



Serviço Público Federal

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - **INMETRO**

NOTA TÉCNICA

Nota Técnica: Ditel/07/2012

Referência: Medições de Campo do Sistema DRM+ (*Digital Radio Mondiale*) na Faixa de FM em Belo Horizonte com a Rádio UFMG Educativa



ÍNDICE

APRESENTAÇÃO.....	1
SUMÁRIO EXECUTIVO	4
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	6
2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO	6
2.2. MODOS DE TRANSMISSÃO DRM.....	9
2.3. ESTIMATIVA DE COBERTURA ANALÓGICA.....	10
3. EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO E METODOLOGIA.....	10
3.1. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.....	10
3.2. PARÂMETROS DE MEDIÇÃO	12
3.3. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO.....	13
4. RESULTADOS DOS TESTES	14
4.1. PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS.....	14
4.2. MODO 4QAM.....	16
4.2.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA COM RECEPÇÃO ESTÁTICA	16
4.2.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA COM RECEPÇÃO MÓVEL.....	17
4.2.3. LIMIARES DE RECEPÇÃO DO MODO 4QAM.....	20
4.3. MODO 16QAM.....	21
4.3.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA COM RECEPÇÃO ESTÁTICA	21
4.3.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA COM RECEPÇÃO MÓVEL.....	23
4.3.3. LIMIARES DE RECEPÇÃO NO MODO 16QAM.....	25
5. ANEXOS.....	26
5.1. SISTEMA DRM	26
5.1.1. HISTÓRICO E PADRONIZAÇÃO	26
5.1.2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	26
5.1.3. CARACTERÍSTICA TÉCNICAS	27
5.1.4. TESTES REALIZADOS COM A TECNOLOGIA DRM.....	30
5.2. DETALHES DAS ROTAS UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES	34
5.3. INTERFERÊNCIA EM 104.3 MHZ.....	45
5.4. RESULTADOS DA RECEPÇÃO ESTÁTICA	45
5.5. RESULTADOS DA RECEPÇÃO MÓVEL	47
5.6. FOTOS.....	48
BIBLIOGRAFIA.....	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas da emissora da Rádio UFMG.....	8
Tabela 2 – Modos de transmissão do DRM+ utilizados durante os testes.....	9
Tabela 3 – Principais equipamentos de medição utilizados nos testes.....	12
Tabela 4 – Parâmetros de Medição.....	12
Tabela 5 – Resultados das frequências 104.3 e 104.7 MHz nos mesmos pontos de medição	15
Tabela 6 – Resultados da recepção estática no modo 4QAM.....	16
Tabela 7 – Resultados da recepção estática do modo 16QAM.....	21
Tabela 5.1. Parâmetros dos símbolos OFDM dos modos robustos do DRM.....	28
Tabela 5.2. Uso dos modos de robustez do DRM.....	28
Tabela 5.3. Características dos codificadores de áudio DRM.....	30
Tabela 5.4.– Rotas planejadas para os testes com Rádio UFMG.....	34
Tabela 5.5. - Detalhes da localização dos pontos de medições estáticas.....	35
Tabela 5.6. - Detalhes das medições em mobilidade.....	36
Tabela 5.7. – Pontos planejados de medições estáticas na Rota R1.....	37
Tabela 5.8.- Pontos planejados de medições estáticas na Rota R2.....	38
Tabela 5.9.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota R3.....	39
Tabela 5.10.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota R4.....	40
Tabela 5.11.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota C1.....	41
Tabela 5.12.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota C2.....	42
Tabela 5.13.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota C3.....	43
Tabela 5.14.-Pontos planejados para medições estáticas na Rota C4.....	44
Tabela 5.15. – Potência do sinal de interferência em 104.3 MHz.....	45
Tabela 5.16 - Resultados da recepção estática DRM+ com o modo 4QAM.....	46
Tabela 5.17-Resultados da recepção estática DRM+ com o modo 16-QAM.....	46
Tabela 5.18 - Resultados da recepção móvel DRM+ com o modo 4QAM.....	47
Tabela 5.19 – Resultados da recepção móvel DRM+ com o modo 4QAM.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Localização do centro de transmissão da Radio UFMG.	6
Figura 2 – Diagrama de bloco do sistema de transmissão.	7
Figura 3 – Content Server DRM+.	8
Figura 4 – Modulador DRM+.	8
Figura 5 – Antena FM e DRM+ da estação de transmissão da UFMG.	9
Figura 6-Cobertura FM prevista.....	10
Figura 7 – Viatura utilizada na medição.	11
Figura 8 – Diagrama dos equipamentos de medição.....	11
Figura 9 – Espectro medido no ponto R1P2.....	14
Figura 10 – Medições com interferências em 104.3 MHz e possíveis estações interferentes.....	15
Figura 11 – Resultados da recepção estática no modo 4QAM.....	16
Figura 12 – Resultados do 4QAM em função da distância do transmissor.....	17
Figura 13 – Resultados da recepção móvel 4QAM.....	18
Figura 14 – Parâmetros da recepção móvel 4QAM das rotas radiais.....	19
Figura 15 – Limites de recepção para a intensidade de campo e SNR do modo 4QAM.	20
Figura 16 - Resultados da recepção estática no modo 16QAM, ilustrados no mapa.	22
Figura 17 - Resultados da recepção estática 16QAM em função da distância ao transmissor....	22
Figura 18 - Resultados da recepção móvel no modo 16QAM ilustrado no mapa.....	23
Figura 19 – Parâmetros da recepção móvel no modo 16QAM para rotas radiais.....	24
Figura 20-Intensidade de campo e limiares de SNR para recepção no modo 16QAM.....	25
Figura 5.1.1. Opções de codificação de áudio no DRM.....	29
Figura 5.1.2.-Rotas planejadas para os testes da Rádio UFMG no mapa	34
Figura 5.1.3-R1, Rota Sudoeste	37
Figura 5.1.4-R2, Rota Sul.....	38
Figura 5.1.5-R3, Rota Nordeste	39
Figura 5.1.6-R4, Rota Noroeste	40
Figura 5.1.7-C1, Rota Urbana (Savassi).....	41

Figura 5.1.8-C2, Rota UFMG	42
Figura 5.1.9-C3, Rota Urbana	43
Figura 5.1.10-C4, Rota Industrial.....	44
Figura 5.1.11-Instalação da antena.....	48



Apresentação

O Ministério das Comunicações publicou no "Diário Oficial da União", o "Aviso de Chamamento Público n.º 1/2009, em 22 de maio de 2009", a fim de realizar testes e avaliação de sistemas de áudio digital de radiodifusão, direcionado para a futura decisão de escolher o padrão de rádio digital a ser adotado no país.

A "Portaria N.º 290 de 30 de Marco de 2010", promulgada pelo Ministério das Comunicações, criou o Sistema Brasileiro de Rádio Digital (Sistema Brasileiro de Rádio Digital - SBRD), autorizando as emissoras de AM e FM a realizar testes para avaliar o desempenho dos sistemas de radiodifusão digital e a compatibilidade com os sistemas analógicos existentes.

O Consórcio DRM (Digital Radio Mondiale), a partir deste edital, apresentou os sistemas de rádio digital DRM30 e DRM+ para testes no Brasil. Os testes foram iniciados e estão sendo realizados através do esforço conjunto e cooperação entre diversas entidades como o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), o INCT-CSF (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Wireless Communications), composto pelo UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), UFPA (Universidade Federal do Pará), UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) e CETUC (Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC-Rio), criando uma equipe de trabalho composta por vários profissionais, sob a coordenação do Ministério das Comunicações, através da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica, e com o apoio da Anatel.

Este trabalho apresenta os testes do sistema DRM+ feitos em Belo Horizonte com a emissora Rádio UFMG Educativa. A transmissão híbrida (*simulcast*) da Rádio UFMG foi realizada ao longo de um período de cinco semanas entre 7 de fevereiro e 5 março de 2010.

Para os testes foram instalados o transmissor DRM e a antena na estação da Rádio UFMG em Belo Horizonte, para transmissão de sinal híbrido durante a campanha de medição, o qual consiste em um sinal analógico FM e um sinal digital DRM, ambos transportando a mesma programação de rádio.

O objetivo deste documento é fornecer a base técnica para trabalhos futuros para apoiar o desenvolvimento de regras e regulamentos dos Serviços de Radiodifusão.



Coordenação dos trabalhos

GPET/DEAA-SCE

Entidades executantes

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - CSF

Equipe de engenheiros e técnicos do MC que participaram dos testes

Engenheiros e técnicos do DEAA

Engenheiros do DEOC / RadCom

Engenheiros das DRMC-RJ / DRMC-SP / DRMC-MG / DRMC-SC

Equipe de engenheiros e técnicos do Inmetro que participaram dos testes

Augusto Pereira da Soledade

Jaci Rodrigues Nascimento Junior

João Afonso Cal Braz

Mauro Vieira de Lima

Vinicius Rangel Duarte Carneiro

Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos

Equipe de engenheiros e técnicos da Rádio UFMG

Cláudio Garcia Batista

Judson Porto

Local dos testes

Belo Horizonte – BH

Emissoras envolvidas

Rádio UFMG Educativa – MG

Instituições de Ensino e Pesquisa envolvidas

Universidade de Brasília - UnB

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Universidade Federal do Pará – UFPA

Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC / Rio

Universidade Nacional Autónoma do México UNAM

Hannover University

University of Kaiserslautern

Universidad del País Vasco

Fraunhofer Institut - FhG

Entidades internacionais parceiras

BBC

RFMondial

Digidia

TDF (Tele Diffusion de France)

Nautel

Thomson

RTP (Radio e Televisão de Portugal)

Deutsche Welle

VT Group

Harris Corporation



Responsáveis pela Análise dos Dados

Flávio Ferreira Lima, PhD (Ministério das Comunicações): Doutor em Radiodifusão Digital, Propagação, Eletromagnetismo, Processamento de Sinais e Sistemas de Telecomunicações.

José Maria Matias, PhD (Universidade Nacional Autónoma do México UNAM): Doutor em Radiodifusão Digital e Propagação.

Cássio Gonçalves do Rego, PhD (UFMG): Doutor em Eletromagnetismo Aplicado.

Ronaldo de Andrade Martins, PhD (UFRN): Doutor em Propagação, Eletromagnetismo e Comunicações Móveis.

Luiz A. R. da Silva Mello, PhD (CETUC/PUC-Rio): Doutor em Sistemas de Telecomunicações

Rodolfo Saboia Lima de Souza, PhD (Inmetro): Doutor em Sistemas de Telecomunicações

Marta Pudwell Chaves de Almeida, PhD (Inmetro): Doutora em Eletromagnetismo Aplicado

Rodrigo Pereira David, MSc (Inmetro): Mestre em Sistemas de Telecomunicações, doutorando em Sistemas de Telecomunicações

Sumário Executivo

Neste documento são apresentados os resultados dos testes feitos em Belo Horizonte (MG) com a tecnologia DRM+ na faixa de frequência em VHF na banda II (banda FM). Os testes foram realizados com a estação emissora que a Rádio UFMG Educativa (Universidade Federal de Minas Gerais) possui em Belo Horizonte.

Os testes foram conduzidos pelo Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro) com a colaboração da emissora Rádio UFMG Educativa, Consórcio DRM e a National Autonomous University of Mexico com apoio da Anatel, Empresa Brasileira de Comunicação (EBC), RF Mondial, Nautel, Grupo de pesquisa TSR da UPV/EHU, TDF e a Fraunhofer IIS, com a supervisão do Ministério das Comunicações.

O objetivo do teste foi conhecer o funcionamento do sistema DRM em VHF banda II (geralmente conhecida como banda FM) nas cidades brasileiras, começando pela cidade de Belo Horizonte, MG. As medições foram feitas em locais com diferentes características de ocupação do terreno, desde áreas urbanas densamente ocupadas até locais rurais. A unidade móvel da EBC percorreu as rotas planejadas e registrou as medições nas rotas pré-determinadas.

Durante os testes foram realizadas medições nas situações de recepção estática e recepção móvel. As medições percorreram dois tipos de rotas, a saber: rotas radiais, nas quais no deslocamento da viatura afastava-se do ponto de transmissão, e rotas circulares. As rotas radiais foram planejadas para avaliar a área de cobertura da transmissão, enquanto que as rotas circulares foram utilizadas para avaliar a recepção em diferentes ambientes.

A análise dos dados foi realizada para as medições estáticas e móveis, obtendo as conclusões sobre a cobertura digital e o desempenho do sistema digital, que foram definidos através da intensidade de campo e dos limiares de relação sinal-ruído, e da qualidade de áudio do sinal recebido.

O local da estação de transmissão UFMG era uma colina, em uma torre de 19 metros de altura. O sinal DRM+ foi transmitido no modo combinado, com 200 kHz separação do sinal analógico. A potência de transmissão de sinal FM era 1.5 kW, e do DRM+ o sinal era 70 Watts. A EIRP do sinal FM era 933 W e a do DRM+ era 42 Watts. Assim, a relação de proteção (relação entre as potências do FM e DRM+ no ar) foi de 13.4 dB. Durante este teste só a recepção digital foi avaliada, então não há comparação possível com a recepção de FM.

A tecnologia DRM permite usar modulações diferentes, com diferentes parâmetros de forma a adequar o sinal aos seus diferentes usos. Por esta razão, dois modos de transmissão DRM foram usados durante os testes, sendo um ensaio robusto com base na modulação 4-QAM e outro teste com maior capacidade, com base na modulação 16-QAM. Em ambos os modos foi selecionada uma baixa robustez na correção FEC, assim ambos os modos possuem taxas de bits elevadas, e são capazes de aumentar a robustez diminuindo a taxa de bits.

Usando o modo 4-QAM foram obtidos bons resultados para a recepção estática. A cobertura atinge 12 km de distância do transmissor, incluindo o ambiente urbano denso do centro da cidade, que está perto do limite de cobertura de 12 km. Com a recepção móvel a cobertura é menor, como esperado. Atinge cerca de 7 km, apresentando uma zona de sombra dentro desta área. O motivo é desconhecido, mas sendo muito próximo do transmissor é possível inferir que



algum ruído de alto nível ou de interferência deve ocorrer nesta área. Há também zonas com boa recepção fora desta área. Os limiares de recepção registrados com medições estáticas foram de 27 dB μ V/m para a intensidade de campo e de 8 dB para SNR (relação sinal-ruído).

Para o modo 16-QAM a área de cobertura estática é cerca de 7 km, mas se o ambiente urbano denso não for considerado a cobertura é cerca de 12 km. Ou seja, o centro da cidade não é coberto com o modo 16-QAM. Os resultados da recepção móvel não são tão bons como para o modo 4-QAM, o que era esperado. A cobertura é reduzida para 5 km. Uma conclusão é que este modo não é adequado para trabalhar com baixa potência em cidades porque nesse caso não há proteção de erros suficiente. Os limiares de recepção são de 40 dB μ V/m para a intensidade de campo e 14 dB para o SNR. Para este modo é recomendado o uso de uma maior robustez no FEC. Nestes ensaios foram usadas taxas de código de 0,62 para MSC e 0,5 para SDC (os menos robustos). Taxas de código de 0,41 ou 0,33 no MSC e 0,25 na SDC devem ser testadas para as áreas urbanas e cidades brasileiras.

A cobertura móvel com o modo 4-QAM é similar ao previsto para a cobertura do sinal FM (7 km), e a cobertura estática é maior (12 km). A cobertura móvel com 16-QAM é pequena, mas a cobertura estática é semelhante ao estimado para o FM. De qualquer forma, uma robustez maior é recomendada para o modo 16-QAM. Os limiares obtidos, 27 dB μ V/m para o modo de 4-QAM e 40 dB μ V/m para o modo 16-QAM, são muito menores do que os limites para a recepção de FM (74 dB μ V/m para área de serviço primária, 66 dB μ V/m para área de serviço urbana, que é o caso, e 54 dB μ V/m para área de serviço rural) [1].

Concluindo, os resultados de ensaios DRM+ em Belo Horizonte mostraram que o DRM+ possui bons resultados para o modo de 4-QAM, e precisa de maior robustez para o modo 16-QAM. A cobertura com o modo 4-QAM é maior do que a cobertura estimada do FM, e os limiares de recepção para a intensidade de campo são muito menores do que os do FM.

Rio de Janeiro, 25 de janeiro de 2012

Rodolfo Saboia Lima de Souza

Chefe de Divisão de Metrologia em Telecomunicações
Dimci – Ditel
Inmetro



1. Introdução

Este documento apresenta o resultado dos testes realizados em Belo Horizonte (MG) com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema *Digital Radio Mondiale* (DRM) de radiodifusão sonora digital [2] [4] para aplicação nas faixas de frequências de radiodifusão em frequência modulada.

Os testes foram realizados em conjunto com a emissora de radiodifusão sonora em frequência modulada em VHF banda II (usualmente conhecida como banda de FM), Radio UFMG.

A estrutura do documento é definida da seguinte maneira: o Capítulo 2 descreve o sistema de transmissão instalado na UFMG para irradiar os sinais digital e analógico durante os testes. O Capítulo 3 descreve a unidade móvel, os equipamentos de medição utilizados para caracterizar os sinais recebidos e metodologia de medições. O Capítulo 4 descreve o pré-processamento e os resultados separados para os dois modos de transmissão DRM+ que foram usados durante os testes.

Os anexos apresentam uma revisão do sistema DRM e os detalhes das medições com os seus respectivos resultados.

2. Sistema de Transmissão

2.1. Características Técnicas do Sistema de Transmissão

A emissora FM da Rádio UFMG Educativa (Universidade Federal de Minas Gerais) está localizada em uma colina na cidade de Belo Horizonte. A Figura 1 ilustra a localização do centro de transmissão.



Figura 1- Localização do centro de transmissão da Radio UFMG.

Esses testes foram realizados no modo combinado, que junta os sinais digital e analógico no ar. Isso significa que os sistemas de transmissão dos sinais DRM+ e FM são separados e utilizam diferentes antenas. O diagrama de bloco do sistema de transmissão é mostrado na Figura 2 e os principais componentes do sistema de transmissão são descritos na Tabela 1.

