

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL TONIN

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

**ANÁLISE E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA PRÉ-
WiMAX BASEADO NO PADRÃO IEEE 802.11a**

Porto Alegre

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**ANÁLISE E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA PRÉ-
WiMAX BASEADO NO PADRÃO IEEE 802.11a**

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Roger Pierre Fabris Hoefel

Porto Alegre

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RAFAEL TONIN

**ANÁLISE E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA PRÉ-
WiMAX BASEADO NO PADRÃO IEEE 802.11a**

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____
Prof. Roger Pierre Fabris Hoefel, UFRGS
Doutor pela (Universidade Estadual de Campinas – Campinas, Brasil)

Banca Examinadora:

Prof. Roger Pierre Fabris Hoefel, UFRGS
Doutor pela (Universidade Estadual de Campinas – Campinas, Brasil)

Prof. Jorge Guedes Silveira, UFRGS
Doutor pelo (Instituto Nacional Politécnico de Grenoble – Grenoble, França)

Eng. Flávio Arthur Leal Ferreira, PROCERGS
Mestrando pela (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, Brasil)

Porto Alegre, Novembro de 2009

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha esposa, em especial pelo apoio, incentivo, amor e paciência ao longo destes anos de curso.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo constante apoio e incentivo.

À minha esposa, pela dedicação e amor e pelo apoio incondicional em todos os momentos de incerteza e dificuldade.

À PROCERGS, por ter propiciado e disponibilizado os recursos e informações importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Centro de Processamento de Dados desta Universidade por ter sido ao longo dos últimos nove anos um importante complemento à minha formação pessoal e acadêmica. Agradeço especialmente ao Eng. Leandro Fortes Rey, que através de seu constante incentivo, sempre me ajudou a acreditar que a conclusão do curso seria possível.

Aos colegas de trabalho do Setor de Suporte a Redes da PROCERGS, em especial aos colegas Flávio Arthur Leal Ferreira, Dagoberto Luiz Schonardie e Irjê Schmitz pelos valiosos ensinamentos e pela viabilização e acompanhamento das rotinas de testes realizadas nos enlaces MetroMAX.

Aos colegas da Engenharia Diogo Santos Stelmach e Leandro Krummenauer pela amizade, coleguismo e incentivo ao longo dos últimos semestres desta jornada.

Ao Prof. Roger Pierre Fabris Hoefel pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho, sempre procurando transmitir mais do que apenas os ensinamentos técnicos.

À Universidade e aos professores pelos conhecimentos transmitidos através de seus ensinamentos.

RESUMO

A tecnologia de redes metropolitanas sem fio de banda larga baseadas no protocolo IEEE 802.16, também denominada WiMAX (do inglês Worldwide Interoperability for Microwave Access), tem se mostrado como uma alternativa viável e de baixo custo frente a outras redes de acesso cabeadas. No Brasil, esta tecnologia encontra-se em expansão no mercado corporativo e tem se mostrado atrativa na composição de enlaces ponto-a-ponto e ponto-multiponto. Este trabalho analisa as principais características, descreve uma metodologia para o cálculo do orçamento de potência e demonstra os resultados obtidos em um estudo de caso realizado na PROCERGS com equipamentos pré-WiMAX operando na faixa de frequência não licenciada de 5.4GHz. Os resultados são analisados e as limitações encontradas são descritas na forma de recomendações para aplicações práticas.

Palavras-chaves: Sistemas de Telecomunicações, pré-WiMAX, Protocolo IEEE 802.16, Cálculo de Link Budget, Redes Metropolitanas Sem Fio.

ABSTRACT

Wireless Broadband Metropolitan Area Networks Technology based on the IEEE 802.16 protocol, also known as WiMAX, has emerged as a viable and low cost alternative when compared to other wired access networks. In Brazil, this technology is expanding in the corporate market and has proved to be an attractive choice in the establishment of point-to-point and point-to-multipoint links. This work analyzes the main characteristics, describes a methodology for calculating the Link Power Budget and demonstrates the results obtained. In a case study conducted in PROCERGS with pre-WiMAX equipment operating in the license exempt 5.4GHz frequency. The results are analyzed and the limitations are described in the form of recommendations for practical applications.

Keywords: Telecommunication Systems, pre-WiMAX, IEEE 802.16 Protocol, Link Budget estimation, Wireless Metropolitan Area Networks.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	O QUE É WIMAX E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS [1]	17
2.1	A CAMADA FÍSICA DO PADRÃO IEEE 802.16	20
2.1.1	MULTIPLEXAÇÃO OFDM [3]	20
2.1.2	DUPLEXAÇÃO FDD x TDD	27
2.1.3	TÉCNICAS DE MODULAÇÃO ADAPTATIVA E CODIFICAÇÃO	28
2.2	A CAMADA FÍSICA DO PADRÃO IEEE 802.11A	29
2.3	ANTENAS	30
2.3.1	DIRETIVIDADE E GANHO	32
2.3.2	PADRÕES DE IRRADIAÇÃO	34
3	O ESTUDO DO ENLACE	36
3.1	CARACTERÍSTICAS DO CANAL	36
3.2	CONDIÇÕES DE VISADA	37
3.3	ZONA DE FRESNEL	38
3.3.1	DETERMINAÇÃO DO LINK BUDGET [8,9]	40
4	ESTUDO DE CASO [6,7]	45
4.1	A SOLUÇÃO DE CONECTIVIDADE METROPOLITANA PROCERGS	45
4.1.1	INTRODUÇÃO AO SISTEMA ALVARION BREEZEACCESS VL	47
4.1.2	UNIDADE DO ASSINANTE	49
4.1.3	UNIDADE DE ACESSO	50
4.1.4	ANTENAS	53
4.1.5	OUTROS ACESSÓRIOS	56
4.2	DESCRIÇÃO DA CAMADA FÍSICA DO SISTEMA BREEZEACCESS VL	56
4.3	METODOLOGIA DE PROJETO PARA UM ENLACE METROMAX	61
4.3.1	DETERMINAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE OPERAÇÃO DA UNIDADE DE ACESSO	61
4.3.2	ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA	64
4.3.3	APLICAÇÃO DO LINK BUDGET AO ENLACE	68
4.3.4	ANÁLISE DE DESEMPENHO	72
5	CONCLUSÃO	90

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Classificação das redes sem fio.	18
Figura 2.2 - Evolução do crescimento de assinantes entre 1998-2009 (fonte: ITU).	18
Figura 2.3 - Representação de um sistema OFDM com 4 subportadoras.	21
Figura 2.4 - Espectro de um sinal OFDM com 16 sub-portadoras.	23
Figura 2.5 - Fluxo de sinais de um sistema digital multi-portadora utilizando OFDM.	24
Figura 2.6 - Representação da adição de um intervalo de guarda.	25
Figura 2.7 - Comparativo dos sistemas de duplexação.	28
Figura 2.8 - Diagrama de blocos de um sistema mostrando origem e destino dos dados.	31
Figura 2.9 - Irradiação de uma antena isotrópica vs. antena direcional.	32
Figura 2.10 - Exemplo de um diagrama de irradiação horizontal.	34
Figura 2.11 - Exemplo de um diagrama de irradiação vertical.	35
Figura 3.1 - Diagrama de blocos de um sistema básico de comunicação sem fio.	36
Figura 3.2 - Representação da condição de visada.	37
Figura 3.3 - Representação da zona de Fresnel.	38
Figura 3.4 - Representação do raio e distâncias de Fresnel.	39
Figura 4.1 - Diagrama simplificado do sistema MetroMAX.	46
Figura 4.2 - Instalação de uma unidade de assinante (antena integrada ao rádio).	49
Figura 4.3 - Unidade de dados interna (IDU) e Supressor de Surtos.	50
Figura 4.4 - Instalação típica de uma unidade de acesso com antena setorial.	51
Figura 4.5 - Detalhe da aplicação correta da fita de autofusão.	52
Figura 4.6 - Padrão de elevação para antena de 60°.	53
Figura 4.7 - Padrão de azimute para antena de 60°.	54
Figura 4.8 - Padrão de elevação para antena de 90°.	54
Figura 4.9 - Padrão de azimute para antena de 90°.	54
Figura 4.10 - Padrão de elevação para antena de 120°.	55
Figura 4.11 - Padrão de azimute para antena de 120°.	55
Figura 4.12 - Componentes de proteção e injeção de potência.	56
Figura 4.13 - Tipos de subportadoras utilizadas no BreezeAccess VL.	57
Figura 4.14 - Diagrama de blocos do sistema.	58
Figura 4.15 - Distribuição das subportadoras do sistema BreezeAccess VL.	59
Figura 4.16 - Visualização do enlace DP15 - MP no Google Earth Pro.	65
Figura 4.17 - Visada da antena da unidade de acesso localizada no morro da polícia.	66
Figura 4.18 - Localização aproximada do cliente.	67
Figura 4.19 - Visada da unidade do assinante (ponto de vista do local de instalação).	68
Figura 4.20 - Ferramenta de cálculo do link budget.	71
Figura 4.21 - SNR coletado durante os testes.	75

Figura 4.22 - Tráfego gerado durante os testes de desempenho.....	76
Figura 4.23 - Percentual de erros por modulação	87
Figura 4.24 - Throughput em função da modulação.....	88
Figura 4.25 - Valores de RSSI Medidos comparados ao Link Budget	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Raios da primeira zona de Fresnel em função da distância.	39
Tabela 3.2 - Componentes do link budget para o enlace do estudo de caso	40
Tabela 3.3 - Valores de Data Rate utilizados	43
Tabela 4.1 - Bandas e frequências utilizadas no BreezeAccess VL	48
Tabela 4.2 - Antenas utilizadas no sistema BreezeAccess VL.....	53
Tabela 4.3 - Resumo de características do sistema BreezeAccess VL	60
Tabela 4.4 - Análise de espectro da unidade de acesso	63
Tabela 4.5 - Link budget com os dados do enlace real.....	72
Tabela 4.6 - Parâmetros de teste	73
Tabela 4.7 - Fatores de modulação aplicados ao throughput	76
Tabela 4.8 - Dados coletados para a modulação 1	79
Tabela 4.9 - Dados coletados para a modulação 2.....	80
Tabela 4.10 - Dados coletados para a modulação 3.....	81
Tabela 4.11 - Dados coletados para a modulação 4.....	82
Tabela 4.12 - Dados coletados para a modulação 5.....	83
Tabela 4.13 - Dados coletados para a modulação 6.....	84
Tabela 4.14 - Dados coletados para a modulação 7.....	85
Tabela 4.15 - Dados coletados para a modulação 8.....	86
Tabela 4.16 - Valores de SNR Mínimos por modulação	88

LISTA DE ABREVIATURAS

AAS: Adaptative Antenna System

AES: Advanced Encryption Standard

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line

BPSK: Binary Phase Shift Keying

BWA: Broadband Wireless Access

CRC: Cyclic Redundancy Check

FDD: Frequency Division Duplexing

FEC: Forward Error Correction

IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers

IP: Internet Protocol

LOS: Line of Sight

NLOS: Near Line of Sight

OFDM: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

OFDMA: Orthogonal Frequency-Division Multiple Access

PHY: Physical Layer

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

QoS: Quality of Service

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

RSSI: Received Signal Strength Indicator

SNR: Signal-to-Noise Ratio

TCP: Transmission Control Protocol

TDD: Time Division Duplex

TDM: Time Division Multiplexing

ToS: Type of Service

UDP: User Datagram Protocol

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN: Wireless Local Area Network

WMAN: Wireless Metropolitan Area Network

1 INTRODUÇÃO

Com a popularização da Internet, diversas tecnologias na área de transmissão de dados estão sendo impulsionadas exponencialmente. Dentre estas, principalmente os acessos de banda larga utilizando tecnologias como o ADSL (do inglês Asymmetric Digital Subscriber Line), modem a cabo e mais recentemente os sistemas de rede sem fio. Hoje, principalmente nas empresas, as tecnologias de enlace ponto-a-ponto, que permitem o estabelecimento de enlaces entre pontos de distribuição de rede (backhauls) e as tecnologias de acesso ponto-multiponto, que permitem a distribuição do sinal proveniente de pontos de concentração até os clientes, encontram-se em expansão acelerada e constituem-se na principal alternativa frente à aquisição de enlaces de alto custo fornecidos pelas operadoras de telefonia.

No Brasil, o estabelecimento destes enlaces é feito principalmente através da Tecnologia de Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência (OFDM, do inglês Orthogonal Frequency Division Multiplexing) e é regulamentada pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) em sua resolução 506/2008 (ver seção X, Anexo I, ao final do trabalho), que apesar de não exigir licenciamento de cada uma das estações que compõem os enlaces, regulamenta e homologa os equipamentos e os níveis de potência para operação dos mesmos.

A ANATEL, apesar de estipular o controle de tais equipamentos, tem dificuldades na fiscalização de sua operação, e um grave problema encontrado é que nestas faixas de frequência, encontramos enlaces operando fora das especificações, com deficiências nos ajustes de potência e até rádios sem homologação.

O funcionamento adequado de enlaces de rádio em faixas não licenciadas depende de uma série de fatores, dentre os quais se pode destacar a capacidade de detecção e eliminação das fontes de ruído e interferência existentes, o que na maioria das vezes torna-se

impraticável. O processo de abertura da concorrência no mercado de telecomunicações, com a privatização da Telebrás, acarretou a entrada rápida de diversas operadoras, o que acirrou a concorrência e levou a um crescimento elevado na demanda por conectividade em todos os níveis. Muitas tecnologias utilizadas pelos assinantes domésticos e pelos backbones das operadoras, tornam-se rapidamente obsoletos e exigem atualizações imediatas, o que torna a situação ainda mais complexa e de difícil resolução em curto prazo.

Em áreas metropolitanas e regiões urbanas o problema torna-se ainda mais grave, pois o uso de faixas não licenciadas torna inviável um dos aspectos mais importantes na elaboração de um projeto de rádio enlace, o planejamento e a alocação da faixa e do plano de distribuição de frequências. Com isto, o bom desempenho e a alta disponibilidade dos enlaces muitas vezes ficam comprometidos.

A avaliação de desempenho em enlaces estabelecidos utilizando tecnologias sem fio tem sido objeto de estudo ao longo dos últimos anos. Em 2005, J. Hui et al publicou um artigo sobre avaliação técnicas de avaliação de desempenho em enlaces baseados no IEEE 802.11 (do inglês, Institute of Electrical and Electronics Engineers) propondo a unificação de metodologias de modelagem de desempenho para tais enlaces [Hui 2005]. Em 2006, W. Hneiti et al publicou um artigo propondo técnicas para a melhoria do desempenho de redes sem fio baseadas no ajuste de parâmetros da camada física. Para este estudo foram desenvolvidos critérios específicos de análise dos enlaces [Hneiti 2006]. Em 2008, M. Colonna et al propõe um método de avaliação de desempenho de downlinks orientado para instalação de softwares de forma remota através de enlaces sem fio [Colonna 2008]. Em 2009, N. Sarkar et al propõe um modelo de avaliação para os efeitos combinados de intensidade do sinal e tipo de tráfego para redes baseadas no padrão IEEE 802.11 [Sarkar 2009].

Este trabalho visa apresentar os principais parâmetros que influenciam na interferência e no desempenho de rádio enlaces ponto-multiponto operando na faixa não licenciada de 5.4 GHz. Alternativas e critérios de projeto são apresentados através de um estudo de caso realizado junto a Companhia de Processamento de Dados do Estado do Rio Grande do Sul (PROCERGS). Procura-se ainda identificar os fatores que influenciam no cálculo do orçamento de potência (link budget) dos enlaces e por fim destaca-se uma metodologia para a elaboração do projeto de um enlace típico e a realização de uma avaliação do desempenho obtido neste enlace.

Além desta seção introdutória, este trabalho é composto por mais quatro capítulos. No capítulo 2, fundamenta-se e caracteriza-se o padrão WiMAX (do inglês, Worldwide Interoperability for Microwave Access) para redes metropolitanas sem fio. No capítulo 3, são apresentados os principais fatores que influenciam no estudo de um enlace de radiofrequência. No capítulo 4, segue-se com a apresentação de um estudo de caso, do cálculo do link budget e da análise de desempenho, apresentando os resultados obtidos. Por fim, no capítulo 5, conclui-se este estudo apresentando algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 O QUE É WiMAX E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS [1]

O WiMAX, consórcio de empresas que fabricam equipamentos, desenvolve atualmente um padrão global de interoperabilidade de equipamentos que funcionam na faixa de micro-ondas, tem como premissa básica a interconexão de equipamentos compreendidos em uma região metropolitana, com alta capacidade de tráfego, qualidade de serviço (QoS, do inglês Quality of Service) e confiabilidade.

O WiMAX contrasta às limitações do padrão IEEE 802.11, associado às redes locais sem fio (WLAN, do inglês Wireless Local Area Network), que apresentam uma diminuição considerável de desempenho em ambientes externos sem linha de visada (NoLOS, do inglês Non Line-of-Sight) ou de linha de visada parcialmente obstruída (NLOS, do inglês Near Line-of-Sight). Por outro lado, um sistema WiMAX permite a comunicação de banda larga em ambientes NLOS, a grandes distâncias, conforme explicado no capítulo 3.

Uma rede metropolitana sem fio (WMAN, do inglês Wireless Metropolitan Area Network) como o WiMAX deve prover acesso de banda larga capaz de cobrir grandes áreas geográficas sem a necessidade de grandes investimentos em infraestruturas de alto custo através da instalação de antenas localizadas em estações rádio base e em terminais remotos.

Conforme mostra a figura 2.1, o foco desta tecnologia é o de cobrir uma área geográfica de até 5 km, podendo, em alguns casos, ultrapassar estas distâncias típicas. A figura procura demonstrar o posicionamento do WiMAX dentro do universo de tecnologias hoje utilizadas para comunicação sem fio.

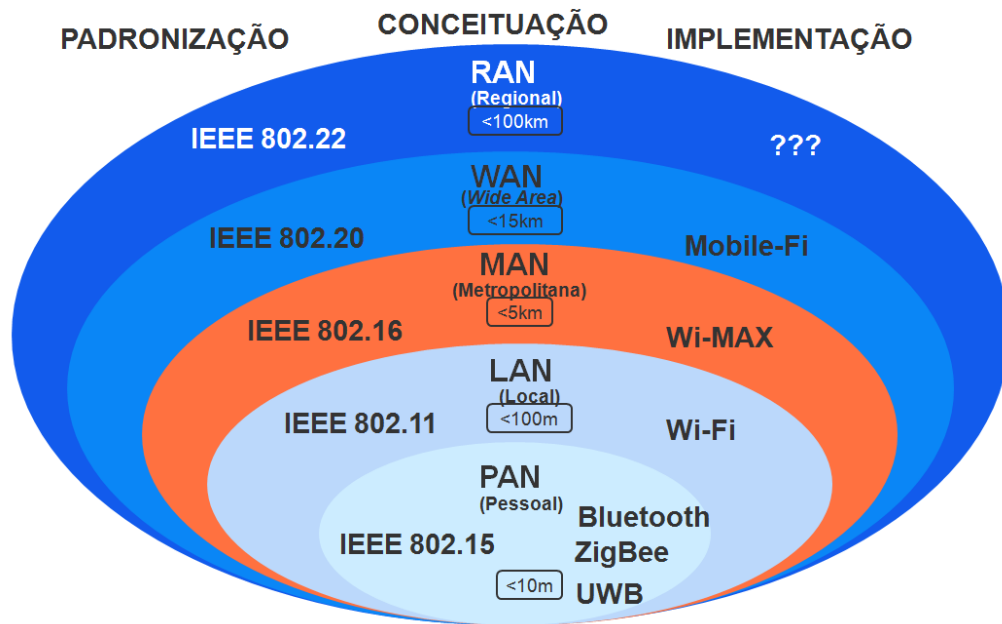


Figura 2.1 - Classificação das redes sem fio.

Conforme salientado na figura 2.1, o acesso de banda larga sem fio (BWA, do inglês Broadband Wireless Access) situa-se justamente no centro de duas tecnologias que vem demonstrando um crescimento acelerado, Internet e a comunicação sem fio. Estabelecendo um elo de união entre estas tecnologias faz com que o WiMAX demonstre um grande potencial de crescimento conforme demonstrado na figura 2.2. [2]

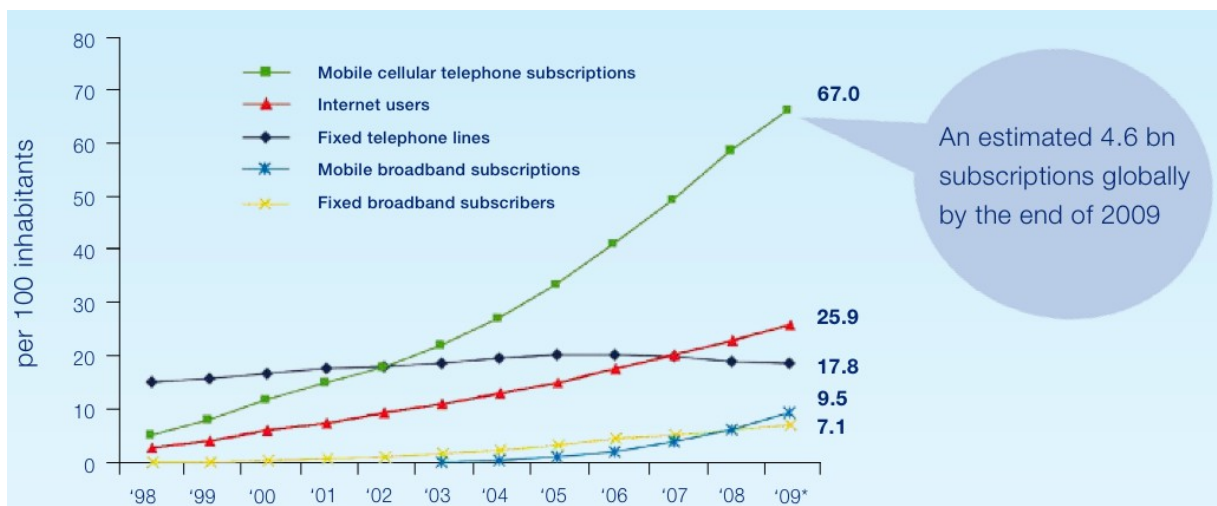


Figura 2.2 - Evolução do crescimento de assinantes entre 1998-2009 (fonte: ITU).

A figura 2.2, exibe a evolução na abrangência de algumas tecnologias de comunicação ao longo da última década conforme a ITU (do inglês, International Telecommunication Union).

É possível notar que as tecnologias de banda larga móvel sem fio ainda estão distantes do número de usuários de Internet, denotando que o acesso de banda-larga com qualidade ainda está limitado a redes cabeadas.

O grupo de trabalho IEEE 802.16, foi formado em 1998 com o intuito de estipular as normas e padrões de interoperabilidade para um sistema de interface com o ar para sistemas de banda larga sem fio. O foco inicial deste grupo foi o de desenvolver um sistema que possibilitasse a comunicação ponto-multiponto com linha de visada e que fosse capaz de operar em frequências na faixa de 10-66 GHz. O resultado deste trabalho foi o padrão IEEE802.16 que foi finalizado em 2001. Este padrão pressupunha a operação através de uma camada física de portadora única e uma camada de acesso ao meio que utilizava multiplexação por divisão de tempo (TDM, do inglês Time Division Multiplexing).

Subsequentemente, o grupo formalizou uma versão atualizada do padrão, denominada 802.16a, que trouxe a capacidade de operação para enlaces sem linha de visada e operando na faixa de 2-11 GHz. Esta versão implementa uma camada física com multiplexação por divisão ortogonal de frequência (OFDM) e uma camada de acesso ao meio capaz de suportar multiplexação por divisão ortogonal de acesso múltiplo (OFDMA, do inglês Orthogonal Frequency Division Multiple Access).

Outras revisões foram feitas e deram origem ao padrão IEEE 802.16-2004, que unificou os padrões anteriores e que até hoje é utilizado para sistemas fixos de banda larga sem fio. Este padrão foi o primeiro a ser incorporado pelo fórum WiMAX com o objetivo de homologar e estipular requisitos de interoperabilidade entre os diversos fabricantes. Outras atualizações estão constantemente sendo incorporadas, como a previsão e o suporte a mobilidade, sistemas portáteis de baixo consumo de energia e outras soluções que, no entanto, fogem do escopo deste trabalho.

Segue-se com a descrição das principais características dos sistemas de comunicação WiMAX. A seção 2.1, descreve a camada física do padrão IEEE 802.16. Na seção 2.2, é traçado um paralelo da camada física do IEEE 802.16 com a camada física do IEEE 802.11a, em função de que os equipamentos utilizados no estudo de caso são baseados neste último padrão.

2.1 A Camada Física do padrão IEEE 802.16

Baseado nos requisitos do IEEE802.16-2004, o fórum WiMAX definiu como requisito básico dos sistemas fixos, uma camada física que implemente a modulação OFDM. Este esquema de modulação resiste bem ao desvanecimento multipercurso e possui capacidade de operação sem linha de visada. A seção 2.1.1 apresenta as técnicas utilizadas no OFDM.

O padrão prevê ainda duas técnicas de duplexação, a duplexação por divisão de frequência (FDD, do inglês Frequency Division Duplexing) e a duplexação por divisão de tempo (TDD, do inglês Time Division Duplexing). Estas duas técnicas são detalhadas na seção 2.1.2. Por fim, descreve-se na seção 2.1.3 as técnicas de modulação adaptativa e codificação.

2.1.1 Multiplexação OFDM [3]

A figura 2.3 mostra que o princípio de transmissão através de múltiplas portadoras é o de converter um sinal com alta taxa de transmissão serial de dados em múltiplos fluxos menores transmitidos de forma paralela. Cada um destes sub-fluxos é modulado em uma sub-portadora. Uma vez que a taxa de símbolos em cada uma destas sub-portadoras é muito menor que a taxa de símbolos do fluxo original, então os efeitos de atraso e interferência intersimbólica são reduzidos consideravelmente, trazendo robustez ao sistema e reduzindo a complexidade dos equalizadores utilizados no processamento do sinal recebido.

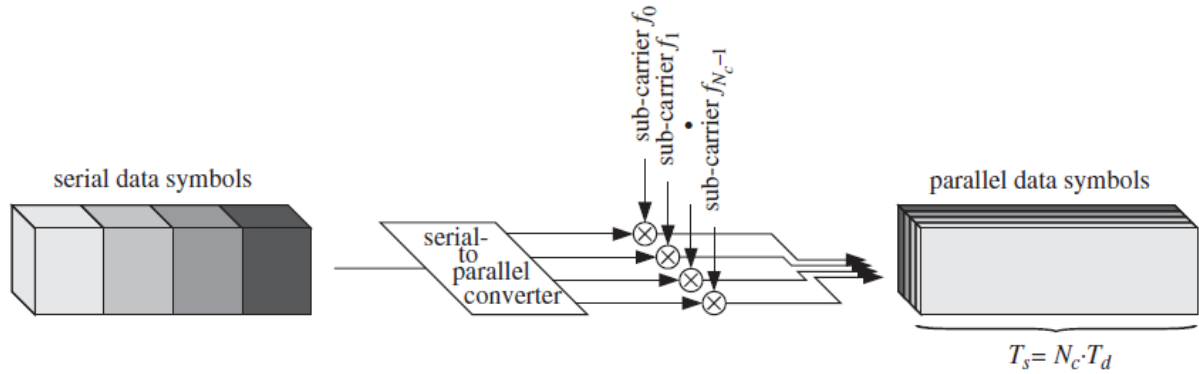


Figura 2.3 - Representação de um sistema OFDM com 4 subportadoras.

Uma característica importante que é considerada no projeto de sistemas com múltiplas portadoras baseado no OFDM é que o processo de modelagem pode considerar o canal como sendo invariante no tempo durante a transmissão de um símbolo OFDM e que os efeitos de desvanecimento podem também ser considerados como planos. Para que estas considerações sejam válidas, o símbolo OFDM deve ser menor que o tempo de coerência $(\Delta t)_c$ do canal, ou seja, o intervalo de tempo no qual a resposta ao impulso do canal pode ser considerada como invariante e a banda de cada uma das sub-portadoras deve ser menor que a banda de coerência $(\Delta f)_c$ do canal, ou seja, a faixa de frequências do canal que pode ser considerada plana. Cumprindo estas duas exigências, é possível construir sistemas de baixa complexidade utilizando a modulação OFDM.

Um sistema de comunicação com múltiplas portadoras transmite N_c símbolos $S_n, n = 0, \dots, N_c - 1$, em paralelo através de N_c sub-portadoras. O tempo de duração de símbolos OFDM é dado por

$$T_s = N_c T_d \quad (2.1)$$

onde T_d é o tempo de duração de um símbolo do fluxo serial de dados, depois da conversão serial-paralelo.

O princípio do OFDM é o de modular os N_c sub-fluxos em sub-portadoras separadas na frequência por

$$F_s = \frac{1}{T_s} \quad (2.2)$$

de forma a tornar possível a ortogonalidade entre cada uma das N_c sub-portadoras, onde pode ser postulada a utilização de pulsos retangulares.

Os N_c símbolos paralelos transmitidos através das sub-portadoras são também chamados de símbolos OFDM. O envelope complexo de um símbolo OFDM com a forma de um pulso retangular pode ser descrito por

$$x(t) = \frac{1}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} S_n e^{j2\pi f_n t}, \quad 0 \leq t < T_s. \quad (2.3)$$

As frequências de cada uma destas sub-portadoras está localizada em

$$f_n = \frac{n}{T_s}, \quad n = 0, \dots, N_c - 1. \quad (2.3)$$

O espectro da densidade de potência normalizada de um sinal OFDM com 16 sub-portadoras é mostrado através da linha sólida da figura 2.4. A curva pontilhada mostra a densidade de potência normalizada da primeira sub-portadora e demonstra a construção do espectro total através da soma das N_c sub-portadoras espaçadas de F_s .

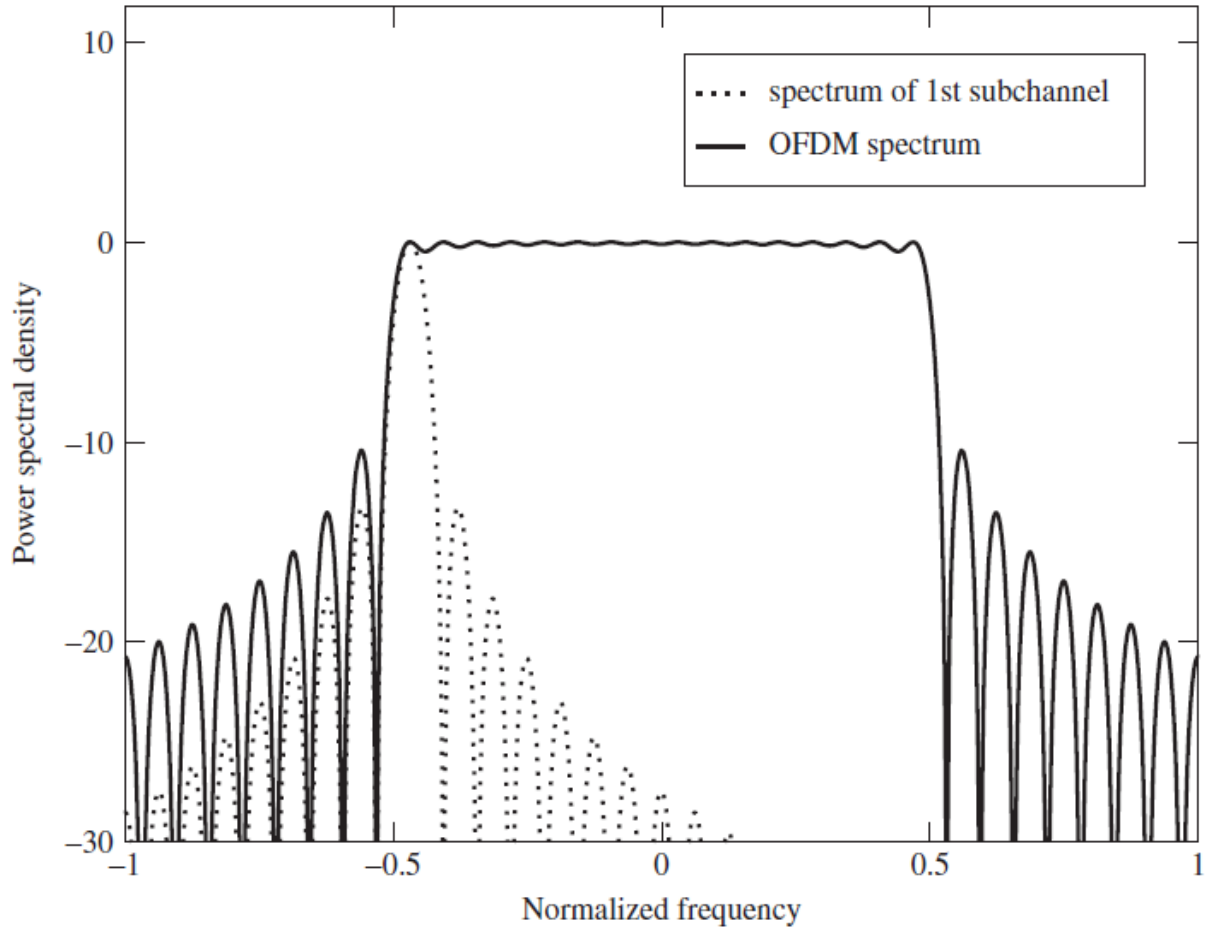


Figura 2.4 - Espectro de um sinal OFDM com 16 sub-portadoras.

