# NOTA TÉCNICA

**Nota Técnica: Ditel/06/2012**

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

## 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 ..... 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. Modo 4QAM ..... 14
4.1.1. Avaliação da área de cobertura com recepção estática ..... 14
4.1.2. Avaliação da área de cobertura com recepção móvel ..... 16
4.1.3. Recepção Indoor ..... 18
4.1.4. Limiares de recepção no modo 4QAM ..... 18
4.2. Modo 16QAM ..... 19
4.2.1. Avaliação da área de cobertura com recepção estática ..... 19
4.2.2. Avaliação da área de cobertura com recepção móvel ..... 21
4.2.3. Recepção Indoor ..... 23
4.2.4. Limiares de recepção no modo 16QAM ..... 24
4.3. Resultados da Recepção FM ..... 24
4.3.1. Avaliação da área de cobertura com recepção estática ..... 24
4.3.2. Recepção Indoor do FM ..... 26
4.4. Comparação entre os resultados da recepção FM e DRM+ ..... 26

**5. ANEXOS ..... 29**

5.1. Sistema DRM ..... 29
5.1.1. Histórico e padronização ..... 29
5.1.2. Características do sistema ..... 29
5.1.3. Característica técnicas ..... 30
5.1.4. Testes realizados com a tecnologia DRM ..... 33
5.2. Detalhes das rotas utilizadas nas medições ..... 37
5.3. Detalhes dos Resultados das Medições ..... 39

**BIBLIOGRAFIA ..... 43**

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas da emissora Itatiaia. 8

Tabela 2 – Modos de transmissão do DRM+ utilizados durante os testes. 10

Tabela 3 – Principais equipamentos de medição utilizados nos testes. 12

Tabela 4 – Parâmetros de Medição. 12

Tabela 5 – Resultados da recepção estática no modo 4QAM 15

Tabela 6: Resultados da recepção móvel, no modo 4QAM. 16

Tabela 7 – Resultados da recepção indoor no modo 4QAM. 18

Tabela 8 - Resultados da recepção estática no modo 16QAM. 20

Tabela 9 - Resultados da recepção móvel, no modo 16QAM. 21

Tabela 10 - Resultados da recepção indoor no modo 16QAM. 23

Tabela 11- Resultados do FM analógico em recepção estática. 25

Tabela 12 - Resultados da recepção indoor do FM analógico. 26

Tabela 13 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática. 27

Tabela 14 - Resumo dos resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática. 27

Tabela 15 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ em recepção indoor. 28

Tabela 16 - Resumo dos resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção indoor. 28

Tabela 5.1. Parâmetros dos símbolos OFDM dos modos robustos do DRM. 31

Tabela 5.2. Uso dos modos de robustez do DRM. 31

Tabela 5.3. Características dos codificadores de áudio DRM. 33

Tabela 5.4. Detalhes da localização das medidas estáticas 37

Tabela 5.5. Detalhes das medições móveis.. 38

Tabela 5.6. Detalhes da localização das medidas indoor 38

Tabela 5.7. Resultados do DRM+ no modo 4QAM para recepção em pontos fixos 39

Tabela 5.8. Resultados do DRM+ no modo 16QAM para recepção em pontos fixos 40

Tabela 5.9 - Resultados do FM para recepção em pontos fixos 40

Tabela 5.10- Resultados do DRM+ no modo 4QAM para recepção móvel 41

Tabela 5.11- Resultados do DRM+ no modo 16QAM para recepção móvel 41

Tabela 5.12. Recepção indoor com DRM+ no modo 4QAM.....42

Tabela 5.13. Recepção indoor com DRM+ no modo 16QAM.....42

Tabela 5.14. Recepção indoor com FM.....42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Localização do centro de transmissão da Radio Itatiaia. ..... 6

Figura 2 – Diagrama de bloco do sistema de transmissão. ..... 7

Figura 3 – Content Server DRM+. ..... 8

Figura 4 – Modulador DRM+. ..... 8

Figura 5 – Transmissor DRM+. ..... 9

Figura 6 – Centro de transmissão da Itatiaia: Na esquerda, visão global da estação antenas da instalação da antena. Na direita, antena DRM+ instalada no mastro (duas antenas inferiores). ... 9

Figura 7 – Viatura utilizada na medição. ..... 11

Figura 8 – Diagrama dos equipamentos de medição. ..... 11

Figura 9 – Receptor FM RS79B da Rolls Corporation. ..... 11

Figura 10 – Resultados da recepção estática ilustrados no mapa. ..... 15

Figura 11 – Resultados do 4QAM em função da distância do transmissor. ..... 15

Figura 12 – Resultados da recepção móvel no modo 4QAM ilustrado no mapa. ..... 17

Figura 13 – Recepção móvel no modo 4QAM, com parâmetros da radial 4. ..... 17

Figura 14 - Limiares de Intensidade de Campo e SNR no modo 4QAM. ..... 19

Figura 15 - Resultados da recepção estática no modo 16QAM, ilustrados no mapa. ..... 20

Figura 16 - Resultados do 16QAM em função da distância do transmissor. ..... 20

Figura 17 - Resultados da recepção móvel no modo 16QAM ilustrado no mapa ..... 21

Figura 18 - Recepção móvel no modo 16QAM, com parâmetros das radiais 1 e 4. ..... 22

Figura 19 - Limiares de Intensidade de Campo e SNR no modo 16QAM. ..... 24

Figura 20 - Recepção estática do FM analógico mostrada no mapa. ..... 25

Figura 21 - Resultados do FM analógico em função da distância do transmissor. ..... 25

Figura 5.1. Opções de codificação de áudio no DRM. ..... 32

# Apresentação

O Ministério das Comunicações publicou no Diário Oficial da União o Aviso de Chamamento Público nº 1/2009, em 22 de maio de 2009, com o objetivo de efetuar testes e avaliações com sistemas de radiodifusão sonora digital, visando a futura decisão para a escolha do Padrão de Rádio Digital a ser adotado no País.

A Portaria Nº 290 de 30 de março de 2010, promulgada pelo Ministério das Comunicações, criou o Sistema Brasileiro de Rádio Digital – SBRD, autorizando as emissoras AM e FM a realizarem testes para avaliar o desempenho dos sistemas radiodifusão digitais e a compatibilidade com os sistemas analógicos existentes.

O Consórcio DRM-Digital Radio Mondiale, a partir do Chamamento Público, apresentou o sistema Rádio Digital DRM30 e DRM+ para testes no Brasil. Os testes foram realizados através do esforço conjunto e cooperação entre diversas entidades como o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), o INCT-CSF (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Comunicações sem Fio), composto pela 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 diversos profissionais, sob coordenação do Ministério das Comunicações, por meio da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica, e com apoio da Anatel.

O presente trabalho apresenta os testes do sistema DRM+ com a emissora de radiodifusão sonora Itatiaia LTDA em Belo Horizonte. A transmissão híbrida da Rádio Itatiaia foi realizada por um período de cinco semanas, entre as datas de 17 de abril de 2010 e 12 de maio de 2010, nos quais foram realizados testes diurnos e noturnos.

Para a realização dos testes foi instalado um transmissor DRM+ e outra antena na estação da Rádio Itatiaia em Belo Horizonte, que durante a campanha de medidas, foram utilizados para a transmissão do sinal digital, constituindo assim um sinal hibrido no ar com o sinal FM analógico, ambos transmitindo a mesma programação.

Este documento tem como objetivo oferecer a fundamentação técnica de futuros trabalhos para apoio a elaboração de Normas 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 Itatiaia**

Severino Dias Carneiro - Gerente Técnico

Paulo Fernando Santos de Azevedo - Supervisor de Manutenção

Alessandro Prata de Almeida - Técnico de Manutenção

**Locais dos testes**

Belo Horizonte – BH

**Emissoras envolvidas**

Rádio Itatiaia LTDA – 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

Bilbao University

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

***Cláudio Garcia Batista,*** MSc (UFMG): 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 na estação da emissora Rádio Itatiaia LTDA em Belo Horizonte.

Os testes foram conduzidos pelo Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro) com a colaboração da emissora Rádio Itatiaia LTDA, 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 sistema de transmissão estava localizado no topo de uma montanha, de aproximadamente 350 metros em relação ao nível médio do terreno da cidade de Belo Horizonte. O sinal DRM+ foi transmitido no modo *simulcast* combinado no ar com separação de 200 kHz entre a portadora do sinal analógico FM e a portadora central do digital DRM+. A potência de transmissão do sinal analógico FM era de 19.9 kW, e do sinal digital DRM+ de 500 Watts. Acoplando os sistemas FM e DRM+ nas suas respectivas antenas de transmissão, o sinal FM EIRP foi de 28 kW, e o sinal DRM+ foi de 513 Watts. Assim, a relação de proteção (relação de potência entre os sinais FM e DRM+ no ar) foi de 17.4 dB. Durante a campanha de medição um receptor FM foi utilizado para avaliar a recepção analógica e para fins de comparação com a recepção do sinal DRM+.

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 tecnologia DRM permite a utilização de diferentes modulações com parâmetros que deverão ser escolhidos de acordo com o ambiente de propagação no qual o radiodifusor deseja fazer sua transmissão. Em virtude disso, nesse trabalho foram escolhidos dois modos de transmissão, um mais robusto baseado na modulação 4QAM, e outro com maior capacidade (taxa de dados), utilizando a modulação 16QAM.

Os resultados dos testes foram muitos bons na avaliação geral. Dentre as rotas radiais planejadas, os resultados de duas rotas não foram levados em consideração na análise, porque a emissora não considera a região como área de interesse, apresentando cobertura muito ruim devido às suas particularidades.

Dentro da cidade de Belo Horizonte, área de cobertura de interesse da emissora, os resultados são muitos bons para os dois modos de transmissão e para recepção estática e móvel. Na cidade, dentro de um raio de 15 km do transmissor, as recepções estáticas e móvel são quase livres de erros para o modo 4QAM. A cobertura chega a 25 km na direção da rota 4 com 98% de recepção boa. No entanto, houve cobertura até ao final da rota, a 50 km do transmissor com 95% de recepção boa. O modo 16QAM apresentou resultados um pouco inferiores. Na cidade a recepção apresentou o mesmo comportamento do modo 4QAM, exceto para uma pequena zona com sombreamento. A área de cobertura para recepção móvel é em torno de 20-25 km a partir do transmissor, com algumas áreas de sombreamento.

Importante ressaltar que a relação de proteção utilizada foi de 17,4 dB, diminuindo a área de cobertura do sinal digital, pois originalmente é necessário apenas 14 dB de proteção. Portanto, o sinal DRM+ poderia ser aumentado para 1500 Watts sem aumentar a potência do sinal FM analógico. Isso não foi feito porque a antena disponibilizada para os testes tinha limitações de potência de até 500 Watts.

O limiares de intensidade de campo estão na faixa de 35 a 40 dBμV/m para o modo 4QAM e em torno de 40 dBμV/m para o modo em 16QAM. São valores aproximados, porque há poucos valores em torno do limiar. Não foi possível determinar o valor da relação sinal ruído em virtude de haver poucos valores entre 5 dB e 20 dB.

A recepção indoor com o modo em 4QAM foi excelente. No modo 16QAM somente um ponto não apresentou resultado ruim.

Em relação ao sinal FM, a recepção estática dentro da cidade foi considerada boa também, apresentando limiar de intensidade de campo em torno de 60 dBμV/m, próximo do valor teórico. Na recepção indoor apenas dois pontos de medição apresentaram resultados ruins.

Comparando a recepção dos sinais analógico e digital, a principal conclusão é que a área de cobertura do sinal digital é ligeiramente melhor, ou no mínimo igual, com uma potência 17,4 dB menor. Os limiares de recepção são em torno de 20 dB menores para o sinal digital. Na recepção com o modo 4QAM, os resultados foram um pouco melhores do que para o 16QAM.

Concluindo, os resultados dos testes com o sistema DRM+ em Belo Horizonte, mostraram que o sinal DRM+ tem área de cobertura similar a do sistema FM analógico estando 20 dB abaixo do FM (1% da potência do sinal FM analógico). O sinal DRM+ é inserido no canal vazio, assim ele pode ser transmitido sem interferir na transmissão FM existente.

Rio de Janeiro, 30 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 [1],[3] para aplicação nas faixas de freqüências de radiodifusão em freqüência modulada.

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

A estrutura do documento é definida da seguinte maneira: o Capítulo 2 descreve o sistema de transmissão instalado na emissora Itatiaia para irradiar os sinais digital e analógico durante os testes. O Capítulo 3 descreve a unidade móvel e os equipamentos de medições utilizados para caracterizar o sinal recebido. No Capítulo 4 os procedimentos de medidas são descritos, bem como os resultados dos testes que serão apresentados em separados, considerando os dois modos de transmissão do DRM+ que foram utilizados nos testes, e por fim os resultados do sistema analógico. A comparação da recepção dos sinais DRM+ e FM são também apresentados no capítulo 4.

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

O sistema de transmissão da Radio Itatiaia LTDA está localizado em uma região montanhosa ao redor da cidade de Belo Horizonte, em torno de 350 metros mais alto do que a cidade. A Figura 1 ilustra a localização do centro de transmissão.

