

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**COMUNICAÇÃO DE DADOS EM ALTA
VELOCIDADE SOBRE A PLATAFORMA MMDS**

ELMO VASCONCELOS DE MELO

ORIENTADOR: HUMBERTO ABDALLA JÚNIOR

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE REDES DE COMUNICAÇÃO

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO/2003

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**COMUNICAÇÃO DE DADOS EM ALTA VELOCIDADE
SOBRE A PLATAFORMA MMDS**

ELMO VASCONCELOS DE MELO

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU EM ENGENHEIRO

APROVADO POR:

HUMBERTO ABDALLA JÚNIOR, DOCTEUR, UNB (ORIENTADOR)

ANTONIO JOSÉ MARTINS SOARES, DOUTOR, UNB (EXAMINADOR INTERNO)

JEFFERSON J. WANDERLEY, MSC, ITSA TELECOM (EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA, 09 DE DEZEMBRO DE 2003.

FICHA CATALOGRÁFICA

MELO, ELMO VASCONCELOS DE

Comunicação de Dados em Alta Velocidade sobre a Plataforma MMDS [Distrito Federal] 2003 (xii), (76)p., 297 mm (ENE/FT/UnB, Engenheiro, Engenharia Elétrica, 2003)

Projeto Final de Graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Telecomunicações

2. OFDM

3. MMDS

4. CDMA

I. ENE/FT/UnB

II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MELO, ELMO VASCONCELOS DE (2003). Comunicação de Dados em Alta Velocidade sobre a Plataforma MMDS. (Projeto Final de Graduação), Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, (76)p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Elmo Vasconcelos de Melo

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Comunicação de Dados em Alta Velocidade sobre a Plataforma MMDS

GRAU/ANO: Engenheiro/2003.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Elmo Vasconcelos de Melo

QE 19 CONJUNTO D CASA 01 – GUARÁ II

CEP 71050-043 – Brasília – DF – Brasil

“Combati o bom combate, acabei a carreira, guardei a fé”.
Bíblia Sagrada – (2 Timóteo 4:7)

A Jesus Cristo.
Aos meus pais Mizael e Vera.
Às minhas irmãs Daniela e Jordana.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus pois em momento algum fiquei desamparado.
- Agradeço a minha mãe (Vera Lúcia Vasconcelos de Melo) por ter-me dado forças nos momentos difíceis e sempre ter festejado comigo as minhas vitórias.
- Agradeço ao meu pai (Mizael Jordão de Melo) por todo apoio e compreensão.
- Agradeço a minha irmã Jordana por toda cumplicidade e amizade que marcam a nossa trajetória de vida.
- Agradeço a minha irmã Daniela pelo seu carinho e apoio, mesmo à distância.
- Agradeço ao meu orientador (Humberto Abdalla) por todo apoio, confiança e dedicação à orientação deste projeto.
- Agradeço ao professor Molinaro pela ajuda com o empréstimo dos equipamentos.
- Agradeço ao doutorando Paulo Ovídio pelos conselhos técnicos e amizade.
- Agradeço ao pessoal da ITSA (principalmente ao engenheiro Jefferson Wanderley) pela oportunidade de ter enriquecido o meu trabalho com a experiência de uso da sua plataforma.
- Agradeço a paciência e ajuda dos engenheiros John Podratz, Tim Smith e Phil Bruha.
- Agradeço ao engenheiro Alan Dumdei por todo o tempo que dedicou em responder os meus e-mails.
- Agradeço aos meus amigos que sempre me apoiaram.

COMUNICAÇÃO DE DADOS EM ALTA VELOCIDADE SOBRE A PLATAFORMA MMDS

RESUMO

O serviço MMDS foi planejado para a distribuição de canais de TV por assinatura. Devido às características da sua largura de banda, as novas tecnologias de compressão digital e técnicas para transmissão confiável de dados e duplexação em ambientes “wireless” foram agregados novos serviços como comunicação de dados, voz e vídeo.

Este projeto visa analisar de forma qualitativa o desempenho dos novos sistemas propostos para comunicação de dados na plataforma MMDS.

HIGH SPEED DATA COMMUNICATIONS ON MMDS PLATFORM

ABSTRACT

The MMDS service was planned for distribution of paid television channels. However, due to the characteristics of its bandwidth and the new technologies for digital compression, reliable data transfer and duplexing on wireless environments new services had been added, like data, video and voice communication.

The goal of this project is to analyze by a qualitative way the performance of the proposed new systems to communicate data on MMDS platform.

ÍNDICE

1. <u>INTRODUÇÃO</u>	<u>1</u>
2. <u>A PLATAFORMA MMDS CLÁSSICA</u>	<u>5</u>
2.1. HISTÓRICO	5
2.2. DESCRIÇÃO	7
2.3. COMPOSIÇÃO	10
2.3.1. O HEADEND	11
2.3.2. O ASSINANTE	12
3. <u>A PLATAFORMA MMDS BIDIRECIONAL</u>	<u>14</u>
3.1. CANAL DE RETORNO	14
3.2. CMTS	15
3.3. CM	17
3.4. PADRÃO DOCSIS	18
4. <u>CASO: LINKEXPRESS</u>	<u>19</u>
4.1. PADRÃO DOCSIS 1.0	19
4.2. ESTRUTURA DA REDE	20
4.3. LIMITAÇÕES	22
5. <u>O NOVO MODELO PARA COMUNICAÇÃO DE DADOS NA PLATAFORMA MMDS</u>	<u>25</u>
5.1. DIAGRAMAS DE BLOCOS	26
6. <u>SISTEMA CDMA</u>	<u>29</u>
6.1. BASE DO SISTEMA	30
6.1.1. MC-SCDMA	30
6.1.2. TDD	34
6.1.3. ANTENAS INTELIGENTES	36
6.2. EQUIPAMENTOS NO HEADEND	37
6.3. EQUIPAMENTOS NO ASSINANTE	39

7. <u>SISTEMA OFDM</u>	<u>40</u>
7.1. BASE DO SISTEMA	40
7.1.1. COFDM	41
7.1.2. TDD	45
7.2. EQUIPAMENTOS NO HEADEND	47
7.3. EQUIPAMENTOS NO ASSINANTE	50
8. <u>TESTES DE CAMPO</u>	<u>52</u>
8.1. ESTRUTURA DA REDE	52
8.2. APLICAÇÕES	56
8.2.1. STREAMING	56
8.2.2. VOZ SOBRE IP	58
8.2.3. VIDEOCONFERÊNCIA	60
8.2.3.1. FIXA	60
8.2.3.2. MÓVEL	62
9. <u>CONCLUSÃO</u>	<u>64</u>
 A. ANEXO: ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA CDMA	
B. ANEXO: ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA OFDM	65
C. GLOSSÁRIO	
D. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
	67
	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.0 – Evolução do Número de Assinantes.....	01
Figura 1.1 – Evolução dos Assinantes por Tecnologia.....	02
Figura 1.2 – Internet em Alta Velocidade.....	02
Figura 1.3 – Faturamento por Origem.....	03
Figura 1.4 – Faturamento por Origem.....	03
Figura 2.0 – Distribuição de Frequências para o serviço MMDS nos EUA...	07
Figura 2.1 – Distribuição de Frequências para o serviço MMDS no Brasil..	07
Figura 2.2 – Sistema Clássico de TV por assinatura.....	10
Figura 2.3 – Headend.....	11
Figura 2.4 – Assinante.....	13
Figura 3.0 – MMDS Bidirecional.....	14
Figura 3.1 – Retorno wireless.....	15
Figura 3.2 – CMTS 3COM Total Control 1000.....	16
Figura 3.3 – Componentes do CMTS 3COM Total Control 1000.....	16
Figura 3.4 – CM 3COM HomeConnect Tailfin.....	17
Figura 4.0 – Célula do Downstream.....	20
Figura 4.1 – Célula do Upstream.....	21
Figura 4.2 – Setorização do Plano Piloto.....	21
Figura 4.3 – Expansão da Capacidade da Rede.....	22
Figura 4.4 – Constelação do 64-QAM.....	23
Figura 4.5 – Constelação do 64-QAM com ruído de fase.....	23
Figura 4.6 – Multipercurso.....	24
Figura 5.0 – Elementos compartilhados entre a rede de comunicação de dados (DOCSIS) e a rede de televisão.....	25
Figura 5.1 – Sistema OFDM.....	26
Figura 5.2 – Sistema CDMA.....	27
Figura 6.0 – Principais Tecnologias do Sistema CDMA.....	29
Figura 6.1 – Caminho do sinal no CDMA.....	30
Figura 6.2 – Estrutura do transmissor DS-CDMA.....	31
Figura 6.3 – Formas do Espectro dos Sinais nos Estágios da Transmissão.....	32
Figura 6.4 – Estrutura do Receptor DS-CDMA.....	32
Figura 6.5 – Formas do Espectro dos Sinais nos Estágios da Recepção....	33
Figura 6.6 – Arranjo das Subportadoras.....	34
Figura 6.7 – Duplexação por Divisão em Frequência (FDD).....	35
Figura 6.8 – Duplexação por Divisão no Tempo (TDD).....	36
Figura 6.9 – Antenas Inteligentes x Modelo Tradicional.....	37
Figura 6.10 – Antena Array de 8 Elementos.....	37
Figura 6.11 – Equipamentos de Rede.....	38
Figura 6.12 – Equipamentos de RF e Transmissão.....	38
Figura 6.13 – CPE.....	39
Figura 7.0 – Principais Tecnologias do Sistema OFDM.....	40
Figura 7.1 – Banda Total, FDM e OFDM.....	41
Figura 7.2 – Interpolação.....	42
Figura 7.3 – Modulação QPSK.....	43
Figura 7.4 – Prefixo Cíclico.....	44
Figura 7.5 – Transmissor e Receptor COFDM.....	44
Figura 7.6 – Forma de Onda do Sinal OFDM.....	45
Figura 7.7 – TDD no Sistema OFDM.....	45

Figura 7.8 – Reuso de Frequências em Células de 6 Setores.....	47
Figura 7.9 – Reuso de Frequências em Células de 4 Setores/8 Canais.....	48
Figura 7.10 – Reuso de Frequências em Células de 4 Setores/4 Canais.....	48
Figura 7.11 – Estação Base.....	48
Figura 7.12 – Fontes de Alimentação e TVS.....	49
Figura 7.13 – Switch da Riverstone camada 2 e Allot NetEnforcer.....	49
Figura 7.14 – CPE Indoor.....	50
Figura 7.15 – CPE Outdoor.....	51
Figura 8.0 – Cidade de Belo Horizonte e Localização das Células.....	52
Figura 8.1 – Estrutura da Rede.....	53
Figura 8.2 – Estrutura de Teste do Sistema CDMA.....	54
Figura 8.3 – Estrutura de Teste do Sistema OFDM.....	55
Figura 8.4 – Sala Montada para os Testes.....	56
Figura 8.5 – Streaming em Movimento.....	57
Figura 8.6 – Estrutura da Rede Montada para o Teste de Streaming.....	57
Figura 8.7 – Cisco 186 ATA.....	58
Figura 8.8 – OKI VoIP-TA.....	59
Figura 8.9 – Estrutura para os Testes de VoIP	59
Figura 8.10 – Estrutura para os Testes de Videoconferência.....	60
Figura 8.11 – Videoconferência Sistema CDMA (Rede Local).....	61
Figura 8.12 – Videoconferência Sistema OFDM (Rede Local).....	61
Figura 8.13 – Videoconferência na Internet.....	62
Figura 8.14 – Veículo para Videoconferência Móvel.....	63
Figura 8.15 – Teste de Mobilidade.....	63

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.0 – Faixa de 2.500 MHz a 2.686 MHz dividida em blocos de 6 MHz	08
Tabela 2.1 – Potência máxima (e.i.r.p.) quando utilizada antena omnidirecional.....	09
Tabela 2.2 – Conversão da faixa de frequência do serviço MMDS para a faixa VHF/UHF.....	12
Tabela 4.0 – Relação S/N.....	20
Tabela 4.1 – Ganho do canal de upstream obtido por setorização.....	22
Tabela 7.0 – Interpolação de Bits na Transmissão.....	42
Tabela 7.1 – Re-ordenação de Bits na Recepção.....	43
Tabela 7.2 – Taxa de Transferência Associada ao Número de Slots de Downstream.....	46
Tabela 8.0 – Resultados do Teste de Streaming.....	58
Tabela 8.1 - Resultados do Teste de VoIP.....	60
Tabela 8.2 – Resultados do Teste de Videoconferência Fixa.....	61

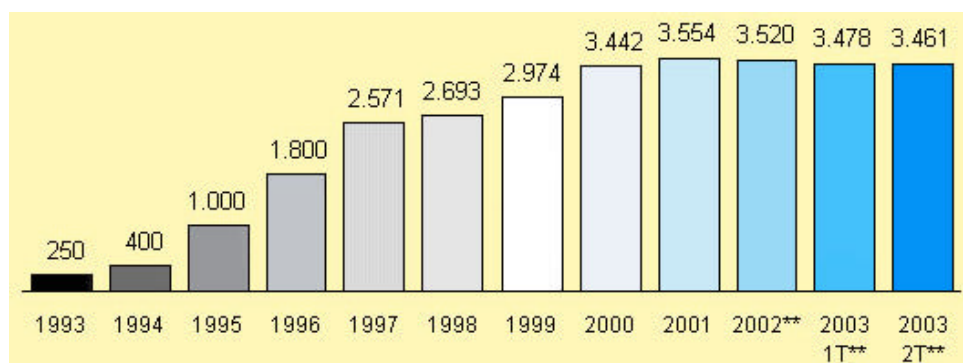
1. INTRODUÇÃO

A plataforma de comunicação em estudo neste projeto, a saber, a plataforma MMDS (Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanais), foi inicialmente concebida para a distribuição de canais de TV por assinatura, como descrito a seguir pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações):

“O Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanais – MMDS é uma das modalidades de serviço especial de TV por assinatura, que utiliza uma faixa de microondas (2500 a 2686 MHz) para transmitir sinais aos clientes que se encontram dentro da área de prestação de serviço”. (Fonte: site da ANATEL – Fevereiro/2003)

A tendência atual do mercado de telecomunicações é agregar valor ao produto ofertado por meio da convergência de serviços. No caso especial das operadoras de TV por assinatura a busca de novos nichos é essencial para a sua sobrevivência em uma época de retração do mercado. Isto pode ser visualizado nas figuras geradas pela ABTA (Associação Brasileira de Televisão por Assinatura) relatadas a seguir:

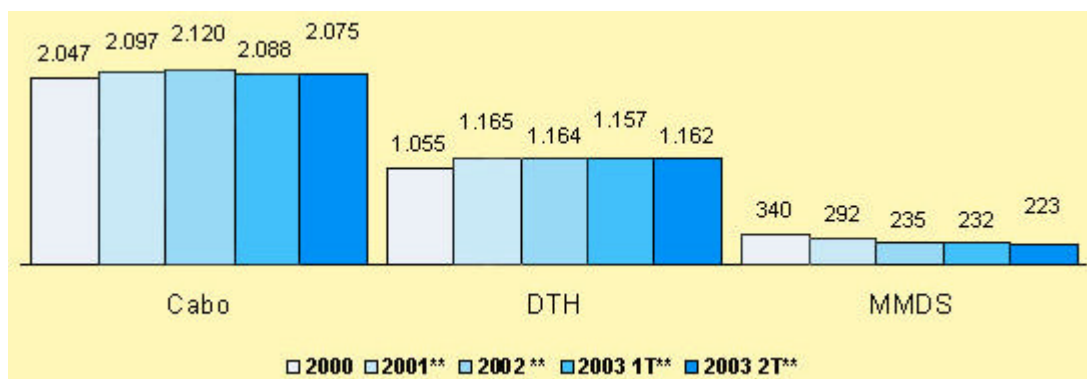
Figura 1.0 – Evolução do Número de Assinantes
(em milhares de assinantes)



(Fonte: ABTA – Junho/2003)

Figura 1.1 – Evolução dos Assinantes por Tecnologia

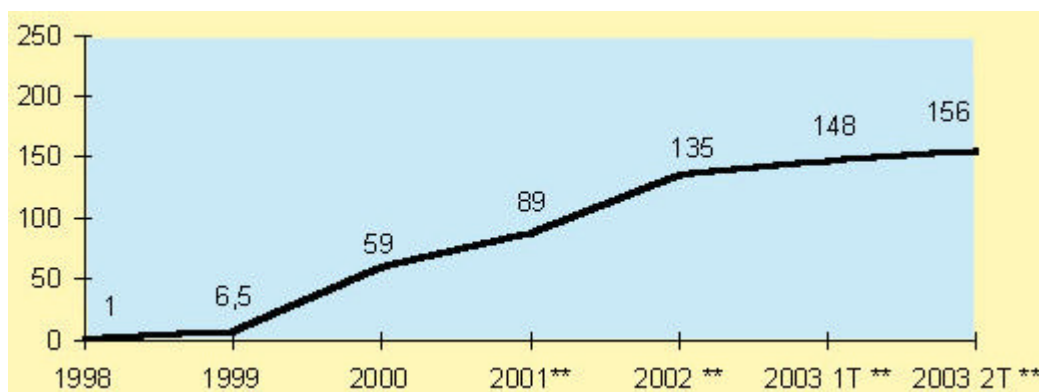
(em milhares de assinantes)



(Fonte: ABTA – Junho/2003)

Figura 1.2 – Internet em Alta Velocidade

(evolução em milhares de assinantes)

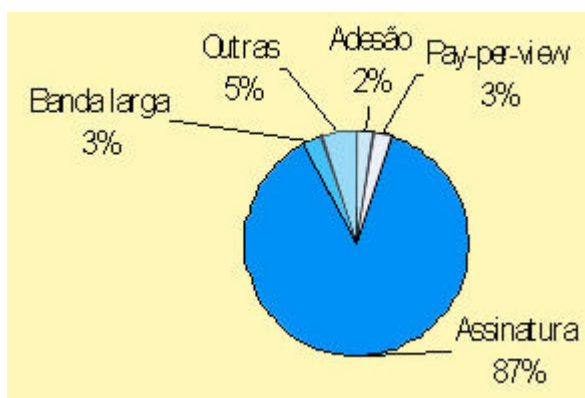


(Fonte: ABTA – Junho/2003)

Analisando-se a **Figura 1.0** é observada uma diminuição no número base de assinantes de TV por assinatura. Os serviços de TV por assinatura a cabo e por satélite (DTH) sofreram uma estabilização, porém é notada uma crítica retração de mercado para o serviço MMDS, como pode ser observado na **Figura 1.1**, em que a base de assinantes no segundo trimestre de 2003 corresponde a apenas 2/3 do total do ano 2000. A observação da **Figura 1.2** fornece a explicação para o novo rumo que a convergência de serviços aponta: a utilização da plataforma MMDS para transmissão de dados em alta velocidade.

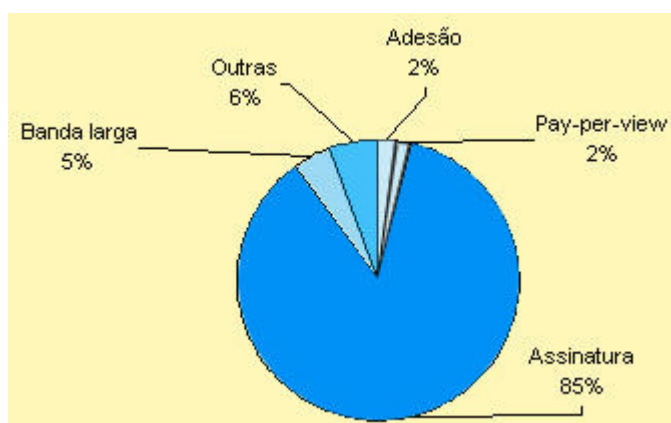
As figuras a seguir, ao serem comparadas, mostram a crescente importância que o seguimento de *banda larga* (transmissão de dados em alta velocidade) vem adquirindo no contexto do faturamento final das operadoras de TV por assinatura. Esta convergência é uma tendência observada também no ramo da telefonia fixa que lançou serviços de banda larga baseados em tecnologia xDSL.

Figura 1.3 – Faturamento por Origem (Fechamento - 2002)



(Fonte: ABTA – 2002)

Figura 1.4 – Faturamento por Origem (Segundo Trimestre - 2003)



(Fonte: ABTA – Junho/2003)

A finalidade deste documento é analisar a evolução do serviço de transmissão de dados em alta velocidade na plataforma MMDS, comparar as soluções oferecidas e fornecer material relevante para auxiliar na tomada de decisões.

Este trabalho está ordenado de forma a descrever a plataforma MMDS, descrever e analisar a solução presente baseada no sistema DOCSIS, descrever e analisar duas soluções com características mais sofisticadas (Sistema CDMA e Sistema OFDM) e realizar uma análise comparativa entre o resultado dos testes de alguns serviços realizados nos novos sistemas.

2. A PLATAFORMA MMDS CLÁSSICA

2.1. HISTÓRICO

O sistema de TV por assinatura surgiu nos Estados Unidos no final da década de 40 para suprir a deficiência de qualidade na distribuição do sinal de TV para zonas remotas ou montanhosas. Quase que simultaneamente os estados do Arkansas, Oregon e Pennsylvania instalaram as suas bases de TV a cabo em 1948.