Somente os canais que se encontram nas extremidades da banda é que contribuem com as emissões de potência fora da banda especificada, conforme mostra a figura 2.4. Desta forma, com o aumento das N_c sub-portadoras, a densidade espectral de potência se aproxima dos valores ocupados no caso da utilização de uma portadora única.

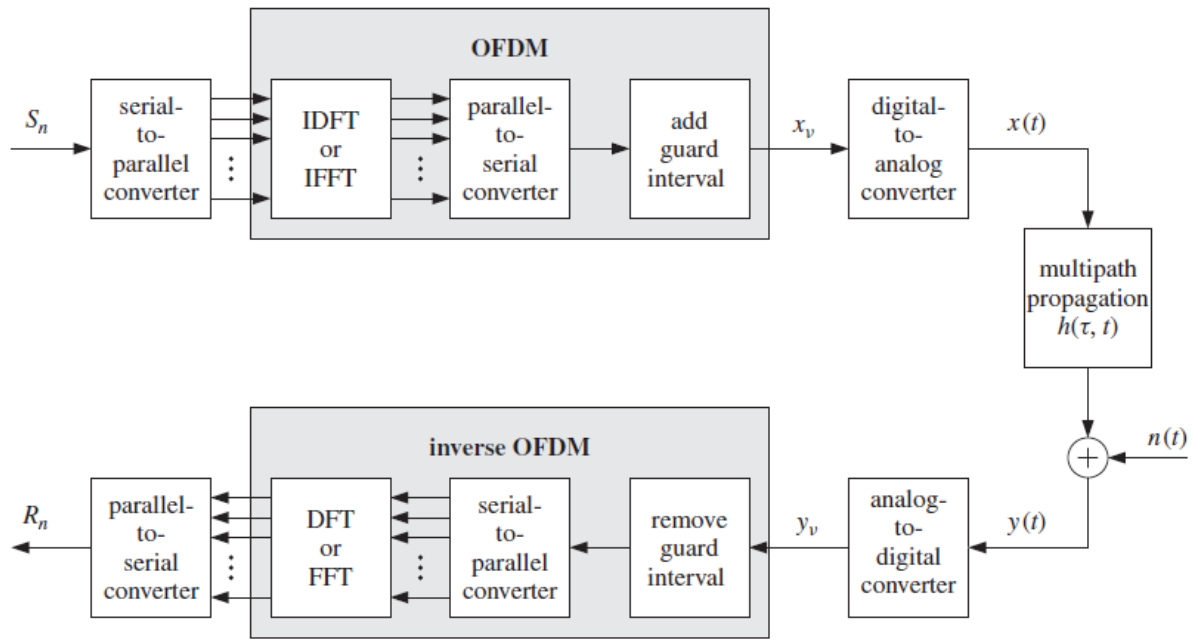


Figura 2.5 - Fluxo de sinais de um sistema digital multi-portadora utilizando OFDM.

A figura 2.5 mostra o fluxo de tratamento do sinal nos diversos blocos que compõem um sistema de transmissão e recepção baseado em OFDM. O fluxo se inicia com a conversão serial-paralela do sinal S_n para tratamento individual de cada uma das subportadoras pelo bloco que executa a operação de transformada rápida de Fourier inversa (IFFT, do inglês Inverse Fast Fourier Transform). Uma vez processados, os sinais passam por uma nova conversão, desta vez, paralela-serial de forma que possam ser transmitidos. Antes da conversão analógico-digital, é inserido um intervalo de guarda, conforme mostra a figura 2.6. Após a analógico-digital o sinal é transmitido e os efeitos da propagação multipercurso $h(\tau, t)$ e do ruído $n(t)$ do canal são computadas. O sinal $y(t)$ recebido passa então por operações inversas às utilizadas durante a transmissão e o sinal de saída é denotado por R_n .

Quando o número de sub-portadoras aumenta, a duração de cada um dos símbolos OFDM T_s se torna grande quando comparada com a duração da resposta impulsiva do canal, denotada por τ_{max} , reduzindo com isto o efeito da interferência intersimbólica. Com o intuito de eliminar completamente os efeitos da interferência intersimbólica, assegurar a ortogonalidade dos sinais de cada uma das sub-portadoras e também evitar efeitos de

interferência entre canais adjacentes, é utilizado um mecanismo de inserção de intervalos de guarda entre cada um dos símbolos OFDM adjacentes, denotados por

$$T_g = \tau_{max} \quad (2.4)$$

Conforme mostra a figura 2.6, o intervalo de guarda é construído através de uma extensão cíclica de cada um dos símbolos OFDM e é obtido através da extensão de cada um destes símbolos através de

$$T'_s = T_g + T_s. \quad (2.5)$$

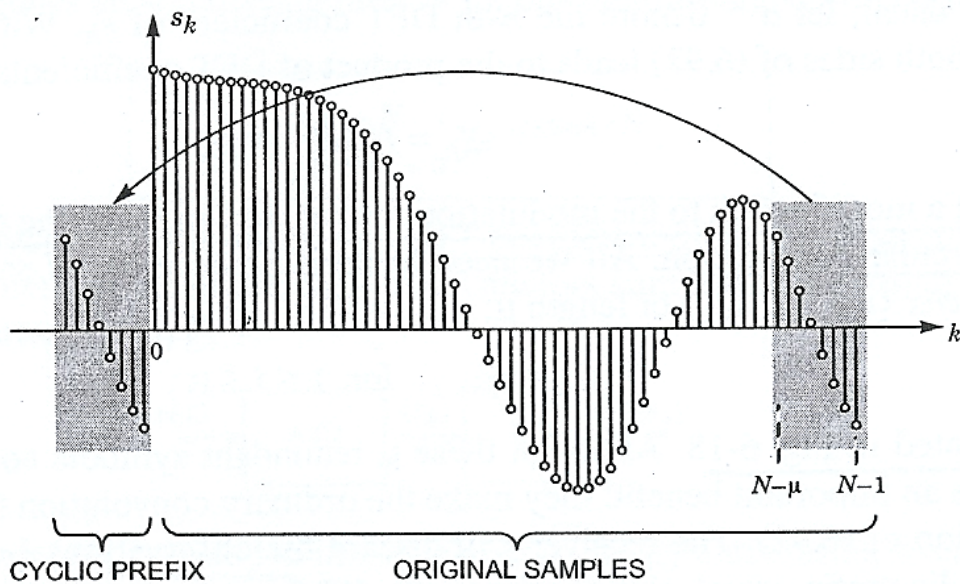


Figura 2.6 - Representação da adição de um intervalo de guarda.

O comprimento discreto no intervalo de guarda é dado por

$$L_g \geq \left\lceil \frac{\tau_{max} N_c}{T_s} \right\rceil \quad (2.6)$$

amostras de forma que seja possível prevenir a interferência intersimbólica. A sequência amostrada, já incluindo o intervalo de guarda é dado por

$$x_v = \frac{1}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} S_n e^{j2\pi n v / N_c}, \quad v = -L_g, \dots, N_c - 1. \quad (2.7)$$

Esta sequencia é passada para um conversor digital-analógico que possuiria como saída ideal, o sinal $x(t)$ com comprimento aumentado de T'_s conforme mostra a Equação 2.5.

O sinal recebido no receptor proveniente do canal é denotado por $y(t)$ e representa a operação de convolução entre o sinal original $x(t)$ e a resposta impulsiva do canal $h(\tau, t)$ somados com um sinal de ruído $n(t)$, conforme a representação que segue

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t - \tau)h(t, \tau)d\tau + n(t). \quad (2.8)$$

Este sinal recebido $y(t)$ passa através de um conversor analógico-digital, o qual produz uma sequencia y_v , $v = -L_g, \dots, N_c - 1$, que é a representação da amostragem do sinal $y(t)$ a uma frequência de amostragem $1/T_d$. Uma vez que a interferência intersimbólica está presente apenas no intervalo de guarda de tamanho L_g , então o prefixo cíclico é descartado antes da demodulação. O restante das amostras é demodulada utilizando se a transformada rápida de Fourier (FFT). A saída obtida é a sequencia demodulada denotada por R_n , $n = 0, \dots, N_c - 1$ consistindo de N_c símbolos.

$$R_n = \sum_{v=0}^{N_c-1} y_v e^{-j2\pi n v/N_c}, \quad n = 0, \dots, N_c - 1. \quad (2.9)$$

Uma vez que este sinal encontra-se livre dos efeitos da interferência de canal adjacente em função da utilização dos intervalos de guarda, cada um dos sub-canais pode ser avaliado de forma independente. Assumindo ainda que os efeitos de desvanecimento são planos e que não existem mais os efeitos da interferência intersimbólica, o sinal recebido R_n é obtido da sua representação no domínio frequência dada por

$$R_n = H_n S_n + N_n, \quad n = 0, \dots, N_c - 1. \quad (2.10)$$

onde H_n denota o fator de desvanecimento e N_n representa o ruído do n -ésimo sub-canal. Neste caso, a variância do ruído é dada por

$$\sigma^2 = E\{|N_n|^2\}. \quad (2.11)$$

Quando todos os efeitos de interferência são descartados, demonstra-se que o sistema pode ser modelado como um sistema de transmissão com um conjunto N_c de canais paralelos gaussianos e com atenuações variáveis denotadas por H_n .

2.1.2 Duplexação FDD x TDD

A duplexação estipula a forma com que o acesso é distribuído entre as estações que estão compartilhando o espectro de radiofrequência.

Se a comunicação tem somente um sentido, por exemplo, na difusão de um sinal de televisão, a comunicação é chamada simplex. Neste tipo de comunicação existe um transmissor e um receptor, não existindo um canal de retorno.

Quando a comunicação acontece nos dois sentidos, em sistemas como o WiMAX por exemplo, a conexão é denominada duplex. Neste caso existe a necessidade de compartilhamento do meio de forma que a comunicação possa se estabelecer nos dois sentidos.

Esta duplexação pode ser obtida através de duas técnicas tradicionalmente utilizadas, a primeira é chamada de duplexação por divisão de frequência (FDD, do inglês Frequency Division Duplexing) e utiliza uma faixa de frequência para transmissão proveniente da base e outra faixa distinta para transmissão do assinante.

A outra técnica, de maior interesse, pois é empregada nos sistemas WiMAX de menor custo, é denominada duplexação por divisão de tempo. Neste caso, em uma mesma faixa de frequência, tanto a base quanto o assinante transmitem, porém em tempos distintos.

Por utilizar um esquema de divisão temporal, deve existir um rígido esquema de sincronismo, uma vez que o sistema não deve permitir a ocupação simultânea do canal. Por

questões ligadas à interferência e atraso de propagação, este esquema de duplexação normalmente é utilizado em sistemas de curto alcance (da ordem de 7 a 10 km) e se mostra adequado ao alcance necessário aos sistemas de rede metropolitana sem fio.

A figura 2.7, mostra os esquemas de duplexação FDD e TDD. No primeiro caso, são alocados 2 canais e cada um destes canais é utilizado para um sentido de transmissão. Já no segundo caso, é mostrado que um mesmo canal é utilizado em um sentido em um determinado instante de tempo e em outro sentido no instante seguinte através da divisão do tempo disponível através do conceito de ‘slots temporais’.

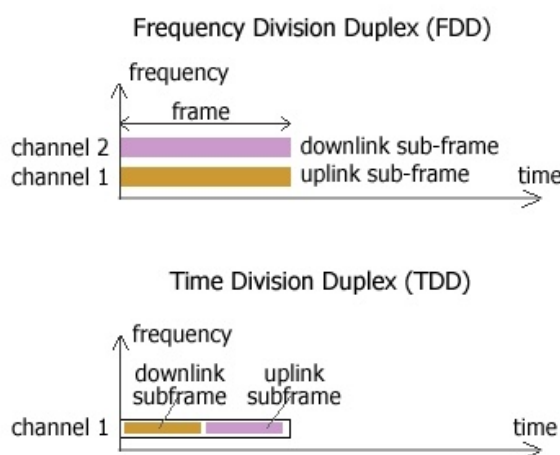


Figura 2.7 - Comparativo dos sistemas de duplexação

2.1.3 Técnicas de modulação adaptativa e codificação

A capacidade de alterar dinamicamente entre os vários esquemas de modulação definidos pelo padrão é outra característica fundamental da camada física definida pelo padrão IEEE 802.16. Basicamente, a definição da modulação a ser adotada é realizada pelo requisito de taxa de transferência do usuário e pela relação sinal-ruído (RSR) do enlace. Condições de propagação severas ou enlaces muito longos requerem esquemas de modulação de menos níveis e, portanto mais robustos. Neste caso, em detrimento de taxa de transmissão, é garantida uma comunicação estável a taxas mais baixas. Os esquemas de modulação BPSK

(do inglês, Binary Phase-Shift Keying) ou QPSK (do inglês, Quadrature Phase-Shift Keying) são utilizados tipicamente nos primeiros níveis de modulação adaptativa.

Quando altas taxas são necessárias e as condições de propagação são favoráveis, usualmente em enlaces de curta e média distância, esquemas de modulação de alta eficiência espectral são empregados de forma a garantir taxas elevadas de transmissão. Nessas circunstâncias, modulações 16-QAM (do inglês, Quadrature Amplitude Modulation) e 64-QAM são empregadas.[4]

O diferencial de sistemas que utilizam modulação adaptativa é que ela aumenta a faixa na qual uma modulação de mais alta ordem pode atuar, uma vez que é feita adaptação conforme distância e condições de desvanecimento (particularmente crítico em ambientes NLOS), ao invés de – como nos sistemas tradicionais – manter um esquema de modulação fixo, eficiente para as piores condições, porém, com taxas menores de transmissão.

2.2 A Camada Física do padrão IEEE 802.11a

O estudo de caso realizado neste trabalho e descrito no Capítulo 4 utiliza equipamentos que não seguem estritamente o padrão IEEE 802.16, e possui características que mais se aproximam do padrão IEEE 802.11a. Nesta seção procura-se descrever as características físicas do padrão IEEE 802.11a utilizado de forma mais usual em redes locais sem fio.

O padrão IEEE 802.11a estabelece a utilização da frequência de 5 GHz como frequência da portadora. No entorno desta portadora, são definidas 3 bandas não licenciadas possíveis:

- 5.15 – 5.25 GHz (4 canais de 20 MHz e limitação de potência de 40mW)
- 5.25 – 5.35 GHz (4 canais de 20 MHz e limitação de potência de 200mW)
- 5.725 – 5.825 GHz (4 canais de 20 MHz e limitação de potência de 800mW)

A modulação é do tipo OFDM e realizada através de 52 subportadoras. Destas, 48 transportam dados e 4 são utilizadas como piloto. A implementação do OFDM é feita através de 64 níveis de IFFT/FFT (algoritmos de transformada rápida de Fourier). Utiliza ainda 16 prefixos cíclicos como intervalo de guarda.

Cada uma das subportadoras pode utilizar constelações do tipo BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM conforme mostrado na seção 2.1.3. As taxas de transmissão efetiva de dados podem atingir os níveis de 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mbps, variando de forma adaptativa conforme as características do meio de transmissão.

O padrão utiliza ainda um esquema de correção de erros baseado em códigos convolucionais com o intuito de evitar que os efeitos de desvanecimento do canal elevem as taxas de erros de bit para níveis inaceitáveis.

Mais detalhes sobre os esquemas utilizados na solução de conectividade da Alvarion são apresentados na seção 4.2 que descreve as características dos equipamentos BreezeAccess VL.

2.3 Antenas

O suporte a sistemas avançados de antenas é um dos fundamentos do sistema WiMAX. Os sistemas de rádio são preparados para o desenvolvimento de técnicas sofisticadas, com o uso de múltiplas antenas, codificação e multiplexação espacial dentre outras técnicas.

Os sistemas de antenas adaptativas (AAS, do inglês Adaptive Antenna System) são apresentados na especificação do IEEE 802.16 para descrever as técnicas de conformação de feixe (beam-forming) nas quais um arranjo de antenas é usada na estação rádio-base com o objetivo de aumentar o ganho na direção de um determinado usuário, e anular – ou minimizar ao máximo – a interferência de, e para, outros usuários bem como outras fontes e destinos de interferência. As técnicas AAS são usadas para possibilitar o uso de sistemas de múltiplo

acesso por divisão espacial (SDMA, do inglês Spatial Division Multiple Access), de forma que múltiplos usuários, separados no espaço, podem transmitir e receber no mesmo subcanal, ao mesmo tempo. Pelo uso de conformação de feixe, a estação rádio-base tem a habilidade de direcionar o sinal desejado para os diferentes usuários, bem como distinguir entre os sinais oriundos de outros usuários, ainda que estejam operando nos mesmos subcanais.[4]

Em linhas gerais, os sistemas de antenas adaptativas ajustam-se de forma a atender um determinado critério de desempenho pré-estabelecido, como por exemplo, a maximização da relação sinal ruído.

A figura 2.8 mostra as etapas de processamento do sinal percorridas antes da transmissão e após a recepção. É importante notar os blocos de codificação e decodificação que visam tornar possíveis a recomposição e a diferenciação dos sinais de interesse daqueles que por algum motivo foram corrompidos durante o percurso por ação de interferências ou ruído. Por fim, mostra-se ainda as etapas de modulação e demodulação, os amplificadores e antenas.

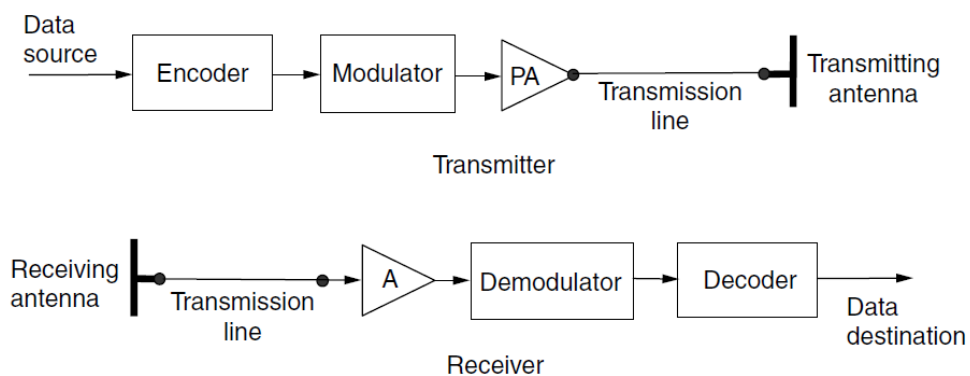


Figura 2.8 - Diagrama de blocos de um sistema mostrando origem e destino dos dados.

Tradicionalmente, os sistemas de microondas mantêm as antenas localizadas no topo de uma torre e separadas do transmissor, que normalmente encontra-se situado um pouco abaixo ou mesmo na base da torre. Nesta configuração, utiliza-se um cabo de transmissão ou em algumas situações um guia de ondas para confinar as ondas de RF entre o transmissor e a antena. Estes cabos, guias de ondas e conectores inserem perdas no percurso, reduzindo assim

a capacidade do sistema. Em função destes aspectos, muitos dos sistemas mais modernos trazem a antena diretamente integrada ao invólucro do sistema de rádio, eliminando assim as perdas associadas.

Parâmetros como a diretividade, o ganho e os padrões de irradiação são essenciais para a avaliação e a escolha de antenas e são formalizados na sequência deste capítulo.

2.3.1 Diretividade e Ganho

A diretividade de uma antena é de particular interesse para sistemas de comunicação sem fio. Não só este parâmetro é utilizado para determinar a potência irradiada em uma determinada direção como também determina a habilidade do sistema em rejeitar sinais indesejados provenientes de outras direções. O conceito de diretividade pode ser observado na figura 2.9. O formato esférico do primeiro padrão mostra a irradiação em todas as direções provenientes de uma antena isotrópica.

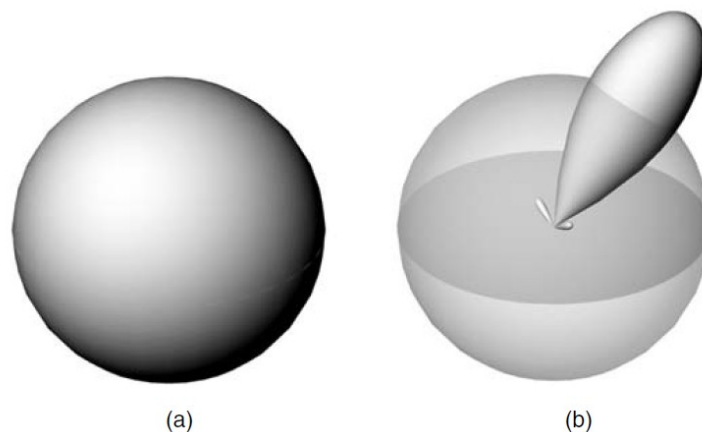


Figura 2.9 - Irradiação de uma antena isotrópica vs. antena direcional.

A figura 2.9(b) mostra uma antena que possui diretividade. Considerando a geometria da esfera, o ângulo sólido pode ser determinado através de $d\Omega = d\theta * d\varphi * \sin \theta$. Através da integração ao longo de θ e φ pode ser obtido o ângulo sólido total.

$$\int \int d\Omega = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi \sin \theta d\theta = 4\pi \text{ [str]} \quad (2.12)$$

Se $P(\theta, \phi)$ representa a potência irradiada por unidade de ângulo sólido na direção θ, ϕ , ou seja, na direção de elevação θ e de azimute ϕ , então a diretividade pode ser representada através da razão entre a potência por unidade de ângulo na direção θ, ϕ e a potência média unitária.

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{P_{med}} = \frac{P(\theta, \phi)}{P_{total}/4\pi} = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_{total}} \quad (2.13)$$

Pode-se ainda representar a diretividade máxima da antena através de $D_m = P_{max}/P_{med}$, onde P_{max} representa a máxima radiação de potência por unidade de ângulo sólido. Como consequência das deduções acima, temos que a diretividade da antena isotrópica é unitária.

O ganho de uma antena $G(\theta, \phi)$ está intimamente relacionado ao conceito de diretividade, porém leva em consideração as perdas na antena. Se uma antena é considerada sem perdas, então $G(\theta, \phi) = D(\theta, \phi)$. De forma mais geral, o ganho é expresso em termos da razão entre a densidade de potência direcional em uma determinada direção pela potência de entrada normalizada.

$$G(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{(P_{in}/4\pi)} \quad (2.14)$$

onde P_{in} representa a potência de entrada na antena. O ganho é a unidade mais utilizada para descrição de uma antena e usualmente é expresso em dB.

$$G(\theta, \phi) = 10 \log \left(\frac{P(\theta, \phi)}{P_{med}} \right) \text{ dB} \quad (2.15)$$

Outro aspecto importante que deve ser considerado é que o ganho da antena normalmente é comparado com o máximo ganho, uma vez que isto permite estabelecer se, utilizando o máximo ganho, será possível alcançar os níveis adequados de sinal para o

estabelecimento do enlace. Para sistemas fixos, o ganho é normalmente expresso em dBi, ou seja, é referenciado ao radiador isotrópico.

2.3.2 Padrões de irradiação

Depois do ganho, o padrão mais importante que determina o comportamento de uma determinada antena é o padrão de irradiação. Este parâmetro representa a magnitude normalizada do campo elétrico presente em uma determinada região distante r como uma função dos ângulos de elevação θ e azimute ϕ . O campo elétrico pode ser relacionado à densidade de potencia irradiada S através de:

$$S = \frac{|E|^2}{Z_0} \text{ W/m}^2 \quad (2.16)$$

onde Z_0 denota a impedância intrínseca do meio.

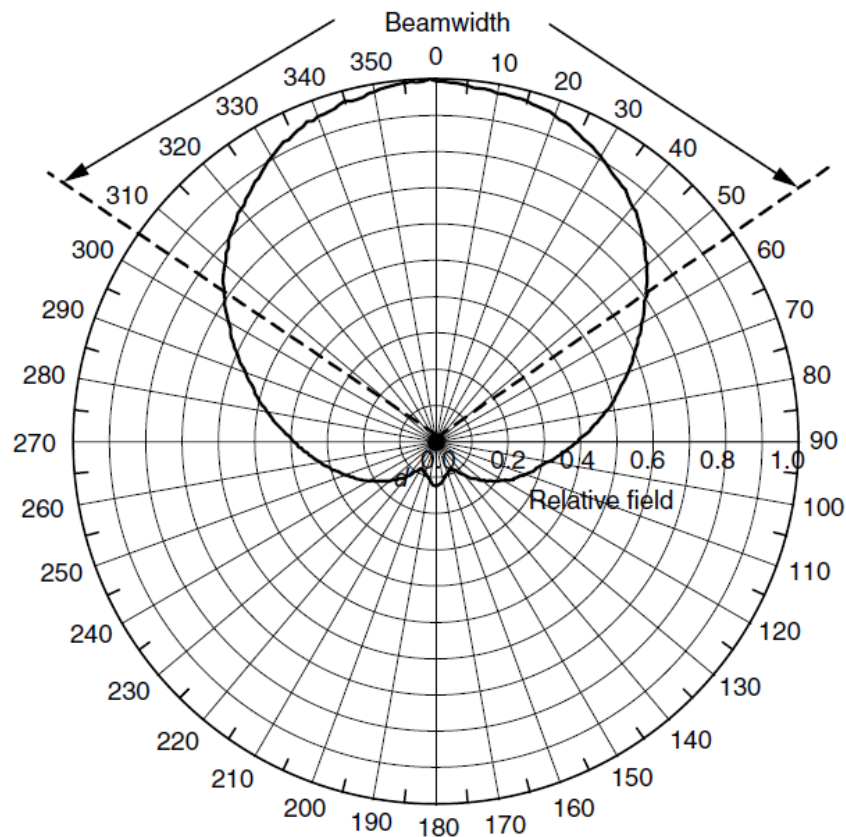


Figura 2.10 - Exemplo de um diagrama de irradiação horizontal.

A figura 2.10 mostra um diagrama de irradiação típico de uma antena setorial utilizado em sistemas de comunicação sem fio. Para fins práticos, os projetos costumam focar os pontos de cruzamento com a intensidade relativa de 0,707, ou seja, o ponto a partir do qual a intensidade cai pela metade (-3dB). No exemplo acima, teremos uma abertura útil da ordem de 110°.

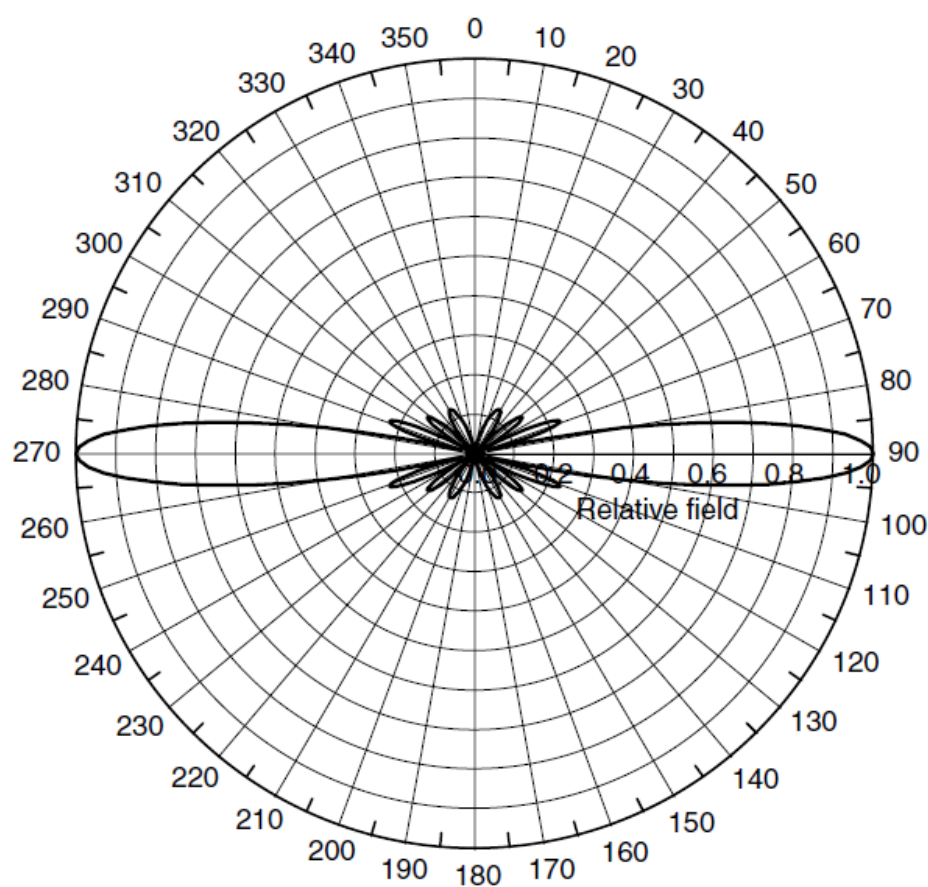


Figura 2.11 - Exemplo de um diagrama de irradiação vertical.

Assim com o diagrama horizontal, o diagrama de irradiação vertical, mostrado na figura 2.11, permite uma boa estimativa sobre como deve ser orientada uma antena em função das características de cobertura que se deseja alcançar.

Neste caso, os pontos de cruzamento com a intensidade relativa de 0,707 (ângulo de -3dB), situa-se em torno de 6°.

3 O ESTUDO DO ENLACE

3.1 Características do canal

Uma das condições mais importantes dos sistemas de comunicação de banda larga sem fio é o meio de propagação. Em sistemas de comunicação com fio, a transmissão é feita utilizando-se um meio físico, como um cabeamento metálico ou de fibra óptica que é responsável por guiar o sinal entre o transmissor e o receptor. Nos sistemas sem fio, métodos complexos e avançados são os responsáveis por garantir que a comunicação seja possível. Obstruções de diversos tamanhos, ondulações no terreno, movimentos relativos entre o transmissor e o receptor, interferências causadas por outros sistemas, ruídos e diversos outros fatores são responsáveis pelo enfraquecimento, atrasos e distorções dos sinais, de forma não previsível e variável com o tempo.

A figura 3.1 mostra o diagrama de blocos que processam a informação desde a origem até o destino. Destaca-se neste caso, os efeitos não determinísticos causados pela interferência e o ruído.

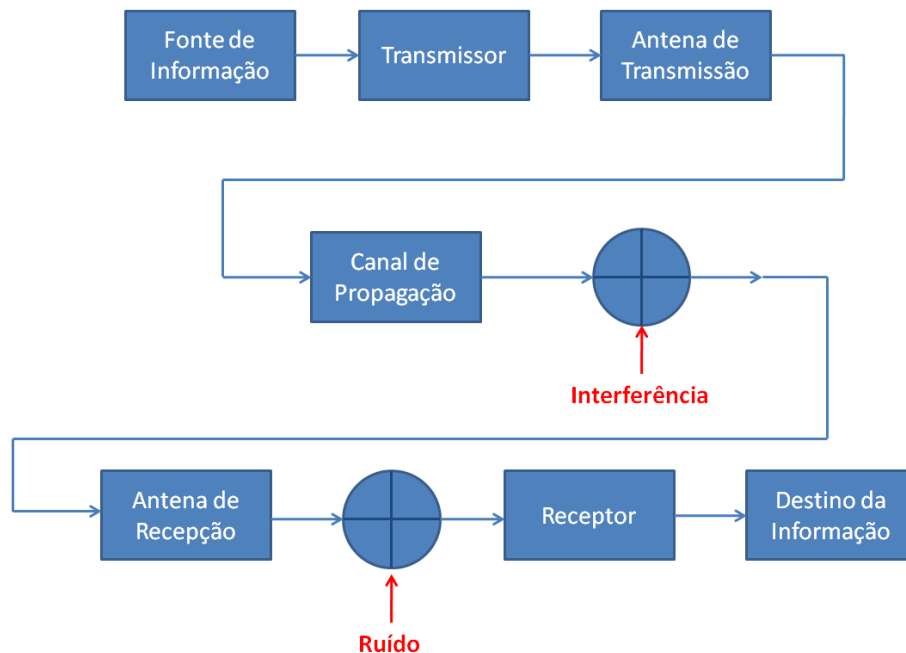


Figura 3.1 - Diagrama de blocos de um sistema básico de comunicação sem fio.

Portanto, torna-se um desafio o estabelecimento de enlaces sob tais condições. Segue-se abaixo com a descrição das principais características que devem ser analisadas no projeto de um enlace de radiofrequência.[5]

3.2 Condições de visada

A condição de visada refere-se à característica de haver algum tipo de obstrução física parcial ou total entre as duas pontas do enlace sem fio.

