

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MEDIDAS DE CAMPO EM FREQUÊNCIA MODULADA EM MODO

SIMULCAST VISANDO A DIGITALIZAÇÃO DA RÁDIO

COMUNITÁRIA NO BRASIL

José Gomes da Silva Filho

Brasília, 27 de Fevereiro de 2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**MEDIDAS DE CAMPO EM FREQUÊNCIA MODULADA EM MODO
SIMULCAST VISANDO A DIGITALIZAÇÃO DA RÁDIO
COMUNITÁRIA NO BRASIL**

JOSÉ GOMES DA SILVA FILHO

ORIENTADOR: HUMBERTO ABDALLA JÚNIOR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: 559/2014
BRASÍLIA: FEVEREIRO/2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

JOSÉ GOMES DA SILVA FILHO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Aprovada por:

HUMBERTO ABDALLA JÚNIOR, Dr., ENE/UnB.

(Orientador)

FLÁVIO FERREIRA LIMA, Dr., MC.

(Co-orientador)

ANTÔNIO JOSÉ MARTINS SOARES, ENE/UnB.

(Examinador Interno)

ADAILDO GOMES DASSUNÇÃO, Dr., UFRN

(Examinador Externo)

Brasília/DF, 27 de Fevereiro 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA

FILHO, JOSÉ GOMES DA SILVA.

Medidas de Campo em Frequência Modulada em Modo Simulcast Visando a Digitalização da Rádio Comunitária no Brasil. [Distrito Federal] 2014

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Rádio Comunitária 2. Padrão Digital
3. DRM 4. HD Radio

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FILHO, J.G.S. de (2014). Medidas de Campo em Frequência Modulada em Modo Simulcast Visando a Digitalização da Rádio Comunitária no Brasil. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE. DM – 559/2014, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, DF, 130p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: JOSÉ GOMES DA SILVA FILHO.

TÍTULO: Medidas de Campo em Frequência Modulada em Modo Simulcast Visando a Digitalização da Rádio Comunitária no Brasil.

GRAU/ANO: Mestre /2014.

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

José Gomes da Silva Filho.

QN7 Conjunto 13 Casa 21, 71.805-713, Riacho Fundo I, Brasília-DF – Brasil.
gomes2803@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador professor Humberto Abdalla Junior, pela oportunidade de estar estudando nesta conceituada universidade, pelo incentivo e tratamento que recebi todas as vezes que o procurei, pelo seu apoio que me ajudou a superar os momentos difíceis que enfrentei nesta instituição de ensino e pela sua orientação para que o presente trabalho fosse realizado. Ao meu amigo Flavio Ferreira Lima, pela oportunidade de participar da equipe que realizou os testes de campo do Ministério das Comunicações, que muito contribui para o aprimoramento dos meus conhecimentos e pelo apoio na elaboração da minha dissertação.

Aos demais professores: Leonardo R. A. X. Menezes, Antônio José Martins Soares, Franklin da Costa Silva, Luís Fernando Ramos Molinaro, Paulo Henrique Portela de Carvalho e aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, em especial a Carla e Adriana, do atendimento da pós-graduação.

Ao Pessoal do Ministério das Comunicações: Elza, Carlos (in memorian), Letícia, Edson, Gil e o Fábio.

Por fim agradeço a Deus, sem o qual nada seria possível.

José Gomes da Silva Filho.

Dedicatória

Ao meu pai **José Gomes da Silva.**

A minha irmã **Edileusa Gomes da Silva.**

In memoriam.

RESUMO

O presente trabalho busca avaliar às duas alternativas de digitalização, que atenderam ao chamamento público do governo brasileiro, para participarem dos testes, com o propósito de serem avaliados sobre o seu desempenho, suas características técnicas e serviços para atenderem ao padrão de radiodifusão sonora digital, a ser adotado no Brasil para as emissoras comunitárias em frequência modulada, e são candidatos para implantação do rádio digital no nosso país. As empresas participantes dos testes foram o consorcio DRM - Digital Radio Mondiale, que é uma organização internacional sem fins lucrativos, composta por mais de 100 organizações radiodifusoras, provedores de rede, fabricantes de transmissores e receptores, universidades, associações de radiodifusoras e institutos de pesquisa e o HD Rádio da empresa privada norte americana iBiquity Digital Corporation, cujo licenciamento no Brasil é feito pela TellHD.

A emissora escolhida para a realização dos testes foi a “Rádio Líder” da Associação dos moradores do Recanto das Emas (AREMAS), localizadas em Brasília – DF. As medições foram realizadas no período de 30 de junho a 10 de julho de 2012.

Os testes foram realizados com a transmissão híbrida (analógica e digital), com o objetivo da avaliação da área de cobertura do sinal digital, comparada à cobertura do sinal analógico, bem como a robustez do sistema, de forma a verificar o funcionamento do mesmo diante da realidade brasileira. Portanto, as potências de transmissões utilizadas durante os testes foram de responsabilidade de cada sistema, ficando-os responsáveis na escolha dos melhores parâmetros de transmissão de maneira a garantir a convivência entre os sinais analógicos e digitais.

ABSTRACT

This study aims to evaluate two alternative technology for digitalization, who attended the open call of the Brazilian government, to participate in the tests, in order to be evaluated on their performance, their technical features and services to meet the standard of digital audio broadcasting, to be adopted in Brazil for community broadcasters in frequency modulation, and are candidates for deployment of digital radio in our country. Participating companies were testing the consortium DRM - Digital Radio Mondiale, which is an international nonprofit organization, comprised of over 100 organizations broadcasters, network providers, manufacturers of transmitters and receivers, universities, associations of broadcasters and research institutes and HD Radio USA iBiquity Digital Corporation private company whose licensing in Brazil is done by TellHD.

The station chosen for the tests was the "Radio Leader" of the Association of Residents of the Nook Emas (AREMAS), located in Brasilia - DF. Measurements were carried out from June 30 to July 10, 2012.

The tests were performed with the hybrid transmission (analog and digital), with the objective of assessing the coverage area of digital signal coverage compared to the analog signal as well as the robustness of the system in order to verify the operation of the front Brazilian reality. Therefore, the powers of transmissions used during testing were the responsibility of each system, getting them responsible in choosing the best transmission parameters so as to ensure the coexistence of analog and digital signals.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS..... | 1 |
| 1.2 | ESCOPO DA DISSERTAÇÃO | 3 |
| 2 | RADIODIFUSÃO SONORA COMUNITÁRIA | 5 |
| 2.1 | INTRODUÇÃO | 5 |
| 2.2 | CANALIZAÇÃO DA RADIODIFUSÃO SONORA..... | 6 |
| 2.3 | RÁDIOS EM FUNCIONAMENTO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL | 9 |
| 2.4 | PANORAMA REGULATÓRIO | 10 |
| 2.5 | CONCLUSÃO | 11 |
| 3 | PADRÕES DE RÁDIO DIGITAL | 12 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 3.2 | SISTEMA DIGITAL DRM..... | 12 |
| 3.2.1 | <i>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</i> | 13 |
| 3.2.2 | <i>Serviços Adicionais</i> | 18 |
| 3.3 | SISTEMA DIGITAL HD RADIO..... | 19 |
| 3.3.1 | <i>Características Técnicas</i> | 20 |
| 3.3.2 | Funcionalidade de Canais Lógicos | 26 |
| 3.3.2 | <i>Serviços Adicionais</i> | 27 |
| 3.4 | CONCLUSÃO | 28 |
| 4 | CAMPANHA DE MEDIDAS COM O SISTEMA DRM+ | 30 |
| 4.1 | INTRODUÇÃO | 30 |
| 4.2 | SISTEMA DE TRANSMISSÃO | 30 |
| 4.3 | MODOS DE TRANSMISSÃO DO DRM | 36 |
| 4.4 | EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E METODOLOGIA | 36 |
| 4.4.1 | <i>Equipamentos de Medição</i> | 36 |
| 4.4.2 | <i>Parâmetros de Medição</i> | 39 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.4.3 | <i>Metodologia de Medição</i> | 40 |
| 4.4.4 | <i>Planejamento das Rotas</i> | 41 |
| 4.5 | RESULTADOS DOS TESTES | 43 |
| 4.5.1 | <i>Pré-processamento dos dados</i> | 43 |
| 4.5.2 | <i>Comparação da intensidade de campo elétrico do sinal analógico medida com a previsão teórica</i> | 44 |
| 4.5.3 | <i>Resultados do Modo de Transmissão 4QAM</i> | 45 |
| 4.5.3.1 | <i>Avaliação da área de cobertura do sinal digital com recepção estática</i> | 45 |
| 4.5.3.2 | <i>Avaliação da área de cobertura com recepção móvel</i> | 48 |
| 4.5.4 | <i>Resultados do Modo de Transmissão 16QAM</i> | 50 |
| 4.5.4.1 | <i>Avaliação da área de cobertura do sinal digital com recepção estática</i> | 50 |
| 4.5.4.2 | <i>Avaliação da área de cobertura com recepção móvel</i> | 53 |
| 4.5.5 | <i>Resultados da Recepção Analógica FM</i> | 55 |
| 4.5.5.1 | <i>Avaliação da área de cobertura em recepção estática</i> | 55 |
| 4.5.5.2 | <i>Comparação entre os resultados da recepção dos áudios analógico e digital</i> .. | 58 |
| 4.5.6 | <i>Impacto do sinal digital DRM+ sobre o áudio analógico</i> | 64 |
| 4.6 | CONCLUSÃO | 64 |
| 5 | CAMPANHA DE MEDIDAS COM O SISTEMA HD RADIO | 65 |
| 5.1 | INTRODUÇÃO | 65 |
| 5.2 | SISTEMA DE TRANSMISSÃO | 65 |
| 5.3 | MODOS DE TRANSMISSÃO DO HD RADIO | 69 |
| 5.4 | EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E METODOLOGIA | 70 |
| 5.4.1 | <i>Equipamentos de Medição</i> | 70 |
| 5.4.2 | <i>Parâmetros de Medição</i> | 76 |
| 5.4.3 | <i>Metodologia de Medição</i> | 78 |
| 5.4.4 | <i>Planejamento das Rotas</i> | 79 |
| 5.5 | RESULTADOS DOS TESTES | 79 |
| 5.5.1 | <i>Comparação da intensidade de campo elétrico do sinal analógico medida com a previsão teórica</i> | 79 |
| 5.5.2 | <i>Avaliação da área de cobertura do sinal digital com receptor profissional</i> | 80 |
| 5.5.2.1 | <i>Avaliação da área de cobertura do sinal digital com recepção estática</i> | 80 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.5.2.2 | <i>Avaliação da área de cobertura com recepção móvel</i> | 85 |
| 5.5.3 | <i>Avaliação objetiva do áudio digital de receptores comerciais</i> | 89 |
| 5.5.3.1 | <i>Avaliação do áudio digital de receptor comercial nas medições estáticas</i> | 89 |
| 5.5.4 | <i>Resultados da Recepção Analógica FM</i> | 91 |
| 5.5.4.1 | <i>Avaliação da área de cobertura em recepção estática</i> | 91 |
| 5.5.4.2 | <i>Comparação entre os resultados da recepção dos áudios analógico e digital.</i> | 95 |
| 5.6 | CONCLUSÃO | 98 |
| 6 | CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS | 99 |
| 7 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA | 103 |
| 8 | APENDICE 01 – DETALHES DAS ROTAS | 106 |
| 9 | APENDICE 02 – DETALHES DOS PONTOS FIXOS | 115 |
| 10 | APENDICE 03 – DETALHES DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES COM O SISTEMA DRM+ EM PONTOS FIXOS | 117 |
| 11 | APENDICE 04 – DETALHES DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES COM O SISTEMA HD RADIO EM PONTOS FIXOS E EM MOBILIDADE | 121 |
| 12 | APENDICE 05 – PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DA INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO DIGITAL NO SISTEMA HD RADIO | 125 |
| I.1. | METODOLOGIA PROPOSTA PELA IBIQUITY | 125 |
| III.2 | MELHORIAS NA METODOLOGIA PROPOSTA PELA IBIQUITY | 133 |
| IV. | ARQUIVO DE MEDIÇÃO DO SISTEMA HD RADIO | 134 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Faixa de operação no sistema DRM. | 13 |
| Figura 2 - Opções de codificação de áudio no DRM. | 16 |
| Figura 3 - Limites de emissão do Modo Híbrido e Híbrido Estendido HD Radio FM. | 23 |
| Figura 4 - Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM | 24 |
| Figura 5 - Localização do centro de transmissão da Rádio Comunitária. | 30 |
| Figura 6 - Diagrama esquemático do transmissor. | 31 |
| Figura 7 – Modulador DRM+. | 33 |
| Figura 8 – Serviço Journaline do DRM+. | 33 |
| Figura 9 – Transmissor DRM+. | 33 |
| Figura 10 – Transmissor analógico. | 34 |
| Figura 11 – Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal. | 34 |
| Figura 12 – Multiprogramação utilizada nos testes. Serviços no modo 4QAM. | 35 |
| Figura 13 – Multiprogramação utilizada nos testes. Serviços no modo 16QAM. | 35 |
| Figura 14 – Viatura móvel adaptada com detalhes dos equipamentos de medição. | 37 |
| Figura 15 – Viatura móvel adaptada. | 37 |
| Figura 16 – Receptor DRM+ da RF Mondial: front-end (esq.); software do receptor (dir.). | 38 |
| Figura 17 – Antena de recepção modelo Kathrein. | 38 |
| Figura 18 – Receptor UniWave. | 38 |
| Figura 19 – Rotas radiais (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS. | 42 |
| Figura 20 – Rotas circulares (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS. | 43 |
| Figura 21 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico. | 45 |
| Figura 22 – Resultado da recepção estática no modo 4QAM. | 46 |
| Figura 23 – Intensidade de campo elétrico digital em função da distância, modo 4QAM. | 47 |
| Figura 24 – Limiares da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 4QAM. | 48 |
| Figura 25 – Resultados da recepção móvel no modo 4QAM. | 49 |
| Figura 26 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares no modo 4QAM. | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura 27 – Resultado da recepção estática no modo 16QAM. | 51 |
| Figura 28 – Intensidade de campo elétrico digital em função da distância, modo 16QAM. | 52 |
| Figura 29 – Limiares da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 16QAM. | 53 |
| Figura 30 – Resultados da recepção móvel no modo 16QAM. | 54 |
| Figura 31 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares no modo 16QAM. | 54 |
| Figura 32 – Avaliação subjetiva do áudio analógico FM. | 56 |
| Figura 33 – Recepção estática do áudio analógico no mapa; raios de 1 km e 1,5 km. | 57 |
| Figura 34 – Pontos de medição com registro de interferência de outras estações FM. | 58 |
| Figura 35 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital modo 4QAM. | 60 |
| Figura 36 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital 16QAM. | 63 |
| Figura 37 – Registro do espectro com sinal digital desligado (esq) e ligado (dir). | 64 |
| Figura 38 - Localização do centro de transmissão da Rádio Comunitária. | 65 |
| Figura 39 - Diagrama esquemático do centro de transmissão. | 66 |
| Figura 40 – Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal. | 67 |
| Figura 41 – Visão do transmissor HD Radio (esquerda), e Detalhe da tela do gerador de sinal digital (direita). | 69 |
| Figura 42 – Detalhe do excitador (esq.) e dos amplificadores (dir.). | 69 |
| Figura 43 – Viatura móvel adaptada com detalhes dos equipamentos de medição. | 70 |
| Figura 44 – Diagrama dos equipamentos de medição. | 71 |
| Figura 45 – Antena de recepção modelo Kathrein. | 71 |
| Figura 46 – Tela do programa do receptor HD Radio. | 73 |
| Figura 47 – Espectro registrado no ponto de referência. | 75 |
| Figura 48 – Receptores analógicos comerciais NKS (esq) e TOSHIBA (dir). | 75 |
| Figura 49 – Receptores digitais comerciais SONY (esq) e JVC (dir). | 76 |
| Figura 50 – Receptor digital profissional HD Radio. | 76 |
| Figura 51 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico. | 80 |
| Figura 52 – Resultados da recepção em pontos fixos ilustrados no mapa. | 81 |
| Figura 53 – Percentual de Rx_Mode nas medições estáticas com alternância. | 83 |
| Figura 54 – Intensidade de campo digital em função da distância ao transmissor. | 84 |
| Figura 55 – Intensidade de campo digital versus SNR. | 85 |
| Figura 56 – Parâmetro Rx_Mode registrado nas medições em mobilidade nas rotas radiais. | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figura 57 – Detalhe do registro Rx_Mode nas rotas circulares. | 88 |
| Figura 58 – Áudio SONY das medições fixas..... | 90 |
| Figura 59 – Áudio JVC das medições fixas..... | 90 |
| Figura 60 – Avaliação subjetiva do áudio analógico FM da Rádio Comunitária AREMAS..... | 93 |
| Figura 61 – Recepção estática do áudio analógico no mapa. | 93 |
| Figura 62 – Pontos de medição com registro de interferência de outras estações FM. | 95 |
| Figura 63 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital. | 97 |
| Figura 64 – Rota R1..... | 106 |
| Figura 65 – Rota R2..... | 107 |
| Figura 66 – Rota R3..... | 108 |
| Figura 67 – Rota R4..... | 109 |
| Figura 68 – Rota R5..... | 110 |
| Figura 69 – Rota R6..... | 111 |
| Figura 70 – Rota Circular a 1 km..... | 112 |
| Figura 71 – Rota Circular a 0,5 km..... | 113 |
| Figura 72 – Rota Circular a 0,25 km..... | 114 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Quantidade de Emissoras de Rádios com Portarias Autorizadas..... | 10 |
| Tabela 2 - Parâmetros de robustez do DRM e DRM+. | 14 |
| Tabela 3 - Definição dos modos de robustez do sistema DRM. | 14 |
| Tabela 4 - Características dos codificadores de áudio DRM..... | 16 |
| Tabela 5 - Limites de emissão do modo Híbrido HD Radio FM (*). | 23 |
| Tabela 6 - Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM. | 24 |
| Tabela 7 - Taxa de informação aproximada dos canais lógicos primários. | 26 |
| Tabela 8 - Taxa de informação aproximada dos canais lógicos secundários..... | 26 |
| Tabela 9 - Características técnicas da Rádio Comunitária AREMAS com DRM+. | 31 |
| Tabela 10- Modos de transmissão DRM+ utilizados durante os testes. | 36 |
| Tabela 11- Parâmetros de medição..... | 39 |
| Tabela 12 - Descrição das rotas..... | 42 |
| Tabela 13 - Resultados da recepção estática no modo 4QAM. | 46 |
| Tabela 14 - Resultados da recepção estática no modo 16QAM. | 51 |
| Tabela 15 - Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284. . | 55 |
| Tabela 16 - Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho..... | 56 |
| Tabela 17 - Resultados do áudio analógico em recepção estática. | 58 |
| Tabela 18 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática, modo 4QAM. | 59 |
| Tabela 19 - Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática 4QAM. | 60 |
| Tabela 20 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática 16QAM. | 61 |
| Tabela 21 - Resumo dos resultados comparativos entre áudios analógico e digital na recepção estática 16QAM. | 63 |
| Tabela 22 - Características técnicas da Rádio Comunitária AREMAS com HD Radio. | 67 |
| Tabela 23 - Modo de transmissão do HD Radio utilizado durante os testes..... | 69 |
| Tabela 24 - Características técnicas dos dispositivos e equipamentos de medição. | 72 |
| Tabela 25 - Descrição dos parâmetros de medição do software HD Radio..... | 73 |
| Tabela 26 - Parâmetros de Avaliação. | 76 |
| Tabela 27 - Resultados da recepção estática. | 82 |
| Tabela 28 - Pontos onde Rx_Mode=0/1..... | 82 |
| Tabela 29 - Resultados da recepção móvel nas rotas radiais. | 87 |
| Tabela 30 - Resultados da recepção móvel nas rotas circulares..... | 88 |
| Tabela 31 - Medições fixas com receptores comerciais..... | 89 |
| Tabela 32 - Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284. . | 92 |
| Tabela 33 - Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho..... | 92 |

| | |
|--|------------|
| Tabela 34 - Resultados do FM analógico em recepção estática. | 94 |
| Tabela 35 - Resultados comparativos entre FM e HD Radio na recepção estática. | 95 |
| Tabela 36 - Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática. | 98 |
| Tabela 37 – Detalhes dos Pontos Fixos. | 115 |
| Tabela 38 – Resultados de recepção estática DRM+ no modo 4QAM. | 117 |
| Tabela 39 – Resultados de recepção estática DRM+ no modo 16QAM. | 118 |
| Tabela 40 – Resultados do áudio FM para recepção estática. | 119 |
| Tabela 41 – Resultados do HD Radio para recepção em pontos fixos. | 121 |
| Tabela 42 – Resultados do áudio FM para recepção em pontos fixos. | 122 |
| Tabela 43 – Resultados para recepção móvel. | 123 |
| Tabela 44 - Exemplo da metodologia proposta pela iBiquity. | 127 |

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMECLATURA E ABREVIACÕES

AAC: *Advanced Audio Coding*

ACPR: *Adjacent Channel Power Ratio*

AM: Amplitude Modulada

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações.

AREMAS: Associação dos Moradores do Recanto das Emas

AQ: Quadro de áudio

CD: *Compact Disc*

CELP: *Code Excited Linear Prediction*

DRM: *Digital Radio Mondiale*

DSB: *Digital Sound Broadcasting*

EBC: Empresa Brasil de Comunicações

EIRP: *Equivalent isotropically radiated power*

ETSI: *European Telecommunication Standards Institute*

FAC: Canal de Acesso Rápido (*Fast Access Channel*)

FCC: *Federal Communications Commission*

FEC: *Forward Error Code*

FM: Frequência Modulada

GPS: Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*)

HD Radio: *High Definition Radio*

HF: *High Frequency*

HVXC: *Harmonic Vector Excitation Coding*

IBOC: *In Band On Channel*

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia

INCT - CSF: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Comunicações sem Fio

ISDB: *Integrated Services Digital Broadcasting*

ISDB-T: *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*

ITU: International Telecommunication Union

LF: *Low Frequency*

MER: *Modulation Error Ratio*

MF: *Medium Frequency*

MSC: Canal de Service Principal (*Main Service Channel*)

NRSC: *National Radio Systems Committee*

NPR: *National Public Radio*

OC: Ondas Curtas.

OFDM: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*

OM: Ondas Médias.

PDU: *Protocol Data Units*

PM: *Primary Main*

PUC: Pontifícia Universidade Católica

PX: *Primary Extended*

QAM: *Quadrature Amplitude Modulation*

RadCom: Rádio Comunitária

RF: *Radio Frequency*

SBR: *Spectral Band Replication*

SCA: *Subsidiary Communications Authorization*

SCCH: Canal de Controle do Sistema

SDC: Canal de Descrição de Serviço (*Service Description Channel*)

SIS: *Station Information Service*

SNR: *Signal-to-Noise Ratio*

UIT: União Internacional das Telecomunicações

UHF: *Ultra High Frequency*

VHF: *Very High Frequency*

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

Estamos vivendo a era da digitalização dos Serviços da Radiodifusão Brasileira. Esse processo iniciou em 1994 no Serviço de Sons e Imagens (TV) com os primeiros testes em campo para a escolha do padrão a ser adotado pelo Governo, e concretizado em 26 de novembro de 2003, com a publicação do Decreto nº 4.901 definindo a escolha do sistema japonês ISDBT – “*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*” como plataforma para digitalização da TV brasileira [1],[2]. Em relação ao Serviço da Radiodifusão Sonora, o rádio, esse processo se inicia agora, um momento importante e extremamente complexo, considerando a necessidade desse serviço se digitalizar na mesma faixa de frequência atualmente utilizada para o serviço de radiodifusão sonora analógica [3], ao contrário da TV, que foi atribuída outra faixa de frequência, facilitando o processo da digitalização do serviço.

No que tange à percepção da qualidade dos serviços de áudio e vídeo, o ouvinte brasileiro evoluiu, ficando mais exigente em virtude do surgimento de novas tecnologias e suas mídias, como o CD Player, iPod, iPhone, tablete e internet, entre outros. No entanto, o rádio continua estacionário desde que foi criado, utilizando-se do mesmo formato de programação e tecnologia.

Diante dessa nova realidade de tecnologias e serviços é preciso que o rádio passe por renovações e evoluções, principalmente no paradigma de ofertas de conteúdos e serviços. Assim, os órgãos internacionais de telecomunicações resolveram propor a digitalização do sistema, com o objetivo de oferecer um serviço sonoro de melhor qualidade, agregando os serviços de dados, tornando-o competitivo com as atuais mídias digitais.

Nesse sentido, foram desenvolvidos, até o momento, cinco sistemas que permitem a digitalização deste setor, são eles: Eureka 147 DAB (*Digital Audio Broadcasting*), DRM (*Digital Radio Mondiale*), ambos padrões europeus, o sistema HD Radio (*High Definition Radio*), padrão americano, o ISDB-T (*Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting*), padrão japonês, e o RAVIS (*Real-time Audio Visual Information System*), padrão russo [4] [5].

Dos padrões, o DRM e o HD Radio foram desenvolvidos para operar nas faixas de AM e FM, e o RAVIS somente na Faixa de FM. O padrão ISDB-T, opera nas faixas de frequência atualmente destinadas às TVs, em virtude da sua arquitetura, que é semelhante à da

TV Digital. O padrão DAB foi desenvolvido para funcionar em qualquer faixa de frequência entre 30 MHz e 3000 MHz para recepção móvel e fixa [6]. No entanto, a concepção de funcionamento é diferente da utilizada pela radiodifusão brasileira. O DAB faz uso de uma rede, que permite até seis emissoras, consórcio, utilizarem um mesmo centro de transmissão, por meio de uma largura de banda de 1,536 MHz por rede. Portanto, os sistemas ISDB-T e DAB não serão considerados nesse trabalho.

Em junho de 2011, foi publicado pelo Ministério das Comunicações o Chamamento Público nº 1/2011, convidando sistemas de radiodifusão digital a se candidatarem a testes e avaliações no Brasil, para a escolha de um sistema de rádio digital a ser adotado no país [7]. Dois padrões se apresentaram em resposta a esse chamamento, o HD Radio e o DRM (*Digital Radio Mondiale*). Portanto, apesar do sistema RAVIS operar na faixa de FM onde se encontram as emissoras comunitárias, objeto de interesse nesse trabalho, o mesmo não será considerado.

Portanto, diante do início do processo da digitalização da Radiodifusão Sonora, é necessário que a radiodifusão brasileira se instrumentalize visando mudanças significativas tanto para os radiodifusores quanto para os usuários. Para que a opção seja a mais coerente possível é fundamental conhecer os padrões existentes no mundo e suas funcionalidades.

Nesse cenário, o governo brasileiro precisa optar por um sistema que ocupe menos espectro durante e após o processo de transição, de maneira que o radiodifusor possam garantir aos seus ouvintes as mesmas programações por meio de recepções dos sinais analógico e digital por um determinado período de tempo. Essa transmissão simultânea de ambos os sinais é denominada de transmissão *simulcast*. Para isso, preferencialmente, o sinal digital deverá ser transmitido em canais adjacentes ao sinal hospedeiro (sinal analógico). No entanto, ao posicionar o sinal digital na adjacência do sinal analógico, o nível de potência do sinal entrante deverá ser bem menor do que o nível do sinal hospedeiro, ou seja, um valor de relação de proteção entre esses sinais deve ser mensurado de maneira a garantir que não haja interferência entre eles. Além disso, é desejável que a área de cobertura do sinal digital seja a mesma do sinal analógico, mesmo que utilizando apenas algumas frações de potência do sinal analógico.

Para as emissoras comunitárias que operam em baixa potência em transmissão analógica, essa relação de proteção entre os sinais analógico e digital torna-se ainda mais crítica, em virtude da baixíssima potência que será atribuída ao sinal digital. Portanto, é de fundamental importância que se façam testes de campo de maneira a verificar o real

comportamento dos sistemas diante dessa realidade das emissoras comunitárias brasileira. Nesse cenário, este trabalho é uma investigação da viabilidade dos sistemas existentes e adotados em outros países, para a realidade da radiodifusão brasileira. Os parâmetros que nortearam o trabalho foram:

1. Observâncias de funcionamento da rádios comunitárias.
2. Descrição das características técnicas dos sistemas DRM e HD Radio na faixa de FM.
3. Verificação do funcionamento dos sistemas por meio de testes em campo, de acordo com a realidade brasileira.
4. Análise comparativa dos sistemas por meio dos resultados dos testes diante da realidade brasileira.

A campanha de testes realizada foi possível devido ao esforço conjunto e da cooperação entre diversas entidades como a UnB (Universidade de Brasília) o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) e 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 a coordenação do Ministério das Comunicações, por meio da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica, e com apoio da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações).

1.2 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação é composta de oito capítulos e quatro apêndices. No capítulo 1 são descritos os motivos e os objetivos do trabalho.

No capítulo 2, é apresentada uma descrição sobre as emissoras comunitárias, procurando verificar as observâncias de funcionamento dessas emissoras no que tange os seus aspectos técnicos e regulatórios.

No capítulo 3 encontra-se a descrição dos sistemas digitais em análise, destacando seus desenvolvimentos histórico, funcional e os serviços que tem para oferecer.

Nos capítulos 4 e 5, uma descrição sobre as campanhas de medidas com os dois sistemas DRM+ e HD Radio, serão apresentadas, destacando o planejamento e a metodologia elaborados, bem como os equipamentos utilizados durante os testes realizados em campo.

No capítulo 6, é realizada uma análise comparativa entre os dois sistemas, tendo como referência os dados coletados na campanha de medição. Diante desses resultados, elaborações de algumas propostas e conclusões são delineadas no capítulo 7.

Além disso, são apresentados cinco apêndices, o primeiro traz os detalhes das rotas que foram percorridas na campanha de medição, destacando as radiais e as circulares. O segundo descreve como foram realizadas as medições nos pontos fixos, e os apêndices 03 e 04 ilustram em detalhes os resultados numéricos tabulados das medições com os sistemas DRM+ e HD Radio em pontos fixos e em mobilidade. Por fim, o apêndice cinco descreve a metodologia utilizada na obtenção da intensidade de campo elétrico do sistema HD Radio.

2 **RADIODIFUSÃO SONORA COMUNITÁRIA**

2.1 **INTRODUÇÃO**

As emissoras de radiodifusão comunitária analógica, em frequência modulada (FM), geralmente circunscrita em uma comunidade com pequena área de extensão geográfica de raio em torno de 1 km a 2 km em relação ao centro de transmissão, surgiram com intuito de prover informações para uma determinada comunidade, sendo outorgado às fundações e às associações comunitárias, sem fins lucrativos, com sede na localidade de prestação do serviço, conforme o Art. 3º da Medida Provisória de 2.216-37 do Art. 236 da Constituição Federal, a saber [8]:

- Dar oportunidade à difusão de ideias, elementos de cultura, tradições e hábitos sociais da comunidade.
- Oferecer mecanismos à formação e integração da comunidade, estimulando o lazer, a cultura e o convívio social.
- Prestar serviços de utilidade pública, integrando-se aos serviços de defesa civil, sempre que necessário.
- Contribuir para o aperfeiçoamento profissional nas áreas de atuação dos jornalistas e radialistas, de conformidade com a legislação profissional vigente.
- Permitir a capacitação dos cidadãos no exercício do direito de expressão da forma mais acessível possível.

Assim, devido à restrição da área a ser atendida por meio da recepção do sinal, a potência no transmissor é limitada a 25 Watts. Nesse contexto, não existe uma definição clara de área de cobertura para emissoras comunitárias, restringindo apenas o contorno de 91 dB μ V da emissora a uma distância igual ou inferior a de 1 km do ponto de transmissão em todas as direções. No entanto, o Ministério das Comunicações estabelece como área de execução do serviço de uma Emissora Comunitária como sendo aquela limitada por uma circunferência de raio igual ou inferior a mil metros, a partir da antena transmissora, que é estabelecida de acordo com a área da comunidade servida pela estação [9]. As emissoras autorizadas estão

situadas a distância mínima de 4 quilômetros, conforme Figura 1, entre os seus sistemas irradiantes. [10].

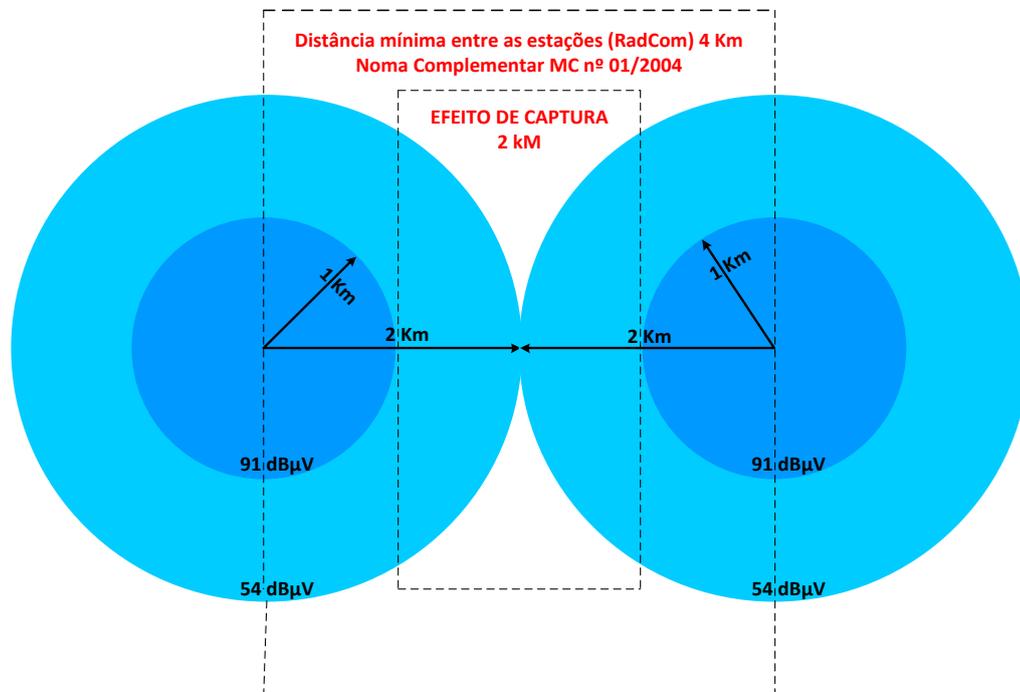


Figura 1. Distância mínima entre duas emissoras comunitárias.

2.2 CANALIZAÇÃO DA RADIODIFUSÃO SONORA

A faixa do espectro eletromagnético *Very High Frequency* - VHF está compreendida entre 30 a 300 MHz, sendo que uma parte desse espectro de frequência foi destinada para Radiodifusão em Frequência Modulada – FM, que varia de 88 MHz a 108 MHz.

A radiodifusão operando em modulação FM é a modalidade de serviço de radiodifusão que opera na faixa de 87,8 MHz a 108 MHz. Esse serviço é normalizado pelo Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada. [11]. Conseqüentemente, a Anatel designou o canal 200 (87,9 MHz) como sendo o canal nacional para o serviço de RadCom. Na impossibilidade de uso desse canal, foram estabelecidos os seguintes canais opcionais: 285 (104,9 MHz), 290 (105,9 MHz), 292 (106,3 MHz) e 300 (107,9 MHz), conforme ilustra a Figura 2.

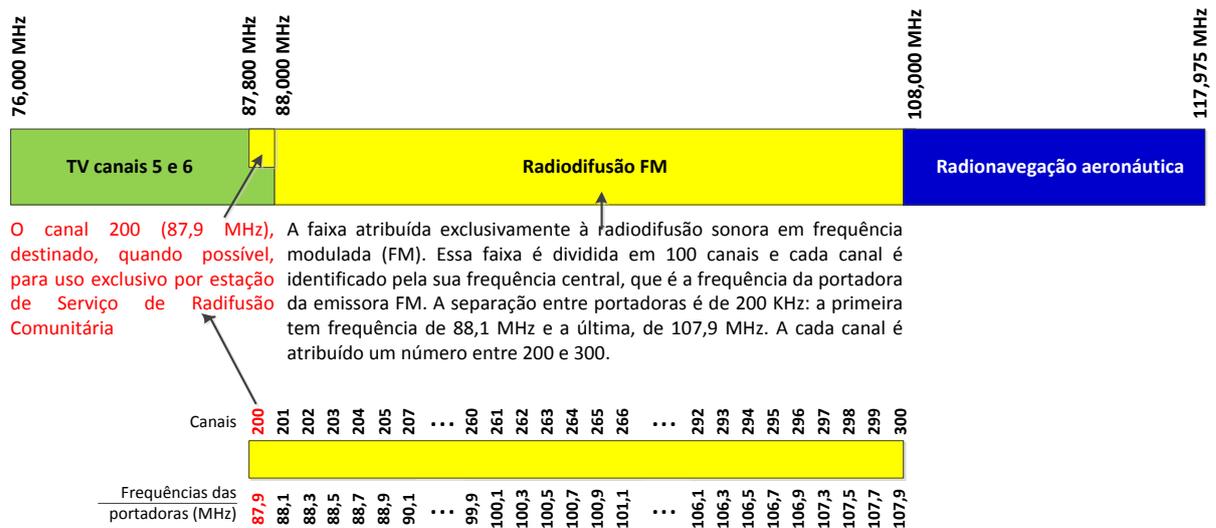


Figura 2 – Canalização da Radiodifusão Sonora FM.

Por meio da Figura 2 observa-se que cada portadora central está associada a um canal. Assim, de maneira a facilitar a identificação de canal, utiliza-se o seguinte procedimento [9]:

- Determinar a largura de banda do serviço em frequência modulada:
Largura da banda (108 - 88) MHz = 20 MHz;
- Definir a largura de banda de cada canal do serviço em frequência modulada:
Largura do canal = 200 kHz;
- Determinar a quantidade de canais do serviço em frequência modulada:
Quantidade de canais = 20 MHz / 200 KHz = 100 canais

Após as definições acima, aplica-se a seguinte equação:

$$f_c = [(N_c - 200) * L_c] + 87,9 \quad (2.1)$$

sendo,

f_c : frequência central do canal, ou seja, a portadora em MHz.

N_c : número do canal.

L_c : largura de banda do canal de serviço em MHz.

Assim, de maneira a ilustrar o uso da equação (2.1), o exemplo a seguir determina a frequência central do canal 285:

$$f_c = [(N_c - 200) * L_c] + 87,9$$

$$f_c = [(285 - 200) * 0,2] + 87,9$$

$$f_c = [(85) * 0,2] + 87,9$$

$$f_c = 104,5 \text{ MHz}$$

A mesma Equação (2.1), permite determinar o número do canal por meio da frequência central, como ilustrado a seguir para uma frequência de 104,9 MHz:

$$f_c = [(N_c - 200) * L_c] + 87,9 \quad (2.1)$$

$$N_c = \frac{(f_c - 87,9) + (200 * L_c)}{L_c} \quad (2.2)$$

$$N_c = \frac{(104,9 - 87,9) + (200 * 0,2)}{0,2}$$

$$N_c = 285$$

Em relação à ocupação espectral, o serviço de frequência modulada opera na faixa de 87,8 MHz a 108 MHz, com largura de banda 200 kHz para cada emissora, que estão separadas de 600 kHz ou 400 kHz em relação as suas frequências centrais, conforme ilustrada nas Figura 3 e a Figura 4.

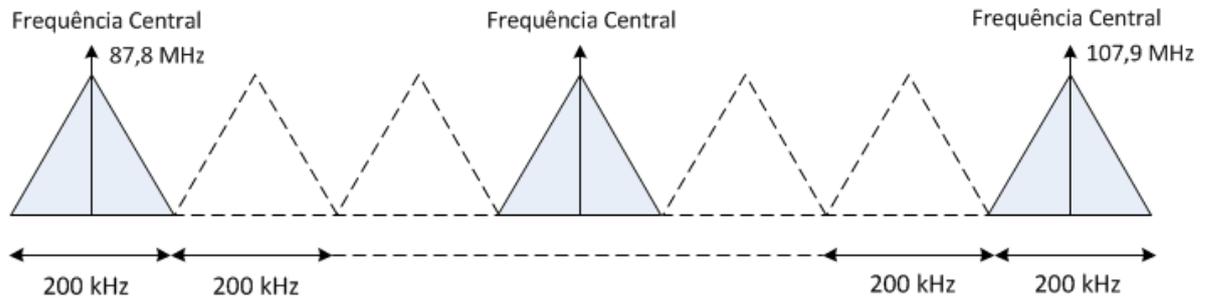


Figura 3 – Espectro de Frequência com intervalo de dois canais vazios.

