18
Figura 6: Zona de fresnel.	19
Figura 7: Arquitectura P2P.....	20
Figura 8: Modo de operação PMP.....	20
Figura 9: Raios das células referentes a modulação adaptativa	22
Figura 10: Tráfego de uplink e downlink.....	22
Figura 11: Faixa de frequência TDD.....	23
Figura 12: Faixa de frequência FDD.....	23
Figura 13: Técnica de multiplexação OFDM.....	24
Figura 14: Tecnologia WiMax como conexão WAN	28
Figura 15: WiMax como opção de conexão de gateways Wi-Fi	29
Figura 16: WiMax como alternativa para conexão com clientes.	29
Figura 17: Mapa do distrito de Marracuene.	32
Figura 18: BTs da TDM na Riopelle.....	34
Figura 19: Arquitectura de rede proposta.....	35
Figura 20: Distância entre a BTs da Mcel e a ERB em Marracuene.	37
Figura 21: Rádio transceiver PASOLINK NEO/C.	42
Figura 22: ERB StartMax 6400, padrão 802.16-2004/d	44
Figura 23: Cabo coaxial LCF8-50JA-A7	44
Figura 24: Conector BNC macho.....	45
Figura 25: Antena AirMax Sector AM-3G18-120.....	45

Figura 26: Trajectória entre o Tx e Rx.....	46
Figura 27: Importação dos sites a partir do google earth	57
Figura 28: Altitudes referentes as estações.	57
Figura 29: Registro de dados referentes para o enlace.....	58
Figura 30: Escolha da tipo de rede.	59
Figura 31: Cadastro da frequência de operação, polarização, tipo de clima e solo.	59
Figura 32: Configuração das estações e o modo de operação.....	60
Figura 33: Visualização do enlace P2P entre as estações com linha de vista.	61
Figura 34: Enlace P2P entre a ERB e o utilizador dentro da zona de cobertura.	61
Figura 35: Área dentro da zona cobertura (entre ERB e utilizador).	62
Figura 36: Enlace P2P entre a ERB e o utilizador fora da zona de cobertura.....	62
Figura 37: Área fora da zona cobertura (entre ERB e utilizador).	63
Figura 38: Área de cobertura efectuada pela ERB-Marracuene	63

LISTA DAS ABREVIATURAS UTILIZADAS

ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>	Linha Digital Assimétrica do Assinante
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>	Chaveamento por Deslocamento de Fase Binário
BWA	<i>Broadband Wireless Access</i>	Acesso Banda Larga sem Fio
CCC/MSC	<i>Mobile Switch Center</i>	Central de Controlo e Comutação
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>	Múltiplo Acesso por Divisão de Código
CO	<i>Central Office</i>	Centrais Locais
CPE	<i>Customer Premises Equipment</i>	Equipamentos nas Instalações do Cliente
DEM	<i>Digital Elevation Maps</i>	Mapas Digitais de Elevação
DMT	<i>Discrete MultiTone</i>	MultiTom Discreto
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>	Linha Digital do Assinante
EM/MS	<i>Mobile station</i>	Estação Móvel
ER/RS	<i>Relay Station</i>	Estação de Retransmissão
ERB/BS	<i>Base Station</i>	Estação Rádio Base
ES/ SS	<i>Subscriber Station</i>	Estação assinante
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>	Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>	Duplexação por divisão de Frequência
FO	<i>Optical Fiber</i>	Fibra Óptica
IDU	<i>Indoor Unit Modulator / Demodulator</i>	Unidade Interior Modulador/Demodulador
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	Instituto de Engenheiros Eléctricos e Electrónicos
INE		Instituto Nacional de Estatística
IP	<i>Internet Protocol</i>	Protocolo de Internet

IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>	Serviços de Televisão através da Internet
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>	Organização de Padronização Internacional
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>	União Internacional de Telecomunicações
LAN	<i>Local Area Network</i>	Rede de Área Local
LLC	<i>Logical Link Control</i>	Controlo de Enlace Lógico
LMDS	<i>Local Multipoint Distribution System</i>	Sistema de Distribuição Local Multiponto
LOS	<i>Line of Sight</i>	Linha de Visada
MAC	<i>Media Access Control</i>	Controle de Acesso ao Meio
MAN	<i>Metropolitan Area Networks</i>	Rede de Área Metropolitana
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>	Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas
NLOS	<i>Non Line of Sight</i>	Sem Linha de Visada
ODU	<i>Outdoor Unit Transmitter / Receiver</i>	Unidade Exterior Transmissor/Receptor
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>	Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência Ortogonal
OLOS	<i>Obstructed Line of Sight</i>	Linha de Visada Obstruída
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>	Interligação de Sistemas Abertos
P2MP	<i>Point to Multipoint</i>	Ponto Multi-Ponto
P2P	<i>Point to Point</i>	Ponto a Ponto
PA		Posto Administrativo
PHY	<i>Physical Layer</i>	Camada Física
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>	Modulação de Amplitude em Quadratura
QoS	<i>Quality of Service</i>	Qualidade de Serviço

QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>	Chaveamento de Fase em Quadratura
STFC/PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>	Serviço Telefónico Fixo Comutado
TDD	<i>Time Division Duplex</i>	Duplexação por divisão de tempo
TDM		Telecomunicações de Moçambique
TDMA	<i>Time Divison Multiple Access</i>	Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo
VOIP	<i>Voice Over Internet Protocol</i>	Serviços de Voz através da Internet
WAN	<i>Wide Area Network</i>	Redes de Área Metropolitana
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>	Fidelidade sem Fio
WiMax	<i>Worldwide Interoperability of Microwave Access</i>	Interoperabilidade Mundial para Acesso de Microondas
WISP	<i>Wireless Internet Service Provider</i>	Provedor de Serviços de Internet sem fio
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>	Redes de Área Local sem Fio
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>	Rede de Área Metropolitana sem Fio

RESUMO

O presente trabalho teve como propósito estudar e analisar as redes de acesso *wireless* baseadas na tecnologia WiMax, de modo a disponibilizar serviços de *internet* banda larga através da TDM ao distrito de Marracuene.

Para realização do mesmo, foram feitas entrevistas aos conhecedores desta área, assim como aos moradores do distrito de Marracuene para colecta de informação essencial para o alcance dos objectivos previstos, além de uma análise bibliográfica da tecnologia WiMax, sendo assim, elaborou-se o dimensionamento de uma rede de acesso *wireless* baseada nesta tecnologia.

O desempenho desta rede foi comprovado mediante uma simulação utilizando o *software Radio Mobile* e com o auxílio do *Google Earth* para analisar a distância do enlace ponto a ponto efectuado, verificar o comportamento durante o seu percurso, e prevendo assim a área de cobertura que a estação base irá cobrir.

Assim sendo, como resultado desta investigação, espera-se que os cidadãos do distrito de Marracuene possam aderir aos serviços da empresa TDM, através do sinal de internet banda larga de forma a ter uma aceitável qualidade de serviço e que possua uma área de cobertura abrangente através do dimensionamento de uma rede WiMax respectivamente.

PALAVRAS CHAVE:

Rede de acesso, tecnologia WiMax, dimensionamento de rede WiMax, simulação de sistemas de comunicações.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O presente capítulo fará uma abordagem sobre as razões pelas quais motivaram o estudo do tema proposto, elaborando uma análise geral sobre os aspectos relacionados com as metas a alcançar, sobre as formas e os métodos para solucionar o problema de investigação, e serão apresentadas algumas perguntas chaves para o debruçar do mesmo. Como tal, envolverá a justificação do tema, a problemática, o problema de pesquisa, os objectivos da investigação, a metodologia utilizada para responder as respectivas perguntas de investigação.

1.1 Justificação do tema

Dimensionar uma rede WiMax para prover serviços de *internet* banda larga, tendo a TDM como provedora destes serviços, será uma forma de otimizar a ligação entre a TDM e os seus assinantes, constituindo assim, uma estrutura com capacidade de dispor aos seus requisitantes, serviços solicitados a tempo, lugar e hora de forma eficaz e económica, com capacidades de absorção de maiores áreas de abrangência e com qualidade de serviço.

O bairro de Marracuene localiza-se no distrito de Marracuene, província de Maputo, onde, nos últimos anos tem vindo a desenvolver com a crescente demanda da população, que procuram zonas habitáveis e também espaços para construções de lazer, bem como postos de trabalho; assim, surge a necessidade de disponibilizar o acesso de serviços de dados e com qualidade, tomando em consideração, que, nos dias de hoje, o uso da *internet* é primordial em nossas vidas, satisfazendo assim, as exigências e necessidades dos utilizadores.

O distrito de Marracuene encontra-se afastado das grandes edificações das cidades, e o acesso de uma rede via cabo, que possibilite certos serviços essenciais pelos abrangentes nessa zona é de extrema dificuldade, tanto pelo, elevado tempo de execução, sua implementação, bem como para manutenção da mesma, devido aos excessivos custos e pelas dificuldades de implementação de redes acessos guiadas.

O dimensionamento de uma rede WiMax para o acesso a *internet* banda larga, tornar-se-á uma grande valia para os residentes deste distrito, tanto para Moçambique conjuntamente com a empresa TDM pois, aumentará a cobertura a nível territorial, contribuindo para o desenvolvimento socioeconómico a partir de uma rede de telecomunicações, com o uso de novas tecnologias, e dando resposta às novas exigências do mercado e desta forma, fazendo com que o distrito tenha maior facilidade de integrar-se ao mundo globalizado e virtual por meio da *internet*.

Sendo assim, há necessidade de disponibilizar serviços de baixo custo e taxas fixas, de modo que, estes habitantes possam aderir fielmente os serviços da TDM, recorrendo as tecnologias de acesso de banda larga sem fios WiMax, garantindo qualidade de serviço (QoS).

1.2 Desenho teórico

1.2.1 Problemática

Actualmente, os residentes do distrito de Marracuene, não recebem o sinal de internet banda larga, assim como outros serviços interactivos e de multimédia proporcionados pela TDM, isto deve-se a falta de infra-estrutura que possibilite que este sinal chegue a esta zona.

No distrito de Marracuene, os habitantes e trabalhadores recebem o sinal das três operadoras de telefonia móvel do País (Mcel, Vodacom e Movitel), ao que se refere ao serviço de voz.

Estas operadoras, dispõem também de *modems*, dos quais proporcionam serviços de dados aos seus utilizadores, e consequentemente, ao se aderir a internet das mesmas, depara-se com elevados custos para disposição deste serviço devido as oscilações do sinal recebido, onde geram falhas e atrasos na recepção, e não sendo assim favorável a relação custo/benefício e não possuindo assim uma boa qualidade de serviço (QoS).

Não tendo o sinal de internet banda larga no distrito de Marracuene, surge a necessidade de se dimensionar uma rede WiMax capaz de disponibilizar tais serviços, de modo que os residentes e entidades públicas e privadas desta zona, possam aceder e fazer uso do mesmo, a partir de taxas atractivas disponibilizadas pela empresa provedora (TDM - Telecomunicações de Moçambique), e com uma boa qualidade de serviço (QoS).

1.2.2 Problema de investigação

Como disponibilizar os serviços de *internet* banda larga da TDM com QoS (potência do sinal, taxa de transmissão) para atender a demanda dos habitantes do distrito de Marracuene-Maputo?

1.2.3 Objecto de investigação

O objecto de estudo desta investigação é a rede de acesso *wireless*, baseada na tecnologia WiMax.

1.2.4 Objectivo geral de investigação

O objectivo geral deste trabalho é de dimensionar uma rede de acesso, baseada na tecnologia WiMax, que permita disponibilizar os serviços de *internet* banda larga com QoS (potência do sinal, taxa de transmissão) recebido pelos habitantes do distrito de Marracuene.

1.2.4.1 Objectivos específicos de investigação

Para o alcance do objectivo geral, são definidos alguns objectivos específicos, a citar:

- Caracterizar a tecnologia WiMax como solução para as redes de acesso;
- Descrever a situação actual presente no distrito de Marracuene, relativo ao acesso de serviços de *internet* banda larga;
- Descrever a infra-estrutura da TDM até ao distrito de Marracuene;
- Realizar o dimensionamento da rede de acesso, baseada na tecnologia WiMax, que disponibilize os serviços de *internet* banda larga;
- Validar mediante simulação, o dimensionamento da solução WiMax para a rede de acesso no distrito de Marracuene.

1.2.5 Perguntas da investigação

Após a apresentação da justificação do tema, a problemática, o problema, o objecto de estudo e os objectivos que deverão ser seguidos, surgiram perguntas sobre o estudo proposta, a destacar:

1. Quais são os fundamentos teóricos e as principais limitações das redes de acesso baseadas na tecnologia WiMax?
2. Quais as necessidades de dimensionar uma rede WiMax para prover serviços de *internet* banda larga no distrito de Marracuene?
3. Que benefícios verificar-se-ão com o dimensionamento de uma rede WiMax para prover serviços de *internet* banda larga no distrito de Marracuene?
4. Como se encontra a empresa TDM em relação as redes de acesso, ao que se refere as tecnologias empregues nas proximidades do distrito de Marracuene?
5. Quais seriam os componentes mais adequados para dimensionar o enlace proposto neste caso de estudo?
6. Como avaliar o enlace e o desempenho desta rede, de modo a sustentar o caso de estudo proposto?

1.3 Metodologia

1.3.1 Abordagem da investigação

O presente trabalho visa o dimensionamento de uma rede WiMax para prover serviços de *internet* banda larga da empresa TDM ao distrito de Marracuene, onde irá passar pela integração e utilização de tecnologias que possibilitam um melhor alcance dos objectivos propostos, será também necessário um contacto directo, que permitirá identificar os benefícios do objecto em estudo no contexto em que reside.

Sendo assim, este, terá como base um conjunto de procedimentos que permitem chegar ao conhecimento de uma realidade utilizando métodos científicos, de investigação de uma abordagem mista, que incorpora o método quantitativo e qualitativo, de carácter descritivo, em que envolve uma identificação do tipo de estratégia de investigação, das abordagens de recolha de dados, análise de dados e inclusão dos mesmos. Quantitativo pois pretende-se explorar o objecto de estudo, e os procedimentos seguidos, são de carácter bibliográfico e documental; e qualitativo, pois analisa e explica os factos influenciadores sobre as redes baseadas na tecnologia WiMax.

Este tipo de abordagem permitirá identificar os benefícios do objecto em estudo no contexto em que será aplicado.

1.3.2 Desenho da investigação

Das pesquisas feitas sobre os vários modelos de desenhos de investigação existentes, o modelo que se adequa a esta investigação, é o experimental, pois, para este trabalho irá se determinar o objecto de estudo, seleccionar as variáveis que irão influenciar e definir-se a melhor forma de controlo e de observação dos efeitos produzidos no dimensionamento da rede WiMax, ou seja, faz-se um levantamento dos dados de modo a progredir no desenvolvimento do mesmo, e também, a partir dos testes efectuados mediante os simuladores.

A recolha de dados é feita através de entrevistas formais aos profissionais desta área e a entidades competentes, bem como perguntas abertas aos moradores do distrito de Marracuene para viabilizar o dimensionamento deste tipo de redes, além da informação obtida através das consultas bibliográficas a livros e a *sites da internet*.

O tipo de investigação é tecnológica, e o nível da investigação é de carácter aplicativo de forma a desenhar uma solução para o problema apresentado.

1.3.3 Hipótese

Se, se dimensionar uma solução WiMax para a rede de acesso da TDM aproveitando as vantagens da mobilidade da rede sem fio, então permitirá uma melhoria da potência do sinal e da taxa de transmissão (QoS) recebida actualmente em Marracuene, bem como prover serviços de internet banda larga aos utilizadores, sem custos adicionais de infra-estrutura.

1.3.4 Variáveis de investigação

As variáveis desta investigação estão focadas nas seguintes:

- Demanda do serviço de *internet*;
- Disponibilização de serviços de *internet* banda larga;
- Qualidade de serviço - QoS (latência, velocidade de transmissão, vazão).

1.3.5 Métodos de investigação

Como método de investigação será usada a investigação empírica, onde esta, baseia-se na observação, e no estudo de características fundamentais do objecto de estudo, onde de forma precisa, objectiva, será elaborada. E, é também, baseada na fundamentação teórica, que através de métodos teóricos, darão uma maior proximidade dos resultados a realidade, com o auxílio de ferramentas matemáticas que possibilitarão uma simulação, ou seja, possibilitam a interpretação conceitual dos dados empíricos e assimilação dos mesmos na modelação estrutural das análises.

As técnicas para recolha e análise de dados foram essencialmente baseadas na realização de entrevistas informais aos residentes do distrito de Marracuene, e de modo a obter as informações necessárias sobre o estado actual do mesmo. Além de entrevistas formais aos conhecedores desta área e aos profissionais da empresa TDM, com finalidade de obter informações credíveis para dar procedimento ao desenvolvimento do caso de estudo.

Também, será feita uma pesquisa bibliográfica e análise documental sobre as redes tendo como base a tecnologia WiMax, onde analisar-se-ão aspectos relevantes para o correcto dimensionamento.

1.3.6 Resultados esperados de investigação

Como resultado, espera-se o dimensionamento de uma solução WiMax para a rede de acesso do distrito de Marracuene. Ou seja, a proposta de utilização de redes de acesso sob tecnologias WiMax, é uma óptima solução tecnológica para o dimensionamento de uma rede WiMax, de modo a prover serviços de *internet* banda larga no distrito de Marracuene. A partir

da infra-estrutura que a TDM já dispõe, será integrada o uso desta tecnologia, disponibilizando novos serviços referentes a *internet* banda larga, que permitam QoS (qualidade de serviço).

1.3.7 Tarefas de investigação

As tarefas de investigação devem ser tomadas em conta, pois respondem as perguntas de investigação que surgem na elaboração do projecto, sendo assim, segue-se as seguintes:

1. Apresentar os fundamentos teóricos e as principais limitações das redes de acesso baseadas na tecnologia WiMax;
2. Efectuar o dimensionar uma rede WiMax para prover serviços de *internet* banda larga no distrito de Marracuene;
3. Identificar os benefícios que verificar-se-ão com o dimensionamento de uma rede WiMax para prover serviços de *internet* banda larga no distrito de Marracuene;
4. Descrever o actual estado da empresa TDM em relação as redes de acesso, ao que se refere as tecnologias empregues nas proximidades do distrito de Marracuene;
5. Determinar os componentes mais adequados para dimensionar o enlace proposto neste caso de estudo;
6. Avaliar o enlace e o desempenho desta rede, de modo a sustentar o caso de estudo proposto.

1.3.8 Estrutura do trabalho

O presente trabalho apresenta-se subdividido em 5 capítulos, a destacar:

▪ Capítulo 1 - Introdução

Neste capítulo, apresenta-se a descrição do projecto no âmbito do estudo realizado, as metas que o mesmo deverá seguir, o objecto deste caso de estudo, a problemática encontrada e sua justificativa, bem como o desenho metodológico que refere-se aos métodos adoptados para dar procedimento a investigação e ao desenvolvimento do tema de forma a apresentar uma solução viável.

▪ Capítulo 2 – Marco teórico-conceptual da investigação

Neste capítulo, apresenta-se os fundamentos teóricos relacionados com as redes baseadas em tecnologias de acesso WiMax, estes considerados essenciais para compreensão do presente trabalho. Onde serão abordados as diferentes tecnologias, o meio de transmissão assim como

as soluções que mais se adequam para o dimensionamento do caso de estudo, além dos passos que serão seguidos para o seu cálculo, com o auxílio de modelos matemáticas.

▪ **Capítulo 3 – Marco contextual da investigação**

Neste capítulo, apresenta-se a descrição do caso de estudo, respectivamente a TDM e a situação actual da infra-estrutura da rede da TDM nas proximidades da zona pretendida (distrito de Marracuene). Será ainda feita uma análise referente a zona em que se pretende cobrir com o sinal da TDM com o uso da tecnologia WiMax, apresentando assim, os dados sobre a localização e a extensão da área.

▪ **Capítulo 4 – Metodologia de resolução do problema e apresentação dos resultados**

Neste capítulo, apresenta-se a proposta para o dimensionamento de uma rede baseada na tecnologia WiMax para prover o acesso de internet banda larga aos residentes e as instituições públicas e privadas do distrito de Marracuene, onde é baseado no estudo da rede da TDM existente e em parâmetros que devem ser tomados em conta para um melhor desenvolvimento do tema de estudo proposto, assim como a simulação do enlace de modo a avaliar o desempenho da rede.

▪ **Capítulo 5 – Conclusões e recomendações**

Neste capítulo, apresenta-se os resultados obtidos com o dimensionamento desta rede, onde em forma de conclusão serão mencionadas algumas recomendações no âmbito deste projecto baseado na tecnologia WiMax para o distrito de Marracuene.

CAPÍTULO 2 – MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL DA INVESTIGAÇÃO

Este capítulo fornecerá os fundamentos teóricos gerais de modo a facilitar a compreensão sobre os procedimentos seguidos na elaboração deste projecto. Para tal, foi feita uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos relacionados com as redes WiMax para o acesso à internet banda larga, possibilitando o entendimento da sua arquitectura, vantagens e desvantagens, assim como as soluções que mais se adequam para o dimensionamento do caso de estudo.

Para dar continuidade ao presente projecto, será abordado principalmente algumas expressões matemáticas para um melhor enquadramento, dando assim, maior ênfase.

2.1 Rede de acesso

As redes de acesso têm sido o elemento chave para a expansão generalizada do acesso a *Internet*, pois interligam os utilizadores com a rede mundial, cuja sua função principal é prover o acesso informações de dados, voz e vídeo através de serviços prestados pelas operadoras.

Segundo Ferreira (2009), as redes de acesso, são definidas como toda a infra-estrutura necessária para que os utilizadores possam aceder aos serviços de telecomunicações disponibilizados pelos operadores, com uma qualidade de serviço adequada, a um preço pelo qual estejam dispostos a pagar.

As redes de acesso são um segmento que faz a interligação entre a rede principal que é formada por CO (*central office*/centrais locais), e pelo utilizador final, que é representado pelo CPE (*Customer Premises Equipment*/equipamentos dos clientes), segundo (Teleco, 2008).

2.1.1 Arquitectura das redes de acesso

Segundo Pires (1999), uma parte significativa da rede local ou de acesso é constituída pela infra-estrutura de cobre que liga a instalação do assinante à central local, designada por lacete de assinante (ou lacete local). Essa infra-estrutura é constituída exclusivamente por pares de cobre entrelaçados, designados por pares simétricos.

Os cabos telefónicos que saem do repartidor principal da central de comutação local são constituídos por vários milhares desses pares. Esses cabos, são designados por cabos de alimentação, que terminam normalmente num ponto de sub-repartição, de onde saem os cabos

de distribuição de menores dimensões, e que por sua vez terminam nas caixas de distribuição de assinantes, como se mostra a **Figura 1** de acordo com (Pires, 1999).

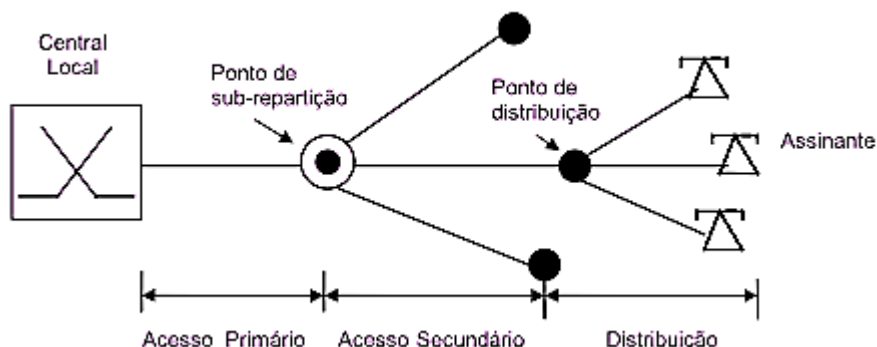


Figura 1: Arquitectura típica de uma rede de acesso. Fonte [Pires, 1999]

2.2 Clientes das redes de acesso

Para o dimensionamento das redes de acesso deve-se ter em conta os tipos de clientes a ser atendidos pela rede WiMax, sendo assim, destaca-se as seguintes categorias:

2.2.1 Rede de acesso residencial

Nestas redes residenciais, segundo Teleco (2009), os clientes de pequeno e médio porte, utilizam as redes WiMax com serviços relacionados à banda larga, contudo o custo de um equipamento para estas redes é elevado, assim torna-se difícil competir com outras tecnologias de acesso a *internet*.

Estas redes ligam-se a rede do provedor de serviços, e a um sistema final doméstico, onde o uso de serviços de telecomunicações é sobre tudo de carácter pessoal e familiar, principalmente para estar contactável, e para fins de lazer. Os clientes com perfil residencial pagam pela assinatura dos serviços de acordo com (Ferreira, 2009).

2.2.2 Rede de acesso corporativo

Nestas redes, segundo Teleco (2009), os clientes corporativos são os principais alvos do WiMax, pois os seus investimentos para utilização dessa tecnologia permitirão um maior desenvolvimento na qualidade e na flexibilidade dos serviços oferecidos.

Este tipo de rede liga a rede do provedor de serviços e à uma organização ou instituição, onde os serviços de telecomunicações são uma ferramenta preciosa nas actividades desempenhadas

pelas mesmas. É de referir que os clientes deste tipo de rede, farão o uso de serviços como VOIP (*voice over internet protocol*), *internet* e transmissão de dados.

As redes de acesso envolvem elementos tecnológicos que suportam os enlaces de telecomunicações entre os utilizadores finais e o último nó da rede. Com frequência denomina-se *local loop* ou simplesmente a última milha, de acordo com (Bonilla, 2008). E, tem como principais componentes os meios de comunicação e os elementos que realizam a adequação do sinal aos mesmos.

2.3 Redes de acesso sem fio

A utilização de comunicações sem fios não é usada em todos os troços da rede de telecomunicações, pois (Pires, 1999) afirma que uma parte dela é constituída pela infraestrutura de cobre que liga a instalação do assinante à central local, designada por lacete de assinante.

Sendo assim, o acesso rádio é feito através da implantação de rádio enlaces entre o POP da operadora e o endereço físico do utilizador final, estes enlaces podem utilizar a configuração ponto a ponto, onde o sistema atende apenas um endereço físico, ou a configuração ponto multiponto, onde a partir de um mesmo ponto de origem podem ser atendidos diversos utilizadores finais em endereços físicos distintos ao longo da sua área cobertura, (Filho, 2013).