Uma comunicação entre transmissor e receptor em um enlace sem fio tem melhor desempenho quando há visada direta entre as antenas dos dois lados. Por esse motivo, elas devem estar posicionadas nos lugares mais altos (normalmente topos dos prédios) e livres de obstáculos para que não ocorram fatores como a reflexão, difração e espalhamento do sinal.

A figura 3.2 mostra a condição ideal para o estabelecimento de um enlace sem fio, sem a presença de qualquer obstáculo que possa causar degradação dos sinais transmitidos por ambas as antenas.

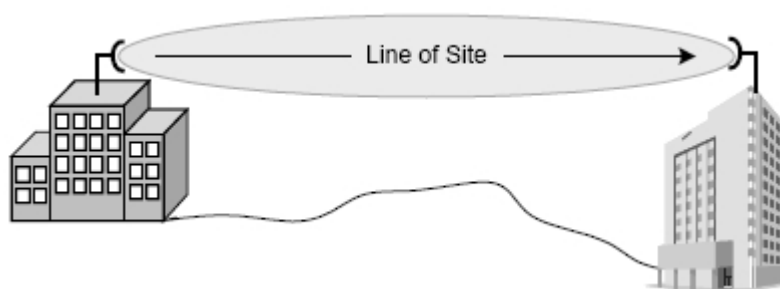


Figura 3.2 - Representação da condição de visada.

A obstrução causa atenuação ou até mesmo a interrupção total na propagação do sinal. As modernas técnicas de modulação como o OFDM, permitem o estabelecimento de enlaces sem condições de visada direta, através da reflexão dos sinais, porém em enlaces de curtas distâncias (tipicamente de até 2 km) e em situações muito específicas, onde exista condições favoráveis de reflexão, como prédios ou superfícies espelhadas, por exemplo.

3.3 Zona de Fresnel

A Zona de Fresnel pode ser definida como uma série de elipses concêntricas em torno da linha de visada. Ela é importante para a integridade do enlace porque determina uma área em torno da linha de visada que pode introduzir interferência no sinal caso ele seja parcialmente bloqueado.

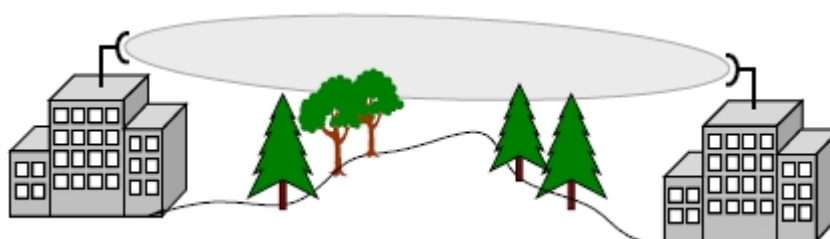


Figura 3.3 - Representação da zona de Fresnel.

Como pode ser observado na figura 3.3, objetos na Zona de Fresnel tais como árvores, prédios entre outros, podem produzir reflexão, difração, absorção ou espalhamento do sinal, causando degradação ou perda completa do sinal.

Levando em conta a importância de uma Zona de Fresnel desobstruída, é importante quantificar até que grau a zona de Fresnel pode ser bloqueada sem que haja perda completa do sinal. Normalmente um bloqueio em torno de 20% introduz muito pouca ou nenhuma interferência no link.

Se a zona de Fresnel do link proposto é bloqueada em mais de 20%, elevar as antenas minimizará o problema.

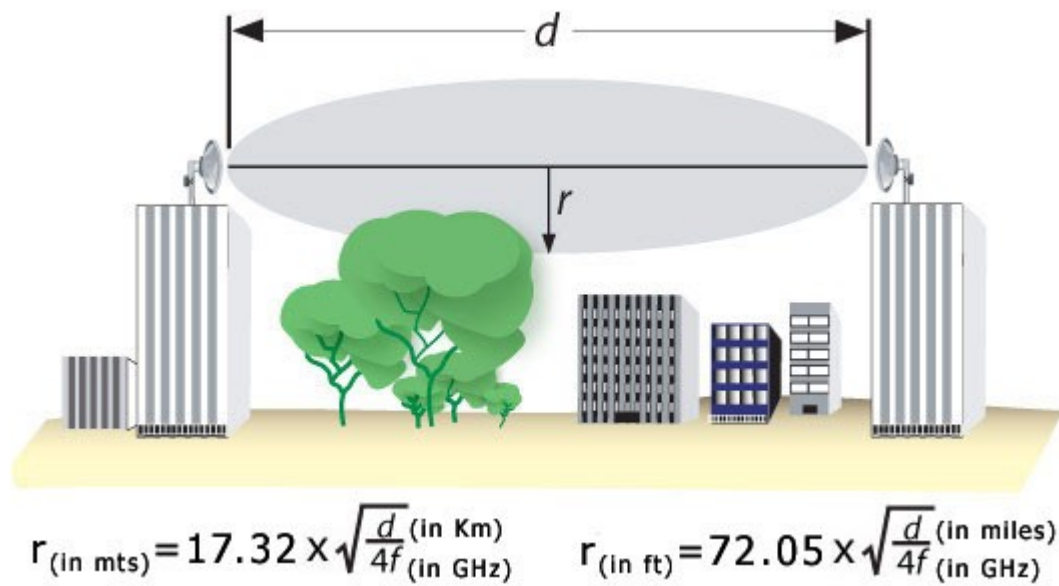


Figura 3.4 - Representação do raio e distâncias de Fresnel.

A figura 3.4 apresenta o elipsoide da primeira zona de Fresnel e as fórmulas utilizadas para o cálculo do raio na distância média do enlace.

A tabela 3.1 mostra os raios da primeira Zona de Fresnel na metade da distância entre as duas antenas de enlaces típicos em redes metropolitanas:

Tabela 3.1 - Raios da primeira zona de Fresnel em função da distância.

Distância	Raio
1 km	3,60 m
2 km	5,09 m
3 km	6,23 m
4 km	7,19 m
5 km	8,04 m
6 km	8,81 m
7 km	9,51 m
8 km	10,17 m
9 km	10,79 m
10 km	11,37 m
15 km	13,93 m
20 km	16,08 m
25 km	17,98 m
30 km	19,70 m
40 km	22,74 m

3.3.1 Determinação do Link Budget [8,9]

O processo de determinação do link budget passa por um estudo do balanço entre as perdas e os ganhos de potência inseridos pelos diversos componentes de um sistema de comunicação sem fio. O link budget leva em conta os efeitos do comportamento dos transmissores e receptores, interferências, ruído, atenuação e desvanecimento do sinal. A tabela abaixo procura estabelecer os principais componentes do link budget do enlace em questão.

A tabela 3.2 mostra os cálculos do link budget que será utilizado na seção 4.3.3. Nesta seção, cada um dos componentes é explicado detalhadamente. Os cálculos aqui realizados serão aplicados no estudo de caso que será descrito no capítulo 4.

Tabela 3.2 - Componentes do link budget para o enlace do estudo de caso

Linha	Símbolo	Descrição	Notas
1	P_{tx}	Potência do transmissor (dBm)	
2	L_{conc}	Perda nos conectores (dB)	
3	L_{cable}	Perda no cabo de transmissão (dB)	
4	G_{tx}	Ganho da antena do transmissor (dBi)	
5	D	Distância (km)	
6	f	Frequência (GHz)	
7	P_{ir}	Potência Irradiador Intencional (dBm)	#1-#2-#3
8	EIRP	EIRP do transmissor (dBm)	#1+#4-#2-#3
9	L_p	Perda no percurso (dB)	Espaço Livre
10	G_{rx}	Ganho da Antena do Receptor (dBi)	
11	P_{rx}	Potência recebida (dBm)	#8-#9+#10
12	R_b	Data Rate (dB-bit/s)	
13	E_b	Energia de Bit (dB-Joules)	#11-#12
14	N_0	Densidade Espectral de Ruído (dBm/Hz)	
15	W	Banda (dB-Hz)	
16	F	Figura de Ruído (dB)	
17	N	Potência de Ruído (dBm)	#14+#15+#16
18	M_I	Margem de Interferência (dB)	
19	X_{σ}	Margem de sombreamento (dB)	
20	I	Potência de Interferência + Ruído (dBm)	#17+#18+#19
21	(SINR)_{rx}	Relação Sinal-Ruído recebida (dB)	#11-#14-#16-#18-#12

Segue-se com a descrição detalhada de cada um dos componentes listados na tabela 3.2.

1. Potência do Transmissor: Denotado pelo símbolo P_{tx} , representa a média temporal de potência na saída do transmissor. Por convenção, os níveis de potência são representados em

dB relativos à 1mW e expressos em dBm. Normalmente os rádios são configurados para a potência máxima projetada de forma a não exceder os níveis estipulados pela legislação (ver Anexo I, Resolução 506/2008 da ANATEL). Em alguns casos existem mecanismos de ajuste automático de potência que regulam dinamicamente esta potência, conservando uma reserva de potência para os casos de aumento na atenuação do canal por incidência de chuvas ou interferências provenientes de outros enlaces.

2. Perda nos Conectores: Denotado pelo símbolo L_{conc} , representa perdas típicas inseridas pelo uso dos conectores do cabo que interliga o rádio a antena. Expressos em dB, os valores típicos informados pelos fabricantes são da ordem de 1dB.

3. Perda no cabo de transmissão: Expresso por L_{cable} , representa a perda inserida pelo cabo de conexão entre o rádio e a antena. Esta perda depende do tipo de cabo utilizado, é expressa em dB/m e pode ser encontrada nos manuais técnicos fornecidos pelo fabricante dos cabos.

4. Ganho da antena do transmissor: Este valor expressa o ganho inserido pela antena utilizada. No caso das estações base, é determinado conforme o modelo utilizado, onde se define a área de abrangência do setor. Nas estações de assinante, o ganho utilizado é o da antena integrada ao rádio do assinante. Os valores de G_{tx} são expressos em dBi.

5. Distância: Expressa a distância entre as antenas de transmissão e recepção que constituem o enlace. Em função das distâncias típicas que compõem os enlaces, os valores de D são expressos em km.

6. Frequência: Expressa a frequência de operação do enlace. Para as formulas descritas neste trabalho, a frequência f é expressa em GHz.

7. Potência do Irradiador Intencional: Refere-se à potência ao final do último conector antes da antena de transmissão.

8. Potência Efetivamente Irrradiada (EIRP): Valor controlado pelos órgãos regulamentadores, expressa o valor efetivamente irradiado na interface com o ar. No Brasil, a ANATEL estipula que este valor não deve superar 27 dBm para canais de 10 MHz e 30 dBm para canais de 20 MHz, conforme a Seção X da Resolução 506/2008 apresentada no Anexo I.

9. Perda no Percorso: Neste caso, foi utilizado o modelo de atenuação no espaço livre. Por tratar-se de uma instalação fixa e analisando as condições em que o enlace encontra-se instalado, tem-se visada direta entre as antenas e uma distância de 3285 metros. Para esta distância, por experiência prática da equipe da PROCERGS, tem-se baixa influência de efeitos como chuvas e ventos que poderiam causar um desvanecimento variável no canal, o que forçaria a adoção de modelos mais complexos de atenuação. Este valor expressa a atenuação estimada no espaço que compreende as duas antenas que compõem o enlace. Dependente da frequência (comprimento de onda) e da distância entre as antenas determina-se que:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (3.1)$$

ou

$$L_p = 20,98 + 20 \log \left(\frac{d}{\lambda} \right) \quad (3.2)$$

substituindo λ por f expresso em gigahertz (GHz) e a distância em km teremos:

$$L_p = 92,45 + 20 \log(D_{km}) + 20 \log(f_{GHz}) \quad (3.3)$$

10. Ganho da antena do receptor: Este valor expressa o ganho inserido pela antena utilizada. No caso das SUs (do inglês, Subscriber Unit), este valor é fixo. Os valores de G_{rx} são expressos em dBi.

11. Potência Recebida: Valor efetivamente recebido no receptor. Depende dos parâmetros ajustados no transmissor, da distância, da frequência de operação entre outros fatores.

12. Data Rate: Taxa de transmissão de dados no ar, definida em função da modulação utilizada. Para fins de cálculo, utilizaram-se os seguintes valores: [8]

Tabela 3.3 - Valores de Data Rate utilizados

<i>Mode p</i>	<i>Modulation</i>	<i>Code Rate R_c</i>	<i>Data Rate</i>	<i>BpS</i>	<i>Mode p</i>	<i>Modulation</i>	<i>Code Rate R_c</i>	<i>Data Rate</i>	<i>BpS</i>
1	BPSK	1/2	6 Mbps	3	5	16-QAM	1/2	24 Mbps	12
2	BPSK	3/4	9 Mbps	4.5	6	16-QAM	3/4	36 Mbps	18
3	QPSK	1/2	12 Mbps	6	7	64-QAM	2/3	48 Mbps	24
4	QPSK	3/4	18 Mbps	9	8	64-QAM	3/4	54 Mbps	27

13. Energia de Bit: Expressa a razão entre a potência recebida e o data rate utilizado.

$$CNR = \frac{E_b f_b}{N_0 B} \quad (3.4)$$

onde CNR expressa a relação portadora-ruído (CNR, do inglês, Carrier-to-Noise Ratio), ou seja, a relação sinal-ruído após o filtro do receptor mas antes do processo de recepção. O valor de f_b expressa o Data Rate, dado pelos valores da tabela 3.3 e B é a largura de banda do canal.

14. Densidade Espectral de Ruído: Modela o ruído aditivo gaussiano branco (AWGN, do inglês Additive White Gaussian Noise). Determinado em função da constante de Boltzmann e da temperatura em graus Kelvin. Assume neste caso, o valor de -174 dBm/Hz.

15. Banda: A banda expressa a faixa de frequências utilizadas pela portadora modulada de um sistema de comunicação. Neste caso, o enlace foi configurado para largura de banda de 10MHz, o que leva a um valor de 70 dB-Hz ($10\log(10\text{MHz})$).

16. Figura de Ruído: Expressa o ruído inserido pelo amplificador utilizado no receptor. Assumido o valor de 5dB neste caso. [10]

17. Potência de Ruído: A potência do ruído no receptor é expressa pela soma dos valores da densidade espectral de ruído (N_0), da Banda (W) e da Figura de Ruído (F).

18. Margem de Interferência: Assumido um valor de 3dB para o cômputo dos efeitos de interferência co-canal e de intermodulação.[10]

19. Margem de sombreamento: Assumido neste caso a margem de sombreamento 0 dB em função de termos condição excelente de visada e desobstrução completa do enlace.

20. Potência de Interferência + Ruído: Expressa o valor total da Potência de Ruído somada com a Margem de Interferência estimada.

21. Relação Sinal-Ruído recebida: Expressa a razão entre a potência de sinal recebida e a potência de ruído recebida.

4 ESTUDO DE CASO [6,7]

4.1 A solução de conectividade metropolitana PROCERGS

A Rede MetroMAX, nome comercial da solução de conectividade metropolitana da PROCERGS, é uma rede sem fio baseada em uma tecnologia pré-WiMAX proprietária que será descrita na seção 4.1.1. Esta rede, foi implantada e é gerenciada integralmente pela PROCERGS, que oferece aos seus clientes enlaces sem fio para a interligação de redes locais e transmissão de dados digitais em protocolo TCP/IP (do inglês, Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

A Rede MetroMAX entrou em operação em dezembro de 2005 com um enlace piloto de 3 Mbps com o Hospital de Pronto Socorro de Canoas. Hoje esta rede encontra-se com mais de 50 clientes ativos. Dentre estes, são atendidos principalmente os serviços de segurança pública, tais como delegacias de polícia, postos da brigada militar e outros órgãos e secretarias de governo. Os enlaces são tipicamente configurados com taxas de até 2 Mbps, sendo que na maioria dos casos são de até 512 Kbps.

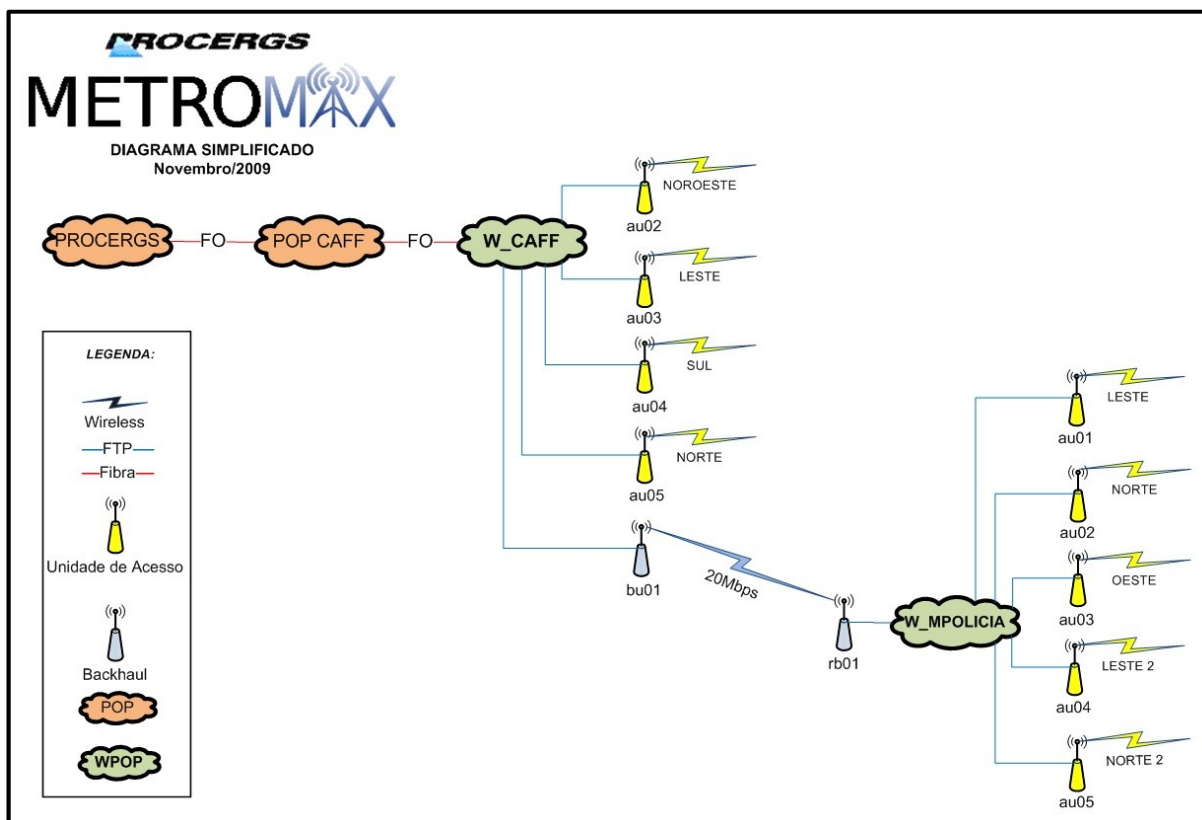


Figura 4.1 - Diagrama simplificado do sistema MetroMAX.

A figura 4.1 mostra um diagrama simplificado da rede MetroMAX onde as conexões são centralizadas no prédio sede da PROCERGS. Neste caso, as nuvens em cor laranja exibem os pontos com conectividade física através de fibra óptica. As nuvens em verde mostram pontos de distribuição do acesso sem fio através das unidades de acesso. As torres em amarelo constituem setores atendidos por cada uma das unidades de acesso. Cada uma destas unidades de acesso permite a criação de regiões de cobertura definidas por suas antenas setoriais e constituem os pontos centrais dos enlaces ponto-multiponto. As torres em azul demonstram um enlace ponto-a-ponto de 20Mbps responsável pela interligação entre o Centro Administrativo Fernando Ferrari (CAFF) e o Morro da Polícia.

Com cobertura focada na região metropolitana de Porto Alegre, o objetivo em curto prazo é que se viabilize a migração de todos os clientes que hoje se conectam através de contratos onerosos de locação de enlaces de operadoras. Para um estudo de caso realizado recentemente

para uma de nossos clientes estratégicos, a redução de custos foi da ordem de 50% e o aumento da capacidade média dos canais, da ordem de 100%.

Atualmente a rede MetroMAX é construída utilizando um conjunto de equipamentos fornecidos pelo fabricante Alvarion (ver Anexo II – BreezeAccess VL Datasheet). Cada um destes equipamentos desempenha funções específicas no sistema. Dentre estes, encontram-se abaixo destacados os principais componentes da solução, a unidade de acesso (AU, do inglês Access Unit), a unidade do assinante (SU, do inglês Subscriber Unit) e as antenas utilizadas pelo sistema.

4.1.1 Introdução ao sistema Alvarion BreezeAccess VL

O sistema BreezeAccess é um sistema de banda larga sem fio orientado a IP que emprega a tecnologia de troca de pacotes para estabelecer enlaces de conectividade com a Internet e a interligação de pontos através de redes privadas virtuais (VPN, do inglês Virtual Private networks).

A tecnologia empregada permite a criação de células e setores que podem variar em alcance e capacidade. O projeto pode conter um determinado número de células que por sua vez pode conter diversas unidades de acesso (AU) viabilizando a cobertura de áreas densamente populadas.

Os equipamentos utilizados implementam mecanismos de criptografia avançada (AES, do inglês Advanced Encryption System) de forma a garantir a segurança das comunicações. Existe ainda a possibilidade de configuração de priorização de tráfego baseado em IP ou diretamente nos enlaces sem fio utilizando os mecanismos de qualidade de serviço (QoS, do inglês Quality of Service) e de priorização de enlaces sem fio (WLP, Wireless Link Priorization). De acordo com o fabricante, estas configurações permitem um incremento de

até 500% no número de chamadas simultâneas utilizando sistemas de telefonia sobre IP (VoIP, do inglês Voice Over Internet Protocol).

Os produtos da linha BreezeAccess VL operam em banda não licenciada em modo TDD, utilizando o esquema de modulação OFDM e codificação que utiliza correção de erros (FEC, do inglês Forward Error Correction). Este conjunto de características permite o estabelecimento de enlaces com obstrução parcial e em alguns casos com obstrução total da linha de visada.

De acordo com a regulamentação de cada país, os rádios do sistema BreezeAccess podem ser adquiridos nas seguintes frequências de operação com destaque para as frequências utilizadas na PROCERGS conforme a mostra a tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Bandas e frequências utilizadas no BreezeAccess VL

Banda	Frequências
4.9	4900-5100
5.2	5150-5350 _c
5.3	5250-5350
5.4	5470-5725
5.8	5725-5875
0.9	902-928

Um sistema de banda larga sem fio BreezeAccess VL é composto dos seguintes componentes:

- Equipamento instalado no cliente ou unidade do assinante (CPE, do inglês Customer Premises Equipment): BreezeAccess VL Subscriber Unit (SU).
- Estação Base ou unidade de acesso (BS, do inglês Base Station): BreezeAccess VL Access Unit (AU) e equipamentos que a acompanham, essencialmente a antena e o cabo de transmissão.
- Antenas que definem a área de cobertura de cada um dos setores atendidos pela AU.

4.1.2 Unidade do Assinante

A unidade do assinante (SU) é o equipamento que se encontra instalado no cliente e viabiliza a comunicação com a unidade de acesso (AU). A SU provê ao cliente um método de acesso permanente e transparente onde a entrega da conectividade é feita através de uma porta Ethernet (RJ-45).

Existem dois tipos de unidade de acesso disponibilizados pelo fabricante, um modelo para uso interno e outro para uso externo. Em função do alcance necessário, a PROCERGS utiliza em seus projetos os modelos externos, que são compostos pelo rádio com antena integrada e por uma unidade interna conforme mostra a figura 4.2.



Figura 4.2 - Instalação de uma unidade de assinante (antena integrada ao rádio)

A unidade de assinante é composta de uma unidade externa (ODU, do inglês Outdoor Data Unit) e de componentes internos (IDU, do inglês Internal Data Unit) que são

responsáveis pela supressão de surto e pela alimentação da unidade externa conforme mostra a figura 4.3.



Figura 4.3 - Unidade de dados interna (IDU) e Supressor de Surtos

4.1.3 Unidade de acesso

A unidade do acesso (AU) é o equipamento responsável pela distribuição do sinal entre os diversos clientes atendidos em cada setor. Cada uma das AUs, é capaz de atender a um conjunto limitado de clientes. No caso dos modelos utilizados pela PROCERGS, até oito clientes podem ser atendidos. A região de cobertura de cada uma das AUs, será especificada em função do projeto e da antena escolhida para a região.



Figura 4.4 - Instalação típica de uma unidade de acesso com antena setorial.

A figura 4.4 mostra a instalação de uma unidade de acesso com todos os seus componentes externos. É possível visualizar a instalação da antena setorial bem como da ODU, além dos cabos utilizados para interligação da antena e para a interligação da ODU com os componentes internos.



Figura 4.5 - Detalhe da aplicação correta da fita de autofusão.

Como os equipamentos externos estão sujeitos à intempérie, a sua instalação deve seguir um roteiro criterioso. Um dos detalhes mais importantes é que a antena externa deverá ser fixada ao mastro logo acima da unidade externa (ODU) e o cabo "pigtail" de RF deverá ter os seus conectores criteriosamente revestidos com fita de autofusão nas duas extremidades para evitar o contato com a umidade conforme mostra a figura 4.5.

4.1.4 Antenas

O sistema BreezeAccess VL possui um conjunto de antenas que pode ser escolhido conforme parâmetros de projeto. Esta seleção é feita em função da área de cobertura desejada para um determinado setor. A tabela 4.2 exibe os tipos de antenas e os principais parâmetros de cada um dos modelos.

Tabela 4.2 - Antenas utilizadas no sistema BreezeAccess VL.

Antena	Banda	Largura do Feixe	Elevação	Ganho(dBi)
AU-Ant-5G-16-60	5150-5875	60°	10°	16
AU-Ant-5G-17-90	5150-5875	90°	6°	17
AU-Ant-5G-15-120	5150-5875	120°	6°	15
SU - Antena integrada	5150-5875	14°	14°	20

Para os enlaces ponto-multiponto, utilizam-se antenas setoriais que possuem as aberturas e ganhos mostrados na tabela. Abaixo são apresentados os diagramas de irradiação para os tipos de antena utilizados nos enlaces metropolitanos.

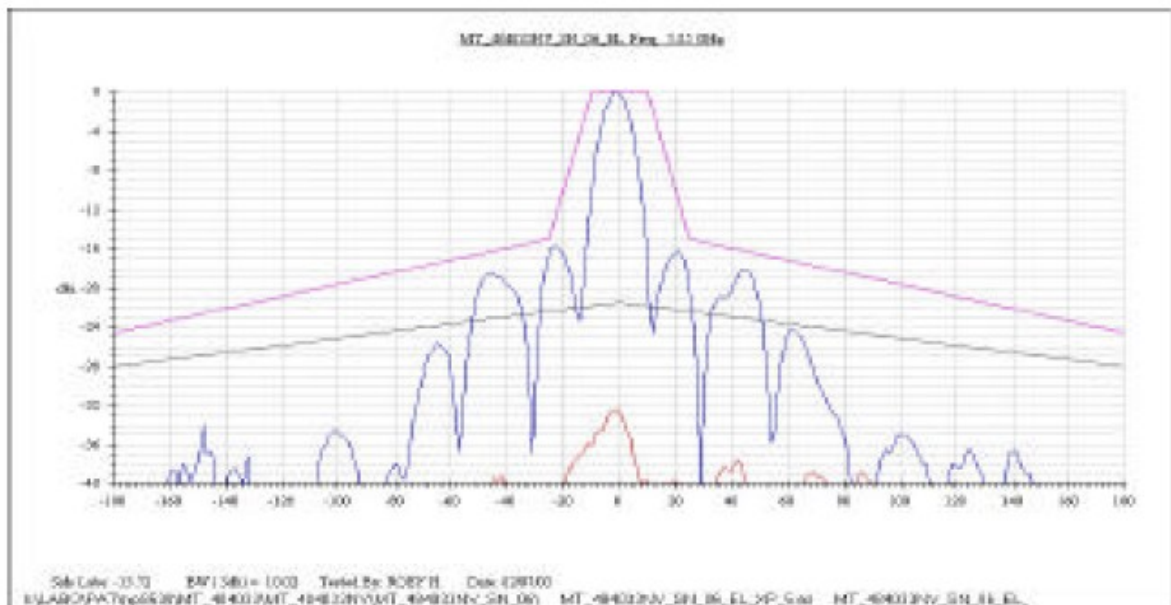


Figura 4.6 - Padrão de elevação para antena de 60°

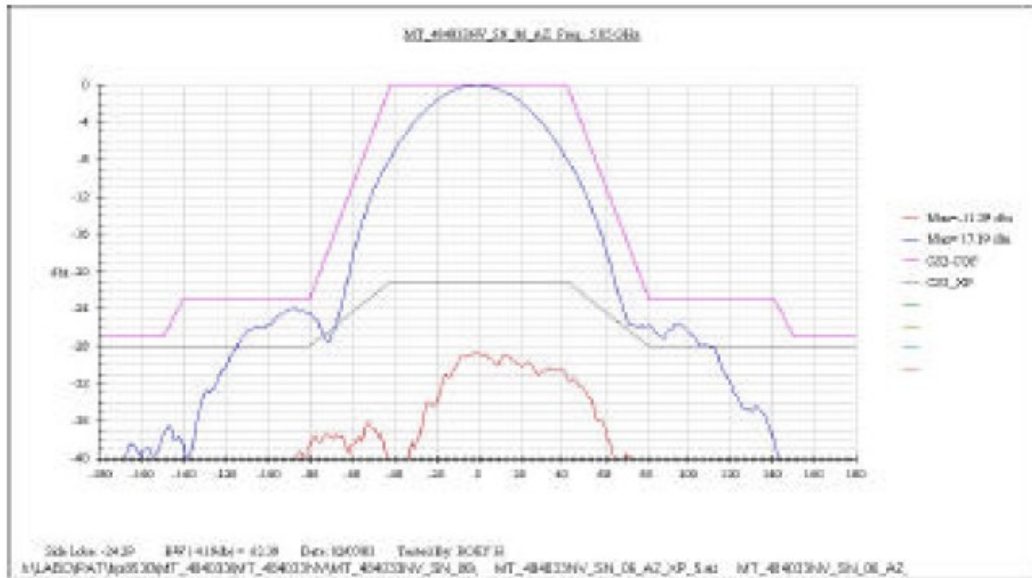


Figura 4.7 - Padrão de azimute para antena de 60°

As figuras 4.6 e 4.7 exibem os diagramas de elevação e azimute para as antenas de 60°. Em função da documentação fornecida pelo fabricante, os diagramas são de difícil leitura pois não apresentam nitidez mesmo nos documentos originais

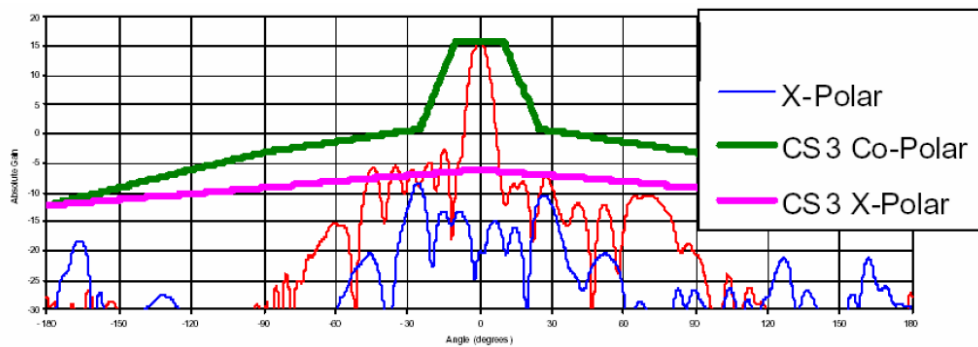


Figura 4.8 - Padrão de elevação para antena de 90°

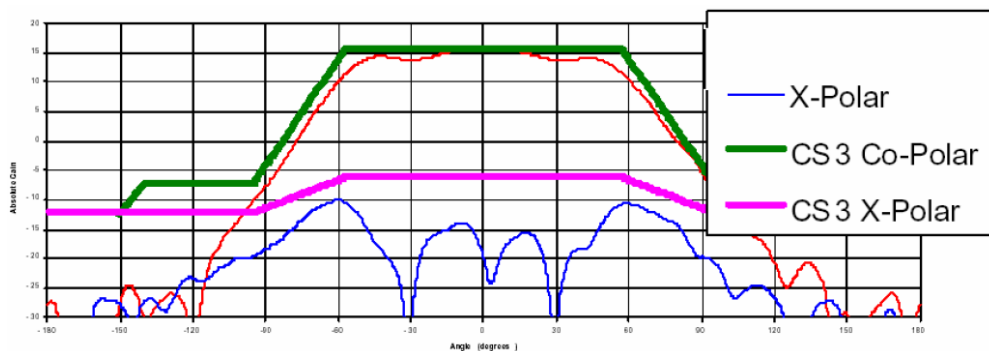


Figura 4.9 - Padrão de azimute para antena de 90°

As figuras 4.8 e 4.9 mostram os diagramas referentes a antenas de 90°. Estas antenas foram as utilizadas nos testes de desempenho do enlace real apresentados na seção 4.3.4.