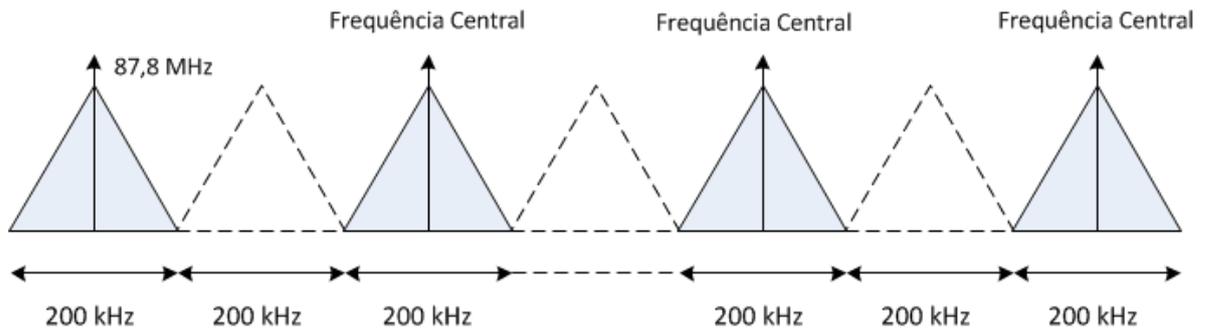


Figura 4 – Espectro de Frequência com intervalo de um canal vazio.

Cabe salientar que na prática a ocupação real da largura de banda do canal em FM é de 256 kHz e 180 kHz para transmissão do áudio estéreo e mono respectivamente, de acordo com a regra de Carson, Equação (2.3), e que deve ser considerado na digitalização desse serviço de maneira a evitar interferência do sinal digital no sinal hospedeiro, nesse caso o sinal analógico.

$$B = 2(\Delta f + f_m) \quad (2.3)$$

sendo:

- ✓ B a largura de banda ocupada pela informação a ser transmitida,
- ✓ Δf o desvio de frequência (no Brasil é definido como 75 kHz),
- ✓ f_m a máxima frequência contida da informação em banda básica, que é de 15 kHz para o áudio mono e de 53 kHz para o áudio estéreo.

Inicialmente, as Emissoras Comunitárias foram planejadas para operarem nos canais 200 (frequências 87,8 MHz a 88 MHz) e 285 (frequências 104,8 MHz a 105 MHz). No entanto, devido a restrições técnicas de operação desses canais em algumas regiões do país, a Anatel pode designar outro canal para operação desse serviço.

2.3 RADIOS EM FUNCIONAMENTO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

Conforme dados da Anatel, a Tabela 1 mostra que em 2011, existiam 9.459 emissoras de rádios com autorização de funcionamento, sendo que, as rádios comunitárias totalizavam 4.409 emissoras, ou seja, aproximadamente 50% do total geral, o que evidencia ainda mais a sua importância no processo da digitalização, conforme Figura 5 [12].

Tabela 1 – Quantidade de Emissoras de Rádios com Portarias Autorizadas.

| Ano | EMISSORAS | | | | | |
|------|-----------|-------|----|----|--------|-------|
| | FM | OM | OC | OT | RadCom | Total |
| 2011 | 3.125 | 1.785 | 66 | 74 | 4.409 | 9.459 |

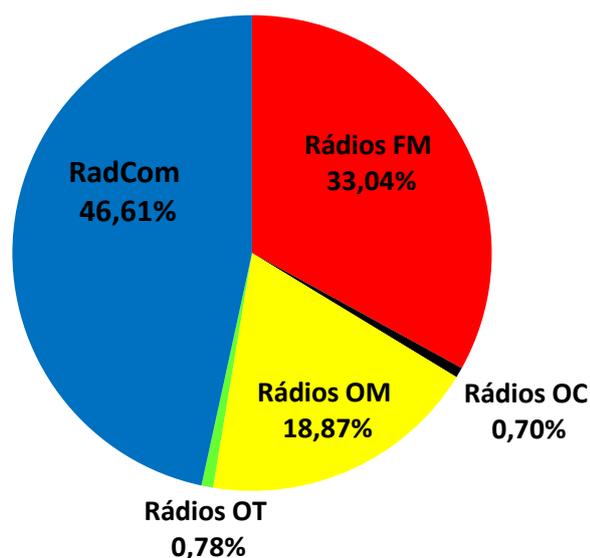


Figura 5 – Quantidade de Emissoras de Rádios com Portarias Autorizadas.

2.4 PANORAMA REGULATÓRIO

A Lei Geral de Telecomunicações (Lei n.º 9.472, de 16/7/97) atribuiu à Anatel, no que concerne aos serviços de radiodifusão, a gestão do espectro de radiofrequência, a elaboração e manutenção dos planos de distribuição de canais, e, ainda, o exercício da competência fiscalizatória quanto aos aspectos técnicos das estações de radiodifusão.

A outorga para a prestação do serviço ficou excluída da jurisdição da Anatel (Art. 211 da LGT), permanecendo no âmbito do Poder Executivo, a quem cabe outorgar e renovar concessão, permissão e autorização dos Serviços de radiodifusão, cabendo ao Congresso deliberar quanto aos Atos de outorga (Art. 223 e seu § 1º da CF). A Lei n.º 9.612, de 19 de fevereiro de 1998 - a Institui o Serviço de Radiodifusão Comunitária – RadCom.

O Decreto n.º 2.615, de 3 de junho de 1998 - aprova o Regulamento do Serviço de Radiodifusão Comunitária – RadCom.

A Norma Complementar do serviço de radiodifusão comunitária – n.º 01/2004 – foi publicada através da Portaria MC nº 103.

Resolução 60/98 designou o canal 200 para a execução do Serviço de Radiodifusão Comunitária no território nacional.

2.5 CONCLUSÃO

Neste capítulo foram descritos os princípios de funcionamento da Rádio Comunitária e a legislação que legitima a sua operação. Essa visão do serviço de radiodifusão sonora comunitária é fundamental para a escolha do padrão de rádio digital mais adequado. Em função da faixa de frequência em que operam as rádios comunitárias, VHF, nos próximos capítulos serão descritos os padrões de rádio digital mais apropriados para esta faixa de frequência.

3 PADRÕES DE RÁDIO DIGITAL

3.1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da radiodifusão sonora no Brasil, ainda se utiliza tecnologia analógica na transmissão de conteúdo, tanto para rádio AM, como para rádio FM, apesar de alguns equipamentos serem digitais. A transmissão do sinal analógico, fornece uma qualidade de áudio precária em virtude do nível de ruído cada vez mais crescente, principalmente nos grandes centros urbanos, além de oferta de serviços de dados limitada. Nesse sentido, a digitalização dos serviços de radiodifusão sonora proporcionará uma melhor qualidade de áudio associada a um conteúdo de programação mais diversificado com oferta de novos serviços de dados, principalmente na faixa de VHF, devido a largura de banda disponível nesse serviço, e que não são viáveis na tecnologia analógica

As principais tecnologias dos rádios digitais disponíveis para a faixa onde encontram-se as emissoras comunitárias, e que atenderam ao chamamento público do governo brasileiro são: DRM (*Digital Radio Mondiale*), HD Radio (*High Definition Radio*) e IBOC (*In Band On Channel*). Assim, este capítulo descreve essas duas tecnologias candidatas à definição do padrão digital brasileiro.

3.2 SISTEMA DIGITAL DRM

A tecnologia DRM "*Digital Radio Mondiale*" 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 [13].

O DRM foi criado em Guangzhou, China em 1998, inicialmente com o objetivo de digitalização das bandas de radiodifusão AM até 30 MHz (ondas longas, médias e curtas). A especificação do sistema DRM para a transmissão abaixo de 30 MHz ("DRM30") foi publicada pela primeira vez pelo ETSI em 2001 [14], seguido de uma Recomendação ITU definindo a utilização do sistema de radiodifusão sonora digital a nível internacional [15].

Em 2005 foi tomada a decisão de estender o sistema de DRM para operar nas bandas de transmissão VHF, conhecido como "DRM+". Isto 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 [16].

3.2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

O DRM pode ser usado em bandas de frequências de rádio abaixo de 174 MHz, ou seja, ele pode ser usado nas bandas de radiodifusão LF, MF, HF e VHF, para substituir a radiodifusão analógica baseada em modulação de amplitude (AM) e frequência modulada (FM), conforme ilustra a Figura 6. O sistema operando em frequências abaixo de 30 MHz é chamado de DRM30 [17]; [18]. O DRM+ é uma extensão do sistema DRM30 para operar na faixa de frequência entre 30 MHz e 174 MHz.

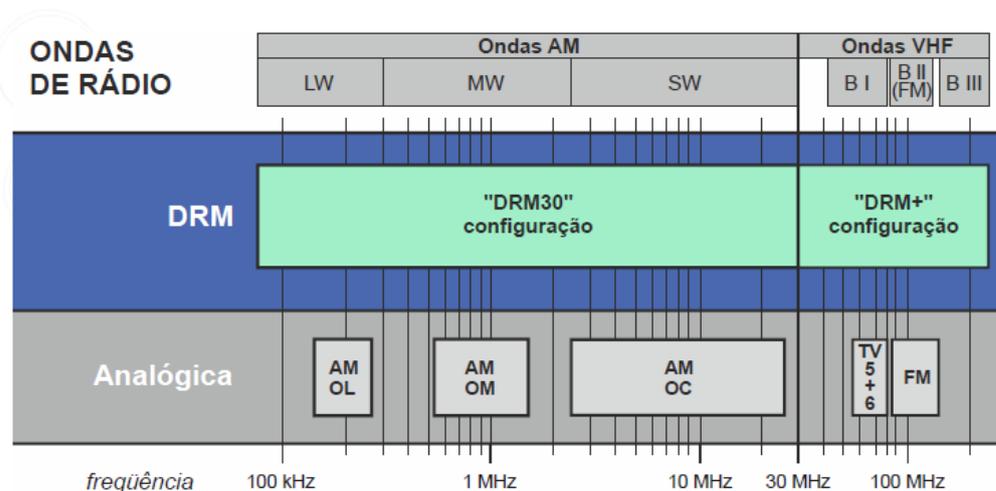


Figura 6 – Faixa de operação no sistema DRM.

Sinais DRM+ ocupam uma largura de banda de 95 kHz e oferecem taxas de bits úteis de 35 kbps a 185 kbps, permitindo assim qualidade de som estéreo ou surround, além de serviços de dados associados à programação ou não. Para minimizar os efeitos das imperfeições do canal de transmissão, tais como ruídos, multipercurso, Efeito Doppler e interferências, o sistema utiliza de maneira variável, de acordo com as características do canal, a modulação OFDM “*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*”, por meio da definição do tempo de guarda e da separação entre as subportadoras, em conjunto com códigos

corretores de erros (codificadores de canais), *interleaving* e *scrambling*. A Tabela 2 apresenta as combinações possíveis de robustez permitida no sistema DRM, com destaque para a configuração E referente ao sistema DRM+, e a Tabela 3 as definições de cada modo de robustez.

Tabela 2 - Parâmetros de robustez do DRM e DRM+.

| Parâmetros | Modo de robustez | | | | |
|---|------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | A | B | C | D | E |
| Espaçamento entre portadoras (Δf_p) | 41,667 Hz | 46,875 Hz | 68,182 Hz | 107,143 Hz | 444,444 Hz |
| Duração da parte utilizável (ortogonal) de um símbolo OFDM ($T_u = 1/\Delta f_p$) | 24 ms | 21,333 ms | 14,667 ms | 9,333 ms | 2,25 ms |
| Intervalo de guarda (T_g) | 2,667 ms | 5,333 ms | 5,333 ms | 7,333 ms | 0,25 ms |
| Duração do símbolo OFDM ($T_s = T_u + T_g$) | 26,667 ms | 26,667 ms | 20 ms | 16,667 ms | 2, ms |
| T_g/T_u | 1/9 | 1/4 | 4/11 | 11/14 | 1/9 |

Tabela 3 - Definição dos modos de robustez do sistema DRM.

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

Os componentes das informações transmitidas pelo sistema DRM são divididos e multiplexados em três canais lógicos: o Canal de Acesso Rápido (*Fast Access Channel - FAC*), o Canal de Descrição de Serviço (*Service Description Channel - SDC*) e o Canal de Serviço Principal (*Main Service Channel - MSC*) [17], [19]. O MSC contém os serviços (áudio e dados) e, portanto, detém a maioria da capacidade de transmissão do sinal DRM. As portadoras que carregam o MSC podem usar modulação 16-QAM ou 64-QAM no DRM30 e 4-QAM ou 16-QAM no DRM+. O SDC contém uma descrição de como decodificar os serviços contidos no MSC. As portadoras que transportam os dados do SDC sempre usam uma modulação mais robusta (ou seja, de ordem mais baixa) do que a utilizada pelo MSC.

O FAC transporta dados que informam ao receptor a largura espectral do sinal DRM, as modulações usadas com o SDC e o MSC, a intercalação, quantos serviços contém o MSC e o nome de tais serviços. O receptor decodifica o FAC primeiro, e depois decodificar o SDC e, finalmente, a MSC. Como o FAC carrega os dados mais críticos do sistema, exige uma maior robustez, o que é conseguido através de modulação 4-QAM e um FEC robusto [19].

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 [19].

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 7 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 4.

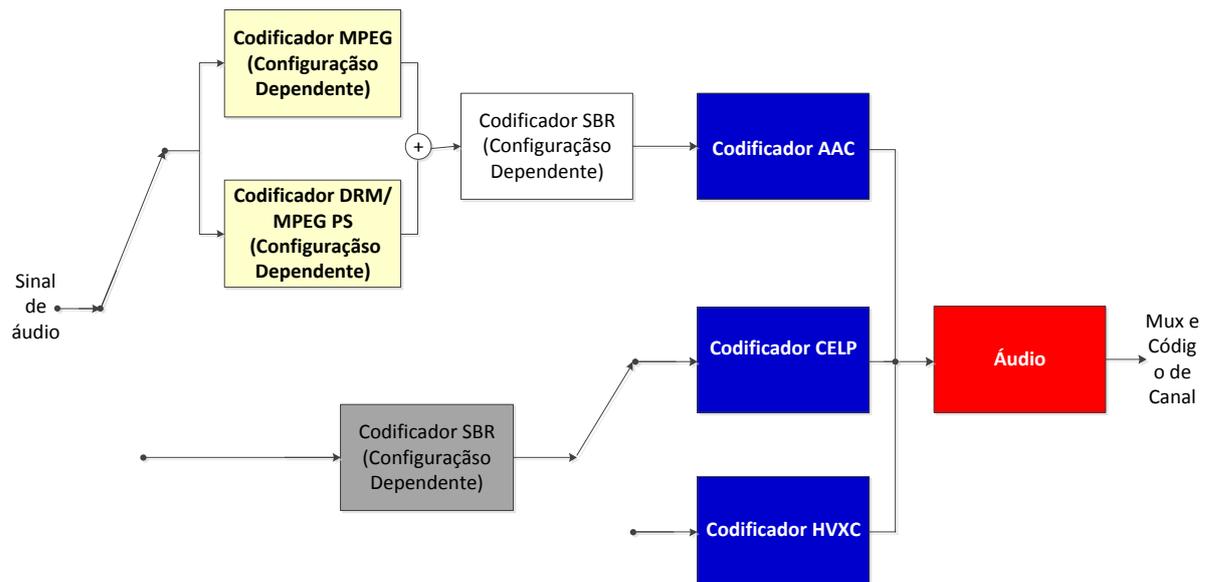


Figura 7 – Opções de codificação de áudio no DRM.

Tabela 4 - Características dos codificadores de áudio DRM.

| Codificadores | Taxa de amostragem (kHz) | Taxa de bits (kbps) | Aplicação |
|---------------|---|---|---|
| AAC | 12 e 24 para DRM30 24 e 48 para DRM+ | Qualquer taxa de bits. A granularidade é 20 bps para DRM30 e 80 bps para DRM+. | Para codificação de áudio genérico, mono, estéreo 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 |

O codificador AAC (*Advanced Audio Coding*) é para a codificação de áudio genérico, mono, estéreo ou surround. No sistema DRM, as taxas de amostragem permitidas com o AAC são de 12 kHz ou 24 kHz no DRM30 e de 24 kHz ou 48 kHz no DRM+. Em princípio, o áudio codificado teria então uma largura de banda menor que 6 kHz ou 12 kHz, respectivamente. No entanto, o sistema DRM permite o uso da técnica SBR (*Spectral Band Replication*) que é capaz de melhorar a percepção de um sinal de áudio espectralmente truncado baixas frequências. Ele usa, de forma dinâmica, o conteúdo espectral de informações

de baixa frequência para criar uma imitação para as informações de alta frequência perdidas. Isto requer informações auxiliares do SBR que gastam aproximadamente de 2 kbps.

Neste caso, o codificador AAC codifica um sinal de áudio de banda estreita - com largura de banda inferior a 6 (ou 12) kHz - e em paralelo o codificador SBR extrai e codifica apenas a forma (ou envoltória) do espectro de áudio original para frequências acima de 6 (ou 12) kHz. Essas duas informações, a saída do codificador AAC e saída de codificador SBR são transmitidas e usadas pelo decodificador para criar uma imitação das informações de alta frequência espectral perdidas, que são combinadas com as informações de baixa frequência espectral para produzir um sinal de áudio que se estende a 15 kHz ou mais.

A combinação do codificador AAC com o esquema de SBR é chamado aacPlus ou HE AAC (*High Efficiency AAC*) [20]. 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 [20].

O codificador de voz CELP MPEG-4 (*Code Excited Linear Prediction*) fornece boa qualidade em baixas taxas de bits, como mostra a Tabela 4. 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 **Erro! Fonte de referência não encontrada**.4. 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.

3.2.2 Serviços Adicionais

Uma das principais vantagens na digitalização do rádio é a possibilidade de oferecer serviços adicionais além da melhoria na qualidade do áudio, permitindo oferecer até 04 serviços (áudio e/ou dados) num mesmo canal. Assim, atualmente o sistema DRM oferece um conjunto de serviços agregados à programação ou não, a saber [17]:

- a) **Alertas de Emergências.** Envia sinais de alerta aos receptores provocando uma mudança automática de sintonia para os canais emergenciais. Os programas de Alerta Emergenciais contém áudio e texto criando uma plataforma multilíngue para orientação e informação das populações em tempo real.
- b) **Mensagem de Texto.** Acompanhamento da programação em áudio com textos curtos, tais como título da música ou artista (tela atualizada pelo rádio difusor), com suporte Unicode completo (scripts).
- c) **Journaline.** Serviço de informação de texto Unicode (todos os Scripts), com pesquisa interativa de informações na tela do receptor. Compatível com todo tipo de receptores graças à baixa taxa de transmissão e de decodificação (bit-rates). Interatividade tipo Back-channel acionado via (*Hot Button*) para uma integração completa dos conteúdos entre a Radio Web a atual (*Hybrid Radio approach*). A geo-localização de conteúdos permite a oferta de serviços em zonas específicas.
- d) **Slideshow.** Suporte de acompanhamento da emissão e difusão complementadas de imagens e animação.
- e) **EPG Electronic Programme Guide.** Inclui “What’supnow&next”; o ouvinte pode visualizar a programação da emissora agora e no futuro próximo, com opção para busca de conteúdos e memorização de programas.
- f) **TPEG and TMC.** Informações e mensagem de transito para sistemas moveis (automóveis).
- g) **Diveemo.** Vídeo em pequena escala para serviços de informação e educação (em vias de homologação). [19].

3.3 SISTEMA DIGITAL HD RADIO

O sistema HD Radio, marca comercial pertencente à empresa norte-americana iBiquity Digital Corporation, teve seu desenvolvimento iniciado na década de 1990 e até a data atual é a única tecnologia licenciada pela *Federal Communications Commission* (FCC) para realizar a radiodifusão sonora digital nas faixas de MF e VHF nos EUA. O HD Radio é o pioneiro na geração de um sistema híbrido que implementa o chamado in-band on-channel (IBOC) e permite a transmissão dos sinais analógico e digital a receptores fixos, portáteis e móveis dentro da mesma canalização destinada à emissora radiodifusora, conhecido internacionalmente como Sistema Digital C [21], [22] e [23]. Esta tecnologia, desenvolvida pela iBiquity Digital Corporation, é apropriada para a introdução da Radiodifusão Sonora Digital (*DSB-Digital Sound Broadcasting*) porque permite que estações FM existentes transmitam o mesmo conteúdo de programação nos sinais analógico e digital sem a necessidade de novas alocações de espectro para o sinal digital, desde que o sinal digital seja posicionado dentro da máscara espectral analógica FM, conforme ilustra a Figura 8.

O sinal digital IBOC ocupa as bandas laterais inferior e superior da máscara de emissão de radiofrequência (RF) da transmissão analógica convencional em FM. O conteúdo transmitido na banda superior é o mesmo transmitido na banda inferior de modo que a perda de informação em uma das bandas laterais, causadas por exemplo por interferência de canal adjacente, não afete a performance de recepção do sinal IBOC, caracterizando uma diversidade de frequência. Além da diversidade de frequência o sistema apresenta também diversidade de atraso. Assim o receptor escolhe qual palavra código recebida da banda lateral inferior e superior possui a menor probabilidade de conter erros.

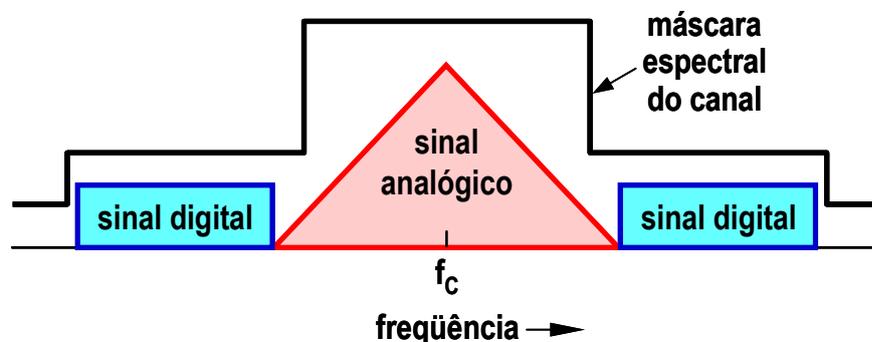


Figura 8 – Máscara Espectral da FCC com o sinal digital nas bandas adjacentes ao sinal analógico.

Esta tecnologia híbrida por transmitir simultaneamente o sinal analógico e sinal digital, com o mesmo conteúdo de áudio, e considerando os atrasos de processamento do sinal digital do sistema HD Radio, recomenda-se atrasar o áudio analógico para haver sincronização (alinhamento no tempo) com o áudio digital. Esse alinhamento no tempo é necessário para atender às transições (*blends*) do receptor HD Radio. Os níveis de áudio entre os dois *streams* de áudio também devem ser ajustados para que ocorra uma transição suave durante o blend do receptor. Quando o atraso e o ajuste do nível do áudio são feitos adequadamente, o blend entre os streams digital e analógico é imperceptível.

3.3.1 Características Técnicas

O sistema IBOC oferece três modos de operação: Modo Híbrido (*Hybrid Mode*), Modo Híbrido Estendido (*Extended Hybrid Mode*) e Modo Todo Digital (*All Digital Mode*). Os dois primeiros modos são adequados para o período de transição no qual o sistema analógico permanece em operação, pois contêm o sinal analógico FM, enquanto que no terceiro modo somente existe o sinal digital. Os três modos estão de acordo com a máscara de emissão espectral do serviço em FM da FCC. Em cada modo o espectro é dividido em diversas bandas laterais que representam os vários grupos de subportadoras.

O sinal digital é transmitido nas bandas laterais principais primárias (*PM-Primary Main*) nos dois lados do sinal analógico no Modo Híbrido. O nível de potência em cada banda lateral é inferior à potência total do sinal analógico FM. Este pode ser monofônico ou estéreo e pode incluir canais auxiliares de comunicação (*Subsidiary Communications Authorization, SCA*).

No Modo Híbrido Estendido a largura de faixa das bandas laterais híbridas pode ser estendida na direção do sinal analógico FM para aumentar a capacidade de transmissão (kbps) do sinal digital. Este espectro adicional, alocado no limite interno das bandas primárias principais, é denominado banda lateral primária estendida (*PX-Primary Extended*).

O Modo Todo Digital oferece a característica mais diferenciada do sistema, na qual o sinal analógico é removido e a largura de faixa das bandas laterais digitais primárias é totalmente estendida, conforme o modo Híbrido Estendido. Além disso, a forma de onda permite bandas laterais secundárias de baixa potência que são transmitidas no espectro liberado pelo sinal analógico FM.

O sistema HD Radio apresenta diversidade de frequência e diversidade temporal a fim tornar o sistema mais robusto em relação à ação deletéria do canal de propagação RF.

A diversidade de frequência é feita transmitindo-se a mesma informação nas bandas laterais superior e inferior. A diversidade de frequência é utilizada a fim de se mitigar os efeitos do canal de desvanecimento plano. O princípio da diversidade de frequência para combater os efeitos deletérios do canal de desvanecimento plano considera que os sinais recebidos separados em frequência com uma distância maior que a banda de coerência do canal são descorrelatados. Assim a probabilidade de que ambos os sinais recebidos estejam fortemente atenuados no mesmo instante de tempo é menor que a probabilidade de que apenas um sinal de uma determinada banda de frequência esteja fortemente atenuado.

Já a diversidade temporal é utilizada para mitigar os efeitos da variação temporal do canal. Aqui dois sinais idênticos são transmitidos em diferentes instantes de tempo. Quando o receptor está em movimento (por exemplo, um veículo), os sinais recebidos nos dois instantes de tempo estarão descorrelatados quando a diferença de tempo corresponder a no mínimo metade do comprimento de onda de RF. A distância requerida depende da velocidade do receptor de modo que a diversidade temporal não é efetiva no combate a canal de desvanecimento plano quando o receptor está parado.

No sistema transmissor, antes da modulação dos dados das subportadoras pelos bits das palavras códigos, uma réplica de cada palavra código a ser transmitida redundantemente é gerada e atrasada por uma certa quantidade de tempo que depende da velocidade esperada do receptor, porém um atraso entre 10 ms a 500 ms deve ser adequado em muitas circunstâncias. A réplica atrasada das palavras códigos é utilizada para modular as subportadoras localizadas na banda lateral superior (inferior) enquanto que as palavras códigos originais são utilizada para modular as subportadoras localizadas na banda lateral inferior (superior). Como resultado o sinal composto pelas bandas laterais redundantes superior e inferior que correspondem ao sinal de uma palavra código específica possui diversidade temporal e em frequência.

No sistema receptor, o sinal recebido nas bandas laterais superior e inferior distorcido pelo canal e somado a ruído e interferência é demodulado para gerar a estimativa da palavra código transmitida. A demodulação da banda lateral superior é independente da demodulação da banda lateral inferior (exceto pelos intervalos entre os sinais que são conhecidos), sendo geradas duas estimativas da palavra código. Quando o transmissor utiliza uma réplica atrasada da palavra código para modular a banda lateral superior ou inferior, ou

seja, utiliza diversidade temporal, a implementação do sistema de recepção inclui um atraso da mesma quantidade de tempo depois da demodulação da banda lateral superior ou inferior. Assim as duas estimativas da palavra código correspondente à mesma palavra código transmitida (e conseqüentemente às mesmas fontes de bits de informação) devem ser comparadas no mesmo instante de tempo. O sistema receptor então: 1-combina as duas estimativas de palavras códigos para formar uma única estimativa que é então decodificada, ou 2-seleciona a estimativa de palavra código com menor probabilidade de possuir erros e a utiliza na decodificação.

A determinação do par “palavra código recebido-palavra código decodificada” é feita com base em uma palavra código por vez e não requer conhecimento prévio de qual palavra código (correspondente ao sinal na banda lateral superior ou inferior) que possui maior probabilidade de ser perturbado por ruído, interferência ou distorção do canal de propagação RF.

Nos sistemas de transmissão Híbrido e Híbrido Estendido, além das diversidades em frequência e temporal aplicadas no sinal digital HD Radio, o sistema também utilizam um método chamado de *blending* para mitigar os efeitos de interrupções intermitentes na recepção do sinal digital. Como no sistema HD Radio o sinal analógico e o digital transmitem a mesma informação, esse método utiliza-se da informação transmitida no sinal analógico quando há uma interrupção na recepção do sinal digital, realizando comutação entre os dois sinais.

A métrica utilizada pelo sistema para determinar se um sinal digital está interrompido e chavear para o modo analógico é a MER (*Modulation Error Ratio*) das subportadoras de referência. Um valor típico de MER de 11 dB na subportadora de dados e de referência é considerado para que o sistema entre no modo de *blend* [24].

Adicionalmente, outros parâmetros técnicos do sistema HD Radio que devem ser considerados são:

- a) **Limites de emissores espectrais FM [23]**. Considera-se que zero (0) dBc é definido como a potência total da portadora analógica FM. Nas transmissões Híbridas o requisito é que o ruído e os sinais espúrios originados de todas as fontes, incluindo ruído de fase e produtos de intermodulação, devem atender aos limites de densidade espectral de potência apresentados na Figura 9 e na Tabela 5. Esses limites são aplicáveis para todos os níveis de potência permissíveis das bandas laterais superior e inferior.

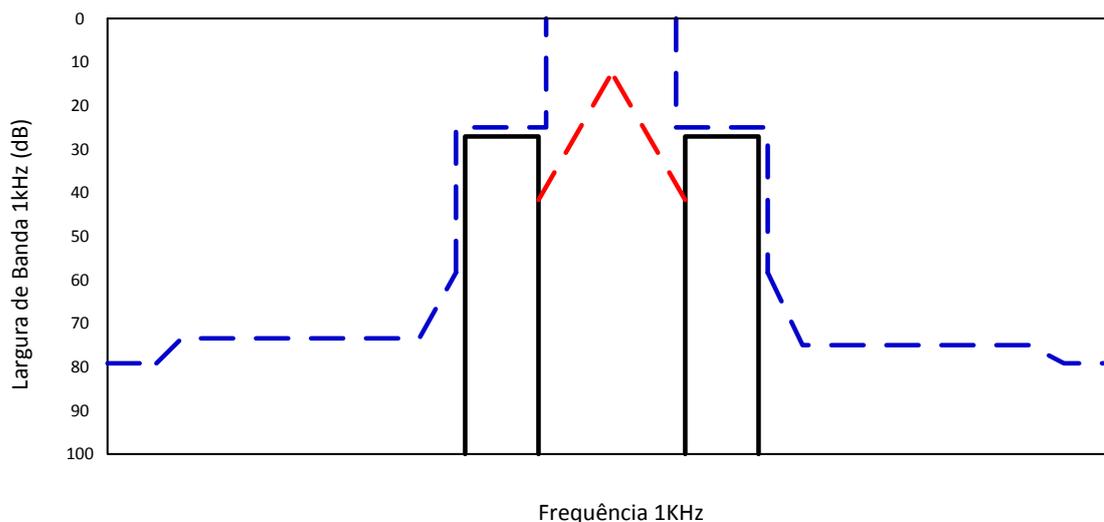


Figura 9 - Limites de emissão do Modo Híbrido e Híbrido Estendido HD Radio FM.

Tabela 5 - Limites de emissão do modo Híbrido HD Radio FM (*).

| Frequência Offset em relação a portadora | Nível, dBc/kHz |
|--|--|
| 100 – 200 kHz offset | -30,0 |
| 200 – 207,5 kHz offset | $[-30,0 - ([\text{frequência em kHz}] - 200 \text{ kHz}) * 4,187]$ |
| 207,5 – 250 kHz offset | $[-61,4 - ([\text{frequência em kHz}] - 207,5 \text{ kHz}) * 0,306]$ |
| 250 – 540 kHz offset | -74,4 |
| 540 – 600 kHz offset | $[-74,4 - ([\text{frequência em kHz}] - 540 \text{ kHz}) * 0,093]$ |
| >600 kHz offset | -80 |

(*) Os requisitos de limites e emissão de ruído e espúrios refletem critérios aceitáveis de desempenho. Em certas circunstâncias, medidas adicionais (filtragem, supressão de emissão ativa) podem ser necessárias para reduzir as emissões espectrais dentro dos limites com o objetivo de reduzir interferências entre estações radiodifusoras.

As bandas laterais superiores e inferiores podem diferir em até 10 dB (bandas assimétricas). Normalmente os níveis de potência das bandas laterais são iguais, porém em determinados cenários as bandas assimétricas podem ser úteis para mitigação de interferência de canal adjacente. A Figura 9 apresenta a diferença de 10 dB apenas como ilustração. Mesmo

que elas tenham níveis diferentes de potência, o limite das emissões espectrais para as duas bandas é o mesmo.

Na transmissão do modo Todo Digital os requisitos também envolvem o ruído e os sinais espúrios. Os limites de densidade espectral de potência devem estar conforme a Figura 10 e a Tabela 6.

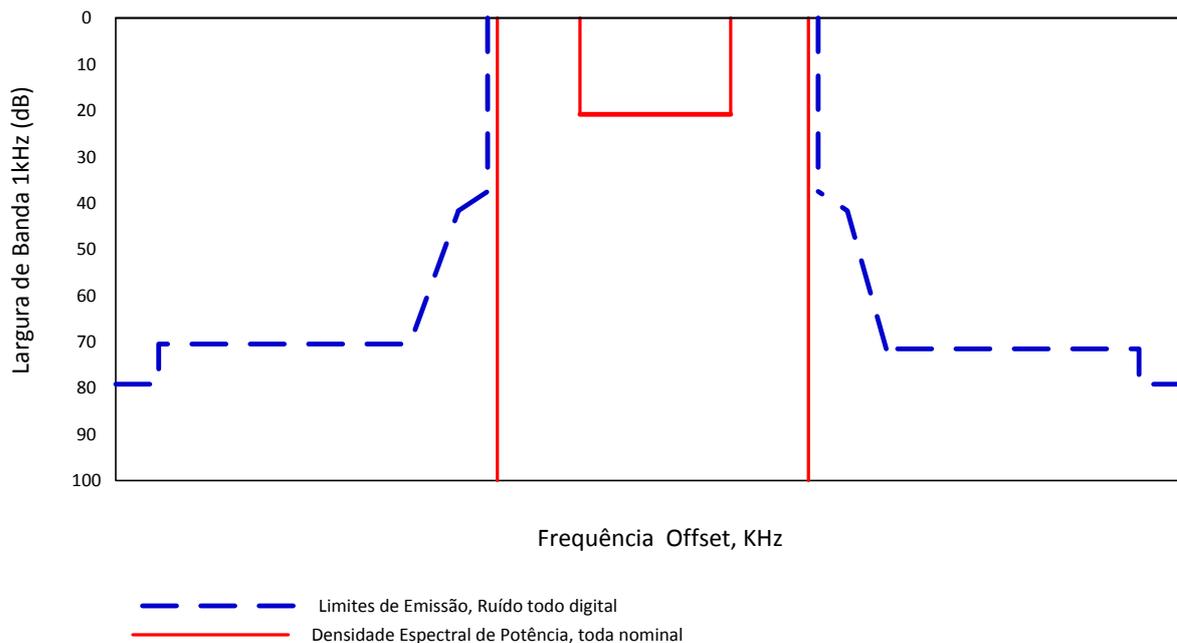


Figura 10 - Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM

Tabela 6 - Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM.

| Frequência Offset em relação a portadora | Nível, dBc/kHz |
|--|---|
| 200 – 207,5 kHz offset | $[-20 - ([\text{frequência em kHz}] - 200 \text{ kHz}) * 1,733]$ |
| 207,5 – 250 kHz offset | $[-33 - ([\text{frequência em kHz}] - 207,5 \text{ kHz}) * 0,2118]$ |
| 250 – 300 kHz offset | $[-42 - ([\text{frequência em kHz}] - 250 \text{ kHz}) * 0,56]$ |
| 300 – 600 kHz offset | -70 |
| >600 kHz offset | -80 |

No Modo Todo Digital a região dentro de 100 kHz a partir do centro do canal deve ser reservada para subportadoras secundárias de baixo nível.

- b) **Canal de Controle do Sistema.** O Canal de Controle do Sistema (SCCH) transporta informações de status e controle [25]. O controle do modo de serviços primário e secundários e o fator de escala de amplitude são enviados da Administração de Configuração para a Camada 1, enquanto que informação de sincronização é enviada da Camada 1 para Camada 2. Além disso, vários bits da sequência de dados de controle do sistema designados “reservados” são controlados nas camadas acima de L1 através da interface de controle de dados reservada primário e secundário.

Informações e controle são transportados em quadros discretos de transferência através de múltiplos canais lógicos. Esses quadros de transferência são também denominados como Unidades de Protocolo de Dados de Camada 2 (Layer 2 Protocol Data Units, L2 PDUs).

Os L2 PDUs variam em tamanho e formato dependendo do modo de serviço. O modo de serviço, o principal componente do controle do sistema, determina as características de transmissão de cada canal lógico. Após a avaliação dos requisitos das aplicações candidatas, camadas de protocolo mais altas selecionam modos de serviço que configuram os canais lógicos mais adequadamente. A variedade de canais lógicos reflete a flexibilidade intrínseca do sistema, o qual suporta entrega simultânea de várias combinações de dados e áudio digital.

Os modos de serviço determinam todas as configurações possíveis dos canais lógicos. Os modos de serviço primários ativos são MP1, MP2, MP3, MP11, MP5 e MP6, que configuram os canais lógicos primários. Os modos de serviço secundários ativos são MS1, MS2, MS3 e MS4, que configuram os canais lógicos secundários.

- c) **Canais Lógicos.** Um canal lógico conduz L2 PDUs em quadros de transferência dentro da Camada 1 com um grau de serviço específico determinado pelo modo de serviço. A Camada 1 da interface aérea FM oferece onze (11) canais lógicos para protocolos de camadas mais altas. Nem todos os canais lógicos são usados em cada modo de serviço.
- d) **Canais Lógicos Primários.** Existem cinco (5) canais lógicos primários que podem ser usados com as formas de onda Híbrida, Híbrida Estendida e Digital Total. Eles são denominados como P1, P2, P3, P4 e PIDS. O canal PIDS transmite informação de serviço da estação (*Station Information Service, SIS*). A Tabela 7 apresenta a taxa de informação aproximada suportada por cada canal lógico primário como função do modo de serviço primário.

Tabela 7 - Taxa de informação aproximada dos canais lógicos primários.

| Serviço | Taxa de informação aproximada em kbit/s | | | | | Tipo de transmissão |
|---------|---|-----|-----|-----|------|----------------------------------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | PIDS | |
| MP1 | 98 | N/A | N/A | N/A | 1 | Híbrida |
| MP2 | 98 | N/A | 12 | N/A | 1 | Híbrida Estendida |
| MP3 | 98 | N/A | 25 | N/A | 1 | Híbrida Estendida |
| MP11 | 98 | N/A | 25 | 25 | 1 | Híbrida Estendida |
| MP5 | 25 | 74 | 25 | N/A | 1 | Híbrida Estendida e Toda Digital |
| MP6 | 50 | 49 | N/A | N/A | 1 | Híbrida Estendida e Toda Digital |

- e) **Canais Lógicos Secundários.** Existem seis (6) canais lógicos secundários que são utilizados somente na forma de onda Digital Total. Eles são denominados S1, S2, S3, S4, S5 e SIDS. A Tabela 8 apresenta a taxa de informação aproximada suportada por cada canal lógico secundário como função do modo de serviço secundário.

Tabela 8 - Taxa de informação aproximada dos canais lógicos secundários.

| Serviço | Taxa de informação aproximada em kbit/s | | | | | | Tipo de transmissão |
|---------|---|----|----|----|----|------|---------------------|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | SIDS | |
| MS1 | 0 | 0 | 0 | 98 | 6 | 1 | Toda Digital |
| MS2 | 25 | 74 | 25 | 0 | 6 | 1 | Toda Digital |
| MS3 | 50 | 49 | 0 | 0 | 6 | 1 | Toda Digital |
| MS4 | 25 | 98 | 25 | 0 | 6 | 1 | Toda Digital |

3.3.2 Funcionalidade de Canais Lógicos

Os canais lógicos P1 a P4 e S1 a S5 são designados para transmitir áudio e dados, enquanto que os canais Serviço de Dados Primário do IBOC (PIDS) e Serviço de Dados Secundário do IBOC (SIDS) são designados para transmitir dados do Serviço de Informação da Estação (*Station Information Service, SIS*).