O Sistema de Distribuição Multiponto Multicanal (MMDS – “Multichannel Multipoint Distribution Service”) surgiu na década de 70. Apelidado de “wireless cable” foi primeiramente representado pelo MDS (“Multipoint Distribution System”). Em 1974, percebendo o potencial comercial deste serviço local de distribuição em banda larga, o FCC (“Federal Communications Commission”) modifica a restritiva largura de banda de 3,5 MHz para 6,0 MHz e introduz a licença MDS comercial para serviço de distribuição de dados voltado para negócios, sendo alocados 2 canais de 6,0 MHz nos 50 maiores mercados dos EUA (canais MDS 1 e 2) e um canal de 6,0 MHz e outro de 4 MHz (canais MDS 1 e 2A) para os demais mercados. Devido à intenção inicial de uso deste tipo de serviço para suporte ao sistema fechado de televisão e serviço de distribuição de dados para negócios, o serviço foi inicialmente designado como um serviço de portadora comum.

Em 1971 foi formado o MMCCA (“Multipoint Microwave Common Carrier Association”) para representar os interesses da indústria de MDS. O seu nome foi posteriormente mudado para MCA (“Microwave Communication Association”). Em 1988 foi renomeado para WCA (“Wireless Communications Association”).

Em 1975 era lançado o primeiro serviço comercial de televisão usando esta banda de frequência, uma distribuição do canal HBO para a cidade de Washington D.C., isto desencadeou a distribuição de programação de televisão

paga, primeiramente em hotéis e blocos residenciais, posteriormente em residências individuais. Contudo, o futuro do MDS praticado desta forma não era promissor, pois os sistemas a cabo estavam alcançando um número cada vez maior de cidades e ao preço em quem se pagava um único canal MDS (\$20 a \$30) se podia receber de 12 a 24 canais via cabo coaxial, pelo mesmo preço. Neste ponto foi necessário repensar o serviço e conseguir um modo de expandir o número de canais.

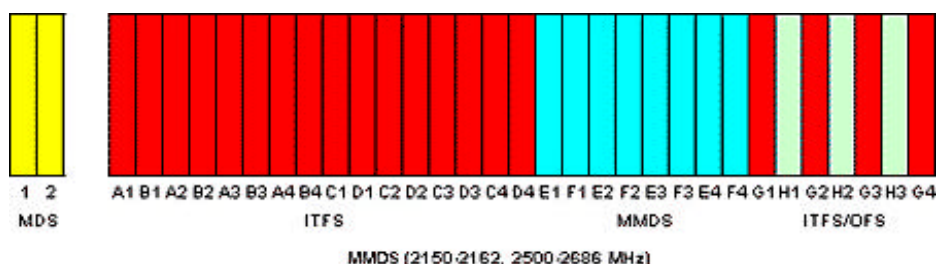
Desta forma surgiram planos para a aquisição de frequências vizinhas alocadas para o ITFS (“Instructional Television Fixed Service”) e OFS (“Operational Fixed Services”). O ITFS foi um espectro de banda de 31 canais alocados em 1963 para uso de instituições educacionais e associações beneficentes. O OFS eram canais separados para a distribuição de dados para negócios.

Em 1979, a indústria de MDS fez um pedido ao FCC para re-alocação de parte da largura de banda do ITFS para uso de distribuição comercial de televisão. Após uma longa espera, em 1983 o FCC re-alocou 8 dos 31 canais de 6 MHz. Os dois blocos alocados de 4 canais eram distribuídos de forma que os sistemas adjacentes não precisavam se preocupar com interferência co-canal, e foram chamados de MMDS. Ainda em 1983 foi permitido aos licenciados da banda ITFS alugar a capacidade excedente de seus canais para os operadores de MMDS, com a exigência de que ao menos 20 horas semanais de conteúdo instrucional fosse transmitido.

A primeira estação MMDS dos EUA entrou em funcionamento em Bessemer (Michigan), em 1984. O primeiro sistema internacional foi instalado nas Bermudas, também em 1984; era um serviço que ocupava 4 canais e servia hotéis com programação diferenciada.

Em 1991 o FCC classificou o serviço OFS como parte integrante do MDS. Esta regra aumentou o número de canais de 6 para 13 (3 OFS, 2 MDS e 8MMDS), somado à possibilidade de aquisição da banda excedente dos canais ITFS, obtêm-se o espectro MMDS de 33 canais, como visto a seguir:

Figura 2.0 – Distribuição de Frequências para o serviço MMDS nos EUA

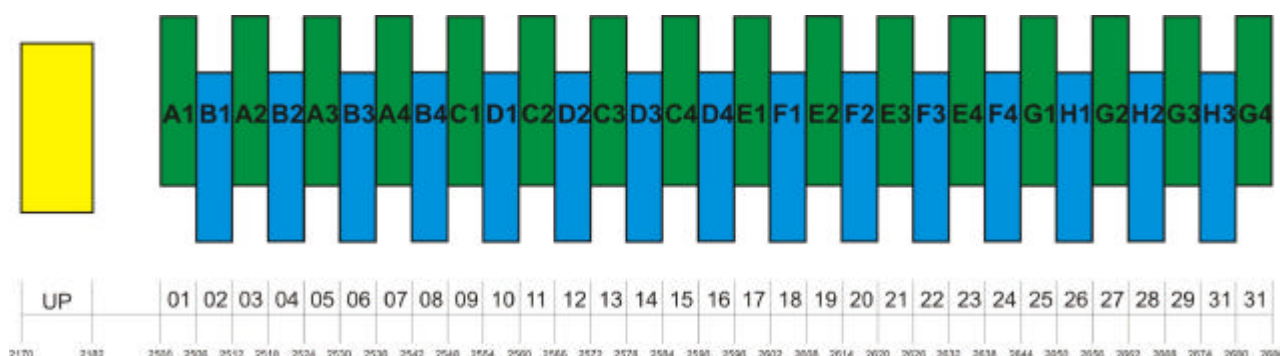


No Brasil o sistema foi regulamentado como uma das modalidades do Serviço Especial de Telecomunicações pelo Decreto nº 2.196 de 1997. Os sinais MMDS cobrem uma área com raio de até 50 quilômetros, levando programação tanto a áreas urbanas quanto às periféricas. Permite a transmissão de programação local, pois o “headend” está situado no local da prestação de serviço. Sua capacidade é de 31 canais analógicos, porém com as novas tecnologias de compressão obtêm-se cerca de 155 canais digitais (compressão 5:1).

2.2. DESCRIÇÃO

A plataforma MMDS é regulada no Brasil pela ANATEL. As faixas de frequências alocadas para este serviço são de 2.170 MHz a 2.182 MHz e 2.500 MHz a 2.686 MHz.

Figura 2.1 – Distribuição de Frequências para o serviço MMDS no Brasil



A faixa de 2.170 MHz a 2.182 MHz está segmentada em blocos de 25 kHz, de acordo com a fórmula a seguir:

$$S_n = 2.170 + 0,025 \cdot n \text{ (MHz)}$$

Onde:

$$n = 1, 2, \dots, 480;$$

S_n = limite superior de qualquer bloco de 25 kHz

Sendo permitida a agregação de um ou mais blocos contíguos de 25 kHz. Estes blocos devem ser utilizados para transmissão das estações terminais para a estação base (canal de retorno), podendo ser utilizados sistemas analógicos ou digitais.

A faixa de 2.500 MHz a 2.686 MHz está dividida em blocos de 6 MHz, conforme a tabela a seguir:

Tabela 2.0 – Faixa de 2.500 MHz a 2.686 MHz dividida em blocos de 6 MHz

Canal	Bloco	Faixa de Frequências (MHz)
01	A-1	2500-2506
03	A-2	2512-2518
05	A-3	2524-2530
07	A-4	2536-2542
02	B-1	2506-2512
04	B-2	2518-2524
06	B-3	2530-2536
08	B-4	2542-2548
09	C-1	2548-2554
11	C-2	2560-2566
13	C-3	2572-2578
15	C-4	2584-2590
10	D-1	2554-2560
12	D-2	2566-2572
14	D-3	2578-2584
16	D-4	2590-2596
17	E-1	2596-2602
19	E-2	2608-2614
21	E-3	2620-2626

23	E-4	2632-2638
18	F-1	2602-2608
20	F-2	2614-2620
22	F-3	2626-2632
24	F-4	2638-2644
25	G-1	2644-2650
27	G-2	2656-2662
29	G-3	2668-2674
31	G-4	2680-2686
26	H-1	2650-2656
28	H-2	2662-2668
30	H-3	2674-2680

Estes blocos devem ser utilizados para transmissão da estação base para as estações terminais. O uso destes blocos para transmissão das estações terminais para a estação base (canal de retorno) está sujeito à aprovação da ANATEL.

A potência máxima do transmissor é limitada em 100 W. A potência equivalente isotropicamente radiada de transmissão, quando utilizadas antenas omnidirecionais, é limitada aos valores da tabela a seguir:

Tabela 2.1 – Potência máxima (e.i.r.p.) quando utilizada antena omnidirecional

Raio da Área de Prestação do Serviço (em km)	e.i.r.p. máxima (dBW)
5	13
10	19
15	23
20	25
25	27
30	29
35	30
40	31
45	32
50	33

É admitida a utilização de antenas transmissoras omnidirecionais ou diretivas que empreguem polarização linear, sendo que o valor da intensidade de campo no limite da área de prestação do serviço deve estar limitado a 66 dB ($\mu\text{V/m}$) quando utilizadas antenas diretivas.

Na estação terminal a potência máxima do transmissor está limitada a 250 mW, sendo a potência e.i.r.p. máxima de transmissão limitada a + 48 dBm devendo-se usar antena transmissora diretiva, empregando polarização linear.

O MMDS é um sistema “wireless” fixo e full-duplex de banda larga para aplicações de televisão analógica, televisão digital ou transmissão de dados.

A faixa de frequências de 2.170 MHz a 2.182 MHz é usada como canal de retorno (nos Estados Unidos a faixa para canal de retorno alocada é de 2.150 MHz a 2.162 MHz).

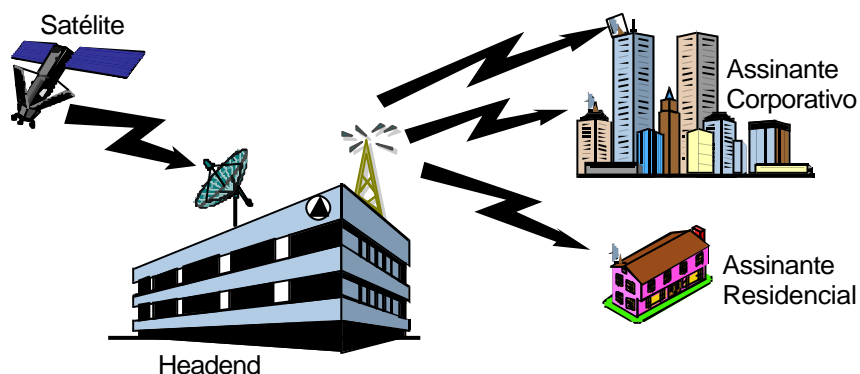
A faixa de frequências de 2.500 MHz a 2.686 MHz se destina à transmissão das estações base para as estações terminais.

2.3. COMPOSIÇÃO

A plataforma MMDS clássica, inicialmente projetada para a transmissão de canais de televisão por assinatura, é composta por duas partes:

- Equipamentos da estação MMDS (HeadEnd);
- Equipamentos do Assinante.

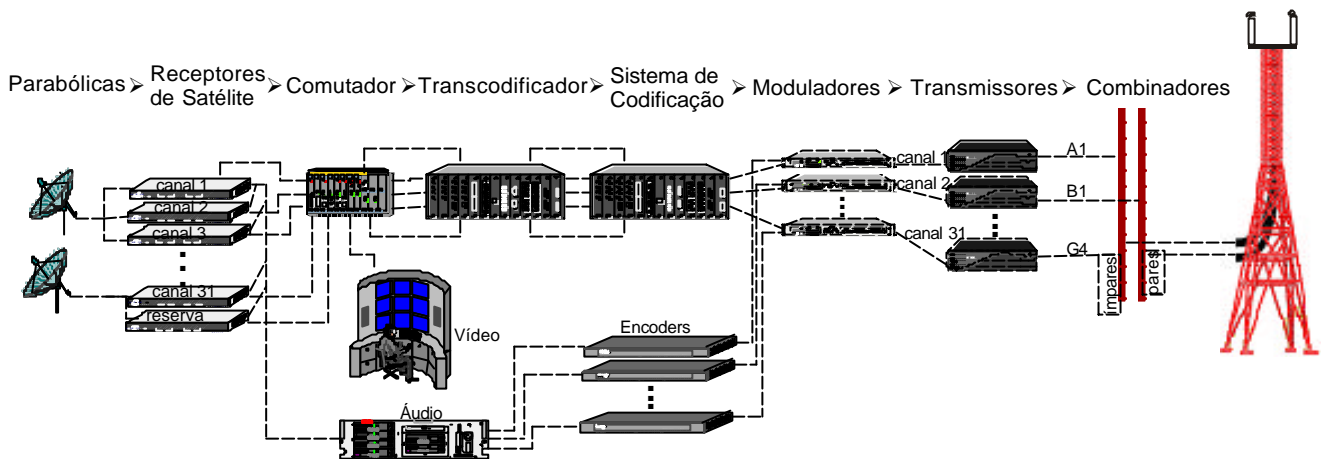
Figura 2.2 – Sistema Clássico de TV por assinatura



2.3.1. O HEADEND

O Headend é o ponto de concentração dos sinais que são captados, provenientes de enlaces de satélite ou de outros enlaces (ópticos e microondas), tratados e então entregues aos assinantes.

Figura 2.3 – Headend



O sinal é recebido nas antenas parabólicas, passando por um processo de descompressão e decodificação do sinal digital. São realizados ajustes no sinal, como equalização de áudio e avaliação do sinal por alguns equipamentos (Comutador, Waveform, Vectorscope e Monitor). Após o processamento o sinal é codificado, modulado (para sistemas analógicos o sinal de vídeo é modulado em AM-VSB e o sinal de áudio em FM; em sistemas digitais o sinal é modulado em 64-QAM) e entregue ao transmissor (em uma frequência intermediária 45,75 MHz ou já canalizados na faixa de 220 MHz a 408 MHz).

Para o sistema de transmissão existem duas configurações básicas:

- Discreta;
- Banda Larga.

A configuração discreta é utilizada quando o raio de cobertura é grande. Nesta configuração utiliza-se um transmissor por canal.

A configuração em banda larga é utilizada para situações em que o raio de cobertura é menor ou se tem uma estrutura celular implementada. Nesta configuração se utiliza um único transmissor para todos os canais.

O sinal é então entregue para o sistema irradiante por meio de uma linha de transmissão (guia de onda ou cabo coaxial). Na maioria dos casos as antenas são omnidirecionais (slot ou dipolo).

2.3.2. O ASSINANTE

O sinal é captado por uma antena parabólica (ou yagi), sendo convertido para a faixa de frequências VHF/UHF por um *downconverter*, segundo a tabela a seguir.

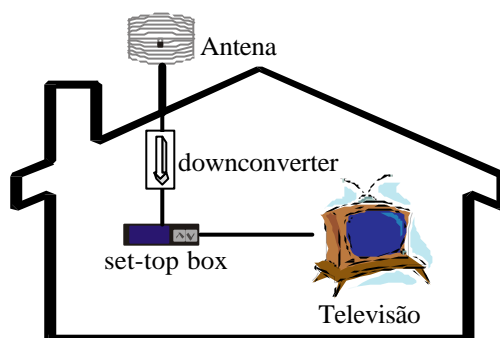
Tabela 2.2 – Conversão da faixa de frequência do serviço MMDS para a faixa VHF/UHF

ENTRADA		SAÍDA	
CANAL	FREQÜÊNCIAS EXTREMAS (MHz)	CANAL	FREQÜÊNCIAS EXTREMAS (MHz)
A-1	2500-2506	K/24	222-228
B-1	2506-2512	L/25	128-234
A-2	2512-2518	M/26	234-240
B-2	2518-2524	N/27	240-246
A-3	2524-2530	O/28	246-252
B-3	2530-2536	P/29	252-258
A-4	2536-2542	Q/30	258-264
B-4	2542-2548	R/31	264-270
C-1	2548-2554	S/32	270-276
D-1	2554-2560	T/33	276-282
C-2	2560-2566	U/34	282-288
D-2	2566-2572	V/35	288-294
C-3	2572-2578	W/36	294-300
D-3	2578-2584	AA/37	300-306
C-4	2584-2590	BB/38	306-312
D-4	2590-2596	CC/39	312-315
E-1	2596-2602	DD/40	318-324
F-1	2602-2608	EE/41	324-330
E-2	2608-2614	FF/42	330-336
F-2	2614-2620	GG/43	336-342

E-3	2620-2626	HH/44	342-348
F-3	2626-2632	II/45	348-354
E-4	2632-2638	JJ/46	354-360
F-4	2638-2644	KK/47	360-366
G-1	2644-2650	LL/48	366-372
H-1	2650-2656	MM/49	372-378
G-2	2656-2662	NN/50	378-384
H-2	2662-2668	OO/51	384-390
G-3	2668-2674	PP/52	390-396
H-3	2674-2680	QQ/53	396-402
G-4	2680-2686	RR/54	402-408

O sinal é distribuído na rede interna e chega à televisão do usuário por meio de um *set-top box*.

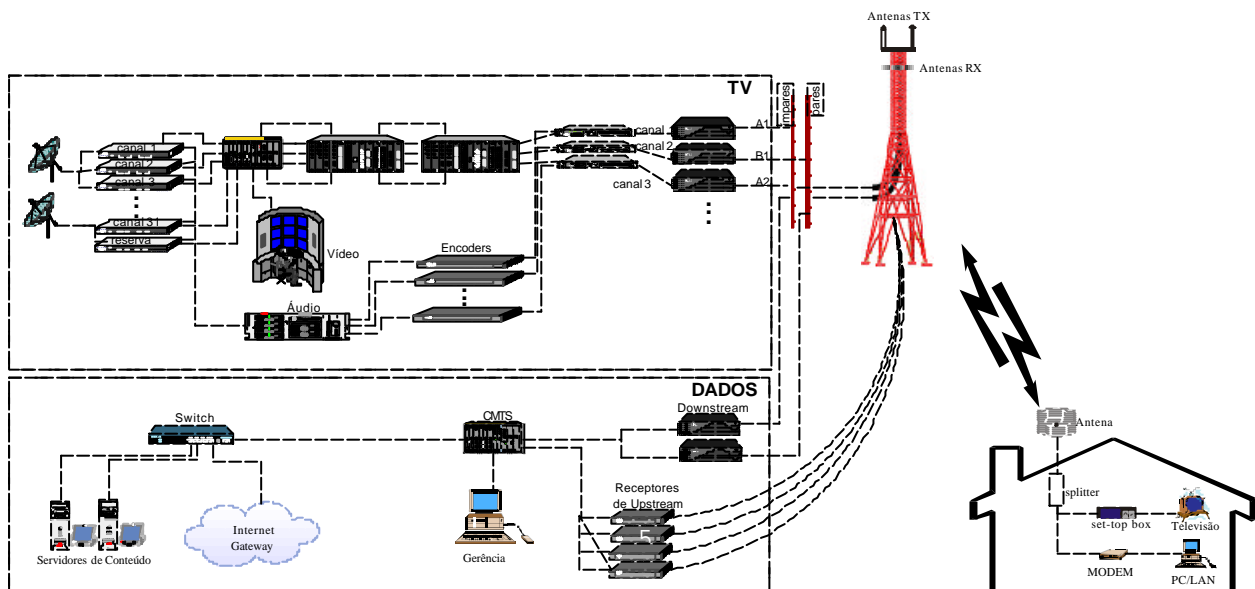
Figura 2.4 – Assinante



3. A PLATAFORMA MMDS BIDIRECIONAL

Os principais fatores que propiciaram o surgimento do MMDS bidirecional foram o serviço de TV interativa e a possibilidade de transmissão de dados e distribuição de Internet sobre esta plataforma. Em relação à plataforma MMDS clássica, para comportar estes novos serviços foi necessária a adição de novos equipamentos tanto no *headend* quanto na terminação do *assinante*.