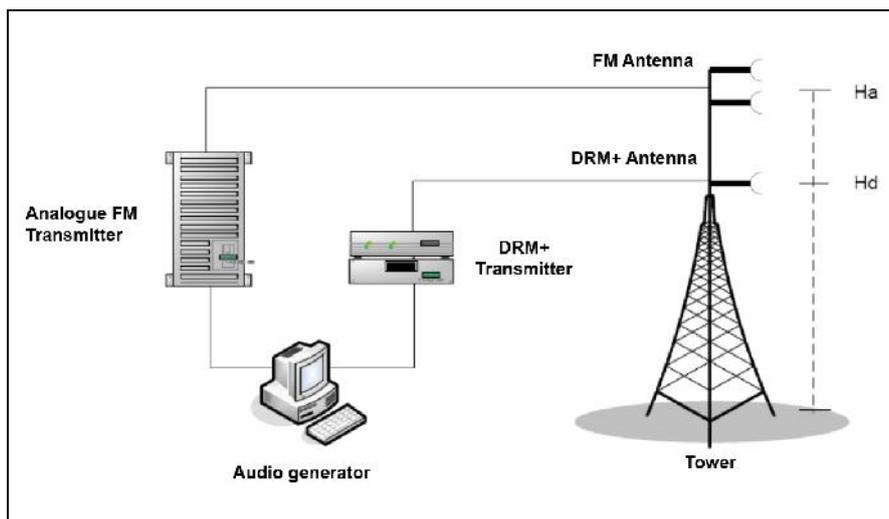


Figura 2 – Diagrama de bloco do sistema de transmissão.

A transmissão FM tem potência de 1.5 kW, e considerando-se as perdas nos cabos, conectores e filtros, a EIRP é de 933 W. Para a transmissão DRM+ outra antena foi instalada no mesmo mastro. É uma antena do mesmo tipo, de modo que o padrão de radiação horizontal é semelhante. Porém só possui um elemento (enquanto a antena FM tem dois elementos), de modo que o ganho é menor. A antena FM foi colocada a 25 metros de altura e a antena DRM a 19.1 metros de altura. O sinal DRM+ é separado 200 kHz do sinal analógico. Uma vez que o sinal DRM+ possui uma largura de banda de 100 kHz, há uma banda de guarda entre os dois sinais de 50 kHz. A potência de transmissão foi calculada para ter uma relação de proteção entre os sinais FM e DRM+ aproximadamente de 14 dB. Para isto, e levando-se em conta a atenuação provocada por cabos e conectores, a potência de transmissão do sinal DRM+ foi fixada em 70 W, o que fornece uma EIRP de 42 W e dá uma relação de proteção de 13.4 dB.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE OPERAÇÃO DA ESTAÇÃO	
ANALÓGICA	DIGITAL
FREQUENCIA: 104.5 MHz CLASSE: A1 CANAL: 283E	FREQUENCIA: 104.3 MHz e 104.7 MHz
LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA	
LOCALIDADE: CONTAGEM, MG COORDENADAS GEOGRAFICAS: 19° 55' 11" S, 44° 01' 48" W	
TRANSMISSOR	
FABRICANTE: LYS Electronic LTDA MODELO:LT-2, 5kW-FMV POTÊNCIA NOMINAL: 2.5 kW POTÊNCIA UTILIZADA NOS TESTES: 1.5 kW	FABRICANTE: NAUTEL POTÊNCIA NOMINAL: 80 W POTÊNCIA UTILIZADA NOS TESTES: 70 W
EXCITADOR	
Excitador: FABRICANTE: LYS Electronic MODELO:065-15153 POTÊNCIA DE SAÍDA: 5W Pré-amplificador: FABRICANTE: LYS Electronic MODELO:15871 POTÊNCIA NOMINAL: 150W	Servidor de conteúdo: FABRICANTE: RF Mondial Modulador: FABRICANTE: RF Mondial NOMINAL POWER: 5W

PROCESSADOR DE AUDIO	
FABRICANTE: MTA MODELO: CD50 PWM	
ANTENA	
FABRICANTE: TRANSTEL MODELO: TTFM3A-2 (2 elementos) AZIMUTE: 120° POLARIZAÇÃO: circular à direita PADRÃO DE RADIAÇÃO: omnidirecional GANHO: 0,02 dBd ALTURA ACIMA DO TERRENO: 25 m RELAÇÃO DE ONDA ESTACIONÁRIA: <1.1:1 POTÊNCIA MÁXIMA: 5 kW	FABRICANTE: IDEAL MODELO: FM Anel (1 elemento) AZIMUTE: 148° POLARIZAÇÃO: circular à direita PADRÃO DE RADIAÇÃO: omnidirecional GANHO: - 3,07 dBd ALTURA ACIMA DO TERRENO: 19.1 m RELAÇÃO DE ONDA ESTACIONÁRIA: <1.1:1 POTÊNCIA MÁXIMA: 2.5 kW
LINHA DE TRANSMISSÃO	
FABRICANTE: Andrew MODELO: LDF5-5DA 7/8” COMPRIMENTO: 45 m IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO DA LINHA: 0.56 dB AT. DE CONECTORES E FILTRO: 1.50 dB	FABRICANTE: MODELO: 7/8” COMPRIMENTO: 30 m IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO DA LINHA: 0.38 dB AT. DE CONECTORES E FILTRO: 0.50 dB
RELAÇÃO ENTRE SINAIS ANALÓGICO E DIGITAL	
SEPARAÇÃO DE FREQUENCIA: 200 KHz EIRP ANALÓGICO: 933 W EIRP DIGITAL: 42 W RELAÇÃO DE PROTEÇÃO “NO AR” (POTÊNCIA FM/ POTÊNCIA DRM+): 13.4 dB	

Tabela 1 – Características técnicas da emissora da Rádio UFMG

O *Content Server* (servidor de conteúdo) e o Modulador utilizados para a geração do sinal digital são fabricados pela RF Mondial e o transmissor pela Nautel. O *Content Server* é um computador onde os áudios são codificados e os parâmetros de transmissão são programados. O Modulador é um equipamento que gera o sinal DRM+ na frequência de transmissão. Os equipamentos são mostrados na Figura 3 e Figura 4.



Figura 3 – Content Server DRM+.



Figura 4 – Modulador DRM+.

A antena DRM+ foi instalada para apontar na mesma direção da antena principal, mas devido a problemas técnicos no mastro, o apontamento não ficou exatamente na direção desejada. Foi instalada a 5.9 metros abaixo da antena de FM. A Figura 5 mostra as duas antenas no mastro. Os dois elementos principais são a antena FM, enquanto o elemento menor é a antena DRM +.



Figura 5 – Antena FM e DRM+ da estação de transmissão da UFMG.

2.2. Modos de transmissão DRM

O sistema DRM+ fornece uma ampla variedade de configurações para o sinal digital [2] [4]. Essas diferentes configurações permitem ao radiodifusor adaptar o sinal a ser irradiado segundo as condições de propagação, as quais podem variar em função do tempo, dependendo da faixa de frequência ou do ambiente de propagação (rural ou urbano). Essa flexibilidade na escolha do parâmetro permite melhorar a robustez do sinal contra ruído, interferência ou do efeito multipercurso. No entanto, aumentando-se a robustez do sinal, diminui a taxa de dados dos bits úteis.

Para os testes descritos neste trabalho, duas diferentes configurações foram utilizadas visando a robustez do sinal. A primeira baseou-se na modulação 4QAM no MSC, e segunda menos robusta utilizou a modulação 16QAM também no MSC. O nível de proteção (taxa de código), selecionado para ambos os modos é o menos robusto dos quatro possíveis. No primeiro caso, a taxa de bits permite transmitir uma qualidade de som estéreo, enquanto no segundo caso, o áudio transmitido é em formato 5.1. Os parâmetros utilizados em cada configuração estão descritos na Tabela 2. As taxas de bits indicadas na Tabela são aquelas usadas na codificação de áudio.

Esses modos permitem taxas de bits de 74 kbps para o modo de 4-QAM e 186 kbps para o modo 16-QAM.

Name	OFDM Robustness Mode	Bandwidth	MSC Modulation	SDC Modulation	MSC Code Rate	SDC Code Rate	Bit-rate (kbps)	Audio
4QAM	E	100 kHz	4-QAM	4-QAM	0.33	0.25	49.7	Stereo
16QAM	E	100 kHz	16-QAM	4-QAM	0.5	0.25	103	Stereo

Tabela 2 – Modos de transmissão do DRM+ utilizados durante os testes.

2.3. Estimativa de cobertura analógica

A Figura 6 apresenta a estimativa da previsão de cobertura para o sinal FM. Os pontos com intensidade do campo elétrico previsto maior que $74 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ são mostrados com mancha vermelha. Os pontos com intensidade de campo elétrico previsto acima de $66 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ são mostrados com mancha amarela, e, finalmente, os pontos com intensidade do campo elétrico prevista maior que $54 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ são mostrados com mancha verde.

A linha vermelha é a área circular com intensidade de campo esperada acima de $74 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, um raio de 7.4 km a partir do transmissor. O círculo amarelo representa a área com intensidade de campo esperada acima de $66 \text{ dB}\mu\text{V/m}$, e tem um raio de 12.52 km . O círculo verde representa a área com intensidade de campo esperada acima de $54 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.

Observa-se que as áreas previstas são menores do que os círculos esperados, com zonas amarelas muito pequenas (entre 66 e $74 \text{ dB}\mu\text{V/m}$).

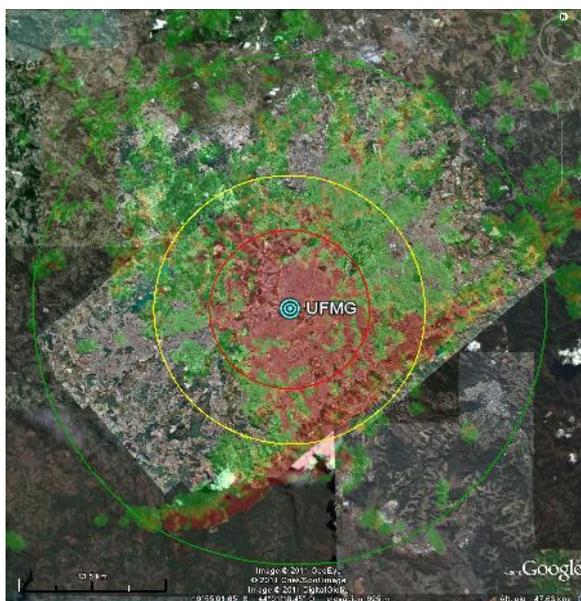


Figura 6-Cobertura FM prevista

Assim, a cobertura FM (limitada pelos $66 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ para as áreas urbanas [1]) é de cerca de 7 km de distância do transmissor com algumas zonas de sombra (dentro desta área) e de boa recepção na encosta do lado norte das montanhas no sudeste.

3. Equipamento de Medição e Metodologia

3.1. Equipamentos de Medição

A unidade móvel da EBC (Empresa Brasileira de Comunicação) foi equipada para a coleta dos dados da campanha de medição, conforme ilustrado na Figura 7. Os principais equipamentos utilizados foram um analisador de espectro e um receptor DRM+. Como o receptor DRM+ não podia medir a intensidade de potência, esta tarefa foi feita por um analisador de espectro. Esses equipamentos possibilitaram a gravação de alguns parâmetros de RF e gravação de áudio. Duas antenas foram utilizadas para receber o sinal, uma antena monopolo da Kathrein, e uma antena

bicônica da Rohde & Schwarz. Ambas as antenas poderiam ser conectadas ao receptor DRM+ e ao analisador de espectro, conforme a Figura 8. A antena bicônica foi utilizada somente em medições estáticas, com o objetivo de calibrar a antena monopolo. Os resultados apresentados nesse relatório foram obtidos com a antena monopolo.



Figura 7 – Viatura utilizada na medição.

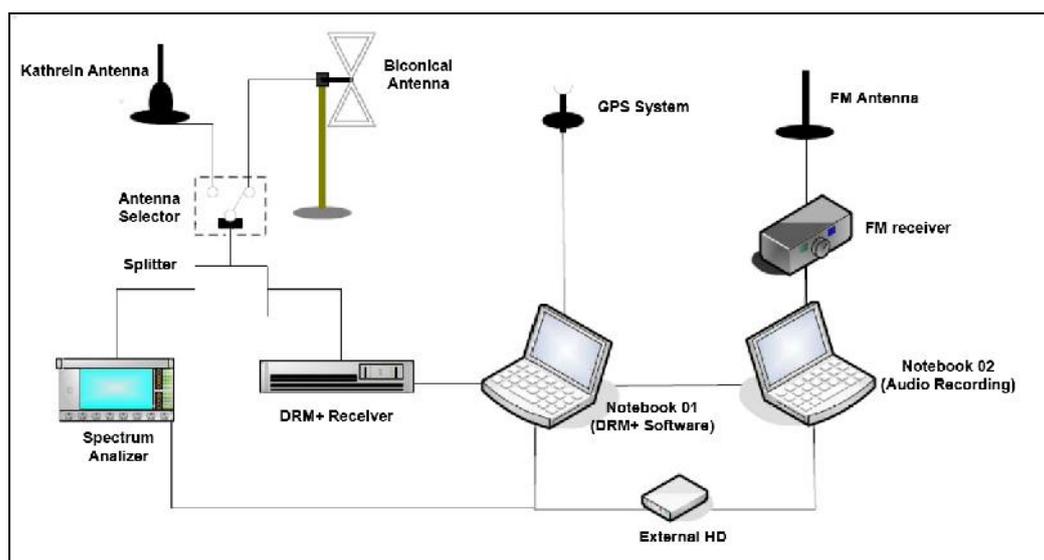


Figura 8 – Diagrama dos equipamentos de medição.

O receptor DRM+ é composto em duas partes, um *front-end* e um software que roda em um notebook (notebook 1). Esse software pode também salvar arquivos em um *hard drive* externo. Um GPS conectado a um laptop fornece as informações da localização, que são salvas juntas com as informações de recepções. Como este receptor foi um receptor de teste, os resultados com um novo modelo (atualmente em desenvolvimento) deverão ser melhores.

A Tabela 3 descreve os principais equipamentos do diagrama de medição.

O analisador de espectro e o receptor foram conectados à antena por meio de um switch, portanto o sistema não poderia fazer os dois tipos de medições em simultâneo, recepção do sinal e potência do sinal (a primeira dada pelo receptor DRM+ e a outra pelo analisador de espectro).

Nome	Fabricante e Modelo	Descrição
Antena Monopolo	Kathrein K51164	Frequência: 58 a 300 MHz. Ganho: 1.85 dBi
Antena Bicônica	Rohde & Schwarz HK116	Frequências: 20 a 300 MHz. Ganho: 1,2 dBi
Analizador de Espectro	Anritsu, Spectrum Master MS2711D	Frequência: 100 KHz a 3 GHz

Tabela 3 – Principais equipamentos de medição utilizados nos testes.

3.2. Parâmetros de Medição

Os equipamentos e o sistema de medição foram planejados para fornecerem uma ampla gama de parâmetros durante os testes. A Tabela 4 mostra os parâmetros medidos durante os testes. Eles são divididos em três tipos: parâmetros que fornecem informações de RF e propagação do canal, parâmetros de banda básica e parâmetros auxiliares que ajudam na compreensão das causas e efeitos dos diferentes problemas de recepção.

Parâmetros	Tipos	Equipamentos	Intervalo de Medição
SNR (MER)	RF e Canal de propagação	Receptor DRM	100 ms
Frames de áudio corretos (AQ)	Banda Básica		200 ms
Dados RSCI	Auxiliar		100 ms
Espectro	RF e canal de propagação	Analizador de Espectro	Medição Estática
Localização	Auxiliar	GPS	1 s
Tempo	Auxiliar		1 s
Velocidade	Auxiliar		1 s
Gravação do áudio DRM+	Banda Básica	Receptor DRM+	Medição Estática
Eventos	Auxiliar	Equipe	Cada evento
Fotos	Auxiliar	Equipe	Medição Estática

Tabela 4 – Parâmetros de Medição.

Dentre todos os parâmetros, os três mais importantes são: intensidade do campo elétrico, o SNR (que é na realidade a MER do sinal DRM+), e a taxa de *frames* (quadros) de áudio recebidos corretamente, também conhecida como qualidade de áudio AQ. Infelizmente a intensidade do campo elétrico só pôde ser registrada nas medidas estáticas, com o analisador de espectro (apenas um equipamento pode ser conectado para medições móveis e este equipamento foi o receptor DRM). O AQ é o parâmetro que define se o áudio foi recebido corretamente ou não. Para que a recepção do áudio seja definida como correta, é necessário que no mínimo 98% dos *frames* sejam recebidos corretamente. Portanto, a seguinte equação é utilizada:

$$AQ = \frac{\text{Número de frames de áudios decodificados corretamente}}{\text{Total de frames transmitidos}} \times 100\%$$

Os dados RSCI são importantes porque permitem reproduzir o sinal recebido em laboratório, como se estivesse sendo recebido naquele momento. Isso permitirá estudos futuros não definidos inicialmente.

Os espectros gravados permitem estudos sobre interferência e ruído, bem como cálculos de potência e intensidade de campo dos sinais.

O GPS fornece informações a respeito da posição e do tempo de cada amostra coletada. Assim, é possível avaliar as medições em mapas, identificando os ambientes de recepção, bem como análises em função da distância em relação ao transmissor, e de possíveis localizações de fontes interferentes, como por exemplo, outras estações.

Os áudios gravados são utilizados para avaliar a qualidade da recepção subjetiva.

Os eventos e as fotos coletadas pela equipe em campo ajudam a encontrar as causas dos problemas na recepção e os efeitos que elas causam no sinal e na qualidade do áudio.

3.3. Metodologia de Medição

A campanha de testes foi realizada com uma unidade móvel da EBC, realizando medições estáticas e móveis. O guia da Anatel para testes do sistema DRM em MW [5], que embora não seja o guia para testes em DRM na faixa de FM, foi utilizado como orientação das medições em FM. Foram então realizadas medições em dois tipos de rotas, radiais e circulares.

A primeira medição diária era realizada no ponto de referência para determinar se os parâmetros de transmissão estavam corretos mediante comparação com os dados coletados em dias anteriores naquele ponto. O ponto de referência escolhido era no local situado em frente à Escola de Engenharia da UFMG. Também verificava-se o funcionamento adequado do equipamento de recepção.

As medições realizadas nos pontos fixos e em movimento são apresentadas a seguir:

- Espectro do sinal *simulcast*.
- Captura do sinal DRM com o receptor DRM+, por um período de 5 minutos.
- Fotografias do ambiente, considerando o ponto cardeal como referência.

Com a viatura em movimento, as seguintes medições foram realizadas:

- Captura do sinal DRM+ com receptor DRM+ durante toda a rota.
- Gravação dos eventos ocorridos durante a rota, através de um software.