O desempenho de cada canal lógico é completamente descrito através de três parâmetros de caracterização: transferência, latência e robustez. A codificação de canal, o mapeamento espectral, a profundidade de entrelaçamento e o atraso de diversidade digital são

os componentes destes parâmetros de caracterização. O modo de serviço configura exclusivamente estes componentes dentro da Camada 1 para cada canal lógico ativo, assim determinando a caracterização apropriada de parâmetros.

Além disso, o modo de serviço especifica o enquadramento e a sincronização dos quadros de transferência por meio de cada canal lógico ativo. No documento “*HD Radio Air Interface. Design Description Layer 1 FM*” **Erro! Fonte de referência não encontrada.**], capítulo 7, há a descrição detalhada dos canais lógicos e suas configurações.

3.3.2 Serviços Adicionais

De maneira análoga ao sistema DRM+, uma das principais vantagens do HD Radio é a possibilidade de oferecer serviços adicionais além da melhoria na qualidade do áudio, permitindo oferecer até 04 serviços (áudio e/ou dados) num mesmo canal. Assim, atualmente o sistema HD Radio oferece um conjunto de serviços agregados a programação ou não, a saber [26]:

- a) **Experiência Artística.** É uma transmissão com absoluto sincronismo de transferência e exibição de imagens no receptor relacionada a um segmento específico de áudio. Por exemplo: a capa de um CD, fotos do artista, imagens relacionadas à música ou qualquer áudio, comercial ou não. A imagem sempre é sincronizada à música ou áudio que está sendo apresentado. Se uma imagem não está disponível ou não é recebida, o logotipo da emissora ou uma imagem padrão escolhida é apresentada no display do receptor.
- b) **Alertas de Emergências.** É um sistema de notificação abrangente de emergência que as agências governamentais podem utilizar para alertarem a população em caso de ameaças à segurança nacional ou local, sequestros de crianças, perigos climáticos, risco de inundações, furacões, terremotos, tempestades com raios, ou qualquer outra situação que solicite a divulgação pública imediata. O serviço oferece áudio de emergência, textos e imagens que são entregues através de canais HD Radio.
- c) **Marcação da Canção.** A marcação fornece uma maneira simples para que os ouvintes capturarem informações sobre as músicas escutadas no rádio para no futuro comprá-las.

- d) **HD Tráfego.** *HD Traffic* é um novo serviço de dados para a radiodifusão, que é transmitido aos consumidores através de um canal Datacasting HD Radio de uma emissora de rádio. É um novo modelo de negócio que oferece uma nova fonte de receita para as emissoras. Dados sobre as condições de tráfego são continuamente transmitidos via Datacasting HD Radio e é recebida em um navegador pessoal especializado através de um chip HD Radio embutido no receptor. Esta informação é integrada à tela do navegador, informando o motorista sobre atrasos no tráfego e sugerindo rotas alternativas.
- e) **Serviços de Texto e Informações.** As informações de textos contínuos em tempo real são transmitidas via Datacasting HD Radio. Este texto fornece conteúdos diversos que é disponibilizado ao toque de um botão existente no visor dos receptores equipados com o HD Radio.
- f) **Guia de Programa Eletrônico.** A programação de todas as emissoras de rádio em uma comunidade são compilados e transmitidos via Datacasting HD Radio para os receptores de consumo.
- g) **NextRadio / TagStation.** Desenvolvido por quem pesquisa e vivencia radiodifusão. *Emmis Interactive, NextRadio* TM e [®] *Tagstation* são aplicações avançadas de middleware interativos projetados para telefones celulares que incorporam o HD Radio. O NextRadio é um middleware que reside no telefone celular, enquanto o *Tagstation* é um aplicativo da emissora para transmissão em *Datacasting*. Quando utilizados em conjunto, o *NextRadio* e *Tagstation* combinam o Datacasting HD Radio da emissora com um canal de retorno de dados do celular, permitindo funções interativas como o compartilhamento na rede social (*Facebook, Twitter*), a entrega de cupons de desconto por rádio, concursos, participação do ouvinte, músicas, e outras possibilidades futuras.

3.4 CONCLUSÃO

Neste capítulo foram descritas as características técnicas dos dois padrões de rádio digital que se coadunam com a faixa de operação das rádios comunitárias. Conhecidas as características dos dois padrões, testes de campo foram realizados. Os dois próximos capítulos detalham as campanhas de medidas realizadas com os padrões DRM+ e HD Radio.

4 CAMPANHA DE MEDIDAS COM O SISTEMA DRM+

4.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve o sistema de transmissão, os equipamentos de medição, o planejamento e a metodologia empregada na campanha de medidas com o sistema DRM+. Os testes foram realizados na cidade do Recanto das Emas, com a colaboração da emissora comunitária Rádio Líder, com a transmissão analógica e digital. No decorrer do capítulo o planejamento da metodologia e os resultados das medidas são detalhados.

4.2 SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O sistema de transmissão da Rádio Comunitária AREMAS está localizado na cidade satélite Recanto das Emas, próxima a Brasília/DF, a aproximadamente 30 m de altitude em relação ao nível médio do terreno. A Figura 11 ilustra a localização do centro de transmissão. A circunferência com raio de 2 km delimita a região onde foram realizados os testes, e o raio de 1 km ilustra a área de serviço da emissora.



Figura 11 - Localização do centro de transmissão da Rádio Comunitária.

Os 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 esquemático do sistema de transmissão é mostrado na Figura 12 e os principais componentes do sistema de transmissão são descritos na Tabela 9.

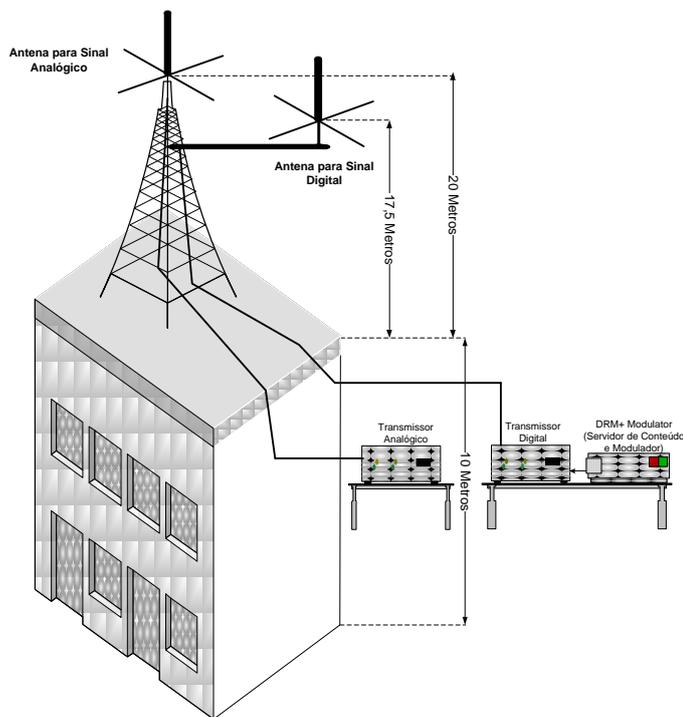


Figura 12 - Diagrama esquemático do transmissor.

Tabela 9 - Características técnicas da Rádio Comunitária AREMAS com DRM+.

| ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE OPERAÇÃO DA EMISSORA | |
|---|--|
| ANALÓGICO | DIGITAL |
| FREQUÊNCIA: 98,1 MHz CANAL: 251 | FREQUÊNCIA: 97,9 MHz CANAL: 250 |
| LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA | |
| CIDADE / ESTADO: Brasília / DF COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 15°54'10.19"S, 48° 3'44.69"W | |
| TRANSMISSOR | |
| FABRICANTE: Montel MODELO: MTFM98 | FABRICANTE: NAUTEL POTÊNCIA NOMINAL: 80 W |

| | |
|---|--|
| POTÊNCIA NOMINAL: 25 W POTÊNCIA UTILIZADA NOS TESTES: 25 W | POTÊNCIA UTILIZADA NOS TESTES: 5 W |
| MODULADOR | |
| ----- | DRM+ Modulator FABRICANTE: RF Mondial e FhG |
| ANTENA | |
| FABRICANTE: CELTA MODELO: CE-1600/FM POLARIZAÇÃO: Vertical DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirecional GANHO: 2 dBi, -0,15 dBd ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 30 m POTÊNCIA MÁXIMA: 120 W | FABRICANTE: CELTA MODELO: CE-1600/FM POLARIZAÇÃO: Vertical DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirecional GANHO: 2 dBi, -0,15 dBd ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 27,5 m POTÊNCIA MÁXIMA: 120 W |
| LINHA DE TRANSMISSÃO | |
| FABRICANTE: Datalink MODELO: DLC 213 Premium COMPRIMENTO: 22,0 m IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO DA LINHA: 4,8 dB/100m AT. DOS ACESSÓRIOS (CONECTORES E FILTROS, ETC): 0,2 dB | FABRICANTE: Datalink MODELO: DLC 213 Premium COMPRIMENTO: 25,0 m IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO DA LINHA: 4,8 dB/100m AT. DOS ACESSÓRIOS (CONECTORES E FILTROS, ETC): 2,3 dB |
| POTÊNCIA IRRADIADA | |
| EIRP: 29,7W ERP: 18,1 W | EIRP: 3,5 W ERP: 2,1 W |
| RELAÇÃO ENTRE OS SINAIS DIGITAL E ANALÓGICO | |
| RELAÇÃO DE PROTEÇÃO (FM ERP / HD Radio ERP): 9,3 dB | |

O equipamento denominado DRM+ *Modulator* mostrado na Figura 13, cujos fabricantes são as empresas RF Mondial e o Instituto *Fraunhofer* (FhG), é composto por um servidor de conteúdo e pelo modulador DRM+. O servidor de conteúdo do Instituto *Fraunhofer* permitiu a transmissão do serviço *Journaline* (transmissão de informações de

páginas da web em tempo real). Para os testes, foram sincronizados os sites do Ministério das Comunicações, *Deutsche Welle* e DRM, conforme ilustra a Figura 14. O excitador DRM+ da *Nautel* (Figura 15), equipamento normalmente usados para alimentar um transmissor de alta potência, durante esses testes funcionou como um transmissor, em função da baixa potência utilizada. A Figura 16 ilustra o transmissor analógico, cujo sinal foi combinado no ar com o sinal digital, formando um sinal híbrido simulcast.



Figura 13 – Modulador DRM+.

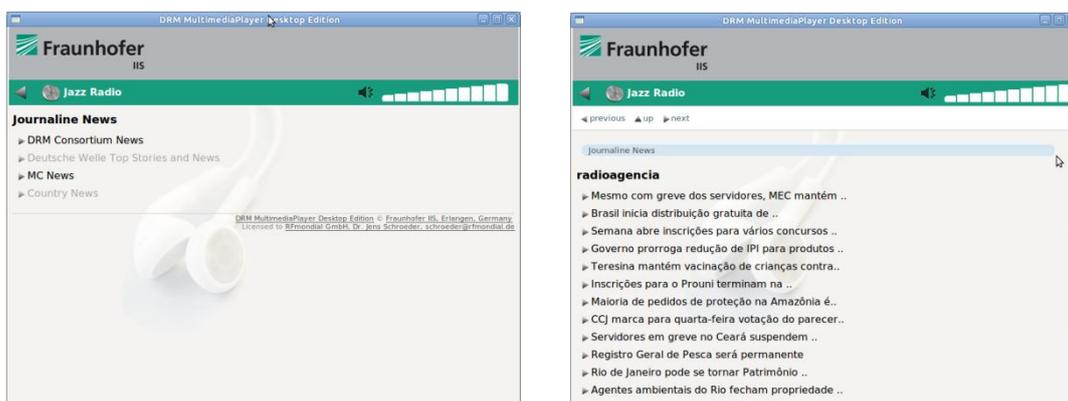


Figura 14 – Serviço Journaline do DRM+.



Figura 15 – Transmissor DRM+.



Figura 16 – Transmissor analógico.

As duas antenas de transmissão usadas eram do tipo omnidirecional, modelo CE-1600/FM, do fabricante CELTA, com ganho de 2 dBi e polarização vertical, instalada no topo de uma torre com 20 metros e localizada no telhado de um sobrado de 10 metros de altura. Portanto, as antenas de transmissão para irradiar os sinais analógico e digital encontravam-se a 30 metros e 27,5 metros respectivamente em relação ao nível do solo. Levando-se em conta as perdas de cabos e conectores, a EIRP de transmissão foi de 29,7 W e 3,5 W para os sinais analógico e digital referente às potências na saída dos transmissores de 25 W e 5 W, respectivamente. A Figura 17 mostra a instalação das antenas de transmissão usadas nos testes e o seu diagrama de radiação horizontal.

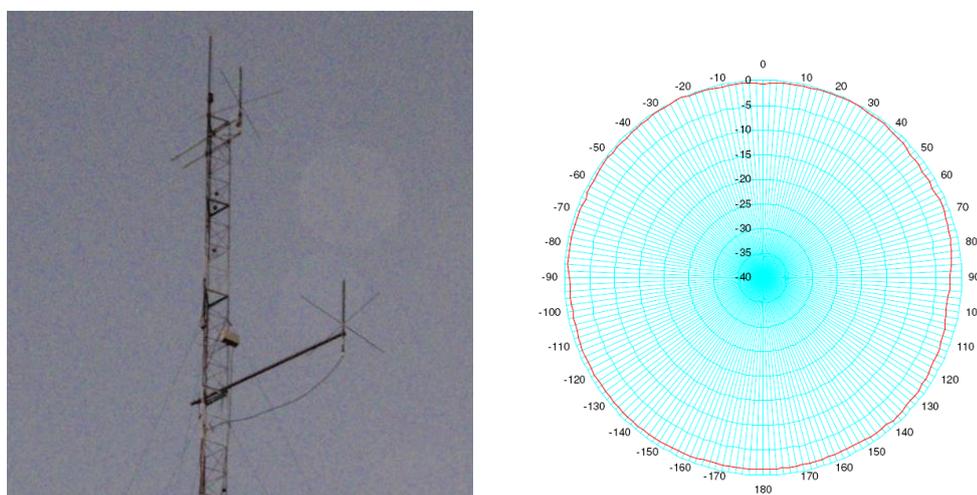


Figura 17 – Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal.

Durante os testes, foram utilizadas duas configurações de multiprogramação na transmissão do sinal digital: uma para 4QAM, na qual foram transmitidos ao mesmo tempo dois (2) programas, um áudio (“Jazz Radio”) e o serviço Journaline, e outra para 16QAM, na qual ocorreu a transmissão simultânea de quatro (4) programas, três com diferentes programações de áudio (“Surround Radio”, “Country Radio”, “Speech Radio”) e o serviço

Journaline. A Figura 18 e a Figura 19 ilustram a tela do receptor profissional com exemplos de multiprogramações transmitidas.

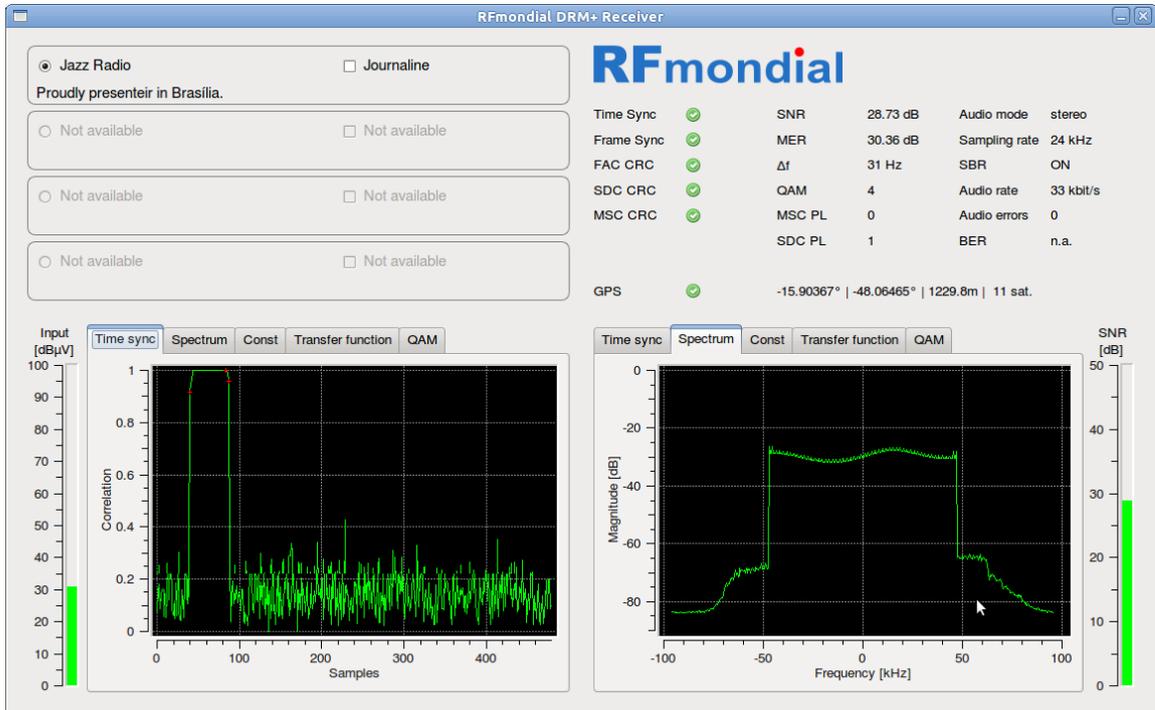


Figura 18 – Multiprogramação utilizada nos testes. Serviços no modo 4QAM.

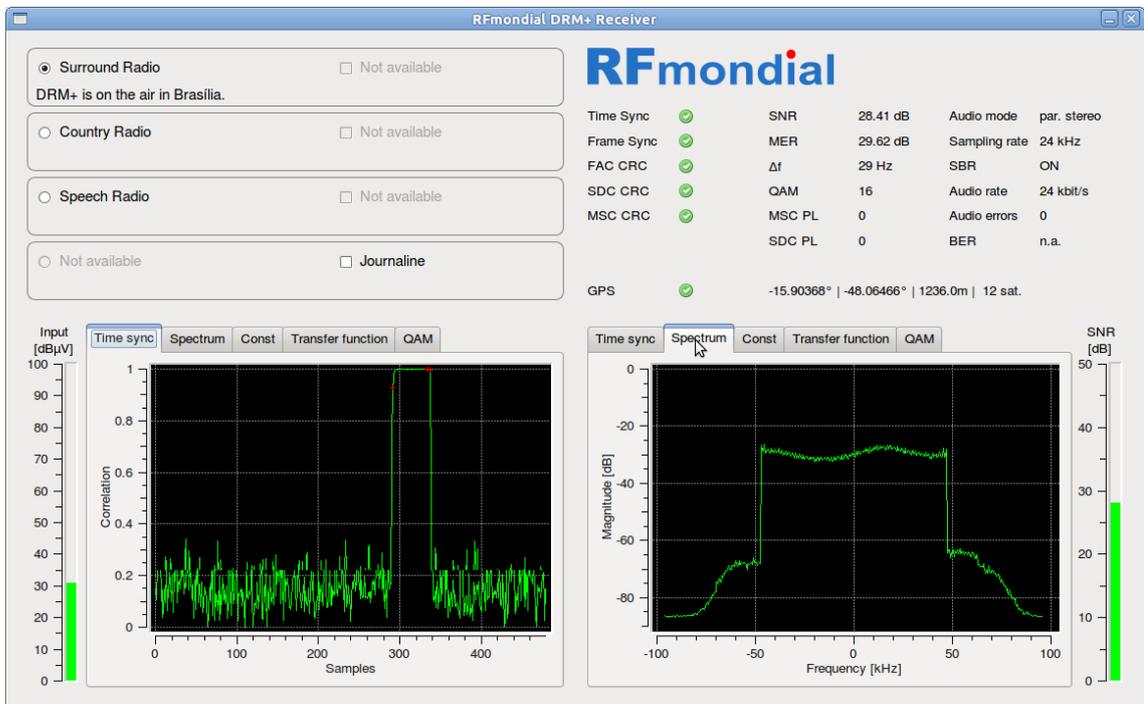


Figura 19 – Multiprogramação utilizada nos testes. Serviços no modo 16QAM.

4.3 MODOS DE TRANSMISSÃO DO DRM

O sistema DRM+ fornece uma ampla variedade de configurações para o sinal digital [15], [17]. 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, por exemplo). Essa flexibilidade na escolha do parâmetro permite melhorar a robustez do sinal contra ruídos, interferências ou do efeito multipercurso. No entanto, aumentando-se a robustez do sinal, a taxa de dados dos bits úteis decresce.

Para os testes descritos neste trabalho, duas diferentes configurações foram utilizadas visando à robustez do sinal e outra a uma maior quantidade de serviços na multiprogramação. A primeira baseou-se na modulação 4QAM no Canal de Serviço Principal (MSC), e segunda, menos robusta utilizou a modulação 16QAM, também no MSC. O nível de proteção (taxa de código) selecionado para o modo 4QAM foi de 0,25, permitindo a transmissão de um áudio com qualidade estéreo e o serviço Journaline. Para o modo 16QAM, a taxa de código usada foi de 0,33, o que permite a transmissão de uma qualidade de áudio estéreo em formato 5.1, além de mais dois (2) serviços de áudio, com qualidade inferior, e o Journaline. Os parâmetros utilizados em cada configuração são apresentados na Tabela 10. As taxas de bits indicadas nessa Tabela 10 são aquelas utilizadas na configuração de codificação de áudio.

Tabela 10- Modos de transmissão DRM+ utilizados durante os testes.

| Nome | Modo de Robustez OFDM | Largura de Banda | Modulação MSC | Modulaçã o SDC | Taxa de código MSC | Taxa de código SDC | Taxa de bits do Usuário (kbps) | Áudio |
|-------|-----------------------|------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|---------|
| 4QAM | E | 100 kHz | 0 | 1 | 0,25 | 0,25 | 37,3 | Estéreo |
| 16QAM | E | 100 kHz | 0 | 0 | 0,33 | 0,5 | 149,1 | Estéreo |

4.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E METODOLOGIA

4.4.1 Equipamentos de Medição

As medições do sistema DRM+ foram realizadas com a viatura de testes da Empresa Brasil de Comunicação (EBC), um veículo adaptado para execução de trabalhos em

campo, conforme a Figura 20, na qual também pode ser visualizada a disposição dos equipamentos de medição no interior da viatura.



Figura 20 – Viatura móvel adaptada com detalhes dos equipamentos de medição.

Na Figura 21 são apresentados os equipamentos utilizados nas medições. Os dois equipamentos principais de medição são o receptor profissional DRM+ Radio e o analisador de espectro. O equipamento profissional para coleta dos dados nas medições consiste no software RFMondial, instalado no laptop, e no receptor profissional de áudio digital DRM+.

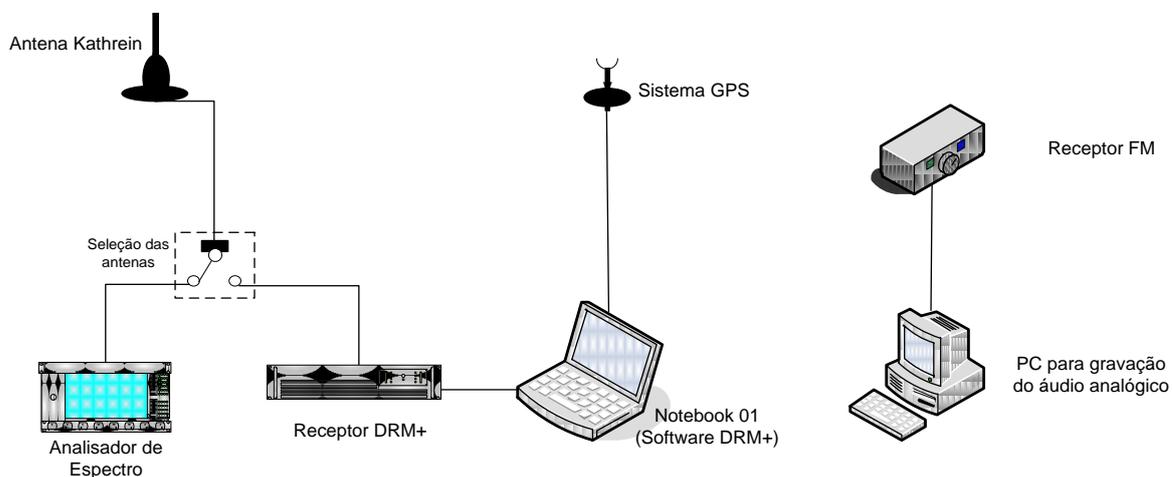


Figura 21 – Viatura móvel adaptada.

O receptor DRM+ é composto em duas partes, um front-end e um software que roda em um notebook (notebook) como ilustra a Figura 22. Um GPS conectado a um laptop fornece as informações da localização, que são salvas juntas com as informações de recepções. O analisador de espectro e o receptor foram conectados à antena (monopolo

modelo K51164 do fabricante Kathrein, com ganho de 1,85 dBi, Figura 23), por meio de um switch, o que impossibilitou que o sistema fizesse os dois tipos de medições em simultâneo: recepção do sinal e captura do espectro.

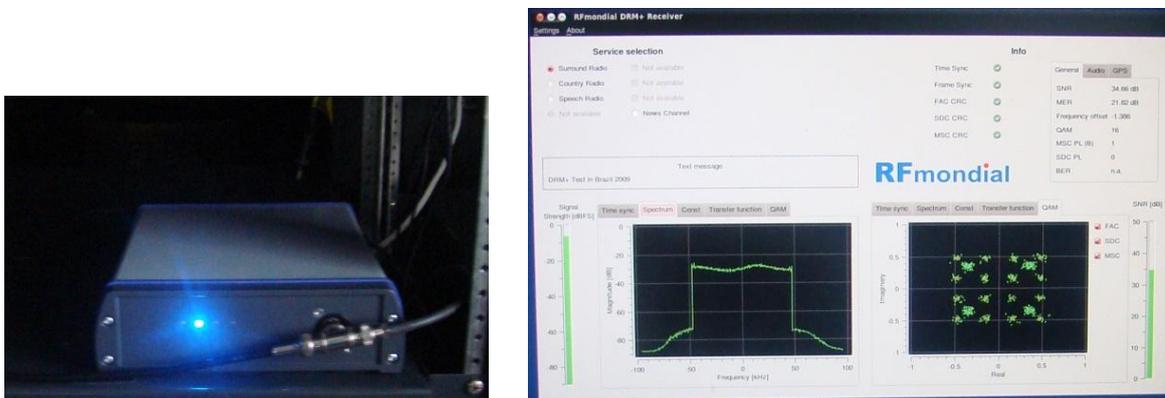


Figura 22 – Receptor DRM+ da RF Mondial: front-end (esq.); software do receptor (dir.).



Figura 23 – Antena de recepção modelo Kathrein.

O outro bloco de medição, apresentado na Figura 21, é destinado à gravação do áudio analógico FM. O áudio analógico do sinal FM foi gravado pelo receptor comercial UniWave, Figura 24, com o intuito de avaliar a recepção analógica. Esse receptor decodifica sinais analógico e digital em frequência abaixo de 30 MHz, e sinais analógicos na faixa de FM.



Figura 24 – Receptor UniWave.

4.4.2 Parâmetros de Medição

Os equipamentos e o sistema de medição foram planejados para fornecerem uma ampla gama de parâmetros durante os testes. A Tabela 11 apresenta os parâmetros medidos durante os testes. Eles são divididos em três tipos: parâmetros que fornecem informações de radiofrequência (RF) e canal de propagação, parâmetros de banda básica e parâmetros auxiliares que ajudam na compreensão das causas e efeitos dos diferentes problemas de recepção.

Tabela 11- Parâmetros de medição.

| Parâmetro | Tipo | Equipamento | Intervalo de medição |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------|
| SNR (MER) | RF e canal de propagação | Receptor DRM+ | 100 ms |
| Quadros de áudio corretos (AQ) | Banda base | | 200 ms |
| Dados RSCI | Auxiliar | | 100 ms |
| Espectro | RF e canal de propagação | Analizador de Espectro | Medições estáticas |
| Localização | Auxiliar | GPS | 1 s |
| Tempo | Auxiliar | | 1 s |
| Velocidade | Auxiliar | | 1 s |
| Gravações de áudio DRM+ | Banda base | Receptor DRM+ | Medições estáticas e móveis |
| Eventos | Auxiliar | Equipe | Cada evento |
| Fotos | Auxiliar | Equipe | Medições estáticas |

Dentre todos os parâmetros, os três mais importantes são: intensidade do campo elétrico, a relação sinal ruído, SNR (que é a MER do sinal DRM+), e a taxa de frames (quadros) de áudio recebidos corretamente, também conhecida como qualidade de áudio AQ. O registro da intensidade de campo elétrico com analisador de espectro foi realizado apenas nas medições estáticas, pois nas medições móveis somente um equipamento podia ser conectado, e este equipamento foi o receptor profissional DRM+.

O AQ é o parâmetro que define se o áudio foi recebido corretamente ou não. Para que a recepção do áudio seja definida como correta, é necessário que no mínimo 98% dos frames sejam recebidos corretamente. Nesse caso o áudio será decodificado corretamente, sem percepção de *drop out* (salto) do áudio pelo ouvinte. No entanto, para valores de AQ entre 90% e 98%, o ouvinte pode perceber o *drop out*, sem que esse provoque, porém, uma sensação incômoda para o ouvinte. Abaixo de 90% considera-se que não há recepção do áudio digital adequada para o ouvinte. Assim, a equação (4.1) é utilizada:

$$AQ(\%) = \frac{\text{Número de frame de áudios decodificados corretamente}}{\text{Total de frames transmitidos}} \times 100\% \quad (4.1)$$

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 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.

4.4.3 Metodologia de Medição

A campanha de testes com a unidade móvel foi realizada com medições estáticas e móveis, em dois tipos de rotas, radiais e circulares. Como não existia um guia para realização de testes com o sistema DRM na faixa de FM disponibilizado pela Anatel, o guia da Anatel para testes na faixa de Ondas Médias (OM) foi utilizado como orientação das medições em FM [27]. Conforme esta orientação foram realizadas medições em dois tipos de rotas, radiais e circulares.

A primeira medição diária era realizada no ponto de referência para determinar se os parâmetros de transmissão estavam corretos mediante comparação com os dados coletados

no dia da caracterização da unidade móvel naquele ponto. Também era verificado se o equipamento de recepção estava com funcionamento adequado.

As atividades realizadas durante as medições nos pontos fixos são apresentadas a seguir:

- Captura do espectro do sinal simulcast.
- Captura dos dados do sinal digital DRM+ com o receptor profissional, por um período mínimo de 5 minutos.
- Gravação do áudio digital com o receptor profissional, por um período mínimo de 5 minutos.
- Gravação do áudio analógico FM com receptor comercial, por um período mínimo de 3 minutos.
- Captura de fotografias do ambiente, considerando o ponto cardeal norte como referência.
- Caracterização do ambiente, por meio de software.
- Gravação dos eventos ocorridos durante a medição, por meio de software (registro de ocorrências).

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

- Captura dos dados do sinal digital DRM+ com o receptor profissional durante toda a rota.
- Gravação do áudio digital com o receptor profissional durante toda a rota
- Gravação dos eventos ocorridos durante a rota, por meio de software (registro de ocorrências).

4.4.4 Planejamento das Rotas

As rotas radiais planejadas para os testes do sistema DRM+ foram escolhidas em função da orientação azimutal e atingem cerca de 1,6 km em relação ao transmissor da Rádio Comunitária AREMAS. As rotas circulares solicitadas pela Anatel para os testes têm como finalidade a avaliação do desempenho do sistema em diferentes ambientes de recepção. Porém, devido às características de baixa potência da emissora, o que resulta em cobertura reduzida, a análise das rotas circulares nesse teste não é aplicável com esse intuito. Portanto, as rotas circulares serviram para verificar a homogeneidade da área de cobertura, com raios

aproximados de 0,25 km, 0,5 km e 1 km, tendo sido realizadas apenas medições em mobilidade nessas rotas.

A Tabela 12 descreve as rotas utilizadas, podendo as mesmas serem visualizadas na Figura 25 (rotas radiais) e na Figura 26 (rotas circulares). As localizações dos pontos fixos de medição ao longo das rotas estão detalhadas no Apêndice 01 – Detalhes das Rotas.

Tabela 12 - Descrição das rotas.

| Tipo de rota | Rota | Descrição |
|--------------|------|----------------------------------|
| Radial | R1 | Rota Oeste (Recanto das Emas) |
| | R2 | Rota Leste (Riacho Fundo II) |
| | R3 | Rota Noroeste (Samambaia) |
| | R4 | Rota Norte (Samambaia) |
| | R5 | Rota Sul (DF 001 EPCT) |
| | R6 | Rota Sudoeste (Recanto das Emas) |
| Circular | C1 | Rota Circular 1 km |
| | C2 | Rota Circular 0,5 km |
| | C3 | Rota Circular 0,25 km |



Figura 25– Rotas radiais (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS.

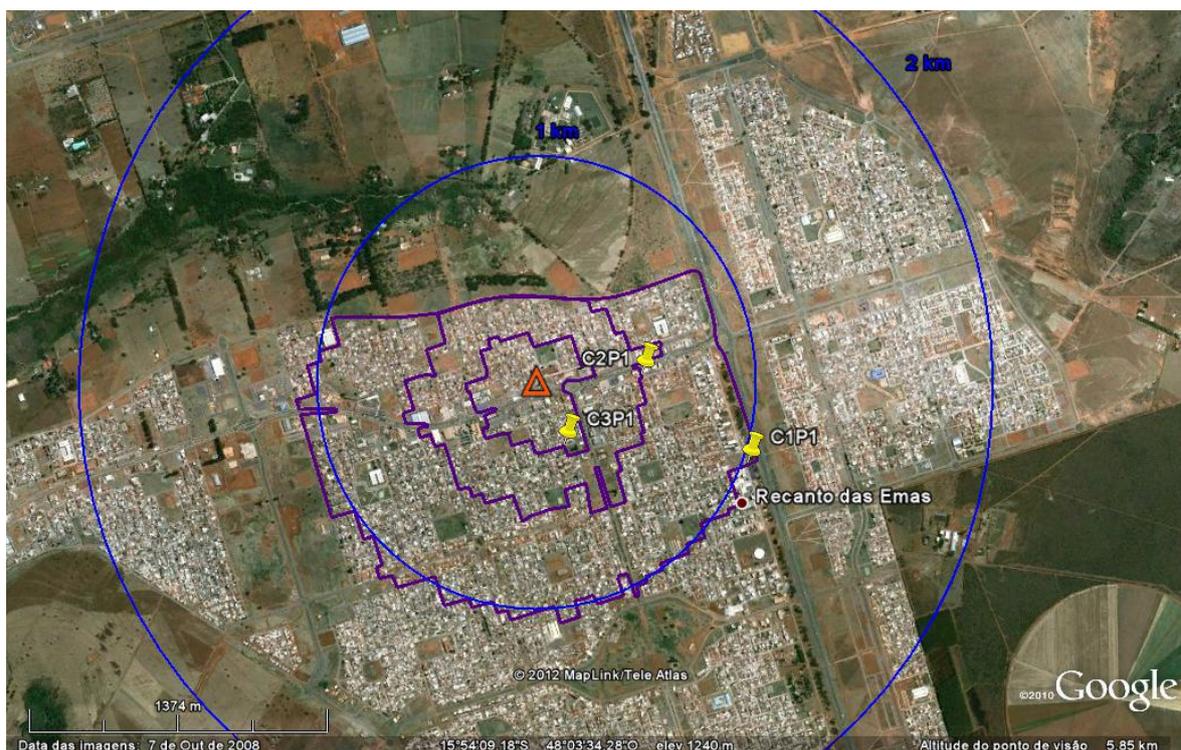


Figura 26 – Rotas circulares (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS.

4.5 RESULTADOS DOS TESTES

Os resultados dos testes são avaliados para a realização das seguintes análises: comparação de medições de intensidade de campo elétrico do sinal analógico com valores teóricos, obtenção da cobertura de recepções estática e móvel, bem como dos limiares de recepção. Os resultados são obtidos com os dois modos de transmissão utilizados durante os testes, o modo 4QAM e o modo 16QAM.

4.5.1 Pré-processamento dos dados

A primeira etapa para obtenção dos resultados foi o pré-processamento, no qual as medições que parecessem ter sido afetadas por problemas diferentes dos de propagação ou do ambiente de recepção eram descartadas. Estes dados descartados não representariam o desempenho do sistema.

Tanto com a modulação 4QAM quanto com a 16QAM, foram realizadas medições em 35 pontos. Entretanto, três pontos (R5P5, R5P6 e R6P6) foram descartados, tendo em vista a ocorrência de falhas no registro dos seus dados, que ocasionou a inconsistência dos

valores obtidos nesses pontos. Os pontos de medição estática válidos são apresentados Apêndice 03.

4.5.2 Comparação da intensidade de campo elétrico do sinal analógico medida com a previsão teórica

A intensidade de campo elétrico analógico medida é comparada com a previsão teórica para fins de verificação dos valores registrados durante os testes. A intensidade de campo teórica é obtida com o Sistema de Informações da Anatel (SIGAnatel) [28], ferramenta que possui um banco de dados geográficos do Brasil que, entre vários recursos, permite analisar a cobertura do sinal de uma estação de rádio e/ou TV, analisar a propagação em um enlace ponto-a-ponto e gerar o perfil de terreno. O modelo de previsão usa como dado de entrada o perfil do terreno entre o local do transmissor e o ponto de interesse, além da potência transmitida (EIRP), para cálculo da intensidade de campo recebida, empregando a atenuação de espaço livre e a difração causada pelos obstáculos existentes no perfil de terreno.

A Figura 27 apresenta a intensidade de campo elétrico do sinal analógico medida e os valores teóricos calculados, bem como a previsão de espaço livre. A curva da intensidade de campo considerando somente a atenuação de espaço livre é utilizada como referência. A diferença desta curva para os pontos teóricos deve-se ao perfil do terreno que é considerado no modelo de previsão utilizado no SIGAnatel. Os valores medidos estão inferiores aos teóricos porque o modelo de previsão utiliza o perfil do terreno sem incluir a ocupação urbana, por isso o gráfico da Figura 27 mostra que em vários pontos de medição existe alguma discrepância entre valores teóricos e medidos. No entanto, observa-se que os dois conjuntos de pontos possuem decaimento similar com a distância, como esperado.

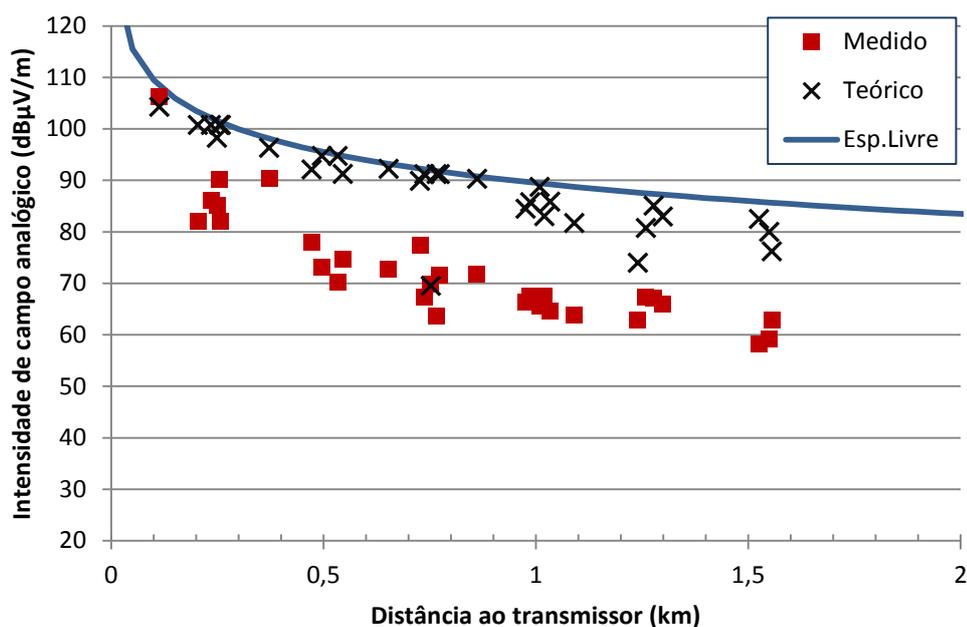


Figura 27 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico.