Nas interfaces de acesso sem fio, os diferentes sistemas utilizam faixas de frequências específicas, e algumas das quais estão sujeitas a licenciamento, disponibilizando uma variedade de capacidades de transmissão de alto débito para interligação remota dos respectivos terminais ou de redes de computadores.

2.4 Tecnologia WiMax

A tecnologia WiMax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access/ Interoperabilidade mundial para acesso de microondas*) é o padrão de *Internet* Banda Larga sem fio definido pelo IEEE (Instituto de Engenheiros Electricistas e Electrónicos).

O termo WiMax foi criado por um grupo de indústrias que criou o WiMax Fórum, cujo principal objectivo é promover a compatibilidade e interoperabilidade entre os equipamentos baseados no padrão IEEE 802.16, e é uma das tecnologias BWA (*Broadband Wireless Access/ Acesso Banda Larga sem Fio*), e que pretende ser uma alternativa ao DSL e ao cabo, como forma de acesso à *Internet 6in the last mile* (na última milha), com velocidades até 40Mbps e a distâncias até 10Km.

De acordo com Carrara (2006), o WiMax irá permitir a utilização de serviços como VOIP (serviços de telefonia através da *internet*), IPTV (serviços de televisão através da *internet*) e acesso à *internet* simultaneamente, atendendo necessidades de um acesso à *internet* móvel (sem fio) e de banda larga na última milha (a conexão entre o assinante residencial/corporativo e a provedora do serviço de acesso), serviço este, que actualmente é atendido por conexões com fio, que usam a infra-estrutura da rede telefónica, de TV a cabo ou especializada (fibra óptica).

Além disso, o WiMax incorpora diversos avanços tecnológicos, sendo capaz de atender melhor a diferentes requisitos de tráfego garantindo qualidade na transmissão de voz e vídeo e de segurança, bem como os requisitos de transmissão em ambientes metropolitanos (Teleco, 2009).

O outro ponto favorável da tecnologia WiMax segundo Carrara (2006), é a possibilidade de se usar antenas já existentes para a transmissão de sinais de telefonia, sem comprometer as funções de telefonia celular. As antenas de WiMax podem estar conectadas a um *backbone* (rede de fibra óptica que transmite os dados de *internet*) de Internet, através de fibras ópticas ou através de um *link* direccional de microondas.

2.4.1 Características da tecnologia WiMax

A tecnologia WiMax possui capacidades maiores de transmissão em pequenas distâncias, e de velocidade servindo um maior número de utilizadores e possibilitando o acesso a *internet* de banda larga a certas áreas remotas e ampliando assim a área de cobertura. Consistem em duas partes, a destacar:

- **Uma torre WiMax (ERB):** segundo Cavalheiro (2010), é o equipamento existente no terminal do provedor de serviços responsável pela transmissão e recepção de sinais de rádio para permitir a comunicação entre a rede do provedor e os clientes. A torre emissora é conectada a um *backbone* IP do provedor de serviço que permitirá conexão ao serviço pretendido de comunicação de dados usando uma taxa de banda que será distribuída entre vários utilizadores. Pode-se também conectar uma torre WiMax à uma outra torre transmissora para disponibilizar comunicação fiável em lugares ainda mais distantes;
- **Um receptor WiMax (SS):** é o equipamento existente no lado dos clientes, CPE (*Customer Premises Equipment*), que permite a conexão entre a ERB e o posto do assinante., (Ribeiro, 2007).

2.4.2 Funcionamento das redes WiMax

O núcleo da tecnologia WiMax é a estação base, ou seja, a antena central encarregada de comunicar com as antenas de assinantes. Fala-se assim de ligações PMP para designar o modo de comunicação do WiMax. De acordo com Cavalheiro (2010), o princípio de funcionamento da tecnologia WiMax é demonstrado de seguida: *“Um determinado provedor de internet configura uma estação base próxima ao local onde será atendida com o serviço. Neste determinado local que irá ser acedido a internet através do WiMax, deverá ter um computador pronto para receber este serviço. O cliente pode fazer um upgrade no computador existente, preparando-o para receber o sinal, ou então comprar um novo, que seja compatível com esta tecnologia.*

O cliente receberá um código de criptografia especial que dará acesso à estação base, e esta transmitirá dados da internet para o computador do cliente. Caso o cliente tenha uma rede residencial, a estação base enviará os dados para um roteador WiMax, que enviará os dados para os computadores da rede”, (Cavalheiro, 2010).

Há autores, que defendem a ideia de que uma torre pode conectar a outra torre WiMax utilizando um *link* de microondas (*backhaul*), onde os receptores do WiMax pode existir um cabo *USB Modem WiMax* integrado no computador (cliente) para receber o sinal da rede WiMax.

O funcionamento do WiMax é semelhante ao *Bluetooth* (do ponto de vista de transmissão e recepção de ondas de rádio), em que é utilizado para comunicar entre dispositivo pessoal como o PDA, telemóveis de nova geração e portáteis. Que consistem na transmissão de internet banda larga, com grande capacidade de processamento, sem haver a necessidade de fios ou cabos.

Maurício (2014), afirma que a transmissão do sinal do WiMax é semelhante a de um telemóvel em que uma torre central manda o sinal para várias outras torres espalhadas multiplicando-se o sinal até chegar aos receptores, ou seja, funciona como uma rede de telemóveis em que permite a distribuição do acesso á internet através das coberturas feitas pelas antenas que estão espalhadas na área.

A **figura 2** apresenta um cenário de WiMax em que apresenta o *link* WiMax para terminais electrónicos (portáteis), para residenciais e também sinal para uma cidade que a partir de pontos de acesso se possa distribuir o sinal através da tecnologia Wi-Fi.



Figura 2: Rede WiMax. Fonte [Romeiro, 2005]

2.4.3 Conceitos importantes das redes WiMax

Para uma melhor percepção da tecnologia WiMax são apresentados de seguida alguns conceitos bases, a destacar:

- **Backhaul**

O *Backhaul* pode ser definido como uma infra-estrutura de suporte de conexão para a banda larga do STFC (serviço telefónico fixo comutado), que interliga as redes de acesso ao *backbone* da operadora. De acordo com, Silva e Soares (2009), o *backhaul* pode ser classificado em redes de:

- **Tecnologia *wireless*:** através de um *site* de uma célula em que se transmite dados e voz para um *switch* e de um *site* central para um remoto;
- **Tecnologia de satélite:** são transmitidos dados para um satélite através de um ponto para o qual pode ser transmitido (*uplink*).

O *backhaul* pode ser utilizado para transmissão de dados para um *backbone* de rede. E como principais características são: a formação da rede, a capacidade para escoar o tráfego da ERB e a interligação das ERB (Teleco, 2009). A **figura 3** ilustra o *link* WiMax *backhaul*.

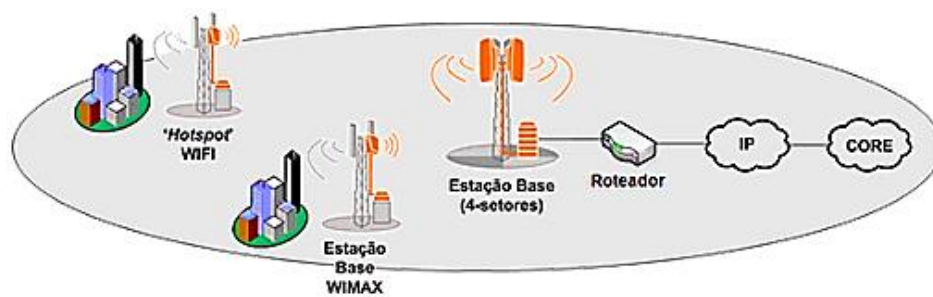


Figura 3: *Link WiMax backhaul.* Fonte [Silva e Soares, 2009]

- **Throughput**

Segundo Silva e Soares (2009) apud Teleco (2008), a velocidade ofertada a cada utilizador WiMax é um compromisso entre a distância e a linha visada directa, ou seja, quanto mais distante ou obstruído estiver o utilizador, será utilizada uma codificação menos robusta (QPSK), enquanto quando próximos ou com linha de vista poderão utilizar codificação 64QAM, atingindo taxas de até 2,2 bits/Hz.

Throughput segundo Silva e Soares (2009) apud Teleco (2008), é a quantidade de dados transmitidos em uma unidade de tempo, deste modo, o utilizador tem a possibilidade de especificar a quantidade de informação que deve ser movida em um determinado tempo. A taxa de entrada no *throughput* pode ser menor por motivos de perdas ou atraso no sistema, e na taxa de transferência de um determinado sistema (rede de roteadores). Existem alguns *softwares* que são capazes de medir o *throughput* de uma rede, em diversos sistemas operacionais, analisando deste modo a taxa de transferência efectiva de um sistema.

- **ERB (estação rádio base) / BS (*base station*)**

A ERB é a responsável por conectar os dispositivos logicamente às redes do operador, mantém a comunicação com dispositivos assinantes e regula o acesso às redes do operador. Estas consistem nos elementos de infra-estrutura necessárias para permitir a comunicação sem fio, ou seja, as antenas transceptores de onda electromagnética a outros aparelhos emissores. São tipicamente nós fixos, também usados como parte de soluções móveis e como uma estação retransmissora *base-relay* na topologia *multi-hop*, (Cavecci, 2011).

- **ES (estação assinante) / SS (*subscriber station*)**

Segundo Cavecci (2011), uma estação assinante é um sistema de rádio fixo com capacidade WiMax, que se comunica com uma estação de base, embora também possa se conectar a uma estação de retransmissão *multi-hop* em operações de rede de retransmissão.

- **EM (estação móvel) / MS (*mobile station*)**

Cavecci (2011), afirma que uma estação móvel é uma estação assinante que se destina a ser utilizada em movimento, em velocidade localizada acima de veículos. Estas são operadas com energia de bateria (estações móveis que incluem rádios WiMax introduzidos em *laptops* e celulares).

- **ER (estação de retransmissão)/ RS (*relay station*)**

As RSs são SSs configuradas para encaminhar o tráfego para outras RSs ou SSs em uma zona de segurança *multi-hop*. A RS pode estar em um local fixo (ligado a um edifício) ou móvel (colocado em um automóvel), (Cavecci, 2011).

- **Operador de rede ou redes do operador (*network operator*)**

Cavecci (2011), defende que um operador de rede é a interface aérea entre estação de retransmissão e uma estação de assinante e que engloba funções de infra-estrutura de rede que fornecem o acesso via rádio e serviços de conectividade IP para assinantes WiMax.

2.5 Padrão IEEE 802.16

WiMax é a sigla do popular padrão IEEE 802.16, designado para redes metropolitanas sem fio (WMAN), também conhecido como IEEE *WirelessMAN* ou ainda *Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*.

Soares et. al, (2004), afirma ainda, que o padrão IEEE 802.16 pode ser definido como um padrão global, pois foi desenvolvido de modo a ser compatível com os padrões do ITU (*International Telecommunication Union*) e do ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

Segundo Bargoena (2011), este padrão tem como proposta inicial disponibilizar o acesso banda larga sem fio para novas localizações, cobrindo distâncias maiores sem a necessidade de investimento em uma infra-estrutura de alto custo (como ocorre com uma rede de acesso

banda larga cabeada) e sem as limitações de distância das tecnologias DSL (*Digital Subscriber Line*).

A popularidade das redes sem fio tem crescido rapidamente em função de uma padronização efectiva. Nesse contexto, os padrões são importantes pois viabilizam uma economia de escala, baixando os custos de equipamentos, assegurando a interoperabilidade e reduzindo o risco de investimento para os operadores da tecnologia sem fio. Onde proporcionam tais acessos em áreas metropolitanas e rurais formando redes WMAN.

2.5.1 Famílias do padrão IEEE 802.16

De acordo com Soares et. al, (2004), o padrão IEEE 802.16 ostenta um alcance de 50Km e taxas médias de transferência de 70Mbps, com taxas de pico de 268 Mbps, podendo atender a centenas de utilizadores.

As emendas ao padrão 802.16, possibilitarão que uma única estação base ofereça BWA, tanto para terminais fixos quanto móveis. Essas correcções irão preencher a lacuna entre as altas taxas de dados das redes locais sem fio (WLAN) e a alta mobilidade celular das redes metropolitanas (WAN). As categorias da família do padrão IEEE 802.16, segundo Bargoena (2011), subdividem-se em:

- **IEEE 802.16:** corresponde a especificação original, projectado para padronizar implementações LMDS (*Local Multipoint Distribution System*) e é usado em frequências de 10 à 66GHz;
- **IEEE 802.16a:** projectado para atender as frequências mais baixas (2 à 11GHz), onde foi especificado com o objectivo de competir com as tecnologias que oferecem acesso à última milha (como xDSL e *cable modems*). Obtém taxas de transmissão de até 75Mbit/s com um alcance máximo de 50km e é empregue em antenas fixas NLOS;
- **IEEE 802.16b:** trata os aspectos relativos à qualidade de serviço;
- **IEEE 802.16c:** relacionado com a interoperabilidade, com os protocolos e especificação de testes de conformação;
- **IEEE 802.16d (Nomádico):** actualização do padrão 802.16 que consolida as revisões dos padrões 802.16a e 802.16c em um único padrão, substituindo o 802.16a como o padrão base. Entre as alterações pode-se destacar a provisão de suporte para antenas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), o que aumenta a confiabilidade do alcance com multi percurso, e facilita as instalações com o uso de antenas *indoor*. Operam

como o padrão 802.16a, nas frequências de 2 à 1GHz, a taxa de transmissão de 75Mbit/s, porém o mesmo não é capaz de efectuar *handoff* entre as ERBs (Estação Rádio Base) em altas velocidades e utiliza canais de 20MHz e por fim possuem um alcance de 8 á 12km em uma cobertura NLOS, e de 30 à 40km em cobertura LOS;

- **IEEE 802.16e:** adiciona especificações de mobilidade (WMANs móveis), largura de banda limitada (um máximo de 5MHz), velocidades mais lentas e antenas menores, onde possibilitam o *walkabout*/ mobilidade veicular (até 150km/h), e é compatível com a especificação do padrão 802.16a em frequências inferiores a 3.5GHz, podendo oferecer concorrência à tecnologia celular com alcance de 2 a 5km (nas cidades).

Os padres acima abordados serão apresentados na **Tabela 13** do **ANEXO I**, onde demonstram as principais características dos padrões mais importantes da família IEEE 802.16.

2.6 Faixa de frequência das redes WiMax

O WiMax abrange uma faixa de espectro debaixo dos 11GHz, existindo a possibilidade de instalar o WiMax em bandas de celular se estivesse permitido e nas bandas 700MHz.

Segundo o estudo feito, as faixas de frequência destinadas ao WiMax são determinadas pelo governo de cada País, de modo a impor algum controle sobre as soluções de acordo com (Silva e Soares, 2009):

- **Isentas de licença:** a activação é mais rápida, os custos são significativamente mais baixos e um maior nível de opções com relação as frequências e as faixas a serem utilizadas;
- **Solução licenciada:** o serviço possui uma melhor qualidade, melhor recepção sem linha de visada (NLOS), frequências mais baixas e maior controle de acesso.

A partir da **tabela 11** no **ANEXO II**, poderá se observar a disponibilidade das faixas de frequências atribuídas respectivamente pelo governo nos países.

2.7 Canal de propagação das redes WiMax

O WiMax oferece dois tipos de canais de propagação, onde as antenas se comunicam, passando a citar:

2.7.1 NLOS (*none line of sight*)

Este canal de propagação sem linha de visada, como mostra a **figura 4**, a transmissão acontece, porém conta com obstáculos no seu percurso. Isto é possível, pois a antena utilizada

é multi-direccional, transmitindo a propagação do sinal em todas as direcções, (Cavalheiro, 2010).

Neste serviço, pode se dizer que, uma antena instalada no computador se conecta à uma torre, onde usam uma frequência de baixo alcance que é de 2 a 11GHz (parecido com o Wi-Fi), e são capazes de difractor, refractar e reflectir com mais facilidade, e se curvam aos obstáculos devido a interrupção por obstruções físicas.

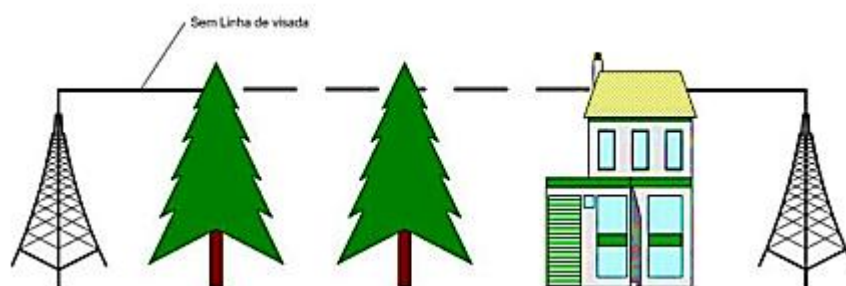


Figura 4: Sem linha de visada. Fonte [Cavalheiro, 2010]

2.7.2 LOS (*line of sight*)

Este canal de propagação com linha de visada, como mostra a **figura 5**, é usado quando as antenas fazem a transmissão em linha recta, sem nenhum obstáculo. A transmissão acontece numa única direcção ou direcção preferencial, dependendo da antena utilizada, em geral unidireccionais, (Cavalheiro, 2010).

Neste serviço, diz-se que uma antena fixa aponta para a estação base WiMax a partir de um telhado ou poste, é mais forte, estável e consegue enviar dados com poucos erros, usando frequências altas que chegam a até 66GHz, possuindo menos interferências e maior largura de banda.



Figura 5: Linha de Visada. Fonte [Cavalheiro, 2010]

2.8 Zona de Fresnel

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 directo 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 linha visada directa, (Ribeiro, 2007).

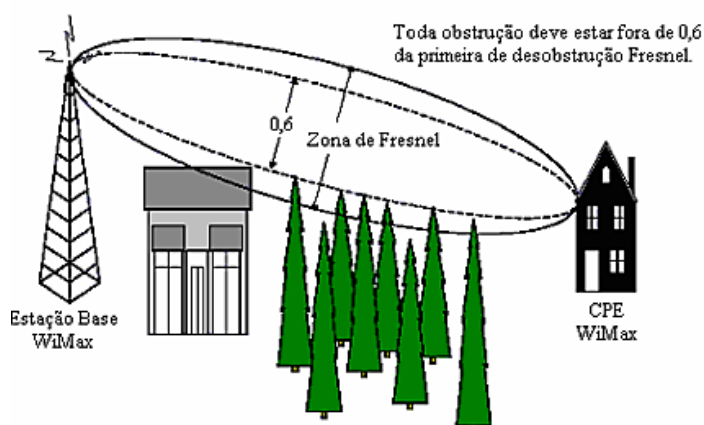


Figura 6: Zona de *fresnel*. Fonte [Ribeiro, 2007]

Na **figura 6**, o campo dentro do círculo é chamada de Zona de *Fresnel*. Quando este campo estiver mais limpo de obstruções melhor será o sinal e os obstáculos entrando na zona de *Fresnel* como estes pinheiros, podem prejudicar o sinal.

Ribeiro (2007), afirma que, um corte na zona de *Fresnel* de até 20% permite o tráfego aceitável, e caso a zona for comprometida com mais de 20%, o sinal fica mais fraco não sendo permitido uma comunicação eficiente entre o emissor e o receptor.

2.9 Topologias do padrão 802.16

A topologia (arquitetura) geral do padrão IEEE 802.16 pode suportar vários tipos de topologias e consistem basicamente de uma estação base central, e varias estações assinantes, as quais se comunicam utilizando o espectro de radio frequência. A BS está ligada à infraestrutura de rede cabeada e provê acesso à *Internet* para as SSs que estão sob o seu raio de cobertura. O WiMax suporta arquiteturas como a malha, e outras a destacar:

2.9.1 Arquitectura P2P (ponto-a-ponto)

Nesta arquitectura, utiliza-se duas antenas de rádio em que interligará dois pontos segundo Maurício (2014) apud Oliveira (2005), onde há uma única interligação com o utilizador, dificultando a adição de novos nós na rede, entretanto, existe uma maior largura de banda nesta solução.

Os equipamentos que se utilizam nessa arquitectura são os que se utilizam na rede interna, conectam-se a uma antena externa, para poder haver ligação de um ponto para outro, e a conexão para interligar LAN's em alta velocidade tendo possibilidade de utilizar o VOIP (Voz sobre *Internet* Protocolo).



Figura 7: Arquitectura P2P. Fonte [Maurício, 2014 apud Guesse, 2009]

2.9.2 Arquitectura PMP (ponto-multi-ponto)

Nesse sentido, o padrão define que o modo PMP consiste de uma BS ligada a uma ou várias estações SSs. Onde todas as SSs recebem a mesma transmissão da BS e as transmissões feitas pelas SSs são direccionadas para a BS. Esta é o ponto central que controla toda a comunicação, configurando-se no único ponto de falha da rede, pois caso apresente algum problema todas as SSs ficarão impossibilitadas de se comunicar. A BS deve ser posicionada num ponto estratégico, para fornecer alcance para várias SSs simultaneamente conforme mostra a *figura 8*.

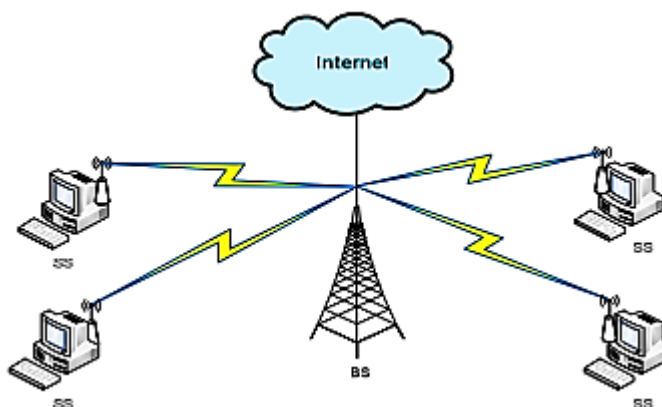


Figura 8: Modo de operação PMP. Fonte [Leite e Guardieiro, 2012]

No modo PMP, as SSs de um determinado sector recebem, por meio da BS, o mesmo sinal enviado em *broadcast*, porém apenas uma SS poderá capturar e processar os pacotes enviados, os outros pacotes são descartados, o que torna a rede leve em termos de *software*.

2.10 Tipos de modulação

A modulação é uma técnica onde as características da portadora (sinal que é modulado) são modificadas com a finalidade de transmitir as informações, sendo feitas as alterações combinadas de frequência, amplitude ou fase de acordo com (Ribeiro F. , 2013).

O padrão 802.16 pode alcançar até 50km de cobertura, para padrões mais robustos na modulação e transmissão com linha visada. Devido, as grandes distâncias cobertas por uma rede metropolitana, a potência recebida na estação base pode mudar expressivamente de estação para estação, fazendo com que a relação sinal/ruído atenua e de modo a garantir maior eficiência na utilização do espectro, (Soares et.al, 2004). Por isso, são utilizados três esquemas de modulação, dependendo da extensão entre o assinante e a estação base: 64QAM - (6 bits/ baud), 16QAM - (4 bits/ baud), QPSK - (2 bits/ baud).

2.10.1 Modulação de amplitude em quadratura (QAM)

(Bravo, 2008), defende que a modulação QAM consiste em modular por desfazamento em amplitude (ASK) e de forma independente, dois sinais senoidais transportados, que têm a mesma frequência, mas são deslocados a 90° um do outro. O sinal modulado QAM é o resultado de ASK adicionar ambos os sinais. Estes podem operar no mesmo canal, sem interferência mútua porque os transportadores estão em quadratura. O resultado é uma onda sinusoidal com uma frequência constante, mas com invariável amplitude e fase para transmitir informação.

QAM tem uma taxa de transmissão de dados maior do que BPSK e QPSK na mesma largura de banda, mas é mais afectada por interferências e ruídos.

2.10.2 Transmissão de mudança de fase em quadratura (QPSK)

A QPSK é um tipo de modulação que utiliza quatro mudanças de fase sinal da portadora, diferente de representar a informação digital, essas compensações são tipicamente (+/- 45 e 135°).

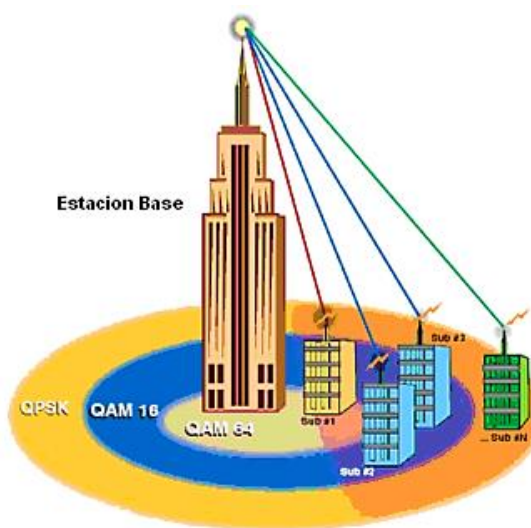


Figura 9: Raios das células referentes a modulação adaptativa. Fonte [Bravo, 2008]

2.11 Técnicas de duplexação

O padrão IEEE 802.16 especifica duas técnicas de duplexação para acesso ao meio físico, a destacar a duplexação por divisão do tempo (TDD) e a duplexação por divisão de frequência (FDD). De acordo com a **figura 10**, o *uplink* é o tráfego da estação de trabalho (SS) para a ERB e *downlink* é o tráfego da ERB (estação rádio WiMax) para a estação de trabalho.

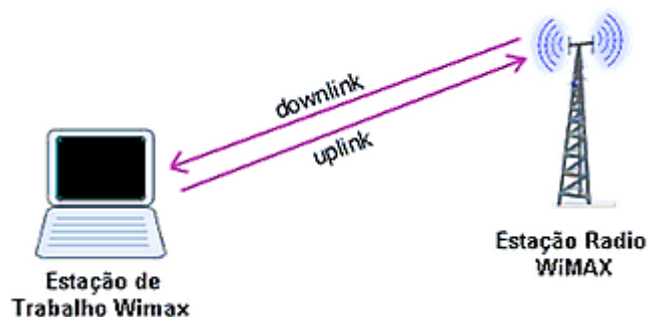


Figura 10: Tráfego de *uplink* e *downlink*. Fonte [Silva e Soares, 2013 apud Intel, 2005]

2.11.1 TDD (*Time Division Duplexing*)

Segundo Silva e Soares (2009) apud Connic (2008), na duplexação por divisão de tempo, um único canal é compartilhado para a transmissão *uplink* e *downlink* em tempos diferentes, ou seja, o sistema transmite e recebe *bits* dentro de um mesmo canal de rádio-frequência, assumindo porções de tempos específicas para a transmissão e recepção dos mesmos.