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

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.

Para o sistema DRM+ foi instalada outra antena no mesmo mastro. A antena é ciclóide de dois elementos. A diferença de ganho entre antenas que irradiaram o sinal FM e o DRM+ é pequena. O ganho da antena FM é de 2,13 dBi e da antena DRM+ é de 1,24 dBi.

Considerando as portadoras centrais dos sinais digital e analógico, o sinal DRM+ está separado de 200 kHz do sinal analógico, ocupando uma largura de banda de 100 kHz, e com um intervalo de guarda de 50 kHz entre os dois sinais. A potência de transmissão foi calculada para obter uma relação de proteção entre os sinais FM e DRM+ em torno de 15 a 20 dB. A antena disponível para transmissão do sinal DRM+ era limitada em 500 Watts. Assim, houve a necessidade de reduzir a potência do sinal FM para 19,9 kW, uma vez que a potência de transmissão nominal do transmissor é de 30 kW. Considerando as perdas nos cabos, conectores e filtros a EIRP foi de 28 kW para o sinal FM, e de 513 W EIRP para o sinal DRM+. Assim, uma relação de proteção entre os sinais FM e DRM+ foi de 17,4 dB.

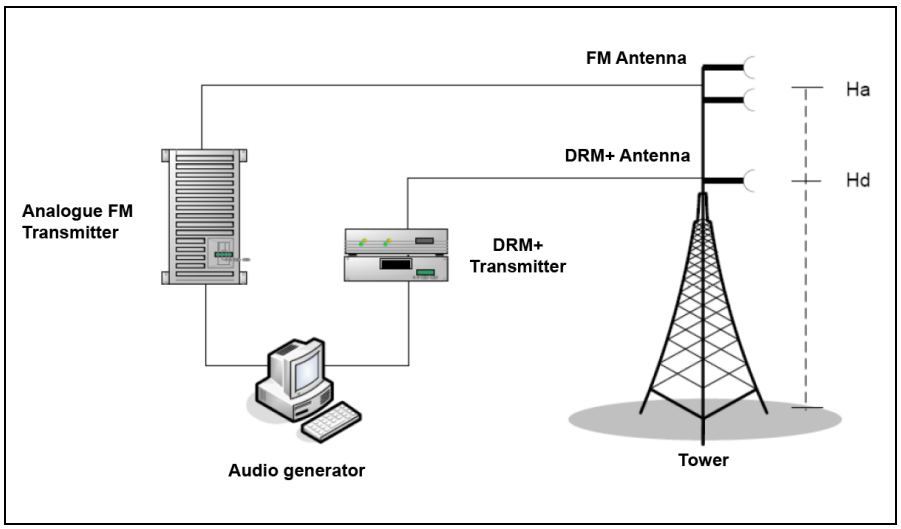


Figura 2 – Diagrama de bloco do sistema de transmissão.

| ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE OPERAÇÃO DA EMISSORA | |
|---|---|
| **ANALÓGICO** | **DIGITAL** |
| **FREQUÊNCIA: 95.7 MHz**<br>**CLASSE: E3**<br>**CANAL: 239** | **FREQUÊNCIA: 95.5 MHz** |
| **LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA** | |
| **CIDADE / ESTADO: Belo Horizonte / MG**<br>**COORDENADAS GEOGRÁFICAS:19° 58' 14'' S, 43° 55' 41'' W** | |
| **TRANSMISSOR** | |
| **FABRICANTE: Broadcast Electronics**<br>**MODELO:FM – 30B**<br>**POTÊNCIA NOMINAL: 30 kW**<br>**POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE TESTES: 19.9 kW** | **FABRICANTE: Nautel Limited**<br>**MODELO: NV-10**<br>**POTÊNCIA NOMINAL: 3 kW**<br>**POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES: 500 W** |

| EXCITADOR | |
|---|---|
| | **Content server:**<br>**FABRICANTE: RF Mondial**<br>**Modulator:**<br>**FABRICANTE: RF Mondial** |
| **ANTENA** | |
| **FABRICANTE: Electronics Research, INC (ERI)**<br>**MODELO: SHPX-2AC (2 elementos)**<br>**POLARIZAÇÃO: circular**<br>**DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirectional**<br>**GANHO: 2,13 dBi**<br>**ALTURA DA ANTENA EM RELÇÃO AO NIVEL DO SOLO: 19 m**<br>**POTÊNCIA MÁXIMA: 40 kW**<br>**AZIMUTE: 0°** | **FABRICANTE: Mectrônica**<br>**MODELO: MT-FMC2 (2 elementos)**<br>**POLARIZAÇÃO: circular**<br>**DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirectional**<br>**GANHO: 1.24 dBi**<br>**ALTURA DA ANTENA EM RELÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 9.6 m**<br>**POTÊNCIA MÁXIMA: 500 W**<br>**AZIMUTE: 0°** |
| **LINHA DE TRANSMISSÃO** | |
| **FABRICANTE: Heliax**<br>**MODELO: HJ8-50B**<br>**COMPRIMENTO: 33 m**<br>**IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA:50 Ohms**<br>**ATENUAÇÃO DA LINHA: 0.15 dB**<br>**AT. DOS CONECTORES E FILTROS 0.5 dB** | **FABRICANTE: Radio Freqüency System**<br>**MODELO: LCF12-50J**<br>**COMPRIMENTO: 30 m**<br>**IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA:50 Ohms**<br>**ATENUAÇÃO DA LINHA: 0.63 dB**<br>**AT. DOS CONECTORES: 0.50 dB** |
| **POTÊNCIA IRRADIADA** | |
| **POTÊNCIA NA SAÍDA DO TRANSMISSOR: 19.9 kW**<br>**EFICIÊNCIA TOTAL (atenuação total+ganho da antena): 140.7%**<br>**EIRP: 28.0 kW**<br>**ERP: 17.07 kW** | **POTÊNCIA NA SAÍDA DO TRANSMISSOR: 500 W**<br>**EFICIÊNCIA TOTAL (atenuação total+ganho da antena): 102.57 %**<br>**EIRP: 512.83 W**<br>**ERP: 312.59 W** |
| **RELAÇÃO ENTRE OS SINAIS DIGITAL E ANALÓGICO** | |
| **FREQUÊNCIA DE SEPARAÇÃO: 200 KHz**<br>**RELAÇÃO DE PROTEÇÃO NO AR (FM EIRP / DRM+ EIRP): 17.4 dB** | |

Tabela 1 – Características técnicas da emissora Itatiaia.

O *Content Server* 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 três equipamentos são mostrados nas Figura 3 até Figura 5.

Figura 3 – Content Server DRM+.

Figura 4 – Modulador DRM+.

Figura 5 – Transmissor DRM+.

A antena do DRM+ foi instalada a 9,4 metros abaixo da antena FM, e apontada na mesma direção. A Figura 6 mostra o local antes da instalação da antena DRM+ (figura da esquerda) ambas as antenas no mastro (figura da direita). Na figura da esquerda, a torre da emissora Itatiaia é a segunda, iniciando da esquerda.

Figura 6 – Centro de transmissão da Itatiaia: Na esquerda, visão global da estação antenas da instalação da antena. Na direita, antena DRM+ instalada no mastro (duas antenas inferiores).

## 2.2. Modos de transmissão DRM

O sistema DRM+ fornece uma ampla variedade de configurações para o sinal digital [1]-[3]. 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. Os parâmetros utilizados em cada configuração são descritos na Tabela 2. A taxa de bits e os modos de áudio indicados na tabela são aqueles utilizados durante os testes. Ambos os modos utilizados são áudio estéreo. No entanto, considerando a taxa de bits (103 kbps) no modo 16QAM, é possível obter para o mesmo áudio a qualidade do modo de áudio 5.1. O modo de transmissão 16QAM tem grande capacidade de taxa de dados em relação ao que foi utilizado. Assim, uma taxa de 149 kbps poderia ser utilizada para transmitir mais áudio e/ou dados.

| 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.

# 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.

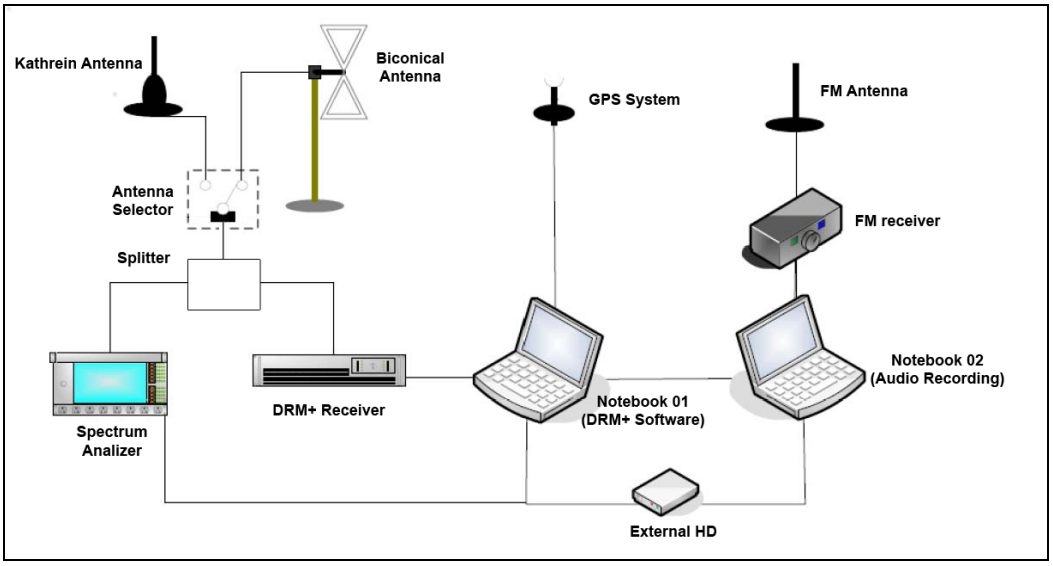


Figura 8 – Diagrama dos equipamentos de medição.

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. O áudio do sinal FM também foi salvo, com o intuito de avaliar a recepção analógica. Um receptor FM RS79B da Rolls Corporation, Figura 9, foi utilizado para gravação do sinal FM. A Tabela 3 descreve os principais equipamentos do diagrama de medição.

Figura 9 – Receptor FM RS79B da Rolls Corporation.

| 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 |
| Analisador de Espectro | Anritsu, Spectrum Master MS2711D | Frequência: 100 KHz a 3 GHz |
| Receptor FM | Rolls Corporation, RS79B | |

Tabela 3 – Principais equipamentos de medição utilizados nos testes.

O analisador de espectro e o receptor DRM+ foram conectados a antena por meio de um divisor de potência, permitindo que o sistema realizasse simultaneamente ambas as medições, recepção de sinal e intensidade do sinal (a primeira com o receptor DRM+ e a outra com o analisador de espectro).

## 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 Propagação do Canal | Receptor DRM | 100 ms |
| Frames de áudio corretos (AQ) | Banda Básica | | 200 ms |
| Dados RSCI | Auxiliar | | 100 ms |
| Espectro | Canal RF e Propagação | Analisador de Espectro | Medição Estática |
| Localização | Auxiliar | GPS | 1 s |
| Tempo | Auxiliar | | 1 s |
| Velocidade | Auxiliar | | 1 s |
| Gravação do áudio FM | Banda Básica | Receptor FM | Medição Estática |
| 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. Este último parâmetro 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:

$$AQ = \frac{\text{Número de frame de áudios decodificados corretamente}}{\text{Total de frames transmitidos}} \times 00\%$$

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 [4], 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.

Para caracterizar a possível influência da unidade móvel na recepção do sinal, foi escolhido um local (Praça do Sol em Santa Lucia) denominado de ponto de referência, e medidas de intensidade de campo elétrico foram realizadas com os todos os equipamentos de medições fora da unidade móvel. Em seguida, os equipamentos foram montados no interior da viatura e, diversas medições foram realizadas, considerando várias situações de trabalho, tais como: o gerador ligado e desligado, o motor da unidade móvel ligado e desligado, o ar condicionado ligado e desligado, as iluminações internas ligadas e desligadas, portas abertas e fechadas, e combinações de todas as situações anteriormente citadas. O objetivo desta atividade foi verificar a influência de certas situações no processo de medição. A conclusão obtida foi que não houve alteração nos valores registrados com equipamentos dentro ou fora da unidade móvel.

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 no dia da caracterização da viatura e do ambiente, naquele ponto. 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.
- Gravação do áudio analógico FM *simulcast* com receptor comercial, por um período de 2 minutos.
- Fotografias do ambiente, considerando o ponto cardeal como referência.

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

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

# 4. Resultados dos Testes

Os resultados dos testes foram avaliados para diferentes estudos: obtenção da área de cobertura para recepção estática, obtenção da área de cobertura para recepção móvel, recepção indoor e obtenção de limiares de recepção. Os quatros estudos foram feitos nos dois modos de transmissão, o modo 4QAM e modo 16QAM.