Com a digitalização do serviço de rádio faz-se necessário utilizar um modelo de previsão mais eficiente devido à variabilidade do sinal recebido. Ressalta-se a necessidade da proposição de um novo modelo para ser usado na faixa de frequência FM, uma vez que no sistema digital a grande diferença entre a previsão e o sinal medido (por exemplo, 20 dB em algumas distâncias no gráfico) pode impactar o planejamento do sistema introduzindo erro no cálculo da cobertura, comprometendo o atendimento do serviço proposto.

4.5.3 Resultados do Modo de Transmissão 4QAM

4.5.3.1 Avaliação da área de cobertura do sinal digital com recepção estática

Na medição estática são obtidos, por meio do receptor profissional, a intensidade de campo elétrico digital mediano, a relação sinal-ruído (SNR) mediana e o valor do parâmetro de qualidade de áudio (AQ) durante o intervalo de medição.

Os resultados gerais da recepção no modo 4QAM são apresentados na, Tabela 13, Figura 28 e Figura 29. A tabela apresenta o resumo estatístico dos resultados da recepção considerando o parâmetro AQ. A Figura 28 ilustra a localização desses pontos no mapa, na qual a coloração indica o percentual do parâmetro AQ em cada ponto. A coloração verde representa os valores de AQ iguais ou superiores a 98% e em vermelho representa AQ menores que 90%. A Figura 29 apresenta um gráfico de intensidade de campo elétrico

recebido em função da distância ao transmissor. Nessas medições não houve pontos com valores de AQ menores que 98% e iguais ou superiores a 90%.

Tabela 13 - Resultados da recepção estática no modo 4QAM.

| Parâmetro AQ | Toda a região de testes |
|-----------------------|-------------------------|
| | Pontos |
| $AQ \geq 98\%$ | 30 (93,8%) |
| $90\% \leq AQ < 98\%$ | 0 (0%) |
| $AQ < 90\%$ | 2 (6,2%) |
| Total de medições | 32 (100%) |

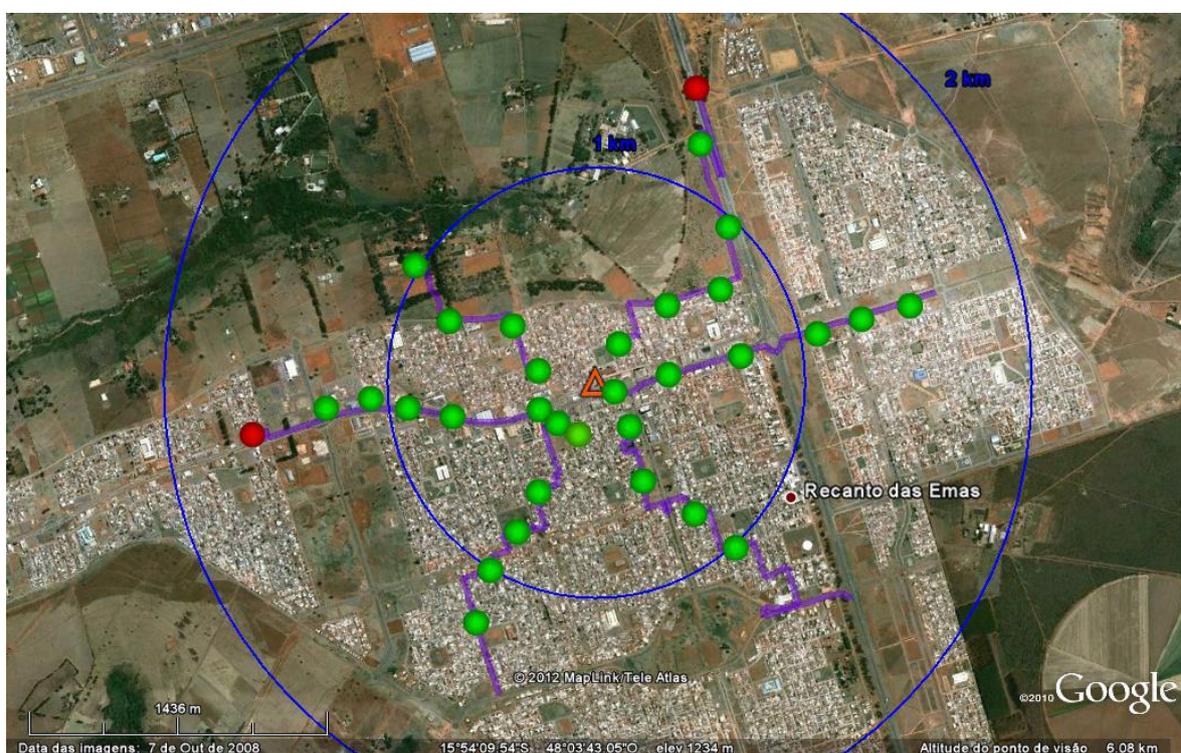


Figura 28 – Resultado da recepção estática no modo 4QAM.

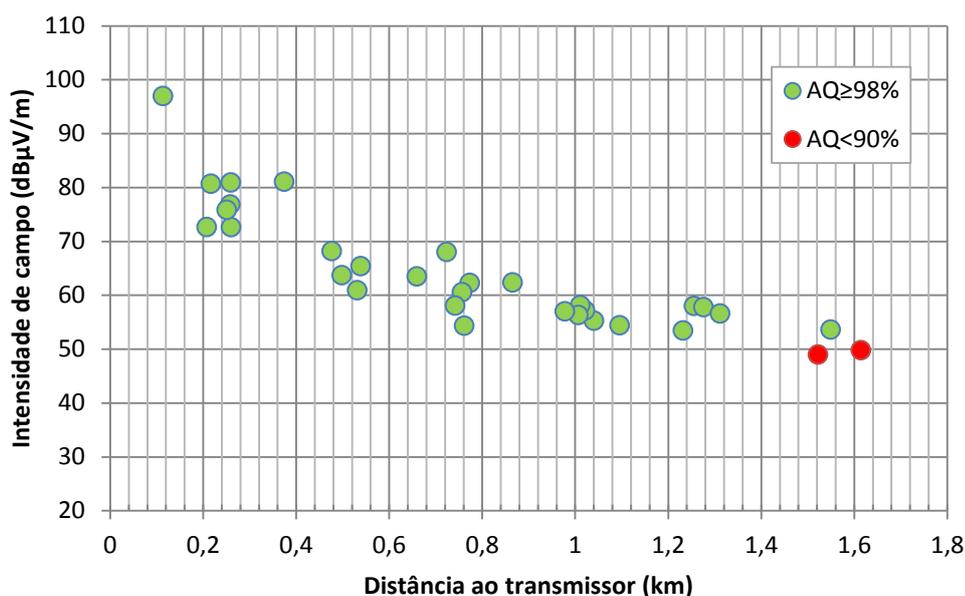


Figura 29 – Intensidade de campo elétrico digital em função da distância, modo 4QAM.

Observa-se por meio da Figura 28 e da Figura 29 que a cobertura do modo de transmissão DRM+ 4QAM é de aproximadamente 1,3 km de distância do transmissor, pois até essa distância todos os pontos tiveram recepção digital. Após essa distância, o ponto R4P6 situado a 1,52 km da emissora (direção norte) não teve recepção digital (primeiro ponto vermelho na Figura 29). Entretanto, houve recepção no ponto R2P6 a 1,55 km do transmissor (direção leste).

Os limiares para relação sinal ruído (SNR) e intensidade de campo são calculados a partir dos resultados de recepção estática, com os gráficos mostrando a intensidade de campo, SNR e qualidade de áudio AQ ($AQ \geq 98\%$; $90\% \leq AQ < 98\%$; $AQ < 90\%$). A Figura 30 apresenta os resultados do modo 4QAM.

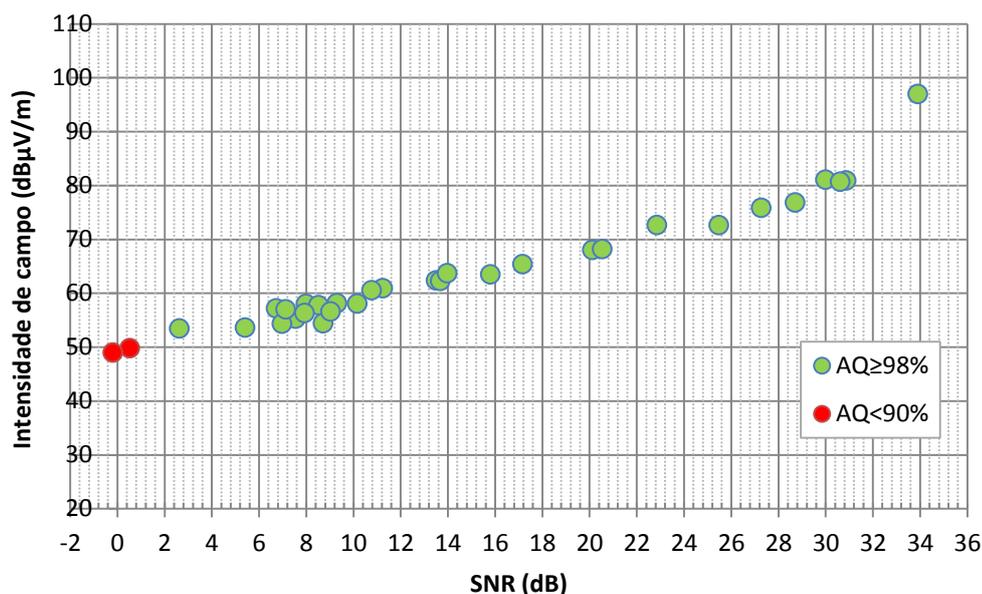


Figura 30 – Limiares da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 4QAM.

Por meio da Figura 29 é possível observar que na recepção estática com o modo 4QAM o limiar de intensidade de campo elétrico ficou entre 52 e 55 dBµV/m. Cabe salientar que esse limiar apenas é válido quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado. No teste em questão, o maior valor de SNR medida em que não houve recepção no modo 4QAM foi de 0,5 dB, com AQ=89,2%, ou seja, abaixo desse valor de SNR não foi possível decodificar o sinal. Acima de 5,4 dB houve decodificação do sinal digital em todos os pontos medidos. Embora no intervalo entre 0,5 dB e 5,4 dB tenha havido um ponto com recepção digital (2,6 dB), a escassez de pontos no intervalo não permite definir com precisão um limiar de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 4QAM.

4.5.3.2 Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

Os testes em questão foram realizados em rotas de pequena extensão (tipicamente até 2 km). Sendo assim, foi possível plotar todas as amostras coletadas diretamente no gráfico. Porém, ao visualizar o comportamento da recepção no mapa, deve-se estar ciente de que o número de amostras coletadas num pequeno trecho é enorme e pode haver sobreposição de várias delas.

Nas rotas radiais e circulares, cada ponto representa o valor de AQ a cada 50 metros de distância, sendo que os pontos em verde representam valores de AQ iguais ou superiores a 98% e, em vermelho, AQ menores que 90%. Nas medições móveis com 4QAM, não houve pontos que representassem valores de AQ menores que 98% e iguais ou superiores a 90%.

Os resultados da recepção móvel para o modo de transmissão 4QAM, nas rotas radiais, são mostrados na Figura 31.

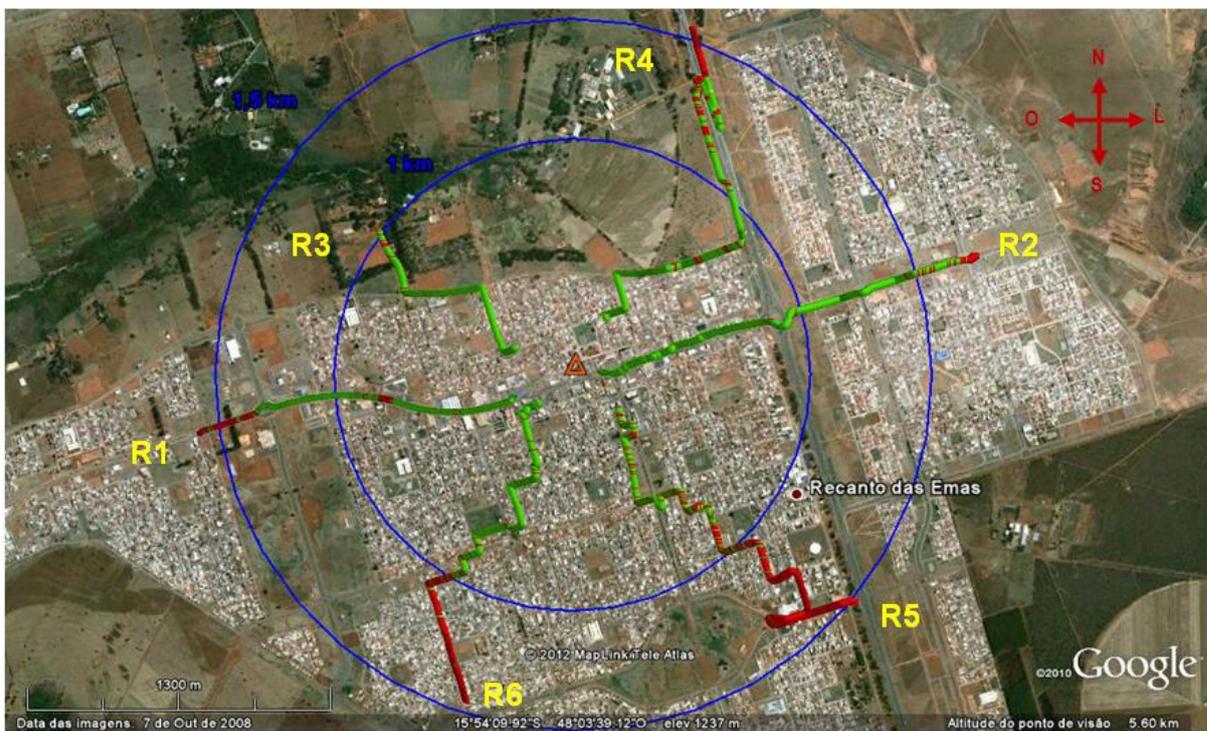


Figura 31 – Resultados da recepção móvel no modo 4QAM.

A partir da Figura 31, pode-se considerar, de modo geral, que a cobertura é aceitável em um raio de 1 km, com exceção da rota R5, na direção sul (DF 001 EPCT), que apresentou muitas interrupções na recepção do áudio digital.

As rotas R1 e R2 tiveram área de cobertura de aproximadamente 1,5 km. A rota R1 tem uma falha de recepção a 750 metros em relação ao transmissor devida à presença de uma linha de transmissão de alta tensão nesse local. A rota R4 apresentou recepção intermitente no trecho entre 1,0 km e 1,5 km. Esse comportamento se deve à presença de um conjunto de linhas de transmissão de alta tensão de 125 kV e 500 kV, bem como de uma grande quantidade de placas metálicas de propaganda (outdoor), ao longo de todo trecho.

Na rota R5, por meio dos arquivos de registro de ocorrências, pôde-se verificar a presença de muitas cercas elétricas, que geravam interferências no sinal, o que pode ter influenciado na decodificação do áudio digital.

Os resultados da recepção móvel no modo 4QAM para as rotas circulares são mostrados no mapa da Figura 32.



Figura 32 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares no modo 4QAM.

Os resultados das rotas circulares mostram que a recepção do áudio digital é homogênea até um raio de 0,5 km de distância da emissora. No contorno a 1 km em relação ao transmissor praticamente não houve decodificação do áudio digital. Como não houve rotas circulares entre 0,5 km e 1 km, não foi possível definir um valor preciso de raio de cobertura do sinal com as medições móveis circulares com 4QAM.

4.5.4 Resultados do Modo de Transmissão 16QAM

4.5.4.1 Avaliação da área de cobertura do sinal digital com recepção estática

Os resultados da recepção estática do modo de transmissão 16QAM são apresentados na Tabela 14, Figura 33 e Figura 34. Nessas figuras, pontos com coloração verde representam valores de AQ iguais ou superiores a 98%, pontos em amarelo, valores de AQ

menores que 98% e iguais ou superiores a 90%, e, em vermelho, valores de AQ menores que 90%.

Tabela 14 - Resultados da recepção estática no modo 16QAM.

| Parâmetro AQ | Toda a região de testes |
|-----------------------|-------------------------|
| | Pontos |
| $AQ \geq 98\%$ | 28 (87,5%) |
| $90\% \leq AQ < 98\%$ | 1 (3,1%) |
| $AQ < 90\%$ | 3 (9,4%) |
| Total de medições | 32 (100%) |

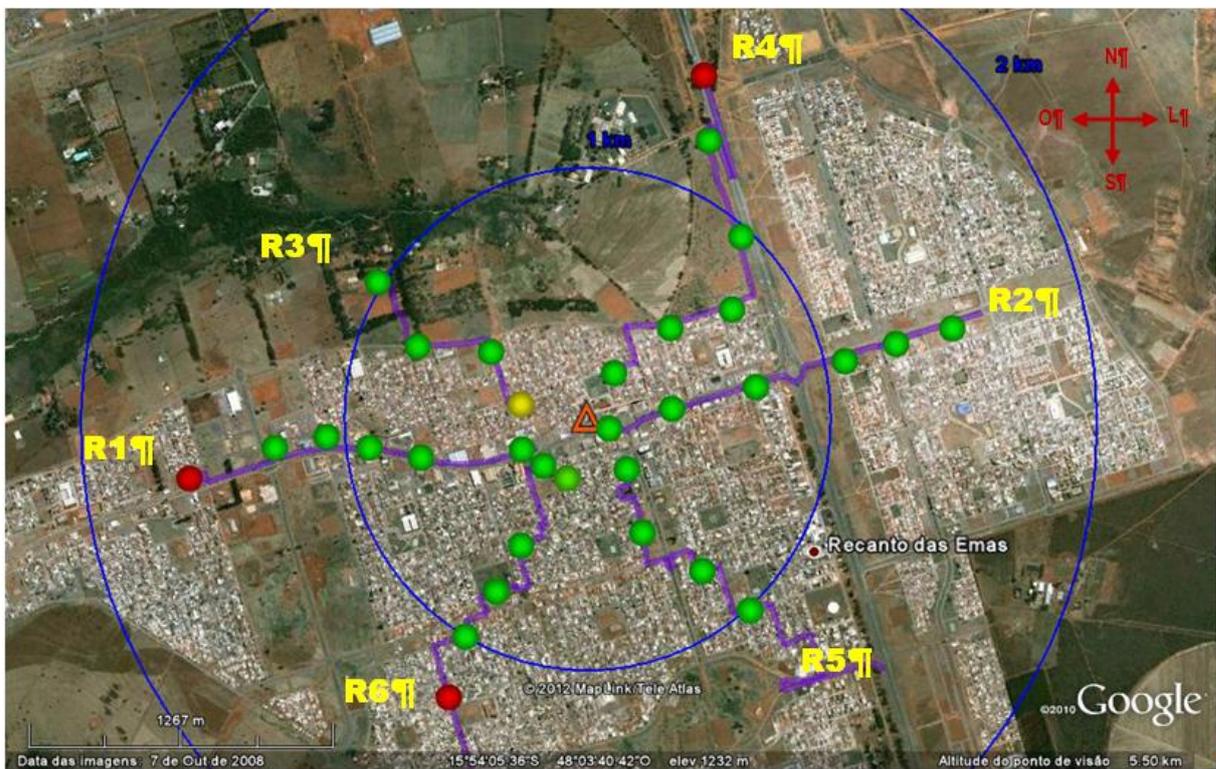


Figura 33 – Resultado da recepção estática no modo 16QAM.

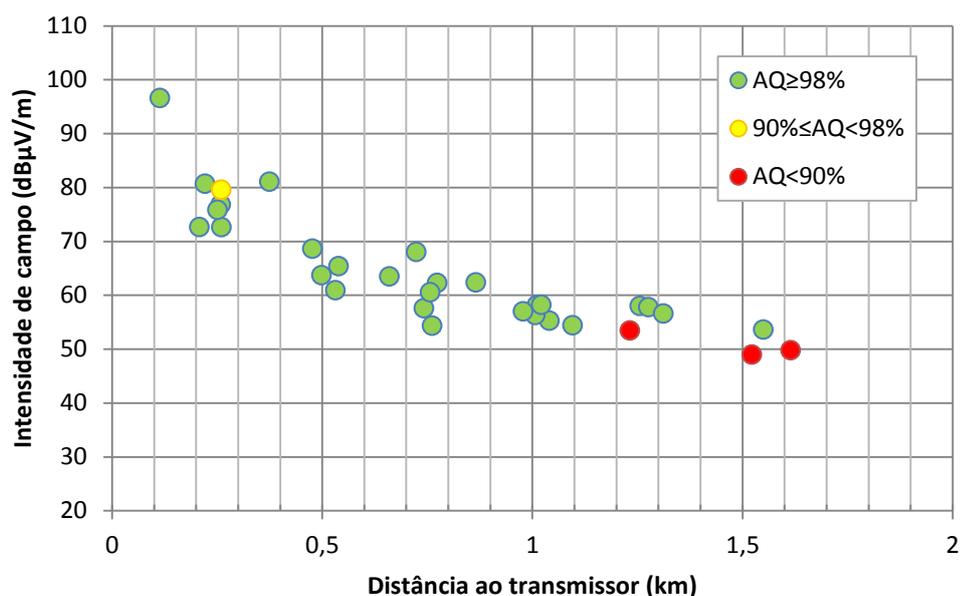


Figura 34 – Intensidade de campo elétrico digital em função da distância, modo 16QAM.

A cobertura do sinal no modo 16QAM é de cerca de 1,3 km de distância do transmissor. Até esta distância houve apenas um ponto sem recepção digital, R6P5, a 1,23 km do transmissor. No entanto, no ponto R2P6, localizado a 1,55 km da emissora ocorreu boa recepção digital. Verificou-se ainda uma recepção digital dentro da faixa $90\% \leq AQ < 98$ no ponto R3P1 em 0,259 km do transmissor, no qual a taxa de quadros de áudio decodificados corretamente foi de 95,6%, isto é, a recepção estava muito próxima do AQ igual a 98%.

A metodologia para definir os limiares de recepção estática da SNR e intensidade de campo no caso 16 QAM é a mesma utilizada para 4QAM, ou seja, por meio do gráfico de intensidade de campo elétrico em função do SNR. Figura 35 apresenta os resultados do modo 16QAM.

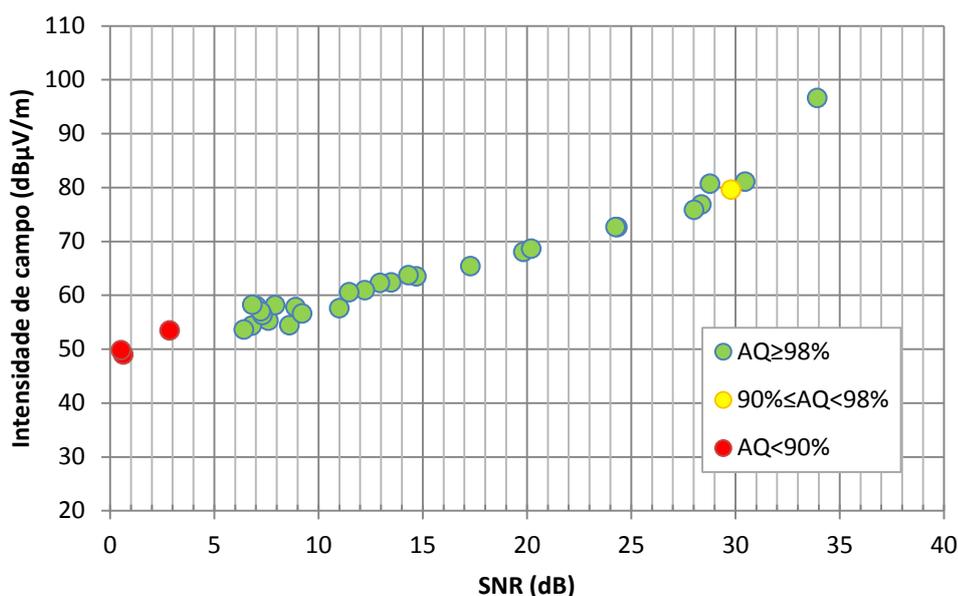


Figura 35 – Limiares da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 16QAM.

Por meio da Figura 34 é possível observar que a recepção estática com o modo 16QAM apresentou o limiar de intensidade de campo elétrico entre 53 e 56 dBµV/m. Cabe salientar que esse limiar apenas é válido quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado. No teste em questão, o maior valor de SNR medida em que não houve recepção com o modo 16QAM foi de 2,85 dB, ou seja, abaixo desse valor não foi possível decodificar o sinal. Acima de 6,4 dB houve decodificação do sinal digital em todos os pontos medidos. No intervalo entre 2,85 dB e 6,4 dB não houve registro de medição de SNR. Devido a esse fator, não foi possível definir um limiar preciso de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 16QAM.

4.5.4.2 Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

As rotas percorridas nas medições móveis com 16QAM foram as mesmas que com o modo 4QAM. Mesmo havendo alteração do ambiente em virtude de tráfegos de veículos e pessoas, o ambiente em teste no modo 16QAM pode ser considerado o mesmo.

Os resultados das medições móveis para as rotas radiais, com o modo 16QAM, são ilustrados na Figura 36. Observa-se que os resultados com o modo 16 QAM a uma distância de 0,5 km em relação ao transmissor são os mesmos que os obtidos para 4QAM. Entre 0,5 km e 1 km o modo 16QAM teve resultado pior em relação ao modo 4QAM no que tange à

homogeneidade da decodificação do áudio. Para distâncias superiores a 1 km da emissora, os resultados no modo 16QAM são bem inferiores.

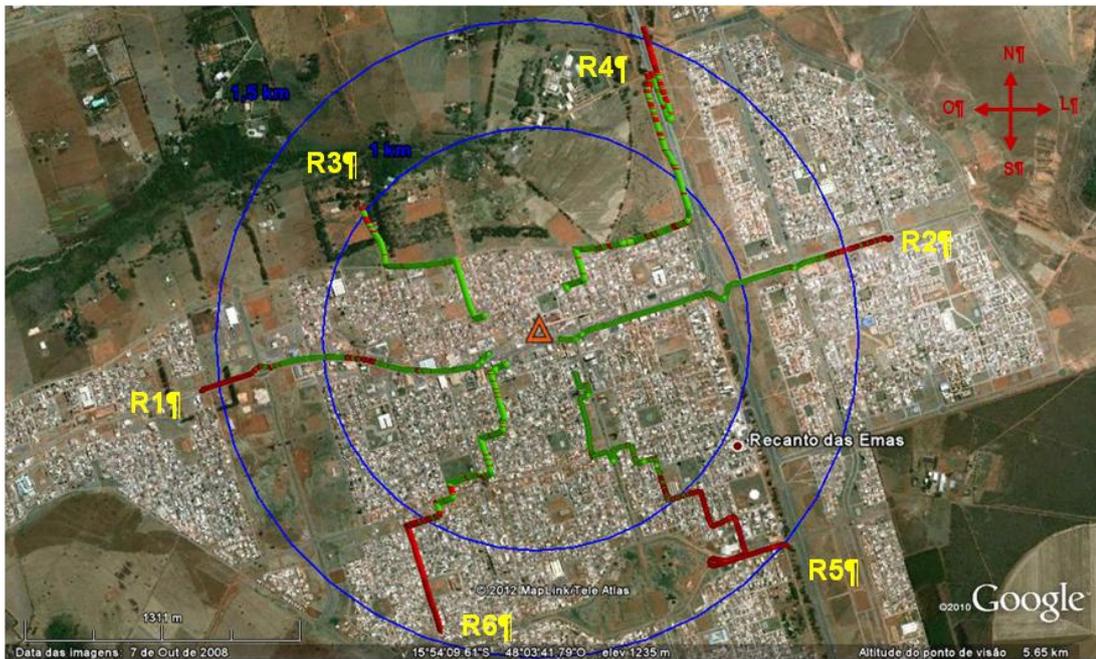


Figura 36 – Resultados da recepção móvel no modo 16QAM.

Os resultados da recepção móvel no modo 16QAM para as rotas circulares são mostrados no mapa da Figura 37.



Figura 37 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares no modo 16QAM.

Os resultados das rotas circulares mostram que a recepção do áudio digital foi homogênea até um raio de 0,25 km de distância da emissora. No contorno de 0,5 km em relação ao transmissor, embora tenha ocorrido falha de recepção em um pequeno trecho da circular, pode-se considerar que houve uma boa cobertura nessa região. No contorno a 1 km em relação ao transmissor praticamente não houve decodificação do áudio digital. Como não houve rotas circulares entre 0,5 km e 1 km, não foi possível definir um valor preciso de raio de cobertura do sinal com as medições móveis circulares com 16QAM.

4.5.5 Resultados da Recepção Analógica FM

4.5.5.1 Avaliação da área de cobertura em recepção estática

A cobertura do sinal analógico FM da Rádio Comunitária AREMAS foi estimada para permitir a comparação com a cobertura do sinal digital. Essa estimativa é feita com base na qualidade do áudio analógico, o qual é avaliado subjetivamente seguindo as orientações da Recomendação ITU-R BS 1284. Foram utilizadas as gravações de áudio analógico feitas em pontos fixos de medições, de um receptor comercial, UniWave. Esses áudios foram avaliados por um grupo de pessoas, que atribuíram notas variando de 1 a 5, conforme a classificação da Recomendação UIT-R BS 1284 (Tabela 15). A partir das notas atribuídas para cada áudio, obteve-se a média aritmética da qualidade do áudio em cada ponto fixo. Como foram realizadas medições analógicas durante as medições em 4QAM e em 16QAM, para determinar um valor único para a qualidade do áudio analógico em cada ponto, foi realizada a média aritmética dos valores obtidos nos testes das duas modulações. Em seguida, os valores de qualidade calculados foram utilizados na análise da área de cobertura analógica. No Apêndice 03 é apresentado a média das notas atribuídas ao áudio referente ao receptor comercial. É importante ressaltar que não foram realizadas medições móveis do áudio analógico FM.

Tabela 15 - Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284.

| Quality | Impairment |
|-------------|---------------------------------|
| 5 Excelente | 5 Imperceptível |
| 4 Bom | 4 Perceptível mas não irritante |
| 3 Fair | 3 Ligeiramente irritante |
| 2 Pobre | 2 Irritante |

| | |
|-----------|---------------|
| 1 Péssima | 1 Muito chato |
|-----------|---------------|

Para consolidação dos resultados obtidos neste trabalho, foram definidos três limiares de recepção: “Recepção Boa” contém as notas entre 5 e 3 inclusive, “Recepção Pobre” com notas entre 3 e 2, e “Recepção Ruim” com notas iguais ou menores que 2. A Tabela 16 apresenta a definição da classificação das notas empregadas neste trabalho.

Tabela 16 - Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho.

| Notas | Classificação | Definição |
|-----------------------------|----------------|---|
| $3 \leq \text{Nota} \leq 5$ | Recepção Boa | Áudio com presença de ruído, desde imperceptível a leve |
| $2 < \text{Nota} < 3$ | Recepção Pobre | Presença de ruído ao ponto da informação do áudio tornar-se ininteligível |
| $\text{Nota} \leq 2$ | Recepção Ruim | Somente ruído |

A classificação da qualidade do áudio analógico FM obtido em cada ponto fixo a partir de medições da Rádio Comunitária AREMAS é apresentada na Figura 38, com a intensidade de campo analógico em função da distância ao transmissor, e na Figura 39. Os pontos em verde representam “Recepção Boa”, em amarelo, “Recepção Pobre” e em vermelho, “Recepção Ruim”.

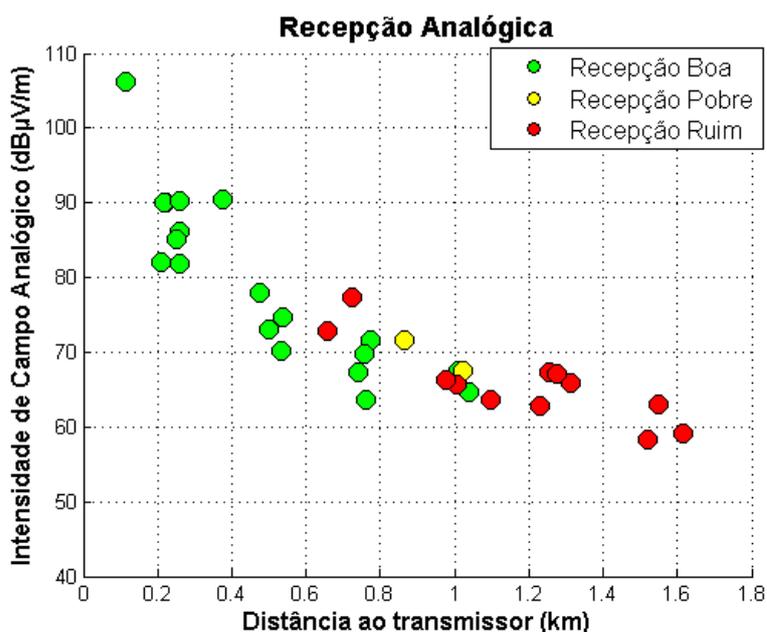


Figura 38 – Avaliação subjetiva do áudio analógico FM.

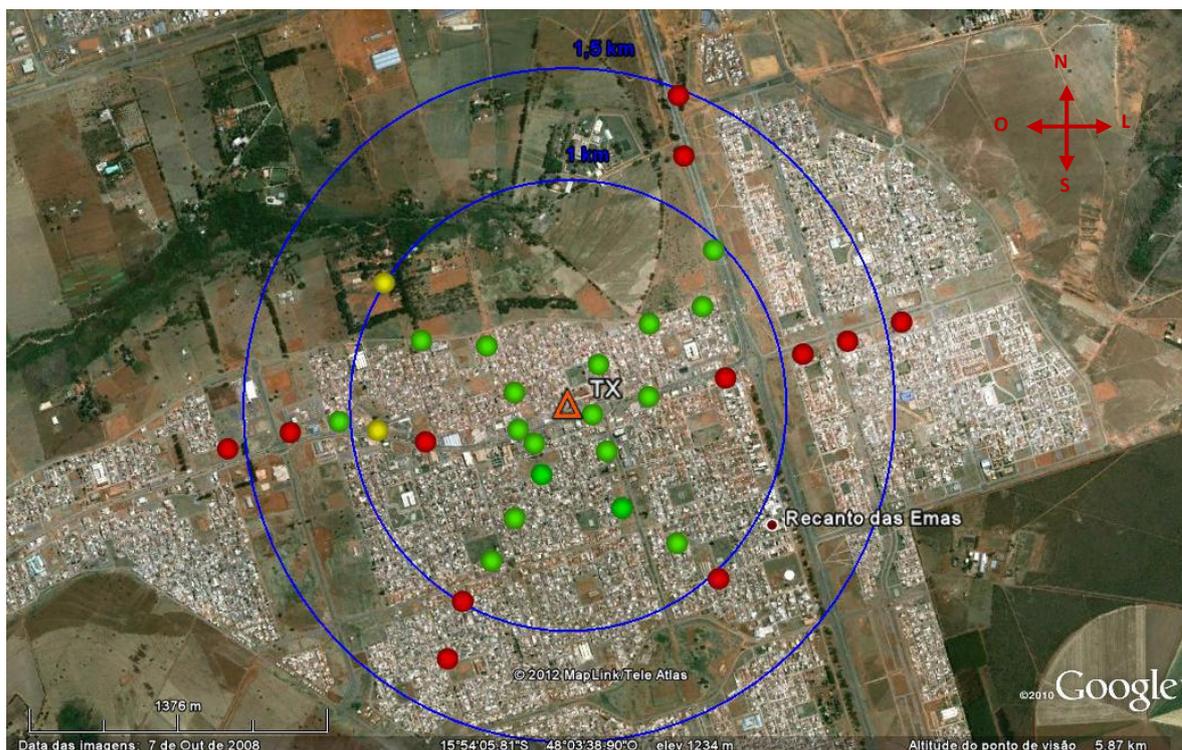


Figura 39 – Recepção estática do áudio analógico no mapa; raios de 1 km e 1,5 km.

Na Figura 38 e na Figura 39, é possível verificar que, até a distância de 1 km em relação ao transmissor, a recepção analógica foi avaliada na maioria dos pontos como “Recepção Boa”, também havendo 2 pontos com “Recepção Pobre” (R1P3, a 0,86 km do transmissor; e R3P4, a 1 km do transmissor) e outros 3 pontos (R1P2/R2P3/R6P4) com “Recepção Ruim”. Na rota R4 houve cobertura analógica até o R4P4, a 1,01 km da emissora. Para distâncias superiores a 1 km, a maioria dos pontos foi classificada como “Recepção Ruim”. Assim a distância da cobertura analógica pode ser estimada como atingindo a distância de 1 km da emissora.

Observa-se no gráfico que o limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico esteve entre 66 e 70 dB μ V/m. Esta faixa está próximo do valor de 66 dB μ V/m definido no regulamento técnico brasileiro para áreas urbanas [11] e [30].

O áudio analógico foi registrado em 32 locais e a classificação da recepção encontra-se na Tabela 17. Dentro de um raio de 1 km em relação ao transmissor, houve 16 pontos (80%) classificados com “Recepção Boa” analógica, 1 ponto classificado como “Recepção Pobre” e 3 pontos com “Recepção Ruim”.

Tabela 17 - Resultados do áudio analógico em recepção estática.

| Recepção Analógica | Raio de 1 km | Toda a região de testes |
|--------------------|--------------|-------------------------|
| | Pontos | Pontos |
| Boa | 16 (80%) | 18 (56,3%) |
| Pobre | 1 (5%) | 2 (6,2%) |
| Ruim | 3 (15%) | 12 (37,5%) |
| Total de medições | 20 (100%) | 32 (100%) |

Considerando toda a região de testes, dentre os 12 (doze) pontos que receberam nota da recepção analógica como “Recepção Ruim”, em todos foi verificada a interferência de outras estações FM na gravação dos áudios analógicos, conforme registro de ocorrências. Os 12 (doze) pontos de medição são indicados na Figura 40.

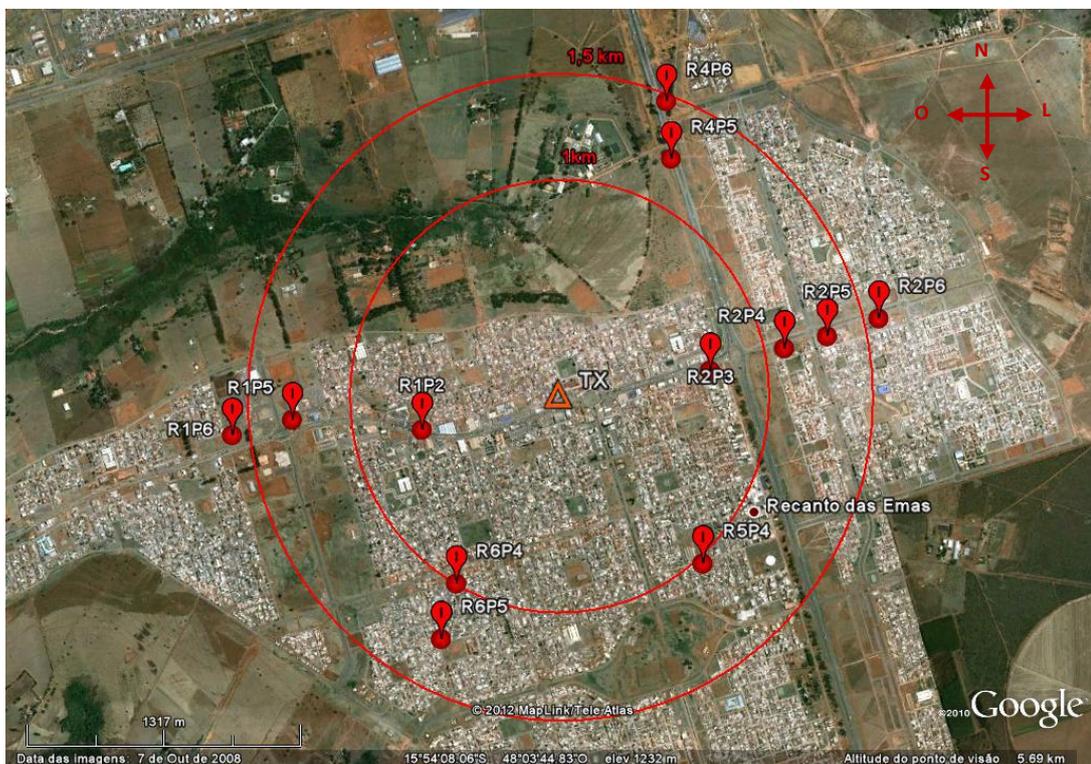


Figura 40 – Pontos de medição com registro de interferência de outras estações FM.