É utilizada a mesma faixa de frequência para a transmissão e recepção em tempos distintos, ou seja, separa fatias de tempo para as tarefas de envio e de recepção, e aloca dinamicamente a largura de banda entre o *link* reverso e directo, como mostra a **figura 11**.

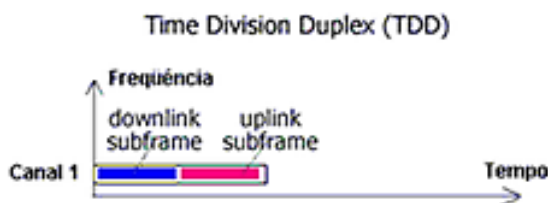


Figura 11: Faixa de frequência TDD. Fonte [Silva e Soares, 2009 apud Connic, 2008]

2.11.2 FDD (*Frequency division duplexing*)

A duplexação por divisão de frequência, os canais de *uplink* e *downlink* são separados, ou seja, requer duas faixas de frequências, possibilitando o TM (terminal móvel) transmitir uma para cada direcção, geralmente de 50 a 100MHz na tecnologia WiMax, porém as transmissões são realizadas simultaneamente, (Leite e Guardieiro, 2012).

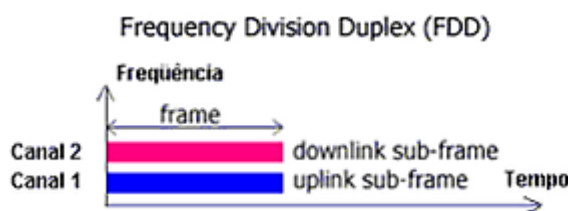


Figura 12: Faixa de frequência FDD. Fonte [Silva e Soares, 2009 apud Connic, 2008]

A **Tabela 15** presente no **ANEXO III**, mostra resumidamente uma comparação sobre as técnicas de duplexação acima abordadas.

2.12 Técnicas de multiplexação

A multiplexação é uma técnica usada para colocar múltiplos sinais em um único canal de comunicação. Toda vez que ocorre uma comunicação sem linha de vista, o padrão 802.16d utiliza um protocolo de multiplexação dos sinais a serem enviados., antes do envio do sinal ocorre a multiplexação. A seguir destacam-se algumas técnicas de multiplexação:

2.12.1 FDM (multiplexação por divisão de frequência)

Esta técnica é económica e eficiente, pois ocorre uma partição da faixa de frequência de transmissão disponível em faixas menores, onde cada uma torna-se um canal separado. A

ideia por traz da FDM é dividir a frequência principal em sub-frequências, cada uma ajustada para a largura de banda de dados a serem transportadas por ela, (Leite, 2013).

2.12.2 OFDM (Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal)

O OFDM foi projectado para sistemas sem linha de vista (NLOS) e reduz a influência dos multi-percursos em ambientes montanhosos, com edificações, onde é comum que o receptor receba reflexões do sinal com atraso.

“WiMax utiliza OFDM, técnica de multi-portadora que permite a transmissão em banda larga em ambientes móveis com poucos efeitos de muti-percurso que um simples sinal com modulação em banda larga”, afirma (Pareek, 2006).

O OFDM faz uma transmissão paralela de dados, conhecida também com DMT (*Discrete Multi Tone*), a baixas velocidades e com FDM com subcanais sobrepostos, evitando a equalização e explorando de maneira eficiente a largura de banda disponível. O termo ortogonal, de acordo com Pareek (2006), deve-se ao facto de que os subcanais são perpendiculares entre sí, tendo como efeito a redução da largura de banda requerida, removendo a banda de guarda.

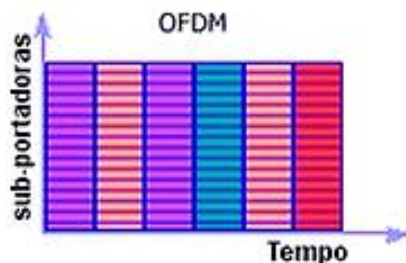


Figura 13: Técnica de multiplexação OFDM. Fonte [Silva e Soares, 2009]

2.13 Qualidade de serviço (QoS)

A qualidade de serviço (QoS) designa a capacidade de fornecer um serviço conforme as exigências em matéria de tempos de resposta e de banda concorrida. É aplicado as redes de comutação de pacotes (redes baseadas na utilização de *switchs*), a QoS designa a aptidão de garantir um nível aceitável de perda de pacotes, definido para um dados uso (voz sobre IP, vídeo-conferência), ou seja, é um conjunto de garantias que a rede oferece para o tráfego que está sendo transportado.

Sendo assim, é importante abordar-se sobre os seus princípios, e parâmetros utilizados para a obtenção de uma QoS. pois este, é um requisito de operação da rede e suas componentes para viabilizar a operação com qualidade de uma aplicação.

Segundo ISO, a qualidade de serviço (QoS) é definida como o efeito colectivo do desempenho de um serviço, o qual determina o grau de satisfação de um utilizador do serviço.

A qualidade de serviço pode ser definida sobre dois pontos de vista, a destacar, do:

- **Utilizador:** é a qualidade percebida do tipo de serviço/aplicação que contratado da provedora de serviço;
- **Rede:** é a qualidade de serviço depende da alocação dos recursos de comunicação disponíveis para manter certos parâmetros técnicos de rede em patamares necessários a oferta adequada de cada tipo de serviço requisitado.

2.13.1 Parâmetros de qualidade de serviço

A Qualidade de Serviço (QoS) pode ser definida como uma ou mais das acções de um desempenho desejado e prioridades em um sistema de comunicação. O sistema WiMax foi projectado com a capacidade de aplicar diferentes níveis de QoS da ligação descendente e de ligação ascendente e pode proporcionar ligações de diferentes tipos de serviços em uma única conexão para cada utilizador. As medições de QoS em WiMAX podem incluir alguns parâmetros a citar:

- **Disponibilidade do serviço:** é a razão entre a quantidade de tempo que um utilizador autorizado é capaz de aceder os serviços em comparação com o tempo total serviço que deve estar disponível. A disponibilidade do serviço pode ser afectada por uma variedade de factores, segundo (Bravo, 2008), passando a citar:
 - **Controle de admissão:** é usado para ajustar, restringir ou atribuir a utilização de recursos de rede limitada de tipos de utilizadores específicos ou individuais.
 - **Subscrição:** o excesso de subscrição é uma situação que ocorre quando um prestador de serviços vende mais capacidade para os utilizadores finais a rede de comunicações pode fornecer um tempo determinado. Isto equivale a uma redução em equipamentos de rede e custo operacional.
- **Velocidade de transmissão de dados:** de acordo com Bravo (2008), a velocidade de transmissão de dados é a quantidade de dados de informação que podem ser transferidos em um canal de comunicação ou através de um ponto de transferência um

sistema de comunicação. Onde diferentes tipos de aplicações e serviços exigem diferentes taxas de transmissão de dados. Em sistemas WiMAX pode fornecer uma variedade de serviços de dados, com as taxas de transmissão de dados, que inclui a capacidade de prestação de serviços com uma taxa de dados constante (CBR) como E1 a melhores serviços de esforço como a banda larga residencial.

- **Latência (atraso):** é a quantidade de tempo necessária para um pacote de informação passar da origem ao destino. Os sistemas servidores WiMAX podem ser usados para priorizar os pacotes e controlar a quantidade máxima de latência para utilizadores específicos ou por grupos de utilizadores. Menezes et.al (2008), defende que, a variação do tamanho do pacote afecta directamente na latência, ou seja, quanto maior a taxa de chegadas de grandes pacotes, maior passa a ser a latência e maiores são os problemas causados para o bom funcionamento dos protocolos de transporte como o TCP.
- **Vazão (largura de banda):** é a taxa máxima de transmissão de dados que pode ser sustentada entre dois pontos finais. Além dos limites físicos (tecnologia utilizada), a largura de banda é limitada pela quantidade de fluxos que compartilham a utilização de determinados componentes da rede, de acordo com (Bravo, 2008). Este parâmetro é necessário para a operação adequada de qualquer aplicação, atendidas pela rede e que pode ser entendido pelo número de *bytes* e pacotes que foram recebidos entre a chegada do primeiro, e do último pacote dividido pelo tempo necessário.
- **Jitter (variação do atraso):** é a variação no atraso fim-a-fim, ou seja é a variação no tempo e na sequência de entrega das informações devido à variação na latência ou atrasos da rede. O *jitter* é causado pela característica de rajada do tráfego de pacotes e é combatido através da inserção de *buffers* que o armazenam, e retransmitem a uma taxa aproximadamente constante. É importante para as aplicações executadas em rede cuja operação adequada depende de alguma forma da garantia de que as informações (pacotes) devem ser processadas em períodos de tempo bem definidos, ou seja, em tempo real (aplicações de voz e vídeo), (Menezes et.al., 2008). Estes atrasos podem ser minimizados através de canais com alta largura de banda (altas taxas de dados), ou seja, a latência e o *jitter*.

- **Taxa de erro:** é relação entre uma quantidade de informação que é recebida erro, em comparação com a quantidade total de informação que é recebida em um período de tempo. As taxas de erro em WiMax podem ser afectadas por um número de factores tais como a qualidade de sinal e da configuração do sistema. Algumas das medidas da taxa de erro é a BER (taxa de erro de bit) e pacotes (PLR). Segundo Menezes et.al (2008), a taxa de erros pode ser entendida como a probabilidade de ocorrer um erro, e a perda de pacotes devido aos erros ocorridos durante a sua transmissão.

2.14 Vantagens e desvantagens da rede WiMax

As redes WiMax apresentam vantagens assim como desvantagens, onde serão mencionadas de seguida, de acordo com os estudos feitos para elaboração deste projecto.

2.14.1 Vantagens da rede WiMax

A tecnologia WiMax dado que não necessita de uma linha de vista directo entre os elementos interconectados proporcionam uma maior alcance permitindo que o acesso a internet chegue a zonas rurais segundo (Silva e Soares, 2009).

Outros autores defendem que o WiMax permite reservar uma banda para utilizar dados, e o seu padrão integra a funcionalidade de QoS (Qualidade de Serviço), qualidade essa que permite garantir a propriedade de um determinado serviço para o utilizador.

De acordo com Maurício (2014), a tecnologia WiMax dá a possibilidade de diminuição dos custos de infra-estrutura de banda larga, em que permite também a criação de uma rede de cobertura de conexão de *Internet* semelhante à cobertura de telemóveis o que dará acesso á internet mesmo em movimento.

Segundo Oliveira et.al, (2012), a tecnologia WiMax utiliza a modulação OFDM que evita interferências ao se transmitir informações de voz, vídeo e dados. Oferece também suporte para antenas inteligentes, possibilitando altas taxas de transmissão.

2.14.2 Desvantagens da rede WiMax

Dado que as antenas utilizadas em alguns dispositivos para captar os sinais são significativamente pequenas, para poder capturar o sinal do WiMax seria necessário aumentar a sua potência. Mas isto, poderá provocar interferências com outros dispositivos sem fio que utilizam a mesma frequência segundo Silva e Soares (2009).

Portanto, para a exploração de serviços utilizando essa tecnologia é necessário a aquisição de licenças para prestação desses serviços e uso de bandas através da empresa registrada no país, Maurício (2014) apud Silva e Soares (2009).

2.15 Aplicações oferecidas pela rede WiMax

O uso da tecnologia WiMax é inicialmente recomendado para áreas rurais e de baixa densidade demográfica, onde não haja infra-estrutura de acesso por cabo utilizando conexões ponto-a-ponto e ponto-multiponto. Sendo assim, apresenta-se como aplicações desta tecnologia as seguintes:

- **Banda larga sem fio em regiões distantes:** permite o acesso a banda larga sem fio a regiões onde não há infra-estrutura por cabo, permitindo a oferta *triple-play* (voz, dados e imagem), atendendo requisitos de qualidade na transmissão em áreas metropolitanas;
- **Multimédia:** como exemplo de aplicações de multimédia possíveis sem precisar estar conectado por meio de cabos, temos a rádio, TV digital, jogos *online*, informações a tempo real, áudio, vídeo, segurança e dentre vários. Provocando assim uma grande demanda por redes de acesso banda larga sem fio, também denominadas redes BWA (*Broadband Wireless Access*);
- **A tecnologia WiMax com WAN:** é uma combinação entre as tecnologias Wi-Fi e WiMax, onde se aproveita os baixos custos do Wi-Fi para as conexões entre os clientes móveis de um prédio e a conexão WAN através de WiMax até o provedor de *Internet*, como demonstra a *figura 14*.

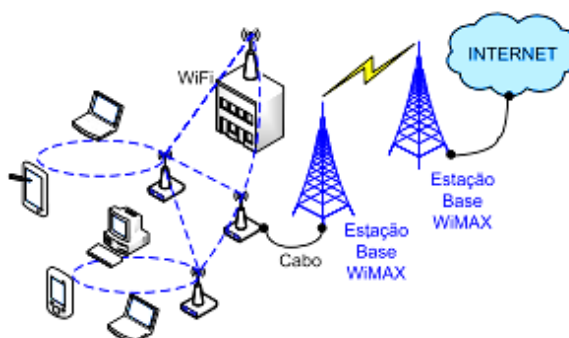


Figura 14: Tecnologia WiMax como conexão WAN. Fonte [Fagundes, 2007]

- **WiMax como alternativa de conexão de gateways Wi-Fi:** como mostra a **Figura 15**, essas conexões são do E1 e DSL, onde o gateway Wi-Fi já possui um *chipset* que se

comunica directamente com a antena do WiMax, evitando a instalação de uma outra antena exclusiva para o WiMax.

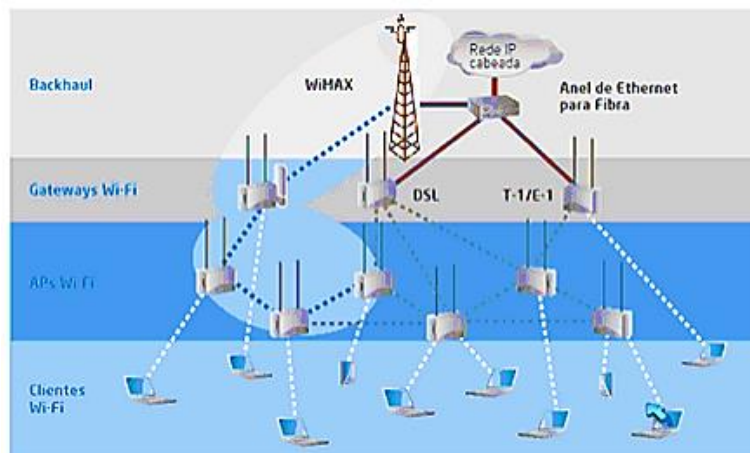


Figura 15: WiMax como opção de conexão de *gateways* Wi-Fi. Fonte [Soares e Silva, 2009]

- **WiMax como alternativa para conexão com clientes:** como mostra a **Figura 16**, a rede *wireless* combina conexões em WiFi e WiMax numa mesma rede, lembrando que isso é possível porque o WiMax utiliza o mesmo protocolo LLC utilizado nas conexões WiFi.

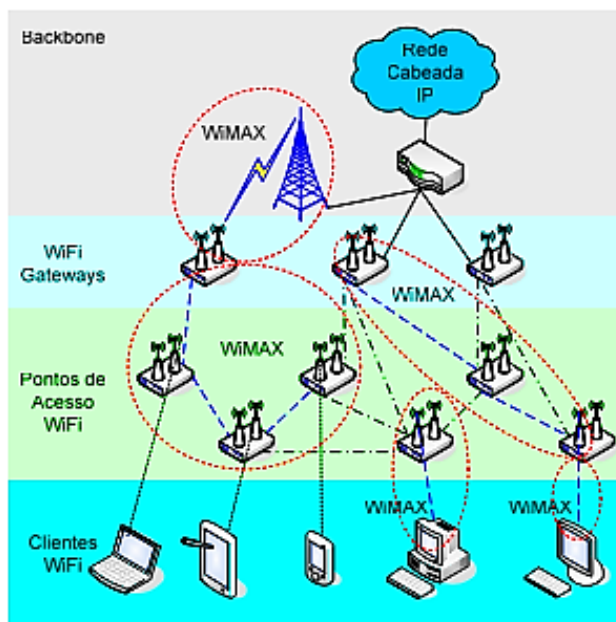


Figura 16: WiMax como alternativa para conexão com clientes. Fonte [Fagundes, 2007]

2.16 Comparação da tecnologia WiMax com a tecnologia WiFi

As características principais da tecnologia WiMax quando comparado ao Wi-Fi, de acordo com (Silva & Soares, 2009), são as seguintes:

- **Maior qualidade de serviço:** permite que os WISPs (provedores de serviços de *internet wireless*) assegurem a QoS aos clientes que a requerem e estabeleçam níveis de serviço para atender a diferentes requisitos dos clientes;
- **Operação robusta com classe de operadora:** quanto mais utilizadores são integrados, eles devem compartilhar a largura de banda integrada, e sua capacidade individual diminui linearmente. A diminuição, no entanto, é muito menos afectada do que a experimentada no IEEE 802.11. Recebendo o nome de “acesso múltiplo eficiente”;
- **Melhor conectividade do utilizador:** mantém mais utilizadores conectados em virtude de suas larguras flexíveis de canal e modulação adaptativa;
- **Suporte completo para o serviço WMAN:** é capaz de comportar maior número de utilizadores e oferecer taxas de transferência de dados maiores a distâncias maiores do que as implementações de última milha baseada no padrão IEEE 802.11.

Estas tecnologias (Wi-Fi e WiMax) apresentam semelhanças ao que se refere a padronização pois pertencem ao mesmo Instituto de Engenheiros Eléctricos e Electrónicos (IEEE), utilizam a mesma modulação (OFDM), tendo assim uma maior aceitação do mercado. A diferença entre elas inicia quando aborda-se sobre o espectro de frequência devido ao licenciamento da mesma, e dentre várias outras que são apresentadas na ***Tabela 16 e Tabela 17 do ANEXO IV e ANEXO V.***

CAPÍTULO 3 - MARCO CONTEXTUAL DA INVESTIGAÇÃO

Este capítulo apresentará o contexto da investigação, onde primeiramente é feita uma breve descrição do caso de estudo, os aspectos gerais de forma a conhecer a instituição que irá prover os serviços de *internet* banda larga para projecção da uma rede WiMax. Em seguida, também é feita uma descrição sobre a situação actual da infra-estrutura da TDM até ao distrito de Marracuene, onde se pretende levar o sinal de *internet* através do dimensionamento de uma rede baseada na tecnologia WiMax, de modo a cobrir a área abrangente nesta zona, onde, para tal é necessário realizar um enlace ponto a ponto que parte da central de comutação da TDM nas proximidades de Marracuene.

3.1 Descrição do distrito de Marracuene

Marracuene é um distrito situado na província de Maputo, a sua sede é a vila de Marracuene localizada em Moçambique. É um dos bairros que está em fase de desenvolvimento da província de Maputo, e ocupa uma superfície de 666 Km². É limitado a Norte pelo distrito de Manhica, a Sul pela Cidade de Maputo, a Este pelo Oceano Índico e a Oeste pelo distrito de Moamba e com a Cidade da Matola. Localiza-se a 30 Km a Norte da Cidade de Maputo, entre a latitude 25° 41' 20" Sul e longitude de 32° 40' 30" Este.

A densidade populacional no distrito de Marracuene, possui um aumento significativo de acordo com INE (2006), onde, no ano de 2013 foi estimada uma população cerca de 126.317 habitantes, e em, 2015 uma população de 141.762 habitantes, e espera-se que em 2017 esteja por volta de 158.129 habitantes.

Assumindo a população de 126.317 habitantes, e tomando em consideração que os possíveis utilizadores encontram-se numa faixa etária dos 15-64 anos, o que corresponde a 49.6% da população, obtém-se 62.653,232 utilizadores do total de 126.317 habitantes. Tendo em conta 25% que corresponde respectivamente a 15% o nível de escolaridade, o social e os serviços de *internet* oferecidos por outras operadoras, e os restantes 10% assumindo como margem de segurança, obtém-se aproximadamente 31.579 utilizadores possíveis que preenchem os requisitos acima citados, para fazerem o uso dos serviços de *internet* banda larga através da rede de acesso dimensionada neste projecto.

Actualmente, o distrito está dividido em dois postos administrativos, a destacar o Posto Administrativo de Machubo com uma superfície de 210 Km², onde é constituído pela Localidade de Macandza e de Taúla, e pelo Posto Administrativo de Marracuene - Sede tendo neste uma maior concentração da população com cerca de 456 Km², constituído pela Localidade de Michafutene, Ngalunde, Matalane, Marracuene Sede e Macaneta.

No distrito de Marracuene encontra-se a FACIM, o monumento de Gwaza-Muthini, e é atravessado pela Estrada Nacional N°1 que faculta a comunicação entre a zona Sul, Centro e Norte, uma estação de caminho-de-ferro, e o transporte fluvial que liga a sede do distrito com a Macaneta. Além do exposto, existem residências, complexos turísticos, estabelecimentos comerciais, escolas de ensino primário e secundário, o Instituto Superior de Gwaza-Muthini, e unidades sanitárias. O acesso a *internet* é servido pelas três redes móveis (Mcel, Vodacom e Movitel), e o acesso fixo pela rede de telecomunicações do país (TDM).

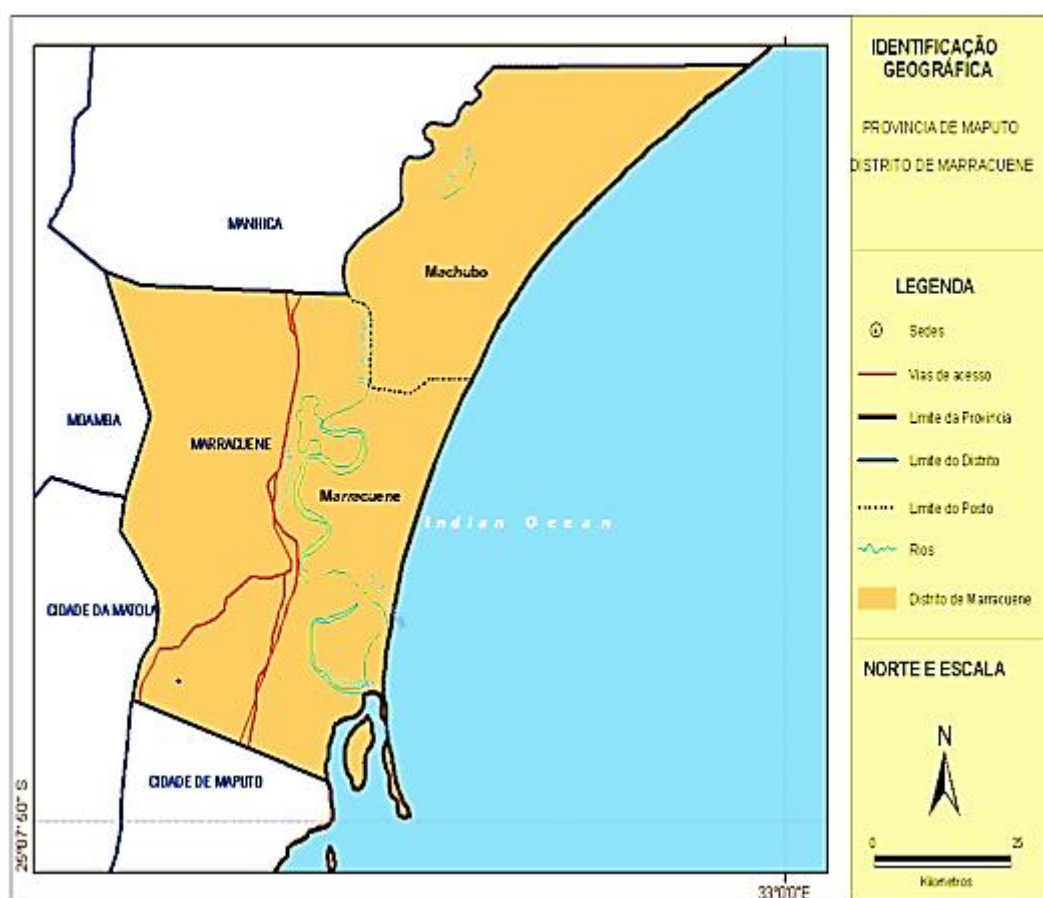


Figura 17: Mapa do distrito de Marracuene. Fonte [INE, 2009]

3.2 Estado actual da empresa TDM

Actualmente, a TDM (Telecomunicações de Moçambique) é a primeira rede de telecomunicações e a única operadora de telefonia fixa de Moçambique. Esta, oferece soluções de comunicações de qualidade aos operadores de telecomunicações, as organizações e as pessoas para o desenvolvimento sócio-económico do País.

Sendo assim, a TDM têm realizado actividades de modo a expandir a rede aos distritos, as províncias, e a melhorar a qualidade de serviços nas zonas de fraca expansão urbana servindo aos utilizadores através da ligação telefónica via cobre, além das transmissões de informação através da fibra óptica (FO) e de acesso a *internet* de banda larga suportada pela tecnologia ADSL, de acordo com (INE, 2009). E, pelo serviço fixo sem fio, que é baseada na tecnologia CDMA, e os serviços de dados (circuitos alugados, *internet* dedicada e criação de redes internas).

Por estes motivos, escolhe-se de entre as várias operadoras existentes no País que permitem o acesso a *internet* banda larga á TDM como provedora de serviços. E, pelo facto da rede da TDM não apresentar infra-estrutura capaz de prover os serviços de *internet* banda larga para os novos bairros que estão surgindo no País, tendo a tecnologia WiMax como meio de expansão dos mesmos.

3.3 Situação actual da rede da TDM em Marracuene

Actualmente, a rede da TDM no distrito de Marracuene não apresenta-se totalmente cabeada, pois os utilizadores nesta zona encontram-se em áreas distantes de acesso, e a mesma está em uma fase de desenvolvimento e expansão devido ao aumento populacional, que se tem deparado segundo os estudos feitos pelo INE (Instituto Nacional de Estatística).

A rede de acesso dos utilizadores existentes nesta região é sem fio, *wireless*, sendo suportada pela tecnologia CDMA 2000 *release*. É de referir, que o acesso da mesma é baseado na cobertura efectuada por uma BTs lá existente..