Figura 3.0 – MMDS Bidirecional



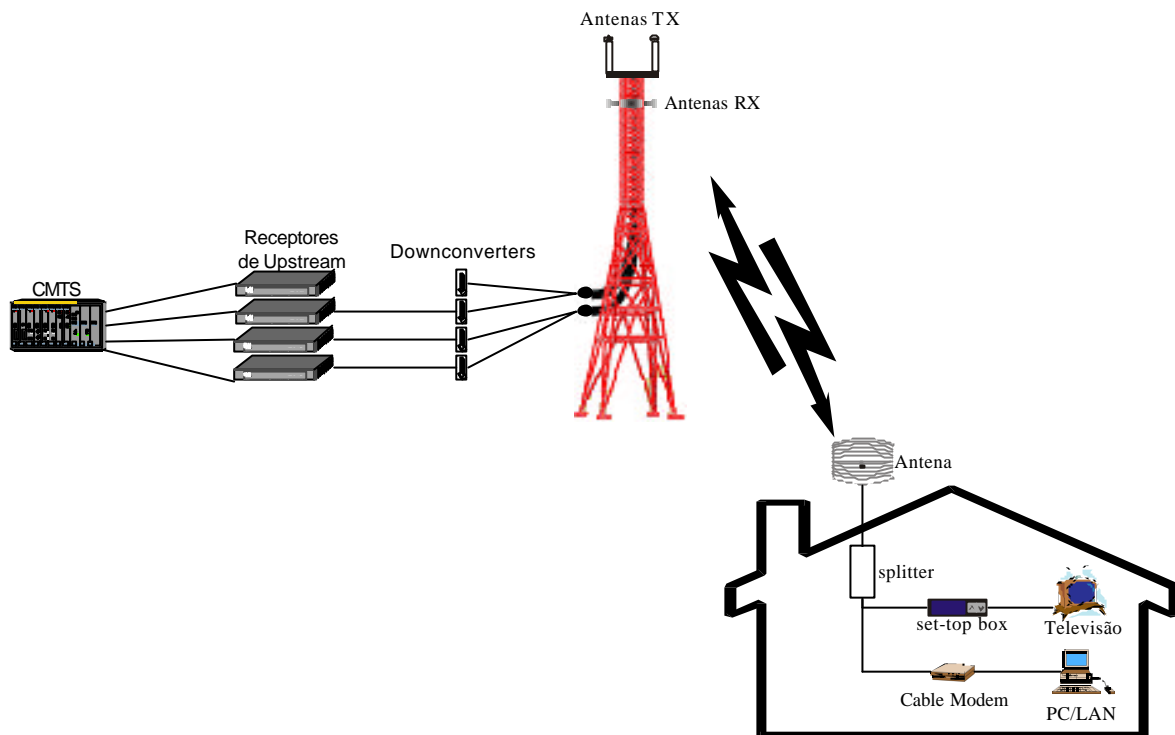
No *headend* foi adicionado o CMTS e na terminação do assinante foram adicionados um *transceiver* (permite a antena do assinante exercer a função de transmissão e recepção) e um *splitter* (divide o sinal entre o modem e o set-top box).

3.1. CANAL DE RETORNO

A primeira forma de canal de retorno era assimétrica, utilizando-se a rede telefônica para se implementar o canal de retorno. Com a resolução

236/2000 da Anatel foi regulamentado o uso da faixa de 2170 MHz a 2182 MHz como canal de retorno *wireless* na plataforma MMDS.

Figura 3.1 – Retorno *wireless*

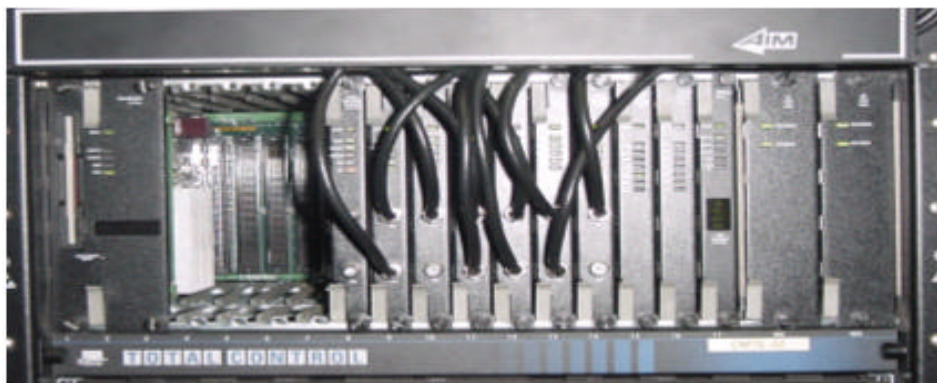


O caminho de retorno *wireless* é implementado por meio de antenas diretivas, *downconverters* e receptores de *upstream*.

3.2. CMTS

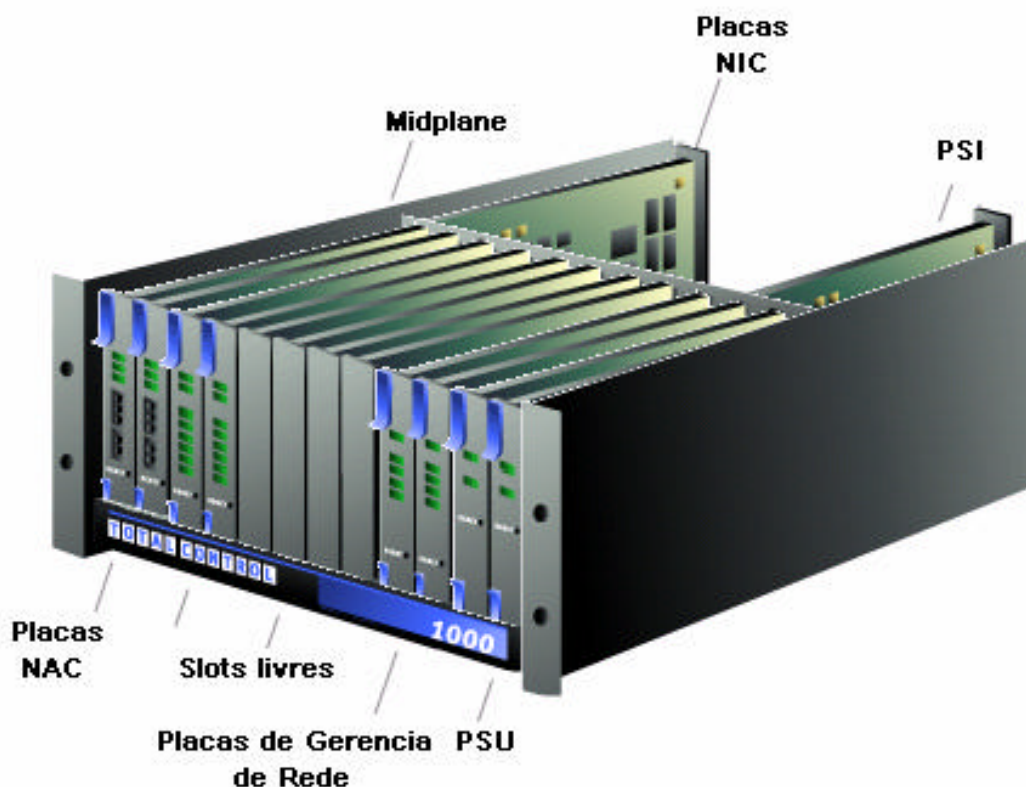
O CMTS (*Cable Modem Termination System*) é o equipamento na estação base que prepara os pacotes Ethernet recebidos do *backbone* para serem enviados pela plataforma MMDS até o CM (*Cable Modem*) do assinante e recebe os pacotes de informação enviados para a estação base a partir do CM. O CMTS se comunica com o CM estabelecendo uma conexão LAN virtual.

Figura 3.2 – CMTS 3COM Total Control 1000



Cada CMTS é capaz de suportar entre 1 e 2000 CM. O CMTS é responsável pela iniciação e manutenção da rede formada pelos CM. Possui três principais funções: demodular, rotear e modular.

Figura 3.3 – Componentes do CMTS 3COM Total Control 1000



O CMTS possui arquitetura modular, sendo formado pelas unidades funcionais descritas a seguir:

PSU (*Power Supply Unit*): são unidades de alimentação, disponíveis para AC ou DC, com correntes de 35A até 130A. Uma segunda placa PSU é recomendada com a finalidade de redundância.

PSI (*Power Supply Interface*): faz a interface do PSU com a rede elétrica.

Midplane: possibilita a comunicação entre as NACs e NICs por meio de múltiplos barramentos.

NAC (*Network Application Card*): são placas processadoras de dados inteligentes e roteadores. Fazem sua comunicação por intermédio do *midplane* para prover conexão *full-duplex* com redes externas.

NIC (*Network Interface Card*): são placas que fornecem a interface física de rede para os dados processados nas NACs.

NMC (*Network Management Card*): placa que gerencia os demais dispositivos do chassis sob o comando de um software instalado em um PC.

3.3. CM

O CM (*Cable Modem*) é um receptor 64/256-QAM capaz de receber dados de 30 a 40 Mbps (*downstream*) e um transmissor QPSK/16-QAM com uma taxa variável entre 320 kbps até 10 Mbps (*upstream*). As taxas de transmissão e recepção são controladas pelo CMTS.

Figura 3.4 – CM 3COM HomeConnect Tailfin



3.4. PADRÃO DOCSIS

Em 1988 foi fundado pelos membros da indústria de televisão a cabo, nos Estados Unidos, um consórcio dedicado à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias de telecomunicações para esta plataforma, sendo denominado CableLabs. Um dos projetos do CableLabs é o projeto Cable Modem, mais conhecido como DOCSIS (*Data Over Cable Systems*) que visa certificar e padronizar produtos para a distribuição de dados em alta velocidade sobre esta plataforma. Atualmente o DOCSIS está na versão 2.0.

O padrão DOCSIS especifica a interface entre o CM e o equipamento do usuário (documento: SP-CMCI), a interface entre o CMTS e o *backbone* de transporte de dados (documento: SP-CMTS-NSI), o suporte de operações do sistema por elementos de gerência de rede (documento: SP-OSSlv2.0), as características da comunicação de dados entre o CMTS e o CM (documento SP-RFlv.2.0) e a interface para segurança e privacidade na rede de cable (documento: SP-BPI+).

4. CASO: LINKEXPRESS

A LinkExpress é uma empresa que explora a distribuição de dados sobre a plataforma MMDS. Utilizaremos a sua base instalada na cidade de Brasília como parâmetro de comparação com as novas tecnologias de acesso que serão descritas nos capítulos posteriores.

4.1. PADRÃO DOCSIS 1.0

A rede da LinkExpress instalada em Brasília segue as recomendações do padrão DOCSIS 1.0. Segue abaixo um resumo das principais características recomendadas por este padrão:

Sinais de *Downstream* (sentido estação-base ? estação terminal)

- Freqüência RF: 2500 MHz a 2686 MHz
- Freqüência FI: 222 MHz a 408 MHz
- Relação Sinal Ruído (C/N): 24 dB
- Modulação: 64 QAM
- Eficiência Espectral: 5 bits/Hz
- Canalização: 6 MHz
- Capacidade por canal: 30 Mbps

Sinais de *Upstream* (sentido estação-terminal ? estação base)

- Freqüência RF: 2170 MHz a 2182 MHz
- Freqüência FI: 22 MHz a 34 MHz
- Relação Sinal Ruído (C/N): 12 dB
- Modulação: QPSK
- Eficiência Espectral: 1,5 bits/Hz
- Canalização: 200 KHz; 400 KHz; 800 KHz; 1,6 MHz; 3,2 MHz
- Capacidade Máxima do Espectro Disponível sem Reuso de Freqüência: 18 Mbps

A limitação do espectro disponível no canal de *upstream* é compensada com a utilização da modulação QPSK, que é mais robusta e exige uma menor relação sinal ruído, como podemos ver na tabela a seguir:

Tabela 4.0 – Relação S/N

	Modulação	Relação S/N
Downstream	64-QAM	23,5 dB
Upstream	QPSK	16 dB

4.2. ESTRUTURA DA REDE

A arquitetura de rede adotada pela LinkExpress é composta por um setor de *downstream* (usando antena omnidirecional) e 4 setores de *upstream* (usando antenas diretivas com abertura de 90°). A setorização permite a utilização de técnicas de reuso de freqüências que proporcionam uma utilização otimizada do espectro de freqüências disponível. Usando-se técnicas de celularização pode-se aumentar a oferta de capacidade de transporte para áreas de alto índice de tráfego de informações.

Pode-se aumentar a capacidade do sistema usando a técnica de **setorização** que consiste em reutilizar os canais em setores não adjacentes, multiplicando, desta forma, o número de canais disponíveis no sistema. A LinkExpress utiliza a seguinte configuração:

Downstream:

- 1 célula com 1 canal de 6 MHz
 $1 \text{ canal de } 6 \text{ MHz} \times 5 \text{ bps/Hz (64-QAM)} = 30 \text{ Mbps}$
 Capacidade do Downstream: 30 Mbps

Figura 4.0 – Célula do Downstream



O canal de upstream possui a restrição de uma largura de banda total de 12 MHz, por isso utiliza-se setorização para aumentar a sua capacidade (sem reuso de freqüências obtêm-se 7 canais de 1,6 MHz + 1 canal de 800 KHz):

- 4 setores de Upstream
15 canais de 1,6 MHz (com reuso de freqüências)
1 canal de 1,6 MHz x 1,5 bps/Hz (QPSK) = 2,4 Mbps
Capacidade do Upstream = 15 x 2,4 Mbps = 36 Mbps

Figura 4.1 – Célula do Upstream

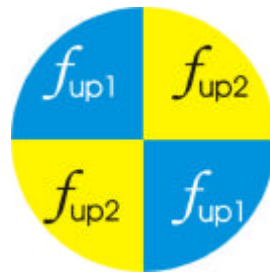


Figura 4.2 – Setorização do Plano Piloto



Caso a demanda por tráfego aumente bastante, pode-se utilizar uma configuração mais setorizada (2 canais de 6 MHz para downstream e 6 setores para upstream).

Downstream: $2 \times 6 \text{ MHz} \times 5 \text{ bps/Hz} = 60 \text{ Mbps}$

Upstream: $[(22 \times 1,6 \text{ MHz}) + (1 \times 0,8 \text{ MHz})] \times 1,5 \text{ bps/Hz} = 54 \text{ Mbps}$

A tabela a seguir mostra o ganho da capacidade do canal de upstream por meio da setorização de uma estação.

Figura 4.3 – Expansão da Capacidade da Rede

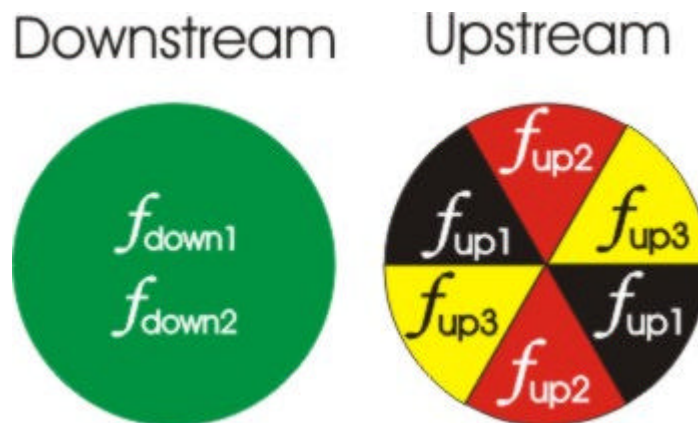


Tabela 4.1 – Ganho do canal de upstream obtido por setorização

Número de Setores	Reuso de Frequências	Capacidade do Canal de Upstream
1	1	18 Mbps
2	1	18 Mbps
3	1	18 Mbps
4	2	36 Mbps
6	3	54 Mbps
8	4	72 Mbps

Caso a setorização não seja suficiente para se atender as necessidades de capacidade do sistema, ainda se podem usar técnicas de celularização, que consiste em utilizar várias estações alocando canais aos setores de cada estação de forma que não haja interferência entre setores distintos transmitindo o mesmo canal.

4.3. LIMITAÇÕES

As maiores limitações sofridas pelos sinais que utilizam a plataforma MMDS residem nas características técnicas da modulação do sinal digital utilizado.

O **ruído de fase** afeta estes sinais atuando na constelação do sinal modulado. Este fenômeno notado nos sinais digitais é gerado no oscilador local do receptor ou nos conversores de *up/down* do *headend* ocasionando com que os pontos da constelação QAM (que representam símbolos), se desloquem no quadrante aumentando a taxa de bits errados (BER).

Figura 4.4 – Constelação do 64-QAM

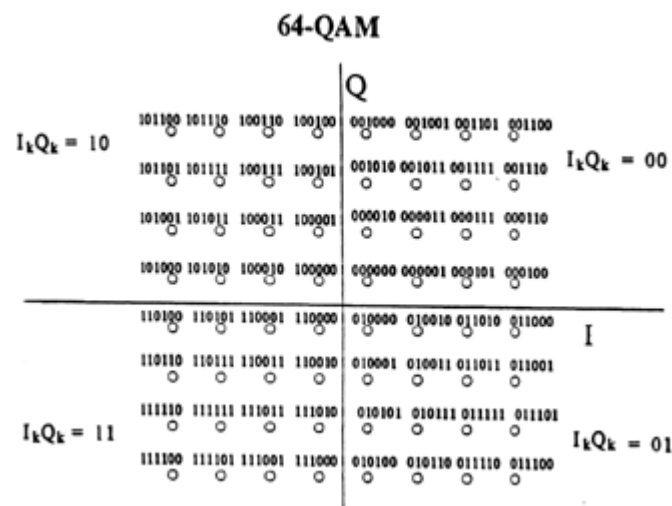


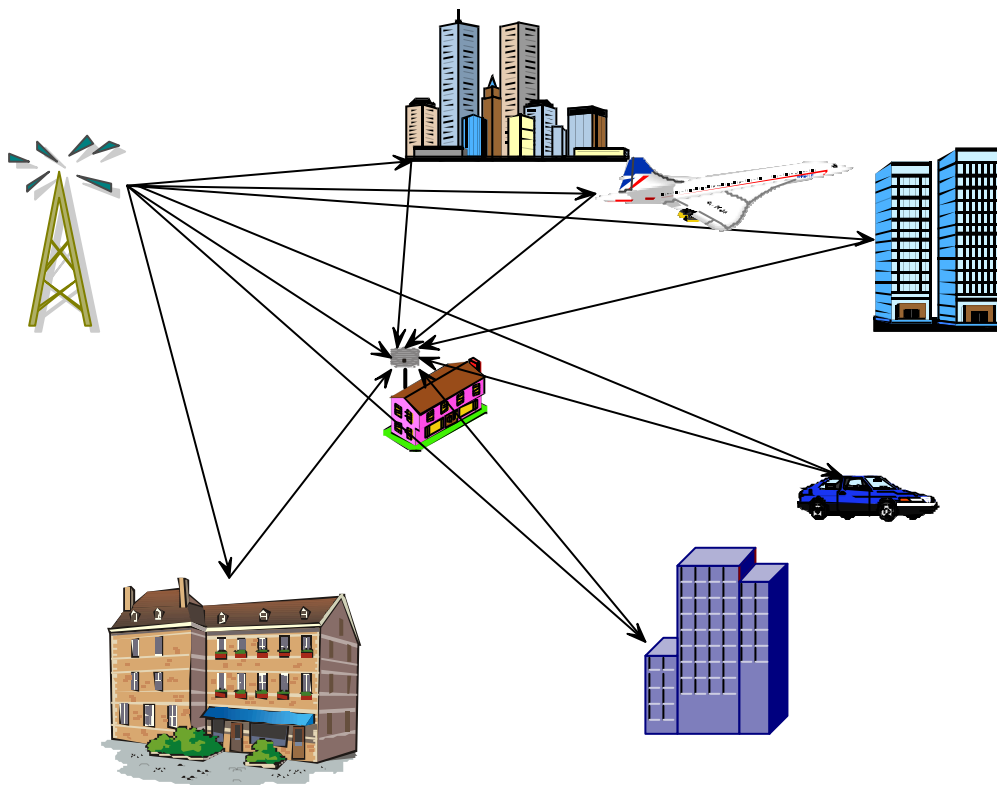
Figura 4.5 – Constelação do 64-QAM com ruído de fase



Este tipo de sinal sofre influência muito forte do **multipercurso**. O multipercurso é um fenômeno notado principalmente em enlaces de rádio que exigem **linha de visada direta**, como alguns enlaces de rádio de altas taxas de transmissão. O multipercurso pode ser resultado de irregularidades no terreno, edificações elevadas ou mudanças no índice de refração ao longo do canal, que causam retardo no tempo de propagação de uma componente do sinal devido à diferença de comprimento do percurso de transmissão.

Estes fatores podem acontecer isoladamente ou concomitantemente. Como o desvanecimento por multipercurso geralmente é seletivo em frequência, uma técnica utilizada para solucionar este problema é a diversidade de frequências.