A recepção FM também foi estudada, da mesma maneira do DRM+, exceto para recepção móvel. Assim, três estudos foram realizados: recepção estática, recepção indoor e limiares de recepção (limiares da intensidade de campo).

## 4.1. Modo 4QAM

### 4.1.1. Avaliação da área de cobertura com recepção estática

Uma visão global dos resultados pode ser observada na Figura 10. A antena está localizada na cadeia de montanhas orientadas aproximadamente da direção nordeste para sudoeste. Os resultados obtidos nos pontos na direção norte dessa linha são muitos bons. Todos os pontos de recepção ao norte dessa linha têm bons resultados, exceto o R4P3. No entanto, o ponto R4P4, 50 km distante do centro de transmissão tem boa recepção. Os resultados ao sul desta linha são ruins. Esta situação comprova uma ótima recepção em pontos fixos na área de interesse. A Tabela 5 mostra todos os pontos de recepção nesta área urbana, apresentando ótimos resultados.

A respeito do ponto R4P3, a intensidade do campo elétrico é baixa, 33 dBμV/m e ele se localiza atrás de um morro.O resultado de medição estática mostrou-se discrepante quando comparado com as medidas em movimento no mesmo local, onde foram obtidos ótimos resultados. Isso significa que o resultado ruim no ponto fixo deve-se a alguma anomalia, o que não implica no desempenho do sistema em teste. Esta conclusão é fortalecida com os resultados do 16QAM, que apresentou ótimo resultado nesse ponto, mesmo sendo um modo menos robusto que o 4QAM.

A razão do resultado ruim na direção sul da montanha é clara. O mastro da emissora Itatiaia está na direção norte, enquanto na costa do mastro existem elevadas concentrações de grandes mastros de outras emissoras, dificultando a área de cobertura na direção sul da antena. A localização do prédio da emissora Itatiaia consiste em outro problema. A antena do DRM+ deveria ser colocada no mesmo mastro da antena FM, apontando para a mesma direção e separadas a uma distância suficiente para evitar acoplamento. Por essa razão, a antena foi instalada a 9,6 metros abaixo da antena FM, que é um pouco abaixo do topo do prédio. Isto significa que o prédio está sombreando o sinal DRM+.

Levando-se em consideração que essa região não é de interesse da emissora Itatiaia, devido à baixa densidade populacional nessa localidade, os problemas acima citados não são relevantes na análise dos resultados.

| | Raio de 15 km (Área de interesse) | | Total | |
|---|---|---|---|---|
| | Pontos | Percentagem | Pontos | Percentagem |
| Total | 14 | 100% | 23 | 100% |
| Bom | 14 | 100% | 16 | 70% |
| Regular | 0 | 0% | 1 | 4% |
| Ruim | 0 | 0% | 6 | 26% |

Tabela 5 – Resultados da recepção estática no modo 4QAM

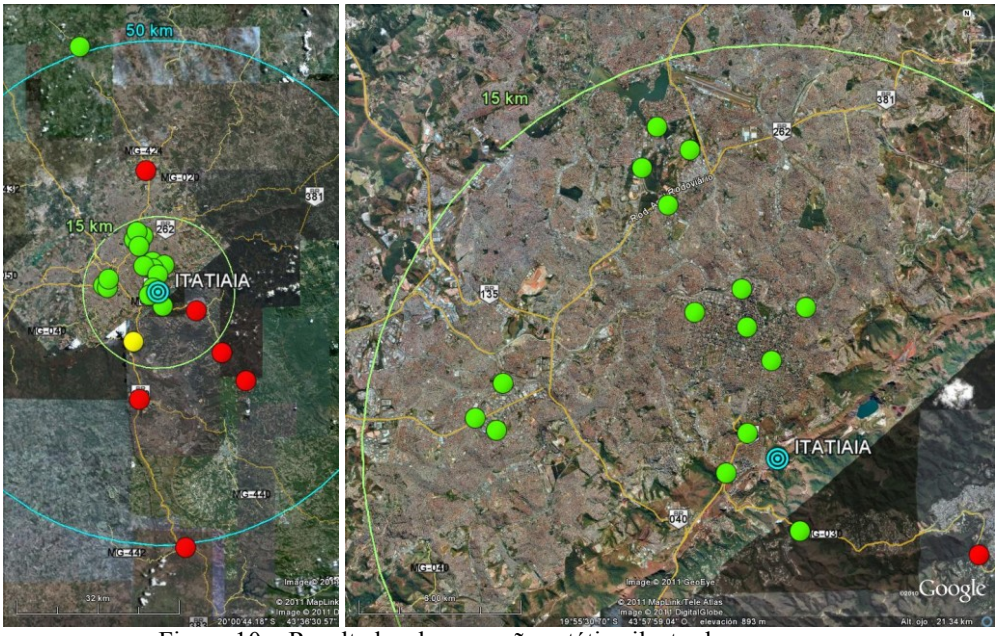


Figura 10 – Resultados da recepção estática ilustrados no mapa.

Na Figura 11 a intensidade do campo elétrico e os resultados de recepção são apresentados em função da distância do transmissor. Todos os pontos na direção norte da montanha têm intensidade de campo aproximadamente 30 dB maiores que os pontos que estão localizados atrás do transmissor. Isso demonstra que os resultados ruins da área de cobertura nas costas do transmissor são devidos à baixa intensidade do campo elétrico.

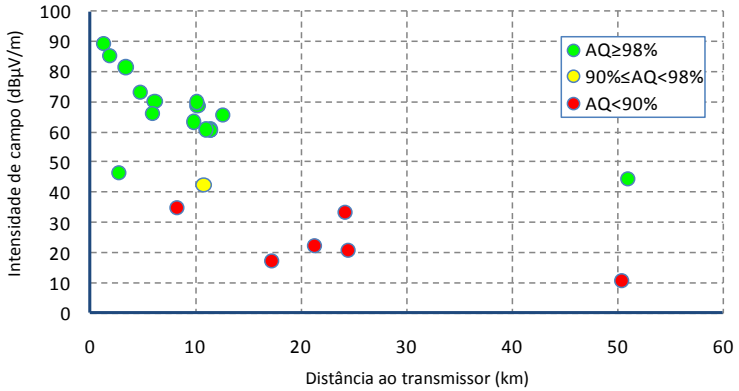


Figura 11 – Resultados do 4QAM em função da distância do transmissor[1].

[1] O ponto C1P2 não está representado porque nele não foi realizada medição de intensidade de campo elétrico

A conclusão principal dos testes DRM+ utilizando o modo 4QAM é que ele tem recepção excelente na área de cobertura de interesse, ou seja, na área urbana, e pode ser recebida até a distância de 50 km do transmissor.

### 4.1.2. Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

A Tabela 6 e a Figura 12 mostram os resultados gerais para o modo 4QAM na recepção móvel. Todos os percursos nas rotas circulares tiveram resultados superiores a 98%, as rotas C2 e C3 tiveram recepções excelentes, com 100%. A rota R4 apresentou 99% de recepção até o ponto 3, ou seja, recepção quase perfeita. No trecho R4P3 até P4, que vai até 50 km de distância em relação ao transmissor, a qualidade de recepção foi de 95%. Portanto, todas as rotas na direção norte da montanha tiveram bons resultados, com recepção de até 50 km na rota 4. Além disso, todos os resultados na área de interesse (área urbana) foram bons.

| Rota | Nome | P1 até P2 | P2 até P3 | P3 até P4 ou P3 até P1 | P4 até P5 | P5 até P1 | Global |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Radial 2 | R2 | 93.7% | 53.6% | 0% | | | 55.6% |
| Radial 3 | R3 | 92.3% | 47.4% | 17.4% | | | 60.4% |
| Radial 4 | R4 | 99.4% | 99.4% | 96.7% | | | 98.1% |
| Circular 1 | C1 | 99.1% | 98.7% | 99% | 98.5% | 99.1% | 98.9% |
| Circular 2 | C2 | 100% | 100% | 100% | | | 100% |
| Circular 3 | C3 | 100% | 100% | 100% | | | 100% |

Tabela 6: Resultados da recepção móvel, no modo 4QAM.

As rotas 2 e 3 que seguem para o Sul e Sudeste tem péssima recepção ruim e a distância de cobertura é curta, como esperado. Conforme explicado no item 4.1.1, esta área é sombreada pelo site de transmissão do edifício da emissora Itatiaia, além de vários mastros situados atrás dela.

A Figura 13 apresenta o SNR, AQ e a velocidade da unidade móvel do percurso 4, que é a única rota radial de interesse. Ao analisar esta figura, deve-se considerar que cada *frame* de áudios corretos representa somente 0,2 segundos. Isto é, um ponto isolado parece ser muito importante ao mesmo tempo que representa um tempo muito curto. Com esta consideração, podemos ver que a maioria dos frames de áudio recebidos ruins são isolados, e não causam problemas de recepção. O primeiro local com problemas de recepção ocorreu no tempo de 2700 s, quando três interrupções ocorreram (a mais longa de 5 segundos). Essas medições foram registradas depois de R4P3, ponto a 25,7 km de distância do transmissor. O próximo trecho com problemas ocorre entre 3150 e 3250 segundos, onde a interrupção mais longa foi de 2 segundos.

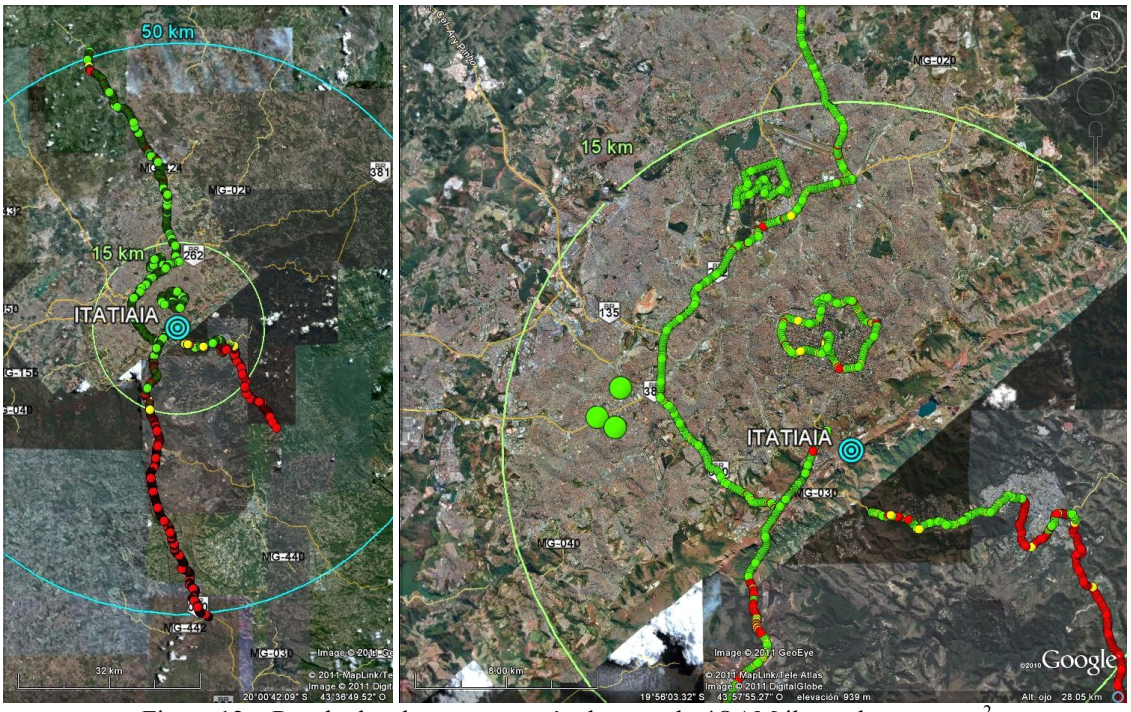

Figura 12 – Resultados da recepção móvel no modo 4QAM ilustrado no mapa.[2]

Em resumo, existem apenas poucos trechos com problemas. Todos ocorreram com intervalos menores que 5 segundos e localizados sempre a distâncias superiores a 25 km do transmissor. O áudio é audível até o final da rota, apresentando também poucos problemas. Na área urbana a recepção foi ótima.

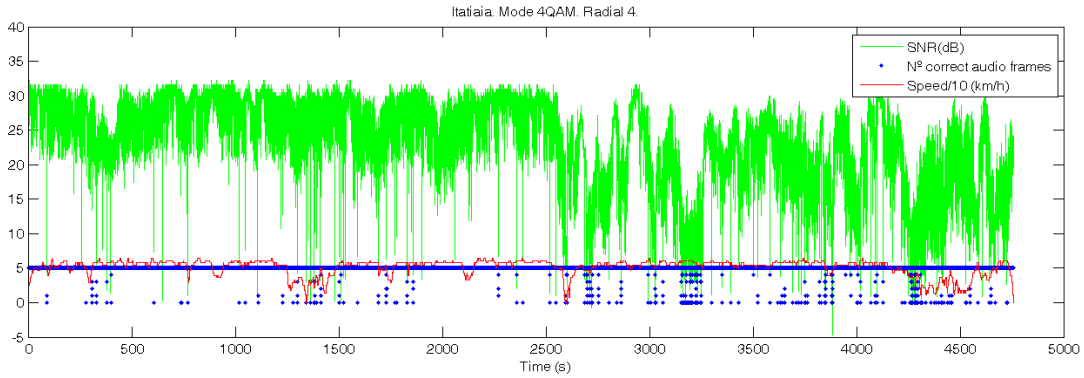

Figura 13 – Recepção móvel no modo 4QAM, com parâmetros da radial 4.