4. Resultados dos Testes

A primeira etapa para obtenção dos resultados é o pré-processamento, no qual as medições que parecessem ter sido afetados por problemas diferentes dos de propagação ou do ambiente de recepção são descartados. Estes dados não representam o desempenho do sistema. A principal razão do descarte desses dados deveu-se à existência de interferências.

Os resultados dos testes são avaliados para obtenção da cobertura de recepção estática, da cobertura de recepção móvel e limiares de recepção. Os resultados são obtidos com os dois modos de transmissão utilizados durante os testes, o modo 4-QAM e o modo 16-QAM

4.1. Pré-processamento de dados

Durante a realização dos testes verificou-se interferência na frequência 104.3 MHz, escolhida para o teste durante a etapa de planejamento. Devido a isso, decidiu-se repetir várias medições transmitindo o sinal digital em 104.7 MHz. Na maioria dos casos a qualidade da recepção foi melhorada.

A Figura 9 mostra um espectro onde o sinal de interferência é observado em 104.3 MHz. Nesta Figura o sinal DRM+ está em 104.7 MHz.

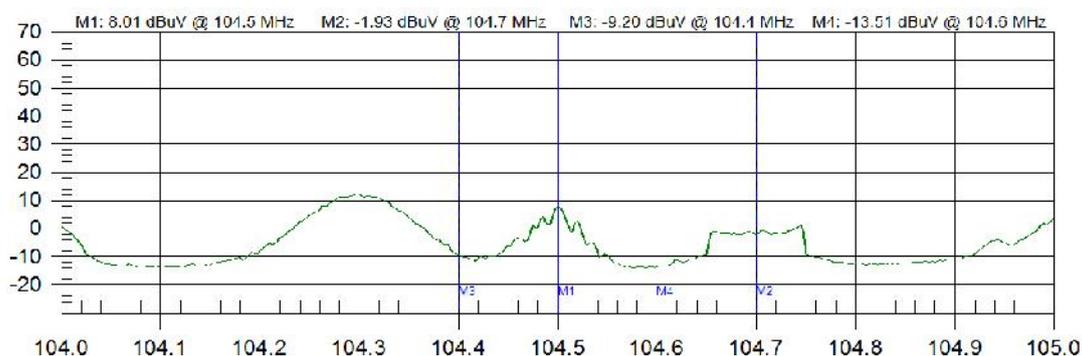


Figura 9 – Espectro medido no ponto R1P2

Os pontos de medição nos quais foi observada a interferência em 104.3 MHz são mostrados em vermelho na Figura 10. Em branco são mostrados os pontos de medição em que não foram observadas interferências. São também apresentadas as estações de radiodifusão mais próximas que estão transmitindo nesta frequência, portanto, que são as mais prováveis de causar estas interferências.

As rotas medidas em 104.7 MHz foram R1, R2, R3 e C2. A Tabela 5 apresenta a diferença entre os resultados de medições feitas em pontos fixos em 104.3 MHz e 104.7 MHz (no mesmo local para ambas as frequências). Pode ser visto que os resultados em 104.7 MHz são melhores. Além disso, embora com o modo 4-QAM haja o mesmo número de medidas com recepção fraca, nesses pontos a recepção em 104.7 MHz é melhor



Figura 10 – Medições com interferências em 104.3 MHz e possíveis estações interferentes

Modo DRM	Frequência	Pontos	Recepção boa	Recepção ruim ou regular
4-QAM	104.3MHz	13	10	3
	104.7MHz	13	10	3
16-QAM	104.3MHz	14	8	6
	104.7MHz	14	11	3

Tabela 5 – Resultados das frequências 104.3 e 104.7 MHz nos mesmos pontos de medição

Adicionalmente, o Anexo 5.3 detalha as potências medidas do sinal interferente.

Devido a esta interferência, na análise feita neste relatório foram utilizados os dados medidos em 104.7 MHz. Ou seja, apenas foram usados dados de 104.3 MHz quando não existiam em 104.7 MHz nos mesmos pontos ou mesmas rotas. As rotas medidas em 104.7 MHz foram R1, R2, R3 e C2. Ressalta-se que os dados restantes em 104.3 MHz podem ter sido afetados pela interferência.

4.2. Modo 4QAM

4.2.1. Avaliação da área de cobertura com recepção estática

Foram medidos 28 pontos estáticos com o modo 4-QAM. Em um raio de 7 km do transmissor, todos os pontos medidos receberam corretamente o sinal DRM. Num raio de 12 km, mais de 90% dos pontos tiveram recepção correta. Não há pontos de medição entre 12 e 16 km do transmissor, portanto, não há informações sobre esta zona. Mas a principal conclusão é que um nível de cobertura de 90% para recepção estática é alcançado em até 12 km do transmissor

O resumo dos resultados é mostrado na Tabela 6, e todos os resultados são mostrados em um mapa na Figura 11.

	Raio de 7 km		Raio de 12 km		Total	
	Pontos	Porcentagem	Pontos	Porcentagem	Pontos	Porcentagem
Total	11	100%	25	100%	28	100%
AQ \geq 98%	11	100%	23	92%	24	86%
90% \leq AQ $<$ 98%	0	0%	0	0%	0	0%
AQ $<$ 90%	0	0%	2	8%	4	14%

Tabela 6 – Resultados da recepção estática no modo 4QAM

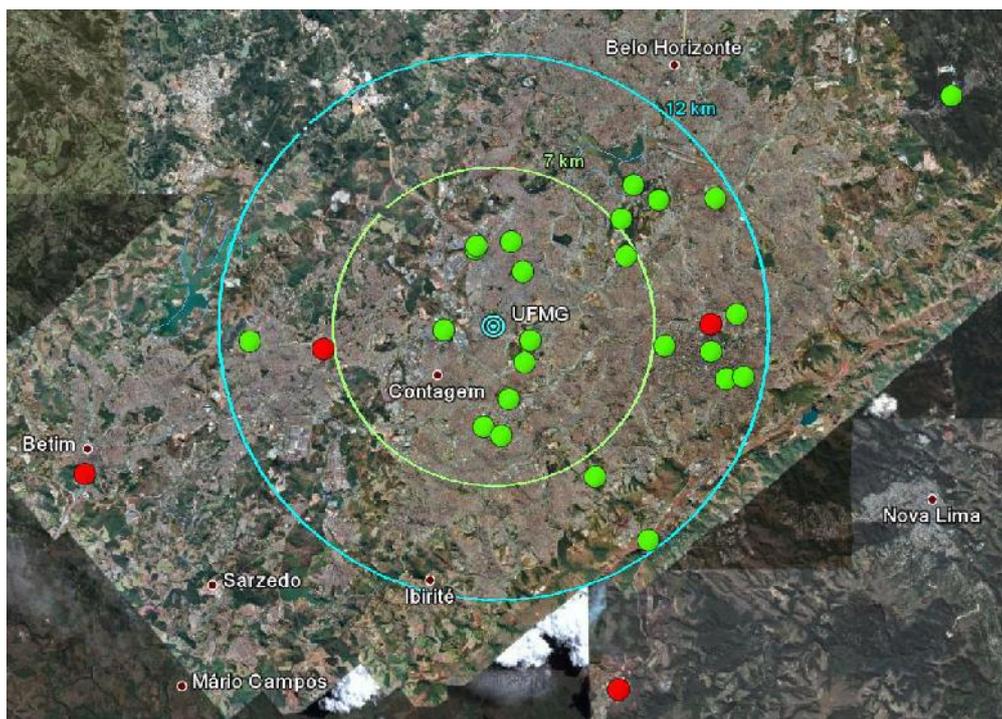


Figura 11 – Resultados da recepção estática no modo 4QAM.

Os dois pontos de medição com recepção ruim dentro do raio de 12 km são os R1P2 e o C1P1. O ponto R1P2 está localizado em 7.4 km. Ele recebeu uma intensidade de campo de 22 dB μ V/m. Ele está localizado em lugar sem visão direta do transmissor. Esta parece ser a razão da recepção ruim, a baixa intensidade de campo devido à obstrução do terreno. O ponto C1P1 está localizado no centro de Belo Horizonte a 9.4 km do transmissor, em ambiente de alta

densidade urbana. A intensidade de campo recebida é de 26.5 dB μ V/m. Neste caso, o resultado ruim pode ter ocorrido devido à baixa intensidade de campo, à obstrução por construções e aos altos níveis de ruído neste ambiente.

Na Figura 12 estes resultados são mostrados em função da distância ao transmissor. A recepção começa a ficar crítica abaixo de 30 dB μ V/m.

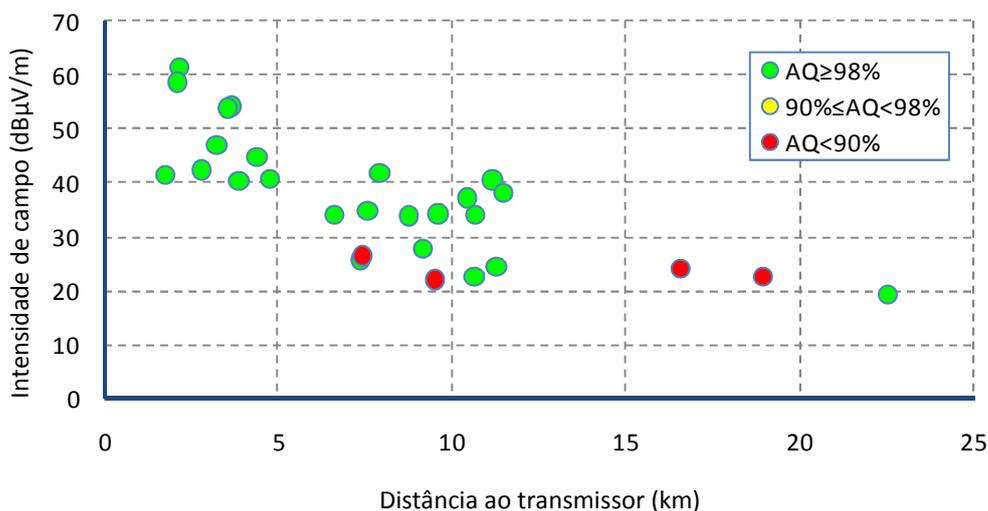


Figura 12 – Resultados do 4QAM em função da distância do transmissor.

De acordo com os resultados, em um raio de 7 km a intensidade de campo é suficiente para evitar problemas, mas além desta distância, os resultados de recepção ruim são obtidos quando ocorre obstrução ou o nível de ruído é elevado.

4.2.2. Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

Os resultados da recepção móvel 4-QAM são mostrados na Figura 13 e Figura 14. Na rota radial 1, para oeste, a recepção é boa até 7 km de distância para o transmissor (que ocorre em 400 segundos na Figura 14) e após este local o sinal decresce. Neste ponto há uma colina e a rota segue para a parte da sombra da colina. A razão da recepção ruim neste caso é a baixa intensidade de campo devido à obstrução do terreno. Depois disso, até cerca de 11 km existe uma zona com boa recepção, pois há visada direta para o transmissor e a intensidade de campo elétrico aumenta.

A rota radial 2, na direção sul, tem recepção ruim em local perto do transmissor, de 3 a 6 km do transmissor, e torna-se melhor a partir de 6 km até 12 km de distância do transmissor. Nesta parte do percurso há subida em uma montanha, havendo linha de visada para o transmissor. Depois de atravessar a montanha, na distância de 12 km do transmissor, a recepção é muito ruim, o que é esperado devido à distância ao transmissor e à sombra provocada pela montanha. Como a intensidade do campo e o ruído não puderam ser medidos, não são claras as razões desses resultados ruins na faixa de 3 a 6 km. Os resultados ruins começaram quando a unidade móvel entrou em uma estrada, mas a velocidade da unidade móvel não foi o problema. A

recepção nesta velocidade (cerca de 50 km/h) é boa em outras partes dos testes, por isso a velocidade da unidade móvel não pode ser a causa da recepção ruim.

A rota 3 começa muito perto do início da rota 2, e vai na direção nordeste. Ela segue a mesma estrada, mas na direção oposta. Nesta área, a recepção também é ruim (nos primeiros 200 segundos), demonstrando que existe algum problema nesta área. Depois disso, a recepção é boa com poucos problemas até 7 km de distância do transmissor (até 575 segundos na Figura 14). Há outra região de boa recepção até 10 km. Sem levar em conta os problemas no início de rota, a cobertura é boa até 7 km de distância do transmissor.

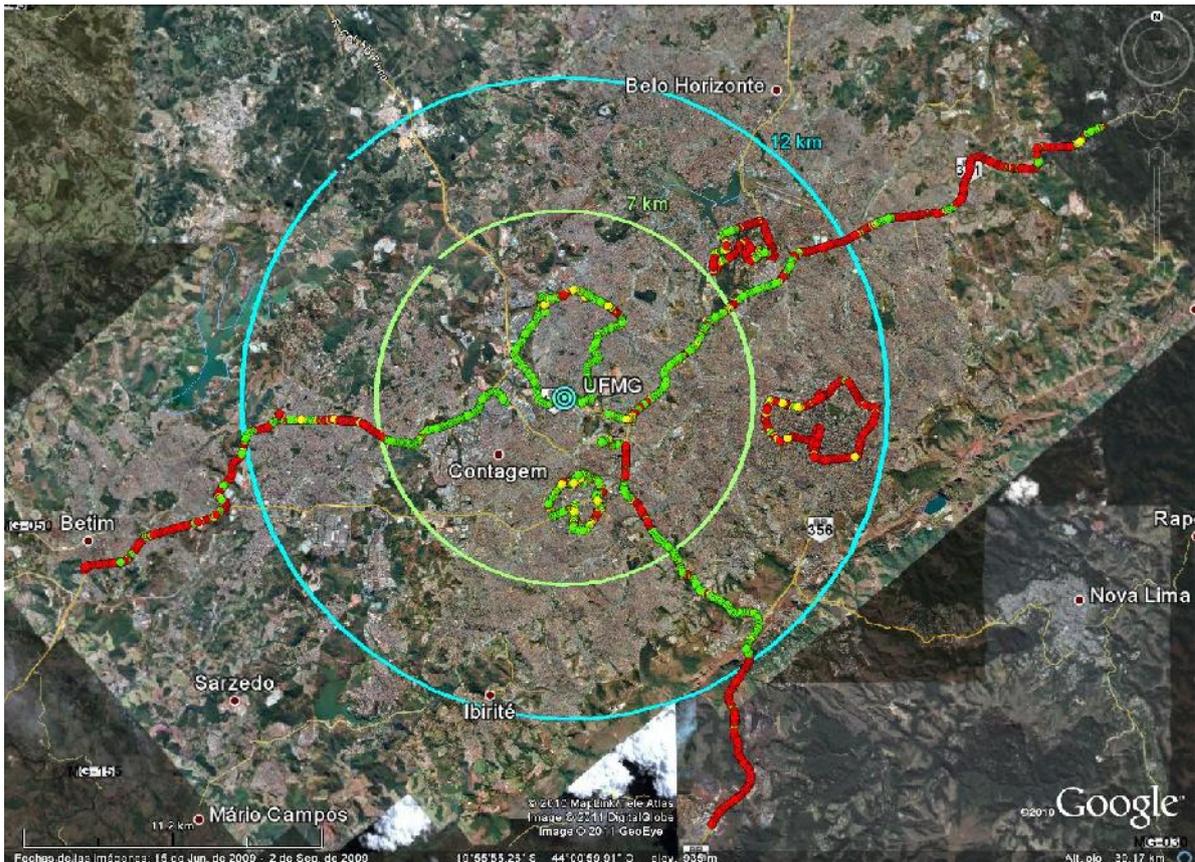
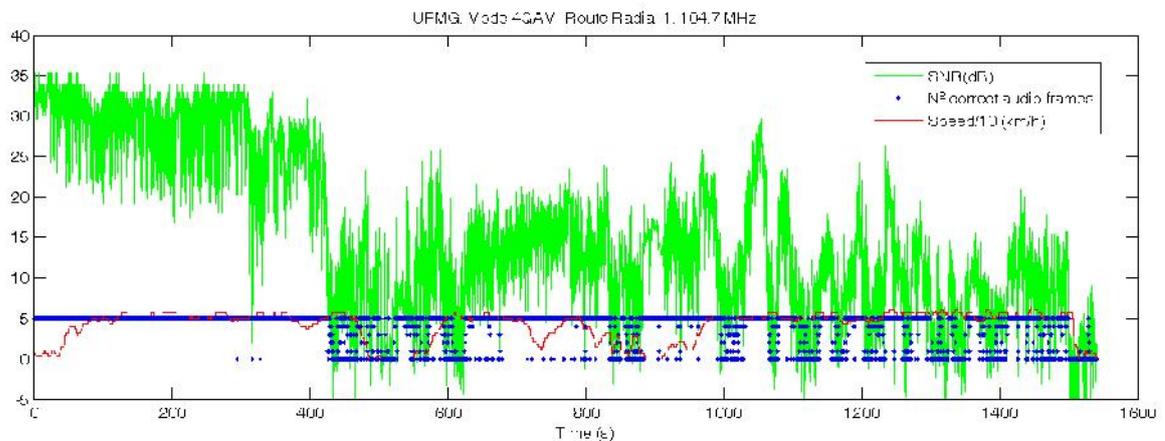