Figura 4.6 – Multipercurso

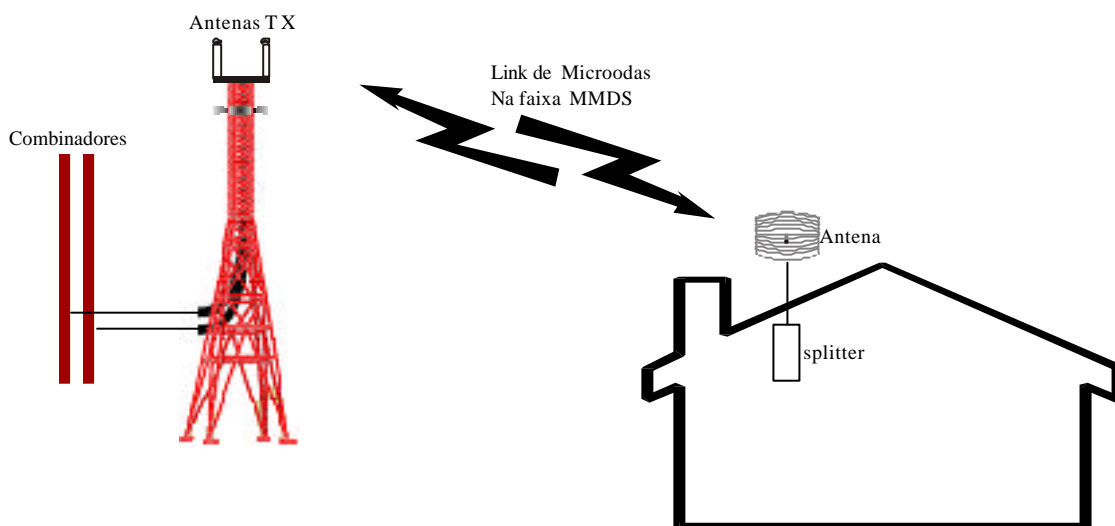


Este sistema é implementado de modo fixo, devido à necessidade da linha de visada direta, impedindo, desta forma, qualquer perspectiva de **mobilidade**.

5. O NOVO MODELO PARA COMUNICAÇÃO DE DADOS NA PLATAFORMA MMDS

Pode-se observar dos capítulos anteriores que a rede de dados trafega em paralelo com a rede de televisão, sendo que os elos de ligação entre os dois serviços são os combinadores e a antena de *downstream* no *headend*, a faixa de frequências MMDS que compartilham no enlace de microondas, a antena no *link* do assinante e o *splitter* colocado no lado do assinante para separar os sinais que devem ser entregues ao *cable modem* e ao *set-top box*.

Figura 5.0 – Elementos compartilhados entre a rede de comunicação de dados (DOCSIS) e a rede de televisão



Os canais MMDS alocados para o serviço de televisão por assinatura não podem ser utilizados pelo serviço de transmissão de dados e vice-versa.

O novo modelo é mais independente do sistema de televisão, pois possui antenas próprias de transmissão e recepção no *headend*, as CPEs (*Customer Premise Equipment*), que substituem os *cable modems*, também possuem antenas próprias de transmissão e recepção, sendo que o único elo restante com o sistema de televisão em comum é a faixa de frequências MMDS que ambos compartilham.

Devido ao exposto, nos esquemáticos deste capítulo em diante serão omitidos os elementos pertencentes ao sistema de televisão, sendo apenas explicitado os componentes pertencentes ao sistema de comunicação de dados.

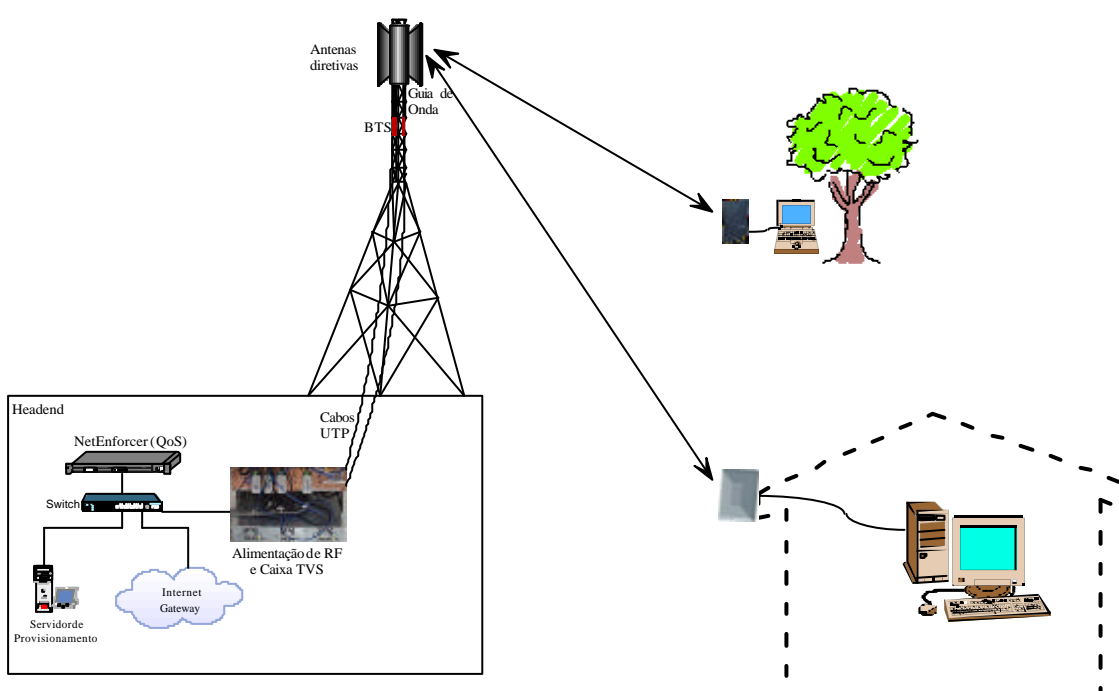
Neste capítulo serão descritas as estruturas básicas das novas propostas para transmissão de dados sobre a plataforma MMDS. A explicação destas estruturas estará dada nos capítulos posteriores.

5.1. DIAGRAMAS

Duas propostas serão contempladas neste documento: a solução baseada no sistema COFDM e a solução baseada no sistema CDMA. A primeira vantagem que estes sistemas possuem em relação ao DOCSIS é a não necessidade de linha de visada direta, isto deve-se às técnicas utilizadas no tratamento do sinal.

Sistema OFDM:

Figura 5.1 – Sistema OFDM



No sistema OFDM o dado proveniente do *backbone* com destino a uma CPE devidamente provisionada percorre um *gateway* de acesso à Internet

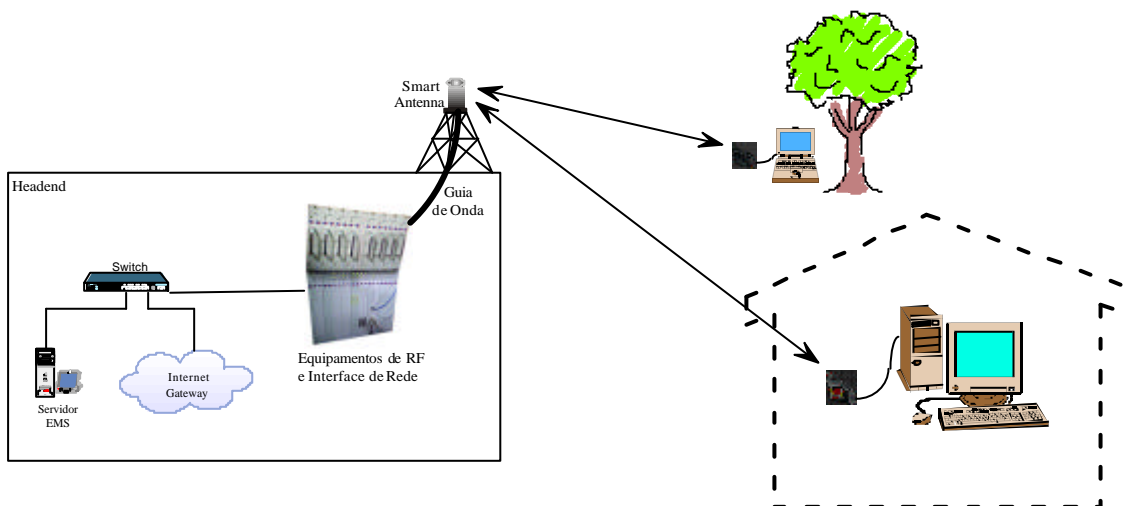
(geralmente um roteador – sinal Ethernet), um *switch* (sinal Ethernet), o NetEnforcer verifica a conformidade do tráfego (sinal Ethernet), é misturado com a alimentação das BTS (*Base Station*) no TVS (sinal Ethernet), é levado para as BTS por cabos UTP (sinal Ethernet), é levado para as antenas diretivas por um guia de onda (frequência de RF) e chega à CPE por meio do enlace de microondas, sendo transmitido para o computador por meio de um sinal Ethernet.

A comunicação no enlace de microondas utiliza modulação digital QPSK, técnica de acesso COFDM e duplexação usando a técnica TDD.

O NetEnforcer é responsável pela gerência da qualidade de serviço e o provisionamento das CPEs é realizado em um computador que possui o NNOS (*NextNet Operation System*).

Sistema CDMA:

Figura 5.2 – Sistema CDMA



No Sistema CDMA o dado proveniente do *backbone* para uma determinada CPE devidamente provisionada percorre um *gateway* de acesso à Internet (geralmente um roteador – sinal Ethernet), um *switch* (sinal Ethernet), os equipamentos de RF (tratamento do sinal para trafegar no canal de microondas), é levado para a antena por meio de um guia de onda para ser

irradiado, chega ao CPE pelo enlace de microondas e, por fim, é transmitido para o computador por meio de um sinal Ethernet.

A comunicação no enlace de microondas utiliza modulação digital adaptativa, técnica de acesso MC-SCDMA e duplexação usando a técnica TDD.

O servidor EMS é responsável pelo provisionamento de serviço para as CPEs e pela manutenção da rede (calibragem das antenas inteligentes, gerência da qualidade de serviço).

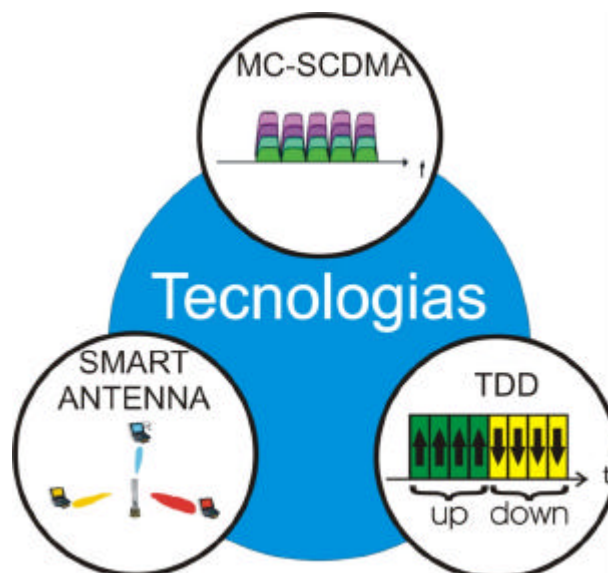
6. SISTEMA CDMA

O sistema CDMA é anunciado como sendo um produto de instalação zero (para o consumidor final) e possuindo uma tecnologia para banda larga wireless que não exige linha de visada direta (NLOS). A robustez do sinal obtida reside no conjunto dos seguintes fatores:

- Utilização do **MC-SCDMA** (*Multi Carrier Synchronous Code Division Multiple Access*) para tratamento do sinal;
- Utilização de **Smart Antennas** (Antenas Inteligentes);
- Utilização do **TDD** (*Time Division Duplex*) para se usar a mesma frequência de *upstream* e *downstream*.

Estes fatores combinados resultam em um protocolo simples de sinalização, alto nível de redundância (múltiplas antenas) e a possibilidade da predição de *handoff*. Estes produtos obtidos da combinação das técnicas supracitadas são fundamentais para mitigar os efeitos do multipercurso e desfazer a necessidade da linha de visada direta.

Figura 6.0 – Principais Tecnologias do Sistema CDMA



6.1. BASE DO SISTEMA

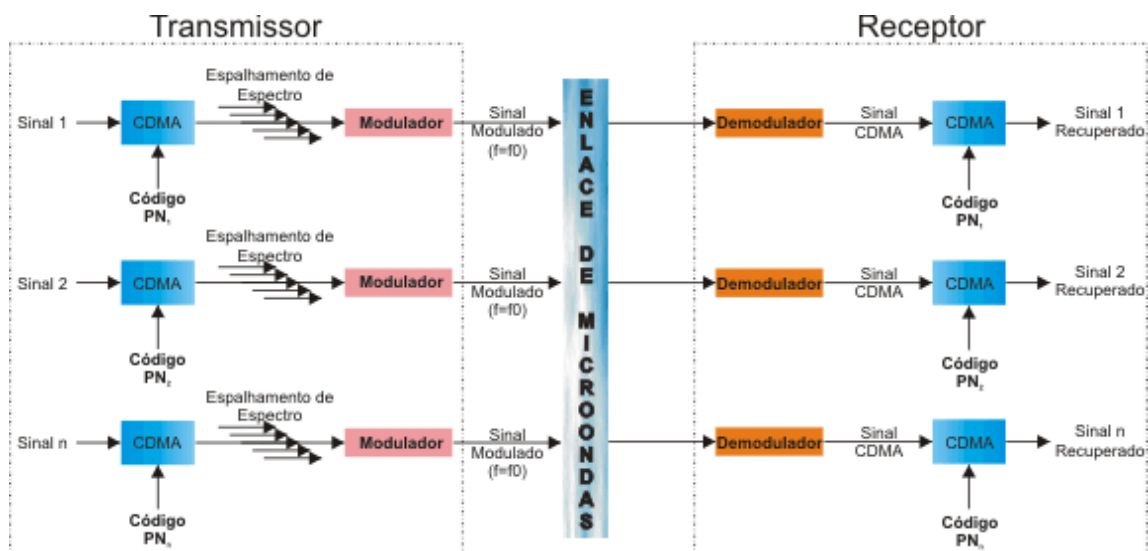
O sistema CDMA baseia-se nos elementos que serão explicados a seguir:

6.1.1. MC-SCDMA

O MC-SCDMA (*Multi Carrier Synchronous Code Division Multiple Access*) é uma tecnologia proprietária que surgiu como um aperfeiçoamento do DS-CDMA (*Direct Sequence Code Division Multiple Access*) convencional.

A técnica de múltiplo acesso DS-CDMA foi projetada para fazer o sinal robusto a interferências (intencionais ou naturais). A técnica consiste em atribuir um código pseudo-aleatório único para cada um dos sinais. Este código espalhará o espectro do sinal em toda a largura de banda disponível no canal.

Figura 6.1 – Caminho do sinal no CDMA



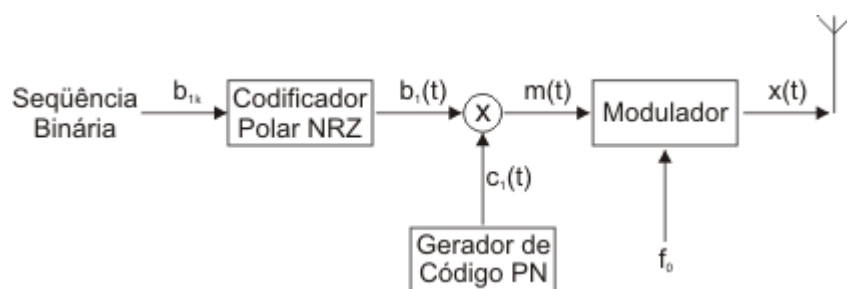
No transmissor, o bloco CDMA espalhará o sinal por um código pseudo-aleatório único para cada sinal. O sinal espalhado é inserido em um modulador que portará este sinal para a frequência de transmissão ($f=f_0$), então o sinal é inserido no meio.

Os sinais são inseridos no meio com a mesma freqüência. O motivo dos sinais não se embaralharem de forma a se tornarem indecifráveis é a escolha correta do código pseudo-aleatório. As propriedades de um código pseudo-aleatório são:

- Determinístico;
- Periódico;
- São ortogonais entre si;
- A cada período a quantidade de bits 1 é igual à quantidade de bits 0 (± 1 é aceitável);
- Para as seqüências de bits (0 ou 1): metade são de comprimento 1, $\frac{1}{4}$ é de comprimento 2, $\frac{1}{8}$ é de comprimento 3, e assim por diante;
- Seqüências PN de mesmo período deslocadas possuem correlação nula (ou aproximadamente zero).

No receptor, o sinal será demodulado, obtendo-se um sinal CDMA onde todos os n sinais estão espalhados. O sinal CDMA é inserido no bloco CDMA que desespalha o sinal desejado, pois possui o seu código pseudo-aleatório único, recuperando, desta forma, o sinal original.

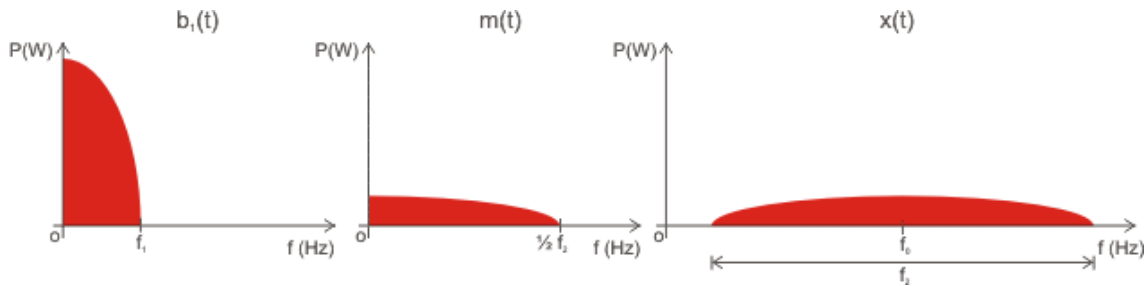
Figura 6.2 – Estrutura do transmissor DS-CDMA



No transmissor o sinal passa por três estágios. No primeiro estágio a seqüência binária é codificada em um sinal NRZ (*nonreturn-to-zero*). O segundo estágio é um modulador de produto que possui o sinal obtido $b_1(t)$ e o código pseudo-aleatório $c(t)$ como entradas, gerando em sua saída o sinal $m(t)$ que é o sinal $b_1(t)$ espalhado por $c(t)$. No terceiro estágio o sinal $m(t)$ é inserido

em um modulador que o levará para a frequência de transmissão, gerando a saída $x(t)$ que será irradiada.

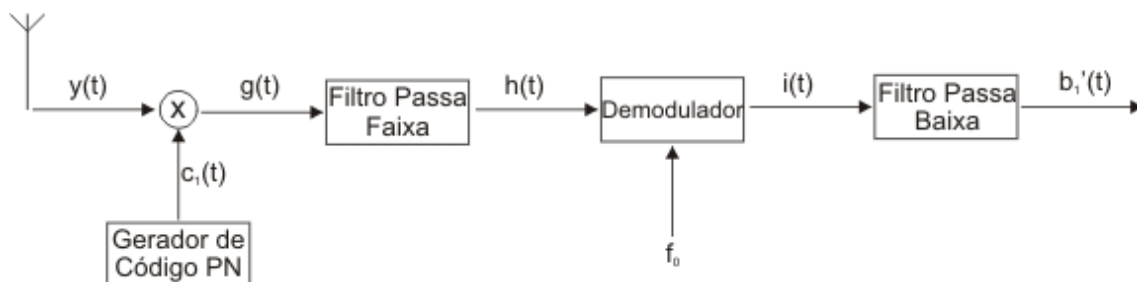
Figura 6.3 – Formas do Espectro dos Sinais nos Estágios da Transmissão



O sinal transmitido é da forma:

$$x(t) = b_1(t) \otimes c_1(t) \times \cos(\omega_0 t)$$

Figura 6.4 – Estrutura do Receptor DS-CDMA



O sinal recebido passa por basicamente quatro estágios. O sinal recebido é da forma:

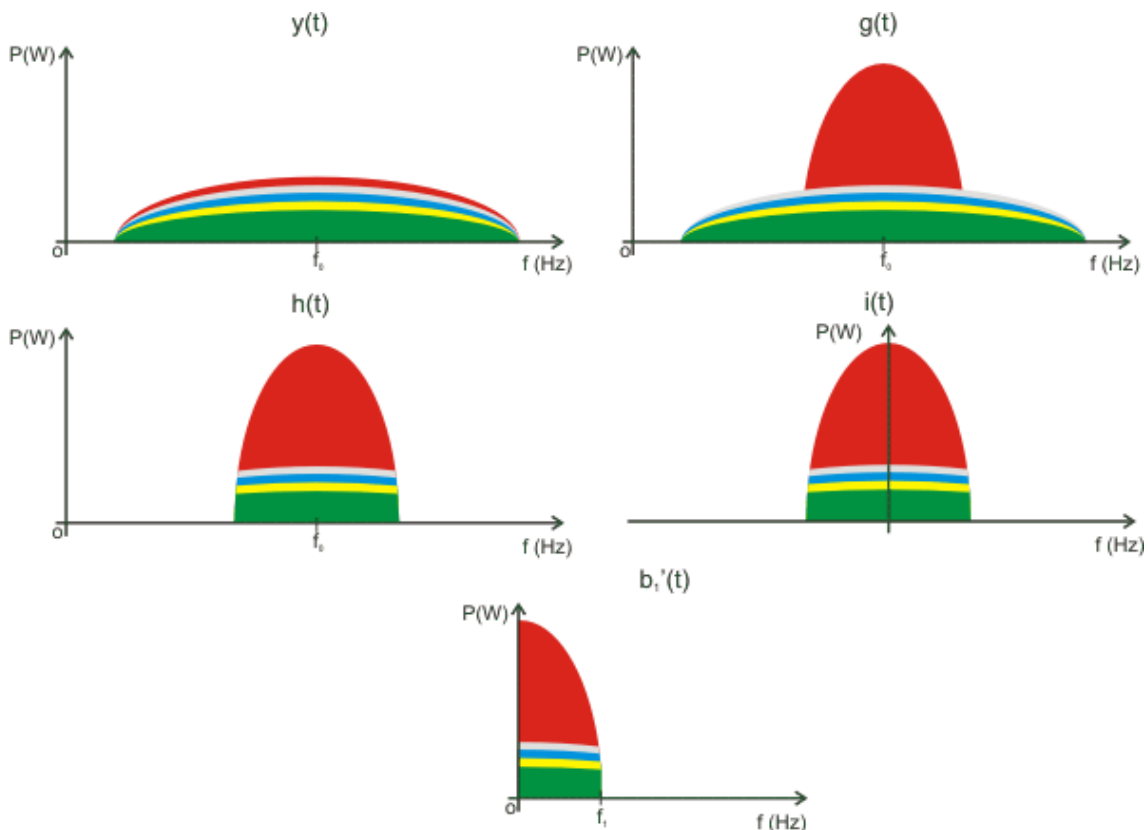
$$y(t) = [b_1(t) \otimes c_1(t) \times \cos(\omega_0 t) + b_2(t) \otimes c_2(t) \times \cos(\omega_0 t) + \dots + b_n(t) \otimes c_n(t) \times \cos(\omega_0 t)]$$

O primeiro estágio é o desespalhamento do sinal desejado. O sinal resultante é:

$$g(t) = [b_1(t) \times \cos(\omega_0 t) + b_2(t) \otimes c_2(t) \times \cos(\omega_0 t) + \dots + b_n(t) \otimes c_n(t) \times \cos(\omega_0 t)]$$

O segundo estágio é a passagem deste sinal por um filtro passa faixa com a finalidade de se eliminar os espúrios. No terceiro estágio o sinal passa por um demodulador, retornando à frequência de banda base. O quarto estágio compreende a passagem do sinal por um filtro passa baixa (a finalidade deste filtro é eliminar os elementos espúrios gerados na demodulação) e por um dispositivo de decisão que estimará o sinal original. Durante o projeto do sistema é necessário prever o número de canais levando em consideração a relação sinal ruído do sinal desespalhado na recepção.