[2] Na rota C3 o GPS não estava funcionando, portanto o mapa apresenta somente as medições nos pontos fixos.

### 4.1.3. Recepção Indoor

Para os testes indoor foram selecionados quatro diferentes locais, considerando diferentes distâncias em relação ao transmissor e diferentes ambientes. No total 8 pontos de medição foram realizados, a saber:

- Prédio da emissora Itatiaia, 0 km distante do transmissor: 01 ponto de medição.
- Prédio da Anatel, localizado na área urbana densa, 3,5 km distante do transmissor: 02 pontos de medições.
- Hotel Financial, localizado na área urbana densa, 5,9 km distante do transmissor: 01 ponto de medição.
- Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, localizado a 11,5 km e a 12,2 km distantes do transmissor: 04 pontos de medição.

Os pontos de medição foram selecionados em diferentes pavimentos dos prédios, e no caso da UFMG, em diferentes prédios. Esses pontos estão numerados de 1 à 8 na Tabela 5.6 que encontra-se no anexo.

Os resultados dos testes indoor estão ilustrados na Tabela 7, com recepção boa em todos os pontos.

| | Pontos | Percentagem |
|---|---|---|
| Total | 8 | 100% |
| Bom | 8 | 100% |
| Regular | 0 | 0% |
| Ruim | 0 | 0% |

Tabela 7 – Resultados da recepção indoor no modo 4QAM.

### 4.1.4. Limiares de recepção no modo 4QAM

Para a determinação do limiar de recepção no modo 4QAM foram utilizadas as medições estáticas. A Figura 14 apresenta a relação entre a intensidade do campo elétrico mediano, a SNR mediana e a qualidade de áudio (AQ) das medições estáticas em 4QAM.

Neste caso a estimativa dos limiares de recepção ficou prejudicada devido à pequena quantidade de valores na faixa próxima aos limiares. O limiar de intensidade de campo elétrico é estimado grosseiramente em torno de 40 dBμV/m. No que se refere ao limiar da SNR, não é possível fazer a estimativa em virtude de existirem somente dois pontos no intervalos de 0 dB a 20 dB.

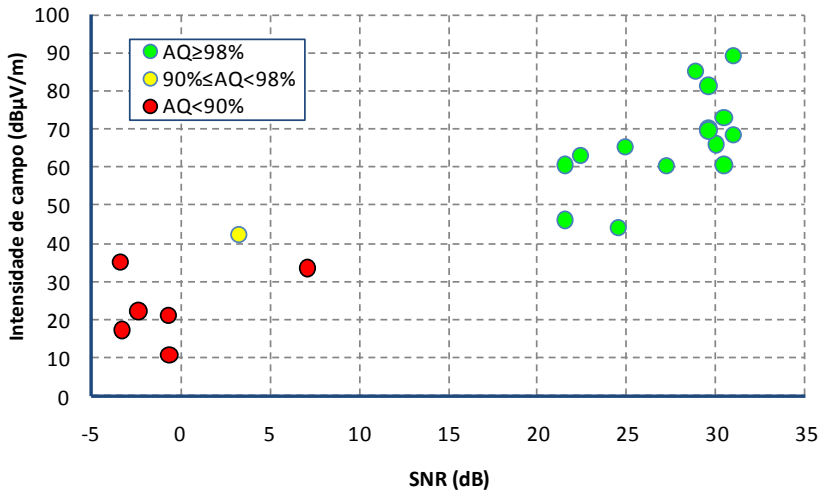


Figura 14 - Limiares de Intensidade de Campo e SNR no modo 4QAM.[3]

O limiar teórico da relação SNR segundo o documento de padronização do sistema DRM+ é de 1,3 dB [1]. Esse valor foi calculado considerando um canal AWGN em recepções estáticas. Na Figura 14 o limiar não pode ser estimado, mas observa-se que esse valor é maior que 1,3 dB. Nos testes realizados na Alemanha e apresentados em [5] (que também foi incluído em [6]), o limiar encontrado foi de 10 dB para recepção móvel. O valor real da SNR deve estar entre esses dois valores.

Em relação ao limiar de intensidade do campo elétrico, nos testes feitos na Alemanha [5][6], o limiar obtido foi de 30 dBµV/m, para recepção móvel) que é bem menor ao valor obtido nos testes aqui apresentado.

## 4.2. Modo 16QAM

### 4.2.1. Avaliação da área de cobertura com recepção estática

Tal como verificado para a recepção no modo 4QAM, a recepção estática do modo 16 QAM também foi verificada como sendo boa. Todos os pontos com recepção ruim estão fora da área de interesse, conforme apresentado na Tabela 8 e Figura 15. A maior parte deles está na radial 2 e 3 (nas costas da antena), e os dois restantes são os outros pontos da radial 1. Todos os pontos de medição dentro da área de interesse têm bons resultados, exceto dois deles nos quais a recepção é regular. Eles são os pontos C1P3 com AQ de 97,8%, e o ponto C1P5 com um AQ de 97%. Ou seja, com exceção desses dois pontos, a recepção na área de cobertura de interesse foi ótima. Os dois pontos com recepção ruim estão ilustrados na Figura 16 em amarelo. Eles têm valores de AQ abaixo de 98% apesar de estarem próximos do transmissor e apresentarem valores de intensidade de campo altos. Considerando isto e como os AQ são maiores que 97% dos quadros de áudio, a situação sugere que houve um nível de interferência esporádico alto, ou um ruído impulsivo durante as medições.

[3] O ponto C1P2 não está representado, porque nele não foi realizada medição de intensidade de campo elétrico.

| | Radial de 15 km (Área de interesse) | | Total | |
|---|---|---|---|---|
| | Pontos | Percentagem | Pontos | Percentagem |
| Total | 16 | 100% | 27 | 100% |
| Bom | 14 | 87.5% | 18 | 67% |
| Regular | 2 | 12.5% | 2 | 7% |
| Ruim | 0 | 0% | 7 | 26% |

Tabela 8 - Resultados da recepção estática no modo 16QAM.

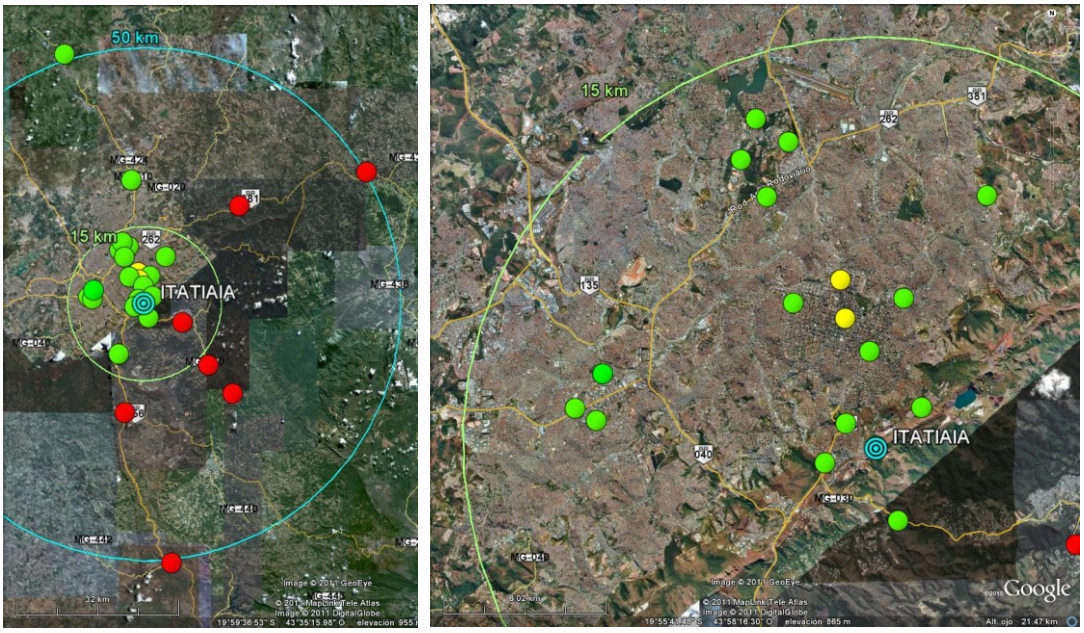


Figura 15 - Resultados da recepção estática no modo 16QAM, ilustrados no mapa.

A Figura 16 ilustra a intensidade do campo elétrico e a qualidade de recepção em função da distância em relação ao transmissor. Todos os pontos de recepção com resultados ruim, apresentam valores de intensidade de campo baixo, estando quatro deles abaixo de 20 dBµV/m e o outro com 25 dBµV/m.

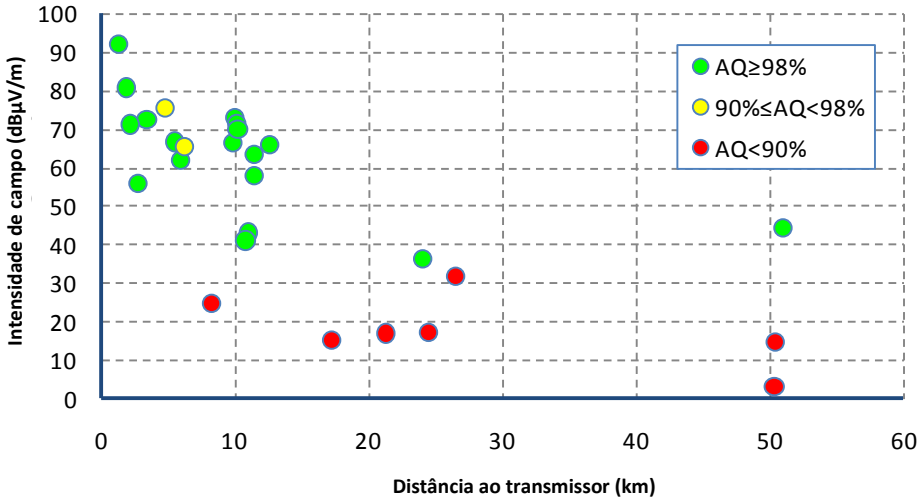


Figura 16 - Resultados do 16QAM em função da distância do transmissor.

### 4.2.2. Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

Os resultados da recepção móvel nas radiais 2 e 3 (as rotas que estão na parte traseira da antena) são ruins, similares as resultados obtidos na medição estática no modo 4QAM. Como mencionado anteriormente, os valores obtidos são os esperados, devido o efeito de sombreamento e, conseqüentemente, sem maior importância para a campanha de medição e avaliação do sistema DRM+. No entanto, a recepção dentro da área de interesse é ótima. Na Tabela 9 pode-se verificar que ao longo de todos os trechos das rotas circulares tem-se um AQ maior que 98%. Exceto dois trechos que apresentaram AQ entre 98% e 99%, todos os demais apresentaram AQ superior a 99%, ressaltando que é necessário apenas um AQ com 98% para obter-se uma recepção com ótima qualidade. Em relação às rotas radiais, a radial 1 tem recepção excelente no trecho R1P1 até R1P2, apresentando problemas no trecho R1P2 até R1P3. Porém mesmo neste trecho o AQ apresentou valores maiores que 90%. A rota 4 tem boa recepção, no mínimo até o ponto P3, e possui AQ maior que 90% até o final da rota.

Assim, pode-se concluir que a área de interesse tem cobertura com boa recepção.

| Rota | P1 to P2 | P2 to P3 | P3 to P4 or P3 to P1 | P4 to P5 | P5 to P1 | Global |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Radial 1 | 100% | 92.9% | 40.1% | | | 80.8% |
| Radial 2 | 78.7% | 30.5% | 0% | | | 40.6% |
| Radial 3 | 64.7% | 12.0% | 0% | | | 33.7% |
| Radial 4 | 99.2% | 99.6% | 92.8% | | | 96.5% |
| Circular 1 | 99.1% | 99.3% | 98.9% | 98.3% | 99.2% | 99.0% |
| Circular 2 | 99.7% | 100% | 99.5% | | | 99.7% |
| Circular 3 | 100% | 99.7% | 99.7% | | | 99.8% |

Tabela 9 - Resultados da recepção móvel, no modo 16QAM.