4.5.5.2 Comparação entre os resultados da recepção dos áudios analógico e digital

Os resultados referentes à qualidade do áudio analógico (sistema FM) e à recepção digital profissional (sistema DRM+) para as modulações 4QAM e 16QAM podem ser comparados, com base no parâmetro AQ do sinal digital e no tipo de recepção do sinal

analógico, para fins de verificação de atendimento nos pontos fixos e extensão de cobertura. A Tabela 18 apresenta os resultados em cada ponto fixo para a modulação de 4QAM.

Tabela 18 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática, modo 4QAM.

| Pontos | Modulação | Distância ao transmissor (km) | Qualidade do áudio digital AQ (%) | Qualidade de áudio FM |
|---------------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Ponto de referência | 4QAM | 0,22 | 99,03 | 4,5 |
| R1P1 | 4QAM | 0,26 | 100 | 4,3 |
| R1P2 | 4QAM | 0,66 | 100 | 2,0 |
| R1P3 | 4QAM | 0,87 | 100 | 2,5 |
| R1P4 | 4QAM | 1,04 | 100 | 3,6 |
| R1P5 | 4QAM | 1,26 | 100 | 0,0 |
| R1P6 | 4QAM | 1,61 | 89,25 | 0,0 |
| R2P1 | 4QAM | 0,11 | 99,46 | 4,2 |
| R2P2 | 4QAM | 0,37 | 100 | 3,6 |
| R2P3 | 4QAM | 0,72 | 100 | 1,4 |
| R2P4 | 4QAM | 1,10 | 100 | 1,3 |
| R2P5 | 4QAM | 1,31 | 98,14 | 0,0 |
| R2P6 | 4QAM | 1,55 | 100 | 0,0 |
| R3P1 | 4QAM | 0,26 | 99,09 | 3,4 |
| R3P2 | 4QAM | 0,48 | 100 | 4,2 |
| R3P3 | 4QAM | 0,74 | 98,96 | 4,0 |
| R3P4 | 4QAM | 1,02 | 100 | 2,5 |
| R4P1 | 4QAM | 0,26 | 100 | 4,1 |
| R4P2 | 4QAM | 0,54 | 100 | 4,1 |
| R4P3 | 4QAM | 0,77 | 100 | 4,2 |
| R4P4 | 4QAM | 1,01 | 100 | 3,6 |
| R4P5 | 4QAM | 1,28 | 100 | 2,0 |
| R4P6 | 4QAM | 1,52 | 44,32 | 0,0 |
| R5P1 | 4QAM | 0,25 | 100 | 4,3 |
| R5P2 | 4QAM | 0,50 | 100 | 4,1 |
| R5P3 | 4QAM | 0,76 | 100 | 4,5 |
| R5P4 | 4QAM | 1,01 | 100 | 0,0 |
| R6P1 | 4QAM | 0,21 | 100 | 4,3 |
| R6P2 | 4QAM | 0,53 | 100 | 4,3 |
| R6P3 | 4QAM | 0,76 | 100 | 4,2 |
| R6P4 | 4QAM | 0,98 | 100 | 2,0 |
| R6P5 | 4QAM | 1,23 | 99,75 | 0,0 |

Os resultados das medições em 4QAM mostram que dentro do total de pontos fixos medidos (32 pontos fixos) foram contabilizados 30 pontos com recepção digital e 18 pontos com áudio analógico com qualidade boa. Ao se considerar a região interna do círculo de raio 1 km (20 pontos fixos), verifica-se que a recepção digital foi superior a analógica com qualidade “Boa”, pois nesta região todos os 20 pontos tiveram recepção digital e houve 16 pontos com áudio analógico com qualidade de “Recepção Boa”.

O parâmetro AQ do sinal digital e o tipo de recepção do sinal analógico podem ser comparados para fins de verificação de atendimento nos pontos fixos e extensão de cobertura.

A Tabela 19 apresenta os resultados em cada ponto fixo e a **Erro! Fonte de referência não encontrada**. mostra o resumo dos resultados, na qual, para fins de comparação com o digital, as classificações do áudio analógico FM como Recepção Pobre ou Recepção Ruim são agrupadas.

Tabela 19 - Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática 4QAM.

| | | Recepção do Áudio Analógico | | Totais |
|---------------------------|----------------|-----------------------------|--------------|------------|
| | | Boa | Pobre e Ruim | |
| Recepção do Áudio Digital | AQ ≥ 98% | 18 (56,3%) | 12 (37,5%) | 30 (93,8%) |
| | 90% ≤ AQ < 98% | 0 (0%) | 0 (0%) | 0 (0%) |
| | AQ < 90% | 0 (0%) | 2 (6,2%) | 2 (6,2%) |
| | Totais | 18 (56,3%) | 14 (43,7%) | 32 (100%) |

Os valores da Tabela 18 são apresentados na Figura 41. Conforme a classificação definida na Tabela 16, o limiar para “Recepção Boa” do áudio analógico corresponde à nota 3. Nessa avaliação, quando o AQ foi igual ou maior que 98%, atribuiu-se a nota máxima para a qualidade do áudio digital, devido às características intrínsecas do sistema digital com a configuração utilizada. Apenas para fins de visualização dos pontos onde AQ foi menor que 98% e maior ou igual a 90%, esses estão indicados como uma nota “média” igual a 2,5 no áudio digital. Para $AQ < 90\%$ foi atribuída nota igual a 0.

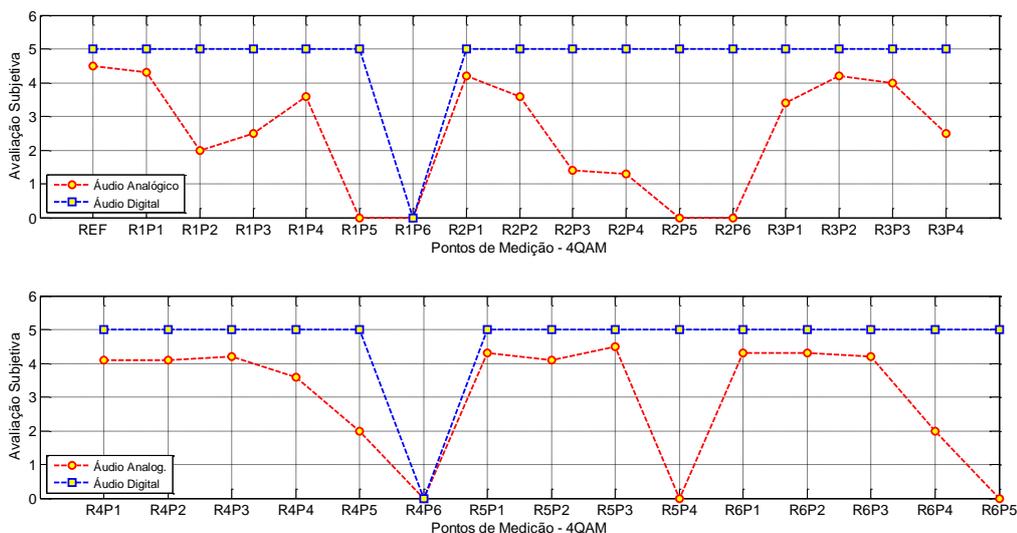


Figura 41 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital modo 4QAM.

A Tabela 19 mostra a consolidação dos resultados da Tabela 18, indicando a quantidade de pontos em cada situação de recepção em relação à recepção digital 4QAM e à qualidade de recepção do áudio analógico correspondente:

- Pontos onde houve áudio digital ($AQ \geq 98\%$ e $90\% \leq AQ < 98\%$) e o analógico estava bom;
- Pontos onde houve áudio digital ($AQ \geq 98\%$ e $90\% \leq AQ < 98\%$), porém o áudio analógico estava pobre e ruim;
- Pontos onde não houve áudio digital ($AQ < 90\%$), porém o áudio analógico estava bom;
- Pontos onde não houve áudio digital ($AQ < 90\%$), e o áudio analógico estava pobre e ruim.

Da Tabela 19 verifica-se que em 18 locais (56,3%) houve recepção digital com $AQ \geq 98\%$ e recepção analógica com qualidade de “Recepção Boa” simultaneamente. Em outros 12 locais (38%) houve recepção digital com $AQ \geq 98\%$ enquanto que a analógica estava classificada como “Recepção Pobre” ou “Recepção Ruim”. Nos 2 pontos onde não houve recepção do áudio digital, o áudio analógico foi classificado como “Recepção Pobre e Ruim”.

A Tabela 20 apresenta os resultados em cada ponto fixo para a modulação de 16QAM.

Tabela 20 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática 16QAM.

| Pontos | Modulação | Distância ao transmissor (km) | Qualidade do áudio digital AQ (%) | Qualidade de áudio FM |
|---------------------|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Ponto de referência | 16QAM | 0,22 | 99,01 | 4,5 |
| R1P1 | 16QAM | 0,26 | 100 | 4,3 |
| R1P2 | 16QAM | 0,66 | 100 | 2,0 |
| R1P3 | 16QAM | 0,87 | 100 | 2,5 |
| R1P4 | 16QAM | 1,04 | 100 | 3,6 |
| R1P5 | 16QAM | 1,26 | 100 | 0,0 |
| R1P6 | 16QAM | 1,61 | 0,88 | 0,0 |
| R2P1 | 16QAM | 0,11 | 100 | 4,2 |
| R2P2 | 16QAM | 0,37 | 100 | 3,6 |
| R2P3 | 16QAM | 0,72 | 100 | 1,4 |
| R2P4 | 16QAM | 1,10 | 100 | 1,3 |
| R2P5 | 16QAM | 1,31 | 98,84 | 0,0 |
| R2P6 | 16QAM | 1,55 | 99,98 | 0,0 |
| R3P1 | 16QAM | 0,26 | 95,60 | 3,4 |
| R3P2 | 16QAM | 0,48 | 100 | 4,2 |
| R3P3 | 16QAM | 0,74 | 100 | 4,0 |
| R3P4 | 16QAM | 1,02 | 99,96 | 2,5 |
| R4P1 | 16QAM | 0,26 | 100 | 4,1 |
| R4P2 | 16QAM | 0,54 | 100 | 4,1 |

| | | | | |
|------|-------|------|-------|-----|
| R4P3 | 16QAM | 0,77 | 100 | 4,2 |
| R4P4 | 16QAM | 1,01 | 100 | 3,6 |
| R4P5 | 16QAM | 1,28 | 100 | 2,0 |
| R4P6 | 16QAM | 1,52 | 1,41 | 0,0 |
| R5P1 | 16QAM | 0,25 | 100 | 4,3 |
| R5P2 | 16QAM | 0,50 | 100 | 4,1 |
| R5P3 | 16QAM | 0,76 | 100 | 4,5 |
| R5P4 | 16QAM | 1,01 | 100 | 0,0 |
| R6P1 | 16QAM | 0,21 | 100 | 4,3 |
| R6P2 | 16QAM | 0,53 | 100 | 4,3 |
| R6P3 | 16QAM | 0,76 | 100 | 4,2 |
| R6P4 | 16QAM | 0,98 | 100 | 2,0 |
| R6P5 | 16QAM | 1,23 | 79,04 | 0,0 |

Os resultados das medições em 16QAM mostram que dentro do total de pontos fixos medidos (32 pontos fixos) foram contabilizados 29 pontos com recepção digital e 18 pontos com áudio analógico com qualidade boa. Ao se considerar a região interna do círculo de raio 1 km (20 pontos fixos), verifica-se que a recepção digital foi superior a analógica com qualidade “Boa”, pois nesta região todos os 20 pontos tiveram recepção digital enquanto que houve 16 pontos com áudio analógico com qualidade de “Recepção Boa”.

Conforme o procedimento utilizado para as medições de 4QAM, os valores da Tabela 20 são apresentados na Figura 42 e depois consolidados na Tabela 21, indicando a quantidade de pontos em cada situação de recepção em relação à recepção digital 16QAM e à qualidade de recepção do áudio analógico correspondente:

- Pontos onde houve áudio digital ($AQ \geq 98\%$ e $90\% \leq AQ < 98\%$) e o analógico estava bom;
- Pontos onde houve áudio digital ($AQ \geq 98\%$ e $90\% \leq AQ < 98\%$), porém o áudio analógico estava pobre e ruim;
- Pontos onde não houve áudio digital ($AQ < 90\%$), porém o áudio analógico estava bom;
- Pontos onde não houve áudio digital ($AQ < 90\%$), e o áudio analógico estava pobre e ruim.

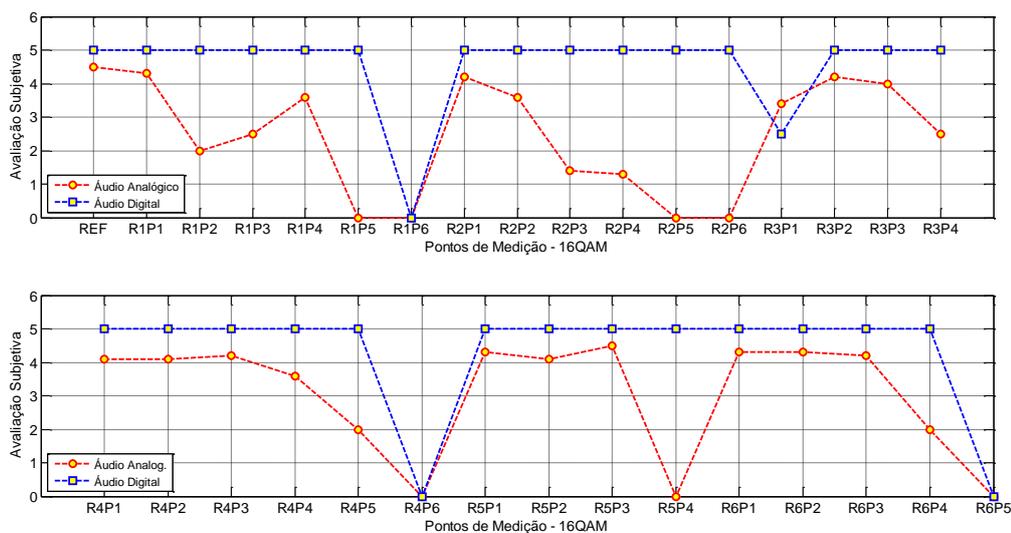


Figura 42 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital 16QAM.

Tabela 21 - Resumo dos resultados comparativos entre áudios analógico e digital na recepção estática 16QAM.

| | | Recepção do Áudio Analógico | | |
|---------------------------|----------------|-----------------------------|--------------|------------|
| | | Boa | Pobre e Ruim | Totais |
| Recepção do Áudio Digital | AQ ≥ 98% | 17 (53,1%) | 11 (34,4%) | 28 (87,5%) |
| | 90% ≤ AQ < 98% | 1 (3,1%) | 0 (0%) | 1 (3,1%) |
| | AQ < 98% | 0 (0%) | 3 (9,4%) | 3 (9,4%) |
| | Totais | 18 (56,2%) | 14 (43,8%) | 32 (100%) |

Da Tabela 21 verifica-se que em 17 locais (53,1%) houve recepção digital com $AQ \geq 98\%$ e recepção analógica com qualidade de “Recepção Boa” simultaneamente, e em apenas 1 (3,1%) ponto com recepção digital com $90\% \leq AQ < 98\%$ ao mesmo tempo que áudio analógico estava com qualidade “Boa”. Em outros 11 locais (34,4%) houve recepção digital enquanto que a analógica estava classificada como “Recepção Pobre” ou “Recepção Ruim”. Não houve local com recepção analógica com qualidade de “Recepção Boa” sem recepção digital.

4.5.6 Impacto do sinal digital DRM+ sobre o áudio analógico

A avaliação do impacto da presença do sinal digital DRM+ sobre o áudio analógico é realizada por meio da avaliação subjetiva de áudios analógicos do receptor comercial, que foram gravados durante medições com o transmissor digital ligado e desligado. Para este fim foram feitas medições em cada situação do transmissor, no ponto de referência.

Os áudios gravados do receptor analógico comercial (modelo UniWave) foram analisados subjetivamente conforme orientações da Recomendação UIT-R BS 1284 [29]. Foi verificado que a presença do sinal digital DRM+ não causou impacto na qualidade do áudio analógico FM. A Figura 43 ilustra os registros obtidos do analisador de espectro no ponto de medição, nas situações de sinal digital desligado e ligado.

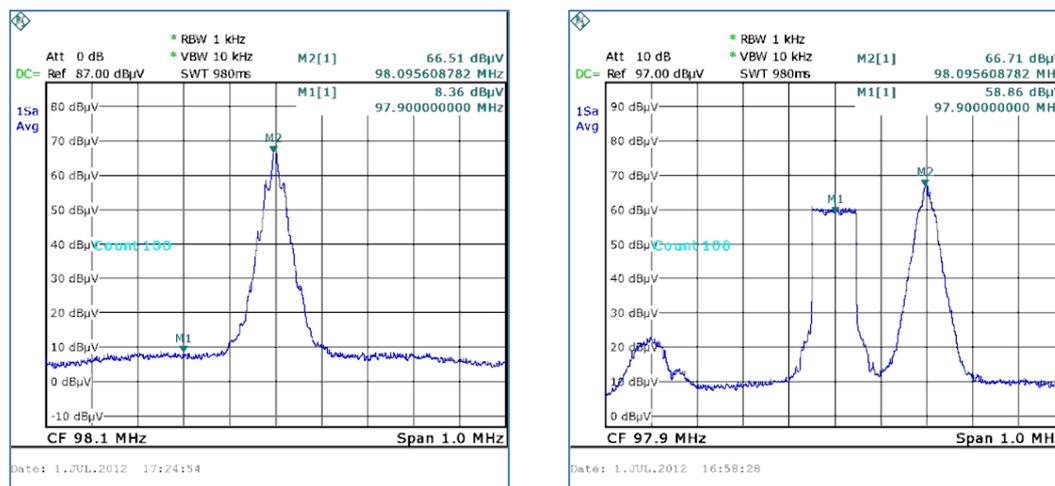


Figura 43– Registro do espectro com sinal digital desligado (esq) e ligado (dir).

4.6 CONCLUSÃO

Neste capítulo foi descrita a campanha de medidas realizada com o padrão DRM+. Os resultados foram obtidos utilizando-se os modos de transmissão 4QAM e 16QAM, em rotas de testes minuciosamente descritas. Os resultados dos testes foram avaliados levando em consideração as seguintes análises: comparação de medições de intensidade de campo elétrico do sinal analógico com valores teóricos, obtenção da cobertura de recepções estática e móvel, bem como dos limiares de recepção. No próximo capítulo será descrita a campanha de medidas com o sistema digital HD RADIO.

5 CAMPANHA DE MEDIDAS COM O SISTEMA HD RADIO

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve os procedimentos realizados para testar a tecnologia do sistema HD Radio, utilizando a emissora Rádio Líder localizada do Recanto das Emas. Os testes realizados com o padrão HD Radio foram os mesmos realizados com o padrão DRM+. O planejamento, a metodologia empregada e os resultados das medidas são detalhados no decorrer do capítulo. O objetivo é avaliar o desempenho do padrão diante da realidade brasileira.

5.2 SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O sistema de transmissão da Rádio Comunitária AREMAS está localizado na cidade satélite Recanto das Emas, próxima a Brasília/DF, a aproximadamente 30 m de altitude em relação ao nível médio do terreno. A Figura 44 ilustra a localização do centro de transmissão. A circunferência com raio de 2 km delimita a região onde foram realizados os testes, e o raio de 1 km ilustra a área de serviço da emissora.



Figura 44 - Localização do centro de transmissão da Rádio Comunitária.

A configuração do centro de transmissão instalado para esse teste é denominada de Combinação em Baixa Potência, em virtude dos sinais FM analógico e HD Radio já estarem em baixa potência no instante da combinação entre ambos. Essa combinação foi realizada no próprio transmissor HD Radio, que modulou o áudio de entrada e forneceu na sua saída os sinais digital e analógico FM. Nesse caso, o transmissor analógico da emissora não foi utilizado. Como a transmissão de ambos os sinais, analógico e digital, foi realizada pelo equipamento digital, a mesma antena de transmissão foi usada, bem como os mesmos guias de onda. O diagrama esquemático do sistema de transmissão é mostrado na Figura 45.

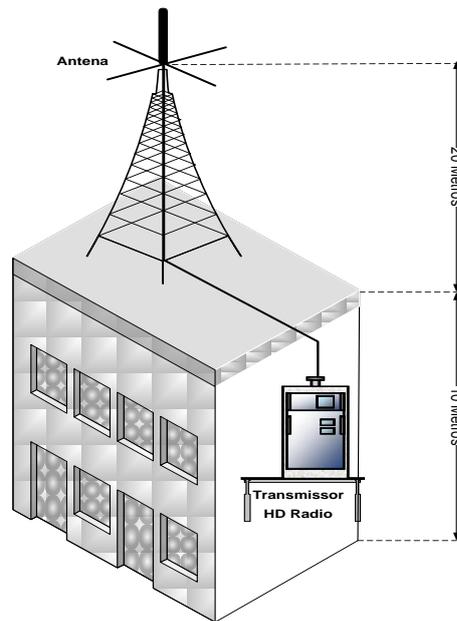


Figura 45 - Diagrama esquemático do centro de transmissão.

A antena de transmissão usada era do tipo omnidirecional, modelo CE-1600/FM, do fabricante CELTA, com ganho de 2 dBi e polarização vertical, instalada no topo de uma torre com 20 metros e localizada no telhado de um sobrado de 10 metros de altura. Portanto, a antena de transmissão encontrava-se a 30 metros em relação ao nível do solo. Levando-se em conta as perdas de cabos e conectores e o ganho da antena, a EIRP de transmissão foi de 29,7 W e 0,297 W para os sinais analógico e digital, referentes às potências na saída dos transmissores de 25 W e 0,25 W, respectivamente. Figura 46 mostra a instalação da antena de transmissão usada nos testes e o seu diagrama de radiação horizontal.

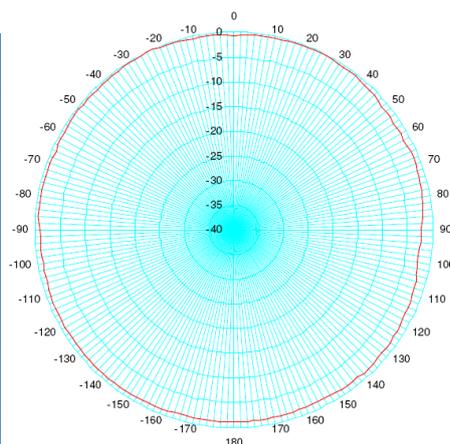


Figura 46 – Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal.

Os principais componentes do sistema de transmissão são descritos na Tabela 22.

Tabela 22 - Características técnicas da Rádio Comunitária AREMAS com HD Radio.

| ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE OPERAÇÃO DA EMISSORA | |
|--|--|
| ANALÓGICO | DIGITAL |
| FREQUÊNCIA: 98,1 MHz CANAL: 251 | FREQUÊNCIA: 98,1 MHz |
| LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA | |
| CIDADE / ESTADO: Brasília/DF COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 15° 54' 10,19'' S 48° 03' 44,69'' W | |
| TRANSMISSOR | |
| FABRICANTE: Harris Broadcasting Communications MODELO: FAX10K (* POTÊNCIA NOMINAL (Análogica e Digital): 3400 W / 300 W POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES: 25 W | FABRICANTE: Harris Broadcasting Communications MODELO: FAX10K (* POTÊNCIA NOMINAL (Análogica e Digital): 3400 W / 300 W POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES: 0,25 W |
| ANTENA | |
| FABRICANTE: CELTA MODELO: CE-1600/FM POLARIZAÇÃO: Vertical DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: | FABRICANTE: CELTA MODELO: CE-1600/FM POLARIZAÇÃO: Vertical DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirecional |

| | |
|---|---|
| omnidirecional GANHO: 2 dBi (-0,15 dBd) ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 30 m POTÊNCIA MÁXIMA: 120 W | GANHO: 2 dBi (-0,15 dBd) ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 30 m POTÊNCIA MÁXIMA: 120 W |
| LINHA DE TRANSMISSÃO | |
| FABRICANTE: Datalink MODELO: DLC 213 Premium COMPRIMENTO: 22,0 m IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO DA LINHA: 4,8 dB/100m AT. DOS ACESSÓRIOS (CONECTORES E FILTROS, ETC): 0,2 dB | FABRICANTE: Datalink MODELO: DLC 213 Premium COMPRIMENTO: 22,0 m IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO DA LINHA: 4,8 dB/100m AT. DOS ACESSÓRIOS (CONECTORES E FILTROS, ETC): 0,2 dB |
| POTÊNCIA IRRADIADA | |
| EIRP: 29,7 W ERP: 18,1 W | EIRP: 0,297 W ERP: 0,181 W |
| RELAÇÃO ENTRE OS SINAIS DIGITAL E ANALÓGICO | |
| RELAÇÃO DE PROTEÇÃO NO AR (FM ERP / HD Radio ERP): 20 dB | |

(*) O equipamento foi adaptado para utilizar potências inferiores a 300 W.

O sinal HD Radio ocupa as bandas laterais superior e inferior em relação ao sinal analógico. A frequência central das sub-bandas possui espaçamento de canal de $\pm 163,89$ kHz da frequência central FM, sendo que cada sub-banda ocupa uma largura de canal adjacente de 69,041 kHz. A relação de proteção entre as potências utilizadas na saída das antenas, EIRP, foi de 20 dB, conforme Tabela 22.

O transmissor utilizado para o teste do sinal digital é fabricado pela Harris Broadcasting Communications. Nesse equipamento os áudios são codificados e os parâmetros de transmissão são programados. A Figura 47 e a Figura 48 ilustram a visão geral do transmissor, bem como detalhes da tela do gerador de sinal HD Radio e dos excitadores e amplificadores.



Figura 47 – Visão do transmissor HD Radio (esquerda), e Detalhe da tela do gerador de sinal digital (direita).



Figura 48 – Detalhe do excitador (esq.) e dos amplificadores (dir.).

5.3 MODOS DE TRANSMISSÃO DO HD Radio

O sistema HD Radio oferece três configurações para transmissão do sinal digital [23] e [25]. Nesse trabalho, os testes foram realizados com o modo híbrido, com a configuração apresentada na Tabela 23.

Tabela 23 - Modo de transmissão do HD Radio utilizado durante os testes

| Ocupação Espectral | Modo de Serviço | Canais Disponíveis | Modulação | Taxa de transmissão | Taxa de Codificação |
|--------------------|-----------------|--------------------|-----------|---------------------|---------------------|
| Híbrido | MP1 | MPS | 64 QAM | 98 kbps | 2/5 |

5.4 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E METODOLOGIA

5.4.1 Equipamentos de Medição

As medições do sistema HD Radio foram realizadas com o laboratório móvel de telecomunicações da Empresa Brasil de Comunicação (EBC), um veículo adaptado para execução de trabalhos em campo, conforme Figura 49.



Figura 49 – Viatura móvel adaptada com detalhes dos equipamentos de medição.

A Figura 49 apresenta a disposição dos equipamentos de medição no interior da viatura. Os dois equipamentos principais de medição são o receptor profissional HD Radio e o analisador de espectro. O equipamento profissional para coleta dos dados nas medições consiste no software *HD Prospector Field Test System*, instalado no laptop, e no receptor profissional de áudio digital HD Radio.

Na Figura 50 o primeiro bloco apresenta todos os equipamentos utilizados nas medições em campo que coletam dados que são avaliados objetivamente, e o segundo bloco apresenta equipamentos preparados para gravação de áudio de receptores analógicos e digitais, que geram dados que são avaliados subjetivamente.

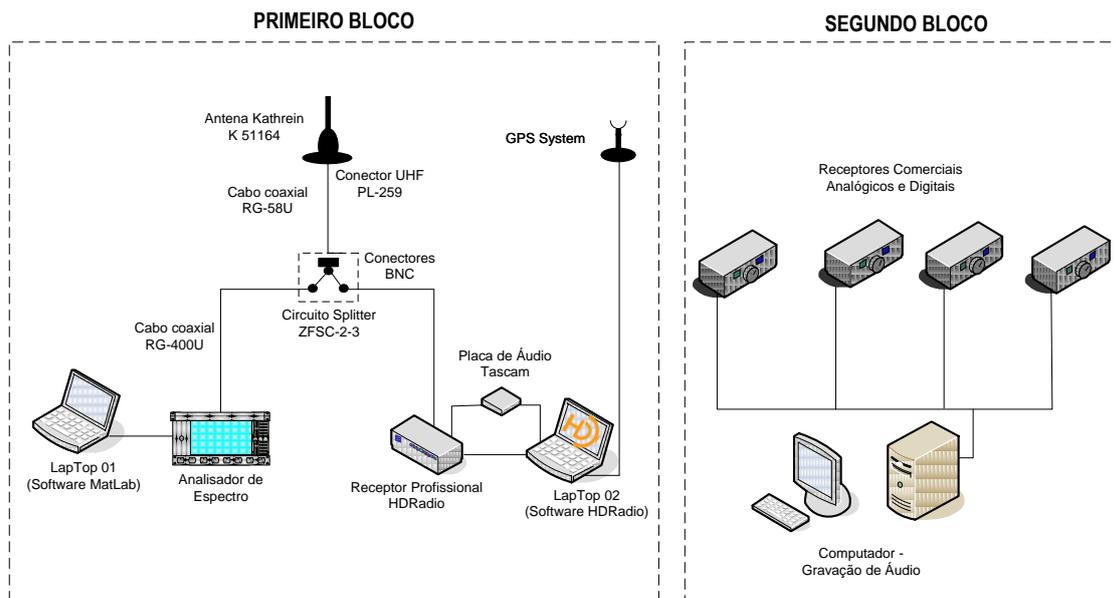


Figura 50 – Diagrama dos equipamentos de medição.

No primeiro bloco, o analisador de espectro e o receptor HD Radio foram conectados à antena Kathrein (Figura 51), por meio de um divisor de potência, permitindo que o sistema realizasse simultaneamente as medições de recepção de sinal (com o receptor HD Radio) e de intensidade do sinal (com o analisador de espectro). Cada um desses equipamentos tem um laptop dedicado. Na Tabela 24 são apresentadas as características técnicas dos equipamentos utilizados.



Figura 51 – Antena de recepção modelo Kathrein.

Tabela 24 - Características técnicas dos dispositivos e equipamentos de medição.

| Dispositivo / Equipamento | Descrição |
|--|---|
| Antena | Kathrein K51164 <i>Magnet-Haftantenne</i> Tipo monopolo, 58-300 MHz, Ganho 0dB, comprimento 1380mm Fator K=7,708 dBm-1(50 Ω) @95,7MHz |
| Divisor | Mini <i>Circuits Model</i> ZFSC-2-4+ Perda 3,31 dB@1 MHz & 100 MHz |
| Cabo da antena para divisor | Tipo RG58U Perda 0.01dB/m@ 1MHz Comprimento 4 m |
| Cabo do divisor para analisador | Tipo RG-400U Perda 0.01dB/m@1MHz Comprimento 1 m |
| Cabo do divisor para receptor HD Radio | Tipo RG-400U Perda 0.012dB/m@1MHz Comprimento 1.3 m |
| Analisador de espectro | ANRITSU MS2724B (9 kHz-20GHz) |
| GPS | <i>Garmin</i> GPS-18X |
| Laptops | Laptop com <i>MatLab</i> para analisador de espectro Laptop para receptor HD Radio |
| Desktop | Computador de mesa com software para gravação de áudio |
| Acessórios | Cabos seriais |

O receptor profissional HD Radio contempla diversos parâmetros oriundos da configuração do modo de operação, seja da transmissão ou da recepção do sinal. A Figura ilustra a tela do software do receptor profissional, onde são apresentados os parâmetros de operação e seus valores instantâneos. Os principais parâmetros são descritos na Tabela 25.

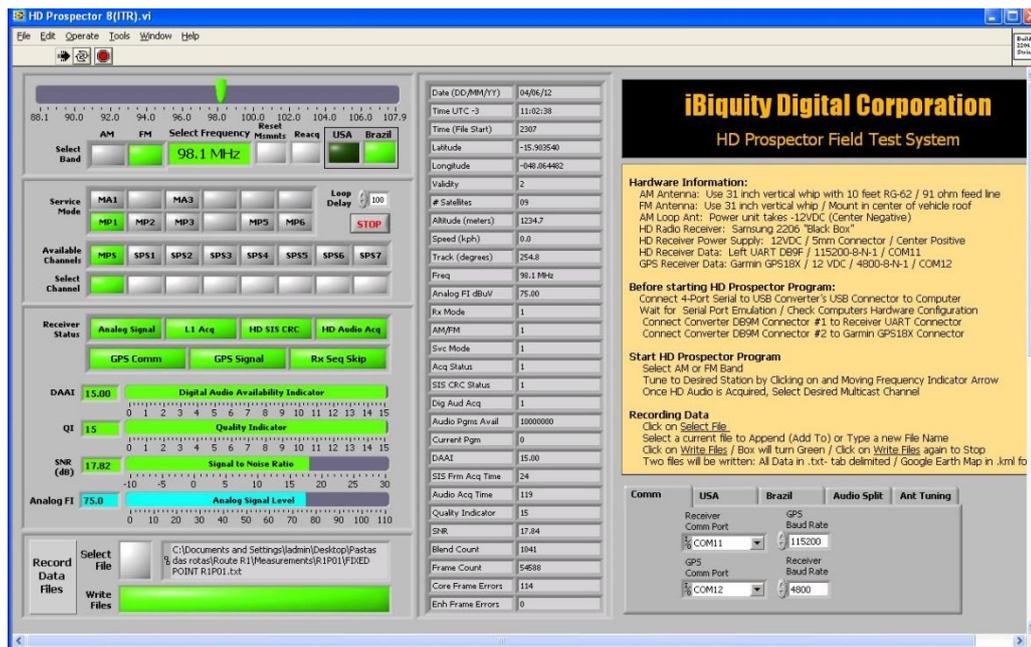


Figura 52 – Tela do programa do receptor HD Radio.

Tabela 25 - Descrição dos parâmetros de medição do software HD Radio.

| Parâmetro | Descrição |
|-----------|---|
| Rx_Mode | Indica status de recepção: 0 = não decodifica áudio digital Para modo de serviço MPS (<i>Main Program Service</i>) indica que receptor fez blend para analógico e no modo SPS (<i>Supplemental Program Service</i>) o receptor fica mudo. 1 = decodifica áudio digital em FM |
| Svc Mode | 1 indica Modo Híbrido MP1. Apenas a partições de portadoras primárias (± 129 a 199 kHz da portadora) são transmitidas. Vazão de dados (<i>Throughput</i>) de 98 kbps. 2 indica Modo Híbrido MP2. Apenas a partições de portadoras primárias mais duas partições estendidas são transmitidas. Vazão de dados (<i>Throughput</i>) de 98 kbps + 12 kbps. 3 indica Modo Híbrido MP3. Apenas a partições de portadoras primárias mais duas partições estendidas são transmitidas. Vazão de dados (<i>Throughput</i>) de 98 kbps + 24 kbps. 5 e 6 indicam Modo Digital Total MP5 e MP6. |
| AM/FM | 0 indica AM, 1 indica FM |

| | |
|------------------|---|
| Acq Status | 0 ou 1 indica que o demodulador está registrando as portadoras de referência, apenas o modo de serviço é apresentado |
| SIS CRC Status | Indica recepção confiável do Station Information Service, que transmite dados de identificação da estação |
| Dig Aud Acq | 0 ou 1 indica recepção de áudio digital. Similar ao Rx_Mode |
| Audio Pgms Avail | Indica os programas de áudio disponíveis e sua localização (<i>Main Program Service</i> MPS e <i>Supplemental Program Service</i> SPS). Por exemplo 1101000 indica MPS, SPS1 e SPS3. |
| Current Program | Indicação do programa de áudio selecionado: 0=MPS, 1=SPS1, 2=SPS2, etc... |
| DAAI | Digital Audio <i>Acquired Indicator</i> é uma indicação relativa da qualidade de áudio digital que representa o nível de sinal através do “gráfico de barras”. Geralmente segue o QI (<i>quality indicator</i>). Varia de 0 a 15. |
| QI | Quality Indicator é uma indicação relativa de qualidade de sinal digital. Valores de 11 a 15 indicam recepção digital em FM |
| SNR | Relação sinal-ruído calculada de cada portadora OFDM, utilizada para fornecer estado do canal para o decodificador de correção de erro |
| Blend count | Número total de blends para o sinal analógico desde o início da gravação de dados. |
| Analog FI | Nível de sinal analógico (dB μ V) |

Um GPS externo conectado a um laptop fornece as informações da localização, embora o software também apresente as coordenadas geográficas.

O analisador de espectro registra o espectro do sinal analógico e do sinal digital, conforme Figura 53. No processamento são obtidas as intensidades de campo elétrico do sinal analógico FM e do sinal digital, este sendo calculado a partir da estimativa do valor total de potência das sub-bandas laterais, considerando o ACPR (*Adjacent Channel Power Ratio*) superior e inferior. O procedimento para obtenção da intensidade de campo elétrico digital encontra-se no Apêndice 05.

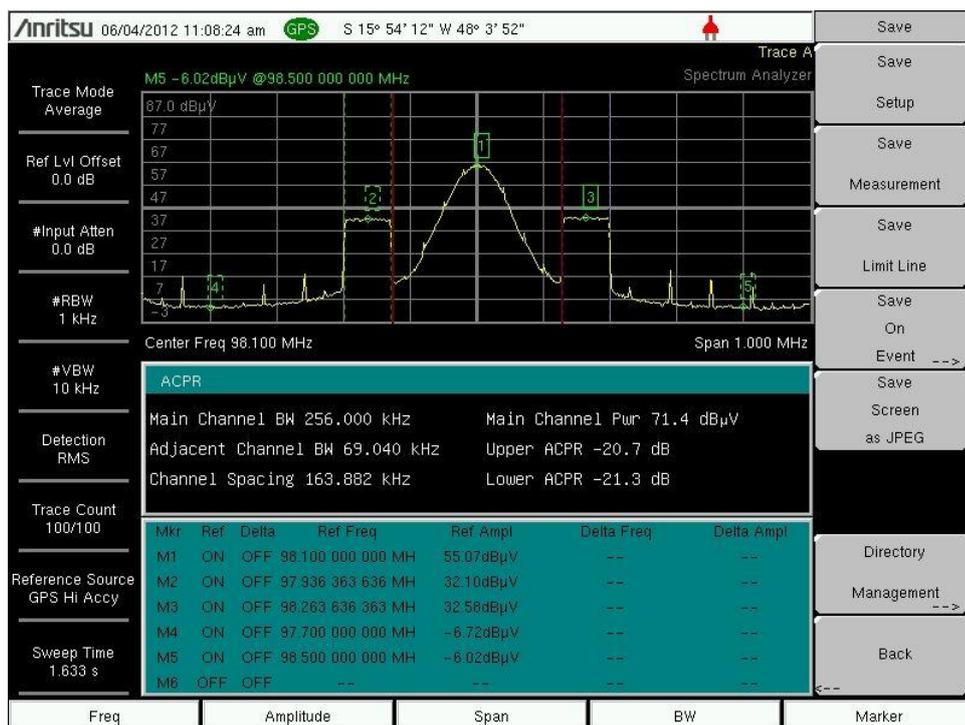


Figura 53 – Espectro registrado no ponto de referência.