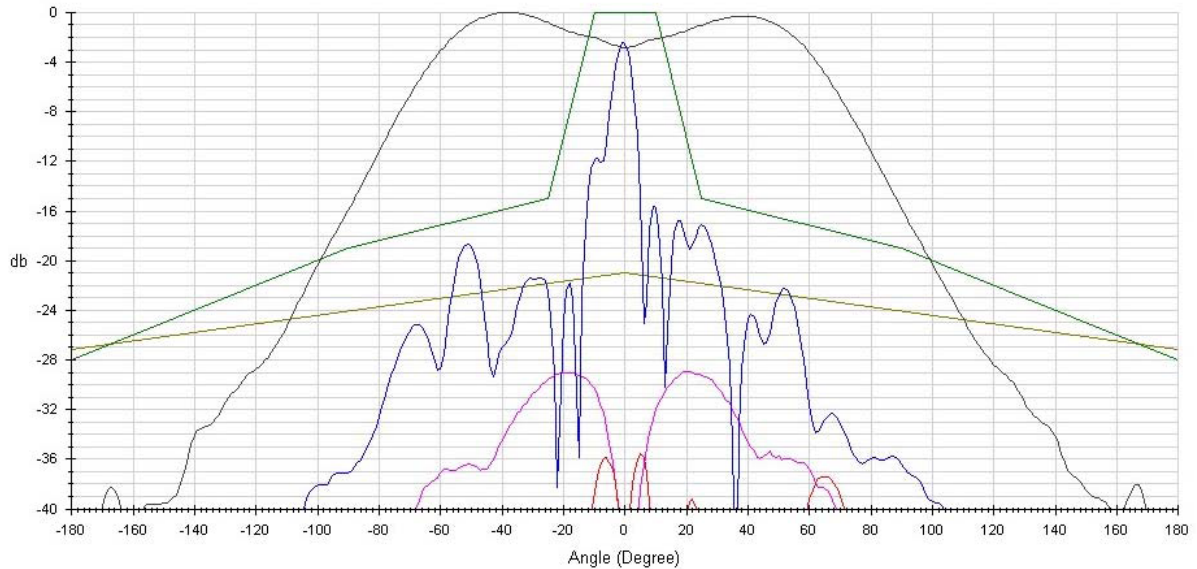


Figura 4.10 - Padrão de elevação para antena de 120°

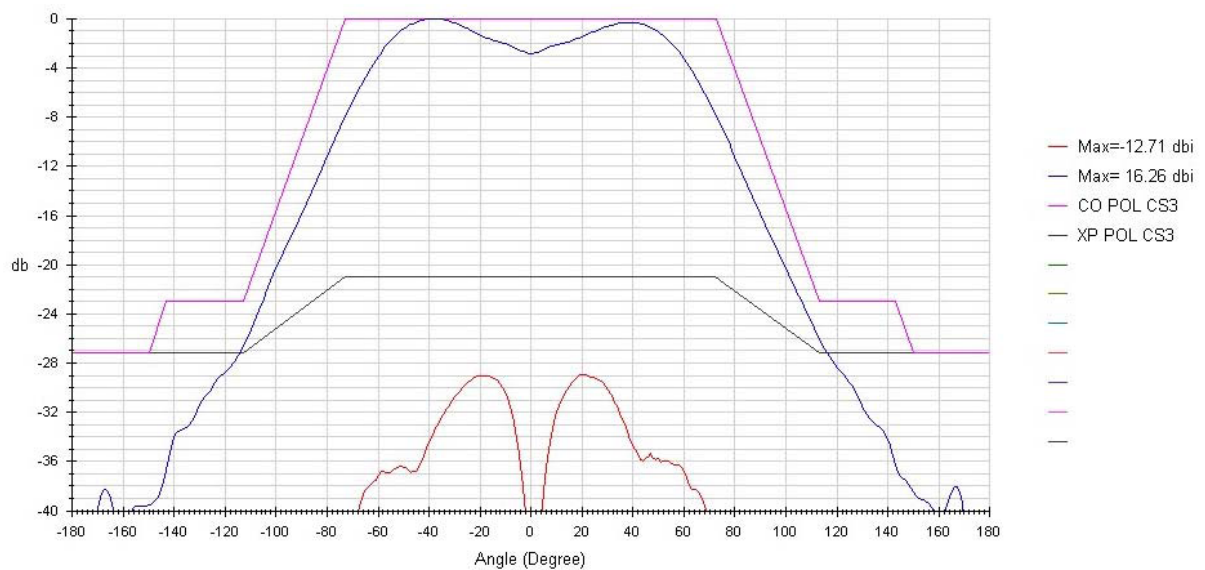


Figura 4.11 - Padrão de azimute para antena de 120°

As figuras 4.10 e 4.11 mostram os diagramas referentes as antenas de 120°. Estas antenas permitem uma área de cobertura maior porém com menor alcance e por este motivo, normalmente não tem sido utilizada nos enlaces MetroMAX

4.1.5 Outros acessórios

Além dos componentes descritos acima, incluem-se ainda alguns componentes imprescindíveis para a operação segura do sistema. A figura 4.12a mostra a forma de interligação entre os diversos componentes que constituem a instalação de uma unidade de acesso. A figura 4.12b mostra em destaque o dispositivo protetor de surto (DPS), responsáveis por uma proteção adicional através da conexão do cabeamento ao sistema de aterramento. A figura 4.12c mostra a unidade de dados interna (IDU) responsável pela injeção de energia nas linhas de dados que alimentam os rádios.

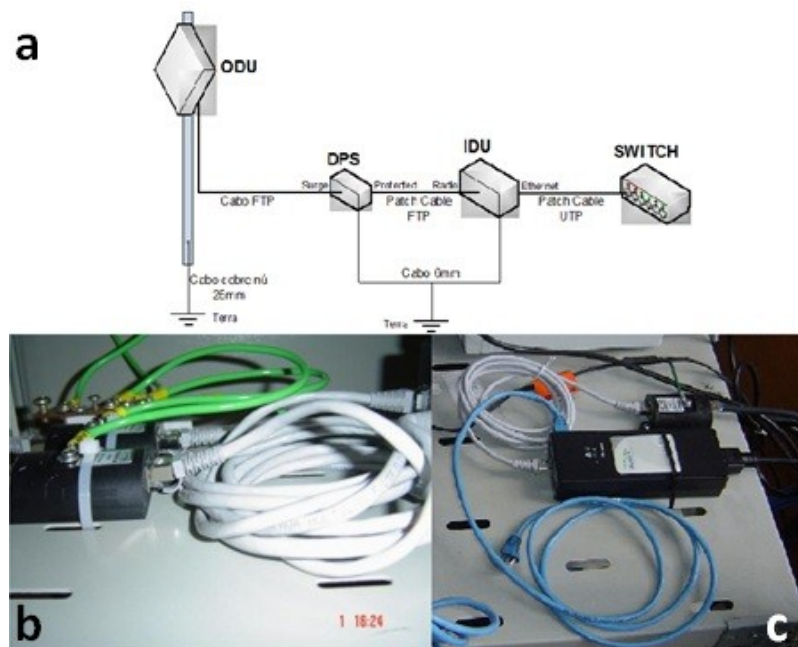


Figura 4.12 - Componentes de proteção e injeção de potência

4.2 Descrição da camada física do sistema BreezeAccess VL

O padrão de camada física utilizado pelo WiMAX sofreu grande influência do padrão Wi-Fi (IEEE 802.11a), sendo a principal semelhança entre ambos os padrões o uso da técnica de modulação OFDM, uma técnica de modulação multiportadora, ideal para transmissões NLOS em altas taxas. O sistema BreezeAccess VL, por tratar-se de um sistema pré-WiMAX, possui semelhanças ainda maiores e é fortemente baseado no IEEE 802.11a.

No padrão de OFDM utilizado neste sistema, as subportadoras são divididas em três tipos: subportadoras de dados (do inglês, data subcarriers), através das quais serão transmitidos dados; subportadoras piloto (do inglês, pilot subcarriers), utilizadas para transmitir sinais de controle de transmissão e rastreamento de estado do canal e subportadoras nulas, que não transmitem sinal. Conforme mostra a figura 4.13, as portadoras nulas são subportadoras de guarda (do inglês, guard subcarriers), que ajudam a evitar interferências com as portadoras laterais. A subportadora de corrente direta (do inglês, direct current subcarrier), cuja frequência é igual à frequência central estabelecida pela estação transmissora, também não é utilizada.

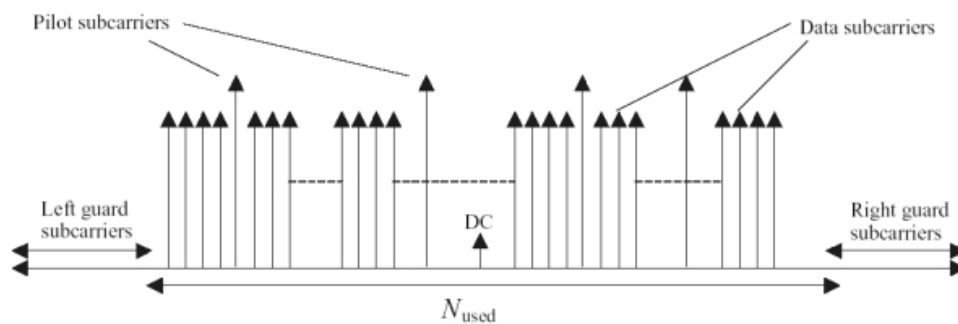


Figura 4.13 - Tipos de subportadoras utilizadas no BreezeAccess VL

O esquema de modulação OFDM utilizado pode transmitir em múltiplos canais espaçados ortogonalmente e ao mesmo tempo, evitando interferências. Trabalha nas faixas de frequência de 5.4 e 5.8 GHz, e também opera sem linha de visada. É capaz de transmitir em até 54Mbps na banda ISM (do inglês, Industrial Scientific Medical), com a frequência dividida em 52 subportadoras, sendo que 4 delas são utilizadas para sincronização (subportadoras piloto) e as outras 48 para a transmissão dos dados. Opera com constelação BPSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM em cada subportadora e utiliza codificação convolucional.

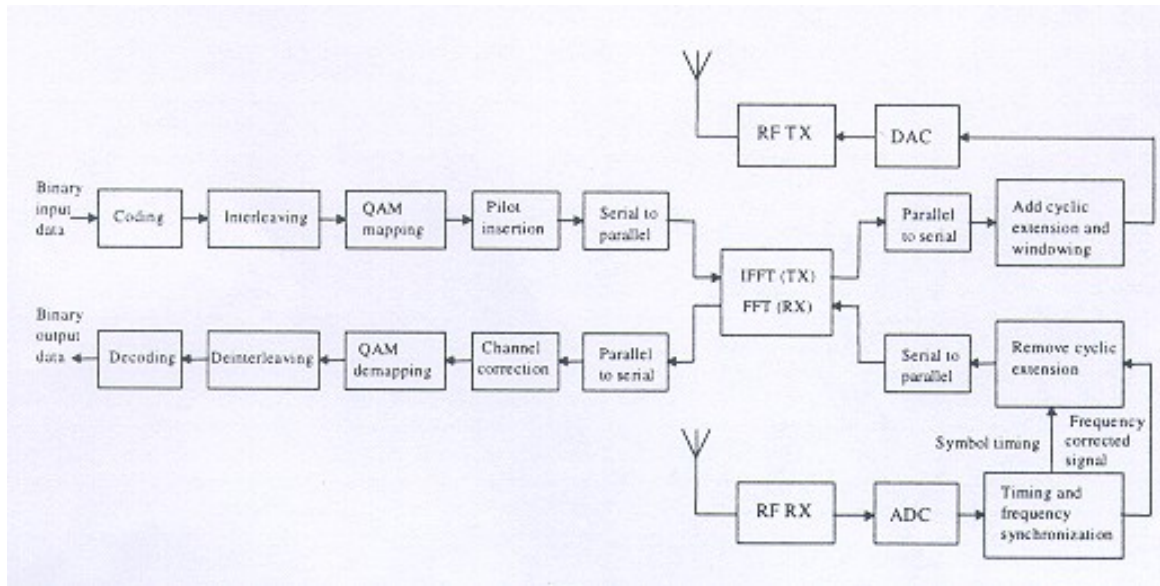


Figura 4.14 - Diagrama de blocos do sistema

A figura 4.14 mostra o diagrama de blocos do sistema, inter-relacionando a sequência de operações necessárias para a transmissão e recepção dos fluxos de dados. O aspecto mais importante a ser avaliado é a ordem com que as operações são realizadas. Detalhes aprofundados dos algoritmos e processos de intercalação (do inglês, Interleaving), mapeamento das constelações QAM entre outros, fogem ao escopo deste trabalho.

Com relação à implementação dos blocos funcionais, o sistema utiliza o mesmo esquema do IEEE 802.11a. Tem-se o bloco de FFT/IFFT com 64 níveis, intervalos de guarda de 16 e espaçamento entre subportadoras de 300KHz.

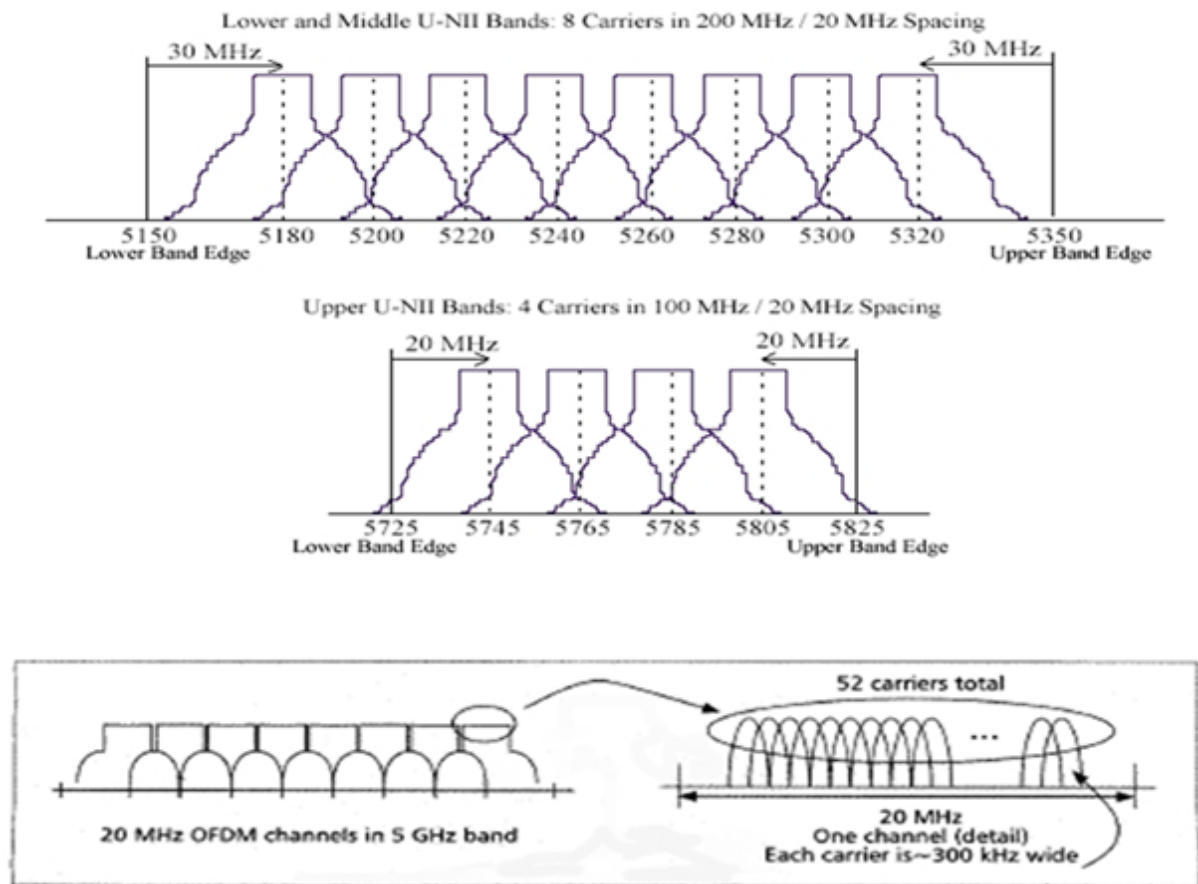


Figura 4.15 - Distribuição das subportadoras do sistema BreezeAccess VL

A figura 4.15 mostra a distribuição e o espaçamento entre as subportadoras do sistema. Neste caso, os gráficos são traçados para a banda de 20MHz. . No topo é possível visualizar 8 portadoras operando em 200MHz com espaçamento de 20MHz. No centro mostram-se 4 portadoras operando em 100MHz com espaçamento de 20MHz. Por fim mostram-se 52 portadoras operando com banda de 20MHz onde cada uma das portadoras apresentam largura de 300KHz.

Os rádios mais novos permitem a operação com largura de banda de 10MHz, o que visa a redução de interferência sobre o canal.

Os aspectos de projeto pertinentes e que são disponibilizados pelo fabricante encontram-se descritos no quadro resumo evidenciado abaixo:

Tabela 4.3 - Resumo de características do sistema BreezeAccess VL

Rádio									
Frequencia	5.725 - 5850 GHz, 5.47 - 5.725 GHz, 5.15 - 5.35 GHz, 5.03 - 5.091 GHz								
Metodo de Acesso	TDD (Time Division Duplexing)								
Largura do Canal	10 MHz, 20MHz								
Resolução de Freq. Central	5MHz, 10 MHz								
Máx Potência de Saída (no conector da antena)	AU: -10dBm a 21dBm, passos de 1dB								
	SU: -10dBm a 21dBm, ajuste automático pelo ATPC								
Máx Potência de entrada (no conector da antena)	-48dBm (típico)								
Sensibilidade Típica (dBm no conector da antena, @E-6)	Modulação (nível)	1	2	3	4	5	6	7	8
	Modulação (tipo)	BPSK	BPSK	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	64QAM	64QAM
	Nível (20MHz)*	-89	-88	-86	-84	-81	-77	-73	-71
	Nível (10MHz)*	-92	-91	-89	-87	-84	-80	-76	-74
	* Modulação combina o esquema de modulação com o ganho de codificação								
Esquema de modulação (adaptativo)	OFDM: BPSK, QPSK, QAM 16, QAM 64								
Conector da antena	Tipo-N 50 ohm								
Ganho da antena integrada (SU)	21 dBi, 10,5° H/V, Painel Plano Integrado								
Antenas da AU	60°: 16dBi, Setor de 60° Horizontal, 10° Vertical								
	90°: 17dBi, Setor de 90° Horizontal, 6° Vertical								
	120°: 15dBi, Setor de 120° Horizontal, 6° Vertical								
	360°: 8dBi, Setor de 360° Horizontal, 9° Vertical								

A tabela 4.3 acima mostra as frequências de operação disponibilizadas pelos equipamentos sendo que os rádios devem ser adquiridos conforme a faixa da portadora que se deseja operar 5.4 ou 5.8 GHz. O método de acesso é do tipo TDD e a largura do canal é selecionável entre 10 e 20 MHz. A resolução de frequência central estabelece a distância mínima entre canais adjacentes e é definida em função da definição da largura de banda. Nas instalações mais recentes tem-se utilizado a faixa de 10 MHz com o intuito de reduzir a incidência de ruído no canal.

Os equipamentos permitem ainda o ajuste de potência conforme os valores exibidos na tabela. Este ajuste normalmente é realizado na AU com o intuito de atender aos clientes mais distantes que se pretenda atender e sem exceder a regulamentação estipulada pela ANATEL. Nos sistemas de produção, utiliza-se os mecanismos de ajuste automático de potência que o equipamento disponibiliza e com isto alcança-se a melhor relação entre a operação adequada e a proliferação de sinais no meio.

Por fim, destaca-se os valores de sensibilidade típicos para as cada uma das modulações em função da largura de banda do canal selecionado.

4.3 Metodologia de projeto para um enlace MetroMAX

O estudo criterioso dos aspectos acima apresentados, tais como as características dos rádios, o cálculo do link budget, o estudo dos diagramas de irradiação das antenas, bem como os aspectos de propagação dos sinais de rádio, permitem a elaboração de uma metodologia de projeto que pode servir de base para as futuras instalações de enlaces de acesso na rede MetroMAX da PROCERGS.

Para efeitos de descrição e validação, a metodologia proposta é aplicada no projeto de um enlace que interliga a 15ª Delegacia de Polícia de Porto Alegre, localizada na Av. Bento Gonçalves, 5690 até o Morro da Polícia, onde se encontra instalada a unidade de acesso que atende a este setor.

4.3.1 Determinação da frequência de operação da Unidade de Acesso

Um dos aspectos mais importantes da instalação de uma nova unidade de acesso é a determinação da frequência de operação. Como estes equipamentos operam na faixa de frequência não licenciada, estão sujeitos principalmente a interferências de canal adjacente provenientes de outros enlaces estabelecidos na região.

Para este fim, os equipamentos Alvarion disponibilizam um mecanismo de análise de espectro onde é possível estipular um período no qual o rádio da unidade de acesso fica “escutando” a região para construir uma tabela com as frequências que possuem maior incidência de utilização na região.

Apresenta-se abaixo a tabela 4.4 que é coletada durante o período de três horas durante a instalação da unidade de acesso. Nesta tabela, é possível observar diversas características dos sinais incidentes na antena da unidade de acesso.

As características dos sinais incidentes são:

Channel: canal onde o sinal foi observado. Cada um dos canais que podem ser selecionados na AU são listados em uma das linhas da tabela

Signal: Estabelece o número de sinais (excluindo quadros OFDM com banda correta) observados no canal.

Signal SNR (dB): A relação sinal-ruído média (excluindo a de quadros OFDM com banda correta) observada no canal.

Signal Max SNR (dB): A máxima relação sinal-ruído (excluindo a de quadros OFDM com banda correta) observada no canal.

Signal Width (μ s): A largura média em microsegundos (excluindo quadros OFDM com banda correta) dos sinais observados no canal.

OFDM Frames: Estabelece o número de quadros OFDM com banda correta observados no canal.

OFDM Avg. SNR (dB): A relação sinal-ruído média dos quadros OFDM com banda correta observados no canal.

OFDM Max SNR (dB): A máxima relação sinal-ruído dos quadros OFDM com banda correta observados no canal.

Noise Floor Avg. (dBm): Valores de piso de ruído médio observados no canal.

Noise Floor Max. (dBm): Valores máximos de piso de ruído.

Através da tabela 4.4 é possível identificar claramente os canais com menor incidência de sinais passíveis de interferência durante a operação do enlace. O foco neste caso deve seguir as seguintes premissas:

- 1) Baixa contagem de sinais OFDM. Se possível escolher os valores com zero.
- 2) Baixa contagem de sinais, reduzindo assim a possibilidade de interferência.
- 3) Valores reduzidos de piso de ruído, denotando frequências com menor interferência.
- 4) Verificação do plano de atribuição de frequências, evitando frequências adjacentes.

Neste caso, o canal escolhido é o 5665, pois apresentou a menor incidência de sinais durante o período analisado e não opera em proximidade com nenhum canal utilizado em setores adjacentes. O canal 5555 apresenta também bons resultados porém a frequência 5560 está sendo utilizada em um canal adjacente em outra unidade de acesso instalada no local.

Tabela 4.4 - Análise de espectro da unidade de acesso

ANÁLISE DE ESPECTRO										
LOCAL PONTA A: AU MORRO POLICIA LESTE 2						ANTENA A: 90°				
DATA: 20/10/09						HORA: 13:45:00				
Ponta A -> Ponta B										
Channel	SIGNAL				OFDM			NOISE FLOOR		
	Signal	SNR	MaxSNR	Width	Frames	SNR	MaxSNR	Avg	Max	
5495	1401	19	107	0	0	-98	-98	25	0	
5500	638	11	0	743	24	-97	-96	26	27	
5505	1395	18	64	0	0	-97	-97	24	0	
5515	7191	5	0	7	5	-98	-97	11	7	
5520	4170	7	0	3080	7	-98	-98	12	12	
5525	6936	3	0	0	0	-97	-97	11	0	
5535	2620	7	0	0	0	-97	-97	15	0	
5540	2436	4	0	1039	14	-97	-97	17	16	
5545	1997	7	0	1	9	-96	-96	14	9	
5555	1044	3	0	0	0	-96	-96	7	0	
5560	2550	9	0	0	0	-96	-96	12	0	
5565	3175	10	0	0	0	-96	-96	14	0	
5575	9753	13	6	2001	11	-97	-97	26	14	
5580	12140	12	4	0	0	-97	-97	27	0	
5585	7967	12	6	0	0	-97	-97	26	0	
5595	537	13	31	0	0	-97	-97	22	0	
5600	1213	7	3	5	2	-97	-97	21	4	
5605	593	10	0	0	0	-96	-96	18	0	
5615	1222	3	0	0	0	-97	-97	8	0	
5620	103	4	0	0	0	-97	-97	7	0	
5625	372	3	0	0	0	-97	-97	7	0	
5635	10975	6	0	0	0	-98	-98	15	0	
5640	6389	8	0	2	4	-97	-97	13	4	
5645	7925	8	0	0	0	-98	-98	15	0	
5655	5216	4	0	0	0	-99	-99	10	0	
5660	3975	3	0	114	5	-99	-99	8	8	
5665	1987	3	0	0	0	-99	-99	8	0	
5675	481	4	0	0	0	-99	-99	21	0	
5680	4899	11	6	0	0	-99	-99	28	0	
5685	5889	24	69	0	0	-99	-99	35	0	
5695	6470	16	47	0	0	-99	-99	37	0	
5700	9951	17	32	866	21	-99	-99	32	32	
5705	5366	14	51	0	0	-100	-100	29	0	

Após a instalação do enlace, em alguns casos, o canal escolhido poderá vir a apresentar interferências não previstas nesta análise inicial. Neste caso, o procedimento de análise de espectro deverá ser realizado novamente com o intuito de encontrar um novo canal com baixos níveis de interferência.

Ao analisar os dados da tabela 4.4, foi possível constatar dois problemas com a apresentação dos dados. As colunas ‘Max SNR’ e ‘Noise Floor Max’ não estão apresentando dados consistentes com o esperado. Em contato com os técnicos responsáveis na PROCERGS, os mesmos atribuíram estas inconsistências a um problema no software de gerência da Alvarion. O fabricante foi notificado a respeito deste problema, porém ainda não se pronunciou.

4.3.2 Análise de viabilidade técnica

Através de duas técnicas básicas de análise, é possível determinar se um determinado local pode ou não ser atendido por uma determinada unidade de acesso.

A primeira tarefa é a localização do cliente em imagem fotográfica de satélite para verificação de cobertura. Nesta etapa, utiliza-se a ferramenta Google Earth Pro para o traçado de segmentos e raios que permitem uma estimativa de primeira ordem das distâncias envolvidas e da região de abrangência do sinal.

Através da figura 4.16, podem ser evidenciados a localização dos pontos, da região de cobertura (determinada pela antena setorial de 90°) e da distância do enlace. As evidências da cobertura são demonstradas através do traçado dos segmentos azuis que delimitam a região de cobertura e do segmento vermelho que apresenta a distância do enlace e o posicionamento do cliente. Os pontos utilizados são coletados através de GPS (do inglês, Global Positioning System) nos locais de instalação das antenas para evitar os efeitos de paralaxe das imagens coletadas pelo Google. A paralaxe é um efeito decorrente do processo de planificação das

imagens coletadas por satélite e que frequentemente causa erros de posicionamento na ferramenta Google Earth.



Figura 4.16 - Visualização do enlace DP15 - MP no Google Earth Pro

A segunda tarefa é a análise fotográfica da visada da antena da unidade de acesso bem como das fotografias tiradas no local onde se pretende instalar a unidade do assinante. Com isto, é possível estimar de forma rápida as possíveis obstruções as quais o enlace estará submetido.



Figura 4.17 - Visada da antena da unidade de acesso localizada no morro da polícia

A figura 4.17 apresenta a região de apontamento da antena da unidade de acesso utilizada no estudo de caso. É possível observar a área de abrangência da antena setorial da unidade de acesso. A figura 4.18 mostra o detalhe da região de interesse. Na região salientada, encontra-se a Delegacia de Polícia onde encontra-se instalada a unidade de acesso.



Figura 4.18 - Localização aproximada do cliente

A figura 4.19, demonstra o mesmo processo de análise fotográfica realizado anteriormente, porém no lado do cliente. Procura-se identificar o nível de obstrução, se existir. Na prática, pequenas obstruções não costumam causar problemas em função da robustez dos protocolos e tecnologias empregados.



Figura 4.19 - Visada da unidade do assinante (ponto de vista do local de instalação).

4.3.3 Aplicação do Link Budget ao enlace

Para fins de facilitar o projeto e os ajustes dos equipamentos, elaborou-se uma ferramenta de cálculo através da planilha Excel que permite automatizar os cálculos através da inserção dos parâmetros mínimos necessários. Para a construção desta ferramenta, foi utilizada a modelagem relatada acima, bem como alguns mecanismos de validação do software Excel, responsáveis por alertar sobre valores de regulamentação excedidos ou ajuste incorreto de parâmetros.

Abaixo, apresenta-se o aspecto da ferramenta com os dados calculados para o enlace projetado neste estudo de caso. Os valores de projeto são validados através dos valores obtidos nos testes de desempenho realizados e relatados no próximo capítulo.

Os valores ressaltados em verde são inseridos pelo projetista e os demais valores são obtidos em função dos cálculos.

Ao longo do desenvolvimento da planilha, foram inseridas informações complementares que são pertinentes ao uso da PROCERGS. Abaixo é apresentado o detalhamento dos itens mais importantes que devem ser inseridos e ajustados para a estimativa do link budget.

Identificação do Site: como referência para os cálculos devem ser inseridos os locais onde os rádios estão instalados. A denominação de Ponta A e Ponta B é utilizada para definição do ponto de instalação da unidade de acesso (Centro) e da unidade de assinante (Remota), respectivamente.

Tipo de Rádio: caixa de seleção que permite a escolha dos tipos de rádio utilizados pela PROCERGS. Uma vez selecionados, os parâmetros pertinentes a esta escolha são automaticamente atualizados na tabela.

Potência de transmissão: a potência de transmissão deve ser ajustada para os valores que não excedam os valores máximos de e.i.r.p. estipulados pela resolução 506/2008 da ANATEL. Caso os valores ajustados excedam este limite, a tabela ressaltará a célula com a cor vermelha para que o valor seja reduzido para valores aceitáveis.

Tipo de antena: caixa de seleção que permite a seleção da antena utilizada. Uma vez selecionada, os valores de ganho da antena são atualizados automaticamente.

Tipo de cabo: caixa de seleção que permite selecionar o tipo de cabo utilizado. Uma vez selecionado o tipo de cabo, os valores de perda característica do cabo são alterados automaticamente.

Comprimento do cabo de transmissão: deve ser inserido o valor, em metros, previsto para o cabo de transmissão de RF.

Perda nos conectores: deve ser inserida a perda estimada para os conectores. Este valor deve computar a perda total, ou seja, dos 2 conectores normalmente utilizados no cabo de RF.

Distância: o valor apurado no levantamento feito com o GPS deve ser inserido neste campo.

Os valores são expressos em km.

Frequência: Este valor deve expressar a frequência de operação dos rádios. Os valores normalmente utilizados são os de 5.4 e de 5.8 GHz, conforme o equipamento adotado.

Banda: conforme a configuração dos rádios, este parâmetro deve ser ajustado através da caixa de seleção para operação em 10 ou 20 MHz.

Uma vez selecionados estes principais parâmetros, podem ser estimados todos os valores que a tabela é capaz de calcular, bastando para isto alterar as modulações para cada uma das pontas, ou seja, através do parâmetro 'Nível de modulação utilizado' escolhe-se os valores de modulação de um a oito e em função destes ajustes, os parâmetros pertinentes são alterados e calculados.

Os principais valores a serem observados são o nível de sinal recebido no espaço livre, a potência irradiada efetiva, a relação sinal-ruído e a margem de desvanecimento, ou seja, se ainda existe uma margem de potência residual para operação em uma determinada modulação.