Figura 13 – Resultados da recepção móvel 4QAM



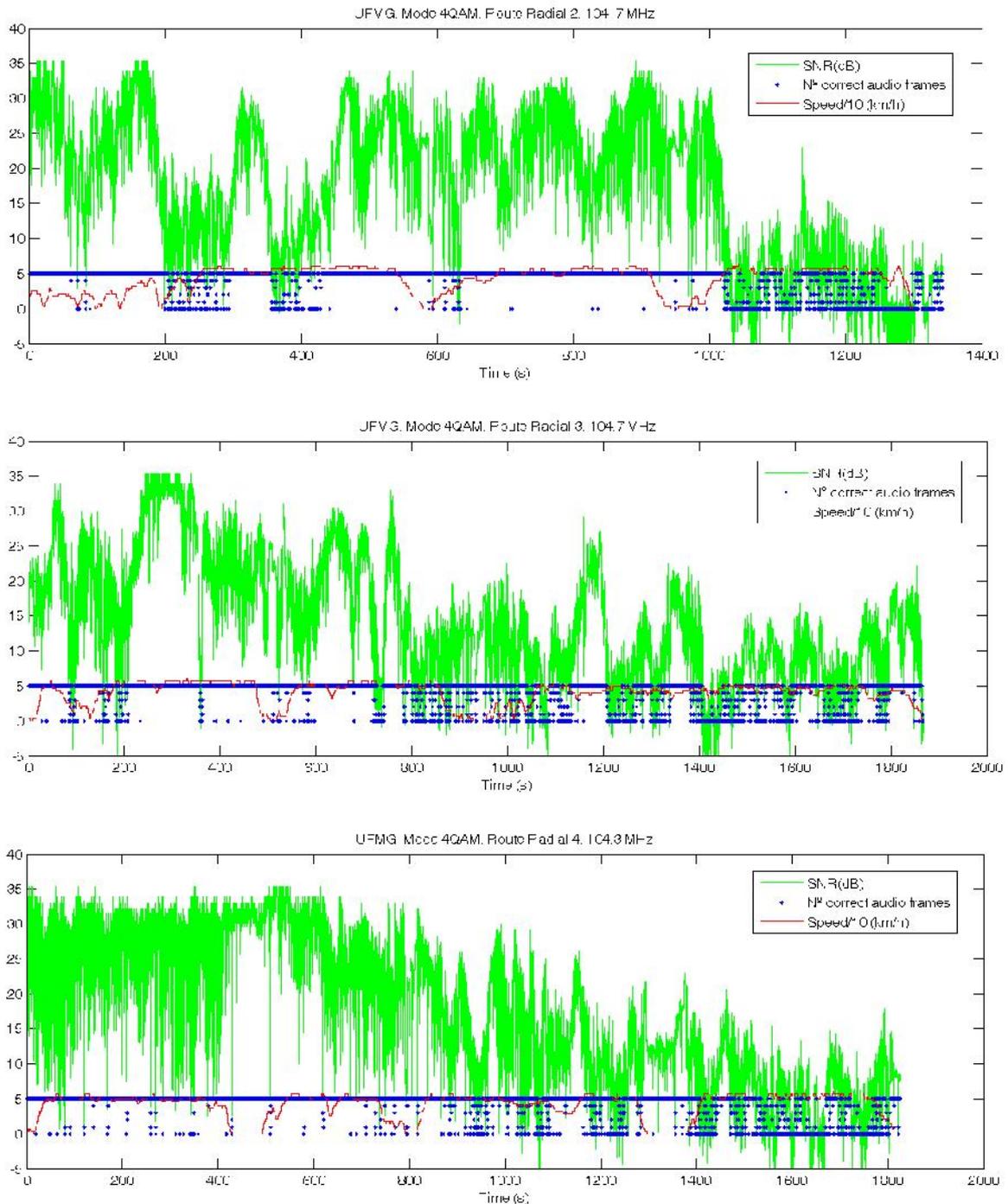


Figura 14 – Parâmetros da recepção móvel 4QAM das rotas radiais

As rotas 1 e 3 tiveram cobertura até cerca de 7 km. Na rota 2, a recepção é ruim perto do transmissor, mas depois há uma boa recepção até 12 km. Em geral, a cobertura móvel é de cerca de 7 km, mas é importante investigar a causa da recepção ruim na estrada perto do transmissor.

Nos ensaios realizados na Alemanha, com uma ERP de 30W, a cobertura é de cerca de 30 km [28] (que também está incluído no [29]). Mas deve ser considerado que esta cobertura é para o ambiente rural, enquanto que os testes da UFMG são feitos em ambiente urbano.

4.2.3. Limiares de recepção do modo 4QAM

Os limiares de recepção são calculados na Figura 15. Ela apresenta a intensidade de campo mediana e o SNR mediano de cada ponto medido. Comparando-se os pontos de recepção bons e ruins com estes valores estima-se o SNR e o limiar da intensidade de campo elétrico. Os resultados são mostrados com linhas azuis.

O limiar de SNR é de 8 dB. No padrão DRM [2] alguns limites de SNR simulados para os diferentes perfis de canal são calculados. Para um canal AWGN (recepção estática), uma modulação 4-QAM e uma taxa de código de 0,33 no canal MSC, o limiar é de 1.3 dB. Portanto, o valor obtido é maior do que o simulado. O modo utilizado é menos robusto (taxa de código 0.5) do que o utilizado na simulação (taxa de código de 0.33), por isso é normal ter um limite prático maior do que o teórico, mas a diferença é tão grande que não parece ser a causa do mesmo. Parece mais plausível pensar que o perfil do canal não é um AWGN. O canal AWGN é adequado para simular uma recepção em um topo de um prédio e não em estradas. Nestes testes, em ambiente urbano, o sinal não vem diretamente do transmissor. A quantidade de multipercursos é grande e muitas reflexões podem ocorrer em objetos móveis, como carros e ônibus. Em ensaios realizados na Alemanha [28] [29], com modulação 4-QAM e uma taxa de código de 0.33, o limite SNR calculado para recepção móvel foi de 10 dB, valor que é semelhante ao obtido em Belo Horizonte (neste caso para recepção estática).

O limiar de intensidade do campo calculado a partir da Figura 15 é de 27 dB μ V/m. Nos testes alemães [28], o limiar obtido para a intensidade de campo foi de 30 dB μ V/m (para recepção móvel), que é um valor semelhante ao aqui obtido para recepção estática.

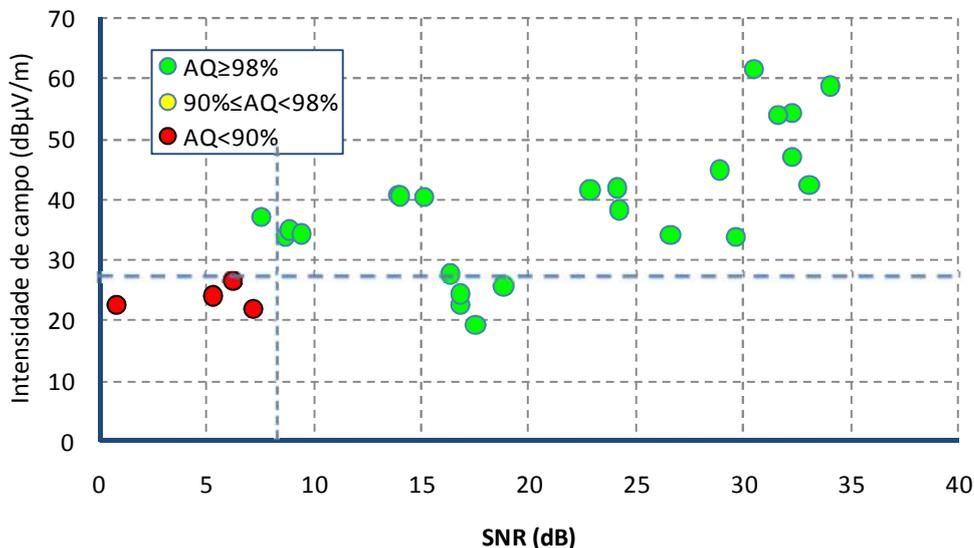


Figura 15 – Limites de recepção para a intensidade de campo e SNR do modo 4QAM.

4.3. Modo 16QAM

4.3.1. Avaliação da área de cobertura com recepção estática

Os resultados obtidos com o modo 16-QAM são mostrados na Tabela 7, Figura 16 e Figura 17. Em um raio de 7 km apenas um ponto não apresenta boa recepção, porém mesmo este ponto tem AQ maior que 90%. A área de cobertura total é superior a 90%. Num raio de 12 km existem apenas 70% de pontos com boa recepção. O problema principal reside no ambiente urbano denso da rota circular 1. Nesta rota todos os pontos têm recepção ruim, enquanto que entre 7 e 12 km (mesmas distâncias da rota circular 1) todos os outros pontos têm uma boa recepção, exceto um. Este fato mostra a redução da cobertura de 4-QAM modo para o modo 16-QAM. No primeiro caso, a área de cobertura pode ser avaliada em 12 km para 90% dos pontos, enquanto que com 16-QAM esta área está reduzida a um raio de 7 km (pelo menos em áreas urbanas densas). Este fato já era esperado, porque o modo de 4-QAM é mais robusto do que o modo 16-QAM.

	Raio de 7 km		Raio de 12 km		Total	
	Pontos	Porcentagem	Pontos	Porcentagem	Pontos	Porcentagem
Total	13	100%	27	100%	32	100%
AQ \geq 98%	12	92%	19	70%	20	62.5%
90% \leq AQ<98%	1	8%	1	4%	1	3%
AQ<90%	0	0%	7	26%	11	34.5%

Tabela 7 – Resultados da recepção estática do modo 16QAM

Os pontos mais próximos ao transmissor com a recepção ruim ou regular são o C3P1, R1P2 e todos os pontos da rota C1.

O motivo do resultado ruim no ponto C3P1 é desconhecido. A intensidade de campo é alta, 41 dB μ V/m, e a SNR também é alta, 27 dB. A razão mais provável é uma interferência ou alto nível de ruído durante um curto período de tempo. Nesta medição, o sinal DRM foi transmitido em 104.3 MHz, a frequência na qual uma interferência foi detectada em outros pontos de medições.

O R1P2 apresentou resultados ruins também em 4-QAM, por isso é esperado ter resultado ruim com o modo 16-QAM. A razão é provavelmente a mesma, ou seja, a intensidade de campo baixa devido a uma obstrução do terreno.

A área mais afetada é o ambiente urbano denso coberto na rota C1. Os níveis de ruído nesta rota são maiores do que outros lugares da cidade. Por exemplo, comparando com rota C3 (outra rota urbana), o nível médio de ruído de todos os pontos medidos de cada rota é 10 dB maior na rota C1 que na rota C3.

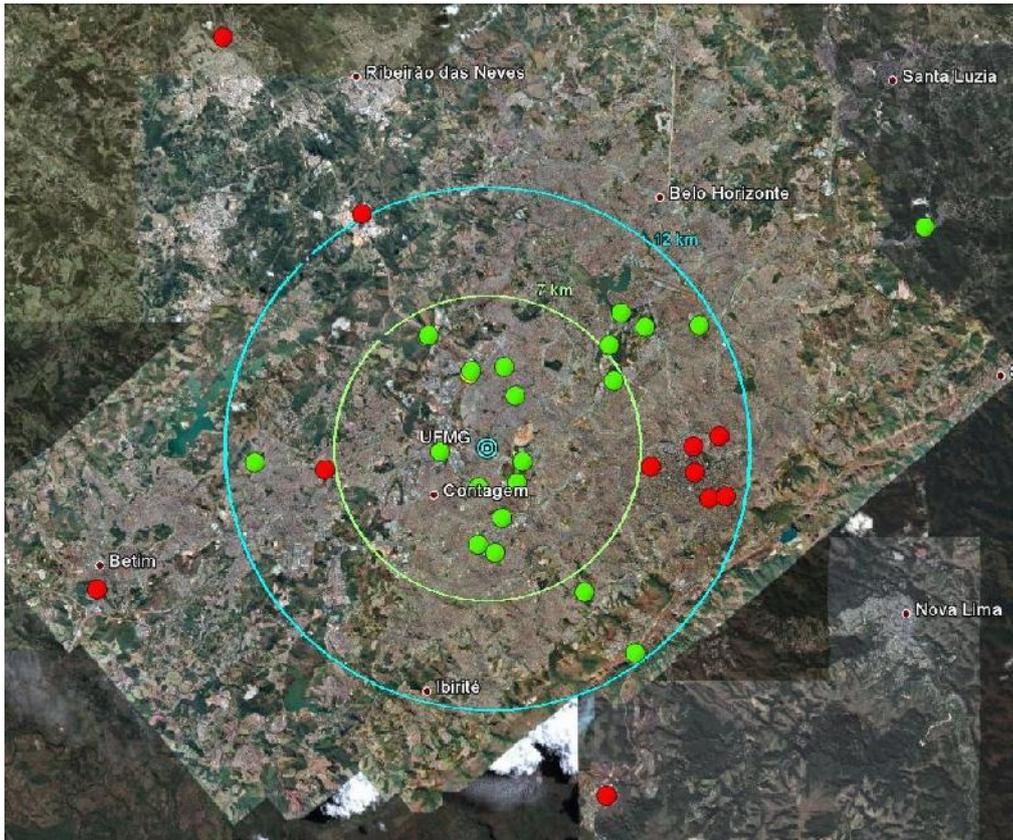


Figura 16 - Resultados da recepção estática no modo 16QAM, ilustrados no mapa.

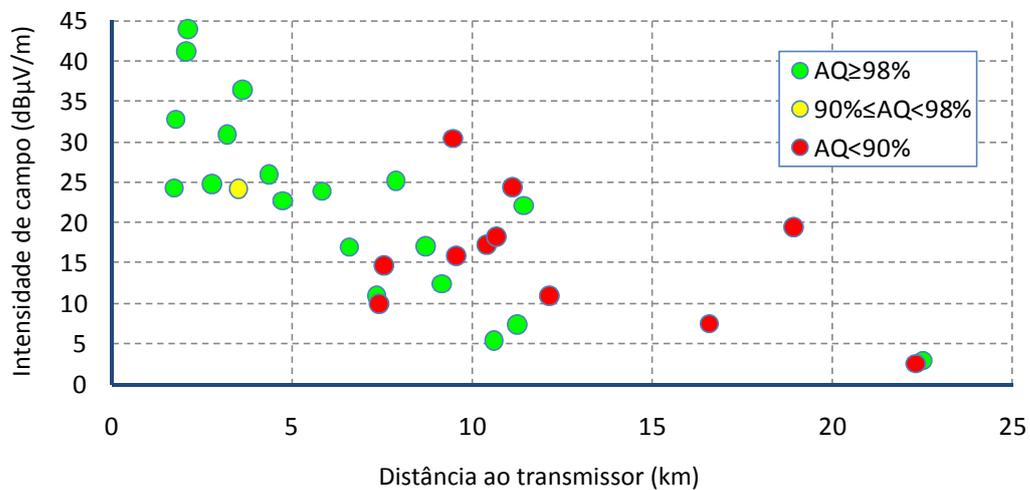


Figura 17 - Resultados da recepção estática 16QAM em função da distância ao transmissor

No gráfico da Figura 17 o ponto C3P3 não está plotado porque não houve gravação do espectro, logo a intensidade de campo elétrico é desconhecida.

4.3.2. Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

Os resultados são mostrados na Figura 18 e Figura 19. Os resultados da recepção móvel do 16-QAM apresentam a mesma área crítica perto do transmissor mencionada no modo 4-QAM, isto é, uma região na direção sudeste do transmissor, de 3 a 6 km de distância. Mas, por outro lado, as rotas 1 e 4 apresentam boa recepção até 7 km de distância do transmissor.

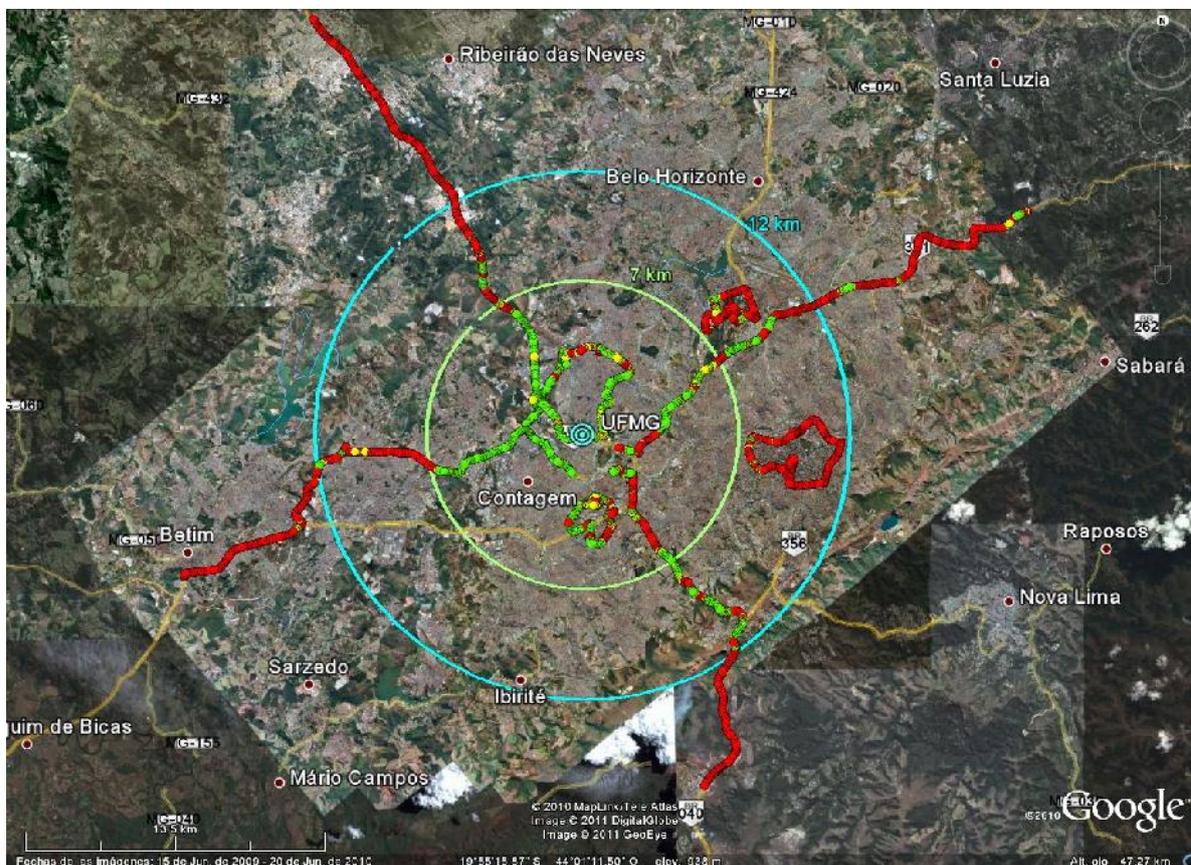
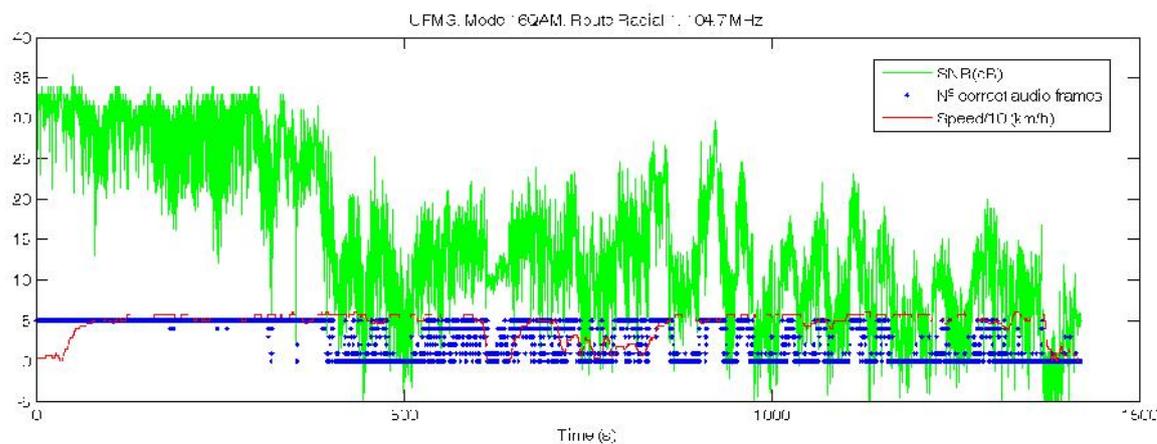