O segundo bloco de medição, apresentado na Figura 50, é destinado à gravação dos áudios analógico FM e digital HD Radio. O áudio analógico do sinal FM foi gravado por receptores comerciais com o intuito de avaliar a recepção analógica. São eles os modelos de rádio portátil NKS AC122 FM/AM/OC 12 Faixas Digital Bivolt e TOSHIBA TR449SP Bivolt, Figura 54. O áudio digital HD Radio foi gravado com os receptores comerciais JVC KW-NT30HD (receptor automotivo) e SONY XDR-S3HD (receptor de mesa), Figura 55, havendo também a gravação com o receptor digital profissional HD Radio, conforme Figura 56.



Figura 54 – Receptores analógicos comerciais NKS (esq.) e TOSHIBA (dir.).



Figura 55– Receptores digitais comerciais SONY (esq.) e JVC (dir.).



Figura 56 – Receptor digital profissional HD Radio.

5.4.2 Parâmetros de Medição

Os equipamentos e o sistema de medição fornecem uma ampla gama de parâmetros registrados durante os testes. A Tabela 26 mostra os parâmetros obtidos durante os testes e que serão utilizados na avaliação. Eles são divididos em três tipos: parâmetros que fornecem informações de radiofrequência (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.

Tabela 26 - Parâmetros de Avaliação.

| Parâmetros | Tipos | Equipamentos | Intervalo de Medição |
|---|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| SNR | RF e canal de propagação | Receptor profissional HD Radio | 100 ms |
| Intensidade de campo elétrico analógico | RF e canal de propagação | | 100 ms |
| Rx_Mode | Banda Básica | | 100 ms |
| QI (<i>Quality Indicator</i>) | Banda Básica | | 100 ms |

| | | | |
|---|--------------------------|---|--|
| Intensidade de campos elétricos digital e analógico | RF e canal de propagação | Analizador de Espectro | Medição Estática e Dinâmica |
| Localização | Auxiliar | GPS | 1 s |
| Tempo | Auxiliar | | 1 s |
| Velocidade | Auxiliar | | 1 s |
| Gravação do áudio FM | Banda Básica | Receptores analógicos comerciais FM | Medição Estática |
| Gravação do áudio HD Radio | Banda Básica | Receptor profissional e receptores digitais comerciais HD Radio | Medição Estática e Dinâmica |
| Eventos (Registros de ocorrências) | Auxiliar | Equipe | Cada evento e Caracterização do ambiente |
| Fotos | Auxiliar | Equipe | Medição Estática |

Dentre todos os parâmetros, os três mais importantes são: as intensidades dos campos elétricos digital e analógico obtidas por meio do analisador de espectro juntamente com o software *HD Prospector Field Test System*, a SNR e o parâmetro Rx_Mode (que define quando ocorre a decodificação do sinal digital).

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 plotar os dados em mapas, identificando os ambientes de recepção e possíveis localizações de fontes interferentes, como por exemplo, outras estações, bem como analisar as medidas em função da distância em relação ao transmissor.

Os áudios FM gravados são utilizados para avaliar subjetivamente a qualidade da recepção do sinal analógico.

Os eventos e as fotos coletados 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.

5.4.3 Metodologia de Medição

A campanha de testes foi realizada com a unidade móvel do Inmetro, realizando medições estáticas e móveis em dois tipos de rotas, radiais e circulares, conforme recomendado pela Anatel [27]. 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 unidade móvel naquele ponto. Também era verificado se o equipamento de recepção estava com funcionamento adequado.

As atividades realizadas durante as medições nos pontos fixos são apresentadas a seguir:

- Captura do espectro do sinal simulcast.
- Captura dos dados do sinal digital HD Radio com o receptor profissional, por um período de 5 minutos.
- Gravação do áudio digital com receptor profissional, por um período mínimo de 3 minutos.
- Gravação do áudio digital com receptores comerciais, por um período mínimo de 3 minutos.
- Gravação do áudio analógico FM com receptores comerciais, por um período mínimo de 3 minutos.
- Captura de fotografias do ambiente, considerando o ponto cardeal norte como referência.
- Caracterização do ambiente, por meio de software.
- Gravação dos eventos ocorridos durante a medição, por meio de software (registro de ocorrências).

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

- Captura do espectro do sinal simulcast.
- Captura dos dados do sinal digital HD Radio com receptor profissional em toda a rota.
- Gravação do áudio digital com receptor profissional.
- Gravação dos eventos ocorridos durante a rota, por meio de software (registro de ocorrências).

5.4.4 Planejamento das Rotas

Como o objetivo dos testes era analisar o desempenho dos sistemas em um mesmo ambiente, era importante que os pontos de medições fossem nas mesmas localidades. Assim, o planejamento utilizado nos testes com o sistema HD Radio foram os mesmos utilizados no sistema DRM+, descritos na Seção 4.4.4.

5.5 RESULTADOS DOS TESTES

Com base nos dados coletados, foram realizadas as seguintes análises: comparação de medições de intensidade de campo elétrico do sinal analógico com valores teóricos e definição das áreas de cobertura dos sinais analógico e digital para recepções estática e móvel, em função dos limiares de recepção da intensidade de campo elétrico e do valor da SNR.

5.5.1 Comparação da intensidade de campo elétrico do sinal analógico medida com a previsão teórica

A intensidade de campo elétrico analógico medida é comparada com a previsão teórica para fins de verificação dos valores registrados durante os testes. A intensidade de campo teórica é obtida com o Sistema de Informações da Anatel (SIGAnatel) [25] ferramenta que possui um banco de dados geográficos do Brasil que, entre vários recursos, permite analisar a cobertura do sinal de uma estação de rádio e/ou TV, analisar a propagação em um enlace ponto-a-ponto e gerar o perfil de terreno. O modelo de previsão usa como dado de entrada o perfil do terreno entre o local do transmissor e o ponto de interesse, além da potência transmitida (EIRP), para cálculo da intensidade de campo recebida, empregando a atenuação de espaço livre e a difração causada pelos obstáculos existentes no perfil de terreno.

A Figura 57 apresenta a intensidade de campo elétrico do sinal analógico medida e os valores teóricos calculados, bem como a previsão de espaço livre. A curva da intensidade de campo considerando somente a atenuação de espaço livre é utilizada como referência. A diferença desta curva para os pontos teóricos deve-se ao perfil do terreno que é considerado no modelo de previsão utilizado no SIGAnatel. Os valores medidos estão inferiores aos teóricos porque o modelo de previsão utiliza o perfil do terreno sem incluir a ocupação urbana, por isso o gráfico da Figura 57 mostra que em vários pontos de medição existe

alguma discrepância entre valores teóricos e medidos. No entanto, observa-se que os dois conjuntos de pontos possuem decaimento similar com a distância, como esperado.

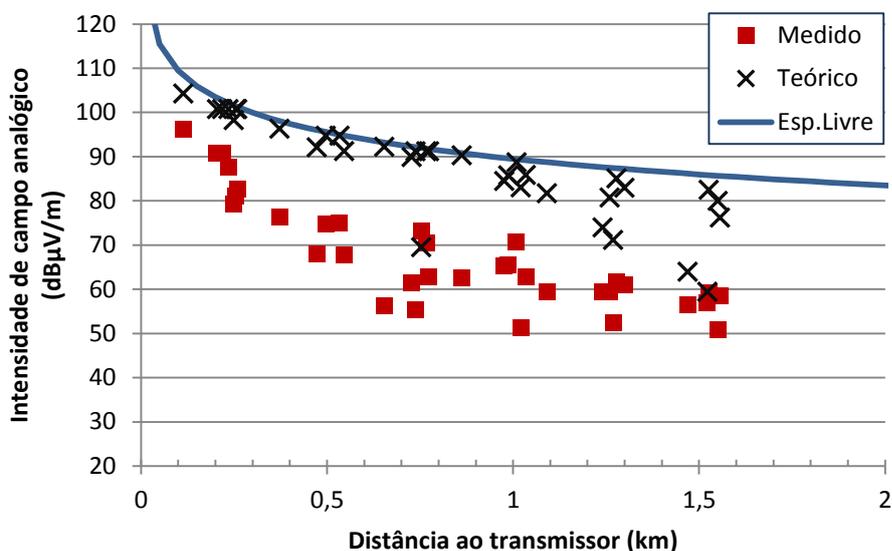


Figura 57 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico.

Com a digitalização do serviço de rádio faz-se necessário utilizar um modelo de previsão mais eficiente devido à variabilidade do sinal recebido. Ressalta-se a necessidade da proposição de um novo modelo para ser usado na faixa de frequência FM, uma vez que no sistema digital a grande diferença entre a previsão e o sinal medido (por exemplo, 20 dB em algumas distâncias no gráfico) pode impactar o planejamento do sistema introduzindo erro no cálculo da cobertura, comprometendo o atendimento do serviço proposto.

5.5.2 Avaliação da área de cobertura do sinal digital com receptor profissional

5.5.2.1 Avaliação da área de cobertura do sinal digital com recepção estática

Na medição estática faz-se o registro da recepção digital em cada local de medição. Os resultados são apresentados com o parâmetro Rx_Mode de cada quadro de áudio recebido, que indica a decodificação do áudio digital (Rx_Mode=1) ou a não decodificação (Rx_Mode=0). Nas medições estáticas realizadas com o receptor profissional ocorreu alternância entre a recepção digital e a analógica (blend) durante o tempo de registro em alguns pontos.

Uma visão global dos resultados pode ser observada na Figura 58. Os pontos em verde representam uma recepção digital estável, ou seja, Rx_Mode=1 durante todo o intervalo

de medição em cada ponto, sem ocorrência de blends, os pontos em vermelho indicam a ausência de recepção digital, ou seja, Rx_Mode=0 durante todo o intervalo de medição em cada ponto, e os pontos em amarelo representam as ocasiões em que a recepção digital ocorreu com intermitência, indicando que o sinal digital recebido não possuía qualidade suficiente para possibilitar que a recepção pudesse ser feita na integralidade do tempo. Esse fato leva o sistema a efetuar blends para evitar a ocorrência de períodos com ausência de áudio tendo assim uma alternância de recepção digital com recepção analógica durante o tempo de registro da medida (valores de Rx_Mode=0/1).



Figura 58 – Resultados da recepção em pontos fixos ilustrados no mapa.

Com base nos resultados da cobertura do sinal digital com recepção estática, foi verificado que ocorreram os três tipos de recepção (Rx_Mode=1, 0/1 ou 0) em quatro (4) rotas, R1, R2, R5 e R6, e nas rotas R3 e R4 ocorreram dois tipos (Rx_Mode=1 ou 0/1). A ocorrência de alternância entre recepção digital e analógica (Rx_Mode=0/1) se mostrou independente da distância ao transmissor. O ponto de medição mais distante estava localizado a aproximadamente 1,6 km da emissora, e ponto mais distante com decodificação de sinal digital estava a 1,5 km da emissora.

A Tabela 27 apresenta os resultados da recepção digital nos pontos fixos. Em relação aos 35 pontos medidos, foram obtidos 15 pontos (43%) com recepção digital, 15

pontos (43%) com alternância entre recepção digital e analógica e 5 pontos (14%) sem decodificação do sinal digital.

Tabela 27 - Resultados da recepção estática.

| Recepção do Áudio Digital | Toda a região de testes |
|---------------------------------|-------------------------|
| | Pontos |
| Sim | 15 (43%) |
| Alternância com áudio analógico | 15 (43%) |
| Não | 5 (14%) |
| Total de medições | 35 (100%) |

Os pontos da região de testes onde houve alternância de recepção digital e analógica (Rx_Mode=1/0) são os pontos marcados em amarelo na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** A Tabela 28 apresenta para cada um dos pontos onde houve alternância o percentual de quadros de áudio que tiveram Rx_Mode=1 e a duração desses quadros, que corresponde ao tempo em que ocorreu a decodificação do áudio digital, além da duração total da medição no ponto e sua distância ao transmissor.

Tabela 28 - Pontos onde Rx_Mode=0/1.

| Pontos | Distância ao transmissor (km) | Intensidade de campo elétrico mediano (dB μ V/m) | SNR mediana (dB) | Intervalo de medição (min) | Quadros com Rx_Mode=1 | |
|----------|-------------------------------|--|------------------|----------------------------|-----------------------|---------------|
| | | | | | Quantidade (%) | Duração (min) |
| R1P1 | 0,23 | 66,88 | 12,87 | 3,39 | 90,00 | 3,05 |
| R1P3 | 0,86 | 41,42 | 13,06 | 3,18 | 95,91 | 3,05 |
| R1P5 | 1,26 | 38,50 | 10,26 | 3,26 | 98,57 | 3,21 |
| R2P2 | 0,37 | 55,37 | 14,74 | 3,26 | 96,83 | 3,16 |
| R2P5 (*) | 1,30 | 37,10 | 3,34 | 1,00 | 97,77 | 0,88 |
| R3P1 | 0,25 | 60,26 | 14,98 | 3,21 | 96,88 | 3,11 |
| R3P2 | 0,47 | 46,30 | 14,04 | 3,33 | 98,30 | 3,28 |
| R3P4 | 1,02 | 29,49 | 6,50 | 3,25 | 95,69 | 3,11 |
| R4P3 | 0,77 | 40,56 | 10,09 | 3,34 | 98,60 | 3,29 |
| R5P1 | 0,25 | 59,76 | 15,08 | 3,37 | 97,18 | 3,27 |

| | | | | | | |
|------|------|-------|-------|------|-------|------|
| R5P4 | 1,01 | 49,26 | 15,84 | 3,11 | 97,42 | 3,03 |
| R5P6 | 1,52 | 35,44 | 2,30 | 3,13 | 15,85 | 0,50 |
| R6P1 | 0,20 | 70,94 | 14,97 | 3,10 | 63,66 | 1,97 |
| R6P3 | 0,75 | 52,41 | 12,61 | 3,94 | 98,90 | 3,89 |
| R6P5 | 1,24 | 33,99 | 6,65 | 3,66 | 96,36 | 3,53 |

(*) A duração da medição estática em R2P5 foi de aproximadamente 1 min, no entanto optou-se por manter este resultado pois houve alternância entre recepção digital e analógica.

A Figura 59 apresenta os valores da Tabela 28 de forma gráfica, para fins de visualização.



Figura 59 – Percentual de Rx_Mode nas medições estáticas com alternância.

Em 13 (treze) dos 15 (quinze) pontos com alternância os valores percentuais de Rx_Mode=1 estão bastante altos, acima de 90%, indicando a predominância da decodificação do sinal digital durante essas medições estáticas.

Os 2 (dois) pontos onde houve alternância com percentual de Rx_Mode=1 menor que 90% foram o R5P6 e R6P1, conforme a Tabela 28 e o gráfico da Figura 59.

O ponto R6P1 estava mais próximo do transmissor, a 200 m deste, e teve decodificação do sinal digital (Rx_Mode=1) em 63,66% dos quadros de áudio recebidos. Não houve registro de ocorrência que justificasse este baixo percentual. Essa medição durou 3,1 min, sendo que nos primeiros 80 segundos houve decodificação do sinal digital, e em seguida iniciou-se a alternância de Rx_Mode=0/1.

O ponto R5P6 estava situado a 1,52 km da emissora e obteve decodificação do sinal digital (Rx_Mode=1) em 15,85% dos quadros de áudio recebidos. O local de medição estava situado em rodovia com tráfego moderado a alto, perto de diversas linhas de transmissão elétrica de baixa, média e alta potência localizadas de 5 a 25 metros da unidade móvel. Durante todo o período dessa medição ocorreu a alternância de recepção digital e analógica, havendo a predominância da não decodificação do sinal digital, ou seja, de Rx_Mode=0.

Analisando os 5 (cinco) pontos onde não houve decodificação do sinal digital conforme Tabela 27, a saber R1P6, R2P4, R2P6, R5P5 e R6P6, todos situados a mais de 1 km de distância do transmissor, tem-se dos registros de ocorrência que houve interferência de outras estações FM, conforme as gravações dos áudios correspondentes.

O gráfico da Figura 60 apresenta a intensidade do campo elétrico mediano classificado conforme os resultados de recepção do parâmetro Rx_Mode em função da distância ao transmissor. O ponto mais distante com recepção digital ocorreu a 1,5 km (R4P6), localizado em uma estrada que se estende para o norte, na rota R4, conforme pode ser visto na Figura 58, no qual a intensidade de campo elétrico foi de 38 dB μ V/m. A estimativa do limiar de intensidade de campo elétrico com o receptor profissional não pôde ser realizada devido à ocorrência de muitos pontos com Rx_Mode=1 e Rx_Mode=0/1 em toda a extensão de medição.

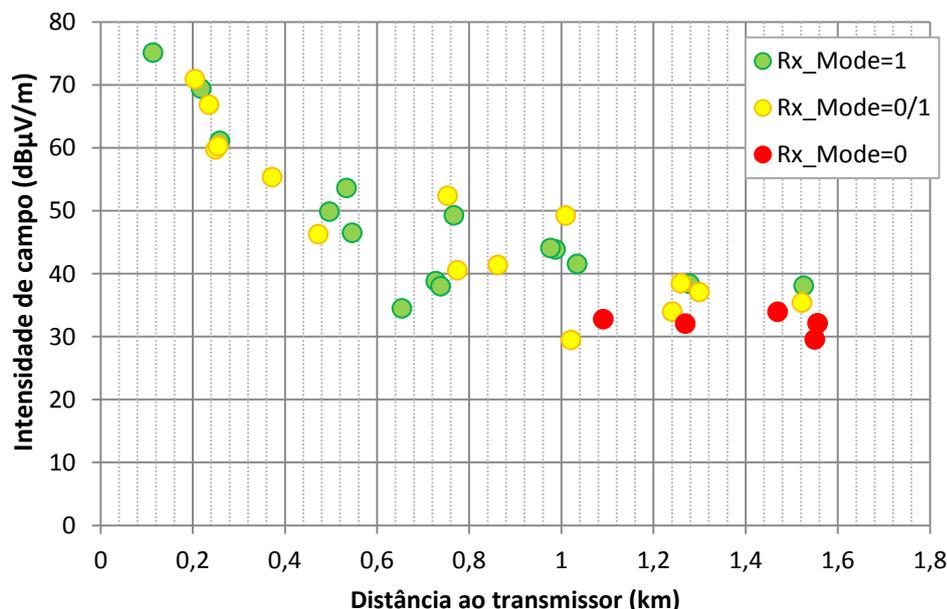


Figura 60 – Intensidade de campo digital em função da distância ao transmissor.

A relação sinal-ruído (SNR) mediana registrada pelo receptor profissional HD Radio nos testes, relacionada com a intensidade de campo elétrico, é apresentada na Figura

61. Nesse gráfico os pontos vermelhos indicam medições em que não houve decodificação do sinal digital, devido à severa degradação do sinal recebido.

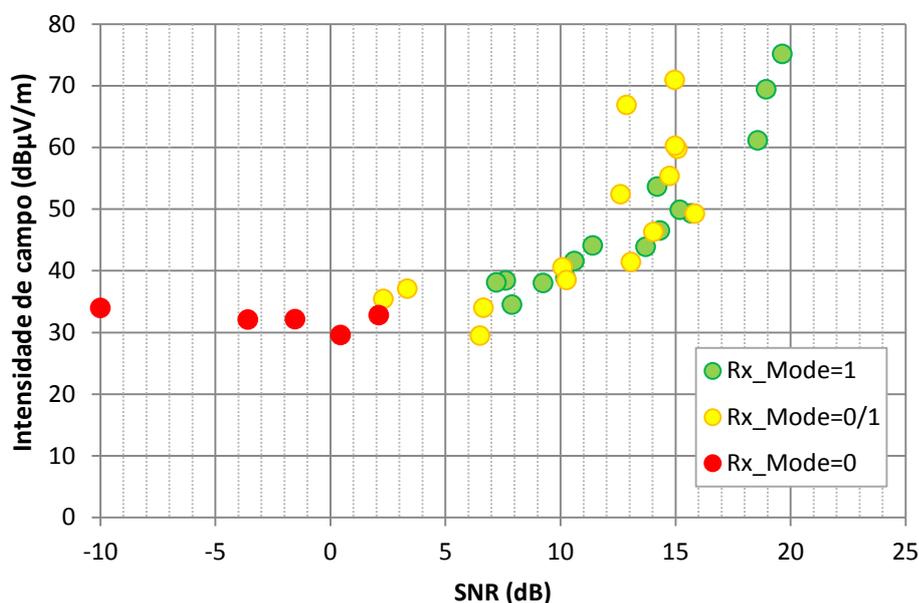


Figura 61 – Intensidade de campo digital versus SNR.

A Figura 61 ilustra ainda que não há recepção do sinal digital com valores do parâmetro SNR abaixo de 2,1 dB. Acima de 7,2 dB nota-se o início dos pontos com decodificação do sinal digital, no entanto alternados com pontos onde a recepção digital foi instável. No intervalo de SNR entre 2,1 dB e 7,2 dB, houve recepção digital instável em quatro pontos. Devido à existência de poucos valores nesse intervalo, fica impossível definir um valor ou intervalo aceitável para a SNR no ambiente testado. No entanto, de acordo com a Recomendação ITU-R BS. 1114-7 [31], o valor mínimo de SNR para recepção digital com o sistema HD Radio pode variar de 2,64 dB com taxa de erro de bloco de 0,16 em ambiente puramente gaussiano (melhor caso), até 9,94 dB com taxa de erro de bloco de 0,0202 em ambiente com desvanecimento (pior caso).

5.5.2.2 Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

Na campanha de medição, a coleta dos dados é realizada a cada 100 ms. Nesse caso, nas medições em mobilidade, a quantidade de amostras coletadas em um determinado trecho depende do comprimento do mesmo, bem como da velocidade da viatura. Em se tratando de rotas de pequena extensão (tipicamente até 2 km), foi possível plotar todas as amostras coletadas diretamente no gráfico. Porém, ainda nesse caso, é preciso ter atenção ao

se visualizar o comportamento da recepção no mapa, já que o número de amostras coletadas num pequeno trecho é enorme e pode haver sobreposição de várias amostras. Dessa forma, o gráfico resultante pode não apresentar com fidelidade os resultados obtidos nesse trecho, sendo necessário, para tal, recorrer às tabelas com resultados da recepção móvel.

Na avaliação da mobilidade foi empregada a contagem do parâmetro Rx_Mode, o qual indica presença ou ausência do sinal digital. Os percentuais que serão apresentados correspondem ao total de ocorrências de Rx_Mode=1 (presença de sinal digital) dentro de cada trecho avaliado.

O áudio gravado com o receptor profissional durante as medições em mobilidade permitiu observar o funcionamento do mecanismo blend, tanto na transição do sinal digital para o analógico quanto no retorno para o sinal digital. Considerando que o processamento digital insere um atraso no sinal transmitido, o áudio digital naturalmente fica defasado em relação ao analógico, com atraso correspondente ao tempo de processamento, podendo essa diferença ser amenizada atrasando-se o sinal analógico em relação ao digital no transmissor.

Entretanto, como no centro de transmissão não houve nenhum processo de atraso do áudio analógico em relação ao digital, essa diferença pôde ser notada pelo ouvinte, na transição do sinal digital para o analógico e vice-versa, tendo sido observado durante a campanha de medição que os áudios na recepção têm uma diferença de aproximadamente 8 segundos, com o áudio analógico sempre adiantado em relação ao digital, independentemente da existência de blends.

Para o ouvinte, quando o blend se inicia, a percepção é de que houve perda de parte da informação, devido ao fato de o áudio analógico estar adiantado em relação ao digital de aproximadamente 8 segundos; no retorno do sinal digital (final do blend), o ouvinte percebe a repetição de 8 segundos do áudio escutado anteriormente no formato analógico. Portanto, é necessário o tratamento adequado do tempo de atraso do áudio digital em relação ao analógico no centro de transmissão para que o efeito do blend não acarrete desconforto para o ouvinte. O registro do parâmetro Rx_Mode em mobilidade nas rotas radiais é apresentado na Figura 62, onde a coloração verde indica onde Rx_Mode=1 e a vermelha indica onde Rx_Mode=0.

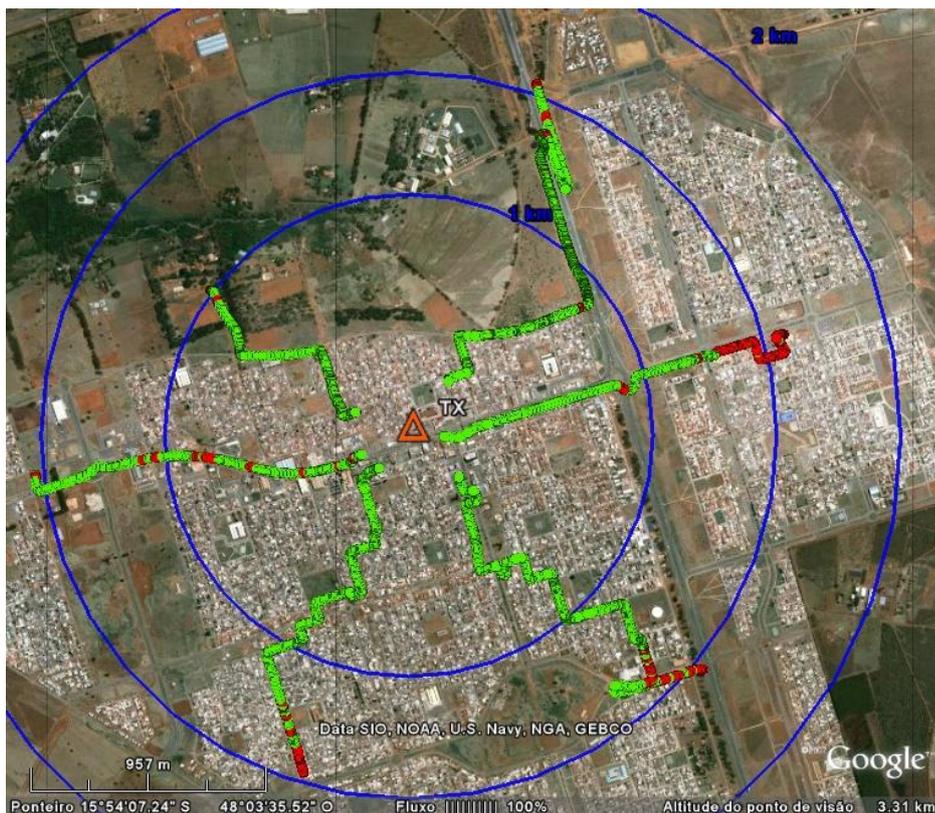


Figura 62 – Parâmetro Rx_Mode registrado nas medições em mobilidade nas rotas radiais.

A Tabela 29 apresenta os resultados gerais da recepção móvel em rotas radiais.

Tabela 29 - Resultados da recepção móvel nas rotas radiais.

| Rota | Distância total (km) | Rx_Mode=1 (%) |
|----------|----------------------|---------------|
| Radial 1 | 1,55 | 81,13 |
| Radial 2 | 1,56 | 56,22 |
| Radial 3 | 1,02 | 96,14 |
| Radial 4 | 1,52 | 94,56 |
| Radial 5 | 1,52 | 85,88 |
| Radial 6 | 1,47 | 89,14 |

Na Figura 62 nota-se que a rota R1 foi a rota que apresentou mais alternância na recepção digital com analógica ao longo do percurso, tendo no entanto apresentado cobertura digital até 1,5 km da emissora. Nas rotas R2, R5 e R6 houve decodificação de sinal digital na maior parte da medição, até a distância aproximada de 1,25 km da emissora. A rota R3 apresentou o maior percentual de decodificação do sinal digital nas rotas radiais em

mobilidade, 96,14%, tendo se estendido apenas até 1 km devido à pequena ocupação urbana naquela direção. A rota R4 apresentou cobertura até 1,5 km.

Na Figura 63 é apresentado o registro do parâmetro Rx_Mode nas rotas circulares.

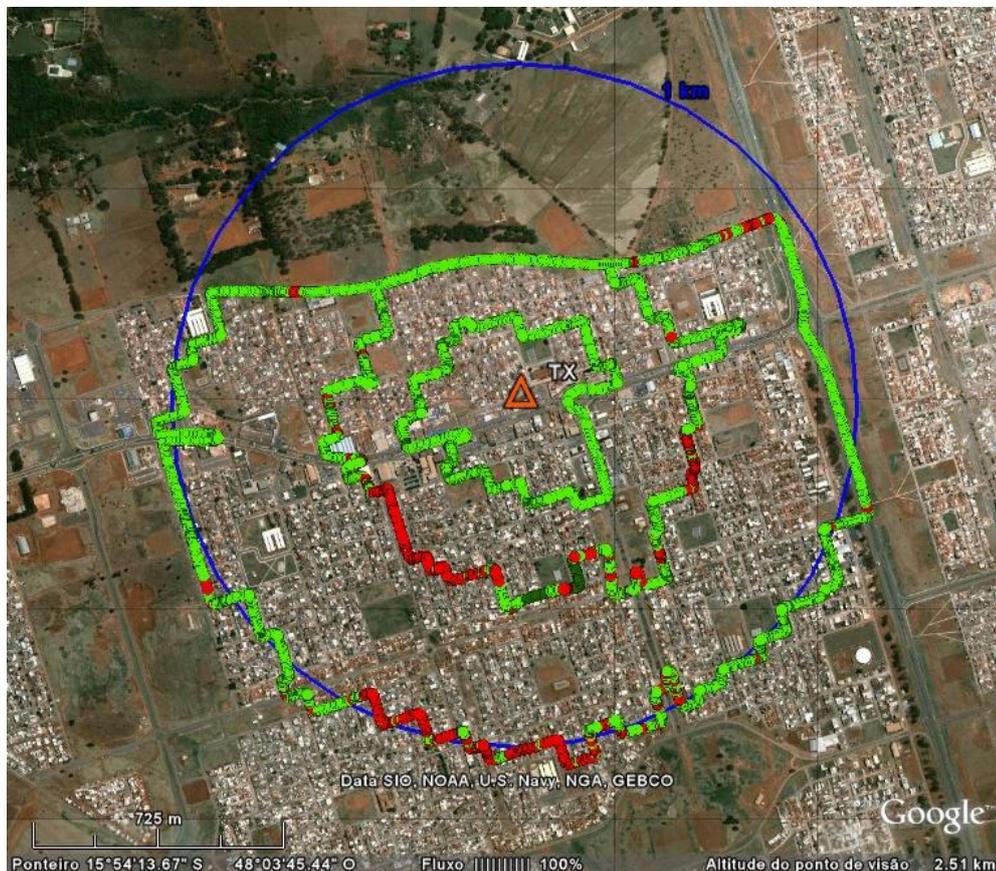


Figura 63 – Detalhe do registro Rx_Mode nas rotas circulares.

A Tabela 30 apresenta os resultados gerais da recepção móvel nas rotas circulares.

Tabela 30 - Resultados da recepção móvel nas rotas circulares.

| Rota | Tipo/Local | Maior distância do transmissor à rota | Duração da medição (min) | Rx_Mode=1 (%) |
|------------------------------|-------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------|
| Circular 1 (raio de 1 km) | Residencial | 0,97 | 31,04 | 76,45 |
| Circular 2 (raio de 0,5 km) | Residencial | 0,53 | 24,32 | 69,97 |
| Circular 3 (raio de 0,25 km) | Residencial | 0,25 | 12,20 | 99,99 |

Conforme apresentado na Figura 63, as rotas circulares foram percorridas em torno da emissora em raios de 0,25 km (C3), 0,5 km (C2) e 1 km (C1). A rota C3, mais próxima ao

transmissor, teve decodificação do sinal digital em praticamente todo o percurso. A rota C2 teve ausência de decodificação do sinal digital em um trecho na direção sudoeste, em outro trecho na direção sudeste da emissora e em pontos esparsos. A rota C1 teve ausência de decodificação do sinal digital em um trecho na direção sudoeste, em outro trecho na direção sul da emissora e em pontos esparsos ao longo da rota.

Diante do exposto, com relação à recepção em mobilidade nas rotas radiais e circulares, os resultados dentro da área de 1 km não foram homogêneos, podendo-se considerar ainda que houve cobertura digital até as distâncias de 1,25 km (R2, R5 e R6) e 1,5 km (R1 e R4) da emissora.

5.5.3 Avaliação objetiva do áudio digital de receptores comerciais

5.5.3.1 Avaliação do áudio digital de receptor comercial nas medições estáticas

A avaliação do áudio HD Radio com receptores comerciais é feita para verificação do áudio recebido pelo grande público. O mecanismo blend desses receptores evita o silenciamento do áudio quando não ocorre decodificação do sinal digital, comutando-o para recepção analógica. Sendo assim, essa avaliação é feita objetivamente por meio da verificação da ocorrência de blends no áudio gravado durante o intervalo de medição em cada ponto fixo, sendo a recepção do sinal classificada como “Recepção Digital” quando houve decodificação do sinal digital em todo o período de gravação, “Recepção Mista” quando houve ocorrências de blends e “Recepção Analógica” quando não houve decodificação do sinal digital.

Na avaliação dos 35 pontos fixos foram utilizados dois modelos de receptores comerciais, Sony (receptor de mesa) e JVC (automotivo). A Tabela 31 apresenta o percentual de medições fixas onde houve recepção digital, mista e analógica nesses receptores comerciais em toda a região da campanha de testes.

Tabela 31 - Medições fixas com receptores comerciais.

| Recepção | Toda região de testes | |
|---|-----------------------|----------|
| | SONY | JVC |
| Digital | 4 (12%) | 19 (54%) |
| Mista (Alternância com áudio analógico) | 19 (54%) | 13 (37%) |
| Analógica | 12 (34%) | 3 (9%) |
| Total de medições fixas | 35 (100%) | |

Os resultados mostram que os dois modelos de receptores comerciais tiveram desempenhos diferentes. Pequenas diferenças na montagem do setup de medição de cada receptor, tais como tipo e local da instalação da antena de recepção, influenciam no nível de potência recebida internamente em cada receptor, impactando no desempenho de cada aparelho. Além disso, na medição em baixa potência, a intensidade de campo decai rapidamente em curta distância em relação ao transmissor, podendo atingir valores superiores a 40 dB de diferença desde a emissora até a distância de 1 km, conforme pode ser visto nos gráficos das Figura 64 e Figura 65. Essas figuras apresentam estes resultados considerando a localização dos pontos de medição e a intensidade de campo elétrico digital mediano.

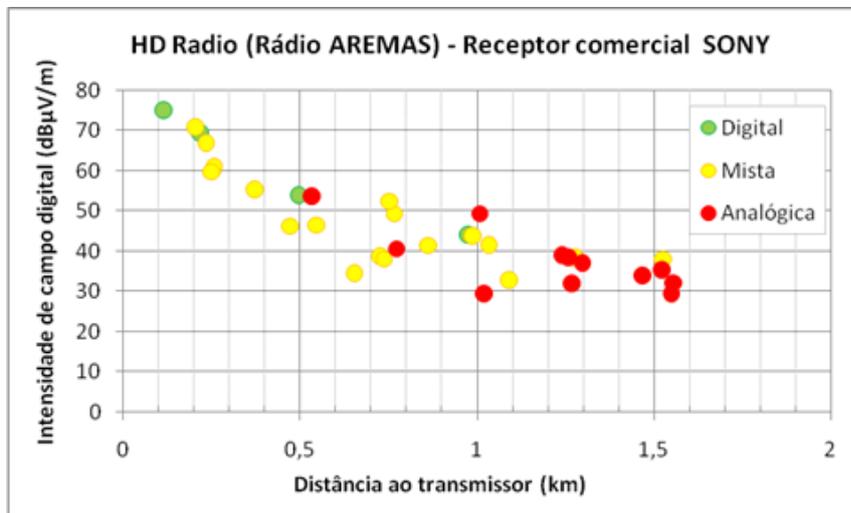


Figura 64 – Áudio SONY das medições fixas.

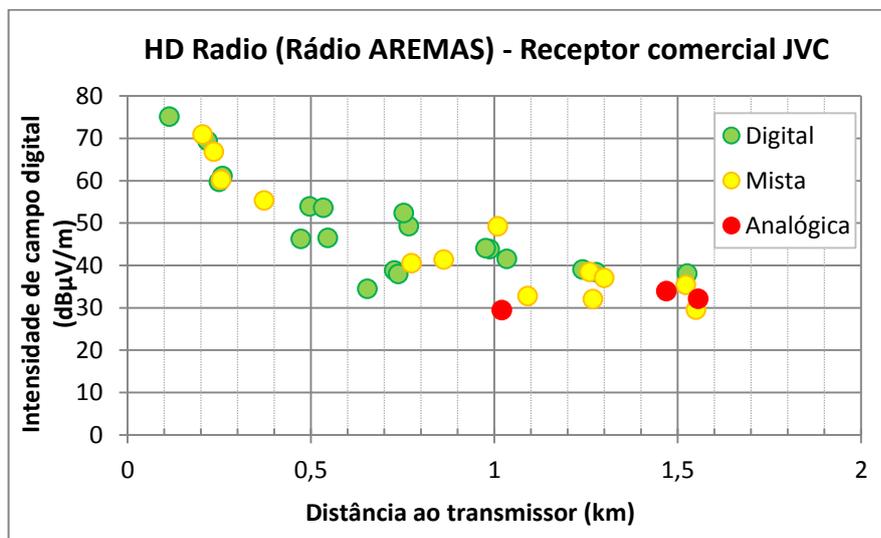


Figura 65 – Áudio JVC das medições fixas.

Houve registro de recepção “Digital” e “Mista” nos dois receptores tanto em pontos próximos da emissora quanto no ponto de medição mais distante desta. A recepção do tipo “Analógica” (pontos vermelhos no gráfico) foi registrada pelo receptor SONY já a partir de 0,5 km. No receptor JVC, foi registrada primeiro em 1 km, e depois em pontos localizados a aproximadamente 1,5 km da emissora.

Na Figura 65 referente ao receptor JVC, ressalta-se que os quatro pontos com recepção mista (amarelo) localizados até 0,5 km (R6P1, R1P1, R3P1 e R2P2, nas respectivas distâncias de 0,2 km, 0,23 km, 0,25 km e 0,37 km da emissora) também tiveram como resultado do receptor profissional a situação de alternância de recepção digital com analógica.

A estimativa do limiar de intensidade de campo elétrico com receptores digitais comerciais não pôde ser realizada devido à ocorrência de muitos pontos com recepção “Digital” e “Mista” em toda a extensão de medição.

5.5.4 Resultados da Recepção Analógica FM

5.5.4.1 Avaliação da área de cobertura em recepção estática

A cobertura do sinal analógico FM da Rádio Comunitária AREMAS foi estimada para permitir a comparação com a cobertura do sinal digital. Essa estimativa é feita com base na qualidade do áudio analógico, o qual é avaliado subjetivamente seguindo as orientações da Recomendação UIT-R BS 1284 [29]. Foram utilizadas as gravações de áudio analógico feitas em pontos fixos de medições, de dois receptores comerciais, NKS e TOSHIBA. Esses áudios foram avaliados por um grupo de pessoas, que atribuíram notas variando de 1 a 5, conforme a classificação da Recomendação UIT-R BS 1284 (Tabela 32). A partir das notas atribuídas para cada áudio referente a cada receptor, obteve-se a média aritmética da qualidade do áudio tanto para o NKS como para o TOSHIBA. Para determinar um valor único para a qualidade do áudio analógico em cada ponto, foi realizada a média aritmética dos valores de cada receptor. Em seguida, os valores de qualidade calculados foram utilizados na análise da área de cobertura analógica. O Apêndice 04 apresenta as médias das notas atribuídas aos áudios referentes aos receptores comerciais. É importante ressaltar que não foram realizadas medições móveis do áudio analógico FM.

Tabela 32 - Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284.

| Quality | Impairment |
|----------------|---------------------------------|
| 5 Excellent | 5 Imperceptible |
| 4 Good | 4 Perceptible, but not annoying |
| 3 Fair | 3 Slightly annoying |
| 2 Poor | 2 Annoying |
| 1 Bad | 1 Very annoying |

Para consolidação dos resultados obtidos neste trabalho, foram definidos três limiares de recepção: “Recepção Boa” contém as notas entre 5 e 3 inclusive, “Recepção Pobre” com notas entre 3 e 2, e “Recepção Ruim” com notas iguais ou menores que 2. A Tabela 33 apresenta a definição da classificação das notas empregadas neste trabalho.