		Downlink		Uplink		Unidade
Equipamentos	Símb	Ponta A (Centro)	Formula PA	Ponta B (Remota)	Formula PB	
Identificação do Site		MPOLICIA LESTE 2		PC-DP15		
Tipo de Rádio		AUS-E-SA-5.4-VL		SU-A-5.4-6-BD-VL		
Potência de Transmissão	Ptx	12	a	7	b	dBm
		-18	a-30	-23	b-30	dBW
		15,85	=10^(a/10)	5,011872336	=10^(b/10)	mW
Tipo de Antena		Setorial 90°		Painel		
Ganho da Antena	Gtx	17	c	20	d	dBi
Tipo de Cabo		LMR-400		Nenhum		
Perda característica do cabo (dB/100m)		22,00	e	0	f	dB
Comprimento do cabo de transmissão (m)		0,5	g	0	h	m
Perda nos conectores	Lconc	2	i	0	j	dB
Perda no cabo de transmissão (dB)	Lcable	0,11	k=(e*g)/100	0,00	l=(f*h)/100	dB
Características do Enlace						
				Formula		
Distância (km)	D	3,285		m		km
Frequência de operação dos rádios (GHz)	f	5,4		n		GHz
Raio da primeira zona de Fresnel	r1F	6,75		=17,32*SQRT(m/4*n)		m
Atenuação no espaço livre (dB)	Ao	117,43		o=92,45+(20*LOG10(l))+(20*LOG10(k))		dB
Perda por difração (dB)	Ldif	0		p		dB
Potência do irradiador intencional (dBm)	Pir	9,89		7,00		
Nível de Sinal Recebido no espaço livre (dBm)	Prx	-75,54	q=b-p-i-j-o-k-l+c+d	-70,54	r=a-p-i-j-o-k-l+c+d	dBm
Potência irradiada efetiva (EIRP)	EIRP	26,89	s=a+c-i-k	27,00	t=b+d-j-l	dBm
		488,65	=10^(s/10)	501,19	=10^(t/10)	mW
Ruído						
Densidade Espectral de Ruído (dBm/Hz)	N0	-174				dBm/Hz
Figura de Ruído (dB)	F	5				dB
Margem de interferência (dB)	MI	3				dB
Potência de Ruído (dBm)	N	-99		=N0+W+F		dBm
Interferência + Ruído (dBm)	I	-96		=N0+W+F+MI		dBm
Interferência + Ruído (dB/Hz)	IO	-166		=N0+F+MI		dB/Hz
Relação Sinal-Ruído (dB)	SINR	22,68		27,68		dB
Parâmetros de Operação						
Nível de Modulação utilizado		1		1		
Banda	B	10				MHz
EIRP Máximo (Res. 506/2008 ANATEL)		27				
Banda (dB-Hz)	W	70,00				dB-Hz
Data Rate (dB-bps)	Rb	67,78		67,78		bps
Energia de Bit (dB-Joules)	Eb	-143,32	=q-Rb	-138,32	=r-Rb	
Tipo de Modulação		BPSK		BPSK		
Sensibilidade Típica (dBm)		-92	u	-92	V	dBm
SNR Limiar para a modulação		6		6		
Margem de desvanecimento (dB)	M	16,46	w=(-u)+q	21,46	x=(-v)+r	dB

Figura 4.20 - Ferramenta de cálculo do link budget

Os valores acima estimados pela ferramenta foram transportados para a tabela de link budget estimada na seção 3.3.1, permitindo uma comparação com os valores reais obtidos durante os testes de desempenho descritos na seção 4.3.4.

Tabela 4.5 - Link budget com os dados do enlace real

Linha	Símbolo	Descrição	Valor estimado	Notas
1	P_{tx}	Potência do transmissor (dBm)	12	
2	L_{conc}	Perda nos conectores (dB)	2	
3	L_{cable}	Perda no cabo de transmissão (dB)	0,11	
4	G_{tx}	Ganho da antena do transmissor (dBi)	17	
5	D	Distância (km)	3,285	
6	f	Frequência (GHz)	5,4	
7	Pir	Potência Irradiador Intencional (dBm)	9,89	#1-#2-#3
8	EIRP	EIRP do transmissor (dBm)	26,89	#1+#4-#2-#3
9	L_p	Perda no percurso (dB)	117,43	Espaço Livre
10	G_{rx}	Ganho da Antena do Receptor (dBi)	20	
11	P_{rx}	Potência recebida (dBm)	-70,54	#8-#9+#10
12	R_b	Data Rate (dB-bit/s)	67,78	
13	E_b	Energia de Bit (dB-Joules)	-138,3	#11-#12
14	N_0	Densidade Espectral de Ruído (dBm/Hz)	-174	
15	W	Banda (dB-Hz)	70	
16	F	Figura de Ruído (dB)	5	
17	N	Potência de Ruído (dBm)	-99	#14+#15+#16
18	M_I	Margem de Interferência (dB)	3	
19	X_σ	Margem de sombreamento (dB)	0	
20	I	Potência de Interferência + Ruído (dBm)	-96	#17+#18+#19
21	(SINR)_{rx}	Relação Sinal-Ruído recebida (dB)	27,68	#11-#14-#16-#18-#12

4.3.4 Análise de Desempenho

Um dos fatores determinantes da qualidade geral de um enlace é a determinação do desempenho do enlace em função de indicadores. Através de um processo criterioso, procura-se fazer um comparativo de dois indicadores que permitem determinar a qualidade esperada de um determinado enlace.

Um dos indicadores é a máxima taxa de transmissão que pode ser atingida em um determinado enlace. O principal limitador da taxa de transmissão é a distância, que ocasionará a redução da relação sinal-ruído e conseqüentemente forçará a redução dos níveis de modulação, ocasionando redução de desempenho.

O segundo indicador é a incidência de ruído sobre o canal. O aumento do ruído em determinado instante ocasiona de forma momentânea a redução da relação sinal-ruído. Este fato, em condições normais, ocasiona o acionamento dos mecanismos de modulação

adaptativa e força a redução do índice de modulação, degradando conseqüentemente o desempenho.

Através do software iperf, é possível utilizar a técnica de “overcasting”, onde uma quantidade de dados superior à capacidade do canal é enviada e então o receptor é capaz de informar a quantidade e a taxa efetivamente recebida, incluindo o percentual de datagramas perdidos. Com o intuito de uniformizar os testes, evitar a fragmentação de pacotes e ainda evitar o overhead excessivo que ocorre principalmente em pacotes pequenos, foi escolhido o tamanho de 1024 bytes para os pacotes gerados pela ferramenta. Os procedimentos utilizados para a realização dos testes com esta ferramenta encontram-se descritos ao final desta seção.

No ambiente externo, realizando-se os mesmos testes, é possível estimar a influência de aspectos como o ruído e a interferência sobre o enlace.

Durante os testes, uma série de parâmetros precisa ser ajustada para evitar que o rádio acione os mecanismos adaptativos que permitem atingir maiores taxas de transferência, extremamente benéficas para o uso do equipamento em produção, porém tornando os resultados imprevisíveis para fins de teste.

A tabela 4.6 mostra a descrição dos parâmetros que foram alterados em função dos testes:

Tabela 4.6 - Parâmetros de teste

Item	Nome	Configuração	Observação
1	Nível máximo de modulação	Forçada para os valores de 1 a 8	Modulação adaptativa desabilitada viabilizando o esgotamento de recursos de cada uma das modulações.
2	Modulação Adaptativa	Desabilitada	Evita que a modulação oscile em função da degradação dos quadros transmitidos.
2	Potência de Transmissão da AU	Forçada para valores determinados pelo máximo EIRP até o mínimo que permita o estabelecimento do enlace	Para cada uma das modulações forçadas, varia-se a potência de transmissão da AU, permitindo a coleta dos dados de SNR, RSSI, frames perdidos.
3	Controle automático de potência (ATPC)	Desabilitado	O controle automático de potência inviabiliza a realização dos testes descritos no item 2 pois tendem a alterar o valor da potência em função da degradação dos quadros transmitidos.

4	Tentativas de reenvio de quadros em hardware	0 (desabilitado)	A tentativa de reenvio de quadros danificados faz com que os contadores de erros de frame não sejam confiáveis pois o hardware tentará reenviar os quadros por um certo número de vezes antes de acusar um erro.
5	Modo de Rajada	Desabilitado	Altera os algoritmos de encaminhamento de quadros quando é detectado um fluxo elevado de dados.
6	Concatenação de quadros	Desabilitado	Permite aperfeiçoar o envio de quadros, permitindo a construção de quadros agrupados. Para estes testes esta opção alterará a contagem de quadros enviados.
7	Tamanho dos pacotes	1024 bytes	Uniformiza os dados transmitidos. Evita fragmentação e reduz o overhead de pacotes pequenos.

Uma vez ajustados os parâmetros acima citados, os testes foram realizados da seguinte forma. Fixada uma modulação, ajusta-se a potência de transmissão da unidade de acesso para o máximo valor estipulado que não exceda o máximo valor estipulado pela legislação (neste caso, 27dBm/MHz para canais de 10MHz, estipulado pela resolução 506/2008 da ANATEL, ver Anexo I). Com estes parâmetros ajustados, inicia-se um teste de tráfego elevado utilizando o software iperf que permite a realização de testes de esgotamento de recursos do enlace. Ao final do período de dois minutos estipulado como adequado para os testes, coletam-se os dados de frames recebidos, frames perdidos, média de SNR (do inglês, Signal-to-Noise Ratio) e de RSSI (do inglês, Received Signal Strength Indicator) bem como das taxas obtidas com o iperf. Depois de realizados os testes, zeram-se os contadores e parte-se para uma nova bateria de testes utilizando uma potência menor. A tendência é que em um determinado nível limiar de potência, a degradação de quadros chegue a níveis inaceitáveis e que a unidade do assinante acabe por se desassociar por insuficiência de sinal. As baterias de testes são realizadas para cada uma das modulações até que se esgotem as possibilidades.

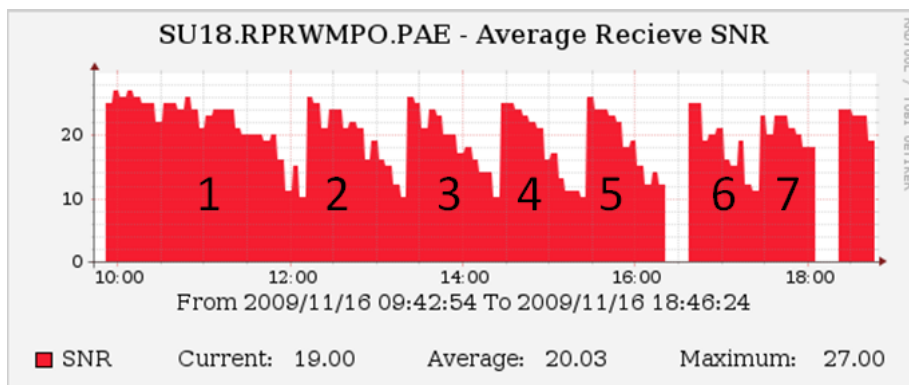


Figura 4.21 - SNR coletado durante os testes

A figura 4.21 mostra os valores de relação sinal ruído coletados durante os testes. Foi utilizado o software Cacti com modelos adequados para coleta dos rádios Alvarion. Os números em preto sobrepostos sobre o traçado do gráfico denotam os sucessivos testes realizados em cada uma das modulações. A redução da potência de transmissão em cada uma das baterias de testes realizadas para cada modulação é refletida através da redução da relação sinal-ruído mostrada na figura.

Com relação aos testes de taxas de transmissão com o iperf, temos um fator limitante de 6Mbps determinados pela licença adquirida para este cliente. As condições climáticas de realização dos testes foram em um dia ensolarado com temperatura em torno de 30°C. O software iperf foi configurado em modo servidor em uma estação de trabalho localizada no morro da polícia através da utilização do seguinte comando:

```
# iperf -s -D
```

No local de instalação da unidade de acesso, utilizou-se o iperf em modo cliente, utilizando o seguinte comando:

```
# iperf -c 10.0.xx.yy
-----
Client connecting to 10.0.xx.yy, TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[1924] local (your IP) port 1500 connected with 10.0.xx.yy port 5001
[ ID] Interval Transfer Bandwidth
[1924] 0.0-60.0 sec 3.91 Mbits/sec
```

A figura 4.22 demonstra a distribuição de tráfego ao longo do período de realização dos testes e tem o intuito apenas de encontrar pontos de discrepância entre os dados coletados manualmente e os valores coletados através do software Cacti.

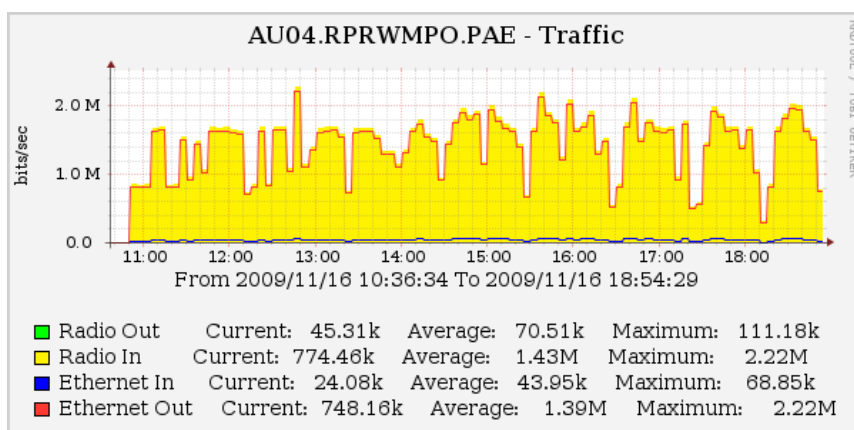


Figura 4.22 - Tráfego gerado durante os testes de desempenho

É apresentado abaixo o conjunto de dados coletado durante os testes. É possível ressaltar a robustez do sistema nas modulações mais baixas mesmo com a redução drástica da potência de transmissão da unidade de acesso. À medida que as modulações mais altas são utilizadas, o desempenho aumenta, porém o sistema se torna mais suscetível a interferências com a redução da potência, tornando a comunicação impraticável como pode ser visto nas tabelas 4.13, 4.14 e 4.15 onde nos níveis inferiores de Ptx, não foi possível coletar os dados por insuficiência de potência para o estabelecimento do enlace.

Em função da taxa de transmissão de cada uma das modulações os valores de throughput obtidos foram multiplicados por um fator de modulação conforme a tabela 4.7:

Tabela 4.7 - Fatores de modulação aplicados ao throughput

Modulação	Fator de modulação
Nível 1 (BPSK)	1
Nível 2 (BPSK)	5,77 / 4,14
Nível 3 (QPSK)	7,49 / 4,14
Nível 4 (QPSK)	10,60 / 4,14
Nível 5 (16 QAM)	13,80 / 4,14
Nível 6 (16 QAM)	18,21 / 4,14
Nível 7 (64 QAM)	22,82 / 4,14
Nível 8 (64QAM)	23,53 / 4,14

Em função das limitações impostas pelas licenças adquiridas pela PROCERGS, não é possível esgotar o link através da transmissão de pacotes além dos níveis especificados pela licença, neste caso, 6Mbps bruto.

Como a limitação é feita em hardware e se relaciona com a interface Ethernet do equipamento, as taxas efetivas encontradas na interface com o ar não possuem esta limitação. A tabela 4.6 apresenta um fator de correção em função da modulação adotada que é determinada pela taxa efetiva de dados na interface com o ar. Os valores utilizados provem de simulações realizadas utilizando o esquema Data + ACK. [10]

As tabelas 4.7-14 mostram os dados coletados durante os testes realizados utilizando o enlace real. Segue-se com a descrição dos dados apresentados:

Ptx(AU)(dBm): Esta coluna exibe o valor da potência de transmissão ajustada na unidade de acesso. Os limites de 12 a -10 são utilizados de forma a não exceder os máximos valores de e.i.r.p e em função de restrições do equipamento, respectivamente.

Frames Recebidos (Total): Mostra o número total de quadros recebidos pela interface ar da unidade do assinante.

Frames duplicados (descartados): mostra o número de quadros recebidos mais de uma vez pelo receptor. Normalmente é causado pelo não recebimento por parte do transmissor dos pacotes de ACK (do inglês, Acknowledge) enviados pelo transmissor.

Frames de dados: mostra o número total de quadros recebidos que transportam dados, excluem-se desta contagem os quadros de controle utilizados na operação do enlace.

Phy: mostra o número de quadros recebidos que apresentam erros na camada física. Estes erros denotam a incapacidade do receptor em compreender o sinal recebido. Estes sinais são tratados como não identificados e descartados prontamente.

CRC: mostra o número de quadros recebidos que apresentam erros de CRC. Estes quadros apresentaram algum tipo de alteração detectada pelo algoritmo de CRC. Este tipo de erro ocasiona um pedido de retransmissão do quadro por parte do receptor.

% Erros: mostra o percentual de erros em quadros detectados pelo receptor. Este cálculo é realizado através da seguinte operação:

$$\%Erros = \frac{CRC}{Frames\ Recebidos\ (Total)} * 100 [\%] \quad (4.1)$$

SNR (Média): mostra o valor da relação sinal-ruído média dos quadros recebidos.

RSSI (Média): mostra o valor do indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI) em dBm para os quadros recebidos. Os valores coletados de RSSI apresentaram uma diferença aproximada de 3dB quando variada a potência desde seu nível máximo até o seu valor mínimo. Atribui-se esta diferença ao algoritmo de cálculo da média utilizado no equipamento. Como os contadores foram zerados a cada uma das baterias de teste, o número de amostras disponíveis para o cálculo da média parece ser insuficiente.

Throughput (Mbps): mostra a taxa efetiva de dados recebidos durante o teste. Este valor é coletado através da ferramenta iperf conforme a seção 4.3.4.

Throughput * Fator Modulação: mostra o valor calculado para o throughput utilizando o valor de correção explicitado na tabela 4.6. O valor é calculado através da seguinte fórmula:

$$Throughput * FatorModulação \ (cfe.\ tabela\ 4.7) \quad (4.2)$$

Tabela 4.8 - Dados coletados para a modulação 1

Ptx (AU)(dBm)	Frames Recebidos (Total)	Frames Duplicados (descartados)	Frames de Dados	Phy	CRC	% Erros	SNR (Média)	RSSI (Média)	Throughput (Mbps)	Throughput * Fator Modulação
12	15225	29	14794	24	0	0,00%	25	-71	3,91	3,91
11	15236	9	14770	17	0	0,00%	23	-71	3,91	3,91
10	15097	31	14656	13	0	0,00%	20	-76	3,89	3,89
9	15252	25	14808	31	0	0,00%	24	-73	3,91	3,91
8	15212	24	14800	17	0	0,00%	24	-72	3,94	3,94
7	15072	10	14632	17	0	0,00%	24	-71	3,90	3,90
6	15163	25	14730	20	0	0,00%	21	-76	3,89	3,89
5	15332	30	14887	17	0	0,00%	22	-73	3,93	3,93
4	15218	37	14744	24	0	0,00%	21	-76	3,85	3,85
3	14568	26	14287	19	0	0,00%	21	-75	3,90	3,90
2	15292	20	14858	16	0	0,00%	20	-76	3,94	3,94
1	15154	37	14841	8	0	0,00%	20	-77	3,90	3,90
0	14994	37	14581	15	0	0,00%	18	-78	3,91	3,91
-1	15131	23	14708	5	0	0,00%	18	-78	3,92	3,92
-2	15289	26	14843	10	0	0,00%	18	-79	3,94	3,94
-3	15046	55	14617	5	0	0,00%	17	-81	3,81	3,81
-4	15072	38	14662	1	0	0,00%	15	-82	3,93	3,93
-5	15239	31	14818	1	0	0,00%	15	-82	3,93	3,93
-6	15185	20	14772	0	0	0,00%	14	-85	3,92	3,92
-7	14528	29	14128	0	2	0,01%	12	-86	3,75	3,75
-8	14371	15	13981	0	0	0,00%	11	-86	3,82	3,82
-9	14952	37	14546	0	6	0,04%	10	-87	3,80	3,80
-10	14218	71	13804	0	16	0,11%	9	-89	3,35	3,35

Tabela 4.9 - Dados coletados para a modulação 2

Ptx (AU)(dBm)	Frames Recebidos (Total)	Frames Duplicados (descartados)	Frames de Dados	Phy	CRC	% Erros	SNR (Média)	RSSI (Média)	Throughput (Mbps)	Throughput * Fator Modulação
12	15045	12	14667	33	0	0,00%	25	-72	3,91	5,45
11	15145	18	14754	17	0	0,00%	25	-73	3,94	5,49
10	15245	17	14839	13	0	0,00%	24	-72	3,94	5,49
9	15084	7	14710	21	0	0,00%	22	-75	3,94	5,49
8	14536	6	14159	28	0	0,00%	24	-74	3,94	5,49
7	14800	7	14430	31	0	0,00%	23	-75	3,94	5,49
6	15248	20	14841	26	0	0,00%	22	-76	3,93	5,48
5	15198	11	14793	13	0	0,00%	23	-75	3,94	5,49
4	15133	9	14741	18	0	0,00%	22	-75	3,94	5,49
3	15130	9	14714	8	0	0,00%	22	-75	3,94	5,49
2	15280	18	14863	15	0	0,00%	21	-76	3,94	5,49
1	15248	10	14803	15	0	0,00%	20	-77	3,94	5,49
0	15004	23	14576	5	0	0,00%	18	-79	3,86	5,38
-1	14970	21	14571	4	0	0,00%	18	-78	3,94	5,49
-2	15448	33	15015	10	0	0,00%	17	-80	3,91	5,45
-3	15138	34	14719	3	0	0,00%	16	-81	3,88	5,41
-4	14436	28	14031	0	0	0,00%	16	-82	3,92	5,46
-5	15290	27	14855	1	0	0,00%	15	-82	3,91	5,45
-6	15248	19	14807	1	0	0,00%	14	-84	3,92	5,46
-7	14600	20	14211	1	1	0,01%	13	-86	3,92	5,46
-8	15358	39	14916	0	0	0,00%	12	-87	3,92	5,46
-9	14521	47	14132	0	4	0,03%	10	-88	3,82	5,32
-10	13753	105	13293	1	17	0,12%	9	-89	3,12	4,35

Tabela 4.10 - Dados coletados para a modulação 3

Ptx (AU)(dBm)	Frames Recebidos (Total)	Frames Duplicados (descartados)	Frames de Dados	Phy	CRC	% Erros	SNR (Média)	RSSI (Média)	Throughput (Mbps)	Throughput * Fator Modulação
12	15207	23	14818	26	0	0,00%	27	-72	3,90	7,06
11	14569	42	14207	23	0	0,00%	24	-74	3,86	6,98
10	15192	28	14797	26	0	0,00%	23	-74	3,89	7,04
9	14999	19	14614	17	0	0,00%	23	-73	3,92	7,09
8	14563	50	14189	18	0	0,00%	22	-75	3,85	6,97
7	15071	26	14668	17	0	0,00%	24	-73	3,90	7,06
6	14386	36	14026	22	0	0,00%	23	-74	3,89	7,04
5	15074	36	14692	25	0	0,00%	23	-74	3,85	6,97
4	15205	18	14799	13	0	0,00%	22	-75	3,87	7,00
3	15116	18	14728	15	0	0,00%	21	-76	3,87	7,00
2	14905	34	14534	18	0	0,00%	21	-76	3,88	7,02
1	15183	27	14790	13	0	0,00%	20	-78	3,90	7,06
0	14155	9	13800	4	0	0,00%	18	-79	3,90	7,06
-1	15295	25	14890	5	0	0,00%	19	-78	3,92	7,09
-2	15155	31	14773	4	0	0,00%	18	-79	3,90	7,06
-3	14554	13	14181	2	0	0,00%	17	-80	3,90	7,06
-4	15012	21	14635	5	1	0,01%	16	-83	3,91	7,07
-5	15231	25	14845	2	0	0,00%	15	-83	3,91	7,07
-6	14866	18	14491	1	0	0,00%	14	-84	3,92	7,09
-7	14674	28	14292	0	0	0,00%	12	-86	3,92	7,09
-8	13103	39	12717	1	3	0,02%	11	-87	3,26	5,90
-9	14755	52	14392	0	8	0,05%	10	-88	3,56	6,44
-10	13467	93	13093	0	11	0,08%	10	-89	3,44	6,22

Tabela 4.11 - Dados coletados para a modulação 4

Ptx (AU)(dBm)	Frames Recebidos (Total)	Frames Duplicados (descartados)	Frames de Dados	Phy	CRC	% Erros	SNR (Média)	RSSI (Média)	Throughput (Mbps)	Throughput * Fator Modulação
12	14810	17	14435	22	0	0,00%	26	-71	3,94	10,09
11	15275	39	14881	19	0	0,00%	25	-72	3,94	10,09
10	15199	18	14806	28	0	0,00%	24	-73	3,92	10,04
9	15176	25	14797	19	0	0,00%	24	-74	3,92	10,04
8	14841	32	14468	18	0	0,00%	24	-74	3,92	10,04
7	15278	31	14890	17	0	0,00%	23	-74	3,93	10,06
6	14471	32	14108	14	0	0,00%	23	-75	3,93	10,06
5	15188	37	14792	19	0	0,00%	23	-74	3,90	9,99
4	14607	29	14245	15	0	0,00%	20	-77	3,88	9,93
3	14441	63	14074	21	0	0,00%	21	-76	3,79	9,70
2	15230	18	14844	4	0	0,00%	19	-78	3,90	9,99
1	15190	19	14815	5	0	0,00%	17	-79	3,91	10,01
0	15300	20	14902	3	0	0,00%	18	-80	3,91	10,01
-1	15126	29	14746	3	0	0,00%	16	-80	3,90	9,99
-2	15195	32	14818	4	0	0,00%	17	-80	3,91	10,01
-3	14880	19	14509	1	0	0,00%	16	-81	3,93	10,06
-4	14577	46	14219	1	1	0,01%	13	-84	3,86	9,88
-5	15306	26	14930	0	0	0,00%	13	-85	3,92	10,04
-6	14748	25	14380	0	0	0,00%	13	-84	3,93	10,06
-7	14996	25	14623	0	1	0,01%	12	-85	3,87	9,91
-8	11827	84	11470	0	32	0,27%	11	-87	2,92	7,48
-9	15405	70	15020	1	3	0,02%	10	-87	3,74	9,58
-10	13110	93	12740	2	131	1,00%	8	-89	3,16	8,09

Tabela 4.12 - Dados coletados para a modulação 5

Ptx (AU)(dBm)	Frames Recebidos (Total)	Frames Duplicados (descartados)	Frames de Dados	Phy	CRC	% Erros	SNR (Média)	RSSI (Média)	Throughput (Mbps)	Throughput * Fator Modulação
12	15360	33	14955	21	0	0,00%	26	-70	3,93	13,10
11	14584	43	14233	15	0	0,00%	25	-72	3,88	12,93
10	15180	33	14802	13	0	0,00%	24	-73	3,93	13,10
9	15107	18	14724	17	0	0,00%	24	-73	3,93	13,10
8	15051	21	14673	17	0	0,00%	24	-73	3,93	13,10
7	14922	16	14540	16	0	0,00%	23	-74	3,92	13,07
6	15275	25	14874	16	0	0,00%	23	-74	3,93	13,10
5	15215	50	14826	19	0	0,00%	23	-74	3,91	13,03
4	15141	39	14751	14	1	0,01%	21	-76	3,91	13,03
3	14297	21	13935	13	1	0,01%	20	-76	3,91	13,03
2	13875	36	13525	7	3	0,02%	19	-79	3,89	12,97
1	14353	29	13998	5	0	0,00%	19	-79	3,92	13,07
0	14898	41	14518	3	1	0,01%	18	-79	3,92	13,07
-1	14876	38	14510	5	10	0,07%	17	-81	3,92	13,07
-2	14769	57	14394	6	7	0,05%	17	-80	3,86	12,87
-3	14632	40	14268	0	4	0,03%	16	-81	3,90	13,00
-4	15231	44	14846	1	9	0,06%	15	-82	3,91	13,03
-5	15006	47	14621	3	6	0,04%	15	-82	3,92	13,07
-6	14908	28	14534	0	53	0,36%	14	-83	3,89	12,97
-7	12739	49	12346	0	853	6,70%	11	-86	3,15	10,50
-8	13428	50	13041	0	501	3,73%	9	-88	3,34	11,13
-9	5783	20	5375	0	374	6,47%	9	-89	1,40	4,67
-10	6744	26	6335	0	1174	17,41%	7	-90	1,53	5,10

A figura 4.23 mostra duas características importantes do sistema real. A primeira é que a potência necessária para o tráfego de dados com número de erros reduzido no enlace é muito maior para os níveis de modulação mais altos (especialmente válido para as modulações 7 e 8 que utilizam QAM-64). Na figura 4.23, é possível perceber que a partir de valores menores que 2 dBm estas modulações apresentam elevação considerável da taxa de erros. A segunda é que as curvas expressas na figura 4.23 apresentam características que evidenciam a presença de rajadas de interferência durante a realização dos testes, traduzida pela redução e o aumento da taxa de erros que não correspondem necessariamente com a redução de potência sequencial que foi utilizada durante a coleta dos dados.

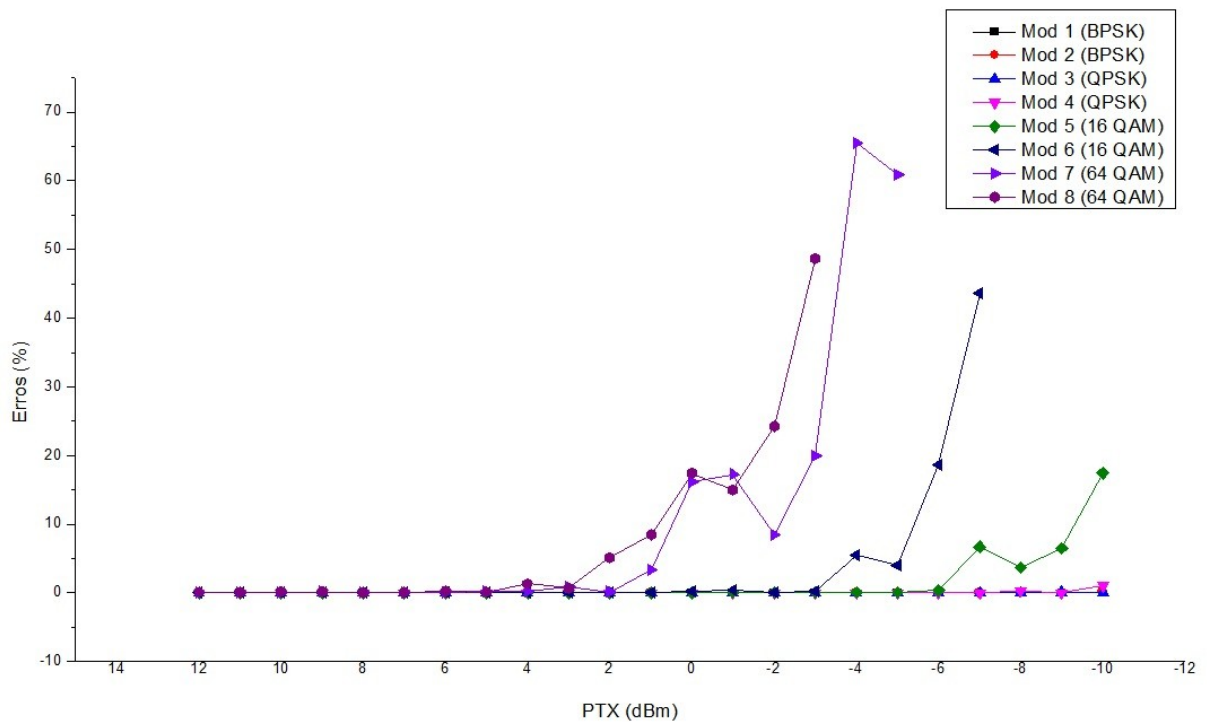


Figura 4.23 - Percentual de erros por modulação

A figura 4.24 mostra o comportamento do sistema, denotando agora as características de taxas de transmissão atingidas em função da modulação adotada. Os testes demonstram que as modulações mais altas apresentam taxas bem maiores, da ordem de 22 Mbps à 24 Mbps, porém necessitam de mais potência e consequentemente uma relação sinal ruído maior para operação sem erros.

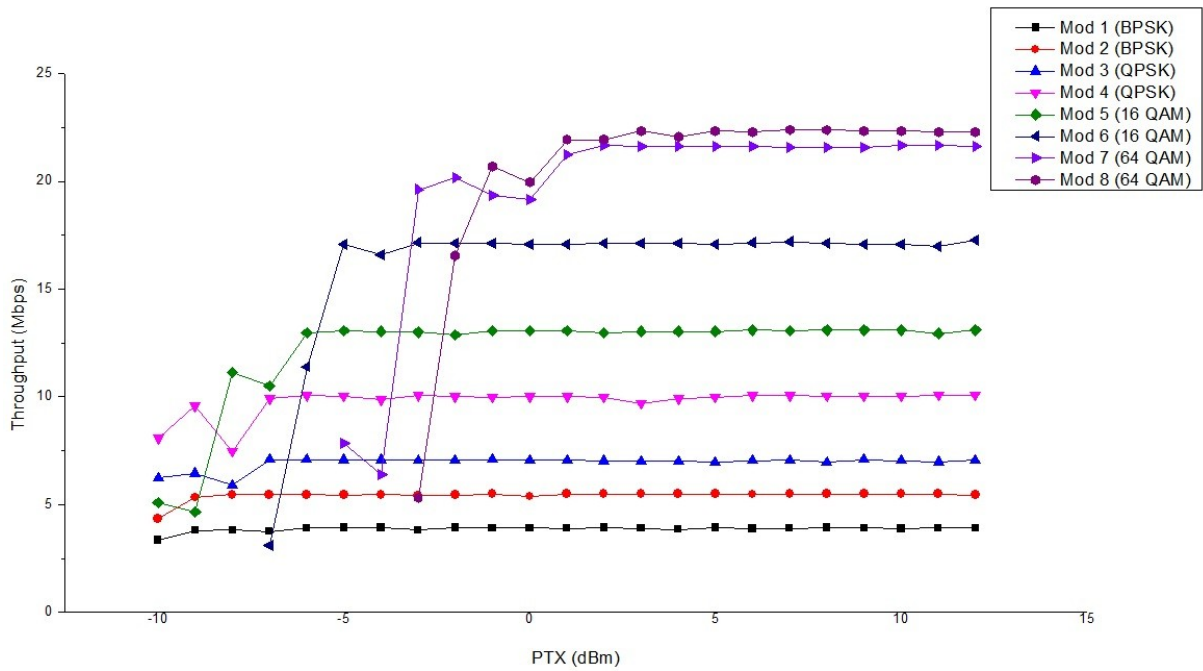


Figura 4.24 - Throughput em função da modulação

Apresentam-se na tabela 4.16 os valores de relação sinal ruído necessários estimados pelo fabricante para cada uma das modulações.