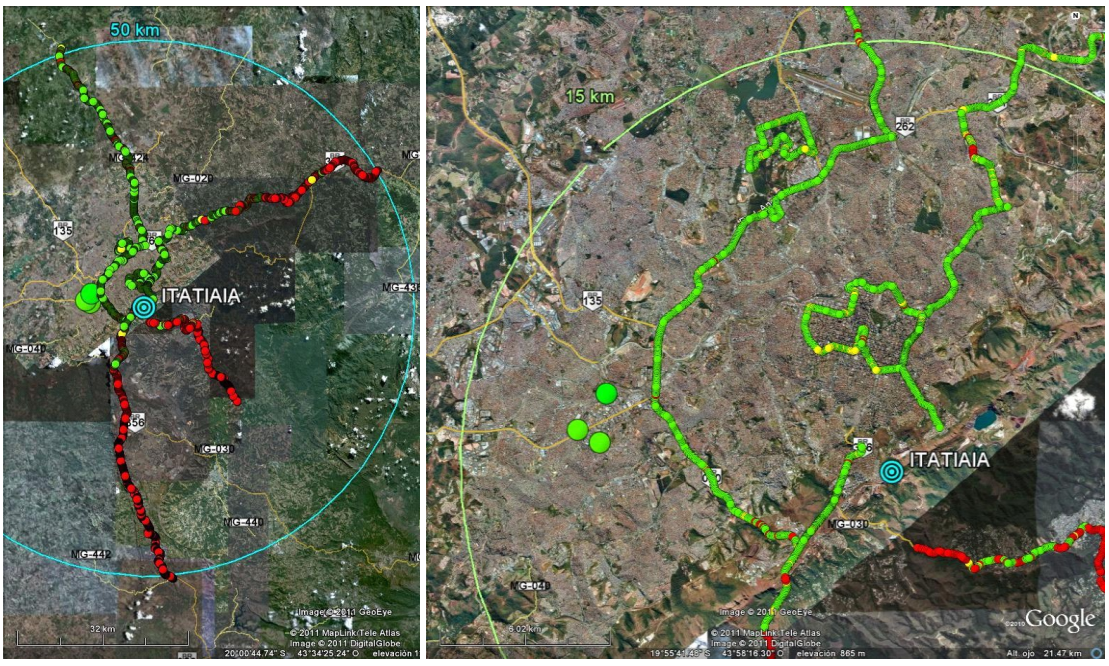


Figura 17 - Resultados da recepção móvel no modo 16QAM ilustrado no mapa

Na Figura 18 são ilustrados os parâmetros das duas principais rotas. A recepção na radial 1 é boa até 1950 segundos. Entre 1950 e 2000 segundos existe uma interrupção de 9 segundos e outra de 5 segundos. Os erros restantes que aparecem no gráfico até os 2100 segundos são isolados, não produzindo problemas na recepção. Esses erros ocorrem a 11 km de distância em relação ao transmissor e foram os únicos problemas que ocorreram dentro da cidade.

O problema seguinte ocorreu em 2850 segundos, com duas interrupções consecutivas de 5 segundos. Isso ocorreu a 17 km de distância do transmissor, fora da cidade. Existe outro problema entre 3050 e 3100 segundos, em torno de 20 km do transmissor. Os problemas mais frequentes só iniciaram a 24 km de distância do transmissor.

A rota radial 4 apresentou bons resultados na recepção. O primeiro problema real só ocorreu em 2150 segundos, com registro de poucas interrupções, sendo a maior delas com duração de 3 segundos, em local a 15 km do transmissor. O erro seguinte ocorreu em 2850 segundos, com três interrupções, a maior delas com 9 segundos, em local após o ponto R4P2, a 25 km do transmissor. Desse ponto em diante houve trechos com boa recepção e outros com recepção ruim, havendo mais trechos com boa recepção.

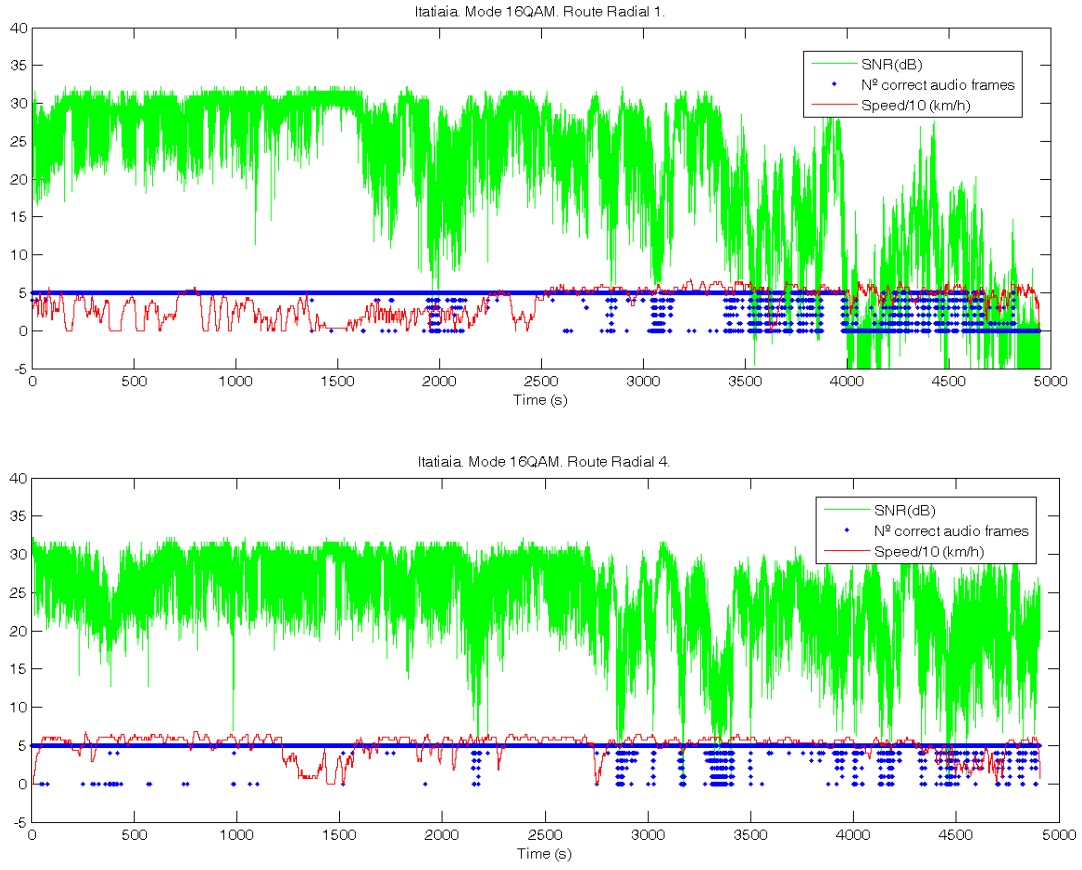


Figura 18 - Recepção móvel no modo 16QAM, com parâmetros das radiais 1 e 4.

Levando-se em conta esses resultados, pode-se concluir que a área de cobertura dentro da cidade em recepção móvel é quase excelente, seguindo com pequenos problemas até a distância de 20 a 25 quilômetros em relação ao transmissor. A partir dessa distância existem regiões com recepção ruim e ainda regiões com boa recepção.

### 4.2.3. Recepção Indoor

Os testes indoor foram realizados nos modos 4 QAM e 16QAM nos mesmos pontos de medição. No total 9 pontos de medição foram selecionados em diversos prédios, a saber:

- Prédio da estação transmissora, localizado a 0 km do ponto de transmissão. Nesse local, foi realizada medição em apenas 1 ponto.
- Prédio da Anatel, localizado a 3,5 km do ponto de transmissão, em área urbana densa. Nesse local, foram realizadas medições em 2 diferentes pontos.
- Hotel Financial, localizado a 5,9 km do ponto de transmissão, em área urbana densa. Nesse local, foram realizadas medições em 2 diferentes pontos.
- Studio Itatiaia, localizado a 6,9 km do ponto de transmissão, em área urbana densa. Nesse local, foi realizada medição em apenas 1 ponto.
- UFMG, localizada entre 11,5 km a 12,2 km do ponto de transmissão. Nesse local, foram realizadas medições em 3 diferentes pontos.

Seguindo os mesmos procedimentos utilizados com o modo 4QAM, os pontos de medições foram selecionados em diferentes andares dos prédios e, no caso da UFMG, em diferentes prédios. Esses pontos são os enumerados de 9 a 17 na Tabela 5.6.

Como resultado, mostrado na Tabela 10, 7 medidas foram classificadas como corretas, 1 regular e 1 ruim. O ponto com recepção regular tem AQ de 97,98%, podendo ser considerado como uma boa recepção. Assim, somente um ponto foi considerado ruim, localizado no 8º andar do Hotel Financial.

| | Pontos | Percentagem |
|---|---|---|
| Total | 9 | 100% |
| Bom | 7 | 78% |
| Regular | 1 | 11% |
| Ruim | 1 | 11% |

Tabela 10 - Resultados da recepção indoor no modo 16QAM.

### 4.2.4. Limiares de recepção no modo 16QAM

De uma maneira similar ao ocorrido no modo 4QAM, estimativa dos limiares de recepção no modo 16QAM ficou prejudicada pela pequena quantidade de pontos na faixa próxima ao limiar. Na Figura 19 o limiar da intensidade de campo estimado está em torno de 35 dBµV/m. Não foi possível determinar o limiar da SNR.

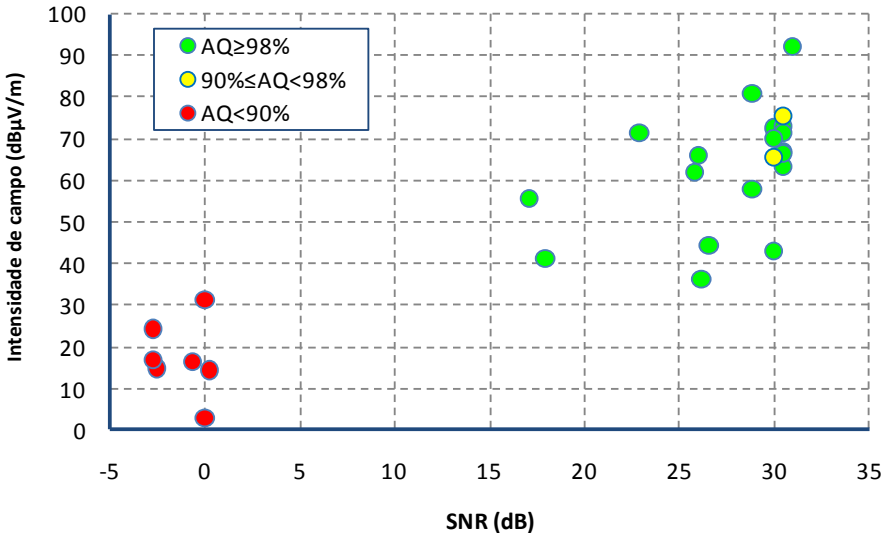


Figura 19 - Limiares de Intensidade de Campo e SNR no modo 16QAM.

O valor determinado pelo padrão DRM [1] para um canal AWGN (recepção estática), é em torno de 7,9 dB. O valor obtido nas medições realizadas na Alemanha [5][6] para recepção móvel.estava em torno de 18 dB

Em relação ao limiar de intensidade de campo elétrico, o resultado obtido na Alemanha foi de 46 dBµV/m, maior que aquele obtido nesta campanha de testes. No entanto deve-se considerar que os resultados obtidos na Alemanha são para recepção móvel.

## 4.3. Resultados da Recepção FM

### 4.3.1. Avaliação da área de cobertura com recepção estática

Durante a campanha de medição as gravações de recepção do sinal FM foram feitas apenas em pontos fixos. As gravações foram utilizadas para avaliar a cobertura do sinal FM. Como explicado anteriormente, as gravações de áudio foram avaliados, dentro do possível, seguindo a recomendação ITU-R BS.1284 [7] [4]. Em cada ponto de medição duas gravações foram feitas, uma em cada modo DRM+ testado. Os resultados aqui apresentados são obtidos como os valores médios das avaliações em ambas as gravações.

A Tabela 11 e Figura 20 resumem os resultados. A recepção, como esperado, é muito ruim nas radiais 2 e 3, que estão na parte traseira do transmissor. Isso também demonstra a cobertura ruim nesta área, Por outro lado, os resultados são muitos bons na área de interesse, apresentando apenas um ponto com recepção regular e os demais com boa recepção.

| | Radial de 15 km (Área de Interesse) | | Total | |
|---|---|---|---|---|
| | **Pontos** | **Percentagem** | **Pontos** | **Percentagem** |
| Total | 16 | 100% | 27 | 100% |
| Bom | 15 | 94% | 16 | 59% |
| Regular | 1 | 6% | 1 | 4% |
| Ruim | 0 | 0% | 10 | 37% |

Tabela 11- Resultados do FM analógico em recepção estática.

A Figura 21 ilustra os resultados de recepção e os valores de intensidade de campo elétrico em função da distância ao transmissor. Os pontos em verde representam a recepção boa, em amarelo a recepção regular e em vermelho a recepção ruim.