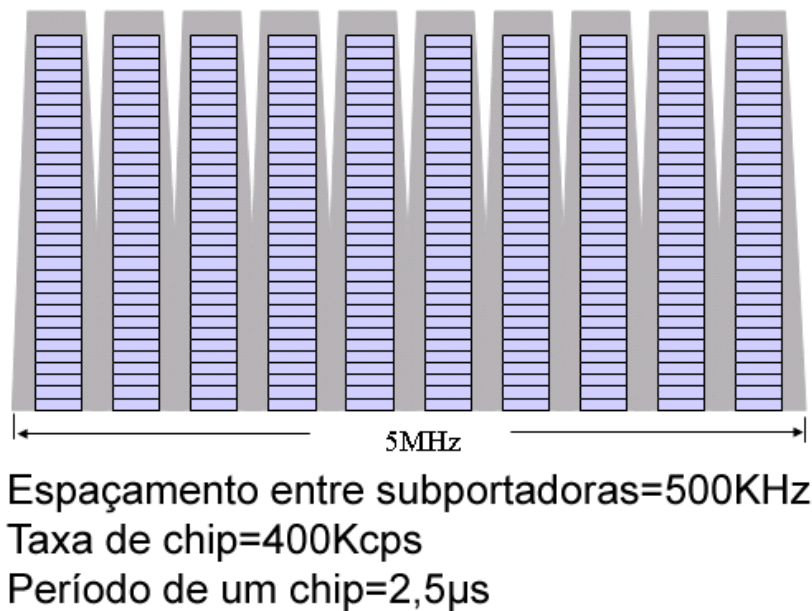
Figura 6.5 – Formas do Espectro dos Sinais nos Estágios da Recepção



O *downstream* nos sistemas CDMA sempre é síncrono, porém o sincronismo no *upstream* não podia ser garantido. Isto gerava interferência entre os códigos. A característica síncrona do *upstream* no MC-SCDMA serve para garantir a ortogonalidade dos códigos pseudo-aleatórios dos sinais

gerados nas estações terminais com destino à estação base, minimizando a interferência entre os códigos.

Figura 6.6 – Arranjo das Subportadoras



A característica de múltiplas portadoras do **MC-SCDMA** minimiza os efeitos do multipercurso (que possui a característica de ser seletivo em frequência).

6.1.2. TDD

Sistemas de comunicação bidirecionais necessitam de um meio para se enviar os dados e receber. A duplexidade de um sistema de comunicação pode ser:

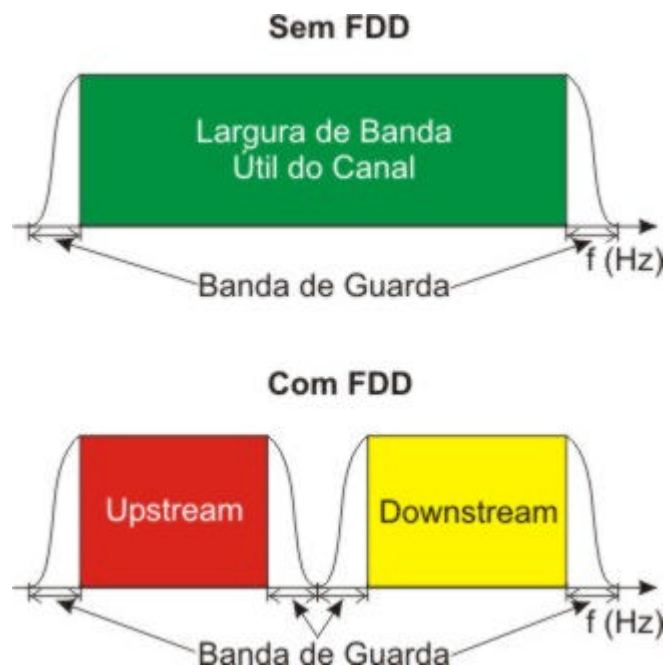
- *Full-duplex* (bidirecional simultâneo);
- *Half-duplex* (bidirecional alternado);
- *Simplex* (unidirecional).

Para os sistemas bidirecionais funcionarem geralmente usa-se um canal de *downstream* e um canal separado de retorno. Para se permitir que um

sistema seja bi-direcional sem a necessidade de se usar canais separados surgiram as técnicas de duplexação de canal. As técnicas mais usadas são o FDD (*Frequency Division Duplex*) e o TDD (*Time Division Duplex*).

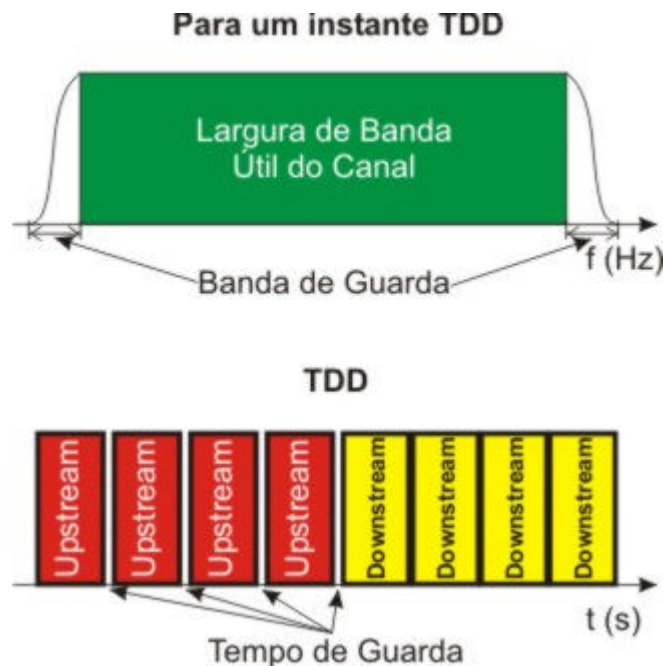
O FDD é uma técnica *full-duplex* que consiste em dividir a largura de banda do canal em duas (uma faixa de freqüências servirá como canal de *upstream* e a faixa restante será o canal de *downstream*). Um problema inerente a este enfoque é a necessidade de se gastar largura de banda útil em uma banda de guarda entre estes canais de *up/down*.

Figura 6.7 – Duplexação por Divisão em Freqüência (FDD)



O TDD consiste em se dividir o canal no tempo. Ao se fazer esta divisão se obtém intervalos (*slots*) de tempo que serão pré-designados como intervalos de *upstream* ou *downstream*. Esta técnica *half-duplex* permite que em um determinado instante de tempo toda a largura de banda do canal esteja sendo alocada para o *upstream* ou *downstream*. O TDD requer sincronia dos sinais, para tanto se faz necessária a inserção de um tempo de guarda no sinal que via da estação terminal para a estação base (*upstream*), o sinal proveniente da estação base com direção à estação terminal (*downstream*) geralmente não necessita de banda de guarda entre os seus intervalos em seqüência.

Figura 6.8 – Duplexação por Divisão no Tempo (TDD)



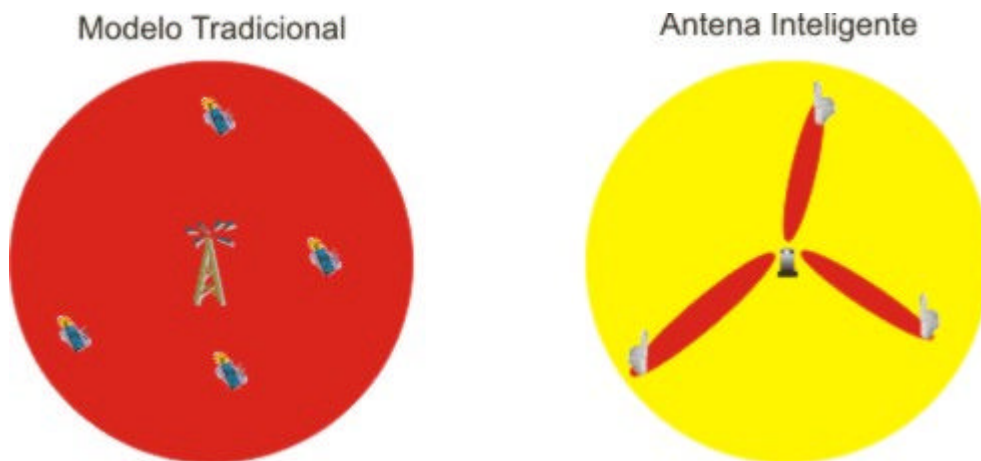
Comparativamente, um sistema usando FDD necessita duas vezes mais banda de guarda (3 dB) do que um sistema TDD para uma mesma separação simétrica.

O Sistema CDMA utiliza a técnica TDD por permitir flexibilidade na escolha da portadora para o provimento de serviços e flexibilidade para a prestação de serviços assimétricos.

6.1.3. ANTENAS INTELIGENTES

As antenas inteligentes concentram a potência irradiada para os terminais ativos. Isto permite que a célula possa ter um raio de ação maior e diminui a interferência entre células se comparado ao modelo tradicional utilizando antenas omnidirecionais onde a potência é distribuída por toda a célula, tornando possível a criação de redes de uma única frequência de RF (SFN – *Single Frequency Network*).

Figura 6.9 – Antenas Inteligentes x Modelo Tradicional



A tecnologia de antenas inteligentes utiliza uma antena array de 8 elementos com fase e amplitude programadas eletronicamente. O acompanhamento dos terminais é realizado medindo-se o ângulo de chegada da forma de onda em intervalos de 5 ms (frequência de 200 Hz). Esta diretividade reduz a potência de transmissão dos terminais móveis, reduz o número de estações bases necessárias para cobrir uma mesma área e reduz a interferência entre células em até 8 dB.

Figura 6.10 – Antena Array de 8 Elementos



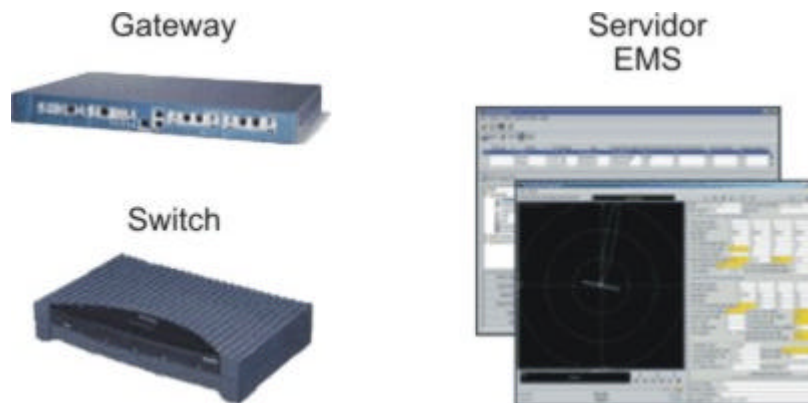
6.2. EQUIPAMENTOS NO HEADEND

Os equipamentos presentes no *Headend* podem ser divididos em duas grandes categorias:

- Equipamentos de rede;
- Equipamentos de RF e transmissão.

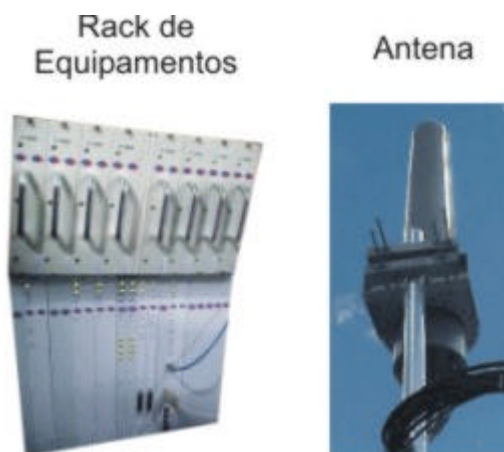
Os equipamentos de rede são o *gateway* para ligação com a Internet, o *switch* e o servidor EMS (*Element Management System*). O EMS é um software proprietário que realiza o provisionamento das CPEs, controla a calibragem das antenas, faz a gerência da qualidade de serviço e gera relatórios.

Figura 6.11 – Equipamentos de Rede



Os equipamentos de RF encontram-se em um *rack* modular da Navini. O sinal proveniente destes equipamentos é entregue à antena por meio de guias de onda.

Figura 6.12 – Equipamentos de RF e Transmissão



A parte superior do *rack* são 8 módulos de alimentação (quatro destes são para garantir redundância ao sistema). Na parte inferior se encontram os módulos:

Sync: Este módulo possui um GPS (*Global Positioning System*) e é responsável pelo sincronismo da rede e calibração do sistema de antenas inteligentes.

IF: Módulo de controle das antenas.

CHP: A principal função deste módulo é converter as amostras em símbolos CDMA.

Modem: Realiza a *top conversion* preparando o sinal para ser transmitido no meio. O sistema utiliza modulação adaptativa, isto é, se as condições do meio forem favoráveis a modulação utilizada pode ser o 16-QAM, se as condições do meio não forem favoráveis o sistema usa a modulação QPSK. Para saber as condições do meio o sistema monitora a BER (*Bit Error Rate*) do a uma frequência de 200 Hz (vezes por segundo), realizando o chaveamento para a técnica de modulação mais adequada.

T1 CT: é uma interface T1 entre a estação base e a rede do *backbone*.

6.3. EQUIPAMENTOS NO ASSINANTE

No link do assinante o único equipamento do sistema CDMA é o CPE. O CPE possui uma saída RJ-45 que será ligada a uma interface de rede *Ethernet* do usuário (seja uma placa de rede instalada em um computador ou um roteador para distribuir o sinal em uma rede local).

Figura 6.13 – CPE



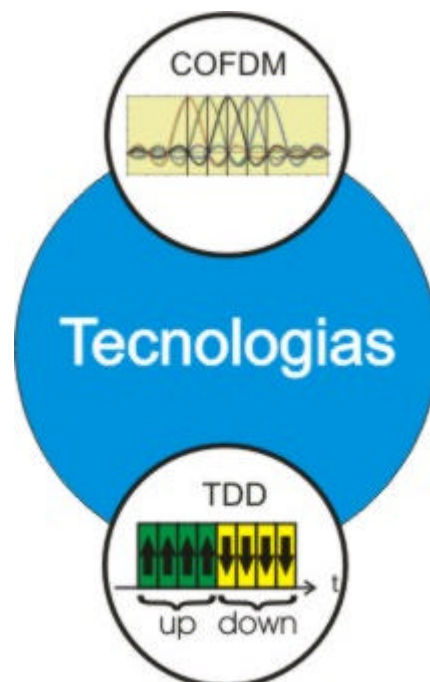
7. SISTEMA OFDM

O sistema OFDM é um produto de instalação zero e que não necessita de linha de visada direta. Este sistema apóia-se basicamente nas seguintes tecnologias:

- Utilização da tecnologia **COFDM** (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) para tratamento do sinal;
- Utilização da tecnologia **TDD** para usar o mesmo canal para *upstream* e *downstream*.

Estas tecnologias combinadas resultam em uma solução robusta e elegante para a transmissão de dados sobre a plataforma MMDS.

Figura 7.0 – Principais Tecnologias do Sistema OFDM



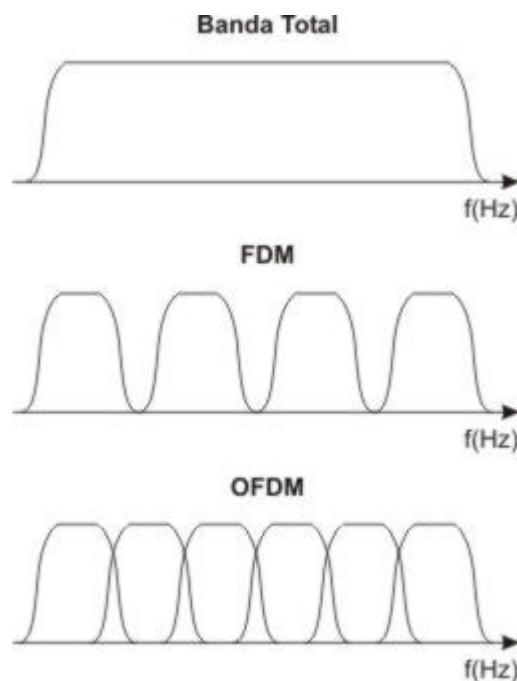
7.1. BASE DO SISTEMA

O sistema OFDM baseia-se nos elementos que serão explicados a seguir:

7.1.1. COFDM

A OFDM (Multiplexação por Divisão em Frequências Ortogonais – *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) é uma técnica que foi concebida para a distribuição de sinais de vídeo e áudio digital para os padrões de televisão digital DVB-T (*Digital Video Broadcast - Terrestrial*) e rádio digital DAB (*Digital Audio Broadcast*), ambos utilizados na Europa. A OFDM possui a característica de ser robusta na presença de multipercurso e na sua versão codificada, a COFDM, resistente ao desvanecimento seletivo em frequência.

Figura 7.1 – Banda Total, FDM e OFDM



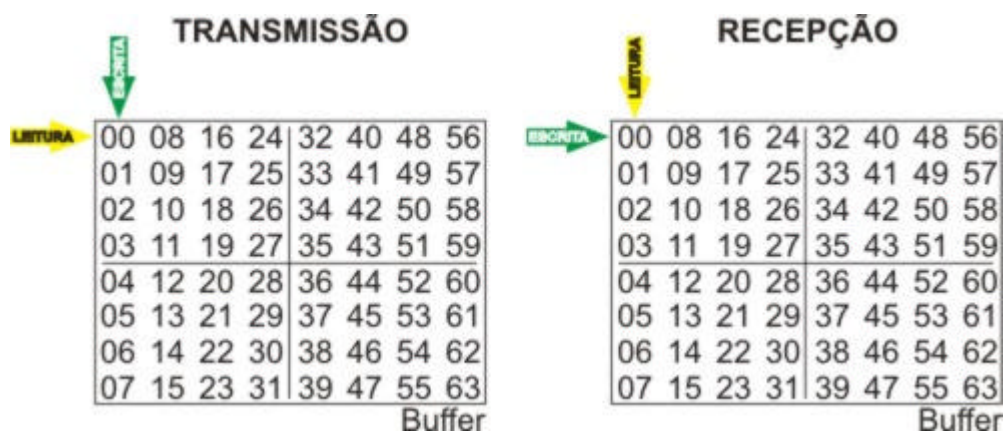
A ortogonalidade entre as portadoras é o que confere robustez ao OFDM frente ao FDM tradicional. A técnica consiste em se dividir um canal banda larga em vários canais de banda estreita que usam portadoras ortogonais.

Para garantir robustez frente ao desvanecimento seletivo em frequência o COFDM incorpora duas técnicas: Codificação para Correção de Erros (*Error Correction Coding*) e Interpolação (*Interleaving*).

Na codificação para correção de erros é introduzido um codificador convolucional, sendo que o seu efeito é que para cada bit em sua entrada, mais de um bit é gerado em sua saída. O número de bits gerado na saída depende da taxa de codificação. O codificador utilizado para esta finalidade faz uso do algoritmo de Viterbi.

O algoritmo de Viterbi é pouco eficiente quando os erros de bit ocorrem em cadeias de bits adjacentes. Isto é devido ao desvanecimento seletivo em frequência, onde os erros de bit geralmente ocorrem em grupos de bits adjacentes quando uma portadora se encontra em atenuação profunda. Para proteger o sistema deste problema utiliza-se a interpolação.