Figura 18 - Resultados da recepção móvel no modo 16QAM ilustrado no mapa



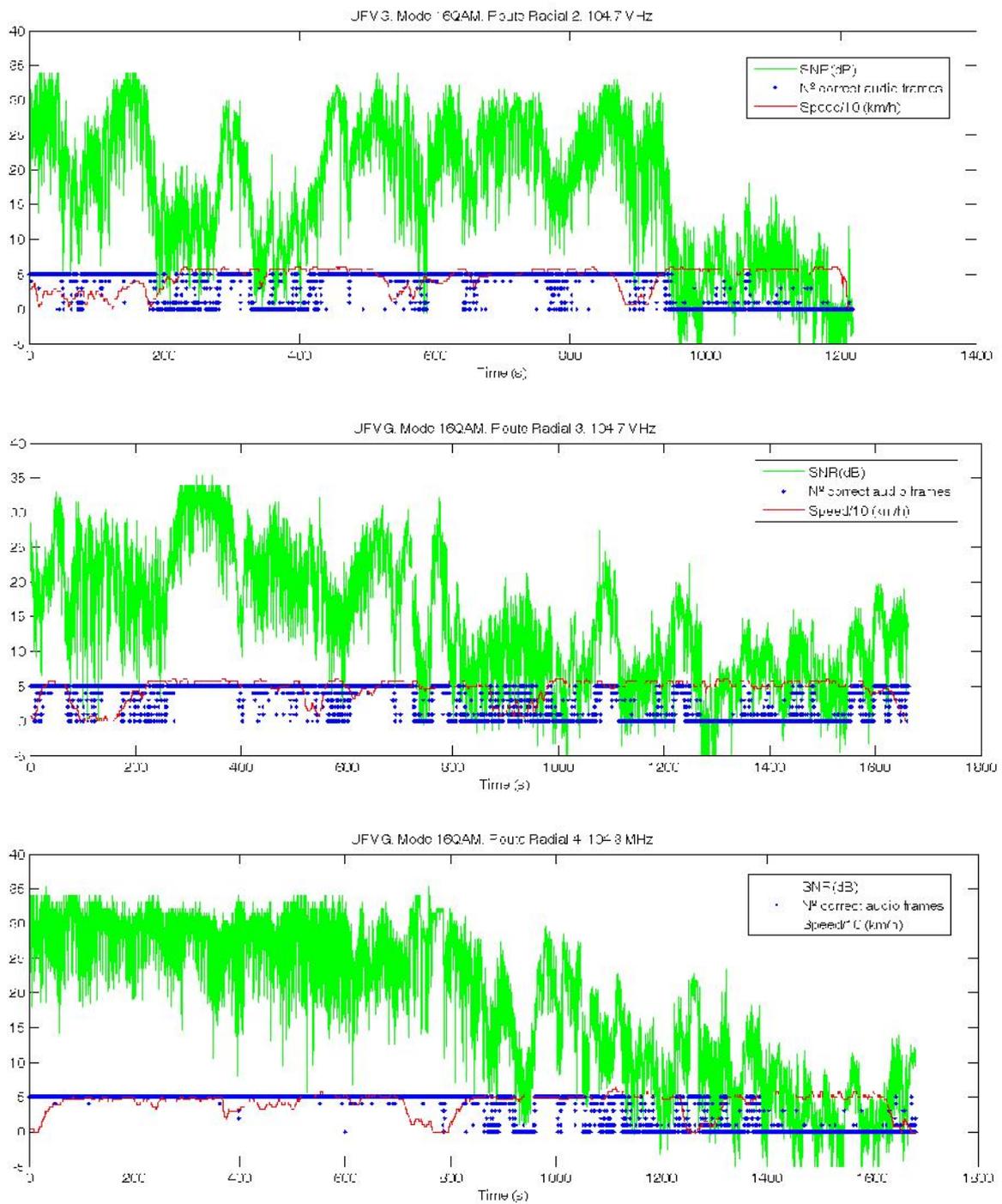


Figura 19 – Parâmetros da recepção móvel no modo 16QAM para rotas radiais

4.3.3. Limiares de recepção no modo 16QAM

Os limiares de recepção são obtidos na Figura 20. O limiar de SNR é aproximadamente 14 dB. De um modo semelhante aos resultados do 4-QAM, este valor é maior do que o valor dado no padrão DRM [2], que é de 7.9 dB para um canal AWGN. Por outro lado, é um valor inferior ao obtido nos testes alemães [28] [29], 18 dB para a recepção móvel.

O limiar de intensidade de campo obtido a partir da mesma Figura 20 é de 37 dB μ V/m. Este valor é um pouco menor do que o resultado obtido na Alemanha, 46 dB μ V/m. Mas também deve ser levado em conta que o resultado dos testes alemães é para recepção móvel.

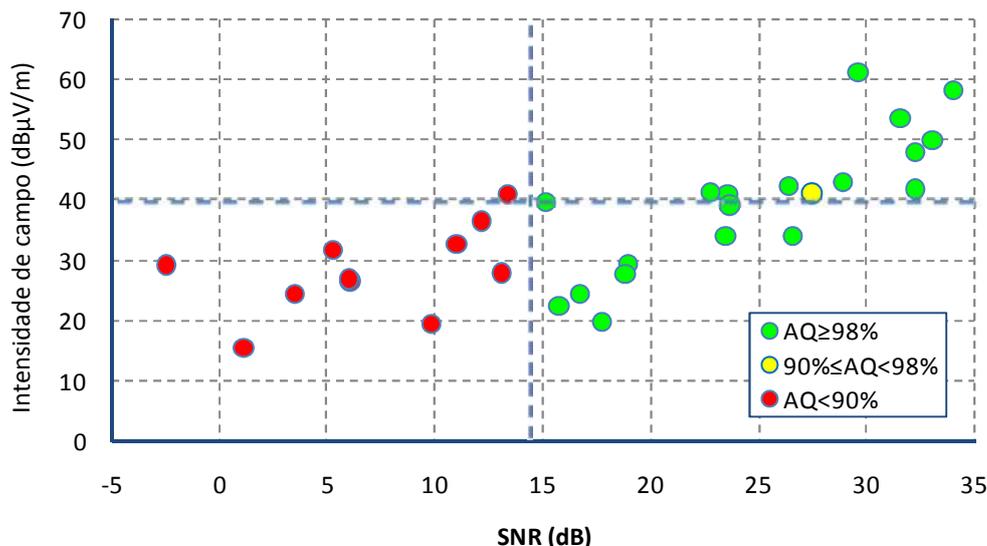


Figura 20-Intensidade de campo e limiares de SNR para recepção no modo 16QAM

O limiar de recepção da intensidade de campo do modo 16QAM também é muito menor do que os limiares FM [1], mostrando a grande economia de energia que é obtida com o DRM+ em comparação com FM.

5. ANEXOS

5.1. Sistema DRM

5.1.1. Histórico e padronização

A tecnologia *Digital Radio Mondiale* (DRM) é um padrão aberto de radiodifusão sonora digital. O Consórcio *Digital Radio Mondiale* (DRM) é uma organização internacional sem fins lucrativos composta por radiodifusores, provedores de rede, fabricantes de transmissores e receptores, universidades, associações de radiodifusores e institutos de pesquisa. Seu objetivo é apoiar e difundir um sistema de radiodifusão digital apropriado para uso em todas as faixas de frequências até a Banda III VHF. O Consórcio possui 93 membros e 90 financiadores de 39 países envolvidos até outubro de 2009 [4].

O DRM foi criado em Guangzhou, China em 1998, inicialmente com o objetivo de digitalização das bandas de radiodifusão AM até 30MHz (ondas longas, médias e curtas). A especificação do sistema DRM para a transmissão abaixo de 30MHz ("DRM30") foi publicado pela primeira vez pelo ETSI em 2001 [6], seguido de uma Recomendação ITU definindo a utilização do sistema de radiodifusão sonora digital a nível internacional [3].

Em 2005 foi tomada a decisão de estender o sistema de DRM para operar nas bandas de transmissão VHF, conhecido como "DRM+". Este trabalho requereu um desenvolvimento adicional necessário a fim de definir o novo modo de VHF, que, após refinamento através de ensaios laboratoriais e ensaios de campo, culminou na publicação da atual (e estendida) especificação DRM, a ETSI ES 201 980 [2].

5.1.2. Características do sistema

A tecnologia DRM é um padrão aberto, que permite que todos os fabricantes tenham acesso às especificações técnicas e possam projetar e fabricar os equipamentos. O DRM foi desenvolvido para oferecer melhor qualidade de áudio em bandas de radiodifusão AM. Na banda de Ondas Médias (normalmente conhecido como AM), o sistema DRM permite um modo simulcast com a alocação da banda do serviço de AM tradicional ao lado do sinal AM com boa qualidade de áudio. O sistema pode ocupar uma variedade de diferentes larguras de banda, dependendo da localização e as frequências em uso. Nas Américas é usada na banda de onda média a largura de 10 kHz, enquanto na Europa há uma largura de 9 kHz. Nas faixas de ondas curtas a largura de banda de 10 kHz também é usada. O sistema também permite o uso da metade e o dobro das larguras de banda, ou seja, as larguras de banda definidas são 4.5, 5, 9, 10, 18 e 20 kHz, para a transmissão abaixo de 30 MHz. A largura de banda definida para frequências acima de 30 MHz é de 95 kHz, que também é definida para a banda FM (VHF banda II).

O sistema DRM permite que as transmissões digitais existentes possam coexistir com as transmissões analógicas atuais, e uma parte significativa do trabalho tem sido feito para quantificar os parâmetros de operação para garantir a compatibilidade analógico/digital. Isto oferece atendimento no processo de transição da radiodifusão analógica para a digital. O sistema DRM permite que os transmissores analógicos sejam adaptados para transmissões digitais e analógicas.

Uma proposta é o uso da banda de 26 MHz para radiodifusão local [8]. O uso tradicional de bandas HF de transmissão de longa distância com grandes áreas de cobertura é feita principalmente através de reflexões na ionosfera (ondas celestes). Este tipo de propagação da onda é fortemente influenciado pela densidade de elétrons nas camadas da ionosfera nos céus, que é uma consequência da atividade solar. Por esta razão o programa é composto de radiodifusão em HF levando em consideração a hora do dia e mudanças sazonais na atividade solar e que o nível de atividade solar varia em ciclos de 11 anos. A propagação de ondas celestes também é influenciada pela frequência, pois quanto maior a frequência da onda transmitida, maior é a densidade de elétrons necessária para tornar possível o retorno da onda para a Terra e, portanto, para permitir a recepção do sinal [9]. Isso explica o baixo uso de frequências mais elevadas na faixa de HF para serviços de radiodifusão através de ondas celestiais (sendo mais afetada a banda MHz 26). A propagação em linha de vista não tem essas limitações e pode fornecer áreas de cobertura de vários quilômetros ao redor do transmissor nessas bandas de frequências, que podem então ser usadas para transmitir com cobertura local. Assim, a cobertura de uma cidade ou uma pequena região pode ser feita de forma semelhante ao rádio FM.

Em relação à largura do canal de 10 kHz, a taxa de streaming de mídia é limitada a cerca de 35 kbit/s para um único canal e 72 kbps quando se utilizam dois canais. Embora a taxa de bits não seja muito alta, a qualidade atinge ou ultrapassa a qualidade das transmissões em FM. O padrão avançado de codificação de áudio (AAC), combinado com a técnica SBR (Replicação da Banda do Sinal) fornece alta qualidade de áudio em taxas de bits muito baixas (por exemplo, 22 kbps). Além do padrão AAC, DRM define o uso dos codecs HVXC e CELP para uso na transmissão de sinais de voz em 4 kbps ou menos. Com o DRM30 com largura de banda de 18/20 kHz e com o DRM+, é possível transmitir áudio surround 5.1 [4].

5.1.3. Característica técnicas

O sistema digital de radiodifusão DRM (Digital Radio Mondiale) pode ser usado em bandas de frequências de rádio abaixo de 174 MHz, ou seja, ele pode ser usado nas bandas de radiodifusão LF, MF, HF e VHF, para substituir a radiodifusão analógica baseada em modulação de amplitude (AM) e frequência modulada (FM). O sistema operando em frequências abaixo de 30 MHz é chamado de DRM [2]-[4]. O DRM+ é uma extensão do sistema DRM para operar na faixa de frequência entre 30 e 174 MHz. Sinais DRM+ ocupam uma largura de banda de 95 kHz e oferecem taxas de bits de 35 kbps a 185 kbps com qualidade de som estéreo ou surround, além de serviços de dados. O sistema DRM tem a aprovação da União Internacional das Telecomunicações (UIT), da Comissão Eletrotécnica Internacional e é um padrão ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [2] [3] [10].

O sinal DRM utiliza modulação OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que fornece elevada robustez contra os efeitos de propagação. O sistema DRM permite modificar vários parâmetros do sistema para focar na qualidade da transmissão de radiodifusão sonora ou na robustez contra os efeitos do ruído, interferência, multipercurso e Efeito Doppler. Os principais parâmetros modificáveis são o modo de transmissão OFDM (que define o tempo de guarda e a separação entre as subportadoras), as modulações, a taxa de código para controle de erros e o grau de entrelaçamento. Quanto maior for a robustez fornecida pela configuração escolhida, menor a taxa de bits de dados eficaz disponível, e, conseqüentemente, menor a

qualidade do áudio. Além dos parâmetros mencionados acima, uma das seis larguras espectrais para DRM30 pode ser escolhida: 4.5 kHz, 5 kHz, 9 kHz, 10 kHz, 18 kHz ou 20 kHz. Para DRM+ a largura de banda é sempre 100 kHz (95 kHz ocupada).

Parâmetros	Modo de robustez				
	A	B	C	D	E
Espaçamento entre portadoras (Δf_p)	41.667 Hz	46.875 Hz	68.182 Hz	107.143 Hz	444.444 Hz
Duração da parte utilizável (ortogonal) de um símbolo OFDM ($T_u = 1/\Delta f_p$)	24 ms	21.333 ms	14.667 ms	9.333 ms	2.25 ms
Intervalo de guarda (T_g)	2.667 ms	5.333 ms	5.333 ms	7.333 ms	0.25 ms
Duração do símbolo OFDM ($T_s = T_u + T_g$)	26.667 ms	26.667 ms	20 ms	16.667 ms	2.5 ms
T_g/T_u	1/9	1/4	4/11	11/14	1/9

Tabela 5.1. Parâmetros dos símbolos OFDM dos modos robustos do DRM.

Modo de Robustez	Condições típicas de propagação	Utilização típica	
A	Canais gaussianos, com fading desprezível	Cobertura local ou regional por meio de onda de superfície nas bandas MW e LW. Cobertura local usando onda espacial em SW numa banda de 26 MHz.	DRM30
B	Canais seletivos no tempo e na frequência, com maior delay spread	Cobertura nacional e internacional usando onda celeste em bandas MW e SW.	
C	Tão robusto como o modo B, mas com maior espalhamento Doppler	Cobertura internacional utilizando onda celeste na banda SW.	
D	Tão robusto como o modo B, mas com severo espalhamento Doppler	Onda celeste requerendo elevada robustez, particularmente com incidência quase vertical na propagação da onda celeste para cobertura nacional em bandas SW.	
E	Canais seletivos no tempo e em frequência.	Transmissões em bandas VHF entre 30 and 174 MHz	DRM+

Tabela 5.2. Uso dos modos de robustez do DRM.

Os modos de transmissão OFDM oferecidos pelo sistema DRM são quatro para DRM30 e outro para DRM+, e eles são identificados pelas letras A, B, C, D e E. Estes modos diferem na separação das portadoras OFDM, o comprimento dos símbolos OFDM na duração e o intervalo de guarda do OFDM como é mostrado na Tabela 5.1 e Tabela 5.2 [2],[4]. O modo E é o modo concebido para as bandas de VHF, por isso é o modo usado nos ensaios em Belo Horizonte.

Os componentes das informações transmitidas pelo sistema de DRM são divididos e multiplexados em três canais lógicos: o Canal de Acesso Rápido (FAC), o Canal de Descrição de Serviço (SDC) e o Canal de Serviço Principal (MSC) [2] [4]. O MSC contém os serviços (áudio e dados) e, portanto, detém a maioria da capacidade de transmissão do sinal DRM. As portadoras que carregam o MSC podem usar modulação 16-QAM ou 64-QAM no DRM30 e 4-QAM ou 16-QAM no DRM+. O SDC contém uma descrição de como decodificar os serviços

contidos no MSC. As portadoras que transportam os dados do SDC sempre usam uma modulação mais robusta (ou seja, de ordem mais baixa) do que a utilizada pelo MSC.

O FAC transporta dados que informam ao receptor a largura espectral do sinal DRM, as modulações usadas com o SDC e o MSC, a intercalação, quantos serviços contém o MSC e o nome de tais serviços. O receptor decodifica o FAC primeiro, e depois decodificar o SDC e, finalmente, a MSC. Como o FAC carrega os dados mais críticos do sistema, exige uma maior robustez, o que é conseguido através de modulação 4-QAM e um FEC robusto [2].

Grupos de símbolos OFDM do MSC e SDC são entrelaçados no tempo, a fim de reduzir os efeitos de curto prazo do desvanecimento (fading). No DRM30 a extensão (número de símbolos) pode ser longa ou curta, o que corresponde a um intervalo de tempo de 0.4 s ou 2.4 s, respectivamente. Em DRM+ a profundidade do entrelaçador é única e é de 600 ms [2].

O sistema DRM oferece grande flexibilidade na codificação de fonte, permitindo a utilização de três esquemas de codificação: uma para codificação de áudio (AAC) e dois para codificação de voz (CELP e HVXC). A Figura 5.1 mostra as possibilidades de codificação de fonte (áudio) no sistema DRM. Os três codificadores disponíveis fazem parte do MPEG-4 e algumas de suas características são mostradas na Tabela 5.3.