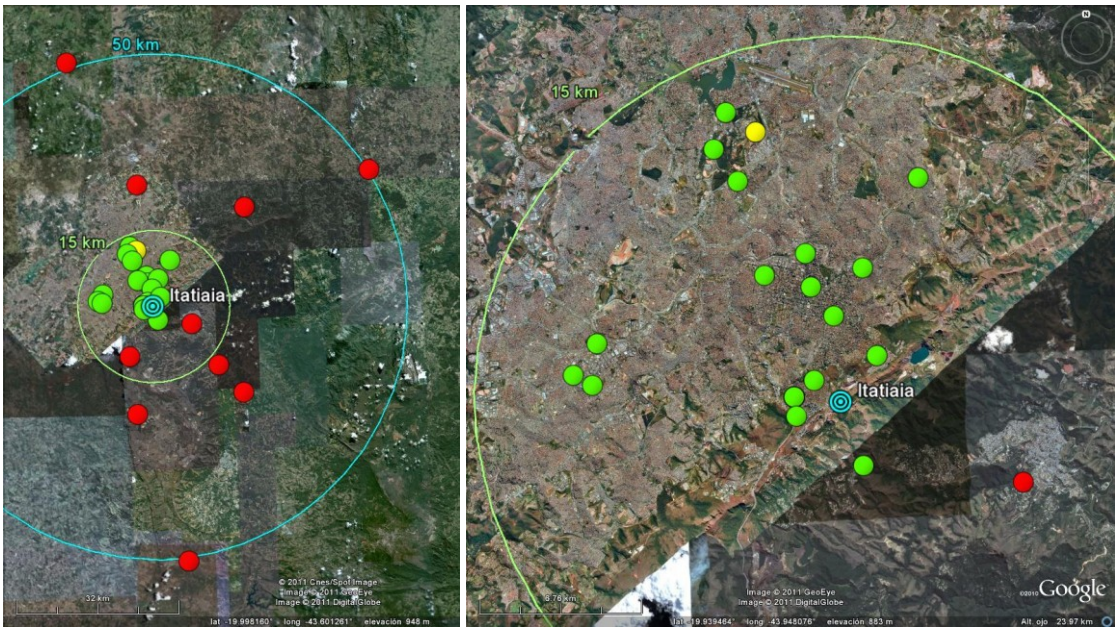


Figura 20 - Recepção estática do FM analógico mostrada no mapa.

Observa-se que o limiar de intensidade de campo elétrico está em torno de 60 dBµV/m. Está entre o valor de 66 dBµV/m definido no regulamento técnico brasileiro [8] para as áreas urbanas (área de serviços urbanos) e o valor de 54 dBµV/m definido para áreas rurais (incluídas nesses testes). Estes valores são os mesmos apresentados pela UIT [9]. Assim, o valor obtido é semelhante aos valores teóricos.

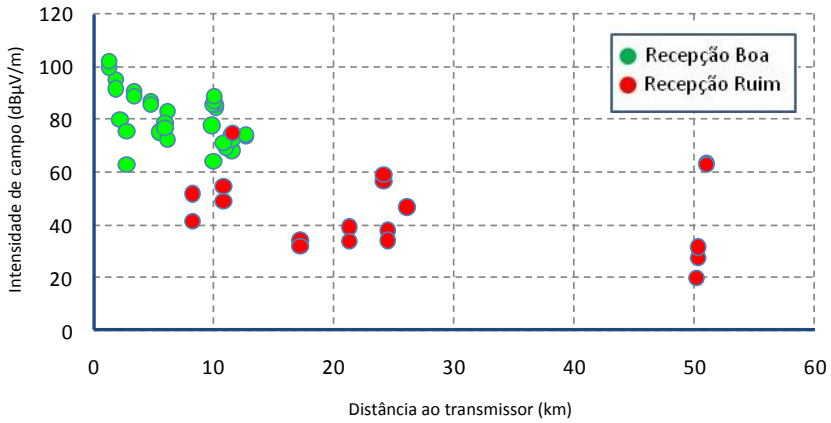


Figura 21 - Resultados do FM analógico em função da distância do transmissor.

### 4.3.2. Recepção Indoor do FM

Durante as campanhas de medição do DRM+ também foram realizados testes indoor com o FM. Cabe ressaltar que nenhum sinal FM foi gravado enquando a estação estava transmitindo em DRM+ no modo 4QAM.

Portanto foram selecionados no total 16 pontos de medição, sendo que para a maioria houve medição repetida em dias diferentes. As localidades escolhidas foram:

- Prédio da estação transmissora, localizado a 0 km do ponto de transmissão. Nesse local, foi realizada medição em apenas 1 ponto.
- Prédio da Anatel, localizado a 3,5 km do ponto de transmissão, em área urbana densa. Nesse local, foram realizadas medições em 4 diferentes pontos.
- Hotel Financial, localizado a 5,9 km do ponto de transmissão, em área urbana densa. Nesse local, foram realizadas medições em 3 diferentes pontos.
- Studio Itatiaia, localizado a 6,9 km do ponto de transmissão, em área urbana densa. Nesse local, foi realizada medição em apenas 1 ponto.
- UFMG, localizada entre 11,5 km a 12,2 km do ponto de transmissão. Nesse local, foram realizadas medições em 7 diferentes pontos.

Estes são os pontos numerados de 2 à17 na Tabela 5.6 que encontra-se no anexo.

Portanto, a recepção em 13 pontos de um total de 16 foi ótima (Tabela 12). Os três pontos com recepção ruim foram a estação transmissora (provavelmente devido à saturação do receptor), o Hotel Financial e um ponto na UFMG.

| | Pontos | Percentagem |
|---|---|---|
| Total | 16 | 100% |
| Bom | 13 | 81% |
| Ruim | 3 | 19% |

Tabela 12 - Resultados da recepção indoor do FM analógico.

## 4.4. Comparação entre os resultados da recepção FM e DRM+

Os testes feitos com os sistemas DRM+ e FM podem ser comparados porque foram realizados sob as mesmas condições. Ambos os receptores foram ligados a uma antena externa situada na parte superior da unidade móvel, ressaltando que o sinal de FM não foi gravado para medições móveis.

Os resultados obtidos com os receptores FM e DRM + em ambos os modos de transmissão são muito semelhantes. Estes resultados são apresentados na Tabela 13 e resumidos na Tabela 14. Comparando-se o FM com DRM+ no modo 4QAM, a recepção é igual, exceto em um ponto, onde a recepção FM é pior. Comparando FM com DRM+ no modo 16QAM, em 4 pontos a recepção FM é pior, e em 2 a recepção DRM+ é pior. No entanto, é importante observar que a

recepção DRM+ nestes dois pontos tem um AQ maior que 97%, muitos próximos da condição para boa recepção.

A área de cobertura é atendida pelos dois sistemas FM e DRM+ nos modos 4QAM e 16QAM. Alem da área de cobertura de interesse, e comparando a rota radial 4, o modo 16QAM é recebido nos quatros pontos de medição, enquanto que o 4QAM é recebido em três e o FM apenas em dois. Poderia-se concluir que recepção do DRM+ é um pouco melhor do que a recepção FM, no entanto existem poucos pontos para garantir esta afirmação. Mas, pode-se observar que a área de cobertura do DRM+ é pelo menos igual ou maior que a do FM.

| Ponto | Distância em relação ao transmissor (km) | DRM+ 4QAM (AQ %) | Qualidade de áudio FM | DRM+ 16QAM (AQ %) | Qualidade de áudio FM |
|---|---|---|---|---|---|
| **R1P1** | 2.21 | - | - | 100 | 3 |
| **R1P2** | 10.02 | - | - | 99.87 | 3 |
| **R1P3** | 26.51 | - | - | 0 | 1 |
| **R1P4** | 50.26 | - | - | 0 | 1 |
| **R2P1** | 1.89 | 100 | 3 | 99.58 | 3 |
| **R2P2** | 10.78 | 94.98 | 1 | 99.88 | 2 |
| **R2P3** | 21.27 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| **R2P4** | 50.306 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| **R3P1** | 2.803 | 100 | 3 | 99.95 | 4 |
| **R3P2** | 8.25 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| **R3P3** | 17.208 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| **R3P4** | 24.45 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| **R4P1** | 1.36 | 99.3 | 3 | 100 | 3 |
| **R4P2** | 9.89 | 98.61 | 3 | 100 | 4 |
| **R4P3** | 24.11 | 84.83 | 2 | 100 | 2 |
| **R4P4** | 50.99 | 99.43 | 2 | 100 | 1 |
| **C1P1** | 3.45 | 98.89 | 3 | 98.88 | 3 |
| **C1P2** | 5.49 | 98.74 | 3 | 99.60 | 3 |
| **C1P3** | 6.16 | 98.44 | 3 | 97.84 | 3 |
| **C1P4** | 5.97 | 99.03 | 4 | 99.76 | 3 |
| **C1P5** | 4.78 | 99.21 | 3 | 97.02 | 3 |
| **C2P1** | 11.51 | 100 | 3 | 99.71 | 2 |
| **C2P2** | 11.51 | 100 | 3 | 100 | 3 |
| **C2P3** | 12.67 | 100 | 3 | 100 | 3 |
| **C3P1** | 10 | 100 | 3 | 100 | 4 |
| **C3P2** | 10.06 | 100 | 3 | 100 | 3 |
| **C3P3** | 10.84 | 100 | 4 | 99.73 | 3 |

Tabela 13 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática.

| Recepção FM | Recepção DRM+ | 4QAM | | 16QAM | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pontos | Percentagem | Pontos | Percentagem |
| Bom | Bom | 15 | 65% | 14 | 52% |
| Bom | Regular ou ruim | 0 | 0% | 2 | 7% |
| Ruim | Bom | 1 | 4% | 4 | 15% |
| Ruim | Regular ou ruim | 7 | 31% | 7 | 26% |
| Total | | 23 | 100% | 27 | 100% |

Tabela 14 - Resumo dos resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática.

Os resultados das recepções indoor do FM e DRM+ nos modos 4QAM e 16QAM são apresentados na Tabela 15 e Tabela 16. Comparando-se o FM com DRM+ em 4QAM, a recepção é boa com ambos os sinais. Há apenas um ponto com melhor recepção com DRM+, e não há pontos com melhor recepção do sinal FM. Na comparação do FM e DRM+ em 16QAM, há apenas um ponto com melhor recepção com DRM+, e outro ponto com melhor recepção do sinal FM.

Estes resultados são muito semelhantes aos resultados da recepção em pontos fixos. Isto é, a recepção DRM+ no modo 4QAM parece ser ligeiramente melhor do que a recepção de FM e, o DRM+ no modo 16QAM parece ser semelhante à recepção do FM.

| Ponto | Descrição | Distância em relação ao transmissor (km) | DRM+ 4QAM | DRM+ 16QAM | Qualidade do áudio FM |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Transmissor | 0 | 100 | - | - |
| 2 | Hotel Financial | 5.96 | 100 | - | 5 |
| 3 | Sala de reunião na Anatel | 3.18 | 100 | - | 4 |
| 4 | Auditório na Anatel | 3.55 | 100 | - | 5 |
| 5 | Campos da UFMG. Piso da FACEDU | 11.69 | 99.97 | - | 5 |
| 6 | Campos da UFMG. 4º andar na FACEDU | 11.57 | 100 | - | 4 |
| 7 | Campus da UFMG. 3º andar na FACIEC | 11.99 | 100 | - | 1 |
| 8 | Campus da UFMG. Reitoria 8º andar | 12.17 | 100 | - | 4 |
| 9 | Transmissor | 0 | - | 99.74 | 2 |
| 10 | Studio da Itatiaia | 6.87 | - | 99.74 | 5 |
| 11 | Hotel Financial. 8º andar | 5.96 | - | 11.27 | 2 |
| 12 | Campus da UFMG. Piso da FACEDU | 11.69 | - | 99.87 | 4 |
| 13 | Campus da UFMG 4º andar na FACEDU | 11.69 | - | 97.98 | 3 |
| 14 | Campus da UFMG. FACIEC | 11.99 | - | 100 | 4 |
| 15 | Anatel 1º andar | 3.55 | - | 98.36 | 5 |
| 16 | Anatel 10º andar | 3.55 | - | 100 | 5 |
| 17 | Hotel Financial. 8º andar | 5.96 | - | 99.57 | 4 |

Tabela 15 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ em recepção indoor.

| Recepção FM | Recepção DRM+ | 4QAM | | 16QAM | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pontos | Percentagem | Pontos | Percentagem |
| Bom | Bom | 6 | 86% | 6 | 67% |
| Bom | Regular ou ruim | 0 | 0% | 1 | 11% |
| Ruim | Bom | 1 | 14% | 1 | 11% |
| Ruim | Regular ou ruim | 0 | 0% | 1 | 11% |
| Total | | 7 | 100% | 9 | 100% |

Tabela 16 - Resumo dos resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção indoor.

No entanto, deve ser considerado que a área de cobertura alcançada nessa campanha de medição foi obtida com uma EIRP reduzida de 17,4 dB. Isto também pode ser comprovado pelos limiares de recepção obtidos, que são em torno de 20 dB maiores para o FM do que para o DRM+.

# 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 freqüências até a Banda III VHF. O Consórcio possui 93 membros e 90 financiadores de 39 países envolvidos até outubro de 2009 [3].

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 [10], seguido de uma Recomendação ITU definindo a utilização do sistema de radiodifusão sonora digital a nível internacional [2].

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 [1].

### 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 freqüências 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 freqüências 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 co-existir 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 [12]. 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 conseqüência 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 freqüência, pois quanto maior a freqüência 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 [13]. Isso explica o baixo uso de freqüências 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 freqüências, 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 [3].