Destaca-se, uma ERB (estação rádio base) na zona da FACIM também conhecida como Ricathla pertencente a Mcel, que é responsável por transportar o sinal até a BTs da TDM que encontra-se na Riopole (empresa localizada no distrito de Marracuene), que apresenta uma largura de banda de 800 MHz e esta é partilhada por todos os utilizadores que estão dentro da área de cobertura abrangida pela mesma.

3.3.1 Situação actual da infra-estrutura TDM até ao distrito de Marracuene

Em Marracuene, a TDM não possui uma rede cabeada, embora possua infra-estrutura que permitirá o dimensionamento da rede WiMax proposta neste projecto.

A infra-estrutura existente é baseada na tecnologia CDMA que consiste em uma BTs (localizada na empresa Riopole - Marracuene), sendo esta a única que cobre o distrito. A ERB da Mcel (cita na FACIM) localizada nas proximidades possui uma antena, que é usada como transporte do sinal recebido pela tecnologia GPON, e emite via rádio para a referida BTs da TDM em Marracuene, ou seja, é usada como *link* de passagem. A **figura 18**, demonstra a BTs responsável por cobrir o distrito de Marracuene.



CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo, apresenta-se a proposta para o dimensionamento de uma rede baseada na tecnologia WiMax para prover o acesso de *internet* banda larga aos residentes e as instituições públicas e privadas do distrito de Marracuene. Para tal, foi feito um estudo da rede da TDM, e da infra-estrutura já existente presente até a determinada zona, e em parâmetros que devem ser tomados em conta para um melhor desenvolvimento do tema de estudo proposto.

De seguida, tendo como base os resultados obtidos nos cálculos teóricos, serão feitas simulações de modo a comprovar tais dados requeridos anteriormente, com os resultados práticos, avaliando desta forma o desempenho desta rede.

4.1 Arquitectura da rede proposta

A **Figura 19** mostra a arquitectura para o dimensionamento da rede WiMax para prover serviços de *internet* banda larga ao distrito de Marracuene. A estação de Ricatha será responsável pelo envio do sinal de *internet* através de um *link* de rádio frequência até a estação em Marracuene, é de referir que esta estação já existe e é pertencente a Mcel, e a mesma encontra-se ligada ao *backbone* da TDM. Este enlace ponto a ponto garante que o sinal chegue a estação de Marracuene com uma potência aceitável, e esta permitirá o espalhamento do sinal até aos moradores deste distrito por um enlace ponto-multiponto, constituindo assim, a rede de acesso sobre tecnologia WiMax.

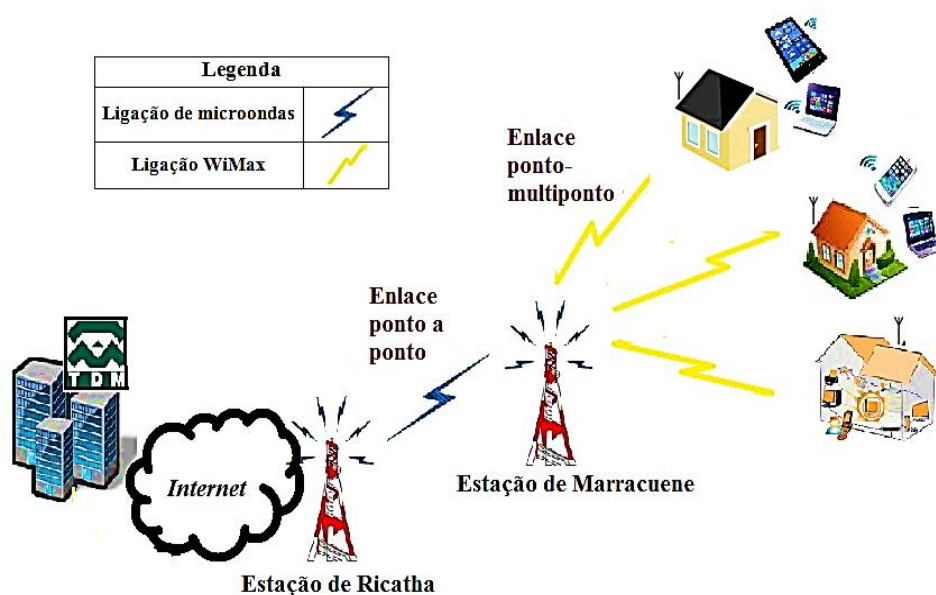


Figura 19: Arquitectura de rede proposta.

4.2 Estrutura para o dimensionamento da rede WiMax no plano analítico

4.2.1 Identificação dos pontos referentes ao enlace ponto a ponto

Neste projecto foi proposto a implementação da rede WiMax no distrito de Marracuene, onde para tal será projectado um enlace ponto a ponto a partir da BTs da Mcel até a zona pretendida. Haverá uma reutilização desta torre já existente da Mcel, onde o sinal recebido é via fibra óptica e após esta ligação é usada serviços de comunicação por *links* de microondas até ao distrito de Marracuene (área a cobrir), isso por insuficiência de estrutura de cabeamento, proporcionando assim, uma vantagem de existir uma redução de custos e tempo para a implementação da rede. Isto porque, deve ser instalada em um local onde já existe um sistema de controlo remoto a partir da central, facilitando o desempenho, mudança de atribuições para parâmetros caso haja necessidade, entre outros factores ou circunstâncias que possam ocorrer de necessidade urgente de resolução.

4.2.2 Localização geográfica das estações

Para a localização das estações envolvidas, foi realizada uma visita nesta área para o levantamento de dados relevantes para dar seguimento ao projecto, dados esses, como o local de instalação da ERB em Marracuene e da BTs da Mcel e suas coordenadas geográficas. As coordenadas foram obtidas usando o *showLatLong* (encontrado no *AppStore da Apple*), sendo que a BTs da Mcel localiza-se a (latitude: -25.772929 e longitude: 32.637836). A partir da *Tabela 1*, é possível visualizar as coordenadas das respectivas estações na plataforma *Google Earth*.

Tabela 1: Coordenadas geográficas das estações. Fonte [*Google Earth*, 2015]

Localização das estações	Latitude	Longitude
BTs da Mcel (FACIM)	25°46'22.54"S	32°38'16.22"E
ERB em Marracuene	25°44'43.24"S	32°40'17.70"E

Com o auxílio do *Google Earth*, foi possível posicionar as respectivas estações a partir das coordenadas acima, e medir a distância entre as mesmas. Embora, para obter uma distância mais próxima da realidade, a que o sinal irá percorrer, devem ser feitos cálculos adicionais e simulações, tendo como base os obstáculos que possam existir nesse percurso e os desníveis referentes a vegetação, ou seja verificar se estamos presentes a um canal de propagação com linha de vista ou sem linha de vista, mas tendo em conta um canal sem linha de vista, pois

futuramente, este enlace possa ser obstruído com o crescimento das vegetações, ou construções de elevadas edificações. As duas estações encontram-se distanciadas de 4.59 Km conforme demonstra a **Figura 20**.

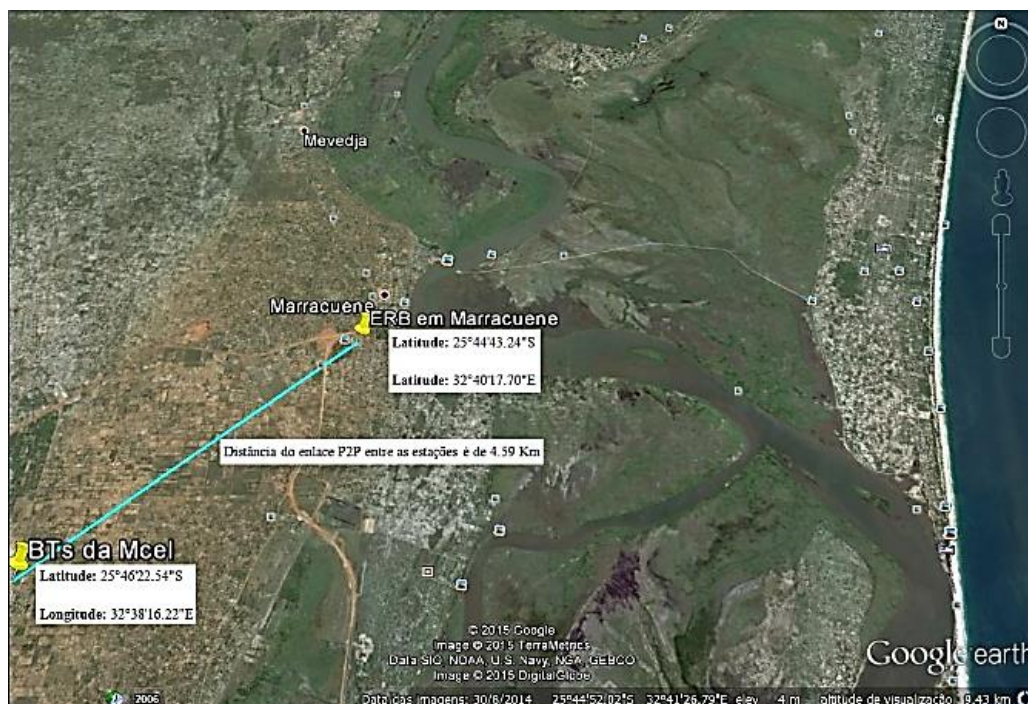


Figura 20: Distância entre a BTs da Mcel e a ERB em Marracuene. Fonte [Google Earth, 2015]

4.2.3 Selecção do padrão WiMax e a faixa de frequência de operação

O WiMax pode operar utilizando tanto frequências licenciadas como não licenciadas. Ao se projectar a rede a ser implementada é necessário determinar em qual das faixas se vai operar, neste caso será adoptada é a que requer licenciamento pois esta, apesar de envolver custos de licenciamento, oferecem um serviço com uma alta QoS, um uso exclusivo do espectro e protegido de interferências externas, enquanto os que usam espectro sem licença só poderão utilizar a faixa que tiverem permissão no espectro.

O INCM (Instituto Nacional de Comunicações de Moçambique), órgão regulador de serviços de telecomunicações, disponibiliza uma faixa de frequências de 3.4-3.8GHz para aplicações em WiMax. Para tal, optou-se por trabalhar em um espectro de 3600 MHz com um canal de 7 MHz, tendo também em conta o equipamento escolhido que também operam nesta faixa.

Sendo assim, o padrão 802.16-2004/d é o fixo-nomádico escolhido para o uso das antenas sectoriais na ERB para um maior alcance, ou seja, as estações terminais podem ser nómadas (mobilidade restrita), e o local onde está colocada a estação terminal pode variar dentro da

célula, mas está encontra-se parada em operação, e o fixo propicia o acesso à internet de alta velocidade de forma rápida e económica para assinantes residenciais e comerciais.

4.2.4 Cálculo da altura das antenas

▪ Cálculo da 1ª zona de *Fresnel* (r)

É o rádio de um sistema de comunicação sem fio que deve se deixar ao redor de uma linha de vista de um enlace de telecomunicações, para reduzir a interferência causada pela reflexão da onda, (Ribeiro, 2007). Existem várias zonas de *fresnel* em que os obstáculos podem afectar a onda, por efeitos de reflexão e interferência, mas para fins práticos é importante calcular pelo menos a primeira zona, dada pela *equação (1)*:

$$r = 17.32 \times \sqrt{\frac{d}{4f}} \quad (1)$$

$$r = 17.32 \times \sqrt{\frac{4.56}{4 \times (3.6)}} = 9.75 \text{ m}$$

▪ Factor de liberação da elipsóide de *Fresnel*

O primeiro factor a ser avaliado segundo (Laska, 2010), é o quanto pode ser liberado da elipsóide de *Fresnel*, o qual varia de acordo com a frequência do rádio enlace, e este baseia-se no factor *k*, como demonstra a **Tabela 2**. E, como neste projecto é usada uma frequência de 3.6GHz, consideram-se os factores que operam acima de 3GHz.

Tabela 2: Factor de liberação da elipsóide de *Fresnel*. Fonte [Teleco, 2013]

Frequência de Operação entre 1 e 3 GHz	Frequência de Operação acima de 3 GHz
60% do raio de <i>Fresnel</i> para $k=4/3$	100% do raio de <i>Fresnel</i> para $k=4/3$
30% do raio de <i>Fresnel</i> para $k=\text{mínimo}$	60% do raio de <i>Fresnel</i> para $k=\text{mínimo}$

▪ Curvatura da terra

No cálculo de desempenho do rádio enlace, devem ser tomados dois valores de *k* respectivamente ($4/3$ referente as curvas de refractividade, e mínimo), onde a partir deles é possível calcular a desobstrução da 1ª zona de *Fresnel* necessária para o tipo de rádio enlace usado, como mostra a **Tabela 3**.

Tabela 3: Cálculo da desobstrução da 1ª zona de *Fresnel*. Fonte [Teleco, 2013]

	1GHz < f < 3GHz	f > 3GHz
$k = 4/3$	$r_{desobk} = 0.6 \times r_{fresnel}$	$r_{desobk} = 1.0 \times r_{fresnel}$
$k = \text{mínimo}$	$r_{desobk'} = 0.3 \times r_{fresnel}$	$r_{desobk'} = 0.6 \times r_{fresnel}$

Como foi escolhida uma frequência de operação de 3.6GHz, sendo assim usou-se as *equações* (2) e (3), para os valores de $k = \frac{4}{3}$ e $k = \text{mínimo}$.

$$r_{desobk} = 1.0 \times r \quad (2)$$

$$r_{desobk} = 1.0 \times 9.75$$

$$r_{desobk} = 9.75 \text{ m}$$

$$r_{desobk'} = 0.6 \times r \quad (3)$$

$$r_{desobk'} = 0.6 \times 9.75$$

$$r_{desobk'} = 5.85 \text{ m}$$

Com estes parâmetros é necessário que se faça uma correcção para os valores de $k = \frac{4}{3}$ e $k = \text{mínimo}$, dada pelas expressões abaixo, onde admitiu-se que a uma distância $d_1 = 1.79 \text{ km}$, exista um obstáculo que obstrua o enlace, de forma que se possa obter a correcção de curvatura d terra. A constante 12.74 é o diâmetro da terra dada em *km*.

$$h_k = \frac{d_1 \times d_2}{12.74 \times k} \quad (2.1)$$

$$k = \frac{4}{3} \quad h_k = \frac{1.79 \times 2.77}{12.74 \times 1.33}$$

$$h_k = 0.292 \text{ m}$$

$$h_{ck} = h_k + r_{desobk} \quad (2.2)$$

$$h_{ck} = 0.292 + 9.75$$

$$h_{ck} = 10.042 \text{ m}$$

$$h_{k'} = \frac{d_1 \times d_2}{12.74 \times k_{\text{mínimo}}} \quad (3.1)$$

$$k = \text{mín} \quad h_{k'} = \frac{1.79 \times 2.77}{12.74 \times 0.66}$$

$$h_{k'} = 0.589 \text{ m}$$

$$h_{ck'} = h_{k'} + r_{desobk'} \quad (3.2)$$

$$h_{ck'} = 0.589 + 5.85$$

$$h_{ck'} = 6.439 \text{ m}$$

▪ Altura da antena receptora

Para o cálculo da altura das antenas, são necessários parâmetros relativos ao ponto crítico (altitude que pode provocar obstrução dentro do elipsóide de *Fresnel* - h_{pc}), onde pode-se

calcular a altura das antenas de transmissão e recepção, e admitiu-se a existência de um obstáculo, a uma distância de 1.79 km de 56 m de altitude. O método consiste em arbitrar a altura de uma delas e calcular a altura da outra, obedecendo-se aos critérios de desobstrução da primeira zona de *Fresnel*, previamente estabelecidos, sendo assim tomou-se como referência 36 m , que é a altura da antena A (h_A). Como pode ser visto de seguida, de acordo com (Mehl, 2008):

$$h_B = \frac{d \times (h_{pc} + h_{ck} + h_{veg} + h_{seg} - H_B) - d_2 \times (H_A + h_A - H_B)}{d_1} \quad (2.3)$$

$$k = \frac{4}{3} \quad h_B = \frac{4.56 \times (56 + 10.042 + 2 + 2 - 33) - 2.77 \times (68 + 36 - 33)}{1.79}$$

$$h_B = -15.507 \text{ m}$$

$$h_{B'} = \frac{d \times (h_{pc} + h_{cK\text{mínimo}} + h_{veg} + h_{seg} - H_B) - d_2 \times (H_A + h_A - H_B)}{d_1} \quad (3.3)$$

$$k = \text{mín} \quad h_{B'} = \frac{4.56 \times (56 + 6.439 + 2 + 2 - 33) - 2.77 \times (68 + 36 - 33)}{1.79}$$

$$h_{B'} = -24.686 \text{ m}$$

Para a margem de crescimento das árvores/vegetação no ponto de obstrução (h_{veg}), e segurança devido à imprecisões nas medidas (h_{seg}) foram usadas valores típicos de 2 m respectivamente. A partir da **Tabela 4**, e com os cálculos realizados, é possível verificar a viabilidade técnica da instalação, onde a altura mínima da antena receptora em Marracuene é negativa, contudo, qualquer altura adicionada viabiliza o rádio enlace. É de referir que a mesma já encontra-se padronizada, sendo assim foi feita a substituição dos parâmetros para obtenção da altura da antena receptora.

Tabela 4: Cálculo da altura da antena receptora.

Adaptado de: [<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/te155/planilhas/antenas.xls>]

Cálculo da altura da antena receptora			
Parâmetros	Símbolo	Valor	Unidade
Frequência do enlace	f	3600	MHz
Comprimento	D	4,56	Km
K=4/3	k	1,33	

K=mínimo	$k_{\text{mínimo}}$	0,66	
Distância da estação A até a obstrução	d_1	1,79	Km
Distância da estação B até a obstrução	d_2	2,77	Km
Altitude da estação A	H_A	68	m
Altitude da estação B	H_B	33	M
Altitude do obstáculo	h_{pc}	56	M
raio de desobstrução da 1ª zona de Fresnel para K=mínimo	$r_{desobk'}$	5,85	M
raio de desobstrução da 1ª zona de Fresnel para K= 4/3	r_{desobk}	9,75	M
Correção da curvatura da Terra para K=4/3	h_k	0,293	M
Correção da curvatura da Terra para K=mínimo	$h_{k'}$	0,59	M
60% do raio de fresnel + correção da curvatura da terra para K=4/3	$h_{ck'}$	6,44	M
100% do raio de fresnel + correção da curvatura da terra para Kmínimo	h_{ck}	10,04	M
Altura da antena A tomada como referência	h_A	36	M
Margem de crescimento de árvores no ponto de obstrução	h_{veg}	2	M
Margem de segurança devido a precisão das medidas	h_{seg}	2	M
Altura da antena B para K=mínimo	$h_{B'}$	-24,68	M
Altura da antena B para K=4/3	h_B	-15,5	M
1ª zona de <i>Fresnel</i>	r	9,75	M

4.3 Selecção dos equipamentos para o dimensionamento da rede WiMax

Este ponto é primordial para o dimensionamento deste enlace, pois a partir dos equipamentos será possível a obtenção de parâmetros que nos auxiliarão na obtenção de cálculos de devem ser realizados, em um melhor desempenho do enlace, assim como para a própria simulação. É de referir que cada equipamento, possui suas especificações, tais como ganho, potência, frequência, sensibilidade e demais parâmetros que são encontrados nas especificações dos mesmos, e estes encontram-se nos anexos do presente trabalho.

4.3.1 Equipamentos para o enlace ponto a ponto

- **Rádio *transceiver* PASOLINK NEO/C**

O PASOLINK NEO é um rádio transceptor que atende a crescente demanda por serviços de transmissão digital, sem fio para um enlace ponto a ponto e satisfazendo as necessidades para as ligações fixas e móveis de acesso à rede. Este consiste em uma antena, um ODU (unidade exterior transmissor/receptor) e IDU (unidade interior modulador/demodulador), oferecendo uma ampla gama de capacidades, bandas de frequência, níveis de modulação e interfaces com um único IDU comum, simplesmente mudando a placa de interface sem ter de substituir o IDU principal ou equipamento de rádio ODU.

Para este projecto foi escolhido o PASOLINK NEO/C, visto na **Figura 21**, onde opera entre uma frequência de 7 a 38GHz conforme o **ANEXO VI** e oferece canais de comunicação *backbone* para BTS através do centro de comutação móvel e BSC. Fornece *intranet* da rede pública através de uma interface de conexão 10/100BASE-T(X) ou E1, E3, STM1,1000BASE-SX/TX/T, e em casos de desastre natural actua como um sistema de *backup* para a ligação de fibra óptica em caso de desconexão.



Figura 21: Rádio *transceiver* PASOLINK NEO/C.

▪ **Antena *RocketM* + *RocketDish***

As antenas *rocketM* e *rocketDish* são também produto da *Ubiquiti Networks* categoria *airMAX*, onde foram escolhidos os seguintes modelos, respectivamente no **ANEXO VII** e **ANEXO VIII**:

- ***Rocket M3***: são compatíveis com as antenas *AirMax Sector* (3G-18-120) e *RocketDish* (3G-26), operam com frequências de 3.4 a 3.7 GHz e apresentam uma potência de saída de 25dBm. Tem um desempenho de RF, pode-se integrar com *AirMax BaseStation* ou *Rocket*, dando uma maior flexibilidade;
- ***RocketDish***: é uma antena parabólica ponto a ponto, e foi escolhido o modelo RD-3G26, pois operam em uma frequência de 3.3 a 3.8 GHz, com um ganho de 26dBi.

4.3.2 Equipamentos para a estação rádio base

▪ **Estação rádio base *StarMax EION 6400***

A série *StarMax EION 6000 WiMax base station*, disponibiliza flexibilidade e desempenho, com a integração dos serviços de banda larga sem fio. Estas estações na sua versão 6400 16d, permitem o uso de serviços aos utilizadores fixos e nómadas com base no padrão IEEE 802.16-2004.

As estações rádio base da *StarMax EION 6400*, foi dimensionado para suportar as faixas de frequências de 2,5 GHz, 3,3 GHz, 3,5 GHz. A sua configuração pode ser feita com 4 lâminas WiMax separadas, que podem suportar até 8 sectores WiMax individuais ou 4 sectores com desempenho líder WiMax, permitindo uma variedade de opções de conectividade para o operador.

Esta ERB vista na **Figura 22**, suporta ainda serviços *triple play* (combinação de voz, dados e multimédia sob um único canal de comunicação de banda larga) que permitem uma transmissão de alto desempenho para uma adequada cobertura, usa a modulação OFDM. Ou seja, o *StarMax* 802.16-2004 também conhecido como 802.16d (fixo), é uma solução confiável que disponibiliza aos seus utilizadores um acesso aos serviços de banda larga sem fio.



Figura 22: ERB *StartMax* 6400, padrão 802.16-2004/d

- **Cabo coaxial LCF8-50JA-A7**

Existe uma variedade de cabos coaxiais, e para o presente trabalho foi escolhido o LCF8-50JA-A7, como pode ser visto na **Figura 23**, da RFS CELLFLEX. Este cabo é de 7/8 polegadas de 50ohm onde apresenta um condutor externo flexível que permite o raio de curvatura mais apertado, com menores perdas devido a baixa atenuação, uma boa blindagem que protege-o em caso de humidade.

Tem uma capacidade de suportar frequências até aos 5GHz, e servem de interligação entre as antenas e os rádios *transceivers*, e em suas extremidades é necessário a colocação de conectores, as especificações encontram-se no **ANEXO X**.



Figura 23: Cabo coaxial LCF8-50JA-A7

- **Conector *BNC male crimp***

Para a escolha de conectores é importante garantir uma adequada operação e confiabilidade, e uma relação entre o tipo de cabo a ser usado, a impedância (50 ou 75ohms), o suporte de frequência, a perda de inserção, a tensão nominal e especificações ambientais.

Foi escolhido o *BNC male crimp conector* da AIR802, pois são de fácil instalação, garantem um desempenho nas linhas de transmissão de RF, tornando-os resistentes. Estes operam na faixa de frequências de 0 a 11GHz e inserem 0.2dB em perdas de inserção.

A **Figura 24**, ilustra o conector acima referido, e suas especificações técnicas encontram-se no **ANEXO XI**.



Figura 24: Conector BNC macho

- **Antena WiMax AM-3G18-120**

A antena escolhida foi da *Ubiquiti Networks airMAX*, onde usam o protocolo TDMA (*time division multiple access*) que permite que cada cliente possa enviar e receber dados usando o tempo pré-estabelecido e programado por um AP, que controla e maximiza a eficiência do tempo de antena, melhor desempenho na taxa de transferência, e escalabilidade em comparação a todos sistemas ao ar livre.

Sendo assim, a antena é do modelo AM-3G18-120 (sectorizada a 120°), operando em uma faixa de frequências entre os 3.3 a 3.8 GHz, possui um ganho que varia de 17.3 a 18.2dBi, projectada especificamente para aplicações WiMax *outdoor* onde é necessária uma antena de alto desempenho.

Este tipo de antenas WiMax, são usadas nas estações rádio base, responsáveis por emitir sinal de *internet* para a nossa zona de cobertura, como é possível ver na **Figura 25**, e para mais detalhes encontram-se no **ANEXO XII**.



Figura 25: Antena *AirMax* Sector AM-3G18-120

▪ **Antena PowerBridge M3**

Esta antena também é da *Ubiquiti Networks airMAX*, onde permite que cada utilizador possa receber o sinal enviado pela estação radio base, e ter acesso aos serviços de dados. Operam numa frequência de 3.5GHz e apresentam uma potência de transmissão de 25dBm e de recepção de - 94dBm. No **ANEXO XIII** pode ser visto mais dados da mesma, assim como suas especificações.

4.3.3 Cálculos de viabilidade técnica do enlace ponto a ponto

Para realizar a viabilidade técnica deste enlace, usa-se algumas expressões matemáticas para a análise do mesmo, e foi necessário alguns parâmetros obtidos a partir das especificações de cada equipamento encontrados nos anexos. Esta análise será efectuada tendo como base a **Figura 26**, que descreve o comportamento das perdas totais de transmissão do rádio enlace, para analisar-se através da sensibilidade do receptor se o nível de sinal é ou não aceitável.



Figura 26: Trajectória entre o Tx e Rx. Fonte [Buettrich, 2007]

Sendo assim, são necessários alguns dados referentes aos equipamentos escolhidos neste projecto, apresentados na **Tabela 5**.