Tabela 33 - Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho.

| Notas | Classificação | Definição |
|-----------------------------|----------------------|---|
| $3 \leq \text{Nota} \leq 5$ | Recepção Boa | Áudio com presença de ruído, desde imperceptível a leve |
| $2 < \text{Nota} < 3$ | Recepção Pobre | Presença de ruído ao ponto da informação do áudio tornar-se ininteligível |
| $\text{Nota} \leq 2$ | Recepção Ruim | Somente ruído |

A classificação da qualidade do áudio analógico FM diurno obtido em cada ponto fixo a partir de medições da Rádio Comunitária AREMAS é apresentada na Figura 66, com a intensidade de campo analógico em função da distância ao transmissor, e na Figura 67 os mesmos pontos são apresentados no mapa. A qualidade do áudio em cada ponto fixo é representada da seguinte forma: os pontos em verde representam “Recepção Boa”, em amarelo, “Recepção Pobre” e em vermelho, “Recepção Ruim”.

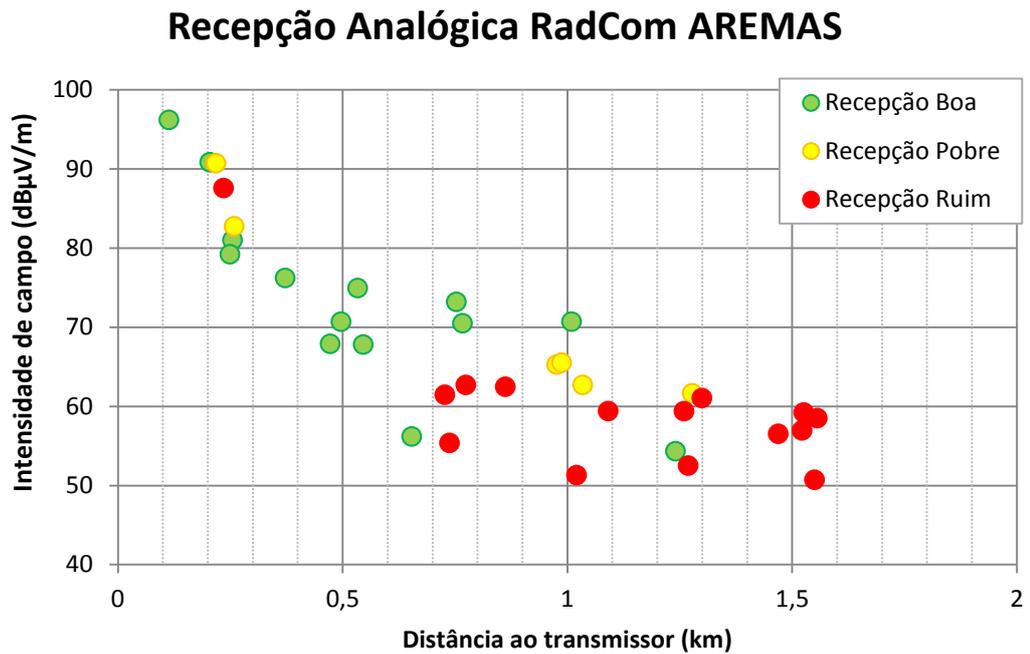


Figura 66 – Avaliação subjetiva do áudio analógico FM da Rádio Comunitária AREMAS.

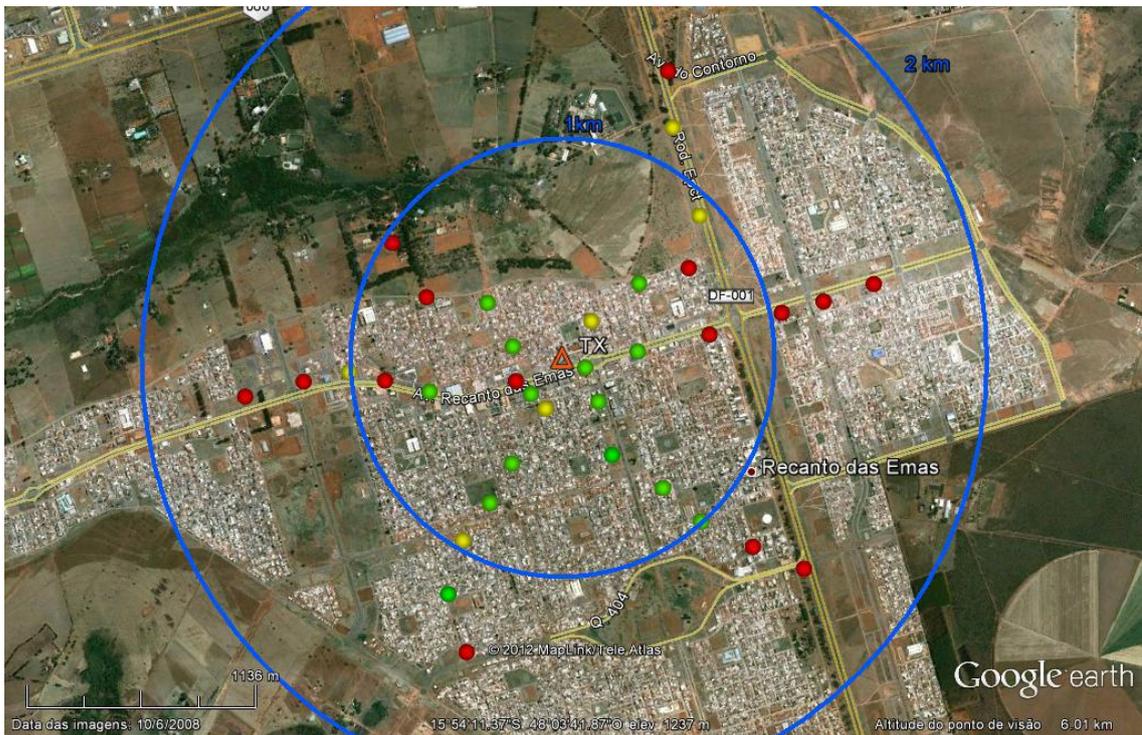


Figura 67 – Recepção estática do áudio analógico no mapa.

Por meio do gráfico da Figura 66 e do mapa da Figura 67, é possível verificar que, até a distância de 1 km em relação ao transmissor, a recepção analógica foi avaliada na

maioria dos pontos como “Recepção Boa”, e nos outros como “Recepção Pobre” e “Recepção Ruim”. Na rota R6 (sudoeste) o ponto R6P5, localizado a 1,24 km da emissora, teve “Recepção Boa”, porém antes dele o ponto R6P4 (0,98 km da emissora) teve “Recepção Pobre”. Na rota R5 (sudeste) houve cobertura analógica até o R5P4, a 1 km da emissora. Para distâncias superiores a 1 km, ocorreu predominantemente a “Recepção Ruim”. Assim, a distância da cobertura analógica pode ser estimada como atingindo 1 km da emissora.

Observa-se no gráfico da Figura 66 que o limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico está aproximadamente em 65 dB μ V/m. Este valor está próximo do valor de 66 dB μ V/m definido no regulamento técnico brasileiro e UIT para as áreas urbanas [11] e [30].

O áudio analógico foi registrado em 35 locais e a distribuição das notas está na Tabela 34.

Tabela 34 - Resultados do FM analógico em recepção estática.

| Recepção Analógica | Toda região de testes |
|---------------------------|------------------------------|
| | Pontos |
| Boa | 14 (40%) |
| Pobre | 6 (17%) |
| Ruim | 15 (43%) |
| Total de medições fixas | 35 (100%) |

Dentre os 15 (quinze) pontos que receberam nota da recepção analógica como “Recepção Ruim”, em 12 (doze) deles foi verificada a interferência de outras estações FM na gravação dos áudios analógicos, conforme registro de ocorrências. Os 12 (doze) pontos de medição são indicados na Figura 68.

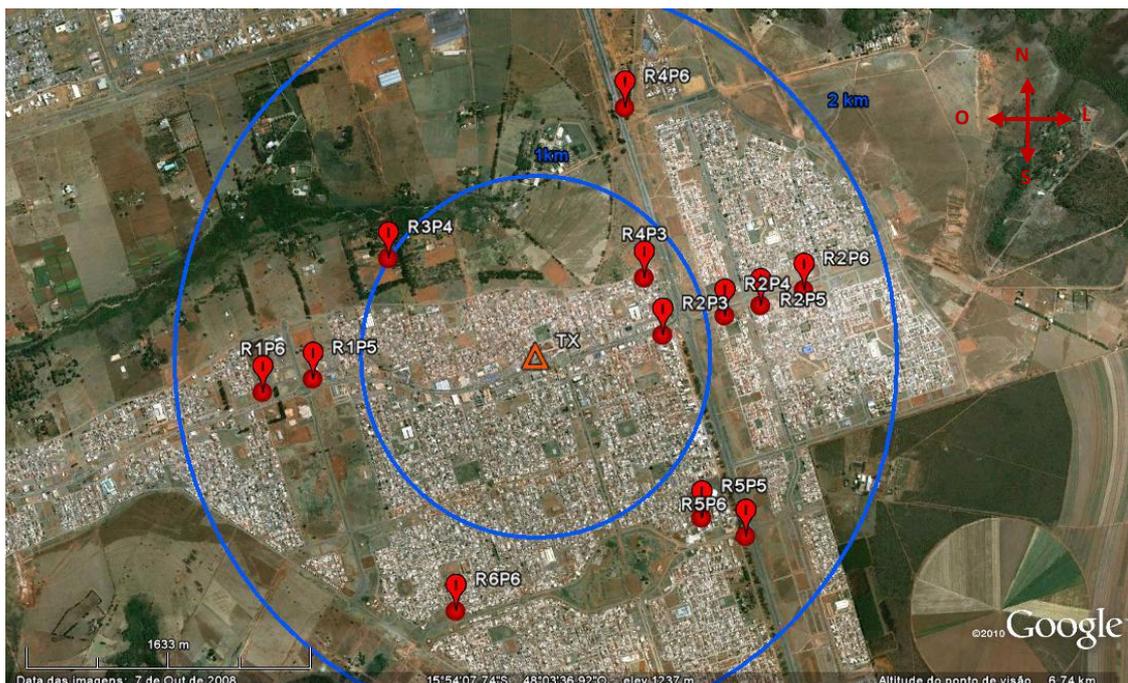


Figura 68 – Pontos de medição com registro de interferência de outras estações FM.

5.5.4.2 Comparação entre os resultados da recepção dos áudios analógico e digital.

Os resultados referentes à qualidade do áudio analógico (sistema FM) e à recepção digital profissional (sistema HD Radio) podem ser comparados para fins de verificação de atendimento nos pontos fixos e extensão de cobertura. A Tabela 35 apresenta os resultados em cada ponto fixo.

Tabela 35 - Resultados comparativos entre FM e HD Radio na recepção estática.

| Pontos | Distância ao transmissor (km) | RX Mode | Qualidade de áudio FM |
|---------------------|-------------------------------|---------|-----------------------|
| Ponto de referência | 0,22 | 1 | 2,9 |
| R1P1 | 0,23 | 0/1 | 1,6 |
| R1P2 | 0,65 | 1 | 3 |
| R1P3 | 0,86 | 0/1 | 1,5 |
| R1P4 | 1,03 | 1 | 2,4 |
| R1P5 | 1,26 | 0/1 | 1,8 |
| R1P6 | 1,55 | 0 | 1,1 |
| R2P1 | 0,11 | 1 | 3,9 |

| | | | |
|------|------|-----|-----|
| R2P2 | 0,37 | 0/1 | 3,7 |
| R2P3 | 0,73 | 1 | 1,5 |
| R2P4 | 1,09 | 0 | 1,1 |
| R2P5 | 1,30 | 0/1 | 1 |
| R2P6 | 1,56 | 0 | 1 |
| R3P1 | 0,25 | 0/1 | 4,2 |
| R3P2 | 0,47 | 0/1 | 3,1 |
| R3P3 | 0,74 | 1 | 1,3 |
| R3P4 | 1,02 | 0/1 | 1,2 |
| R4P1 | 0,26 | 1 | 2,6 |
| R4P2 | 0,55 | 1 | 3,3 |
| R4P3 | 0,77 | 0/1 | 2 |
| R4P4 | 0,99 | 1 | 2,3 |
| R4P5 | 1,28 | 1 | 2,7 |
| R4P6 | 1,53 | 1 | 1,1 |
| R5P1 | 0,25 | 0/1 | 3 |
| R5P2 | 0,50 | 1 | 3,3 |
| R5P3 | 0,77 | 1 | 4 |
| R5P4 | 1,01 | 0/1 | 3,4 |
| R5P5 | 1,27 | 0 | 1,1 |
| R5P6 | 1,52 | 0/1 | 1,3 |
| R6P1 | 0,20 | 0/1 | 4 |
| R6P2 | 0,53 | 1 | 3,8 |
| R6P3 | 0,75 | 0/1 | 3,9 |
| R6P4 | 0,98 | 1 | 2,7 |
| R6P5 | 1,24 | 0/1 | 3,9 |
| R6P6 | 1,47 | 0 | 1 |

Os resultados mostram que dentro do total de pontos fixos medidos (35 pontos fixos) foram contabilizados 15 pontos com decodificação do sinal digital e 14 pontos com áudio analógico com qualidade boa (não sendo necessariamente os mesmos pontos). Ao se considerar a região interna do círculo de raio 1 km (21 pontos fixos), verifica-se atendimento

similar dos serviços digital e analógico, pois nessa região foi obtido um total de 12 pontos com decodificação do sinal digital e 12 pontos com áudio analógico com qualidade de ‘Recepção Boa’ (não sendo necessariamente os mesmos pontos).

O parâmetro Rx_Mode do sinal digital e o tipo de recepção do sinal analógico podem ser comparados para fins de verificação de atendimento nos pontos fixos e extensão de cobertura. A Tabela 34 apresenta os resultados em cada ponto fixo e a Tabela 35 mostra o resumo dos resultados, na qual, para fins de comparação com o digital, as classificações do áudio analógico FM como “Recepção Pobre” ou “Recepção Ruim” são agrupadas.

Os valores da Tabela 35 são apresentados na Figura 69. Conforme a classificação definida na Tabela 33, o limiar para “Recepção Boa” do áudio analógico corresponde à nota 3. Nessa avaliação, quando o Rx_Mode foi igual a 1, atribuiu-se a nota máxima para a qualidade do áudio digital, devido às características intrínsecas do sistema digital HD Radio com a configuração utilizada. Apenas para fins de visualização dos pontos onde Rx_Mode foi 0/1, esses estão indicados como uma nota “média” igual a 2,5 no áudio digital.

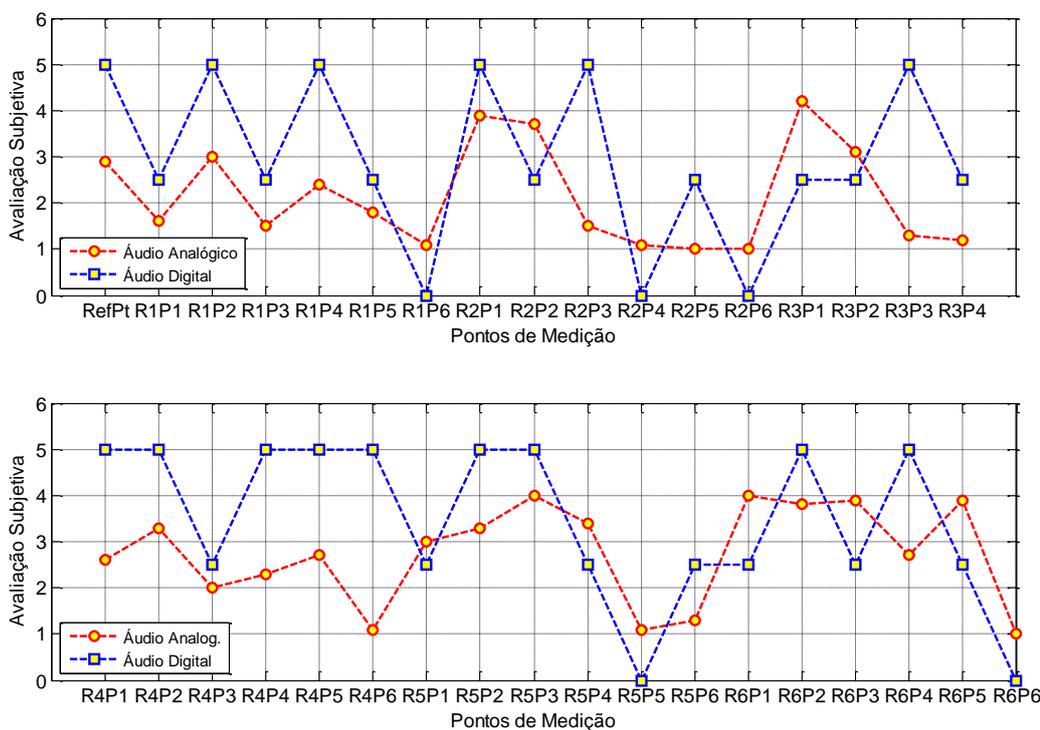


Figura 69 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital.

A Tabela 36 mostra a consolidação dos resultados da Tabela 35, indicando a quantidade de pontos em cada situação de recepção em relação à decodificação do áudio digital e à qualidade de recepção do áudio analógico correspondente:

- Pontos onde houve áudio digital e o analógico estava bom;
- Pontos onde houve áudio digital, porém o áudio analógico estava pobre e ruim;
- Pontos onde não houve áudio digital e onde Rx_Mode=0/1, porém o áudio analógico estava bom;
- Pontos onde não houve áudio digital e onde Rx_Mode=0/1, e o áudio analógico estava pobre e ruim.

Tabela 36 - Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática.

| | | Recepção do Áudio Analógico | | |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------|
| | | Boa | Pobre e Ruim | Totais |
| Recepção do Áudio Digital | Sim (Rx_Mode=1) | 6 (17%) | 9 (26%) | 15 (43%) |
| | Não (Rx_Mode=0) e Rx_Mode=0/1 | 8 (23%) | 12 (34%) | 20 (57%) |
| Totais | | 14 (40%) | 21 (60%) | 35 (100%) |

Da Tabela 36 verifica-se que em 6 locais (17%) houve decodificação do sinal digital e recepção analógica com qualidade classificada como “Recepção Boa” simultaneamente. Em outros 9 locais (26%) houve recepção digital enquanto que a analógica estava classificada como “Recepção Pobre” ou “Recepção Ruim”.

5.6 CONCLUSÃO

Neste capítulo foi descrito a campanha de medidas realizada com o padrão HD Radio Os testes foram realizados com o modo híbrido, com a configuração de 64 QAM e 98kbps. Os dois equipamentos de medição foram um receptor profissional HD Radio e um analisador de espectro. Os resultados foram avaliados da mesma maneira do que os obtidos com o sistema DRM+.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

As emissoras comunitárias no Brasil estão situadas a no mínimo 4 km de distância uma em relação à outra, e muitas delas encontram-se em ambientes urbanos. Essas características de funcionamento não têm grandes impactos na recepção do sinal analógico, devido ao efeito de captura. No entanto, para sistemas digitais, os níveis de ruído e interferência são determinantes para haver decodificação ou não do sinal. Assim, esse trabalho teve como objetivo verificar o comportamento dos sistemas DRM e HD Radio diante da realidade brasileira.

Neste trabalho, verificou-se que todos os sistemas de digitalização da radiodifusão, propostos pelo cenário mundial, empregam tecnologia de alta qualidade. Isto irá proporcionar uma melhora significativa na qualidade sonora, além de novos serviços de dados.

No entanto, cada sistema apresentou particulares em relação ao seu princípio de funcionamento, que refletirá de forma decisiva na escolha de um deles como padrão a ser adotado no Brasil. As conclusões serão feitas de posse destas particularidades.

Assim, este trabalho propõe-se a trazer a discussão para o meio da comunidade acadêmica, e fornecer subsídios para uma futura tomada de decisão sobre a adequação dos sistemas atuais à realidade brasileira.

As potências e as configurações definidas para a realização dos testes foram escolhidas pelo sistema. Ambas foram estabelecidas por técnicos dos sistemas de maneira a obter uma melhor área de cobertura sem provocar interferência no sinal analógico.

As medições de intensidade de campo elétrico do sistema analógico foram comparadas com valores teóricos para fins de validação. Esse parâmetro teve o comportamento previsto pelo modelo teórico no que tange ao decaimento com a distância. De uma forma geral os valores medidos estiveram inferiores aos valores previstos, em virtude do modelo utilizar o perfil do terreno sem incluir a ocupação urbana e a vegetação, as quais contribuem para a atenuação da intensidade de campo. No entanto, o limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico obtido para uma boa recepção de áudio ficou entre 65 e 70 dB μ V/m. Esse valor está próximo do valor de 66 dB μ V/m definido no regulamento técnico brasileiro para áreas urbanas.

A recepção estática com o modo 4QAM apresentou cobertura digital de aproximadamente 1,3 km de distância do transmissor, sendo que até essa distância todos os pontos tiveram recepção digital. O limiar de intensidade de campo elétrico para recepção digital obtido a partir das medidas estáticas ficou entre 52 e 55 dB μ V/m. Cabe salientar que

esse limiar apenas é válido quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado. No teste em questão, para valores de SNR acima de 5,4 dB houve decodificação do áudio digital em todos os pontos medidos. No intervalo entre 0,5 dB e 5,4 dB, embora tenha havido um ponto com recepção digital (2,6 dB), a escassez de pontos no intervalo não permitiu definir com precisão um limiar de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 4QAM.

A recepção estática com o modo 16QAM apresentou uma cobertura digital aproximada de 1,3 km. O limiar de intensidade de campo elétrico foi observado entre 53 e 56 dB μ V/m. No teste em questão, para valores de SNR acima de 6,4 dB houve decodificação do áudio digital em todos os pontos medidos. No intervalo entre 2,85 dB e 6,4 dB não houve registro de medição, o que não permite definir com precisão um limiar de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 16QAM.

Em relação à recepção móvel, no modo 4QAM pode-se considerar, em geral, que a cobertura é aceitável em um raio de 1 km, com exceção da rota R5, que apresentou muitas interrupções na recepção do áudio digital. Os resultados com o modo 16 QAM a uma distância de 0,5 km em relação ao transmissor são os mesmos que os obtidos para 4QAM. Entre 0,5 km e 1 km o modo 16QAM teve resultado pior em relação ao modo 4QAM no que tange à homogeneidade da decodificação do áudio. Para distâncias superiores a 1 km da emissora, os resultados no modo 16QAM são bem inferiores. Conforme esperado, as áreas de cobertura na recepção móvel foram menores do que as obtidas na recepção estática.

Concluindo, os resultados dos testes com o sistema DRM+ em Brasília em transmissão híbrida com baixa potência mostraram que o sistema digital, de uma forma geral, tem área de cobertura maior que a sistema analógico, possuindo um desempenho melhor que o sistema FM no raio de 1,3 km a partir do transmissor, com potência EIRP de 9,3 dB abaixo da potência EIRP do FM.

Em relação ao sistema HD Radio, devido à baixa potência de transmissão escolhida pelos técnicos dos sistemas, a estimativa do limiar de intensidade de campo elétrico com o receptor profissional não pôde ser realizada devido à ocorrência de muitos pontos com alternância de blends em toda a extensão de medição. No entanto, é possível fazer algumas observações, tais como, na medição estática faz-se o registro da recepção digital em cada local de medição. Com a utilização do receptor profissional, foram realizadas 35 medições em toda região, havendo decodificação do sinal digital em 15 pontos (43%), decodificação do sinal digital com alternância para áudio analógico em 15 pontos (43%), e não decodificação

do sinal digital em 5 pontos (14%). Sendo uma transmissão de baixa potência, o ponto de medição mais distante da emissora estava localizado a 1,6 km desta, pois a partir desta distância foi verificado que tanto a recepção analógica quanto a digital ficaram críticas.

Em relação ao limiar de SNR, tem-se que, no teste em questão, o menor valor de SNR medido para boa recepção foi de 7,2 dB. Abaixo de 2,1 dB não foi possível realizar a decodificação do sinal digital. No intervalo de 2,1 a 7,2 dB foram registrados quatro pontos de medição nos quais houve alternância da recepção digital com a analógica. No entanto houve pontos com SNR maiores que 7,2 dB com alternância entre recepção digital e analógica. Desta forma, não houve a possibilidade de definir com mais precisão um limiar mínimo de SNR para a recepção estática com o sistema HD Radio.

Concluindo, os resultados dos testes com o sistema HD Radio em Brasília em transmissão híbrida com baixa potência mostraram que o sistema digital, de uma forma geral, pode proporcionar área de cobertura igual ou maior que a sistema analógico, desde que a relação de potência entre os sinais analógico e digital seja menor que 20 dB.

Em geral, pode-se concluir por meio dos testes realizados que ambos os sistemas terão que “quebrar” a máscara espectral de emissões em FM atualmente proposta pela Anatel no período de transmissão simulcast, de maneira a garantir a mesma área de cobertura atualmente proporcionada pelo rádio digital, em virtude dos limiares de relação de potência entre os sinais analógico e digital definidos pelo sistema DRM, 9,3 dB, e de 20 dB para o HD Radio.

Apesar dos resultados dos testes com o sistema DRM terem sido satisfatórios, a relação proposta pelo sistema de maneira a garantir a mesma área de cobertura não está dentro da máscara espectral. Por outro lado, o sistema HD Radio realizou a campanha de testes com o sinal digital dentro da máscara espectral. No entanto, os resultados mostraram uma instabilidade muito grande do sistema, em virtude da baixa intensidade do campo elétrico frente a variabilidade do sinal em função do ambiente testado.

Para consolidar a discussão aqui iniciada é necessário acompanhar a realização de mais testes em campo englobando outros cenários tais como, interferência mútuas entre emissoras comunitárias com transmissões simulcast e toda digital. Assim, será possível verificar os limiares de interferência entre os sinais digitais e determinar a percentagem de área de cobertura que ficará em silêncio, bem como propor um arranjo de alocações de frequência ao governo brasileiro durante o processo de transmissões simulcast, de maneira a

amenizar a área em silêncio, considerando que o mesmo canal é utilizado para um mesmo município. Adicionalmente, testes com variações de potências de transmissões deverão ser realizados, com intuito de verificar com maior exatidão a melhor relação de potência entre os sinais analógico e digital. Assim, esses tipos de análises, ficam como sugestões para trabalhos futuros.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] http://pt.wikipedia.org/wiki/Televis%C3%A3o_digital_no_Brasil, acessado em 05 de Janeiro de 2013.
- [2] http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4901.htm, acessado em 05 de Janeiro de 2013.
- [3] Decreto do Radio Digital, acessado em 05 de Janeiro de 2013.
- [4] Lima, F. F. “*Radiodifusão Digital - Tecnologias e Tendências*”. Dissertação de Mestrado ENE/UnB, Brasília-DF. Novembro, 2002.
- [5] Rec. ITU-R BT.2049-5: *Broadcasting of multimedia and data applications for mobile reception, 2011*.
- [6] ETSI – Eureka 147, hvv GIO, Volume I (15 de June 1999).
- [7] AVISO DE CHAMAMENTO PÚBLICO No 1/ 2011: DOU – Diário Oficial da União, Secção 3, N° 113, terça 14 de Junho de 2011, ISSN 1677-7069.
- [8] Art. 3º da Medida Provisória de 2.216-37 do Art. 236 da Constituição Federal, a saber
- [9] Manual de Orientação. RadCom – Radiodifusão Comunitária, Como Instalar uma Rádio Comunitária, Elaboração do Manual Adalzira França Soares de Luca (Coordenadora-Geral de Assuntos Jurídicos de Telecomunicações e Postais – Consultoria Jurídica) – Ministério das Comunicações.
- Manual de Orientação. RadCom – Radiodifusão Comunitária, Como Instalar uma Rádio Comunitária, Elaboração do Manual Adalzira França Soares de Luca (Coordenadora-Geral de Assuntos Jurídicos de Telecomunicações e Postais – Consultoria Jurídica) – Ministério das Comunicações.
- [10] **Artigo:** Results of low power DRM+ field trial in the FM band II in Brasília. F. F. Lima, J. Gomes, H. Abdalla Júnior, A. J. M. Soares e L. M. da Silva. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Elétrica Caixa Postal 4386, 70.910-900 – Brasília – DF. Brasil. flima@nmi.unb.br, gomes2803@gmail.com, abdalla@ene.unb.br, martins@ene.unb.br, lucio@ene.unb.br

- [11] Anatel, Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada (Resolução nº67, de 12 de novembro de 1998, D.O.U. 26/03/1999 – Alterada pela resolução nº 349, de 25 de setembro de 2003).
- [12] Colocar, ref cap02.
- [13] <http://www.drm.org/>, acessado em dezembro de 2013.
- [14] Rec. ITU-R BS.1514-1: *Systems for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz*, 2002
- [15] ETSI ES 201 980: “*Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification*”, v3.1.1, 2009.
- [16] ITU-R P.368-7 (03/92) Recommendation, “*Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz*”.1992
- [17] Digital Radio Mondiale (DRM). *A Broadcaster’s Guide. Version 1.1*”, DRM Consortium, June 2010.
- [18] ITU Radio Communications Study Group. E-175E Document. “*Digital Radio Mondiale DRM Daytime Tests*”, 2005
- [19] ETSI ES 201 980: “*Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification*”, v3.1.1, 2009.
- [20] M. Dietz, S Meltzer, “*CT-aacPlus – A state-of-the-art audio coding system.*” EBU Technical review N°291, 2002
- [21] Doc. NRSC-5-C. *In-band/on-channel Digital Radio Broadcasting Standard. Set. 2011.*
- [22] Doc. No. SY_SSS-1026s rev. F, *HD Radio FM Transmission System Specifications*, iBiquity Digital Corporation, 8/25/11.
- [23] Ibiqity Digital Corporation, *HD Radio FM Transmission System Specifications*, SY_SSS_1026s Revisão F, August 24, 2011.
- [24] Ibiqity Digital, *Transmission Signal Quality Metrics for FM IBOC Signals*, SY_TN_2646s Revision 02, August 24, 2011.

[25] *Ibiquity Digital Corporation, HD Radio Air Interface, Design Description Layer 1 FM, SY_IDD_1011s Revision G, August 23, 2011*

[26] Serviços HD Radio

[27] Guia da Anatel

[28] Anatel (2008), “SIGAnatel - Sistema de Informações Geográficas”, Disponível em <http://sistemas.anatel.gov.br/siganatel>

[29] ITU-R BS 1284

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

8 APENDICE 01 – Detalhes das Rotas

Neste apêndice estão detalhadas das rotas radiais e circulares utilizadas no planejamento dos testes.

a) R1 - Rota Oeste (Recanto das Emas), com comprimento de 1,5 km.

| Pontos Fixos | Coordenadas | | Localização | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|--------------------------------|----------------------|
| | Latitude | Longitude | | |
| R1P1 | Latitude | 15°54'12.82"S | Av. Rec. Emas | 0,199 |
| | Longitude | 48° 3'50.88"O | | |
| R1P2 | Latitude | 15°54'14.33"S | Av. Rec. Emas Rua direita. | 0,585 |
| | Longitude | 48° 4'3.97"O | | |
| R1P3 | Latitude | 15°54'13.22"S | Av. Rec. Emas | 0,816 |
| | Longitude | 48° 4'11.97"O | | |
| R1P4 | Latitude | 15°54'12.87"S | Av. Rec. Emas | 0,995 |
| | Longitude | 48° 4'18.08"O | | |
| R1P5 | Latitude | 15°54'13.27"S | Av. Rec. Emas Estrada direita. | 1,244 |
| | Longitude | 48° 4'26.44"O | | |
| R1P6 | Latitude | 15°54'16.06"S | Av. Rec. Emas Rua direita. | 1,553 |
| | Longitude | 48° 4'36.51"O | | |



Figura 70 – Rota R1.

b) R2 - Rota Leste (Riacho fundo II), com comprimento de 1,5 km.

| Pontos Fixos | Coordenadas | | Localização | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|---------------------------------------|----------------------|
| | Latitude | Longitude | | |
| R2P1 | Latitude | 15°54'10.46"S | Av. Rec. Emas Q203 | 0,106 |
| | Longitude | 48° 3'41.10"O | | |
| R2P2 | Latitude | 15°54'7.80"S | Av. Rec. Emas Q201 | 0,372 |
| | Longitude | 48° 3'32.37"O | | |
| R2P3 | Latitude | 15°54'4.96"S | Av. Rec. Emas Q201 | 0,724 |
| | Longitude | 48° 3'20.89"O | | |
| R2P4 | Latitude | 15°54'1.51"S | Retorno em frente da QN 9A conjunto 1 | 1,015 |
| | Longitude | 48° 3'11.70"O | | |
| R2P5 | Latitude | 15°54'0.23"S | Retorno em frente da QN 9A conjunto 2 | 1,193 |
| | Longitude | 48° 3'5.88"O | | |
| R2P6 | Latitude | 15°53'56.90"S | Riacho Fundo II Qn 10 Cj 2 | 1,572 |
| | Longitude | 48° 2'53.60"O | | |
| | Longitude | 48° 0'56.40"O | | |



Figura 71 – Rota R2.

c) **R3 - Rota Noroeste (Samambaia), com comprimento de 1,0 km.**

| Pontos Fixos | Coordenadas | | Localização | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|---|----------------------|
| | Latitude | Longitude | | |
| R3P1 | Latitude | 15°54'6.41"S | Recanto das Emas Q103 Cj 2 | 0,275 |
| | Longitude | 48° 3'53.07"O | | |
| R3P2 | Latitude | 15°54'0.51"S | Recanto das Emas Q103 Cj 7A | 0,470 |
| | Longitude | 48° 3'57.04"O | | |
| R3P3 | Latitude | 15°53'59.39"S | Recanto das Emas Q104 Cj 5 | 0,756 |
| | Longitude | 48° 4'7.62"O | | |
| R3P4 | Latitude | 15°53'51.58"S | Recanto das Emas Q104 estrada de terra | 1,010 |
| | Longitude | 48° 4'12.75"O | | |



Figura 72 – Rota R3.

d) **R4 - Rota Norte (Samambaia), com comprimento de 1,5 km.**

| Pontos Fixos | Coordenadas | | Localização | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|-----------------------------------|----------------------|
| | Latitude | Longitude | | |
| R4P1 | Latitude | 15°54'3.13"S | Q 103 Cj. 2 Recanto das Emas | 0,251 |
| | Longitude | 48° 3'40.22"O | | |
| R4P2 | Latitude | 15°53'57.05"S | Q 101 Cj. Recanto das Emas | 0,539 |
| | Longitude | 48° 3'32.72"O | | |
| R4P3 | Latitude | 15°53'54.80"S | Av. Vargem da Benção Q 101 | 0,781 |
| | Longitude | 48° 3'23.80"O | | |
| R4P4 | Latitude | 15°53'46.63"S | Estrada de terra paralela a DF001 | 0,980 |
| | Longitude | 48° 3'22.52"O | | |
| R4P5 | Latitude | 15°53'32.10"S | DF001 | 1,281 |
| | Longitude | 48° 3'27.30"O | | |
| R4P6 | Latitude | 15°53'23.40"S | DF001 | 1,523 |
| | Longitude | 48° 3'28.10"O | | |
| | Longitude | 48° 2'57.62"O | | |



Figura 73 – Rota R4.

e) **R5 - Rota Sul (DF 001 EPCT), com comprimento de 1,5 km.**

| Pontos Fixos | Coordenadas | | Localização | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|-------------------------------|----------------------|
| | Latitude | Longitude | | |
| R5P1 | Latitude | 15°54'15.93"S | Q 203 Cj. 2 Recanto das Emas | 0,250 |
| | Longitude | 48° 3'38.60"O | | |
| R5P2 | Latitude | 15°54'25.30"S | Q 204 Cj.4 Recanto das Emas | 0,525 |
| | Longitude | 48° 3'36.50"O | | |
| R5P3 | Latitude | 15°54'29.12"S | Q 401 Cj.4 Recanto das Emas | 0,758 |
| | Longitude | 48° 3'28.27"O | | |
| R5P4 | Latitude | 15°54'34.18"S | Q 401 Cj. 8 Recanto das Emas | 0,996 |
| | Longitude | 48° 3'22.15"O | | |
| R5P5 | Latitude | 15°54'37.73"S | Q 402 Cj. 9. Recanto das Emas | 1,247 |
| | Longitude | 48° 3'13.83"O | | |
| R5P6 | Latitude | 15°54'41.75"S | Q 601 Cj. 2 Recanto das Emas | 1,497 |
| | Longitude | 48° 3'6.32"O | | |
| | Longitude | 48° 2'25.46"O | | |



Figura 74 – Rota R5.

f) **R6 - Rota Sudoeste (Recanto das Emas), com comprimento de 1,5 km.**

| Pontos Fixos | Coordenadas | | Localização | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|---------------------------------|----------------------|
| | Latitude | Longitude | | |
| R6P1 | Latitude | 15°54'14.50"S | Q203 Cj11 Est. Recanto das Emas | 0,215 |
| | Longitude | 48° 3'50.40"O | | |
| R6P2 | Latitude | 15°54'25.70"S | Q204 Cj19 Recanto das Emas | 0,536 |
| | Longitude | 48° 3'52.70"O | | |
| R6P3 | Latitude | 15°54'31.92"S | Q205 Cj16 Recanto das Emas | 0,756 |
| | Longitude | 48° 3'56.53"O | | |
| R6P4 | Latitude | 15°54'37.40"S | Q205 Cj29 Recanto das Emas | 0,944 |
| | Longitude | 48° 3'59.40"O | | |
| R6P5 | Latitude | 15°54'46.74"S | Q205 Cj28 Recanto das Emas | 1,245 |
| | Longitude | 48° 4'2.74"O | | |
| R6P6 | Latitude | 15°54'56.51"S | Q205 Cj1 Recanto das Emas | 1,489 |
| | Longitude | 48° 3'59.42"O | | |



Figura 75 – Rota R6.

g) C1 - Rota Circular Urbana – 1 km do transmissor, com comprimento de 7,3 km.

| Pontos Fixos | Coordenadas | | Localização | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|-------------|----------------------|
| | C1P1 | Latitude | | |
| | Longitude | 48° 3'12.43"O | | |



Figura 76 – Rota Circular a 1 km.

h) **C2 - Rota Circular Urbana – 0,5 km do transmissor, com comprimento de 4,97 km.**

| Pontos Fixos | Coordenadas | | Localização | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|--|----------------------|
| | Latitude | Longitude | | |
| C2P1 | Latitude | 15°54'7.97"S | Comércio local em frente à Q 201 conjunto 12 | 0,415 a 0,653 |
| | Longitude | 48° 3'28.27"O | | |

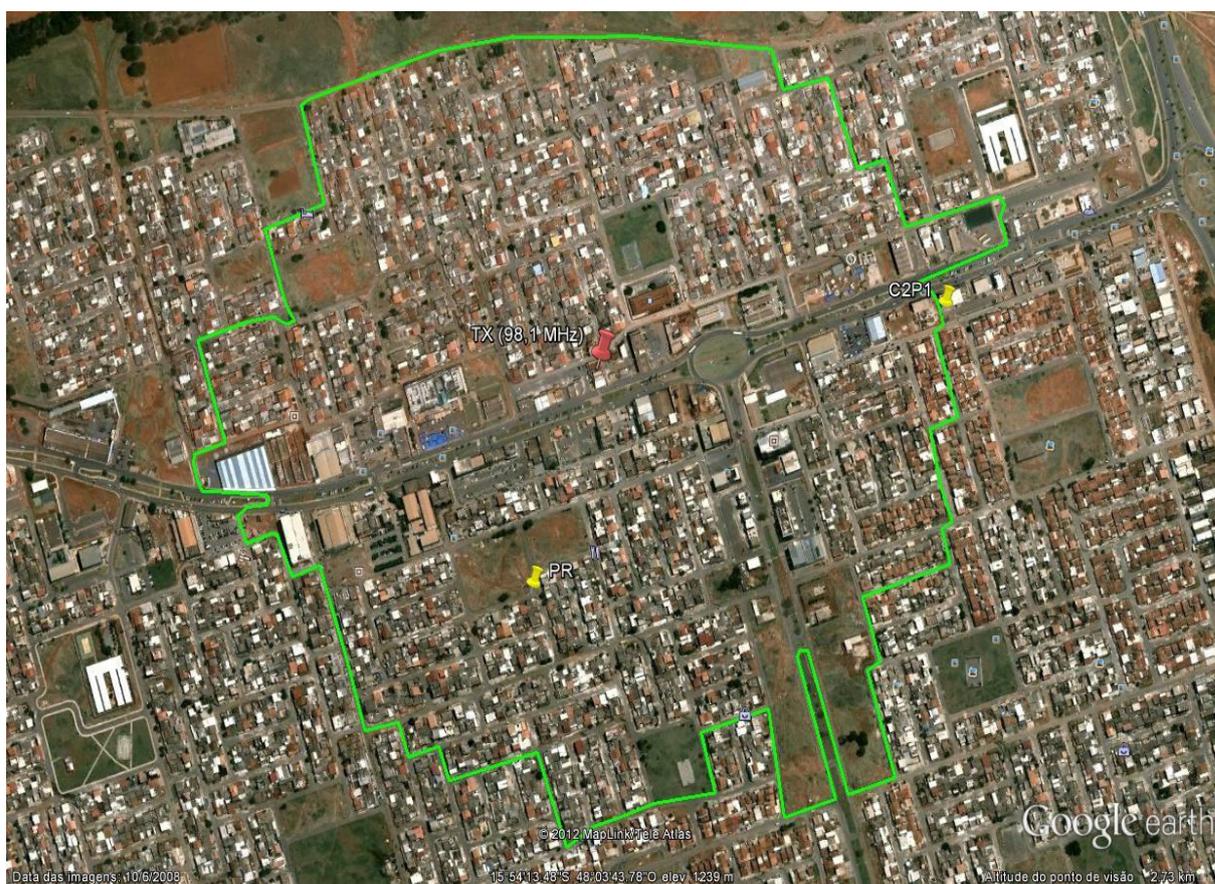


Figura 77 – Rota Circular a 0,5 km.