### 5.1.3. Característica técnicas

O sistema digital de radiodifusão DRM (Digital Radio Mondiale) pode ser usado em bandas de freqüências 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 freqüência modulada (FM). O sistema operando em freqüências abaixo de 30 MHz é chamado de DRM [1]-[3]. O DRM+ é uma extensão do sistema DRM para operar na faixa de freqüência 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*) [1] [2] [14].

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 (Δfp) | 41.667 Hz | 46.875 Hz | 68.182 Hz | 107.143 Hz | 444.444 Hz |
| Duração da parte utilizável (ortogonal) de um símbolo OFDM (Tu = 1/Δfp) | 24 ms | 21.333 ms | 14.667 ms | 9.333 ms | 2.25 ms |
| Intervalo de guarda (Tg) | 2.667 ms | 5.333 ms | 5.333 ms | 7.333 ms | 0.25 ms |
| Duração do símbolo OFDM (Ts = Tu + Tg) | 26.667 ms | 26.667 ms | 20 ms | 16.667 ms | 2.5 ms |
| Tg /Tu | 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 freqüência, 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 freqüência. | 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 [1],[3]. 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) [1] [3]. 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 mais robustez, o que é conseguido através de modulação 4-QAM e um FEC robusto [1].

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 [1].

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.

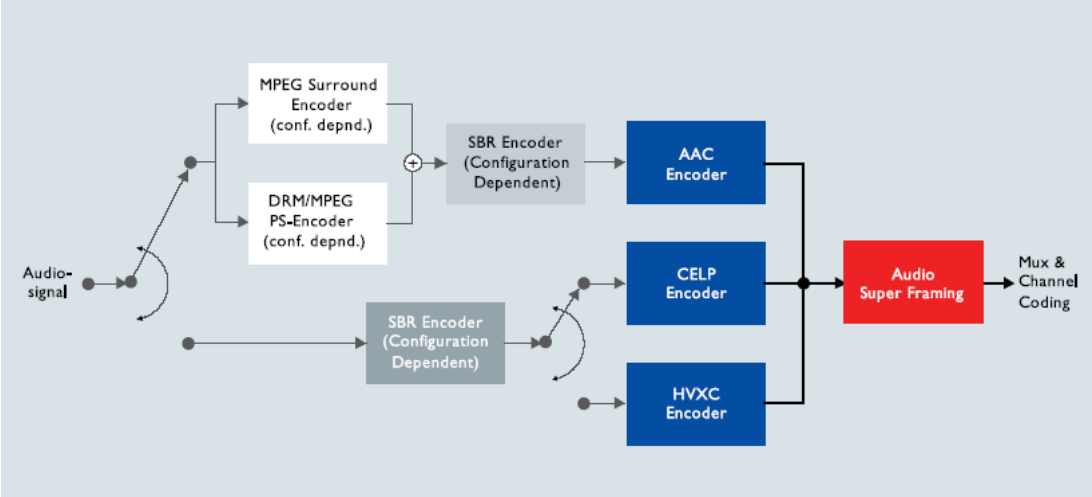


Figura 5.1. Opções de codificação de áudio no DRM.

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 freqüências. Ele usa, de forma dinâmica, o conteúdo espectral de informações de baixa freqüência para criar uma imitação para as informações de alta freqüência 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 freqüências 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 freqüência espectral perdidas, que são combinadas com as informações de baixa freqüência 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<br>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) [15]. 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 [15].

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 freqüência 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 "[16]. 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 [17] 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 [16] [18]. 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 [19].

Outros ensaios na faixa MW foram realizados no México [20], França [21], Índia [3] e outros países com bons resultados. Ensaios realizados na Alemanha mostraram o bom desempenho da rede SFN em MW [22].

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 [23], 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 [24].

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 [22] e EBU [25]. 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 [26] [27]. 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 [28].

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+ [29]. 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 [30]. 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 [31].

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 dBμV/m e uma SNR de 10 dB, enquanto que para o modo de 16-QAM a recepção foi possível abaixo 46 dBμV/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 [32] [33].

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 dBμV/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 dBμV/m e um SNR de 20 dB, até 15 km de distância do transmissor [35].

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) [34].

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 [36].

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 [1].

## 5.2. Detalhes das rotas utilizadas nas medições

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

| Ponto | Rota | Latitude | Longitude | Distância em relação ao transmissor (km) | Azimute do transmissor (°) |
|---|---|---|---|---|---|
| **R1P1** | Radial 1 | 19°57'28.58"S | 43°54'50.02"W | 2.22 | 49° |
| **R1P2** | Radial 1 | 19°53'18.98"S | 43°53'25.00"W | 10.02 | 24° |
| **R1P3** | Radial 1 | 19°47'58.90"S | 43°45'11.00"W | 26.49 | 44° |
| **R1P4** | Radial 1 | 19°44'24.60"S | 43°30'59.03"W | 50.24 | 59° |
| **R2P1** | Radial 2 | 19°58'33.57"S | 43°56'50.23"W | 1.90 | 255° |
| **R2P2** | Radial 2 | 20° 3'30.36"S | 43°58'33.85"W | 10.79 | 207° |
| **R2P3** | Radial 2 | 20° 9'37.79"S | 43°57'53.43"W | 21.28 | 190° |
| **R2P4** | Radial 2 | 20°25'22.65"S | 43°52'41.94"W | 50.31 | 174° |
| **R3P1** | Radial 3 | 19°59'42.64"S | 43°55'18.02"W | 2.80 | 166° |
| **R3P2** | Radial 3 | 20° 0'13.07"S | 43°51'31.94"W | 8.25 | 117° |
| **R3P3** | Radial 3 | 20° 4'41.32"S | 43°48'38.21"W | 17.21 | 134° |
| **R3P4** | Radial 3 | 20° 7'40.05"S | 43°45'54.08"W | 24.46 | 135° |
| **R4P1** | Radial 4 | 19°57'47.68"S | 43°56'23.92"W | 1.36 | 304° |
| **R4P2** | Radial 4 | 19°53'20.65"S | 43°58'2.16"W | 9.89 | 336° |
| **R4P3** | Radial 4 | 19°45'15.56"S | 43°57'15.65"W | 24.11 | 354° |
| **R4P4** | Radial 4 | 19°31'58.08"S | 44° 4'48.77"W | 51.00 | 342° |
| **C1P1** | Circular 1 | 19°56'23.43"S | 43°55'53.14"W | 3.46 | 355° |
| **C1P2** | Circular 1 | 19°55'20.70"S | 43°55'9.79"W | 5.49 | 10° |
| **C1P3** | Circular 1 | 19°54'58.99"S | 43°56'29.36"W | 6.17 | 347° |
| **C1P4** | Circular 1 | 19°55'26.41"S | 43°57'28.98"W | 5.98 | 330° |
| **C1P5** | Circular 1 | 19°55'44.53"S | 43°56'23.75"W | 4.78 | 346° |
| **C2P1** | Circular 2 | 19°52'15.11"S | 43°57'34.84"W | 11.52 | 344° |
| **C2P2** | Circular 2 | 19°52'36.30"S | 43°58'34.74"W | 11.51 | 335° |
| **C2P3** | Circular 2 | 19°51'48.05"S | 43°58'16.05"W | 12.68 | 339° |
| **C3P1** | Circular 3 | 19°56'49.90"S | 44° 1'28.50"W | 10.25 | 285° |
| **C3P2** | Circular 3 | 19°57'44.80"S | 44° 1'36.10"W | 10.16 | 275° |
| **C3P3** | Circular 3 | 19°57'30.70"S | 44° 2'3.10"W | 11.00 | 277° |

Tabela 5.4-Detalhes da localização das medições estáticas

| Percurso | Rota | Comprimento (km) |
|---|---|---|
| **R1P1 to R1P2** | Radial 1 | 10.1 |
| **R1P2 to R1P3** | Radial 1 | 24.9 |
| **R1P3 to R1P4** | Radial 1 | 33.9 |
| **R2P1 to R2P2** | Radial 2 | 10.5 |
| **R2P2 to R2P3** | Radial 2 | 12.1 |
| **R2P3 to R2P4** | Radial 2 | 33.7 |
| **R3P1 to R3P2** | Radial 3 | 9.1 |
| **R3P2 to R3P3** | Radial 3 | 13.7 |
| **R3P3 to R3P4** | Radial 3 | 7.9 |
| **R4P1 to R4P2** | Radial 4 | 21.2 |
| **R4P2 to R4P3** | Radial 4 | 18.7 |
| **R4P3 to R4P4** | Radial 4 | 31.0 |
| **C1P1 to C1P2** | Circular 1 | 2.5 |
| **C1P2 to C1P3** | Circular 1 | 3.6 |
| **C1P3 to C1P4** | Circular 1 | 2.5 |

| | | |
|---|---|---|
| **C1P4 to C1P5** | Circular 1 | 3.1 |
| **C1P5 to C1P1** | Circular 1 | 2.4 |
| **C2P1 to C2P2** | Circular 2 | 3.4 |
| **C2P2 to C2P3** | Circular 2 | 2.2 |
| **C2P3 to C2P1** | Circular 2 | 3.3 |
| **C3P1 to C3P2** | Circular 3 | Desconhecido |
| **C3P2 to C3P3** | Circular 3 | Desconhecido |
| **C3P3 to C3P1** | Circular 3 | Desconhecido |

Tabela 5.5 - Detalhes das medições móveis.

| Ponto | Descrição | Latitude | Longitude | Distância em relação ao transmissor (km) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Transmissor | 19°58'15.81"S | 43°55'47.72"W | 0 |
| 2 | Hotel Financial | 19°55'5.24"S | 43°56'20.00"W | 5.96 |
| 3 | Anatel – Sala de reunião | 19°56'21.58"S | 43°55'56.60"W | 3.13 |
| 4 | Anatel – Auditório | 19°56'21.58"S | 43°55'56.60"W | 3.51 |
| 5 | Campus UFMG. Piso FACEDU | 19°52'13.42"S | 43°57'33.27"W | 11.69 |
| 6 | UFMG Campus. FACEDU 4° andar | 19°52'13.42"S | 43°57'33.27"W | 11.58 |
| 7 | Campus UFMG. FACIEC 3° andar | 19°52'3.14"S | 43°57'47.32"W | 11.99 |
| 8 | Campus UFMG. Reitoria 8° andar | 19°51'57.98"S | 43°57'51.64"W | 12.17 |
| 9 | Transmissor | 19°58'15.81"S | 43°55'47.72"W | 0 |
| 10 | Estúdios da Itatiaia | 19°54'40.37"S | 43°56'48.14"W | 6.86 |
| 11 | Hotel Financial. 8° andar | 19°55'5.24"S | 43°56'20.00"W | 5.96 |
| 12 | Campus UFMG Andar da FACEDU | 19°52'13.42"S | 43°57'33.27"W | 11.69 |
| 13 | Campus UFMG. FACEDU 4° andar | 19°52'13.42"S | 43°57'33.27"W | 11.69 |
| 14 | CampusUFMG. FACIEC | 19°52'3.14"S | 43°57'47.32"W | 11.99 |
| 15 | Anatel 1° andar | 19°56'21.58"S | 43°55'56.60"W | 3.48 |
| 16 | Anatel 10° andar | 19°56'21.58"S | 43°55'56.60"W | 3.48 |
| 17 | Hotel Financial Hotel. 8° andar | 19°55'5.24"S | 43°56'20.00"W | 5.96 |

Tabela 5.6 - Detalhes da localização das medições indoor.