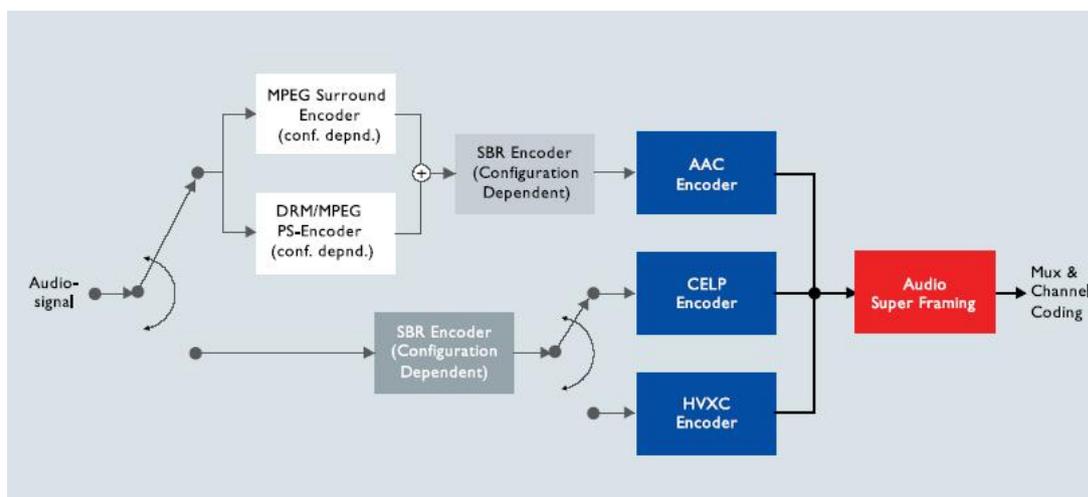


Figura 5.1.1. Opções de codificação de áudio no DRM.

O codificador AAC (Advanced Audio Coding) é para a codificação de áudio genérico, mono, estéreo ou surround. No sistema DRM, as taxas de amostragem permitidas com o AAC são de 12 kHz ou 24 kHz no DRM30 e de 24 kHz ou 48 kHz no DRM+. Em princípio, o áudio codificado teria então uma largura de banda menor que 6 kHz ou 12 kHz, respectivamente. No entanto, o sistema DRM permite o uso da técnica SBR (Spectral Band Replication) que é capaz de melhorar a percepção de um sinal de áudio espectralmente truncado baixas frequências. Ele usa, de forma dinâmica, o conteúdo espectral de informações de baixa frequência para criar uma imitação para as informações de alta frequência perdidas. Isto requer informações auxiliares do SBR que gastam aproximadamente de 2 kbps. Neste caso, o codificador AAC codifica um sinal de áudio de banda estreita - com largura de banda inferior a 6 (ou 12) kHz - e em paralelo o codificador SBR extrai e codifica apenas a forma (ou envoltória) do espectro de áudio original para frequências acima de 6 (ou 12) kHz. Essas duas informações, a saída do codificador AAC e saída de codificador SBR são transmitidas e usadas pelo decodificador para criar uma imitação das informações de alta frequência espectral perdidas, que são combinadas com as informações de baixa frequência espectral para produzir um sinal de áudio que se estende a 15 kHz ou mais.

Codificadores	Taxa de amostragem (kHz)	Taxa de bits (kbps)	Aplicação
AAC	12 e 24 para DRM30 24 e 48 para DRM+	Qualquer taxa de bits. A granularidade é 20 bps para DRM30 e 80 bps para DRM+.	Para codificação de áudio genérico, mono, stereo ou surround
CELP	8 e 16	4 a 20	Codificação de voz a baixas taxas de bits
HVXC	8	2 a 4	Codificação de voz a taxas de bits muito baixas

Tabela 5.3. Características dos codificadores de áudio DRM.

A combinação do codificador AAC com o esquema de SBR é chamado aacPlus ou HE AAC (High Efficiency AAC) [11]. O aacPlus é capaz de fornecer sinais de áudio estereofônico de alta qualidade (equivalente à qualidade oferecida por CDs) com taxas de bit em torno de 48 kbps, e os sinais de áudio mono com qualidade próxima ao proporcionado pelas estações de FM podem ser alcançados a taxas de bits em torno de 20 kbps.

O sistema DRM permite também o uso de um sistema estéreo paramétrico, que usa uma técnica de síntese para decodificar o sinal de áudio para melhorar o mono AAC, dando a percepção de um sinal estéreo. Este esquema também exige a transmissão de informações auxiliares que gastam cerca de 2 kbps e é extraído pelo codificador do sinal original de áudio estéreo. Portanto, para implementar a expansão de largura de banda e o estéreo paramétrico é necessário gastar mais cerca de 4 kbps. No entanto, estes dois regimes, quando combinados com codificação AAC, proporcionam uma excelente qualidade de áudio com uma taxa de bits total tão baixa quanto 20 kbps [11].

O codificador de voz CELP MPEG-4 (Code Excited Linear Prediction) fornece boa qualidade em baixas taxas de bits, como mostra a Tabela 5.3. Ele permite ao DRM transmitir até quatro programas de fala (notícias, por exemplo), ou o mesmo programa em até quatro idiomas, o que é de grande interesse internacional na radiodifusão.

O codificador de voz HVXC (Harmonic Vector Excitation Coding) usa taxas de bit menores que o codificador CELP, como mostra a Tabela 5.3. Destina-se igualmente para a transmissão simultânea de diversos programas de fala ou o mesmo programa em até quatro idiomas diferentes. Ele também possibilita aos programas de rádio ser armazenados na memória flash.

5.1.4. Testes realizados com a tecnologia DRM

O padrão DRM cobre muitas bandas de frequência nas quais ocorrem diferentes modos de propagação. Os modos de transmissão podem ser o *simulcast*, redes SFN ou AFS. Para avaliar o desempenho do sistema nestas bandas e essas possibilidades, vários testes de campo foram realizados.

Em 2005, uma campanha de extensas medições foi realizada em Madrid e nas regiões vizinhas, o que originou o documento ITU-6E 175E "Digital Radio Mondiale (DRM) Daytime Tests "[12]. O principal objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do DRM utilizando a banda de onda média.

Neste trabalho foi apresentado um estudo de comparação detalhada entre os valores de campo medido em ambientes suburbanos e rurais e os valores previstos dados pela Recomendação ITU-R p.368-7. O principal resultado desta análise levou a um casamento muito bom entre os dados previstos pelo método de Millington é [13] e os valores medidos. Para distâncias de até 35 km do transmissor, um áudio com qualidade perfeita pode ser observado tanto em áreas rurais como suburbanas. No km 35-70, havia algumas poucas quedas do áudio. O possível efeito da velocidade do veículo não parece ser significativo para a recepção [12] [14]. A partir das medições dos campos foram obtidos valores de C/N para a recepção mínima do DRM que foram comparados com a relação C/N mínima recomendada pela UIT. Os resultados da comparação foram satisfatórios e estão resumidos no artigo de Gorka Prieto et al [15].

Outros ensaios na faixa MW foram realizados no México [16], França [17], Índia [4] e outros países com bons resultados. Ensaios realizados na Alemanha mostraram o bom desempenho da rede SFN em MW [18].

A proposta do Consórcio DRM é o uso da banda de 26 MHz para cobertura local. Em 2005, as medições foram realizadas na Cidade do México, cujos resultados foram mostrados por JM Matias et al [19], para examinar a radiodifusão na cobertura local para faixa alta do HF (26 MHz). A propagação em linha de vista é o principal mecanismo de propagação dentro de uma faixa de vários quilômetros a partir do transmissor, embora a propagação das ondas de superfície também seja relevante nas proximidades do transmissor. Os resultados mostraram que os diferentes ambientes urbanos estudados não foram significativamente afetados pela variação temporal na intensidade dos campos medidos. Em outros estudos realizados em Brasília, os resultados foram melhores, porque o ambiente é amigável [20].

A transmissão SW para longas distâncias ou a cobertura nacional em bandas tropicais têm sido alvo de pesquisas e testes desde o início do Consórcio. O RADIATE (Radio Digital Am Tests) foi um projeto para testar o sistema DRM em todas as bandas. Os testes de SW mostraram a viabilidade do sistema de DRM para esta aplicação. Os resultados mais relevantes foram enviados para a ITU [18] e EBU [21]. Devido à variabilidade de propagação SW, em 2001, o Consórcio decidiu criar um sistema de monitoramento de longo prazo para avaliar a confiabilidade do sistema em longos períodos de tempo. Os primeiros resultados deste sistema mostraram uma confiabilidade mais de 90% na maioria dos casos [22] [23]. O Consórcio tem feito testes em MFN, SFN e NVIS (próximo de incidência vertical da onda celeste, para a banda tropical), mas mais dos estudos não têm sido relatados em publicações científicas. Uma dos mais importantes foram os ensaios NVIS feitos na Tailândia, em 2002, aonde o modo B se mostrou insuficiente para este tipo de propagação. Após estes resultados, o modo C e D foram desenvolvidos para NVIS.

O primeiro teste de transmissão DRM+ foi realizado em 21 de novembro de 2007, em Hannover, Alemanha. Foi uma transmissão com potência de mínima de 18 W em 95.2 MHz. Foram testes subjetivos de recepção de FM em canais vizinhos com e sem a presença de DRM+ sinal no ar. As conclusões foram que o primeiro transmissor DRM+ operado com sucesso e a transmissão não causaram interferências nos sinais FM visíveis [24].

De março a maio de 2008, a Universidade de Ciências Aplicadas de Kaiserslautern realizou testes de campo na banda VHF II em Kaiserslautern. Seus objetivos foram verificar e ampliar os resultados de laboratório sobre a compatibilidade entre FM e DRM+ e obter os primeiros resultados sobre a cobertura de DRM+ [25]. As transmissões eram feitas a partir de uma estação de rádio experimental da Universidade com 35 W entre 87.6 e 87.9 MHz. A

compatibilidade foi avaliada em termos de recepção fixa e móvel e concluiu que o DRM+ e os sistemas FM poderiam coexistir na banda FM, uma vez que se verificou que ambos os sinais têm um grau semelhante de interferência em um sinal de FM. Ou seja, em comparação com FM, para viabilizar a compatibilidade, o sinal DRM+ deve estar 5 dB abaixo para co-canal e canal adjacente, enquanto que com uma separação maior do que 200 kHz entre canais, não há problemas de compatibilidade.

De junho a agosto de 2009, a Universidade de Kaiserslautern fez outra campanha de ensaios em campo com a mesma infra-estrutura com o objetivo de avaliar a cobertura real do DRM+ em comparação com o estimado [26]. Os resultados mostraram que a recepção fixa e móvel do DRM+, com modulações 4-QAM e 16-QAM, tinha uma cobertura significativamente maior que o FM. Em qualquer local da recepção o limiar de recepção era pelo menos 20 dB mais baixo para o DRM+.

Também em junho, a Universidade de Kaiserslautern fez uma demonstração do DRM+ na banda I (50-68 MHz na Região 2 da UIT), em Paris, França, para as autoridades de regulamentação das telecomunicações do país. O sinal DRM+ foi transmitido a partir do Tour Peyel com uma potência de 400 W a 64.5 MHz, e foi recebido a 10 km de distância nos escritórios do governo. O DRM+ provou ser uma solução técnica para as estações que podem ser integrados a um multiplex DAB (Eureka-147) por razões de custo, cobertura ou saturação da banda de FM [27].

Outros testes foram realizados na Banda II (banda de FM) em 19 de janeiro e 03 de março de 2010 em Hanover, na Alemanha, pelo Instituto de Tecnologia de Comunicações da Universidade de Hanover. O transmissor estava operando com 30 W em 95.2 MHz e foi testada a recepção com os modos 4-QAM e 16-QAM em ambientes urbanos e rurais. De acordo com os resultados, o modo 4-QAM foi recebido com boa qualidade, com valores de intensidade de campo abaixo de 30 dB μ V/m e uma SNR de 10 dB, enquanto que para o modo de 16-QAM a recepção foi possível abaixo 46 dB μ V/m e cerca de 18 dB de SNR. A recepção foi perdida a uma distância de 30 km para o modo 4-QAM e cerca de 15 km para o 16-QAM [28] [29].

O padrão DRM não cobre a Banda III do VHF (174-216 MHz na Região 2 da UIT), mas alguns testes foram feitos sobre esta banda. No mesmo período dos ensaios anteriores relatados, a Universidade de Hanover também fez testes na banda III com os mesmos objetivos e na mesma área. O transmissor foi operado em 176.64 MHz, com uma potência de 30 W. O modo 4-QAM foi recebido com boa qualidade, com intensidade de campo inferior a 35 dB μ V/m e uma SNR de 12 dB. A cobertura chegou a 30 km. Por outro lado, no modo 16-QAM uma boa recepção é alcançada com 48 dB μ V/m e um SNR de 20 dB, até 15 km de distância do transmissor [31].

Em fevereiro de 2010 a Universidade de Kaiserslautern testou o DRM+ na Band III para verificar os resultados obtidos em laboratório. Os testes foram realizados nos mesmos locais de testes de banda II. Nos pontos fixos foi medida a relação de proteção DRM+, quando foi interferido por um sinal DAB. Ensaios de laboratório mostraram que ambos os sinais poderiam coexistir. O sinal DAB é mais sensível e precisa de 10 dB de relação de proteção em relação ao DRM+. Enquanto isso, o sinal DRM+ só precisa de -7 dB de relação de proteção no modo 4-QAM e -2 dB com o modo 16-QAM. Estes resultados foram confirmados nestes ensaios de campo. Por outro lado, os resultados indicam que a recepção móvel de DRM+ comparada com o DAB e o DAB+ dentro da área de cobertura é aceitável e que o DRM+ pode ser recebido em velocidades muito elevadas (até 230 km/h) [30].

Em 29 e 30 de novembro de 2009, o primeiro teste de campo do DRM+ na região da Ásia-Pacífico foi realizado no Sri Lanka. O objetivo era medir a cobertura e a recepção móvel. O transmissor utilizou 47 W em 87.6 MHz e 4 rotas foram definidas, que começaram no transmissor e cruzaram áreas urbanas e rurais. A cobertura com boa recepção foi até 9 km, mas com áreas sem recepção devido à interferência de estações de FM em canais adjacentes [32].

Todos os ensaios foram feitos com baixa potência e mostraram um bom desempenho do sinal DRM+. Eles também mostraram a possibilidade de usar esta tecnologia na banda I (50-68 MHz) e banda III (174-216 MHz), mesmo que esta banda não seja coberta pela última versão do padrão DRM [2].

5.2. Detalhes das rotas utilizadas nas medições

Neste anexo são descritos os detalhes sobre a localização e as rotas de medições.

Tipo de rota	Rota	Descrição
Radial	R1	Rota Sudoeste
	R2	Rota Sul
	R3	Rota Nordeste
	R4	Rota Noroeste
Circular	C1	Rota urbana – Savassi
	C2	Rota UFMG
	C3	Rota Urbana
	C4	Rota Industrial

Tabela 5.4.– Rotas planejadas para os testes com Rádio UFMG

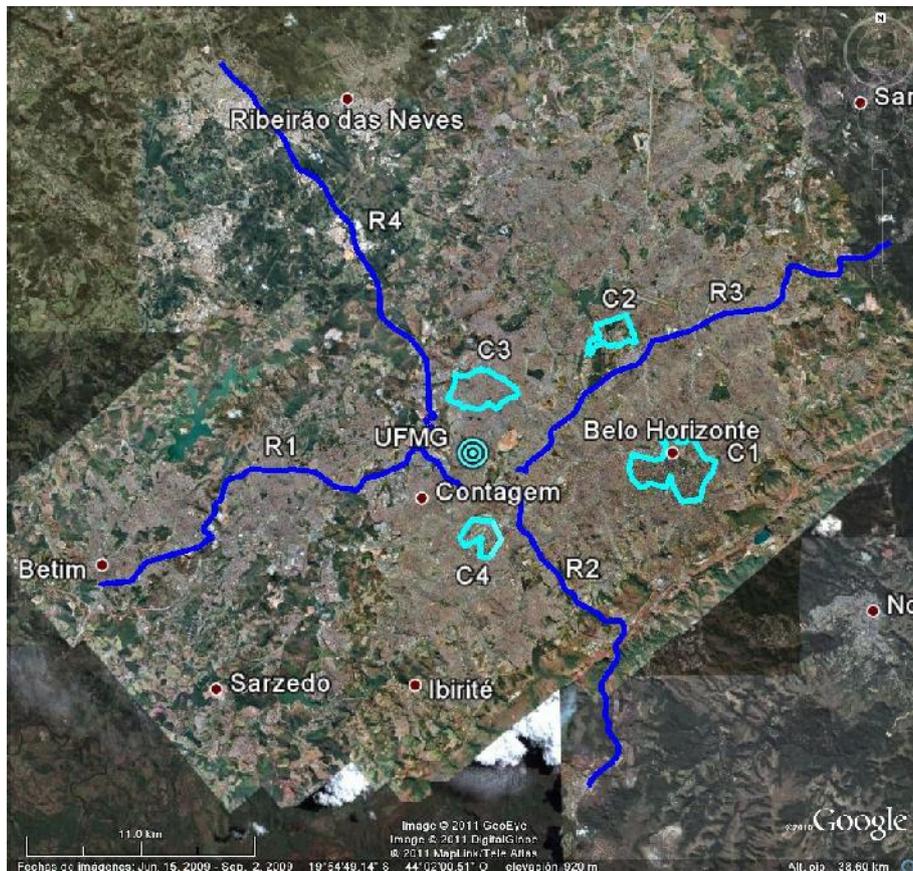


Figura 5.1.2.-Rotas planejadas para os testes da Rádio UFMG no mapa

A Tabela 5.5 e Tabela 5.6 apresentam os detalhes das medições feitas durante os testes. As Tabelas e Figuras seguintes mostram as rotas e os pontos de medição planejados. Algumas pequenas diferenças entre os pontos planejados e medidos e nas rotas ocorrem porque nem sempre foi possível medir de acordo com o planejamento.