Figura 7.2 – Interpolação



No exemplo de interpolação da figura 7.2, os dados dos símbolos são escritos em um buffer matricial por ordem de colunas. Quando o buffer estiver cheio os dados são lidos em ordem de linha e enviados para transmissão. Para este buffer teríamos o seguinte caso:

Tabela 7.0 – Interpolação de Bits na Transmissão

ENTRADA	00,01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,...
SAÍDA	00,08,16,24,32,40,48,56,01,09,17,25,33,41,49,57,02,10,18,26,...

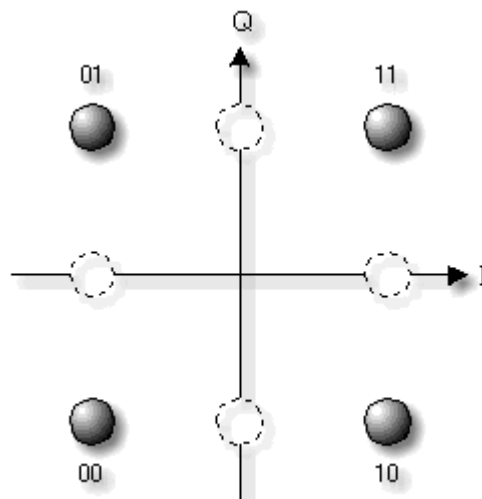
No buffer do receptor, que deve ser necessariamente do mesmo tamanho do buffer do transmissor, os símbolos são escritos por ordem de linhas e são lidos por ordem de coluna, como visto a seguir:

Tabela 7.1 – Re-ordenação de Bits na Recepção

ENTRADA	00,08,16,24,32,40,48,56,01,09,17,25,33,41,49,57,02,10,18,26,...
SAÍDA	00,01,02,03,04,05,06,07,08,09,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,...

O efeito da técnica de interpolação é o espalhamento do símbolo por várias portadoras, evitando que erros aconteçam em bits adjacentes. Usando-se como exemplo a primeira cadeia de bits a serem enviados (00,08,16,24,32,40,48,56), caso ocorra um desvanecimento profundo que ocasione erro na detecção no receptor dos bits 08 e 16, a re-ordenação de bits no receptor permite uma melhor chance de correção de símbolos ao decodificador Viterbi.

Figura 7.3 – Modulação QPSK

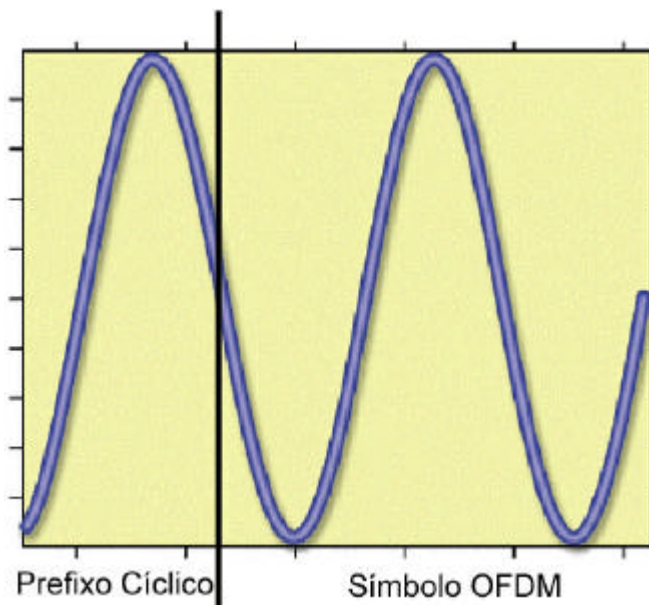


No transmissor, após a interpolação os símbolos são inseridos em um modulador, no caso do sistema OFDM a modulação utilizada é o QPSK, onde os bits serão divididos em pares e cada par será modulado em uma das subportadoras OFDM.

Após a Modulação é inserido o prefixo cíclico, que é um tempo de guarda usado para garantir a ortogonalidade entre as portadoras na presença do multipercurso. O multipercurso ocasiona o desalinhamento das senóides que compõem o sinal modulado em uma portadora devido à dispersão no tempo que o sinal transmitido sofre por causa dos múltiplos caminhos que este

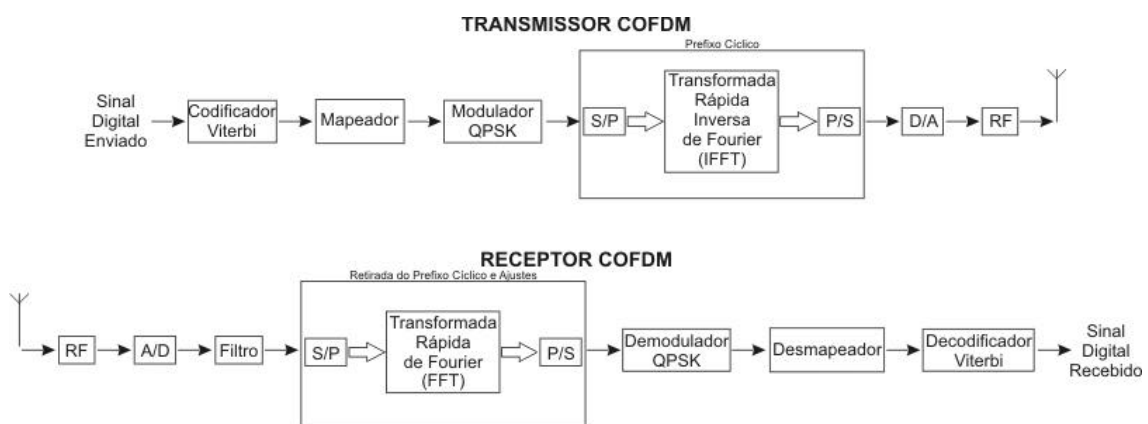
pode seguir até a sua chegada no receptor, ocasionando a perda de ortogonalidade e a interferência entre portadoras. O prefixo cíclico é uma cópia da última porção do símbolo, inserida à frente deste no intervalo de guarda. O prefixo cíclico deve ser calculado para ser maior do que a quantidade de dispersão no tempo do canal com a finalidade de se obter novamente a ortogonalidade entre as subportadoras na recepção.

Figura 7.4 – Prefixo Cíclico



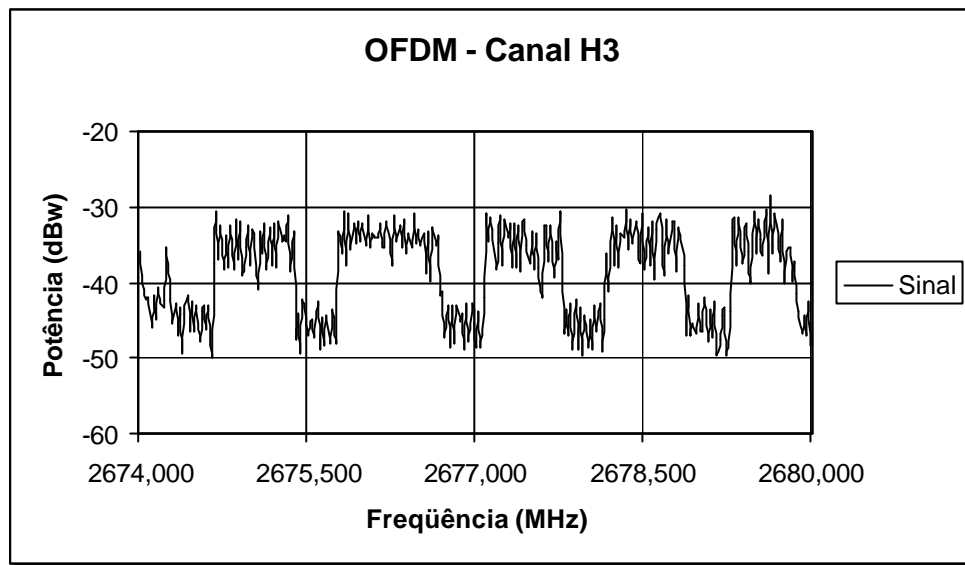
O transmissor e o receptor COFDM possuem a seguinte estrutura:

Figura 7.5 – Transmissor e Receptor COFDM



A figura a seguir mostra o sinal OFDM capturado por um analisador de espectros proveniente do sistema OFDM instalado em Brasília.

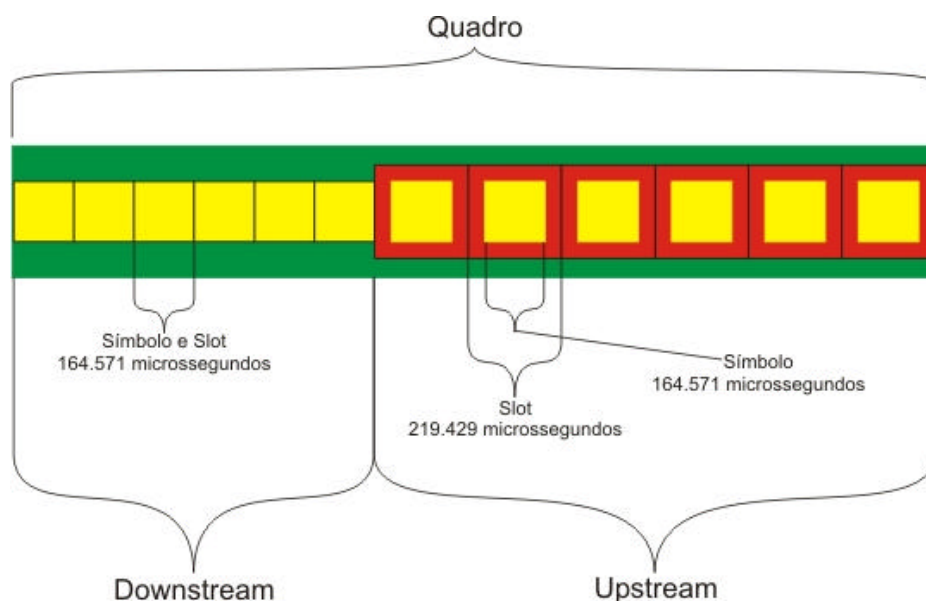
Figura 7.6 – Forma de Onda do Sinal OFDM



7.1.2. TDD

Este sistema utiliza o TDD (*Time Division Duplex*) para permitir que um mesmo canal seja usado para o *upstream* e *downstream*. Os princípios básicos da duplexação de canal por divisão no tempo foram explicados no capítulo anterior, a análise a seguir realizada é particular do sistema OFDM.

Figura 7.7 – TDD no Sistema OFDM



A largura dos *slots* de *downstream* é a largura do tempo de um símbolo, neste caso 164,571 μ s. Neste sentido não há a necessidade de se inserir um tempo de guarda no sistema, pois estes sinais são provenientes de uma mesma estação base e estão sincronizados.

A largura dos *slots* de *upstream* é de 219,429 μ s, sendo 164,571 μ s do tempo para o símbolo e 54,858 μ s do tempo de guarda. É necessária a inserção deste intervalo de guarda para proteção contra o *jitter*, pois estes sinais são provenientes das estações terminais que estão distribuídas geograficamente de forma aleatória e dinâmica dentro de uma célula.

O quadro TDD típico para o sistema OFDM é formado por 6 *slots* de *upstream* e 6 *slots* de *downstream*, porém esta configuração pode ser alterada para o provimento de taxas assimétricas. O número de *slots* de *upstream* é sempre fixo em 6 *slots*.

Tabela 7.2 – Taxa de Transferência Associada ao Número de Slots de Downstream

Slots de Downstream	Taxa de Downstream (bps)	Taxa de Upstream (bps)
6	1.364.496	1.369.704
7	1.509.840	1.278.180
14	2.157.216	871.056
17	2.325.024	766.908
20	2.456.440	684.852
23	2.562.112	618.576
29	2.718.464	517.584
33	2.798.976	467.088
37	2.868.480	426.060
41	2.924.416	391.344
54	3.055.248	309.288
61	3.103.232	277.728
67	3.140.208	255.636
73	3.170.400	236.700
80	3.198.840	217.764
90	3.236.400	195.672

7.2. EQUIPAMENTOS NO HEADEND

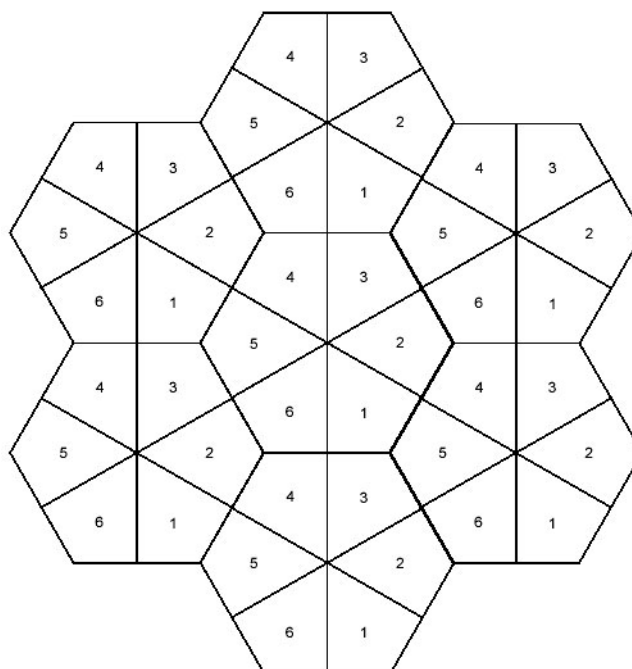
No Headend encontram-se os seguintes equipamentos:

- Antenas;
- Estações Base;
- Alimentação;
- Switch;
- NetEnforcer (QoS);
- Servidor de Provisionamento (usando o NNOS).

As antenas utilizadas no sistema OFDM são diretivas e o seu ângulo de abertura depende do tipo de setorização utilizado. As células podem ser construídas basicamente de três formas:

- **Célula de seis setores:** requer de seis canais e utiliza antenas diretivas com abertura de 60°.

Figura 7.8 – Reuso de Frequências em Células de 6 Setores



- **Célula de quatro setores utilizando dois blocos de frequências:**
utiliza oito canais e antenas diretivas com abertura de 90°.

Figura 7.9 – Reuso de Frequências em Células de 4 Setores/8 Canais

4	3	8	7	4	3
1	2	5	6	1	2
8	7	4	3	8	7
5	6	1	2	5	6
4	3	8	7	4	3
1	2	5	6	1	2

- **Célula de quatro setores utilizando um bloco de frequências:** utiliza quatro canais e antenas diretivas com abertura de 90°.

Figura 7.10 – Reuso de Frequências em Células de 4 Setores/4 Canais

1	2	1	2	1	2
4	3	4	3	4	3
1	2	1	2	1	2
4	3	4	3	4	3
1	2	1	2	1	2
4	3	4	3	4	3

Figura 7.11 – Estação Base



A **Estação Base** mantém o enlace de rádio com os CPEs. As estações Base são conectadas à rede de acesso à Internet por meio de um switch e se comunicam com a rede de acesso utilizando o protocolo TCP/IP. Após a autenticação da CPE a estação base funciona como uma ponte para o tráfego de pacotes IP entre o computador dos assinantes e a Internet.

Figura 7.12 – Fontes de Alimentação e TVS



A **alimentação** das estações base é feita por meio de fontes redundantes que fornecem tensão entre 36 e 72 volts DC. Cada fonte alimenta até 3 estações base, sendo recomendável a inserção de uma fonte para redundância. As caixas TVS combinam o sinal de dados Ethernet e a alimentação em um cabo UTP que chega à estação base. Da estação base o sinal na frequência do canal MMDS utilizado é transmitido para a antena por meio de um guia de onda.

Figura 7.13 – Switch da Riverstone camada 2 e Allot NetEnforcer



O **switch** recebe e direciona o tráfego na rede. É recomendado o uso de um switch que opere na camada 2 (camada de enlace do modelo OSI). O

NetEnforcer controla a qualidade de serviço e garante que o tráfego esteja em conformidade com o nível de serviço acordado com o assinante.

O **servidor de provisionamento** contém um banco de dados dos CPEs que estão autorizadas a acessar a rede. O banco de dados contém informações sobre os CPEs, o nível de serviço acordado, os computadores servidos por um CPE e informações sobre o assinante que usa o CPE. Apenas um CPE habilitado no servidor de provisionamento pode acessar a rede. A habilitação de um CPE é realizada utilizando o seu código serial único.

7.3. EQUIPAMENTOS NO ASSINANTE

O único equipamento necessário do sistema OFDM no link do assinante é o CPE. Os CPEs para este sistema podem ser de dois tipos:

- Indoor;
- Outdoor.

Figura 7.14 – CPE Indoor



O CPE Indoor é de instalação zero. Este equipamento possui uma entrada de alimentação e uma saída RJ-45 para a rede Ethernet do assinante. Este equipamento foi concebido para uso interno em residências, por este motivo também é chamada de RSU (*Residential Subscriber Unit* – Unidade Residencial do Assinante).

Figura 7.15 – CPE Outdoor



O CPE Outdoor, ou OSU (*Outdoor Subscriber Unit* – Unidade Externa do Assinante), é selado para proteção contra umidade e possui um único conector para alimentação e dados. A alimentação é feita em uma caixa de passagem que possui o conector de alimentação, o conector do cabo de alimentação/dados da CPE e o conector RJ-45 para a rede Ethernet. Nesta caixa de passagem o sinal de dados e a alimentação são inseridos em um cabo UTP que será conectado ao CPE Outdoor.

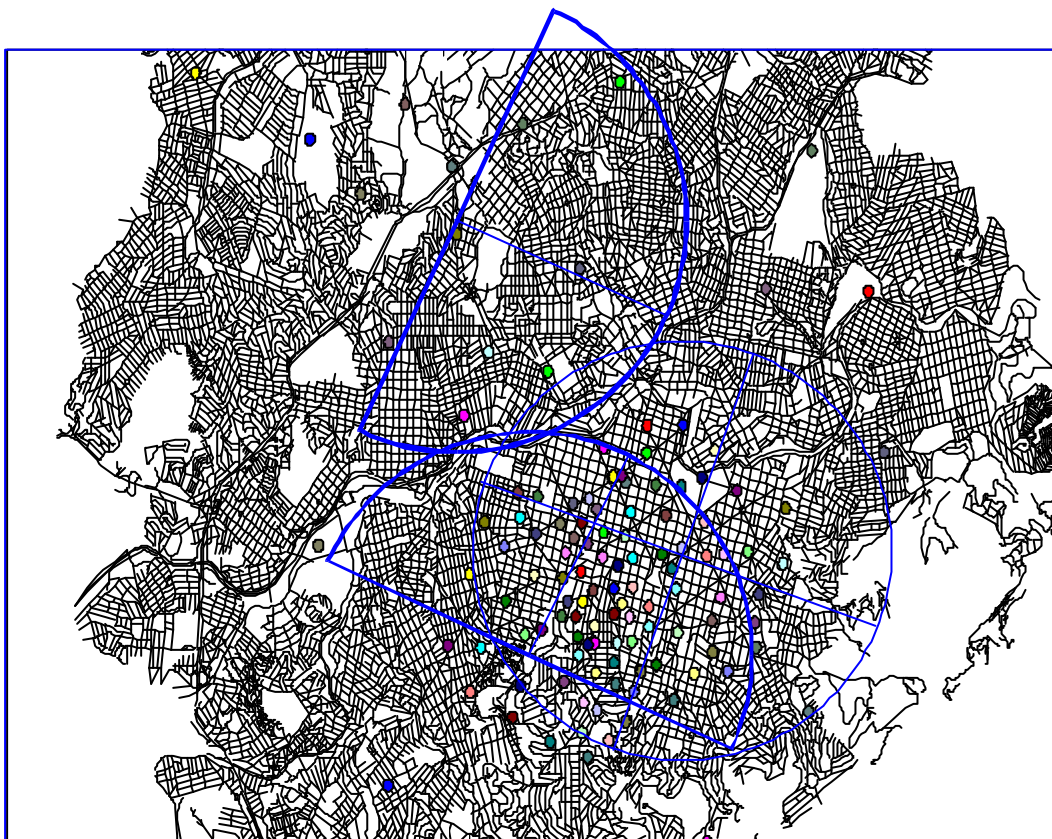
8. TESTES DE CAMPO

Os testes de campo foram realizados com os dois sistemas (CDMA e OFDM) na cidade de Belo Horizonte/MG em virtude das características de relevo, diversidade predial no centro comercial e existência de mercado consumidor para a tecnologia de acesso em banda larga móvel, que permitiram analisar os dois sistemas em condições extremas de funcionamento.