## 5.3. Detalhes dos Resultados das Medições

Nas tabelas a seguir são apresentados os detalhes dos resultados.

| Ponto | Distância em relação ao transmissor (km) | Qualidade do Áudio AQ (%) | SNR Mediano (dB) | Intensidade do Campo Elétrico (dBµV/m) |
|---|---|---|---|---|
| **R2P1** | 1.89 | 100 | 28.8 | 85 |
| **R2P2** | 10.78 | 94.98 | 3.3 | 42 |
| **R2P3** | 21.28 | 0 | -2.4 | 22 |
| **R2P4** | 50.30 | 0 | -0.6 | 11 |
| **R3P1** | 2.8 | 100 | 21.6 | 46 |
| **R3P2** | 8.25 | 0 | -3.4 | 35 |
| **R3P3** | 17.20 | 0 | -3.3 | 17 |
| **R3P4** | 24.45 | 0 | -0.7 | 21 |
| **R4P1** | 1.36 | 99.3 | 31.0 | 89 |
| **R4P2** | 9.89 | 98.61 | 22.4 | 63 |
| **R4P3** | 24.11 | 84.83 | 7.1 | 33 |
| **R4P4** | 50.99 | 99.43 | 24.5 | 44 |
| **C1P1** | 3.45 | 98.89 | 29.6 | 81 |
| **C1P2** | 5.49 | 98.74 | 30.0 | - |
| **C1P3** | 6.16 | 98.44 | 29.6 | 70 |
| **C1P4** | 5.97 | 99.03 | 30.0 | 66 |
| **C1P5** | 4.78 | 99.21 | 30.4 | 73 |
| **C2P1** | 11.51 | 100 | 30.4 | 61 |
| **C2P2** | 11.51 | 100 | 27.2 | 60 |
| **C2P3** | 12.67 | 100 | 24.9 | 65 |
| **C3P1** | 10.25 | 100 | 31.0 | 69 |
| **C3P2** | 10.16 | 100 | 29.6 | 70 |
| **C3P3** | 11 | 100 | 21.6 | 61 |

Tabela 5.7 - Resultados do DRM+ no modo 4QAM para recepção em pontos fixos.

| Ponto | Distância em relação ao transmissor (km) | Qualidade do Áudio AQ (%) | SNR Mediano (dB) | Intensidade do Campo Elétrico (dBµV/m) |
|---|---|---|---|---|
| **R1P1** | 2.21 | 100 | 22.9 | 71 |
| **R1P2** | 10.02 | 99.87 | 30.4 | 73 |
| **R1P3** | 26.49 | 0 | 0 | 31 |
| **R1P4** | 50.24 | 0 | 0 | 3 |
| **R2P1** | 1.89 | 99.58 | 28.8 | 81 |
| **R2P2** | 10.80 | 99.88 | 17.9 | 41 |
| **R2P3** | 21.28 | 0 | -0.6 | 17 |
| **R2P4** | 50.30 | 0 | 0.2 | 15 |
| **R3P1** | 2.8 | 99.95 | 17.1 | 56 |
| **R3P2** | 8.26 | 0 | -2.7 | 24 |
| **R3P3** | 17.21 | 0 | -2.6 | 15 |
| **R3P4** | 24.46 | 0 | -2.7 | 17 |
| **R4P1** | 1.36 | 100 | 31.0 | 92 |
| **R4P2** | 9.87 | 100 | 30.4 | 66 |
| **R4P3** | 24.12 | 100 | 26.2 | 36 |
| **R4P4** | 50.99 | 100 | 26.6 | 44 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **C1P1** | 3.45 | 98.88 | 30.0 | 72 |
| **C1P2** | 5.49 | 99.60 | 30.4 | 67 |
| **C1P3** | 6.17 | 97.84 | 30.0 | 66 |
| **C1P4** | 5.98 | 99.76 | 25.8 | 62 |
| **C1P5** | 4.76 | 97.02 | 30.4 | 73 |
| **C2P1** | 11.51 | 99.71 | 30.4 | 63 |
| **C2P2** | 11.51 | 100 | 28.8 | 58 |
| **C2P3** | 12.67 | 100 | 26 | 66 |
| **C3P1** | 10.25 | 100 | 30.0 | 70 |
| **C3P2** | 10.16 | 100 | 30.4 | 71 |
| **C3P3** | 11 | 99.73 | 30.0 | 43 |

Tabela 5.8 - Resultados do DRM+ no modo 16QAM para recepção em pontos fixos.

| **Ponto** | **Distância em relação ao transmissor (km)** | **Qualidade do Áudio FM** | | **Intensidade do Campo Elétrico Mediano (dBµV/m)** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **4QAM** | **16QAM** | **4QAM** | **16QAM** |
| **R1P1** | 2.21 | - | 3 | - | 80 |
| **R1P2** | 10.02 | - | 3 | - | 89 |
| **R1P3** | 26.51 | - | 0 | - | 47 |
| **R1P4** | 50.26 | - | 0 | - | 20 |
| **R2P1** | 1.89 | 3 | 3 | 95 | 92 |
| **R2P2** | 10.78 | 1 | 2 | 55 | 49 |
| **R2P3** | 21.27 | 0 | 0 | 39 | 34 |
| **R2P4** | 50.306 | 0 | 0 | 28 | 31 |
| **R3P1** | 2.803 | 3 | 4 | 63 | 76 |
| **R3P2** | 8.25 | 0 | 0 | 52 | 41 |
| **R3P3** | 17.208 | 0 | 0 | 34 | 32 |
| **R3P4** | 24.45 | 0 | 0 | 38 | 34 |
| **R4P1** | 1.36 | 2 | 3 | 100 | 102 |
| **R4P2** | 9.89 | 3 | 4 | 86 | 78 |
| **R4P3** | 24.11 | 2 | 2 | 56 | 59 |
| **R4P4** | 50.99 | 2 | 1 | 63 | 63 |
| **C1P1** | 3.45 | 3 | 3 | 91 | 89 |
| **C1P2** | 5.49 | 3 | 3 | - | 75 |
| **C1P3** | 6.16 | 3 | 3 | 83 | 72 |
| **C1P4** | 5.97 | 4 | 3 | 79 | 77 |
| **C1P5** | 4.78 | 3 | 3 | 87 | 86 |
| **C2P1** | 11.51 | 3 | 2 | 74 | 75 |
| **C2P2** | 11.51 | 3 | 3 | 68 | 72 |
| **C2P3** | 12.67 | 2 | 3 | 74 | 74 |
| **C3P1** | 10 | 3 | 4 | 85 | 64 |
| **C3P2** | 10.06 | 3 | 3 | 86 | 87 |
| **C3P3** | 10.84 | 4 | 3 | 70 | 71 |

Tabela 5.9 - Resultados do FM para recepção em pontos fixos.

| Percurso | Qualidade do Áudio AQ (%) | SNR Mediano (dB) |
|---|---|---|
| **R2P1 to R2P2** | 93.67 | 19.4 |
| **R2P2 to R2P3** | 53.56 | 4.2 |
| **R2P3 to R2P4** | 0 | -1 |
| **R3P1 to R3P2** | 92.26 | 18.1 |
| **R3P2 to R3P3** | 47.42 | 3.3 |
| **R3P3 to R3P4** | 17.38 | 0.7 |
| **R4P1 to R4P2** | 99.36 | 28.2 |
| **R4P2 to R4P3** | 99.36 | 27.7 |
| **R4P3 to R4P4** | 99.69 | 20.0 |
| **C1P1 to C1P2** | 99.10 | 29.6 |
| **C1P2 to C1P3** | 98.74 | 28.8 |
| **C1P3 to C1P4** | 99 | 29.6 |
| **C1P4 to C1P5** | 98.51 | 30 |
| **C1P5 to C1P1** | 99.13 | 29.6 |
| **C2P1 to C2P2** | 100 | 28.5 |
| **C2P2 to C2P3** | 100 | 28.8 |
| **C2P3 to C2P1** | 100 | 28.8 |
| **C3P1 to C3P2** | 99.97 | 30.4 |
| **C3P2 to C3P3** | 100 | 29.6 |
| **C3P3 to C3P1** | 100 | 21.6 |

Tabela 5.10- Resultados do DRM+ no modo 4QAM para recepção móvel.

| Percurso | Qualidade do Áudio AQ (%) | SNR Mediano (dB) |
|---|---|---|
| **R1P1 to R1P2** | 99.99 | 29.6 |
| **R1P2 to R1P3** | 92.91 | 25.8 |
| **R1P3 to R1P4** | 40.11 | 8.3 |
| **R2P1 to R2P2** | 78.75 | 19.7 |
| **R2P2 to R2P3** | 30.49 | 6.7 |
| **R2P3 to R2P4** | 0 | -0.5 |
| **R3P1 to R3P2** | 64.74 | 14.4 |
| **R3P2 to R3P3** | 12.04 | 0.4 |
| **R3P3 to R3P4** | 0 | -2.4 |
| **R4P1 to R4P2** | 99.24 | 28.5 |
| **R4P2 to R4P3** | 99.63 | 27.9 |
| **R4P3 to R4P4** | 92.78 | 22.1 |
| **C1P1 to C1P2** | 99.09 | 28.8 |
| **C1P2 to C1P3** | 99.32 | 29.6 |
| **C1P3 to C1P4** | 98.86 | 29.6 |
| **C1P4 to C1P5** | 98.28 | 30 |
| **C1P5 to C1P1** | 99.22 | 30 |
| **C2P1 to C2P2** | 99.73 | 28.2 |
| **C2P2 to C2P3** | 99.98 | 28.2 |
| **C2P3 to C2P1** | 99.48 | 27.9 |
| **C3P1 to C3P2** | 100 | 30 |
| **C3P2 to C3P3** | 99.71 | 29.6 |
| **C3P3 to C3P1** | 99.73 | 30 |

Tabela 5.11- Resultados do DRM+ no modo 16QAM para recepção móvel.

| Ponto | Qualidade do Áudio AQ (%) | SNR Mediano (dB) |
|---|---|---|
| **1** | 100 | 25.67 |
| **2** | 100 | 20.18 |
| **3** | 100 | 24.67 |
| **4** | 100 | 29.58 |
| **5** | 99.97 | 15.74 |
| **6** | 100 | 30.45 |
| **7** | 100 | 23.07 |
| **8** | 100 | 28.53 |

Tabela 5.12- Recepção indoor com DRM+ no modo 4QAM.

| Ponto | Qualidade do Áudio AQ (%) | SNR Mediano (dB) |
|---|---|---|
| **9** | 99.74 | 26.18 |
| **10** | 99.74 | 26.18 |
| **11** | 11.27 | 8.7 |
| **12** | 99.87 | 21.33 |
| **13** | 97.98 | 30.96 |
| **14** | 100 | 27.95 |
| **15** | 98.36 | 24.8 |
| **16** | 100 | 28.53 |
| **17** | 99.57 | 24.93 |

Tabela 5.13- Recepção indoor com DRM+ no modo 16QAM.

| Ponto | Qualidade do Áudio FM |
|---|---|
| **2** | 5 |
| **3** | 4 |
| **4** | 5 |
| **5** | 5 |
| **6** | 4 |
| **7** | 1 |
| **8** | 4 |
| **9** | 2 |
| **10** | 5 |
| **11** | 2 |
| **12** | 4 |
| **13** | 3 |
| **14** | 4 |
| **15** | 5 |
| **16** | 5 |
| **17** | 4 |

Tabela 5.14 - Recepção indoor com FM.

# BIBLIOGRAFIA


[1] ETSI ES 201 980: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, v3.1.1, 2009.

[2] Rec. ITU-R BS.1514-1: Systems for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz, 2002.

[3] “DRM Broadcaster’s Guide. Version 1.1”, DRM Consortium, June 2010.

[4] 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/.

[5] Friederike Maier. ” Preliminary report: DRM+ measurements in band II”. University of Hanover, 2010.

[6] Digital Radio Mondiale (DRM). “Comments on preliminary draft revision to Recommendation ITU-R BS.1114-6”. ITU-R, Document 6A/347-E 2010.

[7] Rec. ITU-R BS.1284-1: General methods for the subjective assessment of sound quality, 2003

[8] Anatel, Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Freqüência Modulada (Resolução nº67, de 12 de novembro de 1998, D.O.U. 26/03/1999 – Alterada pela resolução nº 349, de 25 de septembro de 2003).

[9] Rec. ITU-R BS.412-9: Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF, 1998.

[10] ETSI TS 101 980: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, v1.1.1, 2001.

[11] 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.

[12] DRM, “Broadcasters' User Manual”, A Digital Radio Mondiale™ (DRM™) Publication. 1st edition,. p. 47., Março 2004

[13] P. M. Hall et al., “*Radiowave propagation*” IEEElectromagnetic Waves Series 30, Peter Peregrinus Ltd., 1989

[14] “IEC 62272-1 “Digital Radio Mondiale (DRM)—Part 1: System Specification,”, International Electrotechnical Commission, 2003.

[15] M. Dietz, S Meltzer, “CT-aacPlus – A state-of-the-art audio coding system.” EBU Technical review N°291, 2002

[16] ITU Radio Communications Study Group. E-175E Document. “Digital Radio Mondiale DRM Daytime Tests”, 2005

[17] ITU-R P.368-7 (03/92) Recommendation, “Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz”.1992

[18] 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

[19] 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

[20] ITU Radio Communications Study Group. 6E-403E Document. “MW Simulcast Tests in Mexico DF”, 2006

[21] 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

[22] 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

[23] 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

[24] 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.

[25] James Briggs, “Digital Broadcasting Below 30 MHz: DRM a Summary of the Field Trials”. EBU Technical Review, N° 296. October 2003.

[26] ITU Radio Communications Study Group. 6E-200E Document. “Longterm Tests Results (February 2002)”, 2002

[27] 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.

[28] Maier, Friederike; Waal, Albert; Pagel, D. “DRM+ Field Trial Hanover. 2008”.

[29] 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.

[30] 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.

[31] “DRM+ successfully trialled in Paris”. DRM Consortium Press Summary. 12th June, 2009

[32] Maier, Friederike. “Preliminary report: DRM+ measurements in band II”. Institute of Communications Technology, University of Hanover, 2010

[33] Digital Radio Mondiale (DRM). “Comments on preliminary draft revision to Recommendation ITU-R BS.1114-6”. ITU-R, Document 6A/347-E 2010.

[34] 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.

[35] Maier, Friederike y Pagel, Detlef. “Preliminary report: DRM+ measurements in band III”. Institute of Communications Technology, University of Hanover, 2010.

[36] Cornell, Lindsay. “DRM+ Tests and Trials”. DRM Consortium, 2011.