Ponto	Rota	Latitude	Longitude	Distância do transmissor (km)	Azimute do transmissor (°)
R1P1	Radial 1	19°55'14.78"S	44° 3'1.01"W	2.13	266°
R1P2	Radial 1	19°55'41.53"S	44° 6'1.22"W	7.51	263°
R1P3	Radial 1	19°55'30.53"S	44° 7'52.40"W	10.6	267°
R1P4	Radial 1	19°58'39.00"S	44°12'1.13"W	18.93	250°
R2P1	Radial 2	19°56'0.70"S	44° 1'0.06"W	2.07	138°
R2P2	Radial 2	19°58'42.65"S	43°59'14.34"W	7.88	146°
R2P3	Radial 2	20° 0'11.42"S	43°57'55.66"W	11.44	144°
R2P4	Radial 2	20° 3'40.55"S	43°58'40.33"W	16.57	161°
R3P1	Radial 3	19°55'29.22"S	44° 0'51.49"W	1.74	109°
R3P2	Radial 3	19°53'29.50"S	43°58'28.05"W	6.60	62°
R3P3	Radial 3	19°52'6.69"S	43°56'13.44"W	11.25	58°
R3P4	Radial 3	19°49'39.74"S	43°50'17.85"W	22.5	63°
R4P1	Radial 4	19°56'7.65"S	44° 2'0.73"W	1.78	192°
R4P2	Radial 4	19°52'22.04"S	44° 3'19.39"W	5.83	333°
R4P3	Radial 4	19°49'21.90"S	44° 5'3.55"W	12.14	332°
R4P4	Radial 4	19°44'59.70"S	44° 8'42.21"W	22.31	327°
C1P1	Circular 1	19°55'6.10"S	43°56'20.90"W	9.5	89°
C1P2	Circular 1	19°55'36.81"S	43°57'29.94"W	7.54	96°
C1P3	Circular 1	19°55'45.00"S	43°56'20.50"W	9.57	96°
C1P4	Circular 1	19°56'23.82"S	43°55'58.28"W	10.41	103°
C1P5	Circular 1	19°56'20.97"S	43°55'32.34"W	11.13	101°
C1P6	Circular 1	19°54'51.81"S	43°55'41.94"W	10.65	87°
C2P1	Circular 2	19°52'9.41"S	43°57'39.01"W	9.14	52°
C2P2	Circular 2	19°52'36.39"S	43°58'34.83"W	7.36	50°
C2P3	Circular 2	19°51'48.35"S	43°58'16.70"W	8.75	44°
C3P1	Circular 3	19°53'19.10"S	44° 2'13.86"W	3.52	348°
C3P2	Circular 3	19°53'14.79"S	44° 2'12.24"W	3.64	348°
C3P3	Circular 3	19°53'8.72"S	44° 1'20.17"W	3.84	12°
C3P4	Circular 3	19°53'51.49"S	44° 1'2.77"W	2.78	28°
C4P1	Circular 4	19°56'52.74"S	44° 1'23.74"W	3.21	167°
C4P2	Circular 4	19°57'44.49"S	44° 1'34.76"W	4.73	175°
C4P3	Circular 4	19°57'32.10"S	44° 2'1.44"W	4.36	186°

Tabela 5.5. - Detalhes da localização dos pontos de medições estáticas

Trecho	Rota	Comprimento do trecho (km)
R1P1 a R1P2	Radial 1	6.4
R1P2 a R1P3	Radial 1	3.4
R1P3 a R1P4	Radial 1	10.7
R2P1 a R2P2	Radial 2	6.6
R2P2 a R2P3	Radial 2	4.6
R2P3 a R2P4	Radial 2	7.4
R3P1 a R3P2	Radial 3	6.2

R3P2 a R3P3	Radial 3	4.9
R3P3 a R3P4	Radial 3	13.0
R4P1 a R4P2	Radial 4	9.1
R4P2 a R4P3	Radial 4	6.6
R4P3 a R4P4	Radial 4	10.4
C1P1 a C1P2	Circular 1	3.2
C1P2 a C1P3	Circular 1	3.9
C1P3 a C1P4	Circular 1	2.1
C1P4 a C1P5	Circular 1	0.7
C1P5 a C1P6	Circular 1	3.4
C1P6 a C1P1	Circular 1	1.4
C2P1 a C2P2	Circular 2	3.4
C2P2 a C2P3	Circular 2	2.1
C2P3 a C2P1	Circular 2	3.4
C3P1 a C3P2	Circular 3	0.15
C3P2 a C3P3	Circular 3	2.5
C3P3 a C3P4	Circular 3	2.9
C3P4 a C3P1	Circular 3	9.1
C4P1 a C4P2	Circular 4	4.2
C4P2 a C4P3	Circular 4	1.7
C4P3 a C4P1	Circular 4	2.5

Tabela 5.6. - Detalhes das medições em mobilidade

R1 – Rota Sudoeste

Comprimento: 20,5 km

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância do tx (km)
R1P1	Latitude	19°55'16.59"S	Via Expressa de Contagem	2.07
	Longitude	44° 2'58.94"W		
R1P2	Latitude	19°55'51.02"S	Via Expressa de Contagem (6 km do ponto P1)	7.09
	Longitude	44° 5'47.52"W		
R1P3	Latitude	19°55'34.54"S	Via Expressa de Contagem (3.7 km do ponto P2)	10.55
	Longitude	44° 7'49.87"W		
R1P4	Latitude	19°58'35.15"S	Via Expressa de Contagem (10.7 km do ponto P3)	18.85
	Longitude	44°11'59.52"W		

Tabela 5.7. – Pontos planejados de medições estáticas na Rota R1

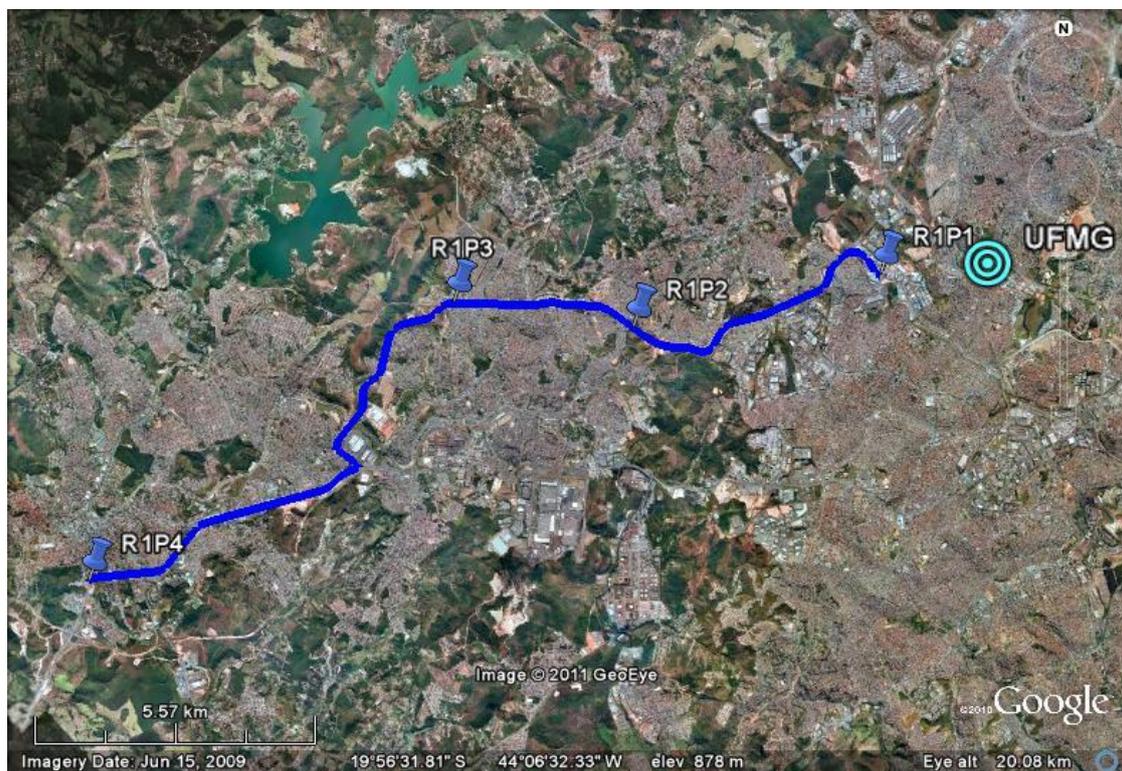


Figura 5.1.3-R1, Rota Sudoeste

R2 – Rota Sudeste

Comprimento: 19 km

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância do tx (km)
	Latitude	Longitude		
R2P1	Latitude	19°56'0.61"S	Rua C – Santa Maria	2.08
	Longitude	44° 1'0.34"W		
R2P2	Latitude	19°58'42.66"S	BR 040 (6.8 km do ponto P1)	7.91
	Longitude	43°59'13.55"W		
R2P3	Latitude	20° 0'12.99"S	BR 040 (4.7 km do ponto P2)	11.52
	Longitude	43°57'56.16"W		
R2P4	Latitude	20° 3'40.04"S	BR 040 – Posto Chefão (7.7 km do ponto P3)	16.65
	Longitude	43°58'40.76"W		

Tabela 5.8.- Pontos planejados de medições estáticas na Rota R2

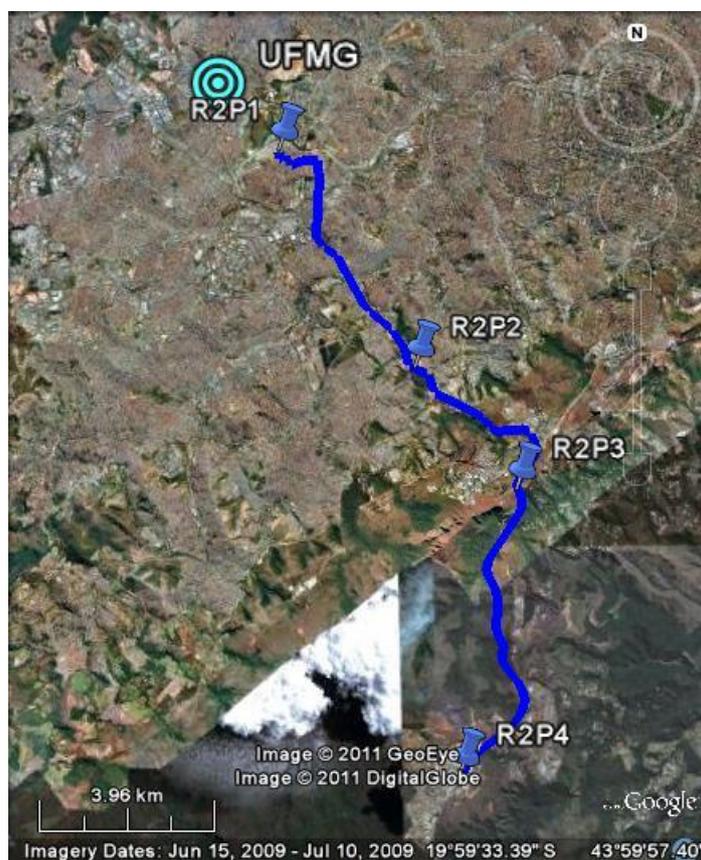


Figura 5.1.4-R2, Rota Sul

R3- Rota Nordeste

Comprimento: 24 km

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância do tx (km)
	Latitude	Longitude		
R3P1	Latitude	19°55'34.96"S	Rua Margarida Assis Fonseca	2.36
	Longitude	44° 0'30.93"W		
R3P2	Latitude	19°53'24.30"S	Marginal Rod Anel Rodoviário (6.3 km do ponto P1)	6.89
	Longitude	43°58'20.17"W		
R3P3	Latitude	19°52'5.91"S	Marginal Rod Anel Rodoviário (4.7 km do ponto P2)	11.32
	Longitude	43°56'11.64"W		
R3P4	Latitude	19°49'39.42"S	BR 381 (13 km do ponto P3)	22.57
	Longitude	43°50'17.35"W		

Tabela 5.9.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota R3

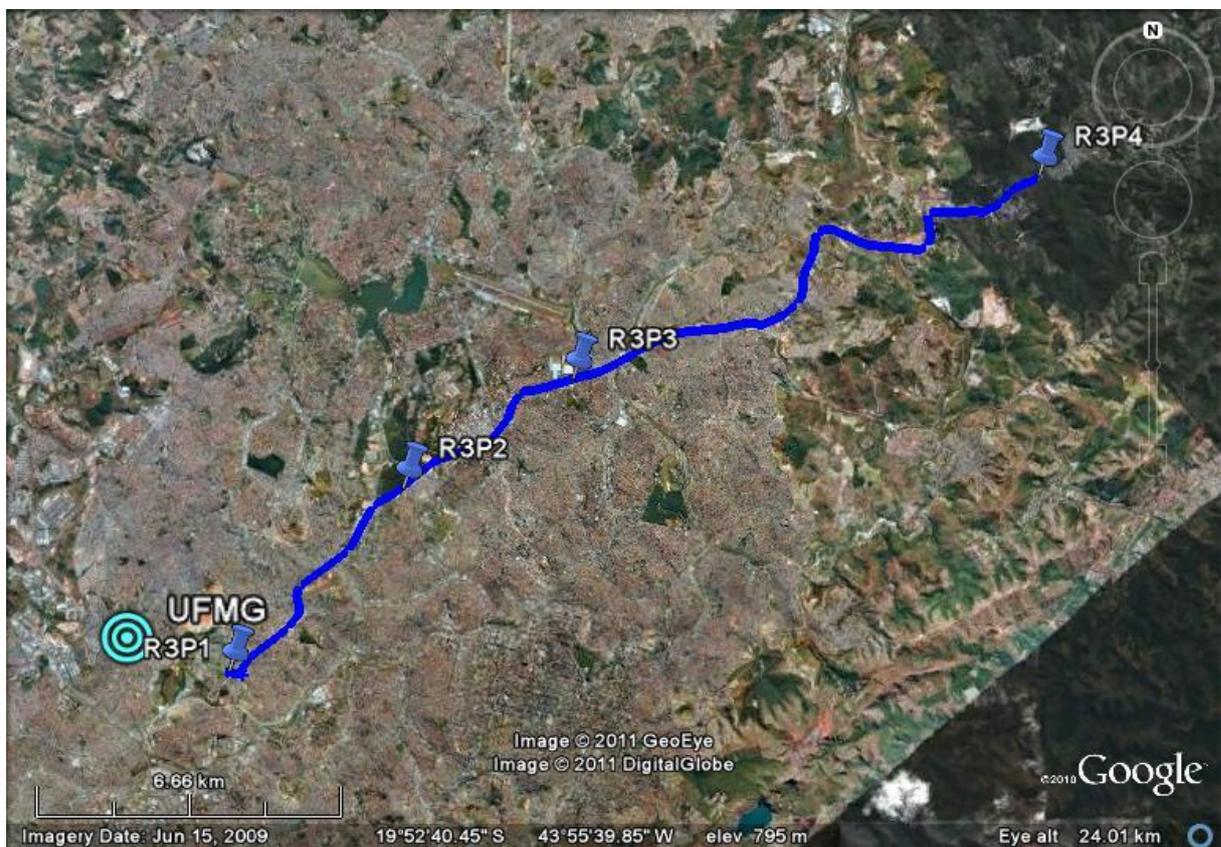


Figura 5.1.5-R3, Rota Nordeste

R4 – Rota Noroeste

Comprimento: 27.3 km

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância do tx (km)
	Latitude	Longitude		
R4P1	Latitude	19°56'8.66"S	Via Expressa de Contagem – Posto	1.82
	Longitude	44° 1'58.90"W		
R4P2	Latitude	19°52'23.38"S	BR 040 – Posto	5.80
	Longitude	44° 3'17.53"W		
R4P3	Latitude	19°49'23.14"S	BR 040 (6.7 km do ponto P2)	12.18
	Longitude	44° 5'4.28"W		
R4P4	Latitude	19°45'1.52"S	BR 040 (10.4 km do ponto P2)	22.35
	Longitude	44° 8'40.24"W		

Tabela 5.10.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota R4.

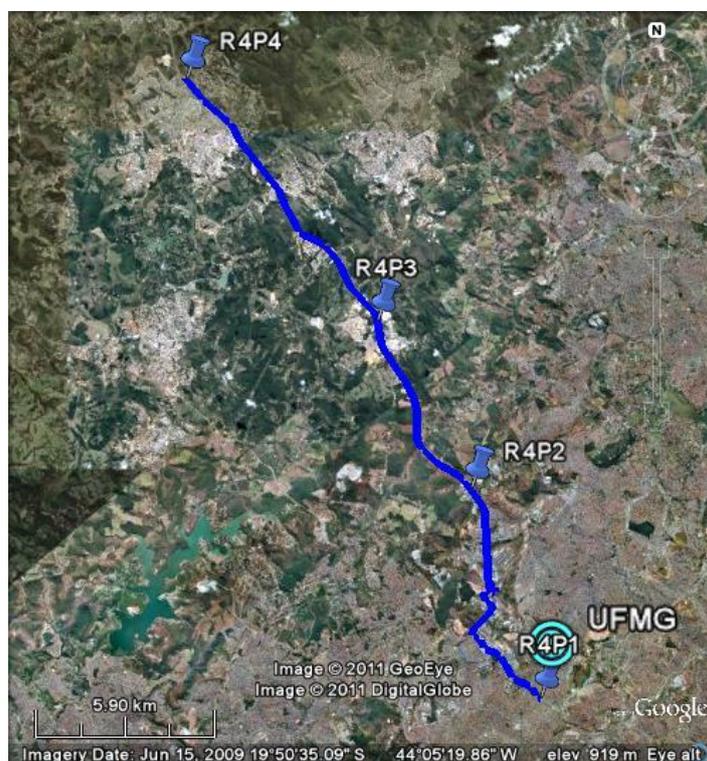


Figura 5.1.6-R4, Rota Noroeste

C1 – Rota Urbana (Savassi)

Comprimento: 14.1 km

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância do tx (km)
	Latitude	Longitude		
C1P1	Latitude	19°56'24.04"S	Av. Contorno – Proximidades da ANATEL	10.45
	Longitude	43°55'57.89"W		
C1P2	Latitude	19°55'20.42"S	Av. Contorno – Proximidades da Praça Floriano Peixoto	11.54
	Longitude	43°55'10.76"W		
C1P3	Latitude	19°54'52.83"S	Proximidades da Rodoviária	9.29
	Longitude	43°56'29.36"W		
C1P4	Latitude	19°55'36.73"S	Av. Contorno com Rua Nepomuceno	9.58
	Longitude	43°57'29.94"W		
C1P5	Latitude	19°55'44.55"S	Rua Bernardo Guimarães com Espírito Santo	9.42
	Longitude	43°56'26.43"W		

Tabela 5.11.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota C1.



Figura 5.1.7-C1, Rota Urbana (Savassi).