Tabela 5: Dados dos equipamentos para o balanço de potencia.

Parâmetro	Unidade	Valor
Distância do enlace (d)	Km	4.59
Frequência de operação (f)	GHz	3.6
Potência de transmissão (P_{Tx})	dBm	27
Ganho de transmissão (G_{Tx})	dBi	25

Ganho de transmissão (G_{Rx})	dBi	25
Atenuação nos conectores (At_c)	dB	0.2
Atenuação nos cabos coaxiais (At_{co})	dB	7.56
Sensibilidade do receptor (S)	dBm	- 94

Tendo os dados para a análise de viabilidade do enlace, serão feitos alguns cálculos, nomeadamente:

- **Atenuação no espaço livre (A_o):** é a na força do sinal que resulta se toda a influência da absorção, difracção, obstrução, refracção, espalhamento e reflexão é desprezada, não tendo assim, efeito na sua propagação. Ou seja, o sinal de rádio é enfraquecido no ar devido à expansão dentro de uma superfície esférica, e é dada pela **equação (4)** seguindo o Modelo de Friis.

$$A_o = 92.5 + 20\log(d) + 20\log(f) \quad (4)$$

$$A_o = 92.5 + 20\log(4.59) + 20\log(3.6)$$

$$A_o = 116.69 \text{ dB}$$

- **Potência de recepção (P_{Rx}):** para o seu cálculo é necessário ter-se a potência de transmissão do rádio *transceiver*, e dos ganhos das antenas de T_x e R_x , bem como a A_o , onde é dada pela **equação (5)**.

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - A_o \quad (5)$$

$$P_{Rx} = 27 + 25 + 25 - 116.69$$

$$P_{Rx} = -39.69 \text{ dBm}$$

- **Atenuação nos conectores (At_c):** são as perdas no sinal de rádio que podem ocorrer nos conectores que interligam o transmissor e as antenas de recepção. As perdas dependem da frequência de operação, e pode ser calculada tendo em conta a **equação (6)**.E como são usados 4 conectores foi necessário a multiplicação pelo valor da sua perda.

$$At_c = L_c \times nr^o \text{ de conectores} \quad (6)$$

$$At_c = 0.2 \times 4$$

$$At_c = 0.8 \text{ dB}$$

- **Atenuação nos cabos coaxiais (At_{co}):** são as perdas no sinal de rádio podem ocorrer nos cabos que ligam o transmissor e antenas de recepção. As perdas dependem do tipo de cabo e a frequência de operação, conforme a *equação (7)*, onde os 35 m são dados pela quantidade necessária.

$$7.56 \text{ dBm} \text{ ----- } 100 \text{ m} \quad (7)$$

$$x \text{ ----- } 35 \text{ m}$$

$$x = \frac{(7.56 \text{ dBm} \times 35 \text{ m})}{100 \text{ m}} = 2.646 \text{ dBm} \rightarrow At_{co}$$

- **Margem do enlace (M):** é a perda de potência em relação a distância e o tempo, também conhecida como margem de desvanecimento.

$$M = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - \sum A_t - S \quad (8)$$

$$M = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - \sum (At_o + At_c + At_{co}) - S$$

$$M = 27 + 25 + 25 - \sum (116.69 + 0.8 + 2.646) - (-94)$$

$$M = 27 + 25 + 25 - 120.136 - (-94) = 50.864 \text{ dB}$$

- **Balanco de potência (P_{Rx}):** para este parâmetro é usado todas as perdas introduzidas no percurso, a potência T_x e os ganhos das antenas de T_x e R_x , dada pela *equação (9)*.

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - \sum A_t \quad (9)$$

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - \sum (At_o + At_c + At_{co})$$

$$P_{Rx} = 27 + 25 + 25 - \sum (116.69 + 0.8 + 2.646)$$

$$P_{Rx} = 27 + 25 + 25 - 120.136 = -43.136 \text{ dBm}$$

A partir da **Tabela 6**, pode verificar-se o balanço de potência efectuado acima a partir das perdas introduzidas devido aos equipamentos, e do enlace de rádio frequência entre a BTs da

Mcel e ERB em Marracuene. Estes valores são teóricos e podem diferir mediante as condições que se encontram embora são comprovados mediante simulador obtendo uma margem de 47.56 dB e apresentando viabilidade técnica.

Tabela 6: Balanço de potência do sistema de rádio frequência

Parâmetro	Valor
Atenuação no espaço livre (dB)	116.69
Atenuação nos cabos coaxiais (dB)	2.646
Atenuação nos conectores (dB)	0.8
Balanço de potência (dBm)	− 43.136
Margem do sistema (dB)	50.864
Potência de recepção (dBm)	− 39.69

4.4 Dimensionamento para cobertura da rede WiMax

Para analisar o dimensionamento feito pela estação rádio base e os utilizadores do distrito de Marracuene, é necessário fazer-se o balanço de potência que é a perda máxima do trajecto de propagação, e com este, é possível determinar o raio da célula de cobertura. As perdas podem ser do espaço livre, dos equipamentos, e das condições da interface aérea que influenciam na potência do sinal.

A **tabela 7**, mostra os valores dos principais parâmetros fornecidos pelos equipamentos tendo em conta as condições do sistema.

Tabela 7: Parâmetros dos equipamentos da rede WiMax

Parâmetro	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
Potência de transmissão (P_{Tx})	30 dB	25 dB
Sensibilidade do receptor (S_{Rx})	- 97 dBm	- 94 dBm
Ganho de transmissão (G_{Tx})	18,2 dBi	20 dBi

Ganho de transmissão (G_{Rx})	20 dBi	18,2 dBi
Perdas do sistema (L_S)	3,446 dB	
Altura da antena de transmissão (h_B)	20 m	
Altura da antena de recepção (h_m)	1,5 m	
Frequência de operação (f)	3600 MHz	

O balanço de potência deverá ser realizado nas direcções de *downlink* e *uplink* para que se garanta uma comunicação em ambos sentidos. Uma vez que a potência na direcção de *downlink* é maior em relação a de *uplink*, os utilizadores podem não conseguir se comunicar com a ERB, visto no cálculo referente ao balanço de potência.

A *equação 10* foi usada para determinar o balanço de potência:

$$L = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_S - S_{Rx} \quad (10)$$

E para o balanço de potência de *downlink* é dada pela *equação 11*:

$$L_{DL} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_S - S_{Rx} = 161,754 \text{ dB} \quad (11)$$

E no caso de *uplink* será dado pela *equação 12*:

$$L_{UL} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_S - S = 153,754 \text{ dB} \quad (12)$$

Substituindo o resultado da perda máxima do percurso (L) obtém-se o raio da célula será calculado com base no resultado deste enlace que é o pior caso, garantindo assim a comunicação em ambas direcções.

A interface aérea é instável, sendo necessário garantir que o sistema reserve uma boa margem de segurança, pois ao surgirem as perdas adicionais, a potência do sinal recebido seja maior que a sensibilidade do receptor, e deste modo garantirá uma boa relação S/N, considerando uma margem mínima de segurança de 13 dB ($M_{seg} \geq 13 \text{ dB}$).

4.4.1 Determinação do raio de cobertura e do número de células

A determinação do raio de cobertura da célula é essencial pois é possível estimar a máxima distância de actuação da célula, tendo em conta as características do transmissor, do receptor e do trajecto de propagação do sinal.

A região que se pretende cobrir é uma área suburbana, e nestes casos para a determinação da perda do percurso é usado o modelo de propagação empírico Hata-COST 231 (junção entre os modelos Okumura-Hata e COST 231). O sinal ao se propagar durante o seu trajecto pode deparar-se com alguns obstáculos, nestas condições e tomando em consideração o tipo de região, as perdas do percurso são obtidas aplicando a *equação 13 e 14*:

$$PL_{suburbana} = 69,55 + 26,16\log(f) - 13,82\log(h_B) - a_{(h_m)} - (44,99 - 6,55\log(h_B)) * \log(d)$$

$$PL_{suburbana} = PL_{urbana} - 2 \left[\log \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (14)$$

E o factor de correcção da altura do equipamento do utilizador é dado pela seguinte *equação 15*:

$$a_{(h_m)} = 0.8 + (1.1\log_f - 0.7)h_m - 1.56\log_f \quad (15)$$

$$a_{(h_m)} = 0.8 + (1.1\log_{3600} - 0.7)1.5 = 0.07 \text{ dB}$$

Para determinar o raio da célula, verifica-se a condição $P_{Rx} \geq S_{Rx}$, e calcula-se as perdas em função do balanço de potência de *uplink*, usando o modelo de Hata-Cost 231 e isolando o d é possível obter o raio da célula de 1.77 Km . Onde foi usada uma célula hexagonal como figura geométrica, pois esta possui arestas mais definidas, podendo agrupa-las de forma a dar maior cobertura a região em causa:

$$a = \frac{3\sqrt{3}(R)^2}{2} \quad (16)$$

$$a = \frac{3\sqrt{3}(1.77)^2}{2} = 7.99 \text{ Km}^2$$

A área a ser atendida é aproximadamente 7.99 Km^2 , e a área de cobertura de uma célula é de 666 Km^2 , pode ser determinada o número de estações base necessárias para prover a cobertura da área desejada, ver *equação 17*:

$$Nr \text{ de BS} = \frac{\text{área de cobertura}}{\text{área da célula}} \quad (17)$$

$$Nr \text{ de BS} = \frac{666 \text{ Km}^2}{7.99 \text{ Km}^2} \cong 83 \text{ estações}$$

4.4.2 Planeamento celular

A área de serviço é subdividida em áreas geográficas menores, denominadas células, e estas são servidas por uma estação rádio base própria. As células em uma mesma área de cobertura possuem diferentes frequências, de modo que não ambas não se interfiram. Porém, é possível reutilizar a frequência de uma célula em outra célula relativamente distante, desde que esta segunda célula não interfira na primeira, ou seja, poderão ser utilizados canais com a mesma frequência em diferentes células de modo a minimizar a interferência entre células e garantindo fiabilidade de transmissão.

Deste modo, a cobertura deste distrito ou parte dele é feita mediante a reutilização de frequências, e a distância desta cria um sistema fundamental para o uso eficiente do espectro, que baseia-se na alocação e reutilização de canais através da área de cobertura, onde a cada estação base é alocado um grupo de canais de rádio que serão usados em uma região geográfica (célula) para todas as estações bases.

A relação entre a distância de reutilização entre as células que usam as mesmas frequências (D) e o raio de células de forma hexagonal (R), e (J) que é o padrão de reutilização (tamanho do *cluster*¹), e é dada pela *equação (18)*.

$$D = R \times \sqrt{3J} \quad (18)$$

$$D = 1.57 \times \sqrt{3 \times 7} = 7.194 \cong 7.2 \text{ Km}$$

4.4.3 Sectorização da estação rádio base

A sectorização deve ser feita de modo a minimizar interferências que possam ser introduzidas, e para garantir uma melhor qualidade do sinal, e para tal, optou-se pela ERB sectorizada, onde a célula seguinte é exactamente igual a anterior (onde cada sector tem a sua própria frequência), sendo assim, foram escolhidas três frequências sectorizadas a 120°.

Estas frequências foram obtidas de acordo com a frequência de operação usada no projecto que é de 3600 MHz, com uma largura de banda do canal de 7 MHz, assim sendo: $f_1 = 3600 \text{ MHz}$, $f_2 = 3607 \text{ MHz}$, $f_3 = 3614 \text{ MHz}$.

4.5 Cálculo dos débitos em função da modulação

É possível calcular os débitos do sinal em função da modulação, de acordo com a *equação (19)*, onde v é o débito dado em Mbps, T_s é o tempo total de duração do bit, o *nº de bits* é

¹ Conjunto de células vizinhas que utilizam o espectro disponível.

dado pelo símbolo para cada modulação e *taxa de código* é dado pela modulação (BPSK, QAM, QPSK),.

$$v = \frac{\text{subportadora}_{\text{dados}} \times n^{\circ} \text{ de bits}}{T_s} \times \text{taxa de código} \quad (19)$$

Os valores dos parâmetros da modulação OFDM, usadas em WiMax, para uma largura de banda de 7 MHz, para obtenção dos débitos de modulação, são:

Tabela 8: Parâmetros da modulação OFDM com largura de banda de 7 MHz. **Fonte:** [Araújo, 2008]

	<i>subportadora</i> _{dados}	<i>T_s</i>	<i>n^o de bits</i>	<i>taxa de código</i>
BPSK 1/2	192	125 μs	2	1/2
QPSK 2/3			2	2/3
16QAM 3/4			4	3/4
64QAM 5/6			6	5/6

Com os débitos obtidos segundo as modulações, é possível prever os débitos em função da modulação para *downlink* e *uplink*. Assim sendo, para os valores de *downlink* é multiplicar os débitos da modulação simples por (0.8), e no caso de *uplink* por (0.2), como é apresentado na **Tabela 9**.

Tabela 9: Débitos em função da modulação para *downlink* e *uplink*.

	Largura de banda	BPSK 1/2	QPSK 2/3	16QAM 3/4	64QAM 5/6
<i>Downlink (Mbps)</i>	7 MHz	1.536	2.048	4.608	7.68
		1.229	1.638	3.686	6.14
		0.307	0.409	0.921	1.536

Pode ser visto que, para a modulação mais rápida (64QAM) o débito é de 7.68 *Mbps*, tendo como débito de *downlink* 6.14 *Mbps*, e para *uplink* um débito de 1.536 *Mbps*. Enquanto, para uma modulação mais lenta (BPSK) tem-se um débito de 1.536 *Mbps*, e como débitos de *downlink* e *uplink* 1.229 *Mbps* e 0.307 *Mbps* respectivamente.

4.6 Caracterização dos serviços

Ainda no planeamento de cobertura deve-se definir quais serão os serviços e débitos pretendidos, considerando como serviços para clientes residenciais o VoIP, dados, IPTV, Peer2Peer, *media stream* e jogos *online*, e para empresariais o (VoIP, dados e vídeo conferência).

Seguidamente define-se perfis de utilizadores que irão utilizar estes serviços conforme as suas necessidades. O que permitirá calcular a capacidade média que será necessária para satisfazer aos utilizadores residências bem como empresariais.

Para cada tipo de aplicação foram reservados débitos a partir de uma análise no período onde há maior tráfego das 8h até as 20h. Os serviços como o VoIP ou IPTV os requisitos para estabelecimento da chamada são conhecidos, mas para os restantes serviços nomeadamente Dados e P2P foram atribuídos um valor razoável.

Tabela 10: Caracterização dos serviços, cálculo de largura para os utilizadores. Fonte: [Araújo, 2008]

	Utilizador	VoIP	Dados	IPVT	<i>Media stream</i>	Jogos <i>online</i>	P2P	Vídeo conferência
LB necessária (Mbps)	Residencial	0.08	4	2	0.085	0.085	0.5	0
	Empresarial	0.08	4	0	0	0	0	0.384
Eventos/ utilizador as 12h	Residencial	7	6	2	0.5	0.5	3	0
	Empresarial	30	20	0	0	0	0	3
Duração média de cada utilização (min)	Residencial	5	40	60	20	60	30	0
	Empresarial	2	10	0	0	0	0	30
Tempo de uso do serviço mínimo	Residencial	35	240	120	10	30	90	0
	Empresarial	60	200	0	0	0	0	90

(min)								
LB necessária em média/ utilizador (Mbps)	Residencial	0.004	1.33	0.334	0.00278	0.00354	0.063	0
	Empresarial	0.007	1.11	0	0	0	0	0.048

Para a obtenção da largura necessária por utilizador temos em conta o tempo de uso mínimo do serviço, os eventos por utilizador no período de 12h (que corresponde a 720min) e os valores padrões do serviço VoIP:

$$720min \text{ — } 0.08 Mbps$$

$$35min \text{ — } x$$

$$x = \frac{(35 min \times 0.08 Mbps)}{720 min} = 0.004 Mbps$$

Se, um utilizador residencial usa o serviço VoIP que tem débitos de 0.08 Mbps e o seu tempo de uso mínimo é de 35 minutos durante as 12h de maior tráfego, ele necessitará de uma largura de 0.004 Mbps. E o mesmo poderia ser feito caso fosse um utilizador empresarial.

O tempo de uso do serviço mínimo do VoIP, para um utilizador residencial tendo em conta a duração média de cada utilização e os eventos por utilizador no período de 12h, é dado por:

$$tempo \text{ min de uso do serviço VoIP} = 7 \times 5min = 35min$$

Para este exemplo o tempo de uso do serviço mínimo VoIP, para um utilizador residencial é de 35min. Para determinar a largura de banda necessária em média por utilizador foi considerado apenas o período de maior tráfego, e dada pela seguinte expressão:

$$LB_{utilizadorResid} = 0.004 + 1.33 + 0.334 + 0.00278 + 0.00354 + 0.063 = 1.737 Mbps$$

Sendo assim, pode-se verificar que cada utilizador consome em média 1.451 Mbps, visto que a para um utilizador residencial a LB é de 1.737 Mbps, e para um utilizador empresarial:

$$LB_{utilizadorEmpresarial} = 0.007 + 1.11 + 0.048 = 1.165 Mbps$$

4.7 Estrutura para o dimensionamento da rede WiMax no plano simulado

Para o dimensionamento do enlace ponto a ponto, foi usado o simulador *Radio Mobile* versão 11.48, este *software* é uma ferramenta usada para simulação de sistemas *wireless*, têm a capacidade de prever o desempenho de um *link* de rádio através do uso de informações sobre o equipamento que é introduzido no programa, bem como o mapa digital da área a ser coberta.

4.7.1 Simulador Radio Mobile

O *Radio Mobile* usa um modelo digital de elevação de terreno (*digital terrain elevation model*) para o cálculo de cobertura, indicando a potência do sinal recebido em vários pontos ao longo do caminho. Ele automaticamente constrói um perfil entre dois pontos no mapa digital, mostrando a área de cobertura e a primeira zona de *fresnel*. Durante a simulação, verifica a linha de vista e calcula a perda no caminho, incluindo a que é devido a obstáculos.

Segundo (Flickenger & Brod) 2008, é possível criar redes de diferentes topologias, incluindo *master/slave*, P2P e P2MP. *Rádio Mobile* funciona para sistemas que utilizam frequências entre 100KHz e 200GHz. Os mapas digitais de elevação (*digital elevation maps* – DEM) estão livremente disponíveis a partir de várias fontes, cobrindo a maior parte do mundo, sendo possível também digitalizar seus próprios mapas e combiná-los com fotos de satélite e serviços de mapas (*Google Maps*, *Google Earth*) para uma maior precisão na simulação do projecto.

▪ Registo das estações no radio mobile

Para dimensionar o enlace de rádio frequência é necessário fazer-se o registo das respectivas estações, sendo assim na plataforma dirige-se ao campo de “propriedades das estações” e importamos o arquivo (com extensão *.kml) constituído pelas coordenadas obtidas a partir do *google earth*, e de seguida selecciona-se as estações. Estas assumem os dados lá encontrados, embora não apresentem a sua elevação. Para tal, vai-se para o separador das “propriedades do mapa”, e no campo “seleccionar uma estação” e é visível as referidas estações com as coordenadas assumidas, e no separador “corrigir os dados de elevação das unidades”. Voltando ao separador “propriedades das estações” é notável que ele assumiu a elevação.

Obtém-se a localização dos *sites* importados do *google earth* conforme a **Figura 27**, a partir no campo “propriedades do mapa” e fazendo a “extracção” do mapa.

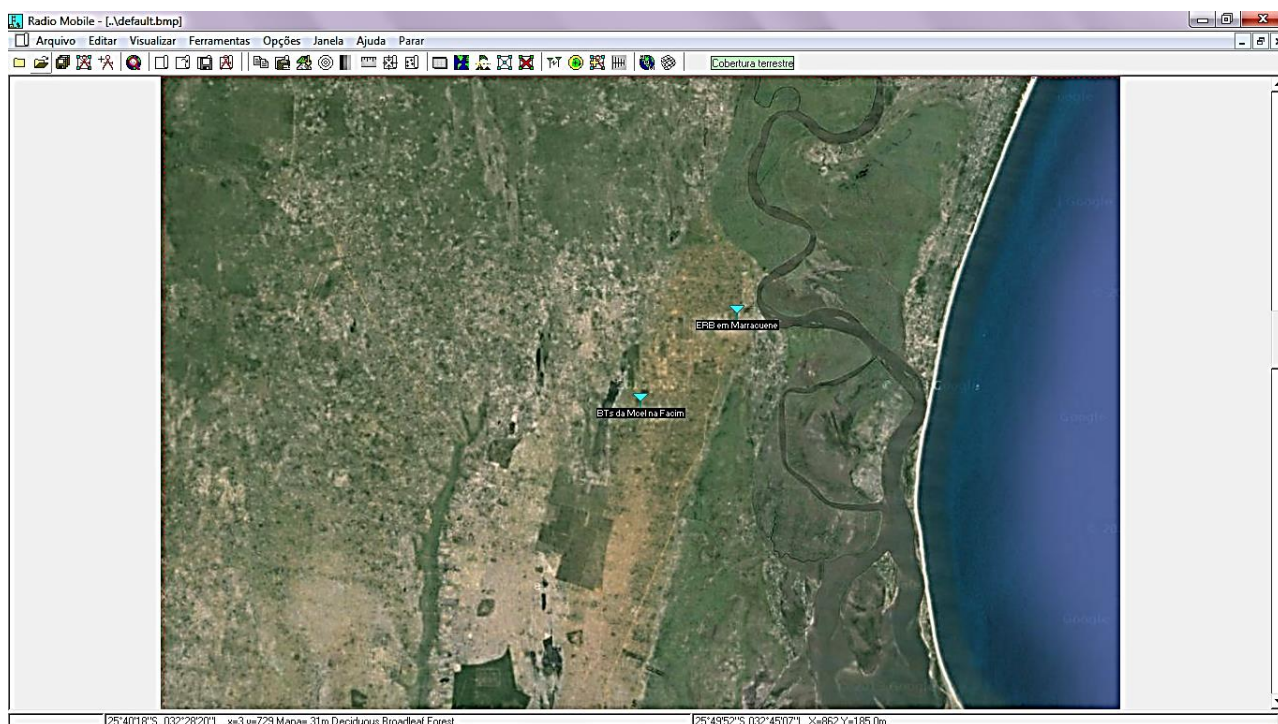


Figura 27: Importação dos *sites* a partir do *google earth*

Ao se importar o arquivo do *google earth* para o *radio mobile*, o *software* assume as altitudes apresentadas na **Figura 28**.

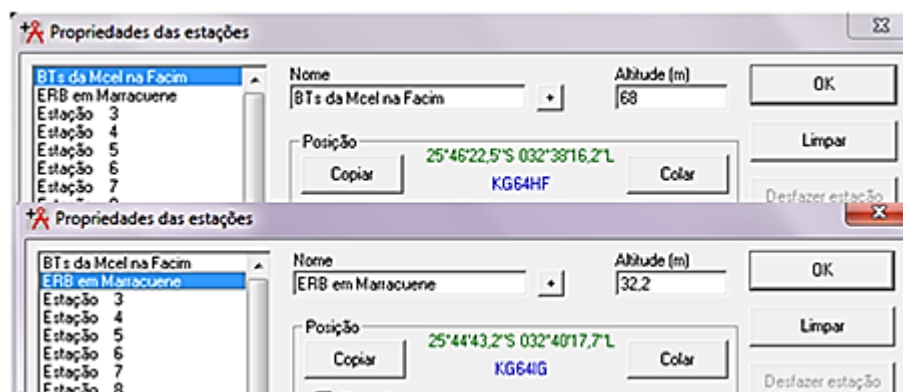


Figura 28: Altitudes referentes as estações.

- **Registo dos equipamentos seleccionados**

O registo dos equipamentos já escolhidos para o dimensionamento desta rede, para tal vai-se para o separador “propriedades das redes” e entra-se no campo “sistemas”, onde faz-se o cadastro com os valores dos parâmetros obtidos das especificações técnicas no transmissor, receptor, antenas, cabos, conectores e radio *transceivers*, como mostra a **Figura 29**. É de

referir que as perdas da linha também esta incorporado as perdas introduzidas no conector, assim como o tipo de antena que será utilizada.

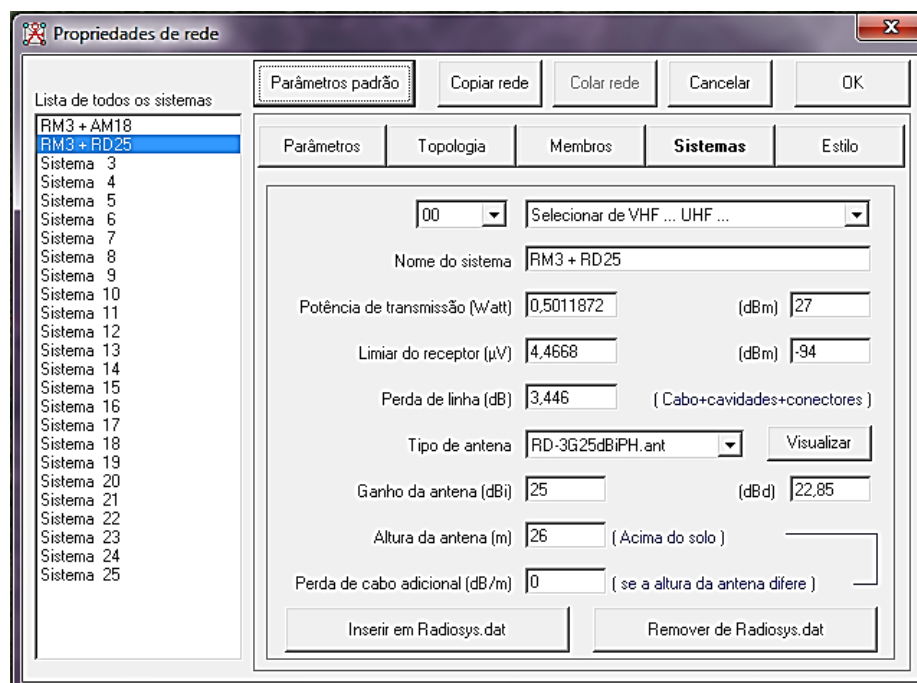


Figura 29: Registro de dados referentes para o enlace.

A potencia de transmissão das ERB são de 27 dBm o que equivale a 0.5 Watt, com um ganho de 25 dBi. O “tipo de antena” apresenta um ficheiro referente ao diagrama de radiação correspondente a antena escolhida, onde o simulador dá a possibilitada de importar tal parâmetro.