8.1. ESTRUTURA DA REDE

O local escolhido para a instalação da rede de testes está localizado no centro da cidade, sendo a área de maior densidade urbana da cidade de Belo Horizonte que possui relevo e edificações prediais bastante diversificados. Foi projetada a montagem de três células para a cobertura desta área, como pode ser observado na figura a seguir:

Figura 8.0 – Cidade de Belo Horizonte e Localização das Células

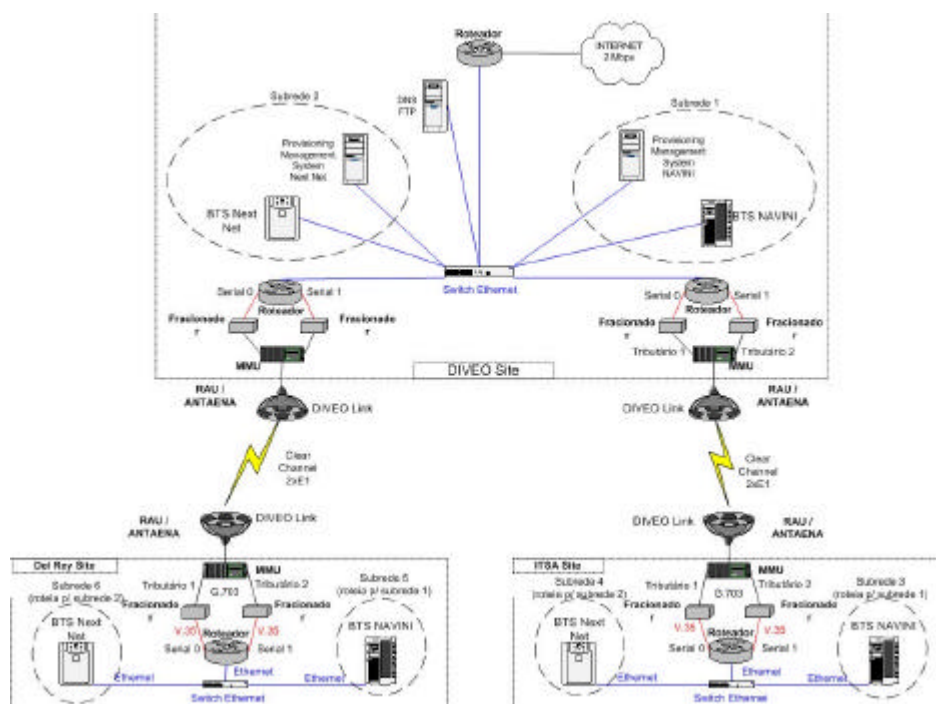


As células são:

- **Diveo:** célula com configuração omnidirecional e raio de cobertura de 2 Km. Recebe este nome por estar instalada junto à empresa que oferece a infra-estrutura de acesso à Internet (*backbone*) e a infra-estrutura de ligação entre as células (*backhaul*). Nesta célula está instalado o Centro de Operações de Rede (NOC – *Network Operations Center*). Esta célula cobre a região central e leste da cidade.
- **ITSA:** célula com cobertura de 180° e raio de 2 Km. Recebe este nome por se localizar no Headend da ITSA em Belo Horizonte. Cobre parte das regiões sul e oeste.
- **Del Rey:** célula com cobertura de 180° e raio de 4 Km. Recebe este nome por ser localizada próxima ao shopping Del Rey. Cobre a região norte.

A cobertura das três células juntas é de 80 Km², que corresponde a aproximadamente 25% da área urbana (330 Km²) de Belo Horizonte. A estrutura celular permitiu a realização de teste de *handoff* (mudança entre células) onde foi medida a robustez dos sistemas para aplicações móveis.

Figura 8.1 – Estrutura da Rede



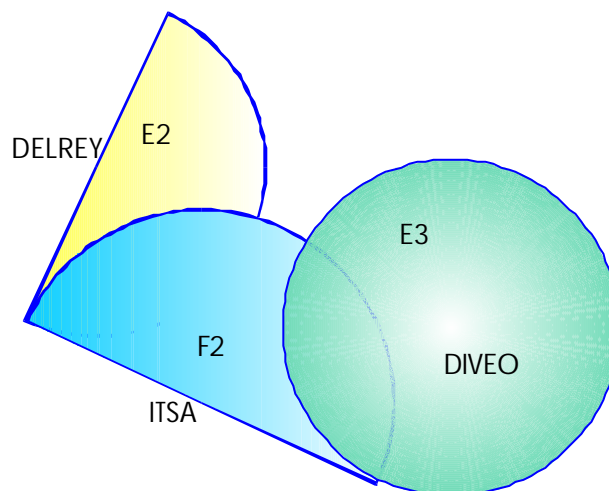
Para a interligação entre as células foram utilizados enlaces de microondas nas faixas de 18 GHz e 23 GHz (MiniLinks Ericsson), sendo que cada link tem a capacidade de um canal E1 (2 Mbps). O *backbone* foi dimensionado para 2 Mbps.

Os dois sistemas possuem características de implementação diferentes, porém, na medida do possível, as duas soluções foram implementadas de forma a se obter resultados imparciais.

O sistema **CDMA** foi concebido com três Estações Base, na seguinte configuração:

- **Site Diveo:** uma estação base com antena omnidirecional e o canal E3 (2620 MHz a 2626 MHz).
- **Site ITSA:** uma estação base com antenas de 180° e o canal F2 (2614 MHz a 2620 MHz).
- **Site Del Rey:** uma estação base com antenas de 180° e o canal E2 (2608 MHz a 2614 MHz).

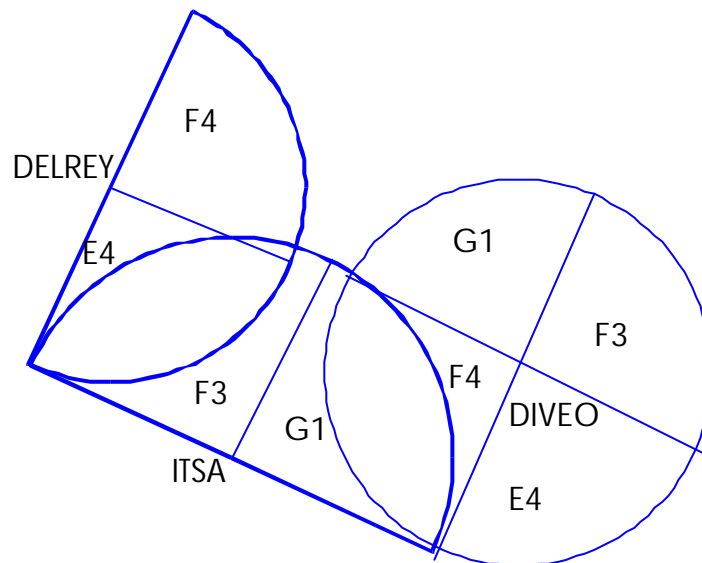
Figura 8.2 – Estrutura de Teste do Sistema CDMA



O sistema **OFDM** foi concebido com três células na seguinte configuração:

- **Site Diveo:** quatro estações base que alimentam quatro antenas com abertura de 90°, formando um diagrama omnidirecional dividido em quatro setores (cada estação base é responsável por um setor de 90°). Foram distribuídos quatro canais: F3 (2626 MHz a 2632 MHz), E4 (2632 MHz a 2638 MHz), F4 (2638 MHz a 2644 MHz) e G1 (2644 MHz a 2650 MHz).
- **Site ITSA:** duas estações base que alimentam duas antenas com abertura de 90°, formando um diagrama de 180° dividido em dois setores. Foram distribuídos dois canais: F3 (2626 MHz a 2632 MHz) e G1 (2644 MHz a 2650 MHz).
- **Site Del Rey:** duas estações base que alimentam duas antenas com abertura de 90°, formando um diagrama de 180° dividido em dois setores. Foram distribuídos dois canais: E4 (2632 MHz a 2638 MHz) e F4 (2638 MHz a 2644 MHz).

Figura 8.3 – Estrutura de Teste do Sistema OFDM



Em ambos sistemas foram utilizados propositadamente frequências contíguas com a finalidade de se verificar o comportamento dos sistemas em condições de potencial interferência entre canais adjacentes. Na montagem do sistema OFDM foi explorado a sua capacidade de reuso de frequências.

8.2. APLICAÇÕES

As aplicações desenvolvidas visaram testar a robustez e capacidade dos sistemas de forma imparcial, para tanto, ambos foi provido igualdade de condições para todos os testes.

Os testes foram realizados separadamente para cada um dos sistemas (os dois sistemas não funcionam simultaneamente).

Figura 8.4 – Sala Montada para os Testes



8.2.1. STREAMING

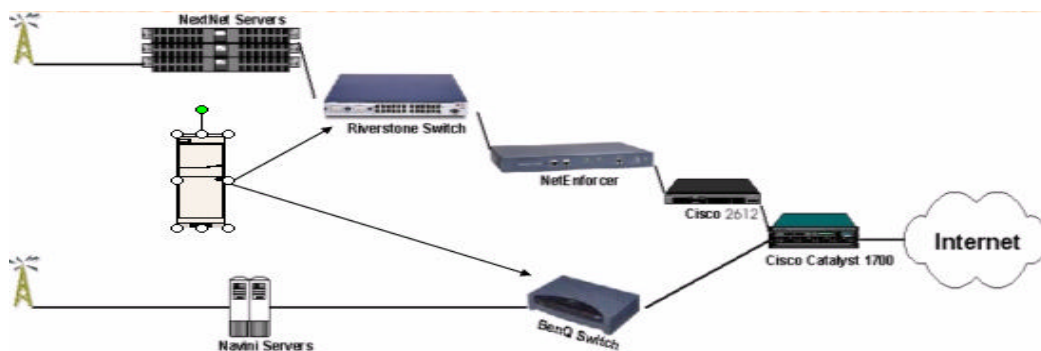
Foi instalado um servidor de *streaming* no NOC utilizando o sistema operacional Windows 2003 Server e a ferramenta de *streaming* Windows Media Services Series 9. O protocolo de *streaming* utilizado foi o RTSP (*Real Time Streaming Protocol*). O protocolo RTSP foi escolhido por permitir a existência de um buffer durante a transmissão da cadeia de dados que é utilizado durante o *handoff* para prevenir travamentos na mídia veiculada.

Figura 8.5 – Streaming em Movimento



Para garantir a igualdade de condições nos testes o servidor de *streaming* foi instalado diretamente na rede interna dos dois sistemas proporcionando a mesma distância em número de saltos para ambos os sistemas, como pode ser visto na figura a seguir:

Figura 8.6 – Estrutura da Rede Montada para o Teste de Streaming



O teste de streaming foi realizado em local fixo e em ambiente móvel. Para o teste móvel foi preparado um microônibus onde se instalou no teto uma

antena omnidirecional ligada ao CPE Outdoor e se usou um UPS (*no-break*) ligado na bateria do veículo para alimentar a CPE Outdoor e o *notebook* que acessou o *streaming* no servidor localizado no NOC. O vídeo usado foi um episódio do seriado “Plantão Médico” codificado a uma taxa de 500 Kbps. Os resultados do teste estão expressos na **Tabela 8.0**.

Tabela 8.0 – Resultados do Teste de Streaming

	CDMA	OFDM
Ponto Fixo sem RTSP	Excelente	Excelente
Ponto Fixo com RTSP	Excelente	Excelente
Ponto Móvel sem RTSP	Não Funcionou	Congela (esvaziamento de buffer)
Ponto Móvel com RTSP	Não Funcionou	Ótimo*

* Funciona bem desde que o tempo gasto na região de sombra não seja maior que o espaço de armazenamento em buffer.

O esvaziamento de buffer era notado quando se fazia *handoff* entre células ou setores (no caso do sistema OFDM) e provocava o congelamento da mídia veiculada. O sistema CDMA não apresentou resultados satisfatórios nos testes móveis.

8.2.2. VOZ SOBRE IP

Para os testes de voz sobre IP foram usadas duas soluções:

- Cisco

Figura 8.7 – Cisco 186 ATA



O Cisco 186 ATA (*Analog Telephone Adaptor*) é um adaptador para que telefones analógicos funcionem em uma rede IP. Os conectores “A” são adaptadores para telefones analógicos comuns, o conector “B” é a interface para a rede IP e o conector “C” é a entrada de alimentação.

- OKI

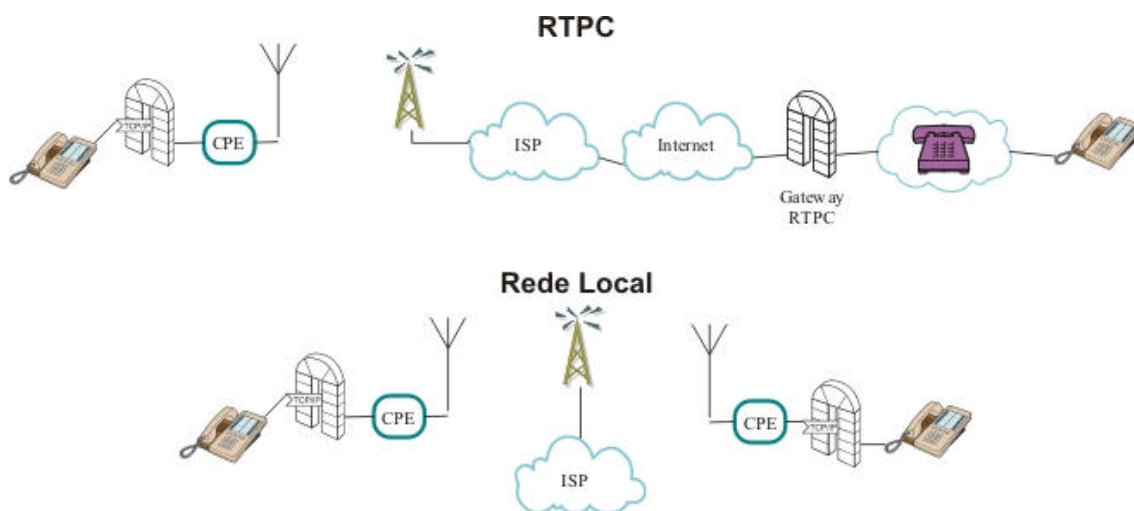
Figura 8.8 – OKI VoIP-TA



O OKI VoIP-TA é um adaptador para telefones analógicos funcionarem em uma rede IP. Este adaptador possui conector para o telefone analógico, conector para a rede telefonia pública comutada, conector para a rede IP, interface de gerenciamento serial e conector de alimentação.

Durante os testes foi usado um *gateway* para a rede de telefonia pública comutada localizado em São Paulo. Os sistemas foram testados com os pontos internos à rede local e um ponto da rede local fazendo conexão com um ponto na RTPC.

Figura 8.9 – Estrutura para os Testes de VoIP



O resultado dos testes de VoIP estão expressos na **Tabela 8.1**. O sistema OFDM foi testado usando o equipamento do fabricante CISCO e o sistema CDMA foi testado usando o equipamento do fabricante OKI.

Tabela 8.1 - Resultados do Teste de VoIP

	CDMA	OFDM
Rede Local	Fraco*	Excelente
RTPC	Ótimo**	Ótimo**

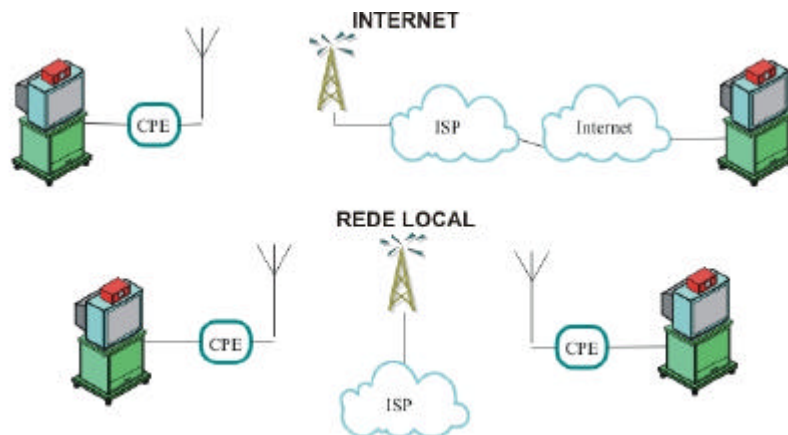
* Atraso de propagação do sinal de voz perceptível.

** A voz ficou um pouco metalizada.

8.2.3. VIDEOCONFERÊNCIA

Os testes de videoconferência foram realizando utilizando equipamentos de videoconferência Polycom ViewStation 512 para os pontos fixos e Polycom ViaVideo, ambos operando com o protocolo H.323 (apropriado para a transmissão de videoconferência em redes IP). Os testes foram realizados utilizando a rede interna dos sistemas e um ponto de videoconferência em Brasília (NMI - UnB) acessado via Internet.

Figura 8.10 – Estrutura para os Testes de Videoconferência



8.2.3.1. FIXA

Para o teste fixo no sistema OFDM foram usadas a CPE Indoor e a CPE Outdoor. O resultado dos testes pode ser visto na **Tabela 8.2**.

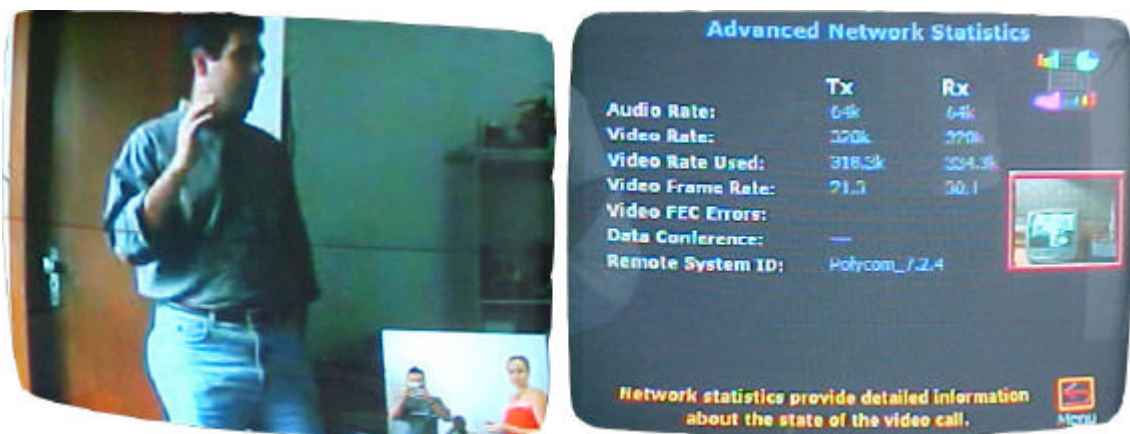
Tabela 8.2 – Resultados do Teste de Videoconferência Fixa

	CDMA	OFDM	
		Indoor	Outdoor
Rede Local	Taxa Máxima: 384 kbps 30 frames/s	Taxa Máxima: 128 kbps 15 frames/s	Taxa Máxima: 192 kbps 15 frames/s
Internet*	Taxa Máxima: 192 kbps 15 frames/s	Taxa Máxima: 128 kbps 15 frames/s	Taxa Máxima: 192 kbps 15 frames/s

* A largura de banda do backbone estava sendo compartilhada com outros usuários.

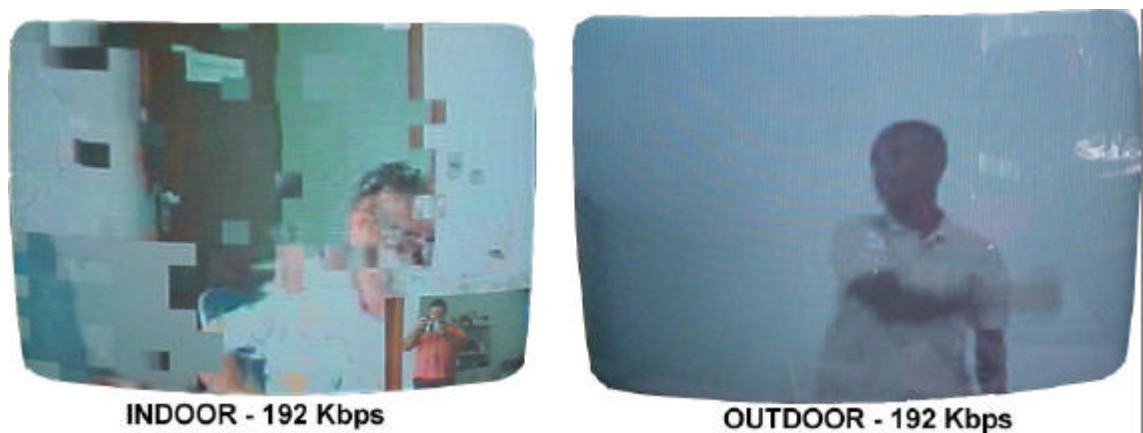
Rede Local:

Figura 8.11 – Videoconferência Sistema CDMA (Rede Local)



O sistema CDMA obteve a taxa máxima de 384 Kbps a 30 quadros por segundo. A qualidade do som e do áudio foi excelente.

Figura 8.12 – Videoconferência Sistema OFDM (Rede Local)



O sistema OFDM com o CPE Indoor a taxa máxima para uma boa qualidade de som e imagem é de 128 Kbps a 15 quadros por segundo. Acima desta taxa se observam travamentos e o quadriculamento na imagem recebida. A qualidade do áudio estava boa, porém o vídeo não possuía muita definição.

Para o CPE Outdoor a taxa máxima é de 192 Kbps a 15 quadros por segundo. A qualidade do som e do áudio foi satisfatória.

Internet:

Os dois sistemas obtiveram uma performance parecida nos testes com ligação para o ponto remoto na Internet. A saída de rede comprometeu o resultado final neste teste.