Tabela 4.16 - Valores de SNR Mínimos por modulação

Modulação	Sensibilidade Mínima (dBm)	SNR Mínimo (dB)	SNR Estimado
Nível 1 (BPSK)	-92	6	<9(*)
Nível 2 (BPSK)	-91	7	<9(*)
Nível 3 (QPSK)	-89	9	<9(*)
Nível 4 (QPSK)	-87	11	10
Nível 5 (16 QAM)	-84	14	12
Nível 6 (16 QAM)	-80	18	15
Nível 7 (64 QAM)	-76	22	19
Nível 8 (64 QAM)	-74	23	22

(*) Valores não esgotados em função das limitações do hardware

Os valores obtidos se aproximam dos valores estimados pelo fabricante. Eventuais diferenças são atribuídas à ausência dos mecanismos de ajuste dinâmico que foram desabilitados para a realização dos testes.

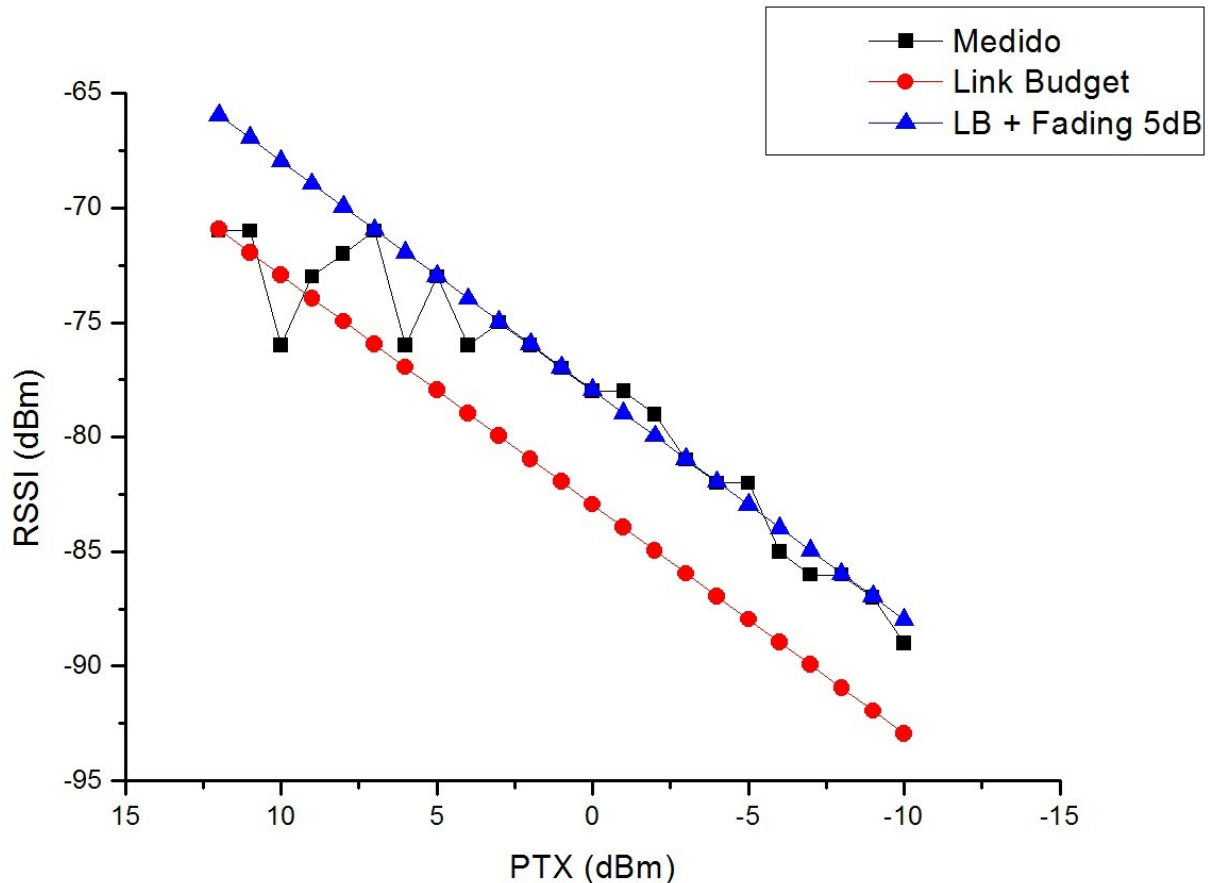


Figura 4.25 - Valores de RSSI Medidos comparados ao Link Budget

Por fim a figura 4.25, mostra os valores de RSSI obtidos com a variação da potência de transmissão da unidade de acesso, comparados aos valores estimados pelo cálculo do link budget. É possível perceber novamente a variabilidade dos dados obtidos, causados provavelmente pela incidência de interferências durante a coleta. As curvas em vermelho e azul apresentam, respectivamente, as estimativas obtidas com o Link Budget sem efeitos de desvanecimento (fading) e com a aplicação de um desvanecimento estimado de 5dB.[10]

Considera-se que as estimativas foram razoavelmente precisas dado que a variabilidade dos efeitos que incidem sobre um enlace real são elevadas.

5 CONCLUSÃO

Os serviços de comunicação de dados estão se tornando cada vez mais convergentes, reunindo serviços de voz e dados em um mesmo meio de transmissão. A mobilidade é outro fator que vem se tornando cada vez mais usual. Esta convergência causa uma elevada dependência dos usuários com relação a disponibilidade de uma série de serviços.

O desafio neste caso é o atendimento das demandas de banda cada vez maiores, com elevados níveis de disponibilidade e com precificação competitiva, em função da concorrência na prestação destes serviços.

Desta forma, a escolha do meio a ser utilizado deve traduzir em custos reduzidos de implantação e manutenção, bem como rapidez de implantação e atendimento das demandas. O resultado desta escolha deve levar a redução imediata do custo total de investimento em infraestrutura de comunicações.

A escolha de alternativas sem fio permite a obtenção dos resultados esperados em termos de rapidez e baixo custo. Os fatores negativos, normalmente referidos aos índices de disponibilidade e confiabilidade do meio, podem ser compensados com o estudo e o projeto criterioso dos enlaces. As tecnologias hoje disponibilizadas nesta classe de equipamentos permitem compensar, de forma adequada, os efeitos de interferência decorrentes do uso da faixa não licenciada.

Através deste estudo, foi possível identificar que através de um projeto cuidadoso, envolvendo os estudos de visada, a alocação de frequências e o ajuste adequado dos equipamentos, os resultados esperados foram efetivamente alcançados.

É importante ressaltar ainda que através dos dados coletados, foi possível constatar que o meio de transmissão na faixa de frequências não licenciadas encontra-se com níveis muito

elevados de ruído na região metropolitana de Porto Alegre. A variabilidade das medições dos valores de SNR e RSSI, ocasionando a redução drástica de desempenho durante algumas das medições, demonstrado através das figuras 4.23 e 4.24, comprova a forte incidência de interferências durante os testes. Estes efeitos de ruído e interferência são causados pela proliferação e operação simultânea de outros equipamentos similares aos adotados pela PROCERGS.

Considera-se que a solução adotada pela PROCERGS atualmente possui alguns fatores limitantes que deverão ser solucionados no futuro. O fato de que os rádios da linha Alvarion BreezeAccess VL implementam uma pilha de protocolos proprietária, compromete a interoperabilidade com equipamentos de outros fabricantes, sendo que atualmente os rumos desta linha de produtos é ditada apenas pela Alvarion. A implementação de tecnologias proprietárias torna difícil a avaliação e o projeto dos enlaces, principalmente pela escassez de informações detalhadas ofertadas pelo fabricante.

Outro ponto a ser destacado é que em função do dinamismo das construções na cidade, enlaces que hoje se encontram funcionais poderão, em um futuro próximo deixar de operar em função da eventual obstrução total causada pelas edificações. Neste caso, duas soluções podem ser possíveis, reorientação da antena da SU, procurando encontrar condições de reflexão favoráveis e levando em conta que haverá degradação de desempenho ou atendimento do cliente através de outro setor, envolvendo o reprojeito de todo o enlace.

Conforme as perspectivas de mercado, existe a previsão de adoção de equipamentos interoperáveis que seguem estritamente o padrão IEEE 802.16. Este parece ser o rumo que a maioria dos fabricantes está tomando, porém ainda sem definições para implantação no Brasil e com custos incertos até o momento. A operação em faixas licenciadas permanece restrita as

operadoras de telecomunicações e segue o modelo de leilão de faixas de frequência adotado pela ANATEL, não sendo, portanto, uma alternativa viável para a PROCERGS.

Portanto, apesar das claras vantagens nos custos de instalação e na rapidez com que se consegue habilitar os enlaces, a escolha e operação de enlaces que operam na faixa não licenciada com a tecnologia que está sendo adotada hoje não se constituem em alternativas permanentes e viáveis em longo prazo. Porém, a curto e médio prazo, tem demonstrado elevado custo-benefício para o atendimento das demandas elevadas dos clientes da PROCERGS. As tecnologias adotadas nas redes metropolitanas evoluem muito rapidamente e acredita-se que em breve, haverá soluções capazes de contornar as limitações encontradas atualmente.

Como perspectivas futuras para a evolução deste trabalho, apresentam-se as seguintes sugestões:

- Estudo comparativo dos dados coletados com os resultados de simulações e/ou resultados de coletas em ambientes confinados de forma a estimar os efeitos de ruído no desempenho do sistema.
- Coleta e realização de um estudo similar para enlaces ponto-a-ponto utilizados em backhaul, uma vez que trabalham com exigências maiores em termos de desempenho em operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE Working Group 16. **IEEE 802.16 Parte 16: Interface for Fixed Broadband Wireless Access System**, 2006.
- [2] Andrews, Jeffrey G. **Fundamentals of WiMAX**. 1st ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007.
- [3] Fazel, Khaled. **Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems**. 2nd ed. Chichester: Wiley & Sons, 2008.
- [4] Ohrtman, Frank. **WiMAX Handbook: Building 802.16 wireless networks**. 1st ed. New-York, McGraw-Hill, 2005.
- [5] Haykin, Simon. **Sistemas Modernos de Comunicações Wireless**. 1^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- [6] Schonardie, Dagoberto Luiz. **MetroMAX: Manual de Instalação em Campo**. v5. Porto Alegre: PROCERGS, 2009.
- [7] Schonardie, Dagoberto Luiz. **MetroMAX: Manual de Operação**. v7. Porto Alegre: PROCERGS, 2009.
- [8] Hoefel, Roger. P. F. **A MAC and PHY Cross-Layer Model to Estimate the Cell Coverage of IEEE 802.11a, 802.11b and 802.11g WLANs**. Belém: 25^o SBRC, SBC, 2007.
- [9] Miyoshi, Edson M. **Projetos de Sistemas Rádio**. 1^a ed. São Paulo, ERICA, 2002.
- [10] HOEFEL, R. P. F. **A Joint MAC and Physical Layer Analytical Model for IEEE 802.11a Networks Operating under RTS/CTS Scheme**. Fortaleza: SBRC 2005, SBC, 2005.

ANEXO I

RESOLUÇÃO 506/2008 – ANATEL

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES

RESOLUÇÃO Nº 506, DE 1º DE JULHO DE 2008

Republica o Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita.

O CONSELHO DIRETOR DA AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES, no uso das atribuições que lhe foram conferidas pelo art. 22 da Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, e pelo art. 35 do Regulamento da Agência Nacional de Telecomunicações, aprovado pelo Decreto nº 2.338, de 7 de outubro de 1997,

CONSIDERANDO que, de acordo com o disposto no inciso VIII do art. 19 da Lei nº 9.472, de 1997, cabe à Anatel administrar o espectro de radiofrequências, expedindo as respectivas normas;

CONSIDERANDO que, de acordo com o que dispõe o Art. 161 da Lei nº 9.472, de 1997, a qualquer tempo poderá ser modificada a destinação de radiofrequências ou faixas, bem como ordenada a alteração de potências ou de outras características técnicas, desde que o interesse público ou o cumprimento de convenções ou tratados internacionais assim o determine;

CONSIDERANDO as contribuições recebidas em decorrência da Consulta Pública nº 809, de 2 de agosto de 2007, publicada no Diário Oficial da União de 7 de agosto de 2007;

CONSIDERANDO o que consta do processo nº 53500.013588/2007;

CONSIDERANDO deliberação tomada em sua Reunião nº 485, realizada em 19 de junho de 2008,

RESOLVE:

Art. 1º Republicar, com alterações, o Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita, na forma do Anexo a esta Resolução.

Art. 2º Revogar a Resolução nº 365, de 10 de maio de 2004, publicada no Diário Oficial da União de 13 de maio de 2004.

Art. 3º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

RONALDO MOTA SARDENBERG
Presidente do Conselho

Publicada no DOU de 07/07/2008 Secão 1, nº 128 pág.86 a 91

ANEXO À RESOLUÇÃO Nº 506, DE 1º DE JULHO DE 2008

REGULAMENTO SOBRE EQUIPAMENTOS DE RADIOCOMUNICAÇÃO DE
RADIÇÃO RESTRITA

CAPÍTULO I
DOS OBJETIVOS E DEFINIÇÕES

Art. 1º Este Regulamento tem por objetivo caracterizar os equipamentos de radiação restrita e estabelecer as condições de uso de radiofrequência para que possam ser utilizados com dispensa da licença de funcionamento de estação e independentes de outorga de autorização de uso de radiofrequência, conforme previsto no art. 163, § 2º, inciso I da Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997.

Art. 2º Para os efeitos deste Regulamento, são adotadas as seguintes definições e conceitos:

I – Dispositivo de Auxílio Auditivo: aparelho usado para prover auxílio auditivo a pessoa ou grupo de pessoas com deficiência. Tal dispositivo pode ser usado para treinamento auricular em uma instituição de educação, para auxílio auditivo em locais de encontros públicos, tais como igreja, teatro, ou auditórios e, em outros locais, exclusivamente para auxílio auditivo a indivíduos portadores de deficiência;

II – Dispositivo de Telemedicação Biomédica: equipamento usado para transmitir medidas de fenômenos biomédicos humanos ou animais para um receptor, dentro de uma área restrita;

III – Dispositivo de Operação Periódica: equipamento que opera de forma descontínua com as características de duração da transmissão e dos períodos de silêncio especificadas neste Regulamento;

IV – Emissor-sensor de Variação de Campo Eletromagnético: Dispositivo que estabelece um campo eletromagnético em sua vizinhança e detecta mudanças naquele campo como resultante do movimento de seres vivos ou objetos dentro de sua faixa de atuação;

V – Equipamento Bloqueador de Sinais de Radiocomunicações (BSR): equipamento destinado a restringir o emprego de radiofrequências ou faixas de radiofrequências específicas para fins de comunicações;

VI – Equipamento de Localização de Cabo: dispositivo usado de forma não contínua com o objetivo de localizar cabos, linhas, dutos e elementos ou estruturas similares enterrados;

VII – Equipamento de Radiocomunicação de Radiação Restrita: termo genérico aplicado a equipamento, aparelho ou dispositivo, que utilize radiofrequência para aplicações diversas em que a correspondente emissão produza campo eletromagnético com intensidade dentro dos limites estabelecidos neste Regulamento. Eventualmente, pode estar especificado neste Regulamento um valor de potência máxima de transmissão ou de densidade de potência máxima em lugar da intensidade de campo;

VIII – Equipamento de Radiocomunicação de Uso Geral: unidade portátil com capacidade de transmissão bidirecional para comunicação de voz;

IX – Espalhamento Espectral: tecnologia na qual a energia média do sinal transmitido é espalhada sobre uma largura de faixa muito maior do que a largura de faixa que contém a informação. Os sistemas empregando tal tecnologia compensam o uso de uma maior largura de faixa de transmissão com uma menor densidade espectral de potência e uma melhora na rejeição aos sinais interferentes de outros sistemas operando na mesma faixa de frequências;

X – Interferência Prejudicial: qualquer emissão, irradiação ou indução que obstrua, degrade seriamente ou interrompa repetidamente a telecomunicação;

XI – Localidade: é todo o lugar do território nacional onde exista aglomerado permanente de habitantes, nos termos e critérios adotados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE;

XII – Microfone sem Fio: sistema composto de um microfone integrado a um transmissor e de um receptor que visa proporcionar o usuário liberdade de movimentos sem as limitações impostas por um meio de transmissão físico (cabo);

XIII – Modulação Digital: processo pelo qual alguma característica da onda portadora (frequência, fase, amplitude ou combinação destas) é variada de acordo com um sinal digital (sinal constituído de pulsos codificados ou de estados derivados de informação quantizada);

XIV – Sistema de Identificação por Radiofrequência (RFID) ou similar: sistema, composto por dispositivo transceptor, que recebe e envia sinais de radiofrequências, quando excitado por um equipamento transceptor interrogador, que tem a capacidade de efetuar a leitura, escrita ou modificação das informações contidas no dispositivo;

XV – Saltos em Frequência: técnica na qual a energia é espalhada mudando a radiofrequência central de transmissão várias vezes por segundo, de acordo com uma seqüência de canais gerada de forma pseudoaleatória. Essa mesma seqüência é usada repetidamente, de forma que o transmissor recicla continuamente a mesma série de mudança de canais;

XVI – Seqüência Direta: técnica na qual se combina a informação do sinal, que normalmente é digital, com uma seqüência binária de maior velocidade, cuja combinação resultante é então usada para modular a portadora de radiofrequência. O código binário - uma seqüência de bits pseudoaleatória de comprimento fixo que é reciclada continuamente pelo sistema - domina a função de modulação, sendo a causa direta do espalhamento do sinal transmitido;

XVII – Seqüência Pseudoaleatória: seqüência de dados binários que tem, na sua formação, ao mesmo tempo algumas características de seqüência aleatória e também algumas de seqüência não aleatória;

XVIII – Sistema de Acesso sem Fio em Banda Larga para Redes Locais: termo aplicado a equipamento, aparelho ou dispositivo, utilizado em aplicações diversas em redes locais sem fio que necessitem de altas velocidades de transmissão, ou seja, de pelo menos 6 Mbit/s, nas faixas de radiofrequências e potências estabelecidas neste Regulamento;

XIX – Sistema de Proteção de Perímetro: emissor-sensor de variação de campo eletromagnético que emprega linhas de transmissão de radiofrequência como fonte de radiação e que são instaladas de tal forma que permitem ao sistema detectar movimentos dentro da área protegida;

XX – Sistema de Ramal sem Fio de CPCT: sistema consistindo de uma estação base fixa que se conecta à Central Privada de Comutação Telefônica (CPCT) e unidades terminais móveis que se

comunicam diretamente com a estação base. Transmissões de uma unidade terminal móvel são recebidas pela estação base e transferida para a CPCT;

XXI – Sistema de Sonorização Ambiental: sistema composto de um transmissor e de receptores integrados a alto-falantes, que visa substituir o meio físico de interligação da fonte sonora às caixas de som;

XXII – Sistema de Telefone sem Cordão: sistema consistindo de dois transeptores, um sendo uma estação base fixa que se conecta à rede telefônica pública comutada e a outra uma unidade terminal móvel que se comunica diretamente com a estação base. Transmissões da unidade terminal móvel são recebidas pela estação base e transferidas para a rede do Serviço Telefônico Fixo Comutado (STFC). Informações recebidas da rede telefônica pública comutada são transmitidas pela estação base para a unidade móvel;

XXIII– Telecomando: uso das telecomunicações para a transmissão de sinais de rádio para iniciar, modificar ou terminar, à distância, funções de equipamento;

XXIV – Telemetria: uso das telecomunicações para a indicação ou registro automático, à distância, de leituras de instrumento de medida;

CAPÍTULO II DAS CONDIÇÕES GERAIS

Art. 3º As estações de radiocomunicação, que fizerem uso de equipamentos de radiação restrita caracterizados por este Regulamento, estão isentas de cadastramento ou licenciamento para instalação e funcionamento.

Parágrafo único. Quando a atividade de telecomunicações desenvolvida pela estação de radiocomunicação extrapolar os limites de uma mesma edificação ou propriedade móvel ou imóvel, e as estações de radiocomunicações fizerem uso de equipamentos definidos nas Seções IX e X deste Regulamento, aplicam-se as seguintes disposições:

I – quando o funcionamento dessas estações estiver associado à exploração do serviço de telecomunicações de interesse coletivo, será necessária a correspondente autorização do serviço, bem como o licenciamento das estações que se destinem à:

- a) interligação às redes das prestadoras de serviços de telecomunicações; ou
- b) interligação a outras estações da própria rede por meio de equipamentos que não sejam de radiação restrita;

II – quando o funcionamento dessas estações servir de suporte à rede de telecomunicações destinada a uso próprio ou a grupos determinados de usuários, será dispensada a obtenção da autorização de serviço, devendo ainda, caso as estações estejam operando em conformidade com as alíneas a ou b do inciso I deste artigo, ser cadastradas no banco de dados da Agência;

III – os incisos I e II não se aplicam quando as estações operarem nas condições previstas no § 2º do art. 39, deste Regulamento. Nesse caso, será necessária a autorização de serviço, assim como o licenciamento das estações.

Art. 4º As estações de radiocomunicação correspondentes a equipamentos de radiação restrita operam em caráter secundário, isto é, não têm direito a proteção contra interferências prejudiciais

provenientes de qualquer outra estação de radiocomunicação nem podem causar interferência em qualquer sistema operando em caráter primário.

Parágrafo único. Os equipamentos de radiação restrita, que vierem a causar interferência prejudicial em qualquer sistema operando em caráter primário, devem cessar seu funcionamento imediatamente até a remoção da causa da interferência.

Art. 5º Os equipamentos de radiação restrita operando de acordo com o estabelecido neste Regulamento devem possuir certificação emitida ou aceita pela Anatel, de acordo com as normas vigentes.

§ 1º. O certificado deve conter a condição de radiação restrita conferida ao equipamento, bem como a indicação da máxima intensidade de campo em uma determinada distância, conforme especificado neste Regulamento, e o tipo de elemento radiante permitido na utilização do equipamento.

§ 2º. Alternativamente, pode constar no certificado um valor de potência máxima de transmissão ou de densidade de potência em lugar da intensidade de campo, se assim estiver especificado neste Regulamento.

Art. 6º. Os equipamentos de radiação restrita devem conter, em lugar facilmente visível, uma etiqueta de difícil remoção, contendo a seguinte declaração: “Este equipamento opera em caráter secundário, isto é, não tem direito a proteção contra interferência prejudicial, mesmo de estações do mesmo tipo, e não pode causar interferência a sistemas operando em caráter primário.”

Parágrafo único. Se o equipamento for de tamanho reduzido ou em formato que torne impraticável a afixação da etiqueta mencionada no caput deste artigo, a declaração deve estar contida em local de destaque no manual de instruções fornecido pelo fabricante ao usuário.

Art. 7º. Exceto quando explicitamente estabelecido o contrário neste Regulamento, todo equipamento de radiação restrita deve ser projetado para assegurar que nenhuma outra antena além daquela com ele fornecida possa ser usada.

§ 1º. O uso de uma antena incorporada (com conexões permanentes) ao equipamento é considerado suficiente como atendimento ao disposto no caput deste artigo.

§ 2º. O uso de conectores genéricos de antenas ou elétricos não é permitido.

Art. 8º. Nas faixas de radiofrequências da Tabela I não é admitida a utilização de equipamentos de radiação restrita. Nestas faixas, admite-se somente emissões espúrias provenientes dos mencionados equipamentos que estejam operando em outra faixa.

Tabela I
Faixas de radiofrequências com restrições de uso

MHz	MHz	MHz	GHz
0,090-0,110	13,36-13,41	399,9-410	5,35-5,46
0,495-0,505	16,42-16,423	608-614	6,65-6,6752
2,1735-2,1905	16,69475-16,69525	952-1215	8,025-8,5
4,125-4,128	16,80425-16,80475	1.300-1.427	9,0-9,2
4,17725-4,17775	21,87-21,924	1.435-1.646,5	9,3-9,5
4,20725-4,20775	23,2-23,35	1.660-1.710	10,6-11,7

6,215-6,218	25,5-25,67	1.718,8-1.722,2	12,2-12,7
6,26775-6,26825	37,5-38,25	2.200-2.300	13,25-13,4
6,31175-6,31225	73-74,6	2.483,5-2.500	14,47-14,5
8,291-8,294	74,8-75,2	2.655-2.900	15,35-16,2
8,362-8,366	108-138	3.260-3.267	20,2-21,26
8,37625-8,38675	149,9-150,05	3.332-3.339	22,01-23,12
8,41425-8,41475	156,52475-156,52525	3.345,8-3.352,5	23,6-24,0
12,29-12,293	156,7-156,9	4.200-4.400	31,2-31,8
12,51975-12,52025	242,95-243	4.800-5.150	36,43-36,5
12,57675-12,57725	322-335,4		Acima de 38,6

Parágrafo único. Excepcionalmente, os Sistemas de Comunicações de Implantes Médicos (MICS) estão autorizados a operar na faixa de 402 MHz a -405 MHz, desde que atendam ao estabelecido no art. 19.

Art. 9º. Exceto quando explicitamente estabelecido o contrário neste Regulamento, as emissões de um equipamento de radiação restrita não devem ser superiores aos níveis de intensidade de campo especificados na Tabela II.

§ 1º. Nas faixas 54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz e 470-806 MHz, a operação de equipamentos de radiação restrita somente poderá ser feita sob condições específicas estabelecidas neste Regulamento.

Tabela II
Limites Gerais de Emissão

Faixa de radiofrequências (MHz, onde não especificado)	Intensidade de campo (microvolt por metro)	Distância da Medida (metro)
9-490 kHz	2.400/F(kHz)	300
490-1705 kHz	24.000/F(kHz)	30
1,705-30	30	30
30-88	100	3
88-216	150	3
216-960	200	3
Acima de 960	500	3

§ 2º. A intensidade de campo de um equipamento de radiação restrita operando nas faixas 26,96-27,28 MHz e 49,82-49,90 MHz não deve exceder a:

I – 10.000 microvolts por metro a 3 metros do emissor, para as emissões na radiofrequência portadora;

II – 500 microvolts por metro a 3 metros do emissor, para as emissões fora de faixa, inclusive harmônicas, em qualquer radiofrequência afastada mais de 10 kHz da portadora.

§ 3º. A intensidade de campo de equipamentos de radiação restrita operando nas faixas de 40,66 MHz a 40,70 MHz não deve exceder 1.000 microvolts por metro a 3 metros do emissor.

§ 4º. Os limites de intensidade de campo média, medida a uma distância de 3 metros, de um equipamento de radiação restrita operando nas faixas 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2.400-2.483,5 MHz, 5.725-5.875 MHz e 24,00-24,25 GHz não devem exceder ao especificado na Tabela III. A intensidade de campo de pico de qualquer emissão não deve exceder o valor médio especificado por mais de 20 dB. As emissões fora das faixas de frequências especificadas, exceto harmônicos, devem estar atenuadas por, no mínimo, 50 dB do nível da fundamental ou atender aos limites gerais de emissão da Tabela II, prevalecendo a menor atenuação.

Tabela III

Radiofrequência Fundamental	Intensidade de Campo da Radiofrequência Fundamental (milivolt por metro)	Intensidade de Campo de Harmônicos (microvolt por metro)
902-907,5 MHz	50	500
915-928 MHz	50	500
2.400-2.483,5 MHz	50	500
5.725-5.875 MHz	50	500
24,00-24,25 GHz	250	2.500

§ 5º. A utilização da faixa 433- 435 MHz por equipamentos de radiação restrita poderá ser feita com potência irradiada limitada ao valor máximo de 10 mW (*e.i.r.p*).

CAPÍTULO III DAS CONDIÇÕES ESPECÍFICAS DE USO

Art. 10. As disposições estabelecidas neste Capítulo apresentam, entre outros aspectos, limites de emissão alternativos àqueles do art. 9º para equipamentos de radiação restrita destinados a aplicações específicas e operando em determinadas faixas de radiofrequências.

Art. 11. Na maioria dos casos, emissões indesejáveis fora das faixas de radiofrequências explicitadas nas disposições estabelecidas neste Capítulo devem ser atenuadas para os limites da Tabela II. Em hipótese alguma o nível das emissões indesejáveis pode exceder a intensidade de campo da emissão fundamental.

Art. 12. Para as aplicações específicas previstas neste Capítulo, nos casos em que a estabilidade de radiofrequência não seja definida, a radiofrequência fundamental deve ser mantida no intervalo abaixo definido, a fim de minimizar a possibilidade de operação fora de faixa.

$$[f_{\text{inf}} + 0,1.(f_{\text{sup}} - f_{\text{inf}})] < f < [f_{\text{sup}} - 0,1.(f_{\text{sup}} - f_{\text{inf}})]$$

onde:

f_{inf} = valor da radiofrequência do limite inferior da faixa permitida; e
 f_{sup} = valor da radiofrequência do limite superior da faixa permitida.

Seção I
Dispositivos de Operação Periódica

Art. 13. Dispositivos de Operação Periódica operando nas faixas 40,66-40,70 MHz e acima de 70 MHz devem atender às seguintes condições:

I – A intensidade de campo emitida, medida a uma distância de 3 metros do dispositivo emissor, não deve exceder os valores da Tabela IV, respeitando o estabelecido no art. 8º. Os valores mais restritivos aplicam-se às radiofrequências limites das faixas;

Tabela IV

Radiofrequência Fundamental (MHz)	Intensidade de Campo da Radiofrequência Fundamental (microvolt por metro)	Intensidade de Campo de Emissões Espúrias (microvolt por metro)
40,66-40,70	1.000	100
70-130	500	50
130-174	500 a 1.500 (interpolação linear)	50 a 100
174-260	1.500	150
260-470	1.500 a 5.000 (interpolação linear)	150 a 500 (interpolação linear)
Acima de 470	5.000	500

II – A largura de faixa da emissão, determinada pelos pontos de 20 dB abaixo da portadora modulada, deve estar limitada a 0,25% da radiofrequência central, para dispositivos operando acima de 70 MHz e abaixo de 900 MHz. Para dispositivos operando acima de 900 MHz, a largura de faixa da emissão acima mencionada não deve exceder 0,5% da radiofrequência central;

III – Para dispositivos operando na faixa 40,66-40,70 MHz, a largura de faixa da emissão deve estar confinada à mencionada faixa e a tolerância da radiofrequência da portadora deve ser de $\pm 0,01\%$, para uma variação de temperatura de -20°C a $+50^\circ\text{C}$ e para uma variação de voltagem de alimentação primária de 85% a 115% da voltagem nominal em uma temperatura de 20°C . Equipamentos que funcionam com baterias devem ser testados com tensão nominal das baterias;

IV – O dispositivo deve ser provido de meios que automaticamente limitem sua operação tal que a duração de cada transmissão não seja superior a um segundo e o período de silêncio entre transmissões seja de, no mínimo, 30 vezes a duração da transmissão, mas nunca menos de 10 segundos.

Art. 14. Dispositivos de Operação Periódica operando nas faixas 40,66-40,70 MHz e acima de 70 MHz, cuja emissão está restrita à transmissão de um sinal de controle tais como aqueles usados com sistemas de alarme, dispositivos de abrir e fechar porta, chaves remotas, devem atender às seguintes condições:

I – a intensidade de campo emitida, medida a uma distância de 3 metros do dispositivo emissor, não deve exceder os valores da Tabela V, respeitando o estabelecido no art. 8º. Os valores mais restritivos aplicam-se às radiofrequências limites das faixas;

Tabela V

Radiofrequência Fundamental (MHz)	Intensidade de Campo da Radiofrequência Fundamental (microvolt por metro)	Intensidade de Campo de Emissões Espúrias (microvolt por metro)
40,66-40,70	2.250	225
70-130	1.250	125
130-174	1.250 a 3.750 (interpolação linear)	125 a 375
174-260	3.750	375
260-470	3.750 a 12.500 (interpolação linear)	375 a 1.250 (interpolação linear)
Acima de 470	12.500	1.250

II – as disposições dos incisos II e III do art. 13 também se aplicam aos dispositivos de operação periódica objeto deste art. 14;

III – se operado manualmente, o dispositivo deve conter uma chave que desative automaticamente o transmissor, no máximo, 5 segundos após cessar a operação manual;

IV – se o transmissor for ativado automaticamente, deve cessar a transmissão, no máximo, 5 segundos após sua ativação;

V – transmissões periódicas em intervalos regulares predeterminados somente são admissíveis em transmissões de supervisão ou de varredura para determinar a integridade sistêmica de transmissores utilizados em aplicações de segurança. Neste caso, a taxa periódica de transmissão não deve ser superior a 1 (um) segundo de duração por hora, para cada transmissor.