▪ Criação das redes

Ainda nas “propriedades de rede”, no separador “topologia” e escolhe-se o tipo de rede presente neste dimensionamento, que é verificada na **Figura 30**. A **Figura 31**, referencia-se o nome da rede (enlace P2P entre as estações) e a faixa de frequências em que a mesma irá operar, o tipo de polarização que é horizontal (pior caso, pois durante a propagação, esta apresentará obstruções), assim como o tipo de clima na região, tipo de terreno.

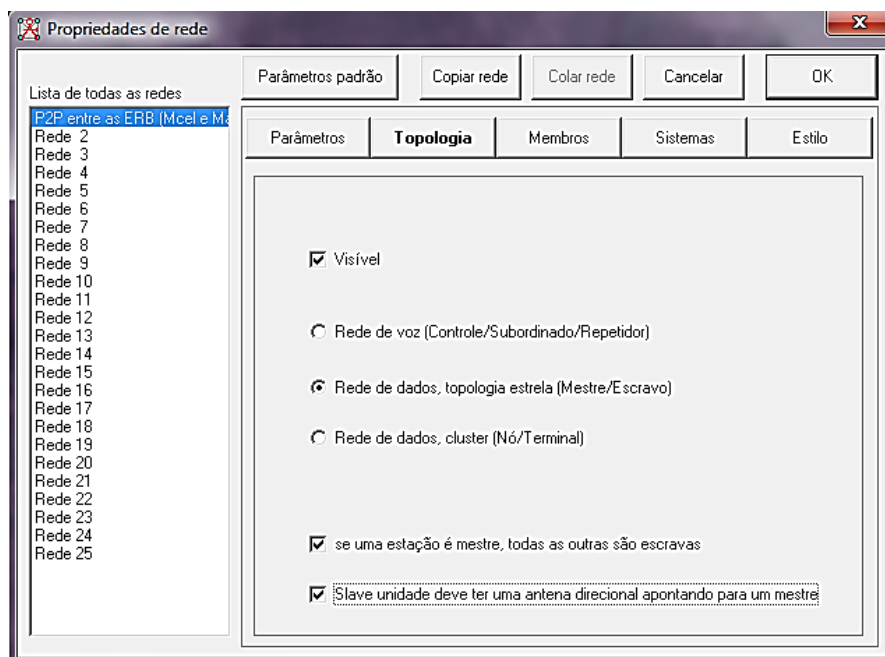


Figura 30: Escolha da tipo de rede.

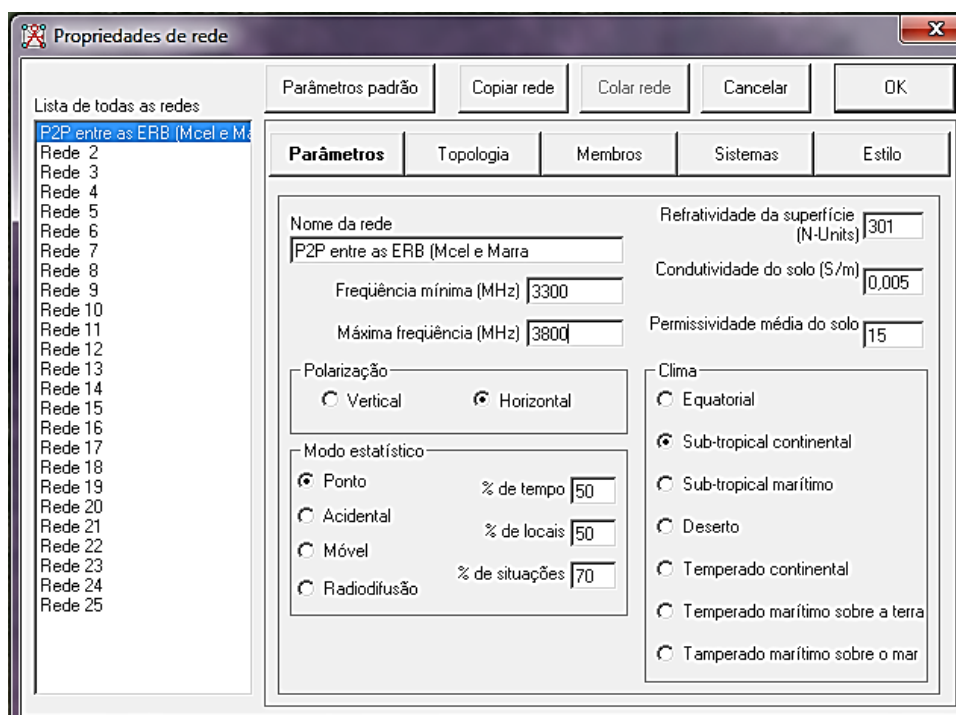


Figura 31: Cadastro da frequência de operação, polarização, tipo de clima e solo.

No separador “membros”, selecciona-se quais são as ERB referentes a rede “P2P entre esses *sites*”, e escolhe qual delas servirá de mestre e consequentemente a outra será escravo, deve também seleccionar o sistema já criado, bem como a direcção que cada uma irá apontar, e assumiu-se como altura da antena de referência os 36 m, conforme mostra a **Figura 32**.

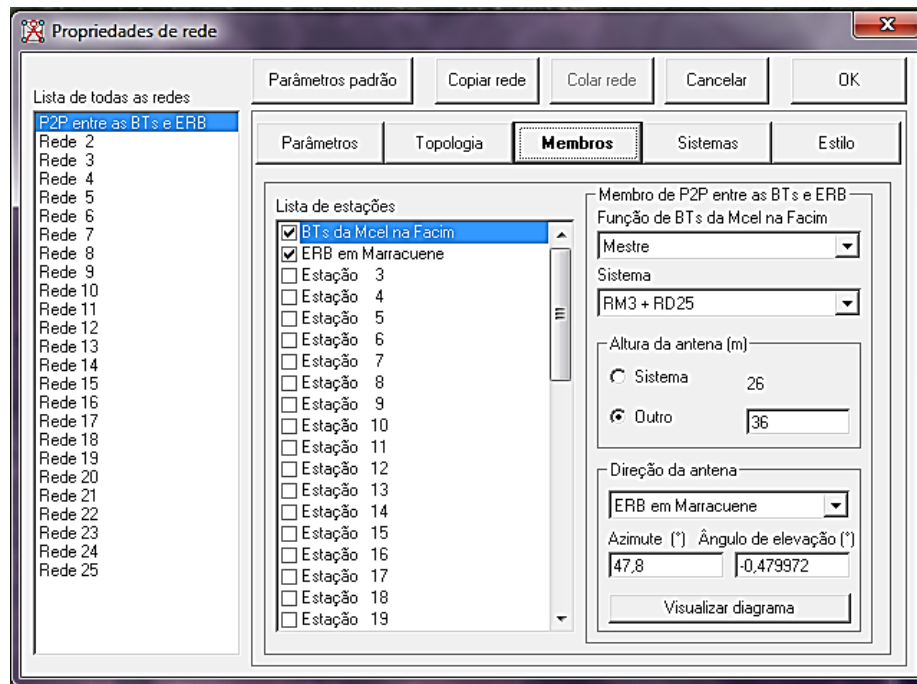


Figura 32: Configuração das estações e o modo de operação.

▪ Avaliação do rádio enlace

Tendo os dados inseridos no simulador, é possível gerar o enlace P2P entre as estações, conforme a **Error! Reference source not found.** é possível ter uma visão detalhada do decorrer do percurso. Sendo assim, o *link* não sofre com a difracção do sinal pois os obstáculos encontram-se afastados do enlace e a uma altitude significativa, permitindo que o sinal percorra um caminho sem reflexões. É de referir que o *link* encontra-se descrito por uma linha verde, a tracejado preta que é responsável por enviar o sinal entre as estações, e este apresenta uma propagação com linha de vista, possibilitando a propagação do sinal com boa qualidade. Tendo como base os dados dos equipamentos usados e com o simulador, é possível comprovar as perdas introduzidas no espaço livre são de 116.69 dB.

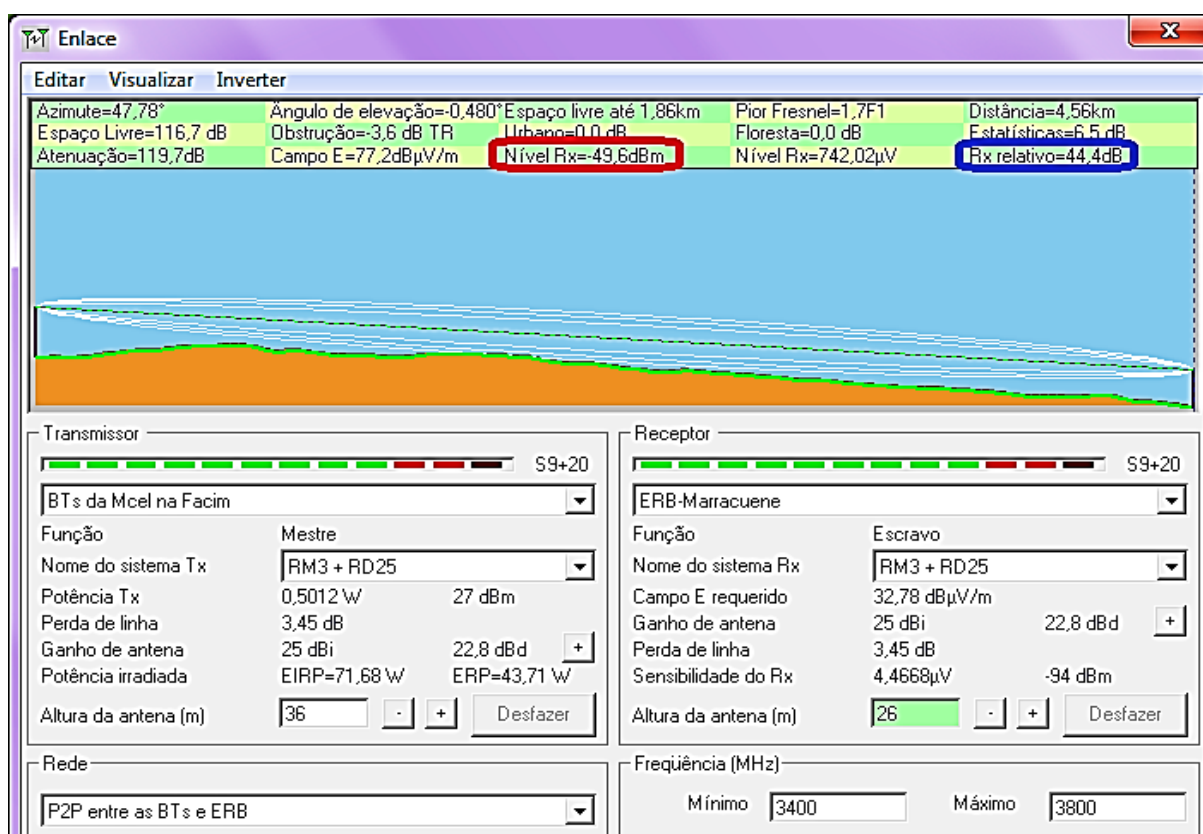


Figura 33: Visualização do enlace P2P entre as estações com linha de vista.

Tendo em conta o enlace P2MP, serão demonstradas duas simulações de enlaces entre a ERB em Marracuene até a um utilizador nesta região, é de referir que um dos pontos estará localizado em uma zona com cobertura e o outro numa zona sem cobertura. É ainda importante realçar que assumiu-se que a antena na ERB está a uma altura de 20m e a mesma foi sectorizada a um ângulo de 120°, e o equipamento dos utilizadores finais a uma altura de 1,5 m respectivamente.

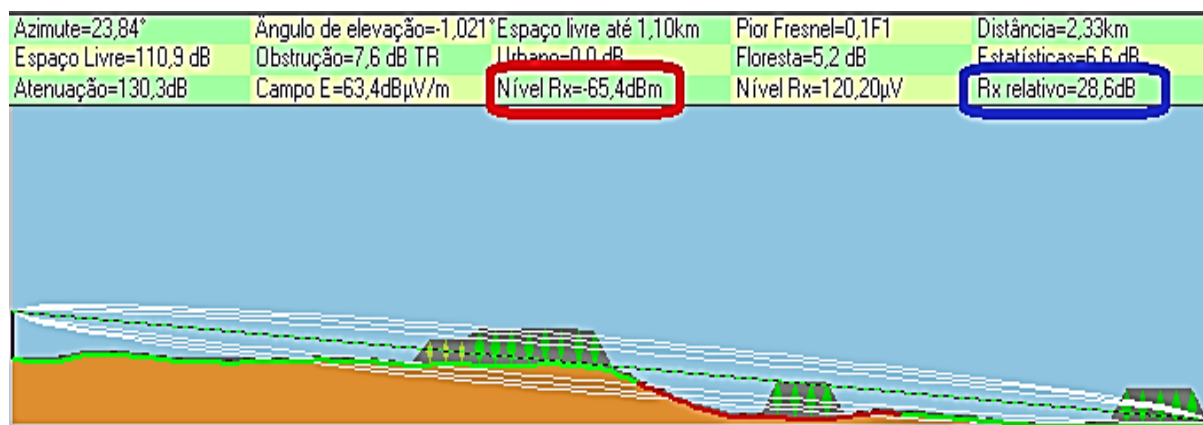


Figura 34: Enlace P2P entre a ERB e o utilizador dentro da zona de cobertura.

Para analisar este percurso e com o auxílio do simulador foi feito um enlace ponto a ponto entre a estação e o utilizador final como pode ser visto na **Figura 34**, pode ser visto que o utilizador encontra-se a uma distância de 2,33Km da estação base, tendo como base a simulação apresentada acima. Onde apresenta uma margem de segurança de 28,68 dB e uma potência de recepção de -65,4 dBm, onde estes cumprem as condições da margem mínima de segurança e da potência de recepção. Este enlace encontrar-se livre de obstáculos que perturbem o seu trajecto, e só apresentam as perdas introduzidas pelo espaço livre sendo este um trajecto com cobertura, podendo se observar na **Figura 35**.

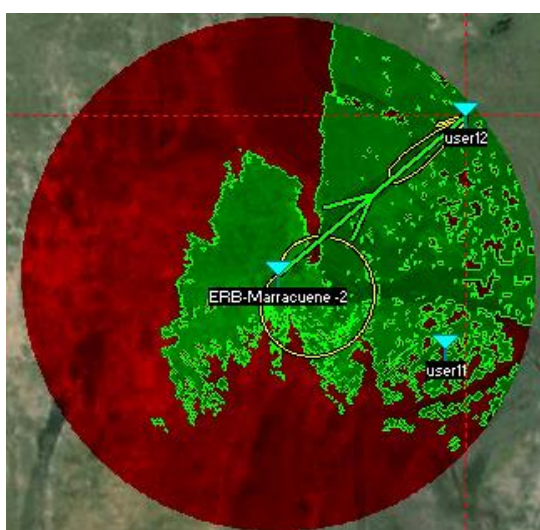


Figura 35: Área dentro da zona cobertura (entre ERB e utilizador).

O cenário apresentado na **Figura 36**, com uma distância de 4,10Km do utilizador a estação base, onde o caminho percorrido pelo sinal encontra-se totalmente obstruído devido aos obstáculos que se encontram na linha de vista, sem cobertura de sinal. Onde, o nível do sinal decai devido as elevações do terreno da região e da vegetação que acabam obstruindo a linha de vista.

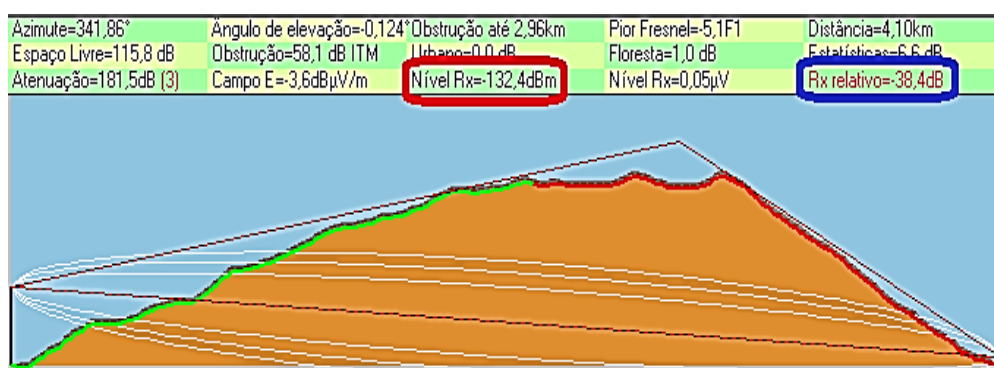


Figura 36: Enlace P2P entre a ERB e o utilizador fora da zona de cobertura.

Este enlace não cumpre com os requisitos para percorrer um caminho livre de obstáculos, obtendo uma potência de recepção muito maior que a sensibilidade do equipamento, podendo até afirmar que o utilizador não se encontra dentro da zona de cobertura, conforme mostra *Figura 37*.

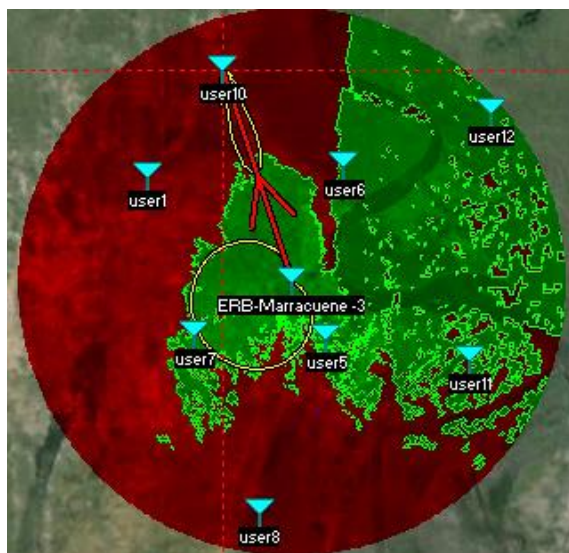


Figura 37: Área fora da zona cobertura (entre ERB e utilizador).

É possível observar a área de cobertura feita pela estação rádio base em estudo segundo *Figura 38*, onde a mesma é representada pela zona em verde.

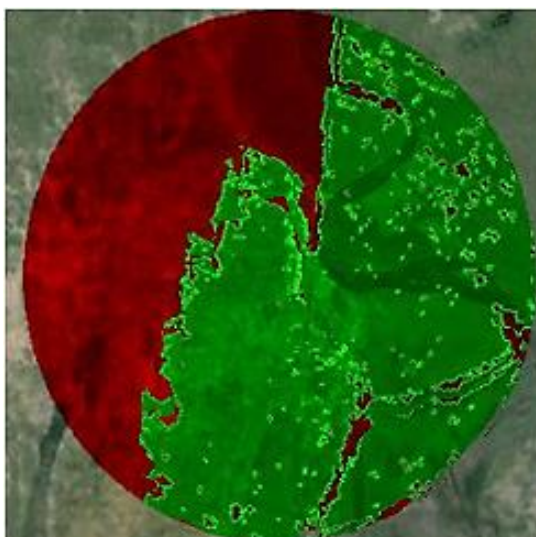


Figura 38: Área de cobertura efectuada pela ERB-Marracuene

4.8 Estimativa de custos dos equipamentos

Para estimativa destes custos, foi tomado em consideração os equipamentos escolhidos para o dimensionamento dos enlaces ponto a ponto e da rede WiMax, onde serão apresentados em

dólares americanos, e o custo unitário de cada item foi adquirido a partir dos fabricantes de cada equipamento.

Com base a **tabela 11**, pode se verificar a quantidade, designação, e custo unitário somente dos equipamentos envolvidos neste dimensionamento, onde alguns deles já vêm integrados *kits* de protecção, iluminação, equipamentos de energia, baterias e outros de acordo com seus fabricantes. É ainda importante realçar que, esta estimativa foi elaborada no âmbito da análise efectuada por uma estação base, como se demonstra na simulação do cenário.

Tabela 11: Estimativa de custos dos equipamentos

Descrição	Designação	Quantidade	Custo unitário (USD)	Total (USD)
Antena de transmissão (P2P)	<i>RocketDish RD-3G26</i>	2	\$229,00	\$458,00
Antena de transmissão (P2P)	<i>Rocket M3</i>	2	\$179,00	\$358,00
Antena de transmissão (PMP)	<i>AirMAX Sector AM-3G18-120</i>	3	\$199,00	\$597,00
Torre de 40m	-	1	\$100,00	\$100,00
Rádio <i>transceiver</i>	<i>PASOLINK NEO/C</i>	2	\$150,00	\$300,00
Estação rádio base	<i>StartMAX 6400</i>	1	\$3.999,00	\$3.999,00
Cabo coaxial	<i>LCF78-50JA-A7</i>	40 metros	\$5,27	\$210,8
Conectores	<i>BNC male</i>	8	\$27,70	\$221,6
Total				\$6.244,4

Como os equipamentos WiMax operam em determinadas faixas de frequências, é essencial tomar as medidas necessárias para a sua atribuição, onde o responsável por dar a permissão para o uso de licenças para (o espectro da ERB, do enlace ponto a ponto validos por 5anos, e uma taxa anual para utilização de frequência) é o Instituto Nacional de Telecomunicações de Moçambique (INCM). Tendo como base os dados de custos disponíveis pelo INCM, foi possível prever o custo de licenciamento de aproximadamente \$3.000,00.

Tabela 12: Custo total do dimensionamento do projecto

Descrição	Custo total (USD)
Custo total dos equipamentos	\$6.244,4
Custo total de licenças	\$3.000,00
Custo total	\$9.244,4

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresentará as conclusões que foram obtidas com o dimensionamento desta rede WiMax, e serão também, retiradas algumas recomendações tendo em conta os objectivos inicialmente definidos.

5.1 Conclusões

O presente projecto foi realizado com o propósito de dimensionar uma rede de acesso utilizando a tecnologia WiMax, permitindo assim o acesso de *internet* banda larga ao distrito de Marracuene, onde pode-se tirar as seguintes conclusões:

- O WiMax é uma tecnologia de rede metropolitana, sem fios, onde o seu uso permite um complemento as redes cabeadas, disponibilizando o acesso aos serviços de *internet* banda larga e suportam o acesso a última milha. A tecnologia WiMax é uma solução atractiva para zonas onde a rede ainda não encontra-se cabeada, onde garantem um maior alcance, elevadas taxas de transmissão, facilidade de instalação, mobilidade e segurança;
- Para a rede dimensionada foi escolhida como provedora de serviços a TDM, pois através da mesma, a empresa poderá expandir a zonas distantes, os seus serviços de *internet* banda larga tendo como base a implementação da tecnologia WiMax, onde a mesma ainda não foi adoptada pela TDM. Além do ganho por parte dos habitantes do distrito de Marracuene, pois possibilitará o acesso aos serviços de banda larga;
- Com auxílio do simulador *radio mobile*, foi possível dimensionar o enlace ponto a ponto de rádio frequência até ao distrito de Marracuene, onde permitiu comprovar-se a partir dos cálculos obtidos teoricamente como as perdas introduzidas no espaço livre, na cabo coaxial, nos conectores, uma boa recepção de sinal do lado do receptor.
- Verificou-se que o sinal propagado percorre um caminho livre de obstáculos, pois as estações encontram-se em áreas com uma elevação adequada (altitudes de 68 m e 32.2 m), além de estarem afastadas das grandes edificações nas cidades. É de referir que para o cálculo da altura da antena receptora, assumiu-se a existência de um obstáculo a uma distância de 1.79 Km com 56 m de altitude e referenciou-se como altura da antena transmissora o valor de 36 m. As perdas introduzidas no espaço livre foram comprovadas mediante simulador com 116.69 dB e uma potência de recepção de -39.69 dBm, perfazendo um percurso com linha de vista, a uma margem de

desvanecimento de 50.864 *dB*, demonstrando nesse sentido, que o enlace não sofrerá difracções e reflexões.

5.2 Recomendações

Tendo em conta o estudo realizado e as conclusões tiradas, para o seguinte projecto, recomenda-se:

- Realizar um estudo sobre o número de utilizadores que cada célula da ERB conseguirá suportar tendo em conta a capacidade da célula bem como os serviços por eles suportados;
- Realizar o dimensionamento a capacidade da célula consoante a densidade de utilizadores, pois em Marracuene existem áreas com baixa e maior densidade de utilizadores e distribuí-las de acordo com a mobilidade dos utilizadores e na hora de maior tráfego;
- Realizar um estudo sobre como aplicar a QoS tendo em conta os tipos de utilizadores considerados e as aplicações a serem acedidas pelos mesmos;
- Realizar um estudo sobre os planos de *backups* e de melhoria, tendo em vista a estabilização na implementação da rede WiMax;
- Realizar estudos sobre os níveis de segurança usados neste tipo de redes, baseada em tecnologia WiMax, de forma a implementar protocolos proporcionando assim maior segurança no uso dos serviços fornecidos por esta rede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Araújo, Marco P. V. (2008), Planeamento e Dimensionamento de Redes WiMax. Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática. Universidade de Aveiro.
2. Bargoena, R. (17 de Julho de 2011). *Wimax I: Conceitualização Teórica*. Obtido de [deteleco.com.br: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriawimaxpa1/pagina_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriawimaxpa1/pagina_2.asp)
3. Carrara, F. A. (2006). ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE WIMAX DE INTERNET BANDA LARGA. São Paulo.
4. Cavalheiro, G. (2010). PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO DE REDE WiMAX PARA A CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. São José dos Campos.
5. Cavecci, Mateus (2011), Estudo e Conceitos Básicos sobre o Padrão IEE 802.16 (WiMax).
6. Ferreira, Nuno Miguel Fonseca (2009). Redes de acesso de nova geração: aspectos económicos e de planeamento. Dissertação de Mestrado em Electrónica e Telecomunicações. Universidade de Aveiro.
7. Filho, H. B. (01 de Abril de 2013). *Meios de Acesso a Internet*. Obtido de [teleco.com.br: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmeiosip/pagina_5.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmeiosip/pagina_5.asp)
8. Flickenger, R., & Brod, C. (Outubro de 2008). Redes sem fio no Mundo em Desenvolvimento.
9. INE. (2006). Projeções Anuais da População Total, Urbana e Rural dos Distritos da Província de Maputo (2007-2040). Maputo.
10. INE. (2006). Projeções Anuais da População Total, Urbana e Rural para Província de Maputo (2007-2040), Maputo.
11. INE. (2009). 2ª Edição do Retrato da Província de Maputo 2009. Matola, Maputo.
12. Leite, A. d. (01 de Março de 2013). Proposta de uma rede de acesso banda larga sem fio rural padrão IEEE 802.16. Brasil, Uberlândia.