Figura 8.13 – Videoconferência na Internet



8.2.3.2. MÓVEL

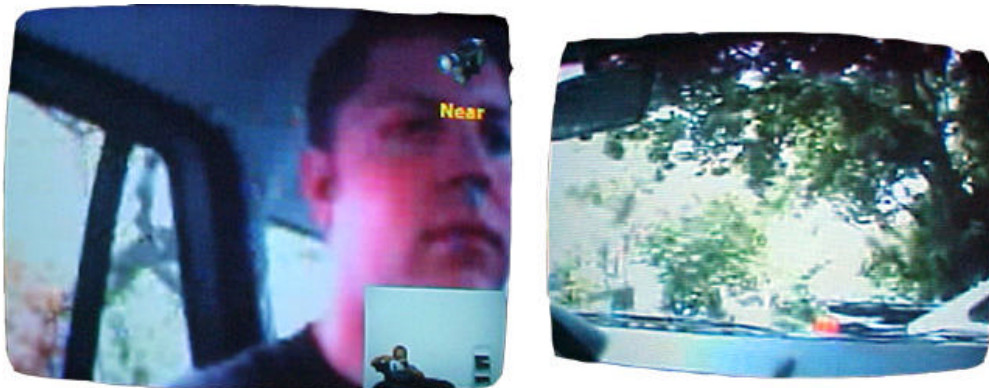
O teste móvel foi realizado em um automóvel devidamente montado para esta finalidade. No teto do automóvel Parati foi instalada uma antena dipolo omnidirecional, dentro do veículo foi instalado um CPE Outdoor e um inversor ligado à bateria do veículo para alimentar o CPE, o notebook e o Polycom ViaVideo. A velocidade média desenvolvida no centro da cidade de Belo Horizonte foi de 60 Km/h. O sistema CDMA não funcionou nos testes de mobilidade.

Figura 8.14 – Veículo para Videoconferência Móvel



A taxa máxima para a videoconferência móvel foi de 128 Kbps a 15 quadros por segundo. O sistema apresentou congelamento de 5 a 10 segundos durante o *handoff*. A qualidade do vídeo foi aceitável para cenários estáticos (câmera focalizando um interlocutor), porém péssima para cenários muito dinâmicos (câmera focalizando a rua).

Figura 8.15 – Teste de Mobilidade



9. CONCLUSÃO

Os dois sistemas apresentam a vantagem sobre o sistema baseado no padrão DOCSIS de operarem sem a necessidade de linha de visada direta, eliminando os gastos de instalação da infra-estrutura no assinante e a necessidade de se estar operando a partir de um ponto fixo, porém isto não decreta o fim do sistema DOCSIS que ainda pode ser utilizado para atender os usuários que estão focados em capacidade da rede (o sistema DOCSIS utiliza o esquema de modulação digital 64-QAM no sentido de *downstream*) e não necessitam de mobilidade.

Para uma mesma estação base os testes demonstraram que a taxa de transferência de dados (*throughput*) foi melhor no sistema CDMA, isto deve-se ao fato deste sistema operar no *downstream* com um esquema de modulação digital que se adapta às condições do canal tornando-se mais eficiente (modulação QPSK/8-BPSK/16-QAM) enquanto no sistema baseado em OFDM optou-se pelo uso de um esquema de modulação digital mais robusto (modulação QPSK).

A robustez dos dois sistemas reside nas tecnologias de modulação utilizadas derivadas do sistema celular (modulação OFDM e CDMA) que garante a mitigação dos efeitos negativos do multipercurso permitindo que os sistemas operem sem a necessidade de linha de visada direta. A forte característica celular de ambos sistemas permite o uso da técnica de celularização para expansão destes em caso de haver a necessidade de maior densidade de tráfego. O sistema baseado em OFDM prevê o uso de setorização que permite a expansão da capacidade do sistema.

A opção de operação em mobilidade representa um importante diferencial em relação aos concorrentes na distribuição de dados em banda larga (como o ADSL e os sistemas de cable modem tradicionais, por exemplo) proporcionando a possibilidade de agregação de novos serviços de distribuição e acesso de dados em movimento.

A. ANEXO: ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA CDMA

Especificações do sistema

Frequência de Operação:	2.500 – 2.686 MHz (MMDS)
Largura de Banda do Canal:	6 MHz (ocupa 5 MHz)
Configuração das Células:	360° (antena omnidirecional) 120° (antena painel)
Modulação:	SCDMA
Protocolo de Transmissão:	TDD
Taxa Bruta de Transmissão:	Até 12 Mbps por célula

Especificações da Estação Base

Interface de Dados:	10/100 Ethernet
Interface de RF:	Conector Fêmea COAX N
Dimensões (rack):	Digital: 48,8 cm x 48,3 cm x 32,8 cm RF: 35,7 cm x 48,3 cm x 38,6 cm
Peso:	52,16 Kg
Potência Consumida:	1350 W
Alimentação:	+24 VDC, +4V/-3V

Especificações do CPE

Interface de Rede Local:	USB ou Ethernet
Dimensões:	11,4 cm x 5,1 cm x 16,5 cm
Peso:	312 g
Potência Consumida:	6,5 W
Alimentação:	100-240 VAC; 50-60 Hz

B. ANEXO: ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA OFDM

Especificações do sistema

Frequência de Operação:	2.500-2.686 MHz (MMDS)
Largura de Banda do Canal:	6 MHz
Configuração das Células:	Seis Setores (6 canais) Dois Blocos/Quatro Setores (8 canais) Um Bloco/Quatro Setores (4 canais)
Modulação:	OFDM
Protocolo de Transmissão:	TDD
Taxa Bruta de Transmissão:	Setor: 9 Mbps

Especificações da Estação Base

Interface de Dados:	IEEE 802.3/Ethernet
Porta de Gerenciamento:	Conector de Interface Serial RS-232
Interface de RF:	Conector Fêmea COAX N
Dimensões:	49 cm x 28,5 cm x 13 cm
Peso:	16 Kg
Potência Consumida:	100 W
Alimentação:	36 a 72 VDC

Especificações do CPE Indoor

Interface de Rede Local:	IEEE 802.3/Ethernet conector RJ-45
Dimensões:	25,5 cm x 16,2 cm x 10 cm
Potência Consumida:	10 W
Alimentação:	100-240 VAC; 50-60 Hz
Computadores Servidos:	Máximo de 15 computadores (IP dinâmico ou estático)

Especificações do CPE Outdoor

Interface de Rede Local:	IEEE 802.3/Ethernet conector RJ-45
Dimensões:	25,5 cm x 19,4 cm x 6 cm
Potência Consumida:	15 W
Alimentação:	100-240 VAC; 50-60 Hz
Computadores Servidos:	Máximo de 15 computadores (IP dinâmico ou estático)

C. GLOSSÁRIO

A

ABTA

Associação Brasileira de Televisão por Assinatura. É uma associação constituída por empresas privadas e associações com atividades relacionadas, direta ou indiretamente, com a prestação de serviços de telecomunicações no regime de assinatura.

ANATEL

Agência Nacional de Telecomunicações. É uma agência do Ministério das Comunicações cuja missão é promover o desenvolvimento das telecomunicações do Brasil de modo a dotá-lo de uma moderna e eficiente infra-estrutura de telecomunicações, capaz de oferecer à sociedade serviços adequados, diversificados e a preços justos, em todo o território nacional.

B

Backbone

Linha principal de alta velocidade de uma série de conexões dentro de uma rede. Neste trabalho o termo *backbone* é usado para fazer referência à rede acesso à Internet.

Backhaul

Linha para transmissão de dados entre um site remoto e o site central.

Banda Larga

Tipo de transmissão de dados em que o meio (neste caso o enlace de microondas) suporta vários canais simultâneos, em contraste com o sistema em banda base onde o meio suporta apenas um canal por vez.

BER

Taxa de Erro de Bit (*Bit Error Rate*). É uma taxa equivalente à quantidade de bits interpretados erroneamente na recepção dividida pela quantidade total de bits transmitidos.

C

Canal E1

Canal com capacidade de 2,048 Mbps derivado do sistema europeu de telefonia (adotado no Brasil). Um canal E1 suporta 32 canais de 64 Kbps.

Canal T1

Canal com capacidade de 1,544 Mbps derivado do sistema norte americano de telefonia. Um canal T1 suporta 24 canais de 64 Kbps.

CDMA	Múltiplo Acesso por Divisão em Código (<i>Code Division Multiple Access</i>). Técnica de múltiplo acesso que utiliza espalhamento espectral.
CM	<i>Cable Modem</i> . Dispositivo modulador/demodulador que se localiza nas instalações do assinante e permite o tráfego dos dados por meio do cabo de TV por assinatura.
CMTS	Sistema de Terminação de Cable Modem (<i>Cable Modem Termination System</i>). Equipamento localizado nas instalações da operadora que possibilita o tráfego de dados, segundo o padrão DOCSIS, em uma rede de TV por assinatura.
CPE	Customer Premises Equipment. Equipamento do assinante que possibilita o acesso a uma rede.
<u>D</u> DAB	Distribuição de Áudio Digital por Radiodifusão (<i>Digital Audio Broadcasting</i>). Termo que designa os sistemas propostos atualmente para transmissão digital de sinais de radiodifusão comercial.
DOCSIS	Especificação de Interface do Sistema de Dados sobre Cabo (<i>Data over Cable System Interface Specification</i>). Padroniza interfaces para o tráfego de dados entre o operador de TV por assinatura e os assinantes.
Downconverter	Equipamento que faz a conversão da frequência de um sinal para uma frequência menor.
Downstream	Fluxo de dados provenientes da estação base com destino à estação terminal.
DTH	<i>Direct To Home</i> . Serviço de distribuição de sinais do satélite diretamente para a casa do assinante.
Duplexação	Técnica que viabiliza a transmissão de dados de forma bidirecional em um mesmo canal.
DVB-T	Distribuição de Vídeo Digital para Transmissões de Televisão Terrestres (<i>Digital Video Broadcasting for Terrestrial Television Transmissions</i>). Termo que designa os sistemas propostos atualmente para transmissão digital de sinais de televisão.

E **EMS**

Element Management System. Sistema da empresa Navini para gerenciamento da rede Navini Ripwave.

F **FCC**

Federal Communications Commission. Órgão federal norte-americano responsável pela regulamentação e fiscalização de telecomunicações e radiodifusão nos Estados Unidos.

FDD

Duplexação por Divisão em Frequência (*Frequency Division Duplex*). Técnica que divide a largura banda de um canal em duas faixas de frequência distintas (uma faixa para upstream e outra para downstream) com a finalidade de se fazer uma transmissão bidirecional em um único canal.

FEC

Forward Error Correction. Método que permite ao receptor corrigir erros de transmissão. Antes da transmissão os dados são codificados por um algoritmo que adiciona bits de redundância. Em caso de erro durante a transmissão o receptor pode utilizar estes bits adicionais para corrigir o sinal.

Full-Duplex

Modo de transmissão de dados bidirecional onde o tráfego dos dados ocorre nos dois sentidos de forma simultânea.

G **Gateway**

Nó da rede equipado para atuar como interface com outras redes que usam protocolos diferentes. O *gateway* deve conter os dispositivos necessários para fornecer as condições de interoperabilidade, ajustando protocolos, taxas e sinais e requer procedimentos administrativos mutuamente estabelecidos.

GPS

Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*). Sistema de localização de coordenadas geográficas de uso civil e militar, de alta precisão, baseado nos sinais recebidos por um receptor GPS.

H **Half-Duplex**

Modo de transmissão de dados bidirecional onde o tráfego dos dados ocorre nos dois sentidos de forma alternada.

Handoff Ação de transferir uma estação móvel de uma célula (ou setor) para outro.

Headend Também conhecido como cabeçal, é o conjunto de meios de geração, recepção, tratamento, transmissão de programas e programações e sinais de TV e dados necessários às atividades da operadora.

I
ITFS Serviço Fixo de Televisão Instrucional (Instructional Television Fixed Service). É um serviço norte americano que fornece instrução educacional e profissional para escolas e outras instituições.

L
LAN Rede Local (*Local Area Network*). Ambiente de comunicação local que utiliza múltiplos sistemas conectados em um meio compartilhado, broadcast, pequeno atraso, grande largura de faixa e área geográfica limitada. Tipicamente construída para operar em ambiente privado.

Largura de Banda É a designação que se dá à diferença entre as frequências limite de um determinado sinal, formado por um conjunto contínuo de frequências, originário de um processo de telecomunicação. É expressa pela unidade Hz.

LOS É o mesmo que linha de visada (*Line Of Sight*).

M
Midplane Barramento que conecta as placas de aplicação com as placas de interface no CMTS.

MMDS Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal (*Multichannel Multipoint Distribution Service*). É uma modalidade de serviço especial que se utiliza de faixa de microondas para transmitir sinais a serem recebidos em pontos determinados dentro da área de prestação de serviço.

Modulação Processo através do qual certas características de uma onda são modificadas em função de uma característica de uma outra onda ou sinal. É o processo de agregar um sinal de informação a uma

frequência de rádio, de maneira que na recepção esta informação possa ser selecionada e isolada de outros sinais transmitidos.

N **NAC**

Placa de Aplicação (*Network Application Card*). Faz o processamento de uma determinada aplicação e enviam para a devida interface.

NIC

Placa de Interface (*Network Interface Card*). Fornecem as interfaces necessárias para as diversas funcionalidades do CMTS.

NLOS

É o mesmo que sem linha de visada (*Non Line Of Sight*).

NMC

Placa de Gerência de Rede (*Network Management Card*). Cartão que sob a direção de um PC gerencia os demais dispositivos do CMTS.

NNOS

NextNet Operational System. Sistema da empresa NextNet para gerenciamento da rede NextNet Expedience.

NOC

Centro de Operações de Rede (*Network Operations Center*). Lugar onde se faz a manutenção, supervisão e monitoramento da rede.

NRZ

Non Return to Zero. Código de linha em que cada pulso ocupa a totalidade do intervalo de tempo assim definido: $T = t/n$, sendo t o tempo disponível para a unidade de informação e n , o número de pulsos binários por unidade de informação.

O **OFDM**

Multiplexação por Divisão em Frequências Ortogonais (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Técnica de modulação digital na qual são empregadas múltiplas portadoras, individualmente moduladas e mutuamente ortogonais, multiplexadas no domínio da frequência.

OFS

Operational Fixed Service. Faixa de frequências para o serviço de distribuição de dados nos EUA que foi absorvida pelo sistema MMDS.

OSU Unidade Externa do Assinante (*Outdoor Subscriber Unit*).

P
PSI

Power Supply Interface. Interface para a unidade de alimentação do CMTS.

PSK *Phase Shift Keying*. Processo de modulação digital em que um conjunto de n bits de informação é associado a um símbolo definido por uma determinada fase angular.

PSU Power Supply Unit. Cartão que fornece a alimentação de energia elétrica para o funcionamento do CMTS.

Q
QAM

Quadrature Amplitude Modulation. Processo de modulação digital em que um conjunto de n bits de informação é associado a um símbolo definido por uma determinada fase angular e amplitude.

R
RF

Radiofrequência: termo comumente usado para se referir a frequências utilizadas por um sistema de radiocomunicação.

RSU *Residential Subscriber Unit*. Unidade (equipamento) do assinante residencial.

RTPC Rede de Telefonia Pública Comutada. Rede analógica ou digital, com acessos analógicos, destinada basicamente ao serviço de telefonia, e que provê suporte restrito para comunicação de dados em faixa de voz.

S
Set-Top Box

Equipamento do assinante do serviço de televisão a cabo.

Simplex Modo de transmissão de dados unidirecional.

Splitter Dispositivo que separa o sinal que deve ser entregue ao cable modem (dados) do sinal que deve ser entregue ao set-top box (televisão).

Streaming

Operação que consiste em restaurar as relações temporais dentro de um fluxo serial de mídia contínua (som, vídeo, animação) quando ela é transmitida em tempo real.

T

TDD

Duplexação por Divisão de Tempo (*Time Division Duplex*). Técnica que fixa intervalos (slots) de tempo de utilização de um canal com a finalidade de se fazer uma transmissão bidirecional em um único canal, atribuindo números fixos de intervalos de tempo para os fluxos de *upstream* e *downstream*.

Transceiver

Dispositivo que funciona como transmissor e receptor de sinais.

U

UHF

Ultra High Frequency. Faixa de radiofrequências entre 300 MHz e 3000 MHz.

Upconverter

Equipamento que faz a conversão da frequência de um sinal para uma frequência maior.

UPS

Uninterruptible Power Supply. Mais conhecido como “no-break” é um equipamento dotado de um banco de baterias próprio com a finalidade de evitar o corte na distribuição de energia elétrica.

Upstream

Fluxo de dados provenientes da estação terminal com destino à estação base.

USB

Barramento Serial Universal (*Universal Serial Bus*). Interface plug-and-play entre o computador e dispositivos externos.

V

VHF

Very High Frequency. Faixa de radiofrequências entre 30 MHz e 300 MHz.

Videoconferência

Teleconferência que provê transferência bidirecional e em tempo real de voz e vídeo (imagens em movimento) colorido entre indivíduos ou grupos de indivíduos, localizados em dois ou mais lugares diferentes. Em condições normais, a informação transmitida em vídeo deve ser suficiente para

representar adequadamente o movimento fluido de duas ou mais pessoas numa situação típica de reunião, exibidas numa vista de cabeça e ombros. Embora a informação em vídeo seja parte essencial do serviço, outros tipos de mídia podem ser trocados entre os participantes.

VoIP

Voz sobre IP (*Voice over IP*). Tecnologia que possibilita o uso de redes IP como o meio de transmissão de voz.

W

WCA

Associação de Comunicações Sem Fio (*Wireless Communications Association*). É uma associação internacional que reúne os principais operadores de banda larga sem fio, produtores de software/hardware e fornecedores de infra-estrutura.

Wireless

Sistemas de comunicação por rádio.

X

xDSL

Nome que foi cunhado para a família de tecnologias de linha digital de assinante que transportam informação por meio dos fios de cobre existentes. Abrange desde o HDSL até o VDSL, com o ADSL no meio da faixa de velocidade/capacidade.

D. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NEXTNET WIRELESS – “Using the NextNet Operating System (NNOS) Version 2 – MMDS Broadband Wireless Access System”.2003.
- [2] NEXTNET WIRELESS – “Getting Started with the Expedience System – MMDS Broadband Wireless Access System Version 2”. 2003.
- [3] NAVINI NETWORKS – “Navini Ripwave 2.6 GHz”. 2002.
- [4] NAVINI NETWORKS – “Ripwave 2.6 GHz System Specification”. Version 3. Julho de 2002, Confidencial.
- [5] XU, Guanghan – “Smart Antenna and MC-SCDMA – Next Generation Technologies for Wireless Broadband”. Abril de 2001.
- [6] FREEMAN, Roger L. – “Radio System Design for Telecommunications”. 2ª Edição. 1997.
- [7] LATHI, B. P. – “Modern Digital and Analog Communication Systems”. 3ª Edição, 1998.
- [8] HAYKIN, Simon – “Communication Systems”. 4ª Edição. 2001.
- [9] WINCH, Robert G. – “Telecommunication Transmission Systems: microwave, fiber optic, mobile cellular, data, and digital multiplexing”. 1993.
- [10] IRYODA, Flávio A. T. – “Tecnologias de Comunicação de Dados em Altas Velocidades sobre Plataformas MMDS”. Universidade de Brasília. Setembro de 2002.
- [11] PASTOR, Eduardo Tommy López – “Estudo e Avaliação de Cable Modem – DOCSIS 1.0 sobre a Plataforma MMDS para Videoconferência”. Dissertação de mestrado – Universidade de Brasília. Abril de 2002.

[12] SIEMENS – “TD-SCDMA: the Solution for TDD bands”. White paper. Abril de 2002.

[13] IEC – “OFDM for Mobile Data Communications”.

Disponível em <http://www.iec.org/online/tutorials/ofdm/>

[14] IEC – “Smart Antenna Systems”.

Disponível em http://www.iec.org/online/tutorials/smart_ant/

[15] IEC – “Cellular Communications”.

Disponível em http://www.iec.org/online/tutorials/cell_comm/

[16] WAX, Mati – “The NLOS Challenge – Getting a Grip on This Key Technology of the Future”. Setembro de 2001.

[17] MIRANDA, Maria D. e BRASIL, Márcio André de Assis – “Introdução ao OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Universidade Presbiteriana Mackenzie. Publicação 001/2000.

[18] AGILENT – “Digital Modulation in Communications Systems – An Introduction”. Março de 2001.

[19] CABLELABS – “Cable Modem to Customer Premise Equipment Interface Specification”. SP-CMCH09-030730. Julho de 2003.

[20] CABLELABS – “Radio Frequency Interface Specification”. SP-RFIV2.0-I04-030730. Julho de 2003.

[21] MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES – “Serviço de Distribuição de Sinais Multiponto Multicanal”. Portaria nº 254, de 16 de Abril de 1997.

[22] ANATEL – “Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências nas Faixas de 2.170 MHz a 2.182 MHz e 2.500 MHz a 2.686 MHz”. Anexo à Resolução nº 236, de 6 de Outubro de 2000.