C2 – Rota UFMG

Comprimento: 7.9 km

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância ao transmissor (km)
C2P1	Latitude	19°52'31.96"S	Entrada da Escola de Engenharia	7.55
	Longitude	43°58'31.11"W		
C2P2	Latitude	19°52'15.14"S	Faculdade de Ed. Física	9.15
	Longitude	43°57'35.48"W		
C2P3	Latitude	19°51'49.81"S	Estacionamento do Mineirão	8.71
	Longitude	43°58'18.03"W		

Tabela 5.12.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota C2



Figura 5.1.8-C2, Rota UFMG

C3 – Rota Urbana

Comprimento: 9 km

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância ao transmissor (km)
C3P1	Latitude	19°53'56.46"S	Rua Bragança com Rua Padre Júlio Maria	2.33
	Longitude	44° 1'56.23"W		
C3P2	Latitude	19°53'20.93"S	Av. Prof. Clóvis Salgado – Posto do Beto	3.50
	Longitude	44° 2'16.51"W		
C3P3	Latitude	19°53'10.69"S	Av. Princesa Isabel – Posto Supremo	3.91
	Longitude	44° 1'5.81"W		
C3P4	Latitude	19°53'53.02"S	Rua Amintas Jaques de Moraes após Rua Vila Velha	2.77
	Longitude	44° 1'1.01"W		

Tabela 5.13.-Pontos planejados de medições estáticas na Rota C3.

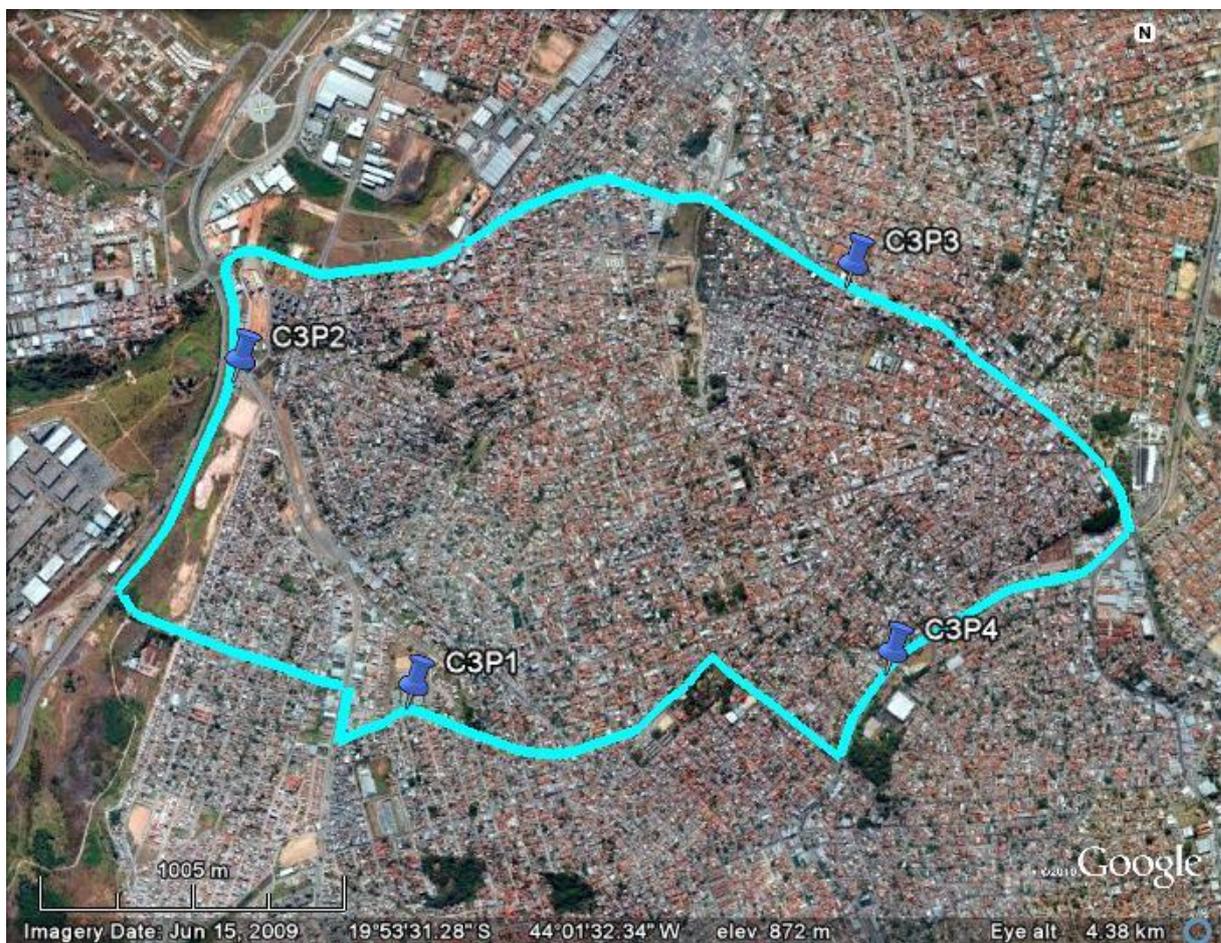


Figura 5.1.9-C3, Rota Urbana

C4 – Rota Industrial

Comprimento: 6.8 km

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância ao transmissor (km)
C3P1	Latitude	19°56'52.80"S	Estacionamento Itaú Power Shopping	3.24
	Longitude	44° 1'23.18"W		
C3P2	Latitude	19°57'44.49"S	Av. Babita Camargos com Rua Quatro	4.75
	Longitude	44° 1'34.08"W		
C3P3	Latitude	19°57'31.25"S	Entrada Av. General David Sarmoff pela Av. Card. Eugênio Pacelli	4.35
	Longitude	44° 2'1.81"W		

Tabela 5.14.-Pontos planejados para medições estáticas na Rota C4.



Figura 5.1.10-C4, Rota Industrial.

5.3. Interferência em 104.3 MHz

Durante os ensaios foi observada interferência na frequência de 104.3 MHz. A Tabela 5.15 resume os valores da potência do sinal de interferência que foi calculado com os espectros gravados pelo analisador de espectro. A potência da interferência foi calculada através da integração da potência em uma largura de banda de 200 kHz.

Ponto de medição	Modo DRM	Potência (dBm)
R1P2	4QAM	- 76.7
	16QAM	-76.3
R1P4	4QAM	-64.4
	16QAM	-64.9
R2P3	4QAM	-86.3
	16QAM	-86.5
R2P4	4QAM	-91.6
	16QAM	-90.9

Tabela 5.15. – Potência do sinal de interferência em 104.3 MHz

Os pontos restantes não puderam ser medidos porque a potência da interferência estava abaixo do nível de ruído do analisador de espectro, ou porque não foi medido com sinal de DRM em 104.7 MHz (o sinal DRM poderia esconder a interferência).

5.4. Resultados da recepção estática

As estatísticas mais importantes dos resultados da recepção estática são mostradas na tabelas seguintes.

Ponto	Distância do Transmissor (km)	Qualidade do Audio (%)	SNR Média (dB)	Intensidade de Campo Média (dB μ V/m)
R1P1	2.2	100	30.5	61
R1P2	7.4	73.4	6.3	26
R1P3	10.6	100	16.8	22
R1P4	18.9	0	0.8	22
R2P1	2.1	100	33.9	59
R2P2	7.9	100	24.1	42
R2P3	11.4	100	24.2	38
R2P4	16.6	46.5	5.3	24
R3P1	1.7	99.9	22.8	41
R3P2	6.6	99.9	26.6	34
R3P3	11.3	100	16.8	24
R3P4	22.5	100	17.5	19
R4P1	1.8	98.5	32.2	46
R4P2	5.8	96.2	25.1	43
R4P3	12.1	97.8	17.8	26
R4P4	22.3	96.8	9	16
C1P1	9.5	37.7	7.2	22
C1P2	7.5	99.6	8.8	35
C1P3	9.6	100	9.4	34
C1P4	10.4	100	7.5	37
C1P5	11.1	100	13.9	40

C1P6	10.7	98.9	8.6	34
C2P1	9.1	99.9	16.3	28
C2P2	7.4	100	18.8	26
C2P3	8.8	100	29.6	34
C3P1	3.5	99.1	31.5	54
C3P2	3.6	99	32.2	54
C3P3	3.8	98.6	15.1	40
C3P4	2.8	100	33	42
C4P1	3.2	99.2	32.2	47
C4P2	4.7	99.5	13.8	41
C4P3	4.4	100	28.9	45

Tabela 5.16 - Resultados da recepção estática DRM+ com o modo 4QAM

Ponto	Distância do Transmissor (km)	Qualidade do Audio (%)	SNR Média (dB)	Intensidade de Campo Média (dB μ V/m)
R1P1	2.1	99.6	29.5	61
R1P2	7.4	1.2	5.9	27
R1P3	10.6	99.5	15.7	22
R1P4	18.9	0	1.1	16
R2P1	2.1	99.7	33.9	58
R2P2	7.8	99.9	26.3	42
R2P3	11.4	100	23.6	39
R2P4	16.5	0.7	3.4	24
R3P1	1.7	99.9	22.7	41
R3P2	6.5	99.9	26.5	34
R3P3	11.2	99.3	16.7	24
R3P4	22.5	99.7	17.6	20
R4P1	1.7	99.8	33.0	50
R4P2	5.8	99.9	23.5	41
R4P3	12.1	83.5	13.1	28
R4P4	22.3	8.2	9.7	19
C1P1	9.4	0.4	6	27
C1P2	7.5	61.3	12.1	37
C1P3	9.5	8.9	10.9	33
C1P4	10.4	0	5.2	32
C1P5	11.1	89.4	13.3	41
C1P6	10.6	0	-2.4	29
C2P1	9.1	99.9	18.9	29
C2P2	7.3	100	18.8	28
C2P3	8.7	99.4	23.4	34
C3P1	3.5	92.3	27.4	41
C3P2	3.6	99.6	31.5	53
C3P3 ⁽¹⁾	3.8	99.9	19.3	-
C3P4	2.7	100	32.2	42
C4P1	3.2	100	32.2	48
C4P2	4.7	99.9	15.1	40
C4P3	4.3	100	28.8	43

Tabela 5.17-Resultados da recepção estática DRM+ com o modo 16-QAM

(1) No ponto C3P3 não houve registro do analisador do espectro, logo a intensidade de campo elétrico é desconhecida.

5.5. Resultados da recepção móvel

As estatísticas mais importantes dos resultados da recepção móvel são mostradas nas tabelas seguintes.

Trecho	Qualidade do Audio (%)	SNR Média (dB)
R1P1 a R1P2	89.0	27.2
R1P2 a R1P3	77.6	13.2
R1P3 a R1P4	59.0	8.8
R2P1 a R2P2	85.2	20.8
R2P2 a R2P3	97.4	23.7
R2P3 a R2P4	36.6	4.9
R3P1 a R3P2	93.5	22.6
R3P2 a R3P3	81.8	14.6
R3P3 a R3P4	56.8	8.7
C1P1 a C1P2	74.8	12.6
C1P2 a C1P3	50.9	8.6
C1P3 a C1P4	39.8	5.8
C1P4 a C1P5	60.2	9.4
C1P5 a C1P6	31.1	5.1
C1P6 a C1P1	53.6	7.1
C2P1 a C2P2	67.0	12.2
C2P2 a C2P3	77.7	16.9
C2P3 a C2P1	58.8	10.1
C3P1 a C3P2	89.7	22.1
C3P2 a C3P3	96.8	25.8
C3P3 a C3P1	99.9	31.0
C4P1 a C4P2	96	21.6
C4P2 a C4P3	98.0	24.5
C4P3 a C4P1	96.4	24.8

Tabela 5.18 - Resultados da recepção móvel DRM+ com o modo 4QAM

Trecho	Qualidade do Audio (%)	SNR Média (dB)
R1P1 a R1P4	50.4	13.2
R2P1 a R2P4	60.2	18.1
R3P1 a R3P4	52.8	13.8
R4P1 a R4P2	99.8	28.8
R4P2 a R4P3	54.0	14.5
R4P3 a R4P4	6.4	5.0
C1P1 a C1P2	52.6	14.6
C1P2 a C1P3	27.3	10.4
C1P3 a C1P4	5.2	4.1
C1P4 a C1P5	11.3	7.2
C1P5 a C1P6	1.6	5.3
C1P6 a C1P1	13.8	7.7
C2P1 a C2P2	34.4	11.8

C2P2 a C2P3	68.6	17.9
C2P3 a C2P1	31.5	10.8
C3P1 a C3P2	75.5	18.9
C3P2 a C3P3	87.5	28.5
C3P3 a C3P1	97.7	28.5
C4P1 a C4P2	86.5	20.8
C4P2 a C4P3	94.0	24.0
C4P3 a C4P1	97.4	26.6

Tabela 5.19 – Resultados da recepção móvel DRM+ com o modo 4QAM

5.6. Foto



Figura 5.1.11-Instalação da antena

BIBLIOGRAFIA

- [1] Anatel, Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada (Resolução nº67, de 12 de novembro de 1998, D.O.U. 26/03/1999 – Alterada pela resolução nº 349, de 25 de setembro de 2003).
- [2] ETSI ES 201 980: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, v3.1.1, 2009.
- [3] Rec. ITU-R BS.1514-1: Systems for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz, 2002.
- [4] “DRM Broadcaster’s Guide. Version 1.1”, DRM Consortium, June 2010.
- [5] Guia para avaliação do Sistema de Rádio Digital DRM na faixa de Onda Média 2009. Anatel, October 2010. Available at <http://www.anatel.gov.br/>.
- [6] ETSI TS 101 980: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, v1.1.1, 2001
- [7] G. Prieto, I. Pichel, D. Guerra, P. Angueira, J.M. Matías, J.L. Ordiales, A. Arrinda, “Digital Radio Mondiale: Broadcasting and Reception”, Dubrovnik (Croacia), IEEE Melecon 2004.
- [8] DRM, “Broadcasters’ User Manual”, A Digital Radio Mondiale™ (DRM™) Publication. 1st edition., p. 47., Março 2004
- [9] P. M. Hall et al., “*Radiowave propagation*” IEEE Electromagnetic Waves Series 30, Peter Peregrinus Ltd., 1989
- [10] “IEC 62272-1 “Digital Radio Mondiale (DRM)—Part 1: System Specification,” International Electrotechnical Commission, 2003.
- [11] M. Dietz, S Meltzer, “CT-aacPlus – A state-of-the-art audio coding system.” EBU Technical review N°291, 2002
- [12] ITU Radio Communications Study Group. E-175E Document. “Digital Radio Mondiale DRM Daytime Tests”, 2005
- [13] ITU-R P.368-7 (03/92) Recommendation, “Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz”.1992
- [14] D. Guerra, G. Prieto, I. Fernandez, J. M. Matias, P. Angueira, and J.L. Ordiales, “Medium wave DRM field test results in urban and rural environments,” IEEE Trans. Broadcasting, vol. 51, no. 4, pp. 431–438, December 2005
- [15] Gorka Prieto, Manuel Velez, Pablo Angueira, David Guerra, and David de la Vega, “Minimum C/N Requirements for DRM Reception based on Field Trials, IEEE Communications Letters, Vol. 9, No. 10, pp. 877–879, October 2005
- [16] ITU Radio Communications Study Group. 6E-403E Document. “MW Simulcast Tests in Mexico DF”, 2006
- [17] ITU Radio Communications Study Group. 6E-183E Document. “Digital Sound Broadcasting in the Broadcasting Bands Below 30 MHz. First Simulcast Field Tests in MW”, 2002
- [18] ITU Radio Communications Study Group. 6E-54E Document. “Digital Broadcasting at Frequencies below 30 MHz. MF and HF Field Tests Report Summary. Final System Performance Report for IST-RADIATE 1999-20113 for ITU ”, 2004
- [19] Matias, J. M.; Corderi, I. L.; Angueira, P.; Gil, U.; Ordiales, J. L.; Arrinda, A.; “DRM (Digital Radio Mondiale) Local Coverage Tests Using the 26 MHz Broadcasting Band”, IEEE Transactions on Broadcasting, Vol 53, Issue 1, Part 1, p. 59-68, March 2007
- [20] Neves, R.G.; Pena, I.; Lima, F.F.; Abdalla, H.; Angueira, P.; Silva, L.M, “Local digital radio in the 26 MHz band using DRM - Results of the Brasilia field trials”, Microwave and Optoelectronics Conference, 2007. IMOC 2007.
- [21] James Briggs, “Digital Broadcasting Below 30 MHz: DRM a Summary of the Field Trials”. EBU Technical Review, N° 296. October 2003

- [22] ITU Radio Communications Study Group. 6E-200E Document. “Longterm Tests Results (February 2002)”, 2002
- [23] Matias, J. M.; Guerra D.; G. Prieto; Angueira P., Fernandez I., “Descriptions and Results of the DRM Long Term Tests”, 5th Workshop Digital Broadcasting, Erlangen (Germany), September 2004.
- [24] Maier, Friederike; Waal, Albert; Pagel, D. “DRM+ Field Trial Hanover. 2008”.
- [25] Steil, Andreas; Schad, Felix; Feilen, Michael; y Hedrich, Ewald. “Leaving the dead-end street: New ways for the digitisation of the VHF-FM sound broadcasting with DRM+. Part I: DRM+ Field Trial: Concept, Setup, and First Results”. 9th Workshop Digital Broadcasting. Erlangen, Germany, September 2008.
- [26] Steil, Andres; Lehnert, Joachim; Schad, Felix; y Köhler, Martin. “Leaving the dead-end street: New ways for the digitisation of the VHF sound broadcasting with DRM+”. 10th Workshop Digital Broadcasting. Ilmenau, Germany, September 2009.
- [27] “DRM+ successfully trialled in Paris”. DRM Consortium Press Summary. 12th June, 2009
- [28] Maier, Friederike. “Preliminary report: DRM+ measurements in band II”. Institute of Communications Technology, University of Hanover, 2010
- [29] Digital Radio Mondiale (DRM). “Comments on preliminary draft revision to Recommendation ITU-R BS.1114-6”. ITU-R, Document 6A/347-E 2010
- [30] Steil, Andreas y Lehnert, Joachim. “DRM+. A perfect complement to DAB/DAB+ in VHF band III - Technical results, planning aspects, and regulatory work”. 11th Workshop Digital Broadcasting. Erlangen, Germany, September 2010.
- [31] Maier, Friederike y Pagel, Detlef. “Preliminary report: DRM+ measurements in band III”. Institute of Communications Technology, University of Hanover, 2010.
- [32] Cornell, Lindsay. “DRM+ Tests and Trials”. DRM Consortium, 2011.