13. Leite, A. d., e Guardieiro, P. R. (Setembro de 2012). PROPOSTA DE UMA REDE DE ACESSO BANDA LARGA SEM FIO RURAL PADRÃO IEEE 802.16. Brasil, Minas Gerais, Uberlândia.
14. Maurício, H. A. (16 de Junho de 2014). Tecnologias WiMAX-Uma Proposta de implementação na rede da Polícia Nacional na Cidade da Praia. Cidade da Praia, Cabo Verde, Santiago.
15. Mehl, Ewaldo Luiz de Mattos (2008), Dimensionamento Ponto-a-Ponto. Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná.
16. Menezes, A. A., Mendes, D., Galdino, J. S., Duque, L. H., e Moura, S. (18 de Agosto de 2008). *IPTV: Qualidade de Serviço e Experiência do Usuário*. Obtido de teleco.com.br: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialqosqoe/default.asp>
17. Nardin, M. d. (Dezembro de 2008). Análise comparativa entre redes sem fio locais e metropolitanas, camada física. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
18. Oliveira, S. R., Villela, L. V., e Miyashita, R. (2012). *ESTUDO DA DIFUSÃO TECNOLÓGICA NO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES – TECNOLOGIA WIMAX*. Brasil: Revista de Gestão e Operações Produtivas.
19. Pareek, D. (2006). WIMAX: Taking Wireless to the MAX. Obtido em 20 de Janeiro de 2015, de http://books.google.co.mz/books?id=_qcFQB_pQhoC&pg=PA180&dq=characteristics+wimax+tdd&hl=pt-PT&sa=X&ei=D1GVLKDBcflaMPHgtgF&ved=0CCYQ6AEwAA#v=onepage&q=characteristics%20wimax%20tdd&f=false.
20. Pires, J. (1999). Sistemas de Telecomunicações I.
21. Ribeiro, F. (13 de Janeiro de 2013). *Wimax: Modulação*. Obtido de teleco.com.br: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwimaxiee802/pagina_2.asp
22. Ribeiro, V. F. (24 de Março de 2007). Planejamento de um projecto para redes wimax. Uberlândia.
23. Romeiro, V. S. (2005). Artigo sobre WIMAX. *Centro Universitário de Volta Redonda RJ*, p. 8.

24. Silva, A. P., e Soares, B. T. (20 de Abril de 2009). *Wi-Fi e WiMAX II: Conceitos do WiMAX*. Obtido de [teleco.com.br: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina_2.asp)
25. Soares, L. F., Lima, L. S., e Endler, M. (Setembro de 2004). *WiMAX: Padrão IEEE 802.16 para Banda Larga Sem Fio*. Brasil, Rio de Janeiro.
26. Teleco (2008). *Aplicação ao Gerenciamento de Redes de Telecomunicações*. Acesso http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmodelotmn/pagina_3.asp. (acedido à 24 de Janeiro de 2015).

BIBLIOGRAFIA

1. Amazonas, J. R., & Neto, J. A. (2004). *AS REDES DE ACESSO E O IMPACTO DAS MÍDIAS DIGITAIS EM TREINAMENTOS VIA TELECOMPUTAÇÃO*. Brasil: Escola Politécnica da USP.
2. Araújo, Marco P. V. (2008), Planeamento e Dimensionamento de Redes WiMax. Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática. Universidade de Aveiro.
3. Bacuilima, S. (Abril de 2010). Estudio y Diseño de una Red WiMax para la Ciudad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
4. Bargoena, R. (17 de Julho de 2011). *Wimax I: Conceitualização Teórica*. Obtido de teleco.com.br: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriawimaxpa1/pagina_2.asp
5. Bravo, E. O. (2008). Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología WiMax para proveer el servicio de internet de banda ancha en la ciudad de Manta. Guayaquil, Ecuador, Litoral.
6. Carrara, F. A. (2006). ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA REDE WIMAX DE INTERNET BANDA LARGA. São Paulo.
7. Cavalheiro, G. (2010). PROJETO DE IMPLEMENTAÇÃO DE REDE WiMAX PARA A CIDADE DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. São José dos Campos.
8. Cavecci, Mateus (2011), Estudo e Conceitos Básicos sobre o Padrão IEE 802.16 (WiMax).
9. Costa, G. H. (Dezembro de 2008). Métricas para Avaliação de Desempenho em Redes QoS sobre IP. Rio Grande do Sul, Brasil.
10. Costa, R. B., & Alencar, G. A. (Abril de 2009). Análise de cobertura em redes de comunicações sem fio utilizando a ferramenta de geoprocessamento Spring. Brasil.
11. Eler, E. d. (21 de Janeiro de 2008). *Aplicação ao Gerenciamento de Redes de Telecomunicações*. Obtido de http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialropassiva1/pagina_2.asp

12. Estatística, I. N. (2009). 2ª Edição do Retrato da Província de Maputo 2009. Matola, Maputo, Maputo.
13. Farias, Paulo César Bento. Redes Wireless: Parte XIII. Disponível em: <http://www.juliobattisti.com.br/tutoriais/paulocfarias/redeswireless013.asp> (acedido à 25 de Janeiro de 2015).
14. Ferreira, Nuno Miguel Fonseca (2009). Redes de acesso de nova geração: aspectos económicos e de planeamento. Dissertação de Mestrado em Electrónica e Telecomunicações. Universidade de Aveiro.
15. Filho, H. B. (01 de Abril de 2013). *Meios de Acesso a Internet*. Obtido de teleco.com.br: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmeiosip/pagina_5.asp
16. Flickenger, R., & Brod, C. (Outubro de 2008). Redes sem fio no Mundo em Desenvolvimento.
17. INE. (2006). Projecções Anuais da População Total, Urbana e Rural dos Distritos da Província de Maputo (2007-2040). Maputo.
18. INE. (2006). Projecções Anuais da População Total, Urbana e Rural para Província de Maputo (2007-2040), Maputo.
19. INE. (2009). 2ª Edição do Retrato da Província de Maputo 2009. Matola, Maputo.
20. Kamienski, C. A. (2000). Qualidade de Serviço na Internet. Pernambuco, Brasil, Paraíba.
21. Leite, A. d. (01 de Março de 2013). Proposta de uma rede de acesso banda larga sem fio rural padrão IEEE 802.16. Brasil, Uberlândia.
22. Leite, A. d., & Guardieiro, P. R. (Setembro de 2012). PROPOSTA DE UMA REDE DE ACESSO BANDA LARGA SEM FIO RURAL PADRÃO IEEE 802.16. Brasil, Minas Gerais, Uberlândia.
23. Martínez, J. G. (22 de Junho de 2012). Diseño de una red telemática para proveer acceso a Internet en el término municipal de Mocejón. Catalunya.
24. Maurício, H. A. (16 de Junho de 2014). Tecnologias WiMAX-Uma Proposta de implementação na rede da Polícia Nacional na Cidade da Praia. Cidade da Praia, Cabo Verde, Santiago.

25. Mehl, Ewaldo Luiz de Mattos (2008), Dimensionamento Ponto-a-Ponto. Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná.
26. Menezes, A. A., Mendes, D., Galdino, J. S., Duque, L. H., & Moura, S. (18 de Agosto de 2008). *IPTV: Qualidade de Serviço e Experiência do Usuário*. Obtido de teleco.com.br: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialqosqoe/default.asp>
27. Nardin, M. d. (Dezembro de 2008). Análise comparativa entre redes sem fio locais e metropolitanas, camada física. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
28. Nascimento, Juarez do. (2000), Telecomunicações. São Paulo, Makron Books.
29. Oliveira, S. R., Villela, L. V., & Miyashita, R. (2012). *ESTUDO DA DIFUSÃO TECNOLÓGICA NO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES – TECNOLOGIA WIMAX*. Brasil: Revista de Gestão e Operações Produtivas.
30. Orihuela, J. M. (Setembro de 2008). DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE BANDA ANCHA PARA UN ENTORNO RURAL. Málaga.
31. Pareek, D. (2006). WIMAX: Taking Wireless to the MAX. Obtido em 20 de Janeiro de 2015, de http://books.google.co.mz/books?id=_qcFQB_pQhoC&pg=PA180&dq=characteristics+wimax+tdd&hl=pt-PT&sa=X&ei=D1GVLKDBcflaMPHgtgF&ved=0CCYQ6AEwAA#v=onepage&q=characteristics%20wimax%20tdd&f=false.
32. PEREIRA, L. D. (Fevereiro de 2000). QUALIDADE DE SERVIÇO EM APLICAÇÕES MULTIMÍDIA SOBRE REDES IP / ATM. Florianópolis, Santa Catarina.
33. Pereira, M. C., & Wesrphall, C. B. (2003). Gerência de Acordos de Níveis de Serviços para Redes Ad-Hoc. Santa Catarina, Brasil, Brasil.
34. Pires, J. (1999). Sistemas de Telecomunicações I.
35. Prado, E., & Lima, F. (08 de Maio de 2006). Dimensionamento de Redes Wimax.
36. Ribeiro, F. (13 de Janeiro de 2013). *Wimax: Modulação*. Obtido de teleco.com.br: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwimaxiee802/pagina_2.asp
37. Ribeiro, G. M. (Julho de 2006). WiMAX. Salvador.

38. Ribeiro, V. F. (24 de Março de 2007). Planejamento de um projecto para redes wimax. Uberlândia.
39. Rodrigues, Márcio Eduardo da Costa. Redes WiMax: Aspectos de Arquitetura e Planejamento. Disponível em: http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/marcio_rodrigues/WiMax/WiMax_08.html. (acedido à 18 de Janeiro de 2015).
40. Romão, F. P. (24 de Fevereiro de 2010). Projecto de uma rede WiMAX para a FEUP. Porto.
41. Romeiro, V. S. (2005). Artigo sobre WIMAX. *Centro Universitário de Volta Redonda RJ*, p. 8.
42. Sá, Rui (2007), Sistemas e Redes de Telecomunicações. Portugal-Lisboa, FCA Editora.
43. Sanches, Carlos A. (2005), Projectando Redes WLAN. Conceitos e Práticas. Brasil-São Paulo, Erica Editora Ltda.
44. Silva, A. P., & Soares, B. T. (20 de Abril de 2009). *Wi-Fi e WiMAX II: Conceitos do WiMAX*. Obtido de [teleco.com.br](http://www.teleco.com.br): http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialww2/pagina_2.asp
45. Soares, L. F., Lima, L. S., & Endler, M. (Setembro de 2004). WiMAX: Padrão IEEE 802.16 para Banda Larga Sem Fio. Brasil, Rio de Janeiro.
46. Souza, C. R., & Ribeiro, A. B. (2009). Dimensionamento de Redes WiMax 700 MHz. Brasília.
47. Tanenbaum, Andrew S. (2003), Redes de Computadores. Rio de Janeiro, Elsevier Campus Editora.
48. Teleco (2008). Aplicação ao Gerenciamento de Redes de Telecomunicações. Acesso http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmodelotmn/pagina_3.asp. (acedido à 24 de Janeiro de 2015).

ANEXOS

ANEXO I: Comparação entre a família de padrões IEEE 802.16

Tabela 13: Comparação entre a família de padrões IEEE 802.16. Fonte [Bargoena, 2011 apud *WiMax Fórum*]

Características	IEEE 802.16	IEEE 802.16a/d	IEEE 802.16e
Homologação	Dezembro de 2001	802.16a: Janeiro de 2003 802.16 d: junho de 2004	Dezembro de 2005
Frequência	10-66GHz	2-11GHz	2-6GHz
Condições do Canal	LOS(<i>Line of Sight</i>)	NLOS(<i>Non Line of Sight</i>)	NLOS (<i>Non Line of Sight</i>)
Taxa de Transmissão	Entre 32 e 134Mbit/s (canal de 28 MHz)	Até 75 Mbit/s (canal de 20 MHz)	Até 15 Mbit/s (canal de 5 MHz)
Modulação	QPSK, BPSK, 16 QAM e 64 QAM	64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK	64 QAM, 16 QAM, QPSK, BIT/SK
Multiplexação	OFDM, OFDMA	OFDM de 256 sub-portadoras, OFDMA	OFDM de 128-2048sub-portadoras, OFDMA
Mobilidade	Fixa(ponto-ponto, ponto-multiponto)	Fixa e portátil (ponto-ponto, ponto-multiponto)	Mobilidade, <i>roaming</i> regional, portabilidade
Largura de Banda	20, 25 e 28MHz	Entre 1,5 e 20 MHz, com até 16 sub-canais lógicos	Entre 1,5 e 20 MHz, com até 16 sub-canais lógicos
Raio da Célula	2-5km	5-10km (alcance máximo de 50km dependendo do tamanho da antena, seu ganho e potência de transmissão)	2-5km

ANEXO III: Faixa de frequências disponíveis para o WiMax

Tabela 14: Faixas e frequências disponíveis para o *WiMax*. Fonte [Silva e Soares, 2009 apud Intel, 2005]

Faixa	Frequências	Requer licença?	Disponibilidade
2,5GHz	2,5 a 2,69GHz	Sim	Alocada no Brasil, México, alguns países do sudeste asiático e nos EUA (o WiMax Fórum também inclui 2.3GHz nesta categoria de faixa, pois se espera que o 2,3GHz seja coberto pelo rádio de 2,5GHz)
3,5GHz	3,3 a 3,8GHz, porém principalmente de 3,4 a 3,6 GHz	Sim, em alguns países	Na maioria dos países, a faixa de 3,4 GHz a 3,6GHz é alocada para o <i>wireless</i> de banda larga.
5GHz	5,25 a 5,85 GHz	Não	Na porção de 5, 725GHz a 5,85GHz, muitos países permitem uma potência maior (4watts), o que pode melhorar a cobertura.

ANEXO III: Comparação entre as técnicas de duplexação TDD e FDD

Tabela 15: Comparação entre TDD e FDD. Fonte [Silva e Soares, 2009 apud Intel, 2004]

	TDD	FDD
Descrição	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uma técnica de duplexação utilizada em soluções isentas de licença que utiliza um único canal tanto para <i>uplink</i> quanto para <i>downlink</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uma técnica de duplexação utilizada em soluções licenciadas que utilizam um par de canais no espectro, um para <i>uplink</i> e outro para <i>downlink</i>.
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maior flexibilidade, pois não é necessário um par de espectros; ▪ Maior facilidade de equiparação com tecnologias de antenas inteligentes; ▪ Assimétrico. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologia comprovada para voz; ▪ Projectado para tráfego simétrico; ▪ Não requer tempo de guarda.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não pode transmitir e receber ao mesmo tempo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não pode ser implementado onde o espectro não for par; ▪ O espectro é geralmente licenciado; ▪ Custos mais elevados associados à compra de espectro.
Utilização	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicações de dados que apresentam picos e são assimétricas; ▪ Ambientes com padrões variados de tráfego; ▪ Onde a eficiência de RF for mais importante que o custo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ambientes com padrões de tráfego previsíveis; ▪ Onde os custos do equipamento forem mais importantes do que a eficiência de RF.

ANEXO IV: Comparação entre as tecnologias Wi-Fi e WiMax

Tabela 16: Comparação entre as tecnologias Wi-Fi e WiMax. Fonte [Maurício, 2014 apud Inatel]

	Tecnologia Wi-Fi	Tecnologia WiMax
Diferenças	Nenhum Espectro dedicado	Espectro Dedicado
	Interferência	Sem Interferência
	Não projectado para a cobertura larga	Projectado para a cobertura larga
	Qualidade de Serviço variado	Qualidade de Serviço perfeita
	Sem experiência de cliente consistente	Experiência de cliente consistente
	Segurança Limitado	Segurança Total
	Caro para clientes frequentes	Barato para clientes frequentes

ANEXO V: Comparação entre padrões IEEE 802.11 e 802.16

Tabela 17: Comparação entre padrões. Fonte [Soares et.al, 2004 apud WiMax Fórum]

	IEEE 802.11	IEEE 802.16
Taxa de Transmissão	54Mbps (canal de 20MHz)	75Mbps (canal de 20MHz)
Alcance	100m	Até 50Km
QoS	Nenhum	Voz, vídeo, diferenciação de serviços
Níveis de Serviço	Nenhum	Requisições diferenciadas a largura de banda
Frequência	2,4GHz e 5GHz	10 a 66GHz 2 a 11GHz
Espectro	Bandas não licenciadas	Bandas licenciadas e não licenciadas
Tipo de Acesso	LAN sem fio	Banda larga sem fio (BWA)
Mobilidade	Portabilidade	Fixa, móvel

ANEXO VI: Especificações técnicas do rádio *transceiver* PASOLINK NEO/C

NEC and the new world

NEC's technological innovations enhance PASOLI

NEC's PASOLINK series (PASOLINK NEO, PASOLINK NEO/c) lineup of short-haul access digital microwave relay systems offers a wide range of access frequencies in the 6-52 GHz band for PASOLINK NEO, and 7-38 GHz band for PASOLINK NEO/c. Traffic capacity ranges from 5 x 2 to 48 x 2 Mbps, 155 Mbps and 2 x 155 Mbps (STM-1) for PASOLINK NEO, and 5 x 2 to 16 x 2 Mbps for PASOLINK NEO/c.

All PASOLINK systems are compact and lightweight, and consist of an antenna, an ODU (Outdoor transmitter/receiver Unit) and an IDU (Indoor modulator/demodulator Unit).

PASOLINK systems feature simple installation and fast rollout, and offer high-speed transmission, scalability for future network expansion, and cost-effective operation. To improve the efficiency, flexibility and overall performance of your network, go with PASOLINK from NEC.

Hallmarks of PASOLINK

- **Small Size and Light Weight**
 - Lighter, more compact microwave relay systems
- **High Reliability, High System Gain**
 - PASOLINK systems continue to lead the industry
- **Broad Compatibility**
 - Free combination of PASOLINK NEO and NEO/c ODU and IDU

PASOLINK NEO/c Features

- **10/100BASE-T(X) Interface (1+1/1+0 Expandable)**

In addition to the current E1 interfaces, two 10/100 BASE-T(X) interface ports are provided. They enable flexible allocation of bandwidth between E1 and 10BASE-T traffic. Each of the 10/100BASE-T(X) channels can be assigned any of the following data rates: 10 to 40 Mbps, and the remaining capacity can be allotted to E1 usage.
- **Automatic Transmitter Power Control (ATPC)**

ATPC reduces interference affecting nearby systems, improves residual BER performance, and alleviates up-fade problem.
- **Hitless Switch (1+1)**

Can be used to provide an antenna space diversity system.
- **Transversal Equalizer**

Helps compensate for selective fading.
- **Received Signal Level (RSL) Monitoring**

Continuous monitoring mode is available through the Local Craft Terminal.
- **Powerful Forward Error Correction (FEC)**

Reed-Solomon FEC realizes excellent transmission characteristics.
- **Good maintainability with advanced PNMSj (PASOLINK Network Management System Java version)**

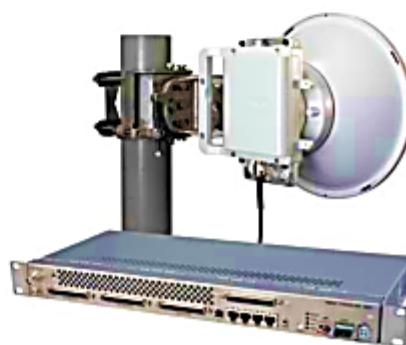
Applications

- **Mobile Networks (GSM/GPRS/UMTS/HSDPA)**

Serves as link between BTSs/Node-Bs in mobile network, and provides communication channels from backbone network to BTSs/Node-Bs through mobile switching center and BSCs/RNCs.
- **LAN/WAN Connection**

Provides ideal intranet-to-intranet (building-to-building) and intranet-to-public-network connection via a 10/100BASE-T(X) interface.

*E1 and 10/100BASE-T(X) interfaces can be used simultaneously
- **Fiber-Optic Link Backup**
 - In the event of a natural disaster or other disruption, PASOLINK acts as a backup to the fiber-optic link should disconnection occur.
 - Enables transmission between points separated by natural obstacles such as rivers, mountains or valleys.
 - Serves as temporary link for sites or facilities under construction.



Specifications

(Typical Value)

Classification	PASOLINK NEO/c						
Frequency Band	7/8 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	26 GHz	38 GHz
Range (GHz)	7.125-8.5	12.75-13.25	14.2-15.35	17.7-19.7	21.2-23.6	24.25-26.5	37.0-40.0
Modulation Scheme	QPSK fixed/QPSK or 16QAM software selectable						
Channel Spacing (MHz)	QPSK: 7 (2E1), 14 (10E1), 28 (16E1)						
Traffic Capacity ¹	16QAM: 3.5 (2E1), 7 (10E1), 14 (16E1)						
Frequency Stability	±6 ppm						
Configuration	1+0, 1+1 (HS), 1+1 (HS/SD), 1+1 (PD)						
Tx Power (dBm)							
PDH/QPSK	27	25	23	23	23	20	15
PDH/16QAM	21	19	17	17	17	14	11
System Gain (dB measured at Ant. Port, 25°C)	(BER=10 ⁻⁵ , Below value +1.5 dB)						
QPSK 16x21	110.0	108.0	106.0	105.0	104.0	100.5	95.5
10x21	113.0	111.0	109.0	108.0	107.0	103.5	98.5
5x21	116.0	114.0	112.0	111.0	110.0	106.5	101.5
16QAM 16x21	100.5	98.5	96.5	95.5	94.5	91.0	87.5
10x21	103.5	101.5	99.5	98.5	97.5	94.0	90.5
5x21	106.5	104.5	102.5	101.5	101.5	97.0	93.5
ATPC Range (1 dB step, variable)							
QPSK	-30 dB to 0 dB						-25 dB to 0 dB
16QAM	-24 dB to 0 dB						
ATPC Range (1 dB step)							
QPSK	-30 dB to 0 dB						-25 dB to 0 dB
16QAM	-24 dB to 0 dB						
Traffic Interface	E1 D-sub connector type: 75/120 ohms selectable 10/100Base-T(X): RJ45 (1+1/1+0 Expandable) BNC interface (option) ²						
Service Channel	2 x RS232C (9.6 Kbps ASYNC), 1 x V.11 (9.6 Kbps ASYNC), 1 x V.11 (64 Kbps SYNC, Contra/Co-directional), 1 x Engineering (CW)						
Standard Compliance	Operation IDU: ETSI EN301019-1-3 class 3.1E Operation ODU: ETSI EN301019-1-4 class 4.1 Transportation IDU/ODU: ETSI EN301019-1-2 class 2.3 Storage IDU/ODU: ETSI EN301019-1-1 class 1.2						
Antenna Size	0.3/0.6/0.8/0.9/1.2 and 1.8 m ²						
Operating Temperature	IDU: -5 to +50°C (workable -10 to +55°C) ODU: -33 to +50°C (workable -40 to +55°C)						
Operation System	Local Craft Terminal (standard tool) or PASOLINK Network Management Terminal (option)						
Dimensions (mm)							
ODU	7/8 GHz: 237 (W) x 237 (H) x 101 (D) 13-38 GHz: 239 (W) x 247 (H) x 68 (D)						
IDU	1+0: 482 (W) x 44 (H) x 190 (D) 1+1/1+0 Expandable: 482 (W) x 44 (H) x 230 (D)						
Weight (approx.)							
ODU	7/8 GHz: 3.5 kg, 13-38 GHz: 3 kg						
IDU	1+0: 2.5 kg 1+1: 5 kg						
Power Consumption ³ (approx.)	1+0: 40 W 1+1: 80 W						
Input DC voltage	-48 V (-40.5 to -57 V), +24 V optional						
EMC	Conforms to ETS 301489-4						
Electrical Specifications	Conforms to ETS 302217-2-2						

ANEXO VII: Especificações técnicas da antena *RocketDish* RD-3G26

Specifications

RocketDish RD-3G26	
Dimensions	650 x 650 x 300 mm
Weight	9.8 kg
Frequency	3.3 - 3.8 GHz
Gain	26 dBi
HPOL Beamwidth	7° (6 dB)
VPOL Beamwidth	7° (6 dB)
Front-to-Back Ratio	-33 dB
Max. VSWR	1.4:1
Wind Survivability	125 mph
Wind Loading	177 lb @ 125 mph
Polarization	Dual Linear
Cross-Pol Isolation	35 dB Min.
ETSI Specification	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, RocketM Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included

ANEXO VIII: Especificações técnicas da antena *Rocket M3*

Specifications

05

System Information		
Processor Specs	Atheros MIPS 24KC, 400MHz	
Memory Information	64MB SDRAM, 8MB Flash	
	M	M GPS
Networking Interface	1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet	2 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet

Regulatory / Compliance Information			
	M900, M2, M3, M2 GPS, M3 GPS	M3	M363, M365 GPS
Wireless Approvals	FCC Part 15.247, IC RS210, CE	-	FCC Part 90Y
RoHS Compliance	YES		

Physical / Electrical / Environmental		
Enclosure Size	17 x 8 x 3cm (length, width, height)	
Weight	0.5kg	
Enclosure Characteristics	Outdoor UV Stabilized Plastic	
Mounting Kit	Pole Mounting Kit Included	
Power Supply	24V, 1A POE Supply Included	
Power Method	Passive Power over Ethernet (pairs 4, 5+; 7, 8 return)	
Operating Temperature	-30C to 75C	
Operating Humidity	5 to 95% Condensing	
Shock and Vibration	ETSI300-019-1.4	
	M	M GPS
RF Connector	2x RP-SMA (Waterproof)	2x RP-SMA and 1x SMA (Waterproof)
	M (Except M3), M GPS (Except M3 GPS)	M3, M3 GPS
Max Power Consumption	6.5 Watts	8 Watts

Compatible Antennas				
M900	M2, M2 GPS	M3	M363, M365 GPS	M3, M3 GPS
AirMax Sector 900M-13-120	AirMax Sector 2G-16-90 2G-15-120	AirMax Sector 3G-18-120	AirMax Sector 3G-18-120	AirMax Sector 5G-17-90 5G-16-120 5G-20-90 5G-19-120
	Rocket Dish 2G-24	Rocket Dish 3G-26	Rocket Dish 3G-26	
				Rocket Dish 5G-30 5G-34

Specifications (cont.)