Parágrafo único. Não é permitida a operação, nas condições estabelecidas neste artigo, de:

I – Telecomandos (ou controles remotos) para brinquedos;

II – Sistemas de transmissão contínua, tais como voz ou vídeo;

III – Sistemas de transmissão de dados, exceto aqueles relacionados com o uso de códigos de reconhecimento utilizados para identificar o sensor que é ativado ou para identificar um componente particular como parte do sistema.

Seção II

Equipamentos de Telemedição e Microfone sem Fio

Art. 15. Equipamentos de Telemedição e Microfone sem Fio, operando na faixa de frequências 88-108 MHz, devem atender às seguintes condições:

I – as emissões devem estar confinadas numa faixa de 200 kHz de largura cujo centro é a radiofrequência nominal de operação. A faixa de 200 kHz deve estar totalmente contida na faixa especificada no “caput” deste artigo;

II – a intensidade de campo de qualquer emissão dentro da faixa especificada de 200 kHz não deve exceder 250 microvolts por metro a 3 metros do equipamento e qualquer emissão fora de faixa deve estar limitada aos valores estabelecidos no art. 9º.

Art. 16. Equipamentos Microfone sem Fio operando nas faixas de 54-72 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz, 470-608 MHz e 614-806 MHz devem atender às seguintes condições:

I – a largura de faixa ocupada não deve exceder a 200 kHz e deve estar totalmente contida em uma das faixas especificadas no “caput” deste artigo;

II – a emissão em qualquer radiofrequência discreta fora da faixa autorizada deve estar atenuada em relação à potência média de saída do transmissor de: $43 + 10 \log_{10}(P)$ dB, onde P é a potência média de saída em Watts;

III – a estabilidade de radiofrequência do transmissor deve ser de 0,005%;

IV – a potência da portadora não modulada medida na saída do amplificador de potência do transmissor (conector de entrada da antena) deve estar limitada aos valores constantes da Tabela VI;

V – quando for empregada modulação em frequência o desvio máximo permitido é de ± 75 kHz, sendo admitidas outras formas de modulação.

Tabela VI

Faixa de radiofrequências (MHz)	Potência (miliwatt)
54-72	50
76-88	50
174-216	50
470-608	250
614-806	250

Seção III

Equipamentos de Telemedição Biomédica

Art. 17. Equipamentos de Telemedição Biomédica operando na faixa 174-216 MHz devem atender às seguintes condições:

I – as emissões devem estar confinadas numa faixa de 200 kHz de largura cujo centro é a frequência nominal de operação. A faixa de 200 kHz deve estar totalmente contida na faixa especificada no “caput” deste artigo;

II – a intensidade de campo de qualquer emissão dentro da faixa especificada de 200 kHz não deve exceder 1.500 microvolts por metro a 3 metros do equipamento e qualquer emissão fora de faixa deve estar limitada a 150 microvolts por metro, também a 3 metros do equipamento.

Art. 18. Equipamentos de Telemedição Biomédica também podem operar nas faixas de radiofrequências destinadas a estações de radiodifusão de sons e imagens. Neste caso, as emissões fundamentais devem estar contidas na faixa 512-566 MHz e o seu uso ser restrito a hospitais.

Art. 19. Sistemas de Comunicações de Implantes Médicos (MICS) podem operar na faixa 402 - 405 MHz, desde que a potência (e.i.r.p) esteja limitada a 25 microwatts em uma largura de faixa de referência de 300 kHz.

Seção IV Equipamentos de Telemedição de Características de Material

Art. 20. Equipamentos de Telemedição de Características de Material, operando nas faixas 890-907,5 MHz e 915-940 MHz devem atender às seguintes condições:

I – proibida a comunicação de voz ou transmissão de qualquer outro tipo de mensagem;

II – a intensidade de campo de qualquer emissão na radiofrequência especificada não deve exceder 500 microvolts por metro a 30 metros do equipamento e qualquer emissão fora de faixa deve estar de acordo com os limites gerais de emissão radiada especificados no art. 9º;

III – o dispositivo não deve possuir qualquer controle externo ou acessível ao usuário que permita o ajuste ou operação de maneira inconsistente com o estabelecido neste artigo;

IV – Qualquer antena que venha eventualmente a ser utilizada deve estar conectada ao equipamento de forma permanente e não deve ser passível de modificação pelo usuário.

Seção V Emissor-Sensor de Variação de Campo Eletromagnético

Art. 21. Emissor-sensor de Variação de Campo Eletromagnético, excluindo-se sistemas de proteção de perímetro, operando nas faixas 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2.435-2.465 MHz, 5.785-5.815 MHz, 10.500-10.550 MHz e 24.075-24.175 MHz deve atender às seguintes condições:

I – a intensidade de campo a 3 metros do emissor nas faixas de radiofrequências especificadas deve estar de acordo com o constante da Tabela VII;

Tabela VII

Radiofrequência Fundamental (MHz)	Intensidade de Campo da Radiofrequência Fundamental (milivolt por metro)	Intensidade de Campo de Harmônicos (milivolt por metro)
902-907,5	500	1,6
915-928	500	1,6
2.435-2.465	500	1,6
5.785-5.815	500	1,6
10.500-10.550	2.500	25
24.075-24.175	2.500	25

II – independente dos limites constantes da Tabela VII, as emissões de harmônicos, nas faixas com restrições abaixo de 17,7 GHz constantes da Tabela I, devem atender ao estabelecido no art. 9º;

III – nas faixas com restrições iguais ou superiores a 17,7 GHz constantes da Tabela I, aplicam-se os seguintes requisitos:

a) para Emissor-Sensor de Variação de Campo Eletromagnético, projetado para uso exclusivamente no interior de construções prediais ou para abrir portas de construções prediais, a intensidade de campo não deve ser superior 25 milivolts por metro, a 3 metros do emissor;

b) Emissor-Sensor de Variação de Campo Eletromagnético, projetado para uso em veículos motorizados ou aeronaves, deve incluir característica que impeça sua operação contínua, a não ser que suas emissões estejam plenamente de acordo com os limites estabelecidos no art. 9º;

c) é permitida a operação contínua de Emissor-Sensor de Variação de Campo Eletromagnético projetado para ser usado em equipamentos agrícolas, veículos para uso essencialmente no interior de construções prediais ou em operações especiais, em locomotivas, em vagões e em outros equipamentos que viajam em trilhas fixas. Emissor-Sensor de Perturbação de Campo Eletromagnético não será considerado operar em modo contínuo se sua operação estiver restrita a atividades específicas de duração limitada.

IV – emissões fora das faixas de radiofrequências aqui estabelecidas, exceto harmônicos, devem ser atenuadas, no mínimo, 50 dB em relação ao nível da radiofrequência fundamental ou devem atender aos valores estabelecidos no art. 9º, prevalecendo a menor atenuação.

Art. 22. Sensores de variação de campo eletromagnético instalados em veículo e utilizados como sistemas de radar de veículo operando nas faixas 46,7-46,9 GHz e 76-77 GHz devem atender às seguintes condições:

I – se o veículo não estiver em movimento, a densidade de potência de qualquer emissão nas faixas de radiofrequências de operação especificadas não deve exceder a 200 nanowatts/cm² a uma distância de 3 metros da superfície externa da estrutura de radiação;

II – para sensores de variação de campo instalados em qualquer parte a ser vista frontalmente no veículo, a densidade de potência de qualquer emissão dentro das faixas de radiofrequências de operação especificadas, quando o veículo estiver em movimento, não deve ser superior 60 microwatts/cm² a uma distância de 3 metros da superfície externa da estrutura de radiação;

III – para sensores de variação de campo instalados em qualquer parte a ser vista lateralmente ou por trás do veículo, a densidade de potência de qualquer emissão dentro das faixas de radiofrequências de operação especificadas, quando o veículo estiver em movimento, não deve ser superior 30 microwatts/cm² a uma distância de 3 metros da superfície externa da estrutura de radiação;

IV – a densidade de potência de qualquer emissão fora das faixas de radiofrequências de operação deve consistir somente de emissões espúrias e não deve exceder a:

a) 2 picowatts/cm² a 3 metros da superfície externa da estrutura de radiação, para sensores de variação de campo instalados em veículos operando na faixa 46,7-46,9 GHz;

b) 600 picowatts/cm² a 3 metros da superfície externa da estrutura de radiação, para sensores de variação de campo instalados em qualquer parte a ser vista frontalmente no veículo operando na faixa de 76-77 GHz;

c) 300 picowatts/cm² a 3 metros da superfície externa da estrutura de radiação, para sensores de variação de campo instalados em qualquer parte a ser vista lateralmente ou por trás do veículo operando na faixa de 76-77 GHz;

d) qualquer emissão abaixo de 40 GHz não deve exceder ao estabelecido no art. 9º;

V – emissões na radiofrequência fundamental devem estar restritas às faixas de radiofrequências especificadas neste artigo durante todas as condições de operação.

Parágrafo único. Não é permitido o uso dos dispositivos objeto deste artigo em aeronaves ou satélites.

Art. 23. Emissor-sensor de Variação de Campo Eletromagnético utilizado em sistemas de proteção de perímetro pode operar nas faixas 54 MHz -72 MHz e 76 MHz -88 MHz, desde que as emissões fundamentais estejam totalmente contidas nas mencionadas faixas e os limites gerais de emissão estabelecidos no art. 9º sejam atendidos.

Parágrafo único. O uso de sistemas de proteção de perímetro funcionando nestas faixas não é permitido em residências.

Art. 24. Emissor-sensor de Variação de Campo Eletromagnético utilizado em sistemas de proteção de perímetro operando na faixa de 40,66-40,70 MHz deve ter a intensidade de campo de qualquer emissão limitada a 500 microvolts por metro a 3 metros do emissor.

Parágrafo único. A intensidade de campo de qualquer emissão fora de faixa não deve exceder os limites gerais de emissão estabelecidos no art. 9º.

Seção VI Dispositivo de Auxílio Auditivo

Art. 25. Dispositivo de Auxílio Auditivo, operando nas faixas 72,0-73,0 MHz, 74,6-74,8 MHz e 75,2-76,0 MHz, deve atender às seguintes condições:

I – as emissões devem estar confinadas numa faixa de 200 kHz de largura centrada na radiofrequência de operação. A faixa de 200 kHz deve estar totalmente contida nas faixas de radiofrequências especificadas no “caput” deste artigo;

II – a intensidade de campo de qualquer emissão dentro da faixa permitida de 200 kHz não deve exceder 80 milivolts por metro a 3 metros do equipamento e qualquer emissão fora de faixa deve estar limitada a 1.500 microvolts por metro também a 3 metros do equipamento.

Seção VII Sistemas de Telefone sem Cordão

Art. 26. Os Sistemas de Telefone sem Cordão devem operar nas condições estabelecidas nesta Seção.

§1º. A faixa de radiofrequências 1.910-1.920 MHz poderá ser utilizada para Sistemas de Telefone sem Cordão que utilizem a Tecnologia de Duplexação por Divisão no Tempo, desde que operem de acordo com as condições estabelecidas na Seção VIII de Regulamento.

§2º. Os Sistemas de Telefone sem Cordão, podem utilizar faixas de frequências diferentes das faixas estabelecidas nesta Seção, desde que atendam aos limites gerais de emissão descritos na Tabela II deste Regulamento.

Art. 27. Faixas de radiofrequências: 43,7-47 MHz e 48,7-50 MHz, de acordo com a canalização descrita na Tabela VIII, 902-907,5 MHz e 915-928 MHz, para as quais não é definida uma canalização específica.

Tabela VIII

Canal N°	Transmissão Base (MHz)	Transmissão do Monofone (MHz)
1	43,720	48,760
2	43,740	48,840
3	43,820	48,860
4	43,840	48,920
5	43,920	49,020
6	43,960	49,080
7	44,120	49,100
8	44,160	49,160
9	44,180	49,200
10	44,200	49,240
11	44,320	49,280
12	44,360	49,360
13	44,400	49,400
14	44,460	49,460
15	44,480	49,500
16	46,610	49,670
17	46,630	49,845
18	46,670	49,860
19	46,710	49,770
20	46,730	49,875
21	46,770	49,830
22	46,830	49,890
23	46,870	49,930
24	46,930	49,990
25	46,970	49,970

Art. 28. A intensidade de campo das emissões nas radiofrequências portadoras das faixas especificadas no art. 27 não deve exceder aos limites estabelecidos na Tabela IX.

Tabela IX

Faixa (MHz)	Intensidade de Campo (microvolt por metro)	Distância (m)
43,7-47 e 48,7-50	10.000	3
902-907,5 e 915-928	50.000	3

Art. 29. A largura de faixa ocupada do canal deve ser a menor possível com o objetivo de reduzir interferências entre canais adjacentes e não poderá ser superior aos limites estabelecidos na Tabela X.

Tabela X

Faixa (MHz)	Largura de Faixa Ocupada Máxima (kHz)
43,7-47 e 48,7-50	20
902-907,5 e 915-928	150

Art. 30. Sistemas Telefones sem Cordão operando nos canais de 1 a 15 da Tabela VIII e nas faixas 902-907,5 MHz e 915-928 MHz devem incorporar mecanismo de seleção automática de canal que evite o estabelecimento de um enlace em radiofrequência já ocupada.

Art. 31. Para Telefones sem Cordão operando na faixas 43,7 MHz-47 MHz e de 48,7 MHz-50 MHz a estabilidade de frequência deve ser de 0,01% da radiofrequência de operação, para uma variação de temperatura de -10° C a +50° C na tensão nominal de alimentação e para valores variando de 85% a 115% da tensão nominal a 20° C.

Art. 32. Aos Sistemas Telefones sem Cordão que utilizem a tecnologia de espalhamento espectral devem ser aplicadas as condições estabelecidas na Seção IX.

Seção VIII Sistemas de Ramal sem Fio de CPCT

Art. 33. Os Sistemas de Ramal sem Fio de CPCT devem operar nas condições estabelecidas nesta Seção.

Art.34. Nas seguintes faixas de frequências:

I – faixa 864-868 MHz, de acordo com a canalização descrita na Tabela XI;

Tabela XI

Canal Nº	radiofrequência (MHz)
01	864,15
02	864,25
03	864,35
04	864,45
05	864,55
06	864,65
07	864,75
08	864,85
09	864,95
10	865,05
11	865,15
12	865,25
13	865,35
14	865,45
15	865,55
16	865,65
17	865,75
18	865,85
19	865,95
20	866,05
21	866,15

22	866,25
23	866,35
24	866,45
25	866,55
26	866,65
27	866,75
28	866,85
29	866,95
30	867,05
31	867,15
32	867,25
33	867,35
34	867,45
35	867,55
36	867,65
37	867,75
38	867,85
39	867,95
40	868,05

II – faixa 944-948 MHz na canalização descrita na Tabela XII;

Tabela XII

Canal Nº	Radiofrequência (MHz)
01	944,15
02	944,25
03	944,35
04	944,45
05	944,55
06	944,65
07	944,75
08	944,85
09	944,95
10	945,05
11	945,15
12	945,25
13	945,35
14	945,45
15	945,55
16	945,65
17	945,75
18	945,85
19	945,95
20	946,05
21	946,15
22	946,25
23	946,35
24	946,45
25	946,55
26	946,65

27	946,75
28	946,85
29	946,95
30	947,05
31	947,15
32	947,25
33	947,35
34	947,45
35	947,55
36	947,65
37	947,75
38	947,85
39	947,95
40	948,05

III – faixa 1.910-1.920 MHz para a qual não é definida uma canalização, e não são admitidos Sistemas de Ramal sem Fio de CPCT que operem em canalização com espaçamento entre portadoras superior a 2 MHz.

Art. 35. A potência de pico máxima na saída do transmissor deve estar limitada a 250 mW.

Parágrafo único. Sistemas que façam uso de antenas com ganho superior a 2 dBi devem ter a potência máxima na saída do transmissor reduzida pela correspondente quantidade em dB que o ganho da antena exceder a 2 dBi.

Art. 36. A largura de faixa ocupada pelo canal deve ser a menor possível com o objetivo de reduzir interferências entre canais adjacentes e não poderá ser superior aos limites estabelecidos na Tabela XIII.

Tabela XIII

Faixa (MHz)	Largura de Faixa Ocupada Máxima (kHz)
864-868	100
944-948	100
1.910-1.920	2.000

Art. 37. Os Sistemas de Ramal sem Fio de CPCT, operando de acordo com o estabelecido neste artigo, poderão ter acesso a qualquer um dos canais da faixa específica em que esteja operando, conforme art. 34, devendo, no entanto, usar duplexação por divisão no tempo (TDD), devendo incorporar mecanismo de seleção dinâmica de canal, que permita que, mesmo durante a conversação, os canais ocupados sejam monitorados e efetuada troca, caso haja canal em melhores condições do que aquele em uso.

Art. 38. Aos Sistemas de Ramal sem Fio de CPCT que utilizem a tecnologia de espalhamento espectral devem ser aplicadas as condições estabelecidas na Seção IX.

Seção IX
Equipamentos Utilizando Tecnologia de Espalhamento Espectral ou
outras Tecnologias de Modulação Digital

Art. 39. Equipamentos Utilizando Tecnologia de Espalhamento Espectral ou outras Tecnologias de Modulação Digital operando nas faixas 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2.400-2.483,5 MHz e 5.725-5.850 MHz devem atender às condições estabelecidas nesta Seção.

§1º. Exceto quando estabelecido o contrário, os equipamentos operando de acordo com o estabelecido nesta Seção podem ser utilizados em aplicações ponto-a-ponto e ponto-multiponto do serviço fixo e em aplicações do serviço móvel.

§2º As condições estabelecidas nesta Seção, para a faixa 2.400-2.483,5 MHz, não valem para os equipamentos cujas estações utilizem potência *e.i.r.p.* superior a 400 mW, em localidades com população superior a 500.000 habitantes. Neste caso, as estações deverão ser licenciadas na Agência, nos termos da regulamentação específica pertinente a esta faixa.

§3º Na faixa 2400-2483,5 MHz, será admitido apenas o uso de Tecnologia de Espalhamento Espectral ou Tecnologia de Multiplexação Ortogonal por Divisão de Freqüência– OFDM.

Art. 40. Sistemas de salto em radiofreqüência devem possuir as seguintes características:

I – as radiofreqüências portadoras dos canais de salto devem estar separadas por um mínimo de 25 kHz ou pela largura de faixa do canal de salto a 20 dB, devendo ser considerado o maior valor;

II - alternativamente, sistemas de salto em freqüência operando na faixa de radiofreqüências 2.400-2.483,5 MHz podem ter freqüências portadoras dos canais de salto separadas por 25 kHz ou o equivalente a dois terços da largura de faixa considerada a 20 dB do canal de salto, devendo ser considerado o maior valor, desde que os sistemas operem com uma potência de saída menor do que 125 mW;

III – o sistema deve saltar para as radiofreqüências selecionadas na taxa de salto a partir de uma lista de radiofreqüências de salto ordenadas de forma pseudoaleatória;

IVI – cada transmissor deve, em média, usar igualmente cada uma das radiofreqüências;

V – os receptores do sistema devem ter largura de faixa de entrada compatível com a largura de faixa do canal de salto dos respectivos transmissores e devem mudar as freqüências em sincronia com os sinais transmitidos;

VI – em adição ao estabelecido nos incisos anteriores, os requisitos a seguir se aplicam aos sistemas de salto em radiofreqüência operando nas faixas 902-907,5 MHz e 915-928 MHz:

a) a potência de pico máxima de saída do transmissor não deve ser superior a 1 Watt para sistemas que empreguem no mínimo 35 canais de salto e 0,25 Watt para sistemas empregando menos de 35 canais de salto;

b) se a largura de faixa do canal de salto a 20 dB for inferior a 250 kHz, o sistema deve usar, no mínimo, 35 radiofreqüências de salto e o tempo médio de ocupação de qualquer radiofreqüência não deve ser superior a 0,4 segundos num intervalo de 20 segundos;

c) se a largura de faixa do canal de salto a 20 dB for igual ou maior que 250 kHz, o sistema deve usar, no mínimo, 17 radiofrequências de salto e o tempo médio de ocupação de qualquer radiofrequência não deve ser superior a 0,4 segundos num intervalo de 10 segundos;

d) a máxima largura de faixa ocupada do canal de salto a 20 dB deve estar limitada a 500 kHz.

VII - Em adição ao estabelecido nos incisos de I a IV, sistemas de salto em radiofrequência operando na faixa 2.400 MHz a -2.483,5 MHz devem atender aos seguintes requisitos:

a) os sistemas devem utilizar, no mínimo, 15 radiofrequências de salto não coincidentes;

b) o tempo médio de ocupação de qualquer radiofrequência não deve ser superior a 0,4 segundos num intervalo de 0,4 segundos multiplicado pelo número de canais de salto utilizado;

c) os sistemas podem evitar ou suprimir transmissões em uma radiofrequência de salto particular, desde que, no mínimo, 15 canais de salto não coincidentes sejam utilizados;

d) para os sistemas que utilizam menos de 75 radiofrequências de salto, a potência de pico máxima de saída do transmissor é limitada a 125 mW;-

e) para os sistemas que utilizam um número de radiofrequências de salto maior ou igual a 75, a potência de pico máxima de saída do transmissor é limitada a 1 Watt.

VIII – Em adição ao estabelecido nos incisos de I a IV, sistemas de salto em radiofrequência operando na faixa 5.725–5.850 MHz devem atender aos seguintes requisitos:

a) a potência de pico máxima de saída do transmissor não deve ser superior a 1 Watt;

b) o sistema deve usar no mínimo 75 radiofrequências de salto;

c) a máxima largura de faixa ocupada do canal de salto a 20 dB deve estar limitada a 1 MHz;

d) o tempo médio de ocupação de qualquer radiofrequência não deve ser superior a 0,4 segundos num intervalo de 30 segundos.

Art. 41. Sistemas utilizando seqüência direta ou outras técnicas de modulação digital, devem possuir as seguintes características:

I – a largura de faixa a 6 dB deve ser, no mínimo, 500 kHz;

II – a potência de pico máxima de saída do transmissor não pode ser superior a 1 Watt;

III – o pico da densidade espectral de potência, em qualquer faixa de 3 kHz durante qualquer intervalo de tempo de transmissão contínua, não deve ser superior a 8 dBm;

IV – para os sistemas operando na faixa 2.400-2.483,5 MHz, cujas estações utilizem potência *e.i.r.p.* igual ou inferior a 400 mW, em localidades com população superior a 500.000 habitantes, o pico da densidade espectral de potência, em qualquer faixa de 3 kHz durante qualquer intervalo de tempo de transmissão contínua, não deve ser superior a 4 dBm.

Art. 42. Para os propósitos desta seção, sistemas híbridos são os que utilizam uma combinação de técnicas de modulação em seqüência direta ou outras técnicas de modulação digital e técnicas de saltos em freqüência.

§1º. A operação com saltos em radiofreqüência do sistema híbrido, com a operação em seqüência direta ou outra modulação digital desligada, deve ter um tempo médio de ocupação, em qualquer radiofreqüência, não superior a 0,4 s, em um período de tempo, em segundos, igual ao número de radiofreqüências de salto utilizadas multiplicado por 0,4.

§2º. A operação em seqüência direta ou em outra modulação digital do sistema híbrido, com a operação por saltos em radiofreqüência desligada, deve obedecer aos requisitos de densidade de potência estabelecidos no inciso III do art. 41.

Art. 43. Exceto nos casos previstos a seguir, equipamentos utilizando tecnologia de espalhamento espectral ou outras tecnologias de modulação digital, que façam uso de antenas de transmissão com ganho direcional superior a 6 dBi, devem ter a potência de pico máxima na saída do transmissor reduzida para valores abaixo daqueles especificados nos incisos V, VI e VII do art. 40 e no inciso II do art. 41, pela quantidade em dB que o ganho direcional da antena exceder a 6 dBi:

I - sistemas operando na faixa de 2.400-2.483,5 MHz e utilizados exclusivamente em aplicações ponto-a-ponto do serviço fixo podem fazer uso de antenas de transmissão com ganho direcional superior a 6 dBi, desde que potência de pico máxima na saída do transmissor seja reduzida de 1 dB para cada 3 dB que o ganho direcional da antena exceder a 6 dBi;

II – sistemas operando na faixa 5.725-5.850 MHz e utilizados exclusivamente em aplicações ponto-a-ponto do serviço fixo podem fazer uso de antenas de transmissão com ganho direcional superior a 6 dBi sem necessidade de uma correspondente redução na potência de pico máxima na saída do transmissor.

§ 1º. Sistemas utilizados de acordo com o estabelecido nos incisos I e II deste artigo excluem o uso de aplicações ponto-multiponto, aplicações omnidirecionais e múltiplos equipamentos numa mesma instalação transmitindo a mesma informação.

§ 2º. O responsável pela operação de um equipamento funcionando de acordo com o estabelecido nos incisos I e II deste artigo deve assegurar que o sistema seja utilizado exclusivamente em aplicações ponto-a-ponto do serviço fixo. Informações sobre tal responsabilidade devem constar, com destaque, no manual de instruções fornecido pelo fabricante.

Art. 44. A potência de radiofreqüência produzida, em qualquer largura de faixa de 100 kHz fora de qualquer uma das faixas na qual o sistema esteja operando, conforme estabelecido nesta Seção, deve estar, no mínimo, 20 dB abaixo da potência máxima produzida num intervalo de 100 kHz dentro da faixa de operação.

Seção X

Sistema de Acesso sem Fio em Banda Larga para Redes Locais

Art. 45. Sistema de Acesso sem Fio em Banda Larga para Redes Locais, operando nas faixas 5.150-5.350 MHz e 5.470-5.725 MHz, devem ser utilizados em aplicações do serviço móvel.

Parágrafo único. As aplicações do serviço móvel a serem usufruídas pelos usuários dos Sistemas de Acesso sem Fio em Banda Larga para Redes Locais serão nomádicas, ou seja, acesso sem fio em que o

terminal do usuário pode se mover livremente dentro da área de cobertura mas que, quando em uso, permanecerá estacionário.

Art. 46. Sistema de Acesso sem Fio em Banda Larga para Redes Locais, operando na faixa 5.150-5.350 MHz, devem atender às seguintes condições:

I – as emissões devem estar confinadas aos ambientes internos das edificações;

II – o valor médio da potência *e.i.r.p.* é limitado ao máximo de 200 mW;

III – o valor médio da densidade espectral de potência *e.i.r.p.* é limitado ao máximo de 10 mW/MHz.

Art. 47. Sistema de Acesso sem Fio em Banda Larga para Redes Locais, operando na faixa 5.470-5.725 MHz, devem atender às seguintes condições:

I - a potência na saída do transmissor é limitada ao máximo de 250 mW;

II - o valor médio da potência *e.i.r.p.* é limitado ao máximo de 1 W;

III – o valor médio da densidade espectral de potência *e.i.r.p.* é limitado ao máximo de 50 mW/MHz.

Art. 48. Para os sistemas operando de acordo com o estabelecido nesta Seção, as emissões espúrias ou fora de qualquer uma das faixas de operação, devem ser inferiores ao limite *e.i.r.p.* de -27dBm/MHz.

Art. 49. Os sistemas operando de acordo com os artigos 46 e 47 deste Regulamento, devem possuir um mecanismo de controle de potência de transmissão (*Transmit Power Control - TPC*) que permita a seleção da potência de transmissão de forma dinâmica e assegure um fator de mitigação de pelo menos 3 dB.

Parágrafo único. Excepcionalmente, será permitido o uso de equipamentos sem o mecanismo TPC. Neste caso, o valor médio da potência *e.i.r.p.* deverá estar limitado a 100 mW para os equipamentos operando na faixa 5.150-5.350 MHz, e a 500 mW para os equipamentos operando na faixa 5.470-5.725 MHz.

Art. 50. Nas faixas 5.250-5.350 MHz e 5.470-5.725 MHz, o Sistema de Acesso sem Fio em Banda Larga para Redes Locais deve utilizar mecanismo de seleção dinâmica de frequência (*Dynamic Frequency Selection - DFS*) com as seguintes características:

I – o tempo de verificação da disponibilidade do canal deverá ser de 60 segundos e nenhuma transmissão deverá ser iniciada antes da verificação da disponibilidade do canal;

II – após a verificação da disponibilidade do canal e tendo sido identificada sua ocupação, este canal estará sujeito a um período de não ocupação de 30 minutos;

III – para os equipamentos operando com máxima *e.i.r.p.* menor que 200 mW, o mecanismo DFS deverá ser capaz de detectar sinais interferentes acima do limiar de -62 dBm, calculado durante um intervalo médio de 1 microssegundo;

IV – para os equipamentos operando com máxima *e.i.r.p.* entre 200 mW e 1 W, o mecanismo DFS deverá ser capaz de detectar sinais interferentes acima do limiar de -64 dBm, calculado durante um intervalo médio de 1 microssegundo;

V – caso seja detectado um sinal interferente com valor acima do limiar de detecção do DFS, todas as transmissões no respectivo canal devem cessar dentro de 10 segundos .

Parágrafo único. Admite-se o uso de mecanismo DFS na faixa 5.150-5.250 MHz, entretanto o uso deste mecanismo não é obrigatório nesta faixa.

Seção XI Equipamento de Localização de Cabos

Art. 51. Equipamento de Localização de Cabos pode operar em qualquer faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 490 kHz, desde que atenda às seguintes condições:

I – de 9 kHz a 45 kHz (exclusive) a potência de pico de saída não deve ser superior a 10 Watts;

II – de 45 kHz a 490 kHz a potência de pico de saída não deve ser superior a 1 Watt.

Seção XII Sistemas de Identificação por Radiofrequências

Art. 52. Sistemas de Identificação por Radiofrequências (RFID), operando nas faixas 119-135 kHz, 13,11-13,36 MHz, 13,41- 14,01 MHz, 433,5-434,5 MHz, 860- 869 MHz, 894-898,5 MHz, 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2.400- 2.483,5 MHz e 5.725-5.850 MHz devem atender aos limites definidos na Tabela XVI.

Tabela XVI

Radiofrequência (MHz, onde não especificado)	Intensidade de Campo Elétrico (microvolt por metro)	Distância da Medida (metro)
119-135 kHz	2400 x F(kHz)	300
13,11-13,36 e 13,41-14,01	106 000	30
433,5-434,5	70 359	3
860-869	70 359	3
894-898,5	70 359	3
902-907,5	70 359	3
915-928	70 359	3
2400-2483,5	50 000	3
5725-5850	50 000	3

I – Os limites de intensidade de campo deverão ser medidos utilizando-se detector de média.

II – A intensidade de campo de pico de qualquer emissão não deve exceder os valores especificados na Tabela XIV por mais de 20 dB.

III – As emissões indesejáveis fora das faixas de frequências aqui estabelecidas, exceto harmônicos, devem ser atenuadas, no mínimo, 50 dB em relação ao nível da frequência fundamental ou devem atender aos limites gerais estabelecidos no art. 9º, prevalecendo a menor atenuação.

Art. 53. As condições estabelecidas neste artigo apresentam, entre outros aspectos, limites de emissão alternativos, àqueles do art. 52 para equipamentos transceptores interrogadores.

I – Os equipamentos transceptores interrogadores operando nas faixas de radiofrequências 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2.400-2.483,5 MHz e 5.725-5.850 MHz devem atender às condições estabelecidas nas alíneas abaixo ou na Seção V.

a) a potência de pico máxima de saída do transmissor não pode ser superior a 1 Watt;

b) o pico da densidade espectral de potência, em qualquer faixa de 3 kHz durante qualquer intervalo de tempo de transmissão contínua, não deve ser superior a 8 dBm;

c) equipamentos que façam uso de antenas de transmissão com ganho direcional superior a 6 dBi, devem ter a potência de pico máxima na saída do transmissor reduzida para valores abaixo daquele especificado nos incisos I deste artigo, pela quantidade em dB que o ganho direcional da antena exceder a 6 dBi.