07

Rocket M3 - Operating Frequency 3400-3700 MHz							
OUTPUT POWER: 25 dBm							
TX POWER SPECIFICATIONS				RX POWER SPECIFICATIONS			
AirMax	MCS0	25 dBm	+/- 2 dB	AirMax	MCS0	-94 dBm	+/- 2 dB
	MCS1	25 dBm	+/- 2 dB		MCS1	-93 dBm	+/- 2 dB
	MCS2	25 dBm	+/- 2 dB		MCS2	-90 dBm	+/- 2 dB
	MCS3	25 dBm	+/- 2 dB		MCS3	-89 dBm	+/- 2 dB
	MCS4	24 dBm	+/- 2 dB		MCS4	-86 dBm	+/- 2 dB
	MCS5	23 dBm	+/- 2 dB		MCS5	-83 dBm	+/- 2 dB
	MCS6	22 dBm	+/- 2 dB		MCS6	-77 dBm	+/- 2 dB
	MCS7	20 dBm	+/- 2 dB		MCS7	-74 dBm	+/- 2 dB
	MCS8	25 dBm	+/- 2 dB		MCS8	-93 dBm	+/- 2 dB
	MCS9	25 dBm	+/- 2 dB		MCS9	-91 dBm	+/- 2 dB
	MCS10	25 dBm	+/- 2 dB		MCS10	-89 dBm	+/- 2 dB
	MCS11	25 dBm	+/- 2 dB		MCS11	-87 dBm	+/- 2 dB
	MCS12	24 dBm	+/- 2 dB		MCS12	-84 dBm	+/- 2 dB
	MCS13	23 dBm	+/- 2 dB		MCS13	-79 dBm	+/- 2 dB
	MCS14	22 dBm	+/- 2 dB		MCS14	-70 dBm	+/- 2 dB
	MCS15	20 dBm	+/- 2 dB		MCS15	-75 dBm	+/- 2 dB

ANEXO IX: Especificações técnicas da estação rádio base da *StarMAX* 6400

DATASHEET



STARMAX 6000 SERIES

802.16-2004

STARMAX 6000 SERIES BASE STATION FOR FIXED AND NOMADIC WIMAX

EION Wireless' StarMAX 6000 Series WiMAX base station encompasses the flexibility and performance needed for a future proof 16e base station product. By delivering highly competitive and innovative mobile broadband triple-play services, it reduces your cost and increases your revenues for a faster ROI.



StarMAX 6400 Base Station

The StarMAX 6000 Series encompasses EION Wireless' leading mobility solution that enables nomadic and mobile use of user services based on 802.16-2004 today, while offering a seamless migration path to 16e-2005 at the customer choice. StarMAX 6000 Series architecture is designed for Mobile WiMAX—and is dimensioned to fully support 802.16e-2005, MIMO and beam-forming technologies.

POWERFUL, MODULAR BLADE ARCHITECTURE

StarMAX 6400 supports up to 4 WiMAX blades plus one switch blade and one clock blade. Each WiMAX blade can support 2 WiMAX OFDM sectors or a single WiMAX STC/MRC sector (or respective diversity/MIMO options). Each WiMAX blade accepts two modules for 16d-Point-to-Multipoint (D-PMP). A single StarMAX 6400 can support up to 8 sectors that can be configured for immediate deployments with the flexibility of accommodating future requirements.

The switch blade aggregates all traffic and offers various L2 and L3 switching and routing functions—in line with mobility architecture—for mobility and advanced Triple Play services.

A variety of connectivity options, including T1/E1, 10/100/1000bT and wireless interfaces, provide a variety of build-in backhaul choices. This gives the operator the advantage of using the backhaul that is available at each site. The EION Wireless IDU Blade is software upgradable with a fail-back option.

KEY FEATURES

- Multiple antenna system support
- VoIP, SIP support
- Scalable high-density solution (1U and 4U)
- GE and Fast Ethernet uplinks
- In-band or out-band management
- NMS –OSS integration-ready
- Provisioning manager
- Uplink sub-channelization
- 2.5 GHz, 3.3 GHz, 3.5 GHz TDD solution
- ETSI 300 mm, 19" form factor, all front I/O
- GPS TDD sync
- Optional 24/12 hour clock stability

16D FEATURES

- WiMAX 802.16-2004 compliant
- 4 sector WiMAX Base Station
- Upgrade to 4 sectors STC/MRC
- STC/MRC diversity

DATASHEET

STARMAX 6000 160 SERIES

GENERAL	STARMAX 6000 WITH 6012 WiMAX BLADES AND STARMAX 6100 ODU	6100 WITH 6012
RF PHY	OFDM	
Frequency Bands	3.30-3.40 GHz, 3.40-3.60 GHz, 2.50-2.69 GHz	
Channel Bandwidth	3.3, 5, 6, 7 MHz - SW Configurable. Other channel sizes can be configurable on request	
Number of Sectors	Up to 8 Sectors; Up to 4 Sector STC/MRC antenna diversity	Up to 2 sectors
Duplex Method	TDD	
SS Synchronization	Yes (using GPS)	
IDU-ODU Interconnection	Coax cable RG214 or equivalent (max 15 dB loss at 500MHz)	
Backhaul Options	Dig Eth, 10/100 Eth, WiMAX backhaul, P2P backhaul, IP over 802	
WiMAX		
WiMAX Specification	IEEE 802.16-2004	
Dynamic Modulations Supported	64QAM 3/4, 64QAM 2/3, 16QAM 3/4, 16QAM 1/2, QPSK 3/4, QPSK 1/2, BPSK 1/2	
Tx Power Maximum	30 dBm	
Rx Sensitivity (BPSK, 3 MHz, BER 10 ⁻⁶)	-97 dBm	
Uplink Subchannelization Support	Yes (up to 1:16)	
Configurable Cyclic Prefix	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	
Enhanced WiMAX Features	Packing, PHS	
Antenna Diversity: STC/MRC Support	Yes	
ANTENNAS		
Antenna Supported	Any (from beam antenna over 60/90/120deg. to omni antenna)	
SERVICES AND PROVISIONING		
Service Flows, averages	typ. 1500 service flows per sector, 8 service flows per Subscriber Station	
QoS Priorities	Up to 16 classifiers per Subscriber Station	
QoS WiMAX	BE, nRT-PS, rt-PS, UGS	
Access Control Lists	Yes	
Data Rate Control	Minimum data rate, Data Rate Limiting	
Portability and Mobility	Yes, enabled hand-overs and mobility management	
Security	Data: DES, AES	
NETWORKING		
IP Protocols	IPv4	
Bridging/Routing (Base Station)	Transparent L2 switch, Bridging, L3 Routing	
Packet Handling	802.1Q VLAN, diffserv, PHS	
MANAGEMENT		
Management Protocol	SNMP, CLI	
Software Upgrade	Yes, fail-safe software upgrade; Configuration file up- and download	
EMS Remote Management	Yes	
ARCHITECTURE		
Blade System	4 slots reserved for WiMAX blades	1 slot for WiMAX blade
MECHANICAL/ELECTRICAL		
Interfaces per WiMAX Blade	WAN Interface	1 DBE and 10/100 Base-T on RJ-45/Ethernet
	Management Interface	10/100 Base-T and serial on RJ-45
	Clock Interface	1 PPS or GPS on RJ45
	PWR Interface	dual -48V DC
	IDU/ODU	electrical (F)
Voltage	-37V to -14V DC	
Power Consumption	100 W (single sector) to 500 W (8 sectors)	
Indoor Dimensions (height-width-depth)	4U = 17.6mm (.9in) x 432mm (16.9 in) x 280mm (11.0in); IDU without mounting ears	
Outdoor Dimensions (height-width-depth)	260mm x 160mm x 90mm; ODU without mounting kit and without heat sink	
Rack/Pole Requirements	Indoor: 18" and 23" Equipment Rack, side-to-side airflow; front cabling of communication ports, power. ET Outdoor: up to 120mm pole diameter supported for ODU mounting	
Weight (Indoor/Outdoor)	10 kg/5.35 kg (22.8/11.8 lb) per ODU	
Environmental Indoor	Temperature: 0°C to 50°C (+32°F to +122°F); Humidity: 5% to 95% noncondensing	
Environmental Outdoor	Temperature: -40°C to 50°C (-40°F to +122°F); Humidity: 0% to 100%	
Regulatory Compliance	CE Mark, RoHS/WEEE	




EION, EION Wireless, and the EION logo are trademarks or registered trademarks of EION, Inc.
StarMax is a trademark of EION, Inc.
© EION, Inc. (2011) All Rights Reserved.
Data subject to change without notice.
StarMAX_6000_160_Sep11

CE13040 CE08890



Pulse Supply -
www.pulsesupply.com
Toll Free: 1-888-785-7393
Int'l: 1-951-694-1173
eion@pulsesupply.com

ANEXO X: Especificações técnicas do cabo coaxial LCF78-50JA-A7

Product Data Sheet		LCF78-50JA-A7		RFS																																																																																																																																														
7/8" CELLFLEX® Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable																																																																																																																																																		
Product Description CELLFLEX® 7/8" premium attenuation low loss flexible cable Application: Main feed line																																																																																																																																																		
Features/Benefits <ul style="list-style-type: none"> Ultra Low Attenuation The further reduced attenuation of CELLFLEX® premium attenuation coaxial cable results in extremely efficient signal transfer in your RF system, especially at high frequencies. Complete Shielding The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RFI/EMI shield that minimizes system interference. Low VSWR Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise. Outstanding Intermodulation Performance CELLFLEX® coaxial cable's solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory. High Power Rating Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels. Wide Range of Application Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects. 				7/8" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable																																																																																																																																														
Technical Features				<table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency [MHz]</th> <th>Attenuation [dB/100m] [dB/100ft]</th> <th>Power [kW]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.5</td><td>0.0780</td><td>85.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.110</td><td>85.0</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>0.135</td><td>73.6</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.156</td><td>63.7</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.351</td><td>28.3</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.498</td><td>20.0</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.512</td><td>16.2</td></tr> <tr><td>50</td><td>0.793</td><td>12.5</td></tr> <tr><td>88</td><td>1.06</td><td>9.38</td></tr> <tr><td>100</td><td>1.13</td><td>8.80</td></tr> <tr><td>108</td><td>1.18</td><td>8.42</td></tr> <tr><td>150</td><td>1.39</td><td>7.15</td></tr> <tr><td>174</td><td>1.50</td><td>6.63</td></tr> <tr><td>200</td><td>1.62</td><td>6.14</td></tr> <tr><td>300</td><td>2.0</td><td>4.97</td></tr> <tr><td>400</td><td>2.32</td><td>4.28</td></tr> <tr><td>450</td><td>2.47</td><td>4.02</td></tr> <tr><td>500</td><td>2.61</td><td>3.81</td></tr> <tr><td>512</td><td>2.64</td><td>3.77</td></tr> <tr><td>600</td><td>2.88</td><td>3.45</td></tr> <tr><td>700</td><td>3.12</td><td>3.19</td></tr> <tr><td>750</td><td>3.28</td><td>3.07</td></tr> <tr><td>800</td><td>3.35</td><td>2.97</td></tr> <tr><td>824</td><td>3.41</td><td>2.91</td></tr> <tr><td>894</td><td>3.56</td><td>2.79</td></tr> <tr><td>900</td><td>3.57</td><td>2.78</td></tr> <tr><td>925</td><td>3.62</td><td>2.75</td></tr> <tr><td>950</td><td>3.70</td><td>2.69</td></tr> <tr><td>1000</td><td>3.78</td><td>2.63</td></tr> <tr><td>1250</td><td>4.27</td><td>2.33</td></tr> <tr><td>1400</td><td>4.54</td><td>2.19</td></tr> <tr><td>1500</td><td>4.71</td><td>2.11</td></tr> <tr><td>1700</td><td>5.09</td><td>1.97</td></tr> <tr><td>1800</td><td>5.21</td><td>1.91</td></tr> <tr><td>2000</td><td>5.52</td><td>1.80</td></tr> <tr><td>2100</td><td>5.67</td><td>1.75</td></tr> <tr><td>2200</td><td>5.82</td><td>1.71</td></tr> <tr><td>2400</td><td>6.11</td><td>1.63</td></tr> <tr><td>2500</td><td>6.25</td><td>1.59</td></tr> <tr><td>2600</td><td>6.39</td><td>1.56</td></tr> <tr><td>2700</td><td>6.53</td><td>1.52</td></tr> <tr><td>3000</td><td>6.93</td><td>1.43</td></tr> <tr><td>3500</td><td>7.56</td><td>1.31</td></tr> <tr><td>4000</td><td>8.16</td><td>1.22</td></tr> <tr><td>4200</td><td>9.17</td><td>1.08</td></tr> <tr><td>5000</td><td>9.28</td><td>1.07</td></tr> </tbody> </table>		Frequency [MHz]	Attenuation [dB/100m] [dB/100ft]	Power [kW]	0.5	0.0780	85.0	1.0	0.110	85.0	1.5	0.135	73.6	2.0	0.156	63.7	10	0.351	28.3	20	0.498	20.0	30	0.512	16.2	50	0.793	12.5	88	1.06	9.38	100	1.13	8.80	108	1.18	8.42	150	1.39	7.15	174	1.50	6.63	200	1.62	6.14	300	2.0	4.97	400	2.32	4.28	450	2.47	4.02	500	2.61	3.81	512	2.64	3.77	600	2.88	3.45	700	3.12	3.19	750	3.28	3.07	800	3.35	2.97	824	3.41	2.91	894	3.56	2.79	900	3.57	2.78	925	3.62	2.75	950	3.70	2.69	1000	3.78	2.63	1250	4.27	2.33	1400	4.54	2.19	1500	4.71	2.11	1700	5.09	1.97	1800	5.21	1.91	2000	5.52	1.80	2100	5.67	1.75	2200	5.82	1.71	2400	6.11	1.63	2500	6.25	1.59	2600	6.39	1.56	2700	6.53	1.52	3000	6.93	1.43	3500	7.56	1.31	4000	8.16	1.22	4200	9.17	1.08	5000	9.28	1.07
Frequency [MHz]	Attenuation [dB/100m] [dB/100ft]	Power [kW]																																																																																																																																																
0.5	0.0780	85.0																																																																																																																																																
1.0	0.110	85.0																																																																																																																																																
1.5	0.135	73.6																																																																																																																																																
2.0	0.156	63.7																																																																																																																																																
10	0.351	28.3																																																																																																																																																
20	0.498	20.0																																																																																																																																																
30	0.512	16.2																																																																																																																																																
50	0.793	12.5																																																																																																																																																
88	1.06	9.38																																																																																																																																																
100	1.13	8.80																																																																																																																																																
108	1.18	8.42																																																																																																																																																
150	1.39	7.15																																																																																																																																																
174	1.50	6.63																																																																																																																																																
200	1.62	6.14																																																																																																																																																
300	2.0	4.97																																																																																																																																																
400	2.32	4.28																																																																																																																																																
450	2.47	4.02																																																																																																																																																
500	2.61	3.81																																																																																																																																																
512	2.64	3.77																																																																																																																																																
600	2.88	3.45																																																																																																																																																
700	3.12	3.19																																																																																																																																																
750	3.28	3.07																																																																																																																																																
800	3.35	2.97																																																																																																																																																
824	3.41	2.91																																																																																																																																																
894	3.56	2.79																																																																																																																																																
900	3.57	2.78																																																																																																																																																
925	3.62	2.75																																																																																																																																																
950	3.70	2.69																																																																																																																																																
1000	3.78	2.63																																																																																																																																																
1250	4.27	2.33																																																																																																																																																
1400	4.54	2.19																																																																																																																																																
1500	4.71	2.11																																																																																																																																																
1700	5.09	1.97																																																																																																																																																
1800	5.21	1.91																																																																																																																																																
2000	5.52	1.80																																																																																																																																																
2100	5.67	1.75																																																																																																																																																
2200	5.82	1.71																																																																																																																																																
2400	6.11	1.63																																																																																																																																																
2500	6.25	1.59																																																																																																																																																
2600	6.39	1.56																																																																																																																																																
2700	6.53	1.52																																																																																																																																																
3000	6.93	1.43																																																																																																																																																
3500	7.56	1.31																																																																																																																																																
4000	8.16	1.22																																																																																																																																																
4200	9.17	1.08																																																																																																																																																
5000	9.28	1.07																																																																																																																																																
Structure Inner conductor: Copper Tube [mm (in)] 9.32 (0.37) Dielectric: Foam Polyethylene [mm (in)] 22.4 (0.88) Outer conductor: Corrugated Copper [mm (in)] 25.2 (0.99) Jacket: Polyethylene, PE [mm (in)] 27.8 (1.09)																																																																																																																																																		
Mechanical Properties Weight, approximately [kg/m (lb/ft)] 0.41 (0.28) Minimum bending radius, single bending [mm (in)] 120 (5) Minimum bending radius, repeated bending [mm (in)] 250 (10) Bending moment [Nm (lb-ft)] 13 (9.6) Max. tensile force [N (lb)] 1440 (324) Recommended / maximum clamp spacing [m (ft)] 0.8 / 1 (2.75 / 3.25)																																																																																																																																																		
Electrical Properties Characteristic impedance [Ω] 50 +/- 1 Relative propagation velocity [%] 90 Capacitance [pF/m (pF/ft)] 74 (22.5) Inductance [μH/m (μH/ft)] 0.185 (0.056) Max. operating frequency [GHz] 5 Jacket spark test RMS [V] 8000 Peak power rating [kW] 85 RF Peak voltage rating [V] 2920 DC-resistance inner conductor [Ω/km (Ω/1000ft)] 1.54 (0.47) DC-resistance outer conductor [Ω/km (Ω/1000ft)] 1.55 (0.47)																																																																																																																																																		
Recommended Temperature Range Storage temperature [°C (°F)] -70 to 85 (-94 to 185) Installation temperature [°C (°F)] -40 to 60 (-40 to 140) Operation temperature [°C (°F)] -50 to 85 (-58 to 185)																																																																																																																																																		
Other Characteristics Fire Performance: Halogen Free VSWR Performance: Premium for 608 - 794, 824 - 960, 1710 - 1755, 1850 - 1990, 2110 - 2155 MHz [dB (VSWR)] 24 (1.135) Other Options: Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.																																																																																																																																																		
RFS The Clear Choice®		LCF78-50JA-A7		Rev: C / 30.Jul.2012																																																																																																																																														
Please visit us on the internet at http://www.rfsworld.com/				Print Date: 07.05.2015																																																																																																																																														
				Radio Frequency Systems																																																																																																																																														

ANEXO XI: Especificações técnicas do conector BNC *male*



Specifications for BNC Connectors

BNC style connectors are miniature, light-weight, weatherproof interconnecting devices characterized by their two-stud, quick disconnect bayonet lock coupling arrangement. Their design functions satisfactorily from DC to 11 GHz in static applications, or from DC to 4GHz in applications involving vibration. The connectors typically yield a low VSWR (reflected signal) to 4GHz. Primary applications include radio telecommunications, broadcast equipment, medical equipment, computer, Precision Video, High definition studio broadcast, video switching and test instrumentation where frequent coupling and de-coupling are necessary. Bomar's BNCs are available in an extensive variety of configurations and cable sizes and are impedance matched to either 50 ohm or 75 ohm.

MATERIALS		
Connector Parts	Material	Equivalent Standard
Connector Body and Parts	Brass	ISOCuZn38Pb2 Body Part
Male Contact Pin	Brass	QQ-B-626
Commercial Grade	Zinc Alloy/Brass	-----
Outer Contact	Brass	QQ-B-750
Socket Contact	Beryllium Copper	QQ-C-530 / MIL-H-7199
-----	Phosphor Copper	CuBe2
Crimp Ferrule	Annealed Copper	QQ-C-576
Insulators, Standard Versions	Teflon	L-P403 / BS4271
-----	Delrin	Grade B
Rubber Gaskets	Silicone Rubber	ASTM-E1418PS1
Plating	Nickel (Silver Optional)	MIL-G-45204

ELECTRICAL		
Requirement	Performance	Test + Specification
Impedance	50Ω 75Ω	-----
Frequency Range	0-4GHz 0-1 GHz	-----
VSWR	1.30 Max.	MIL-C-39012
RF Insertion Loss	0.2 db Min. at 3 GHz	MIL-C-39012
RF Leakage	-55 db Min. at 3 GHz	MIL-C-39012
Test Voltage (At Sea Level)	1500V rms	MIL-STD-202
Working Voltage (At Sea Level)	500V rms	MIL-STD-202
Insulation Resistance	5000 Meg ohms Min.	MIL-STD-202
Contact Resistance	3 Milli ohms Max.	MIL-C-39012

MECHANICAL & ENVIRONMENTAL		
Requirement	Performance	Test + Specification
Durability	500 Insertions & Extractions Min.	MIL-C-39012
Shock	50 G	MIL-STD-202
Vibration	20 G from 80-2000 Hz	MIL-STD-202
Cable Retention (Cable Types)	60 lbs. Minimum Pull Test	MIL-C-39012
Coupling Nut	60 lbs. Maximum	MIL-C-39012
Temperature Range	Teflon: -55 to +199 C Delrin: -40 to +85 C	-----
Moisture Resistance	Continuous Test	MIL-STD-202
Salt Spray	48 Hours	MIL-STD-202

*Products are made to conform to the MIL standard test are for commercial applications and are not QPL.

FOR TECHNICAL SUPPORT: PHONE 973-347-4040 / FAX 973-347-2111 Back to Index	1
--	----------

-Page 1-

-Page 2-



BNC 3 Piece Crimp

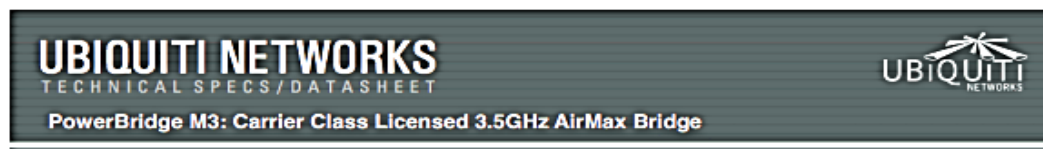
ANEXO XII: Especificações técnicas da antena *airMAX Sector* AM-3G18-120

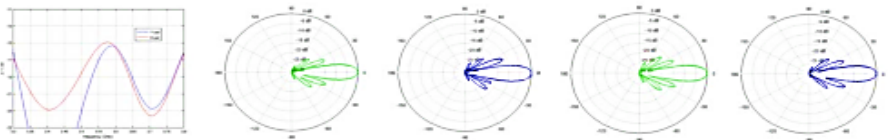
Specifications

AM-3G18-120	
Dimensions	735 x 144 x 78 mm
Weight	5.9 kg (Mount Included)
Frequency	3.3 - 3.8 GHz
Gain	17.3 - 18.2 dBi
HPOL Beamwidth	118° (6 dB)
VPOL Beamwidth	121° (6 dB)
Elevation Beamwidth	6°
Electrical Downtilt	3°
Max. VSWR	1.5:1
Wind Survivability	125 mph
Wind Loading	33 lbf @ 125 mph
Polarization	Dual Linear
Cross-Pol Isolation	28 dB Min.
ETSI Specification	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, RocketMB Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included

Dimensionamento de uma rede WiMax para prover serviços de *internet* banda larga da TDM

ANEXO XIII: Especificações técnicas da antena PowerBridge M3



SYSTEM INFORMATION			
Processor Specs		Atheros MIPS 24KC, 400MHz	
Memory Information		64MB SDRAM, 8MB Flash	
Networking Interface		1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface	
REGULATORY / COMPLIANCE INFORMATION			
Wireless Approvals		FCC Part 90Y	
RoHS Compliance		YES	
OPERATING FREQUENCY 3400MHz-3700MHz			
TX POWER SPECIFICATIONS			
AirMax	DataRate	Avg. TX	Tolerance
	MCS0	25 dBm	+/-2dB
	MCS1	25 dBm	+/-2dB
	MCS2	25 dBm	+/-2dB
	MCS3	25 dBm	+/-2dB
	MCS4	24 dBm	+/-2dB
	MCS5	23 dBm	+/-2dB
	MCS6	22 dBm	+/-2dB
	MCS7	20 dBm	+/-2dB
	MCS8	25 dBm	+/-2dB
	MCS9	25 dBm	+/-2dB
	MCS10	25 dBm	+/-2dB
	MCS11	25 dBm	+/-2dB
	MCS12	24 dBm	+/-2dB
	MCS13	23 dBm	+/-2dB
	MCS14	22 dBm	+/-2dB
MCS15	20 dBm	+/-2dB	
RX SPECIFICATIONS			
Airmax	DataRate	Sensitivity	Tolerance
	MCS0	-94 dBm	+/-2dB
	MCS1	-93 dBm	+/-2dB
	MCS2	-90 dBm	+/-2dB
	MCS3	-89 dBm	+/-2dB
	MCS4	-86 dBm	+/-2dB
	MCS5	-83 dBm	+/-2dB
	MCS6	-77 dBm	+/-2dB
	MCS7	-74 dBm	+/-2dB
	MCS8	-93 dBm	+/-2dB
	MCS9	-91 dBm	+/-2dB
	MCS10	-89 dBm	+/-2dB
	MCS11	-87 dBm	+/-2dB
	MCS12	-84 dBm	+/-2dB
	MCS13	-79 dBm	+/-2dB
	MCS14	-78 dBm	+/-2dB
MCS15	-75 dBm	+/-2dB	
PHYSICAL / ELECTRICAL / ENVIRONMENTAL			
Enclosure Size		445 x 416 x 34mm	
Weight		3.82kg	
Enclosure Characteristics		Outdoor UV Stabilized Plastic	
Mounting Kit		Pole Mounting Kit included	
Max Power Consumption		8 Watts	
Power Supply		24V, 1A surge portection integrated POE adapter included	
Power Method		Passive Power over Ethernet (pairs 4,5+; 7,8 return)	
Operating Temperature		-30C to +80C	
Operating Humidity		5 to 95% Condensing	
Shock and Vibration		ETSI300-019-1.4	
INTEGRATED DUAL-POLARITY ANTENNA			
Frequency Range		3.3-3.6GHz	
Gain		20 dBi	
Polarization		Dual Linear	
Cross-pol Isolation		28dB minimum	
Max VSWR		1.5:1	
H-pol Beamwidth		13.5 deg.	
V-pol Beamwidth		13.5 deg.	
Elevation Beamwidth		13.5 deg.	
			
VSWR		H-Pol Azimuth	
H-Pol Elevation		V-Pol Azimuth	
V-Pol Elevation			