II – Adicionalmente, os equipamentos transceptores interrogadores, dos Sistemas de Identificação Automática de Veículos utilizando técnicas de varredura de radiofrequência e operando nas faixas 2,9-3,26 GHz, 3,267-3,332 GHz, 3,339-3,3458 GHz e 3,358-3,6 GHz devem atender às seguintes condições:

a) a intensidade de campo em qualquer ponto dentro da faixa de radiofrequência de varredura deve estar limitada a 3.000 microvolt/m/MHz a 3 metros do equipamento em qualquer direção;

b) quando em sua posição de operação, os Sistemas de Identificação Automática de Veículos não devem produzir uma intensidade de campo superior a 400 microvolt/m/MHz a 3 metros do equipamento em qualquer direção dentro de ± 10 graus do plano horizontal;

c) a intensidade de campo de emissões fora da faixa de radiofrequências de varredura deve estar limitada a 100 microvolt/m/MHz a 3 metros do equipamento medida de 30 MHz a 20 GHz para o sistema completo;

d) a taxa de repetição mínima de varredura do sinal não deve ser inferior a 4.000 varreduras por segundo e a máxima não deve ser superior a 50.000 varreduras por segundo;

e) Sistemas de Identificação Automática de Veículos devem conter, também na etiqueta prevista no art. 6º, informação sobre a variação, em graus, em relação ao plano horizontal que o equipamento (ou a antena) não pode ser apontado a fim de atender ao disposto no inciso II deste artigo.

Parágrafo único. A emissão de sinal de equipamento transceptor interrogador, dos Sistemas de Identificação Automática de Veículos, deve limitar-se apenas à área de cobertura necessária para a identificação do veículo.

Seção XIII Sistemas de Telecomando

Art. 54. Sistemas de Telecomando operando nas faixas de 26 MHz, 27 MHz, 50 MHz, 53 MHz, 72 MHz e 75 MHz, para uso, exclusivamente, na operação remota de dispositivos de forma unidirecional devem atender às condições estabelecidas nesta Seção.

Parágrafo único. Não é permitida a operação de Sistema de Telecomando para:

- a) transmissão de voz;
- b) operação de um outro transmissor de telecomando a partir de um ponto que não aquele onde ele se encontra (operação por controle remoto);
- c) transmissão de dados, exceto aqueles sinais codificados e usados com o propósito de reconhecimento do dispositivo específico sob controle.

Art. 55. Os Sistemas de Telecomando objeto desta Seção devem operar nas canalizações constantes das Tabelas XV a XIX.

Tabela XV
Canalização das Faixas de 26 MHz e de 27 MHz

Canal N°	radiofrequência (MHz)
01	26,995
02	27,045
03	27,095
04	27,145
05	27,195
06	27,255

Tabela XVI
Canalização da Faixa de 50 MHz

Canal N°	Frequência (MHz)
01	50,80
02	50,82
03	50,84
04	50,86
05	50,88
06	50,90
07	50,92
08	50,94
09	50,96
10	50,98

Tabela XVII
Canalização da Faixa de 53 MHz

Canal N°	Frequência (MHz)
01	53,10
02	53,20
03	53,30
04	53,40
05	53,50
06	53,60
07	53,70
08	53,80

Tabela XVIII
Canalização da Faixa de 72 MHz

Canal N°	Frequência (MHz)
1	72,01
2	72,03
3	72,05
4	72,07
5	72,09
6	72,11
7	72,13
8	72,15
9	72,17
10	72,19
11	72,21
12	72,23
13	72,25
14	72,27
15	72,29
16	72,31
17	72,33
18	72,35
19	72,37
20	72,39
21	72,41
22	72,43
23	72,45
24	72,47
25	72,49
26	72,51
27	72,53
28	72,55
29	72,57
30	72,59
31	72,61
32	72,63

33	72,65
34	72,67
35	72,69
36	72,71
37	72,73
38	72,75
39	72,77
40	72,79
41	72,81
42	72,83
43	72,85
44	72,87
45	72,89
46	72,91
47	72,93
48	72,95
49	72,97
50	72,99

Tabela XIX
Canalização da Faixa de radiofrequências de 75 MHz

Canal N°	Frequência (MHz)
01	75,41
02	75,43
03	75,45
04	75,47
05	75,49
06	75,51
07	75,53
08	75,55
09	75,57
10	75,59
11	75,61
12	75,63
13	75,65
14	75,67
15	75,69
16	75,71
17	75,73
18	75,75
19	75,77
20	75,79
21	75,81
22	75,83
23	75,85
24	75,87
25	75,89

26	75,91
27	75,93
28	75,95
29	75,97
30	75,99

Art. 56. A largura de faixa ocupada pelo canal deve ser a menor possível com o objetivo de reduzir interferências entre canais adjacentes e não poderá ser superior a 8 kHz.

Art. 57. A estabilidade de radiofrequência dos transmissores de Sistemas de Telecomando deve ser de 0,005%.

Parágrafo único. Para os transmissores de Sistemas de Telecomando operando nas faixas de 72 MHz e de 75 MHz a estabilidade de radiofrequência deve ser de 0,002%.

Art. 58. A potência máxima da portadora na saída do transmissor, sob qualquer condição de modulação, não deve exceder os limites da Tabela XX.

Tabela XX

Faixas de Radiofrequências (MHz)	Potência (Watt)
26 e 27	4,00
50 e 53	1,00
72 e 75	0,75

Parágrafo único. Para Sistemas de Telecomando operando na radiofrequência de 27,255 MHz, correspondente ao canal 6 da canalização constante da Tabela XV, é admissível potência na saída do transmissor de até 25 Watts.

Art. 59. A antena utilizada em Sistemas de Telecomando não deve ter ganho em relação ao dipolo de meia onda e somente deve ser utilizada com polarização vertical.

Parágrafo único. A altura da antena em relação ao solo deve ser limitada a 18 metros.

Art. 60. O uso de Sistemas de Telecomando nas radiofrequências das Tabelas XVI e XVII está limitado aos portadores de Certificado de Operador de Estações de Radioamador (COER) de qualquer classe.

Art. 61. O uso de Sistemas de Telecomando nas radiofrequências da Tabela XVIII está limitado à operação de aeromodelos e nas radiofrequências da Tabela XIX à operação de modelos de superfície.

Art. 62. O usuário de um equipamento de telecomando funcionando de acordo com o estabelecido nesta Seção deve ser orientado sobre a responsabilidade de operar convenientemente o sistema, a fim de evitar interferências prejudiciais nas estações licenciadas e na recepção dos canais 4 e 5 de televisão. Informações sobre tal responsabilidade deve constar, com destaque, no manual de instruções fornecido pelo fabricante.

Seção XIV
Equipamento de Radiocomunicação de Uso Geral

Art. 63. Equipamentos de Radiocomunicação de Uso Geral são destinados à comunicação bidirecional de voz entre duas pessoas e devem operar de acordo com as seguintes condições:

I – nas faixas de radiofrequências 462,53-462,74 MHz e 467,53-467,74 MHz de acordo com a canalização descrita na Tabela XXI;

Tabela XXI

Canal N°	Radiofrequência (MHz)
01	462,5625
02	462,5750
03	462,5875
04	462,6000
05	462,6125
06	462,6250
07	462,6375
08	462,6500
09	462,6625
10	462,6750
11	462,6875
12	462,7000
13	462,7125
14	467,5625
15	467,5750
16	467,5875
17	467,6000
18	467,6125
19	467,6250
20	467,6375
21	467,6500
22	467,6625
23	467,6750
24	467,6875
25	467,7000
26	467,7125

II – a potência efetivamente radiada nas radiofrequências portadoras especificadas nesta Seção não deve exceder a 500 mW;

III – a largura de faixa ocupada pelo canal deve ser a menor possível com o objetivo de reduzir interferências entre canais adjacentes e não poderá ser superior a 12,5 kHz;

IV – a estabilidade de radiofrequência de Equipamento de Radiocomunicação de Uso Geral deve ser de 0,00025%;

V – o uso do Equipamento de Radiocomunicação de Uso Geral na forma de transmissão unidirecional é admitido somente para:

- a) estabelecer comunicação com outra pessoa;
- b) enviar uma mensagem de emergência;
- c) prover auxílio a viajante; ou
- d) efetuar um rápido teste;

VI – o Equipamento de Radiocomunicação de Uso Geral pode transmitir tons para fazer contato ou continuar a comunicação com outro determinado equipamento do sistema:

- a) se o tom for audível (em radiofrequência superior a 300 Hz), sua duração não deve ser maior que 15 segundos;
- b) se a radiofrequência do tom for inferior a 300 Hz, ele pode ser transmitido continuamente enquanto o usuário estiver falando;

VII – em hipótese alguma é permitida a interconexão de Equipamento de Radiocomunicação de Uso Geral às redes que dão suporte aos serviços prestados em regime público ou privado de interesse coletivo;

VIII – usuários de Equipamento de Radiocomunicação de Uso Geral devem ser orientados pelo fabricante do produto que, a qualquer tempo e em qualquer canal, deve ser dada prioridade a mensagens de comunicação de emergência relacionadas com a segurança da vida.

Seção XV

Sistemas Rádio de Baixa Potência Operando em 19 GHz

Art. 64. Sistemas rádio de baixa potência para aplicações ponto-multiponto do serviço fixo, utilizados exclusivamente no interior de edificações devem operar de acordo com as condições estabelecidas nesta Seção.

Art. 65. As radiofrequências portadoras dos canais de radiofrequência devem atender à canalização da Tabela XXII.

Tabela XXII

Canal No	Radiofrequência (MHz)
1	19.165
2	19.175
3	19.185
4	19.195
5	19.205
6	19.215
7	19.225
8	19.235
9	19.245
10	19.255

Art. 66. A largura de faixa ocupada pelo canal deve ser a menor possível com o objetivo de reduzir interferências entre canais adjacentes e não pode ser superior a 17 MHz.

Art. 67. A variação da radiofrequência da portadora deverá estar dentro do limite de 0,001 % da radiofrequência nominal do canal.

Art. 68. A potência de saída entregue pelo transmissor à antena de uma estação deve ser a mínima necessária à realização do serviço com boa qualidade e adequada confiabilidade, ficando limitada ao valor máximo de 100 mW.

Parágrafo único. A utilização de potências de transmissão mais baixas, associadas a antenas de maior ganho, deverá ser adotada como um dos objetivos de projeto, ficando a EIRP limitada a 30 dBm.

Art. 69. Em qualquer faixa de 4 kHz nas faixas 18,82-18,87 GHz ou 19,16-19,21 GHz, cuja radiofrequência central esteja afastada da radiofrequência central do canal em mais de 50% da largura de faixa de canal, a potência média das emissões deve estar atenuada do menor dos dois valores a seguir:

a) $A = 35 + 0,003(F - 0,5xB)$ dB; ou

b) 80 dB.

Parágrafo único. Na equação do caput deste artigo, “A” é a atenuação, em dB, abaixo do nível da potência de saída do canal para uma dada polarização; “F” é o valor absoluto, em kHz, da diferença entre a frequência central da faixa de 4 kHz e a frequência central do canal; e “B” é a largura de faixa do canal em kHz.

Art. 70. Em qualquer faixa de 4 kHz cuja frequência central esteja fora das faixas de radiofrequências 18,82-18,87 GHz ou 19,16-19,21 GHz, a potência média das emissões deve estar atenuada de $A = 43 + 10 \log(P)$ dB.

Parágrafo único. Na equação do caput deste artigo, “A” é a atenuação, em dB, abaixo do nível da potência de saída do canal para uma dada polarização e “P” é a potência média de saída, em Watt.

Art. 71. Sistemas rádio de baixa potência, operando de acordo com o estabelecido nesta Seção, poderão ter acesso a qualquer um dos canais da Tabela XXII, devendo, no entanto, usar duplexação por divisão no tempo (TDD), isto é, transmissão e recepção no mesmo canal de radiofrequências.

Seção XVI Sistema de Sonorização Ambiental

Art. 72. Sistemas de Sonorização Ambiental operando na faixa 225-270 MHz devem atender às seguintes condições:

I – as emissões devem estar confinadas numa faixa de, no máximo, 200 kHz de largura cujo centro é a radiofrequência nominal de operação. A faixa de 200 kHz deve estar totalmente contida na faixa especificada no caput deste artigo;

II – a intensidade de campo de qualquer emissão dentro da faixa especificada de 200 kHz não deve exceder 580 milivolts por metro a 3 metros do equipamento e qualquer emissão fora de faixa deve estar limitada aos valores estabelecidos no art. 9º;

III – o uso deste sistema deve ser restrito a ambiente fechado dentro dos limites da edificação na qual está sendo operado.

Seção XVII Sistemas Operando na Faixa 57-64 GHz

Art. 73 Sistemas operando de acordo com esta Seção, na faixa 57-64 GHz, devem atender às seguintes condições:

I – os sensores fixos de perturbação de campo não devem exceder a 0,1 mW de pico de potência na saída do transmissor nem devem exceder a 9 nW/cm² de pico da densidade de potência, medidas a uma distância de 3 m da estrutura de radiação;

II – os demais equipamentos não deverão exceder 9 µW/cm², de densidade de potência média de qualquer emissão, medida durante o intervalo de transmissão, nem deverão exceder 18 µW/cm², de pico de densidade de potência de qualquer emissão medidas a 3 m da estrutura de radiação;

III – o pico da densidade de potência deverá ser medido com um detector de radiofrequências que tenha uma largura de banda de detecção dentro da faixa 57-64 GHz e que tenha largura de banda de vídeo de pelo menos 10 MHz, ou utiliza um método de medição equivalente;

IV – o nível médio de emissão deve ser calculado, baseando-se no nível de pico medido dentro do período de tempo atual, durante o qual ocorrer a transmissão.

Art. 74 A potência total de pico na saída do transmissor não deverá exceder 500 mW.

§ 1º Transmissores com largura de banda de emissão menor que 100 MHz, devem limitar o pico de potência na saída do transmissor em 500 mW vezes a largura de banda de emissão, dividido por 100 MHz;

§ 2º Para os propósitos do § 1º deste artigo, a largura de banda de emissão é definida como a faixa de radiofrequência ocupada instantaneamente pelo sinal radiado, com modulação, em estado permanente, fora da qual a densidade espectral de potência nunca deve exceder o nível de referência, que está 6 dB abaixo do valor máximo da densidade espectral de potência radiada na faixa de operação.

§ 3º A largura de banda de emissão, conforme definido no § 2º deste artigo, deve ser medida com uma resolução de largura de banda (RBW) de 100 kHz.

Art. 75 A radiofrequência fundamental das emissões devem estar dentro da faixa de radiofrequências estabelecida nesta Seção, em qualquer condição de operação.

Art. 76 No que se refere às emissões espúrias, as seguintes condições devem ser atendidas:

I – radiações emitidas abaixo de 40 GHz não deverão exceder os limites gerais contidos na Tabela II deste Regulamento;

II – na faixa 40-200 GHz, o nível emissões espúrias não deve exceder 90 pW/cm² a uma distância de 3 m;

III – os níveis de emissões espúrias não devem exceder o nível de emissão na radiofrequência fundamental.

Art. 77 A operação na faixa 57-64 GHz, de acordo com esta Seção, não é permitida para os seguintes equipamentos:

I – equipamentos utilizados em aeronaves ou satélites;

II – sensores de perturbação de campo, incluindo sistemas de radar veicular, a menos que o sensor de perturbação de campo seja utilizado em aplicações fixas;

Parágrafo único. Para os propósitos desta Seção, a referência a aplicações fixas inclui sensores de perturbação de campo instalados no equipamento fixo, até mesmo se o sensor se mover dentro do equipamento.

Seção XVIII

Equipamento Bloqueador de Sinais de Radiocomunicações (BSR)

Art. 78. O Equipamento Bloqueador de Sinais de Radiocomunicações, utilizado exclusivamente no interior de uma mesma edificação ou propriedade imóvel, deve operar de acordo com as condições estabelecidas nesta Seção.

Art. 79. As faixas de radiofrequências devem ser aquelas que o sistema se propõe a efetuar o bloqueio de sinais e devem incluir as previstas para uso na comunicação entre o terminal de usuário e a estação rádio base ou nodal ou entre terminais de usuário dos seguintes serviços ou aplicações:

I – Serviço Móvel Celular;

II – Serviço Móvel Pessoal;

III – Serviço Móvel Especializado;

IV – Serviço de Radiochamada;

V – Serviço Avançado de Mensagens;

VI – Serviço de Comunicação Multimídia;

VII – Acesso fixo sem fio para prestação do Serviço Telefônico Fixo Comutado destinado ao público em geral (STFC);

VIII – Serviço Móvel Global por Satélite;

IX – Sistema de Telefone sem Cordão, Sistema de Ramal sem Fio de CPCT e Equipamento de Radiocomunicação de Uso Geral;

X – outros serviços ou aplicações que vierem a ser designados em Ato específico da Anatel.

Art. 80. O estabelecido no art. 4º somente se aplica para interferências que vierem a ser causadas a equipamentos operando em caráter primário fora dos limites da edificação ou propriedade imóvel a que o Bloqueador de Sinais de Radiocomunicações se propõe a efetuar o bloqueio.

Art. 81. Condições adicionais relacionadas com o uso de equipamento Bloqueador de Sinais de Radiocomunicações serão objeto de instrumento decisório específico emitido pela Anatel.

CAPÍTULO IV DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 82. A Anatel poderá determinar alteração dos requisitos estabelecidos neste Regulamento, mesmo dos sistemas em operação, com a finalidade de otimizar o uso do espectro de radiofrequências.

Art. 83. Os equipamentos de radiação restrita existentes na data de publicação deste Regulamento, que não atendem ao aqui estabelecido, poderão continuar em operação até o final de sua vida útil, desde que estejam operando em situação regular, de acordo com a regulamentação anterior aplicável.

§ 1º Os equipamentos definidos nas Seções IX e X deste Regulamento deverão seguir o disposto no art. 3º deste Regulamento.

§ 2º A Agência definirá procedimentos específicos que permitam aos interessados prover o cadastramento previsto no art. 3º deste Regulamento.

ANEXO II

**ALVARION
BREEZEACCESS VL
DATASHEET**

Premium
License-Exempt
Broadband
Wireless
Solutions

BreezeACCESS[®] VL

Alvarion's BreezeACCESS VL is a flexible and field proven Point-to-Multipoint (PtMP) solution providing broadband wireless outdoor connectivity for a variety of applications in urban and rural deployments. Available in a range of frequencies in the 5 GHz and 900 MHz bands, this widely deployed platform offers a carrier-class outdoor link with enhanced security and capacity as well as top QoS for data, voice and video services.

BreezeACCESS VL supports a wide range of subscriber units, providing an optimized solution for the performance and cost requirements of various markets and customers. It enables operators, municipalities, enterprises and communities around the world to quickly and cost-effectively benefit from an array of top quality broadband services.



System Advantages

- **Powerful Access:** Proven robust system enabling best-of-class service delivery, including long range and high-capacity service. The Access Unit (AU) automatically selects algorithm for best possible service, rapid antenna alignment and SLA enforcement.
- **Quality Connectivity:** Optimized bandwidth allocation, including over-the-air and traffic prioritization, to best fit the needs of a wide variety of applications such as data, voice and video streaming and providing cost-effective quality connectivity.
- **Flexibility:** Subscriber units can be located exactly where required and transferred when necessary, since the system is free of wired infrastructure restraints and ensures full tactical communications in every possible configuration.
- **Quick Installation:** Subscriber units can be easily deployed using the SNR alignment LED bar, enabling operators to minimize OPEX and expedite deployment rate.
- **Compelling Business Case:** Combination of reduced CAPEX and OPEX supported by maximized efficiency and the need for less equipment with scalable pay-as-you-grow support.
- **Maximizes Modularity:** Non-Line-of-Sight (NLOS) support, high bandwidth capacity, increased coverage, multi-subscriber profiles in same sector and network.
- **Reliability and Availability:** Ruggedized, carrier-class outdoor solution operating over an extended temperature range.
- **Security:** Built-in encryption and a host of secure management and authentication functions.
- **Complete Offering:** Seamless integration with BreezeACCESS Wi² for urban WiFi services.

Feature Highlights

- Premium 5 GHz and 900 MHz PtMP solution
- QoS for data, voice and video applications
- Coverage range of up to 30 km Line of Sight (LOS)
- Capacity of up to 32 Mbps per sector
- 900 MHz with near/NLOS support, and excellent propagation capabilities
- Secure connectivity - FIPS-140-2* and HW-based FIPS-197 and AES 128
- TDD OFDM NLOS technology
- Configurable MIR/CIR per SU per direction
- Scalable license-based pay-as-you-grow configurations
- Wide range of subscriber units supporting various applications and customer requirements

* Certification in future release








“Our Alvarion network is priceless in its functionality and business impact. Production is up, profits are up and all as a result of a cost-effective network that took only a day to build.”

Tahiche Lacomba, CEO
Acuicola Marina, Spain



“Alvarion equipment is robust and extremely reliable.”

Dan Carr, General Manager,
Electronic Technology Inc.

Unit	Unit Type	Main Attributes
AU (Access Unit)	Chassis-based base station 	Modular shelf base station with a universal chassis. Can host up to 6 AU modules <ul style="list-style-type: none"> Carrier grade 19" chassis 1 to 6 sectors per chassis Outdoor unit (ODU) for each sector Mix and match different bands Optional redundant power supply Total net capacity > 192 Mbps (32 x 6 sectors)
	Stand-alone base station 	<ul style="list-style-type: none"> Single sector AU comprised of an indoor unit (IDU) and outdoor unit (ODU) Optional all-outdoor or DC solution
SU (Subscriber Unit) Comprised of an indoor unit (IDU) and outdoor unit (ODU). The IDU connects to the network via a standard Ethernet 10/100BaseT (RJ-45) interface and to the ODU via a CAT-5 cable.	SU-3 ¹ , SU-6, SU-54 	<ul style="list-style-type: none"> Net aggregated throughput: SU-3: 3 Mbps SU-6: 6 Mbps SU-54: 32 Mbps Different part numbers for each frequency (0.9, 4.9, 5.2, 5.3, 5.4, 5.8) Quick installation using LEDs for fast alignment Supports 2 different services per SU (2 priority levels) Coverage range of up to 30 km (LOS)
	SU-Lite 	<ul style="list-style-type: none"> Net aggregated throughput: SU-3L: 3 Mbps SU-6L: 6 Mbps SU-12L: 12 Mbps Single part number for the entire 5 GHz band Coverage range of up to 12 km (FCC LOS)
	SU-Video 	<ul style="list-style-type: none"> Fixed asymmetric throughput: 8 Mbps uplink and 2 Mbps downlink Available in 5.4 GHz and 5.8 GHz Quick installation using LEDs for fast alignment Supports 2 different services per SU (2 priority levels) Coverage range of up to 30 km (LOS)
Management System	<ul style="list-style-type: none"> All AUs and SUs are managed by Alvaristar NMS and AlvariCRAFT configuration tool All AU types are interoperable with all SU types All SU types can be deployed in the same sector 	

1. In VL900 - SU3 only

Selling Model and Deployment Options	Benefits	Accessories	
<p>Multi-sector: AUS-BS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entry level price • Supports up to 8 SUs per sector • SW can be upgraded to full AU-BS 	<ul style="list-style-type: none"> • Supports a pay-as-you-grow business model • Optimized configuration for vertical applications • Supports any SU model in the same sector • Superior NLOS performance for public safety applications in urban deployments 	<p>External antenna OMNI/60/90/120</p>	
<p>Multi-sector: AU-BS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Supports up to 512 SUs per sector 		<ul style="list-style-type: none"> • External antenna OMNI/60/90/120 • All-outdoor configuration: outdoor PS + ODU <p>The AU-SA can operate optionally with an all-outdoor AC or DC power supply</p>	
<p>Single-sector: AUS-SA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entry level price • Supports up to 8 SUs per sector • SW can be upgraded to full AU-SA 		<ul style="list-style-type: none"> • Supports a pay-as-you-grow business model • Optimized configuration for vertical applications • Supports any SU model in the same sector 	<p>Integral \ external antenna H/V flat panel</p>
<p>Single-sector: AU-SA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Supports up to 512 SUs per sector 			<ul style="list-style-type: none"> • Cost-effective solution for residential market. All VL-SU models can be deployed in the same sector • Extended coverage over the entire 5 GHz band
<ul style="list-style-type: none"> • Data, voice and video applications • Extended range • Pay-as-you-grow business model with software upgrades: SU-3⇒SU6 SU-3⇒SU-Video SU-3⇒SU8² SU-6⇒SU-Video SU-6⇒SU54 SU-Video⇒SU-54 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimized bandwidth support for video applications 	<ul style="list-style-type: none"> • Integral antenna • All-outdoor configuration: replaces the IDU with an all-outdoor power supply (OPS-HD-AC) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Primarily residential data and voice³ applications • Pay-as-you-grow business model with software upgrades: SU-3L⇒SU-6L SU-6L⇒SU-12L 			

- 2. Only in VL900
- 3. Future support

Range of Applications



Specifications

Radio

Frequency
902-927 MHz, 4.9-5.1 GHz,
5.15-5.35 GHz, 5.47-5.725 GHz,
5.725-5.875 GHz
4.9-5.875 GHz (SU-L)

Radio access method
Time Division Duplex TDD

Channel
AU/SU: 5 MHz (900 MHz), 10 MHz,
20 MHz
SU-L: 20 MHz, 10MHz²

Central frequency resolution
1 MHz (900 MHz), 5 MHz, 10 MHz

Max input power (at ant. port)
-48 dBm typical

Max output power (at antenna port)
AU: -10 dBm to 21 dBm, 1 dB steps
AU (900 MHz): -10 dBm to 27 dBm,
1 dB steps
SU: -10 dBm to 21 dBm, automatically
adjusted by ATPC
SU (900 MHz): -10 dBm to 27 dBm,
automatically adjusted by ATPC
SU-L: -9 dBm to 18 dBm, 3 dB steps

Modulation scheme (adaptive)
OFDM: BPSK, QPSK, QAM 16,
QAM 64

Antenna port (AU-E)
N-Type 50 ohm

Subscriber integrated antenna
20 dBi (19 dBi in 4.9-5.1 GHz band),
14° H/V, integrated flat panel
17 dBi, 24°AZ x 18°EL, integrated
flat panel (SU-L)

AU antennas
60°: 16dBi, sector 60° vertical
90°: 16dBi, sector 90° vertical
120°: 15dBi, sector 120° vertical,
360°: 8dBi, Omni horizontal,

Data Communications

VLAN and QoS support
QinQ 802.1ad¹, 802.1Q
WLP over the air traffic prioritization
MIR/CIR per SU per direction (UL/DL)
Concatenation, burst mode, small
packet optimization to support voice²
Advanced automatic transmit power
control (ATPC)

Traffic prioritization²
Layer 2: Based on IEEE 802.1p
Layer 3: IP ToS according to RFC791
and DSCP according to RFC2474
Layer 4: UDP/TCP port range

Security
WEP 128-bit authentication, AES 128,
WEP 128, certified built-in encryption
FIPS-197 mode and FIPS-140-2^{1 3}

1. Not supported currently in SU-L
2. Planned for future SU-L support
3. Certification in future release

Headquarters

International Corporate HQ
Tel: +972.3.645.6262
Email: corporate-sales@alvarion.com

North America HQ
Tel: +1.650.314.2500
Email: n.america-sales@alvarion.com

Sales Contacts

Australia:
anz-sales@alvarion.com

Asia Pacific:
ap-sales@alvarion.com

Brazil:
brazil-sales@alvarion.com

Canada:
canada-sales@alvarion.com

Caribbean:
caribbean-sales@alvarion.com

China:
cn-sales@alvarion.com

Czech Republic:
czech-sales@alvarion.com

France:
france-sales@alvarion.com

Germany:
germany-sales@alvarion.com

Italy:
italy-sales@alvarion.com

Ireland:
uk-sales@alvarion.com

Japan:
jp-sales@alvarion.com

Latin America:
lasales@alvarion.com

Mexico:
mexico-sales@alvarion.com

Nigeria:
nigeria-sales@alvarion.com

Philippines:
ph-sales@alvarion.com

Poland:
poland-sales@alvarion.com

Portugal:
sales-portugal@alvarion.com

Romania:
romania-sales@alvarion.com

Russia:
info@alvarion.ru

Singapore:
asean-sales@alvarion.com

South Africa:
africa-sales@alvarion.com

Spain:
spain-sales@alvarion.com

U.K.:
uk-sales@alvarion.com

Uruguay:
uruguay-sales@alvarion.com

For the latest contact information
in your area, please visit:
www.alvarion.com/company/locations



www.alvarion.com

© Copyright 2009 Alvarion Ltd. All rights reserved.
Alvarion® and all names, product and service names referenced herein are either registered trademarks, trademarks, tradenames or service marks of Alvarion Ltd.
All other names are or may be the trademarks of their respective owners. The content herein is subject to change without further notice.
"WiMAX Forum" is a registered trademark of the WiMAX Forum. "WiMAX," the WiMAX Forum logo, "WiMAX Forum Certified" and the WiMAX Forum Certified logo are trademarks of the WiMAX Forum.

213544 rev.q

Specifications (Continued)

Electrical Characteristics

Power consumption

SU / AU-SA: 25W
AU-BS: 30W (module plus outdoor unit)
SU-L: Typical 10W, maximum 40W
BS-PS-AC-VL (AC power supply): 240W, full chassis (1PS, 6 AU)
BS-PS-DC-VL (DC power supply): 240W, full chassis (1PS, 6 AU)

Input power

SU / AU-SA: AC input 100-240 VAC, 50-60 Hz
AU-BS: AC input 100-240 VAC, 50-60 Hz
SU-L: AC Input 85-265 VAC, 50-60 Hz
DC output 55 VDC, 1A MAX
54 VDC from indoor to outdoor
3.3 VDC, 54V from power supply in backplane
BS-PS-AC-VL (AC power supply): AC input 85-265 VAC, 47-65 Hz
DC output 54V, 3.3V
BS-PS-DC-VL (DC power supply): DC input -48 VDC nominal (-34 to -72), 10 A max.
DC output 54V, 3.3V

Connectors

ODU

SU / AU-SA:
Ethernet: 10/100BaseT RJ-45
Radio: 10/100BaseT Ethernet RJ-45
AC IN: 10/100BaseT Ethernet RJ-45

SU-L:

Ethernet: 10/100 BaseT RJ-45
Radio: 10/100 BaseT Ethernet RJ-45
AC IN: 3-pin AC power plug

AU-BS:

Ethernet: sealing assembly
Radio: 10/100BaseT Ethernet RJ-45

IDU

SU / SU-L / AU-SA:
Indoor: 3-pin AC power plug
10/100Base RJ-45 (waterproof)

AU-BS:

BS-PS-AC-VL (AC power supply):
AC IN: 3-pin power plug
BS-PS-DC-VL (DC power supply):
-48 VDC: 3-pin DC D-Type 3 power pin plug Amphenol

Configuration and Management

Local and remote management

Local and remote management
Monitor via Telnet, SNMP and configuration upload/download
Web and SSH V2 (only in SU-L)

Remote management access

From wired LAN, wireless link

Management access protection

Multilevel password
Configuration of remote direction (from Ethernet only, wireless only, or both sides)
Configuration of IP addresses of authorized stations

Software upgrade

Via TFTP and FTP

Configuration up/download

Via TFTP and FTP

SNMP agents

SNMP v1 client, MIB II, Bridge MIB, Private BreezeACCESS VL MIB

Physical and Environmental

Dimensions

SU ODU with integrated antenna: 30.5 x 30.5 x 6.2 cm (0.55 kg) / 12 x 12 x 2.4 in (1.21 lb)
SU ODU without integrated antenna: 30.6 x 12 x 4.7 cm (1.85 kg) / 12 x 4.7 x 1.8 in (4.07 lb)
SU-L outdoor unit: 195 x 190 x 74 mm (1.47 kg) / 7.6 x 7.4 x 2.9 in (3.24 lb)
SU-L indoor unit: 140 x 66 x 35 mm (0.3 kg) / 5.5 x 2.6 x 1.3 in (0.66 lb)

Operating temperature

SU/AU outdoor units: -40°C to 55°C
SU/AU indoor units: 0°C to 40°C
SU-L outdoor unit: -40°C to 55°C
SU-L indoor unit: 0°C to 40°C

Operating humidity

SU/AU outdoor units: 5%-95% non condensing, weather protected
SU/AU indoor units: 5%-95% non condensing
SU-L outdoor unit: Maximum 95% non condensing

Standard Compliance

Type Standard

EMC
FCC Part 15 class B, EN55022 class B, EN 301 489-1/4

Safety

EN 60950-1, UL 60950-1

Environmental

EN 300 019 part 2-3 class 3.2E for indoor units
EN 300 019 part 2-4 class 4.1E for outdoor units IP-65, SU integral antenna IP-65

Storage

EN 300 019-2-1 class 1.2E

Hazardous substances

RoHS compliant

Transportation

EN 300 019-2-2 class 2.3

Lightning protection

EN 61000-4-5, class 3 (2kV)

Radio

EN 301 893 (V 1.5.1)
EN 302 502 (V 1.2.1)
FCC part 15, FCC P.90,
IC RSS-210 (Canada)

Note: Not all options are available in all regions and some features require software licensing key. Please contact your local representative for further information

About Alvarion

Alvarion (NASDAQ: ALVR) is the largest WiMAX pure-player with the most extensive WiMAX customer base and over 250 commercial deployments around the globe. Committed to growing the WiMAX market, the company offers solutions for a wide range of frequency bands supporting a variety of business cases. Through its OPEN WiMAX strategy, superior IP and OFDMA know-how, and ability to deploy end-to-end turnkey WiMAX projects, Alvarion is shaping the new wireless broadband experience.