- i) **C3 - Rota Circular Urbana – 0,25 km do transmissor, com comprimento de 2,47 km.**

| Pontos Fixos | Coordenadas | | Localização | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|------------------|----------------------|
| | Latitude | Longitude | | |
| C3P1 | Latitude | 15°54'18.33"S | Q 203 conjunto 3 | 0,130 a 0,364 |
| | Longitude | 48° 3'39.94"O | | |



Figura 78 – Rota Circular a 0,25 km.

9 APENDICE 02 – Detalhes dos Pontos Fixos

Neste apêndice estão detalhadas as localizações dos pontos fixos utilizados no planejamento dos testes.

Tabela 37 – Detalhes dos Pontos Fixos.

| Ponto | Distância ao Transmissor (km) | Latitude | | | Longitude | | |
|---------------------|-------------------------------|----------|--------|---------|-----------|--------|---------|
| | | Grau | Minuto | Segundo | Grau | Minuto | Segundo |
| Ponto de Referência | 0,22 | -15 | 54 | -16,96 | -48 | 3 | 46,59 |
| R1P1 | 0,26 | -15 | 54 | 13,22 | -48 | 3 | 52,73 |
| R1P2 | 0,66 | -15 | 54 | 14,33 | -48 | 4 | 6,56 |
| R1P3 | 0,87 | -15 | 54 | 13,05 | -48 | 4 | 13,69 |
| R1P4 | 1,04 | -15 | 54 | 11,62 | -48 | 4 | 19,61 |
| R1P5 | 1,26 | -15 | 54 | 13,10 | -48 | 4 | 26,77 |
| R1P6 | 1,61 | -15 | 54 | 17,17 | -48 | 4 | 38,58 |
| R2P1 | 0,11 | -15 | 54 | 10,45 | -48 | 3 | 40,85 |
| R2P2 | 0,37 | -15 | 54 | 7,85 | -48 | 3 | 32,32 |
| R2P3 | 0,72 | -15 | 54 | 4,97 | -48 | 3 | 20,94 |
| R2P4 | 1,10 | -15 | 54 | 1,57 | -48 | 3 | 8,82 |
| R2P5 | 1,31 | -15 | 53 | 59,29 | -48 | 3 | 1,86 |
| R2P6 | 1,55 | -15 | 53 | 57,25 | -48 | 2 | 54,19 |
| R3P1 | 0,26 | -15 | 54 | 7,27 | -48 | 3 | 52,94 |
| R3P2 | 0,48 | -15 | 54 | 0,36 | -48 | 3 | 57,04 |
| R3P3 | 0,74 | -15 | 53 | 59,60 | -48 | 4 | 7,11 |
| R3P4 | 1,02 | -15 | 53 | 51,02 | -48 | 4 | 12,70 |
| R4P1 | 0,26 | -15 | 54 | 3,14 | -48 | 3 | 40,18 |
| R4P2 | 0,54 | -15 | 53 | 57,22 | -48 | 3 | 32,55 |
| R4P3 | 0,77 | -15 | 53 | 54,76 | -48 | 3 | 24,13 |
| R4P4 | 1,01 | -15 | 53 | 45,13 | -48 | 3 | 22,86 |
| R4P5 | 1,28 | -15 | 53 | 32,36 | -48 | 3 | 27,26 |
| R4P6 | 1,52 | -15 | 53 | 23,71 | -48 | 3 | 27,92 |
| R5P1 | 0,25 | -15 | 54 | 15,82 | -48 | 3 | 38,46 |

| | | | | | | | |
|------|------|-----|----|-------|-----|---|-------|
| R5P2 | 0,50 | -15 | 54 | 24,13 | -48 | 3 | 36,35 |
| R5P3 | 0,76 | -15 | 54 | 29,11 | -48 | 3 | 28,25 |
| R5P4 | 1,01 | -15 | 54 | 34,23 | -48 | 3 | 21,79 |
| R6P1 | 0,21 | -15 | 54 | 15,34 | -48 | 3 | 49,84 |
| R6P2 | 0,53 | -15 | 54 | 25,87 | -48 | 3 | 52,86 |
| R6P3 | 0,76 | -15 | 54 | 31,97 | -48 | 3 | 56,23 |
| R6P4 | 0,98 | -15 | 54 | 37,88 | -48 | 4 | 0,44 |
| R6P5 | 1,23 | -15 | 54 | 45,97 | -48 | 4 | 2,72 |

10 APENDICE 03 – Detalhes dos Resultados das Medições com o Sistema DRM+ em Pontos Fixos

Neste apêndice estão detalhados os resultados das medições em pontos fixos na campanha de medição com o sistema DRM+, nas modulações 4QAM e 16QAM.

Tabela 38 – Resultados de recepção estática DRM+ no modo 4QAM.

| Ponto | Distância ao Transmissor (km) | Qualidade de Áudio (%) | SNR Mediana (dB) | Intensidade de Campo Elétrico Mediano (dB μ V/m) |
|---------------------|-------------------------------|------------------------|------------------|--|
| Ponto de Referência | 0,22 | 99,0 | 30,6 | 80,71 |
| R1P1 | 0,26 | 100 | 28,7 | 76,85 |
| R1P2 | 0,66 | 100 | 15,8 | 63,51 |
| R1P3 | 0,87 | 100 | 13,5 | 62,39 |
| R1P4 | 1,04 | 100 | 7,5 | 55,29 |
| R1P5 | 1,26 | 100 | 8,0 | 58,03 |
| R1P6 | 1,61 | 89,2 | 0,5 | 49,81 |
| R2P1 | 0,11 | 99,5 | 33,9 | 96,99 |
| R2P2 | 0,37 | 100 | 30,0 | 81,09 |
| R2P3 | 0,72 | 100 | 20,1 | 68,05 |
| R2P4 | 1,10 | 100 | 8,7 | 54,44 |
| R2P5 | 1,31 | 98,1 | 9,0 | 56,62 |
| R2P6 | 1,55 | 100 | 5,4 | 53,64 |
| R3P1 | 0,26 | 99,1 | 30,9 | 80,94 |
| R3P2 | 0,48 | 100 | 20,5 | 68,21 |
| R3P3 | 0,74 | 99,0 | 10,2 | 58,09 |
| R3P4 | 1,02 | 100 | 6,7 | 57,20 |
| R4P1 | 0,26 | 100 | 25,5 | 72,65 |
| R4P2 | 0,54 | 100 | 17,2 | 65,41 |
| R4P3 | 0,77 | 100 | 13,7 | 62,30 |
| R4P4 | 1,01 | 100 | 9,3 | 58,17 |
| R4P5 | 1,28 | 100 | 8,5 | 57,80 |
| R4P6 | 1,52 | 44,3 | -0,2 | 49,00 |

| | | | | |
|------|------|-------|------|-------|
| R5P1 | 0,25 | 100 | 27,3 | 75,86 |
| R5P2 | 0,50 | 100 | 14,0 | 63,73 |
| R5P3 | 0,76 | 100,0 | 7,0 | 54,36 |
| R5P4 | 1,01 | 100 | 7,9 | 56,34 |
| R6P1 | 0,21 | 100 | 22,8 | 72,67 |
| R6P2 | 0,53 | 100 | 11,2 | 60,94 |
| R6P3 | 0,76 | 100 | 10,8 | 60,57 |
| R6P4 | 0,98 | 100,0 | 7,1 | 57,02 |
| R6P5 | 1,23 | 99,7 | 2,6 | 53,47 |

Tabela 39 – Resultados de recepção estática DRM+ no modo 16QAM.

| Ponto | Distância ao Transmissor (km) | Qualidade de Áudio (%) | SNR Mediana (dB) | Intensidade de Campo Elétrico Mediano (dBμV/m) |
|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| Ponto de Referência | 0,22 | 99,0 | 28,8 | 80,71 |
| R1P1 | 0,26 | 100 | 28,4 | 76,85 |
| R1P2 | 0,66 | 100 | 14,7 | 63,51 |
| R1P3 | 0,87 | 100 | 13,5 | 62,39 |
| R1P4 | 1,04 | 100 | 7,6 | 55,29 |
| R1P5 | 1,26 | 100 | 7,0 | 58,03 |
| R1P6 | 1,61 | 0,9 | 0,5 | 49,81 |
| R2P1 | 0,11 | 100 | 33,9 | 96,62 |
| R2P2 | 0,37 | 100 | 30,5 | 81,09 |
| R2P3 | 0,72 | 100 | 19,8 | 68,05 |
| R2P4 | 1,10 | 100 | 8,6 | 54,44 |
| R2P5 | 1,31 | 98,8 | 9,2 | 56,62 |
| R2P6 | 1,55 | 100 | 6,4 | 53,64 |
| R3P1 | 0,26 | 95,6 | 29,8 | 79,60 |
| R3P2 | 0,48 | 100 | 20,2 | 68,65 |
| R3P3 | 0,74 | 100 | 11,0 | 57,60 |
| R3P4 | 1,02 | 100 | 6,8 | 58,24 |
| R4P1 | 0,26 | 100 | 24,3 | 72,65 |

| | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| R4P2 | 0,54 | 100 | 17,3 | 65,41 |
| R4P3 | 0,77 | 100 | 12,9 | 62,30 |
| R4P4 | 1,01 | 100 | 7,9 | 58,17 |
| R4P5 | 1,28 | 100 | 8,9 | 57,80 |
| R4P6 | 1,52 | 1,4 | 0,6 | 49,00 |
| R5P1 | 0,25 | 100 | 28,0 | 75,86 |
| R5P2 | 0,50 | 100 | 14,3 | 63,73 |
| R5P3 | 0,76 | 100 | 6,8 | 54,36 |
| R5P4 | 1,01 | 100 | 7,3 | 56,34 |
| R6P1 | 0,21 | 100 | 24,2 | 72,67 |
| R6P2 | 0,53 | 100 | 12,2 | 60,94 |
| R6P3 | 0,76 | 100 | 11,5 | 60,57 |
| R6P4 | 0,98 | 100 | 7,2 | 57,02 |
| R6P5 | 1,23 | 79,0 | 2,9 | 53,47 |

Tabela 40 – Resultados do áudio FM para recepção estática.

| Ponto | Distância ao Transmissor (km) | Intensidade do Campo Elétrico Analógico Mediano (dBμV/m) | Qualidade do Áudio FM |
|---------------------|--------------------------------------|--|------------------------------|
| Ponto de Referência | 0,22 | 90,01 | 4,5 |
| R1P1 | 0,26 | 86,15 | 4,3 |
| R1P2 | 0,66 | 72,81 | 2,0 |
| R1P3 | 0,87 | 71,69 | 2,5 |
| R1P4 | 1,04 | 64,59 | 3,6 |
| R1P5 | 1,26 | 67,33 | 0,0 |
| R1P6 | 1,61 | 59,11 | 0,0 |
| R2P1 | 0,11 | 106,29 | 4,2 |
| R2P2 | 0,37 | 90,39 | 3,6 |
| R2P3 | 0,72 | 77,35 | 1,4 |
| R2P4 | 1,10 | 63,74 | 1,3 |
| R2P5 | 1,31 | 65,92 | 0,0 |
| R2P6 | 1,55 | 62,94 | 0,0 |

| | | | |
|------|------|-------|-----|
| R3P1 | 0,26 | 90,24 | 3,4 |
| R3P2 | 0,48 | 77,95 | 4,2 |
| R3P3 | 0,74 | 67,39 | 4,0 |
| R3P4 | 1,02 | 67,54 | 2,5 |
| R4P1 | 0,26 | 81,95 | 4,1 |
| R4P2 | 0,54 | 74,71 | 4,1 |
| R4P3 | 0,77 | 71,60 | 4,2 |
| R4P4 | 1,01 | 67,47 | 3,6 |
| R4P5 | 1,28 | 67,10 | 2,0 |
| R4P6 | 1,52 | 58,30 | 0,0 |
| R5P1 | 0,25 | 85,16 | 4,3 |
| R5P2 | 0,50 | 73,03 | 4,1 |
| R5P3 | 0,76 | 63,66 | 4,5 |
| R5P4 | 1,01 | 65,64 | 0,0 |
| R6P1 | 0,21 | 81,97 | 4,3 |
| R6P2 | 0,53 | 70,24 | 4,3 |
| R6P3 | 0,76 | 69,87 | 4,2 |
| R6P4 | 0,98 | 66,32 | 2,0 |
| R6P5 | 1,23 | 62,77 | 0,0 |

11 APENDICE 04 – Detalhes dos Resultados das Medições com o Sistema HD Radio em Pontos Fixos e em Mobilidade

Neste apêndice estão detalhados os resultados das medições em pontos fixos e em mobilidade na campanha de medição com o sistema HD Radio.

Tabela 41 – Resultados do HD Radio para recepção em pontos fixos.

| Pontos | Distância ao transmissor (km) | Rx_Mode | Campo Digital Mediano (dB μ V/m) | SNR Mediano (dB) | Campo Analógico Mediano (dB μ V/m) |
|---------------------|-------------------------------|---------|--------------------------------------|------------------|--|
| Ponto de Referência | 0,22 | 1 | 69,41 | 18,94 | 90,72 |
| R1P1 | 0,23 | 0/1 | 66,88 | 12,87 | 87,58 |
| R1P2 | 0,65 | 1 | 34,51 | 7,89 | 56,19 |
| R1P3 | 0,86 | 0/1 | 41,42 | 13,06 | 62,47 |
| R1P4 | 1,03 | 1 | 41,58 | 10,60 | 62,71 |
| R1P5 | 1,26 | 0/1 | 38,50 | 10,26 | 59,38 |
| R1P6 | 1,55 | 0 | 29,58 | 0,44 | 50,72 |
| R2P1 | 0,11 | 1 | 75,15 | 19,64 | 96,19 |
| R2P2 | 0,37 | 0/1 | 55,37 | 14,74 | 76,22 |
| R2P3 | 0,73 | 1 | 38,84 | 10,22 | 61,46 |
| R2P4 | 1,09 | 0 | 32,80 | 2,10 | 59,40 |
| R2P5 | 1,30 | 0/1 | 37,10 | 3,34 | 61,05 |
| R2P6 | 1,56 | 0 | 32,15 | -1,54 | 58,51 |
| R3P1 | 0,25 | 0/1 | 60,26 | 14,98 | 81,00 |
| R3P2 | 0,47 | 0/1 | 46,30 | 14,04 | 67,90 |
| R3P3 | 0,74 | 1 | 38,02 | 9,24 | 55,38 |
| R3P4 | 1,02 | 0/1 | 29,49 | 6,50 | 51,31 |
| R4P1 | 0,26 | 1 | 61,13 | 18,57 | 82,75 |
| R4P2 | 0,55 | 1 | 46,53 | 14,32 | 67,80 |
| R4P3 | 0,77 | 0/1 | 40,56 | 10,09 | 62,70 |
| R4P4 | 0,99 | 1 | 43,88 | 13,70 | 65,52 |
| R4P5 | 1,28 | 1 | 38,43 | 7,62 | 61,64 |

| | | | | | |
|------|------|-----|-------|--------|-------|
| R4P6 | 1,53 | 1 | 38,11 | 7,21 | 59,22 |
| R5P1 | 0,25 | 0/1 | 59,76 | 15,08 | 79,21 |
| R5P2 | 0,50 | 1 | 49,88 | 15,19 | 70,69 |
| R5P3 | 0,77 | 1 | 49,30 | 15,69 | 70,50 |
| R5P4 | 1,01 | 0/1 | 49,26 | 15,84 | 70,70 |
| R5P5 | 1,27 | 0 | 32,09 | -3,59 | 52,51 |
| R5P6 | 1,52 | 0/1 | 35,44 | 2,30 | 56,95 |
| R6P1 | 0,20 | 0/1 | 70,94 | 14,97 | 90,84 |
| R6P2 | 0,53 | 1 | 53,64 | 14,20 | 74,94 |
| R6P3 | 0,75 | 0/1 | 52,41 | 12,61 | 73,20 |
| R6P4 | 0,98 | 1 | 44,10 | 11,40 | 65,27 |
| R6P5 | 1,24 | 0/1 | 34,00 | 6,65 | 54,33 |
| R6P6 | 1,47 | 0 | 33,97 | -10,00 | 56,53 |

Tabela 42 – Resultados do áudio FM para recepção em pontos fixos.

| Ponto | Distância em relação ao transmissor (km) | Média Aritmética das Notas do receptor NKS | Média Aritmética das Notas do receptor TOSHIBA | Qualidade do Áudio FM |
|---------------------|---|---|---|------------------------------|
| Ponto de referência | 0,22 | 3,7 | 2,1 | 2,9 |
| R1P1 | 0,23 | 1,4 | 1,8 | 1,6 |
| R1P2 | 0,65 | 4,0 | 2,0 | 3,0 |
| R1P3 | 0,86 | 2,1 | 1,0 | 1,5 |
| R1P4 | 1,03 | 3,8 | 1,0 | 2,4 |
| R1P5 | 1,26 | 1,9 | 1,7 | 1,8 |
| R1P6 | 1,55 | 1,2 | 1,0 | 1,1 |
| R2P1 | 0,11 | 3,8 | 4,0 | 3,9 |
| R2P2 | 0,37 | 3,6 | 3,9 | 3,7 |
| R2P3 | 0,73 | 1,4 | 1,6 | 1,5 |

| | | | | |
|------|------|-----|-----|-----|
| R2P4 | 1,09 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| R2P5 | 1,30 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| R2P6 | 1,56 | 1,0 | 1,1 | 1,0 |
| R3P1 | 0,25 | 4,3 | 4,0 | 4,2 |
| R3P2 | 0,47 | 2,9 | 3,3 | 3,1 |
| R3P3 | 0,74 | 1,4 | 1,2 | 1,3 |
| R3P4 | 1,02 | 1,5 | 1,0 | 1,2 |
| R4P1 | 0,26 | 4,2 | 1,1 | 2,6 |
| R4P2 | 0,55 | 2,8 | 3,8 | 3,3 |
| R4P3 | 0,77 | 1,8 | 2,2 | 2,0 |
| R4P4 | 0,99 | 1,1 | 3,5 | 2,3 |
| R4P5 | 1,28 | 1,9 | 3,5 | 2,7 |
| R4P6 | 1,53 | 1,0 | 1,2 | 1,1 |
| R5P1 | 0,25 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| R5P2 | 0,50 | 3,8 | 2,8 | 3,3 |
| R5P3 | 0,77 | 3,9 | 4,2 | 4,0 |
| R5P4 | 1,01 | 3,2 | 3,7 | 3,4 |
| R5P5 | 1,27 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| R5P6 | 1,52 | 1,5 | 1,1 | 1,3 |
| R6P1 | 0,20 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| R6P2 | 0,53 | 4,0 | 3,7 | 3,8 |
| R6P3 | 0,75 | 3,8 | 4,0 | 3,9 |
| R6P4 | 0,98 | 3,4 | 2,0 | 2,7 |
| R6P5 | 1,24 | 3,7 | 4,0 | 3,9 |
| R6P6 | 1,47 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |

Tabela 43 – Resultados para recepção móvel.

| Percurso | Rota | Rx_Mode=1 (%) | SNR Mediano (dB) |
|-----------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|
| R1P1 a R1P6 | Radial 1 | 81,13 | 10,03 |
| R2P1 a R2P6 | Radial 2 | 56,22 | 6,67 |

| | | | |
|-------------|------------|-------|-------|
| R3P1 a R3P4 | Radial 3 | 96,14 | 12,52 |
| R5P1 a R5P6 | Radial 5 | 85,88 | 11,71 |
| R6P1 a R6P6 | Radial 6 | 89,14 | 12,90 |
| R4P1 a R4P6 | Radial 4 | 94,56 | 10,79 |
| C1P1 a C1P1 | Circular 1 | 76,45 | 9,58 |
| C2P1 a C2P1 | Circular 2 | 69,97 | 7,76 |
| C3P1 a C3P1 | Circular 3 | 99,99 | 17,47 |

12 APENDICE 05 – Procedimento para obtenção da Intensidade de Campo Elétrico Digital no Sistema HD Radio

O receptor profissional HD Radio registra a intensidade do campo elétrico da portadora do sinal analógico. No entanto não disponibiliza a intensidade de campo elétrico do sinal digital. Como a relação de proteção entre o sinal analógico e digital, definido para a transmissão simulcast com antenas separadas, não se mantém à medida que os sinais se propagam, variando de acordo com o ambiente, faz-se necessário o registro de medição do sinal digital em cada ponto de medida, para que a intensidade de campo elétrico possa ser calculada nesses pontos.

Este item descreve o procedimento utilizado para cálculo da intensidade de campo elétrico referente ao sinal digital. Antes do início dos testes oficiais, o engenheiro da empresa iBiquity sugeriu uma metodologia para a obtenção desse parâmetro, a qual se encontra descrita logo abaixo. No entanto, após análise da metodologia pela equipe técnica de medição, melhorias foram propostas, sendo essa metodologia modificada utilizada durante toda a campanha de medição. A seguir será detalhada a metodologia proposta pela iBiquity bem como as melhorias implementadas pela equipe técnica de medição.

I.1. Metodologia proposta pela iBiquity

A metodologia proposta pela iBiquity consiste nos seguintes passos:

- a) Escolher um raio entre 1 a 2 km do transmissor e traçar um círculo, conforme Figura

79

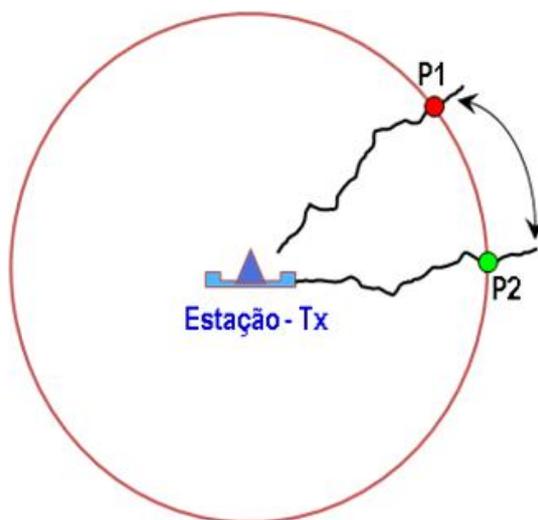


Figura 79 - Raio para determinação da relação de potência entre os sinais analógico e digital

- b) Escolher na direção de cada radial do planejamento da campanha de medição um ponto com visada direta, e em cada ponto escolhido capturar 6 (seis) telas (*print screen*) do analisador de espectro no modo ACPR (*Adjacent Channel Power Ratio*), sendo 5 (cinco) delas com detecção instantânea e uma no modo *average*.
- c) Por meio das cinco telas do analisador de espectro com detecção instantânea, calcular o valor do ACPR médio para cada banda lateral do sinal digital, ou seja, para suas bandas laterais superior e inferior, por meio da seguinte equação:

$$ACPR_{Avg} = 10 * \log_{10}(Z)$$

$$Z = \frac{10^{\frac{ACPR_1}{10}} + 10^{\frac{ACPR_2}{10}} + 10^{\frac{ACPR_3}{10}} + 10^{\frac{ACPR_4}{10}} + 10^{\frac{ACPR_5}{10}}}{5},$$

sendo ACPR_n o valor da medida de potência existente nos canais adjacentes, referente a cada print screen coletado com o analisador de espectro com detecção instantânea.

- d) Determinar a potência total do sinal digital por meio dos valores dos ACPR_{Avg} calculado para cada banda lateral, conforme equação abaixo:

$$Pot_{Total} = 10 * \log_{10} \left(10^{\frac{ACPR_{Avg}(Banda Superior)}{10}} + 10^{\frac{ACPR_{Avg}(Banda Inferior)}{10}} \right)$$

- e) De posse da última tela (print screen), obtida com o analisador de espectro no modo *average*, calcula-se a potência média total, da seguinte maneira

$$Pot_{Média Total} = 10 * \log_{10} \left(10^{\frac{ACPR_a}{10}} + 10^{\frac{ACPR_b}{10}} \right)$$

Sendo:

ACPR_a o valor ACPR da banda superior do sinal digital obtida com o analisador de espectro no modo *average*; e ACPR_b o valor ACPR da banda inferior do sinal digital obtida com o analisador de espectro no modo *average*.

- f) Por fim, calcula-se a diferença entre a potência média total e a potência total, que corresponde à diferença das potências recebidas entre o sinal analógico e digital, conforme equação abaixo:

$$Dif = Pot_{Média\ Total} - Pot_{Total}$$

- g) O valor de Dif pode, então, ser aplicado à intensidade de campo elétrico analógico para se obter o valor da intensidade de campo elétrico do sinal digital.

Pelo método proposto, o valor de Dif seria aplicado para toda a radial. No entanto, a relação de proteção dos sinais analógico e digital se altera de um ponto para outro, o que poderia prejudicar a análise final da campanha.

A seguir, um exemplo de cálculo proposto pela metodologia da iBiquity para obtenção da intensidade do campo elétrico digital é mostrado. Ressalta-se que os valores apresentados abaixo, apesar de obtidos durante testes realizados com o sistema HD Radio, não correspondem à emissora ora analisada.

Por meio da Tabela 44 é possível verificar passo a passo a aplicação de todas as equações acima, obtendo assim a diferença entre as intensidades de campo elétrico dos sinais analógico e digital. A Figura 80 até a Figura 84 correspondem a cinco pontos escolhidos na direção de uma radial.

Tabela 44 - Exemplo da metodologia proposta pela iBiquity

| Ponto | Banda | ACPR #1 | ACPR #2 | ACPR #3 | ACPR #4 | ACPR #5 | ACPR Avg | Potência Total | Potência Média | Potência Média Total | Diff |
|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|----------------|----------------|----------------------|---------|
| Ponto 1 | *USB | -7.2 | -3.6 | -10.5 | -3.5 | -8.1 | -5.791362373 | 0.106703546 | 1.5 | 5.20876 | 5.10205 |
| | **LSB | -7.2 | 4.2 | -5.6 | -4.7 | -4.3 | -1.184308992 | | 2.8 | | |
| Ponto 2 | USB | -10 | -10.6 | -10.6 | -9 | -8.2 | -9.574706489 | -6.379899235 | -4.8 | -1.63711 | 4.74278 |
| | LSB | -8.9 | -10.9 | -9.4 | -9.5 | -7.9 | -9.213212162 | | -4.5 | | |
| Ponto 3 | USB | -5.4 | -5.9 | -3.3 | -4 | -5.9 | -4.766894458 | -1.220976364 | 0 | 2.96058 | 4.18156 |
| | LSB | -5.2 | -4.6 | -1.9 | -3.4 | -4.5 | -3.754522858 | | -0.1 | | |
| Ponto 4 | USB | -2.7 | -4.4 | -3.3 | -2.3 | -3 | -3.084100564 | 0.319285974 | 5 | 8.01029 | 7.69101 |
| | LSB | -2.7 | -3.2 | -1.9 | -1.9 | -2.1 | -2.330571985 | | 5 | | |
| Ponto 5 | USB | -11.6 | -15 | -9.7 | -11.3 | -12.6 | -11.71284801 | -10.50124734 | -8 | -6.39626 | 4.10498 |
| | LSB | -16 | -16.6 | -18.5 | -16.9 | -15.7 | -16.63722094 | | -11.5 | | |

*Banda Lateral Superior

** Banda Lateral Inferior

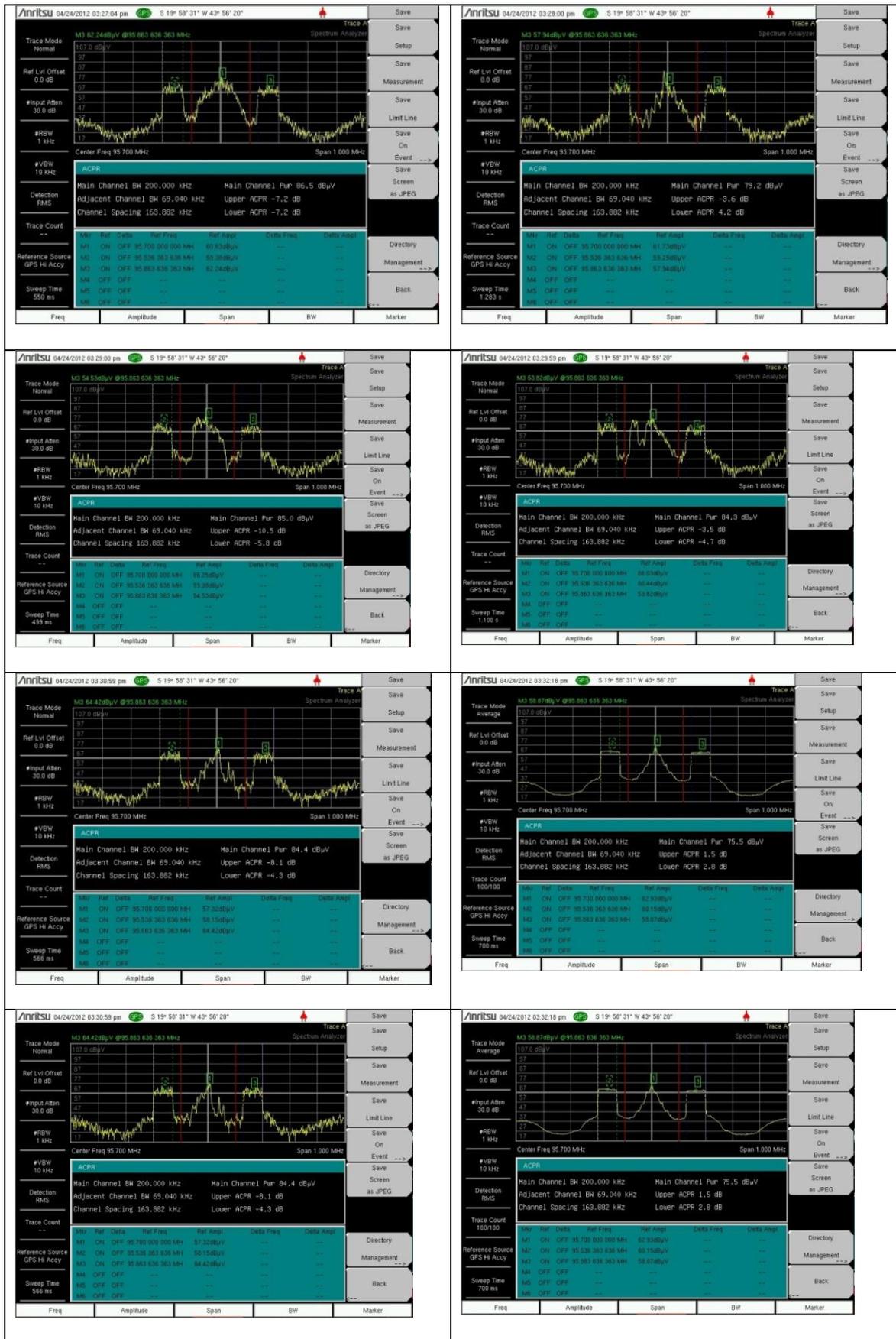


Figura 80 - Ponto 1: distância ao transmissor de 1060 m

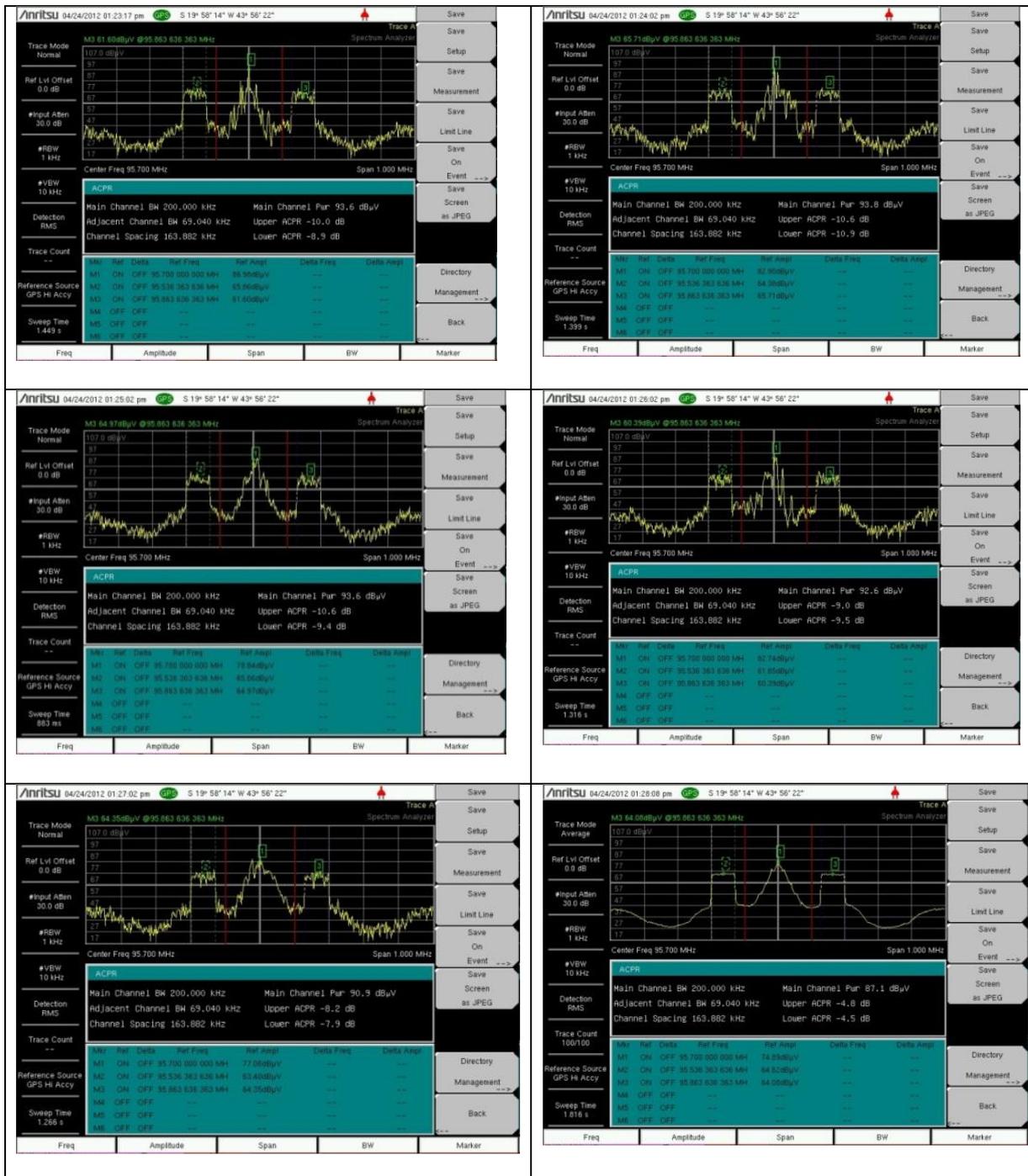


Figura 81 - Ponto 2: distância ao transmissor de 1100 m

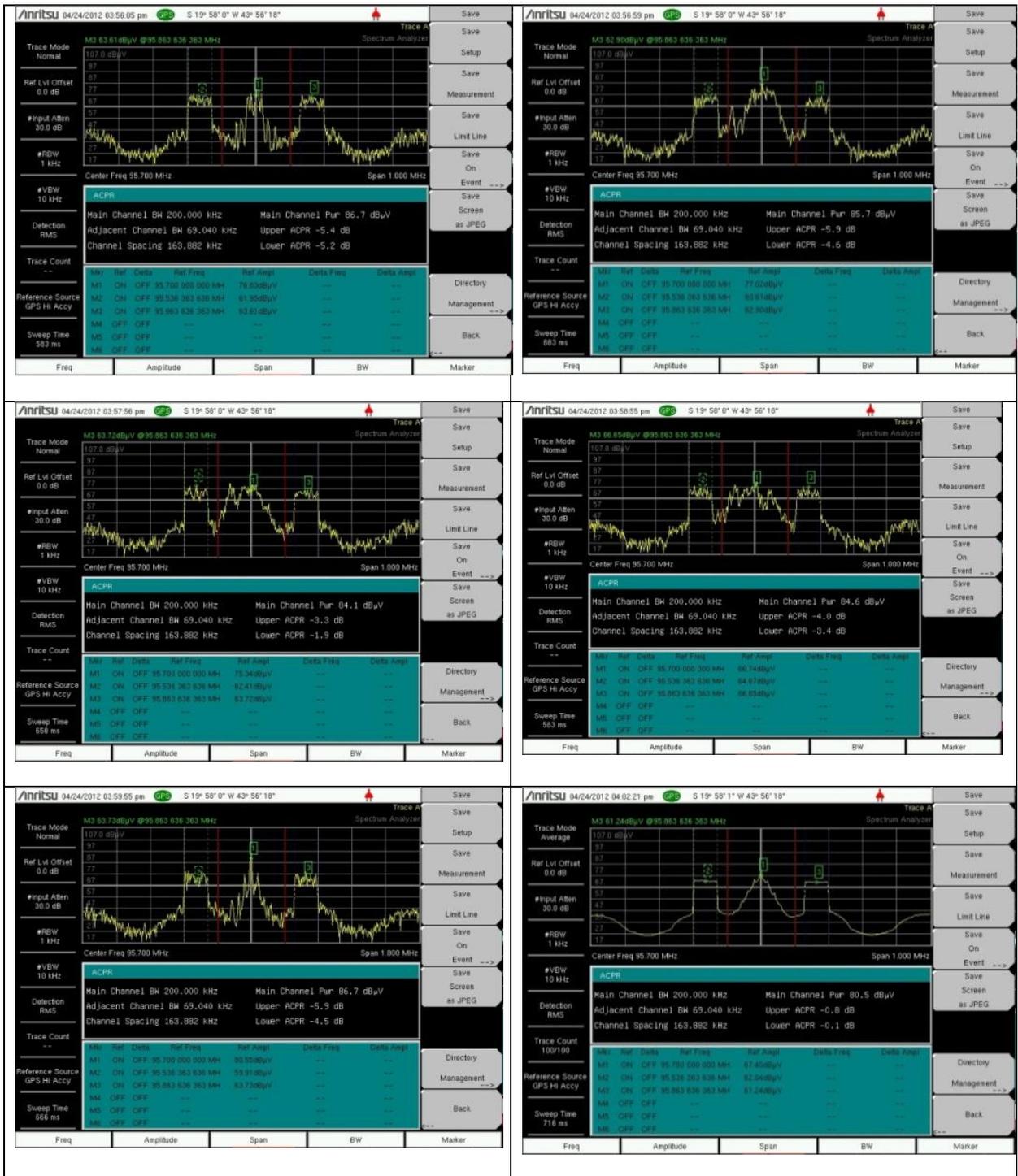


Figura 82 - Ponto 3: distância ao transmissor de 996 m

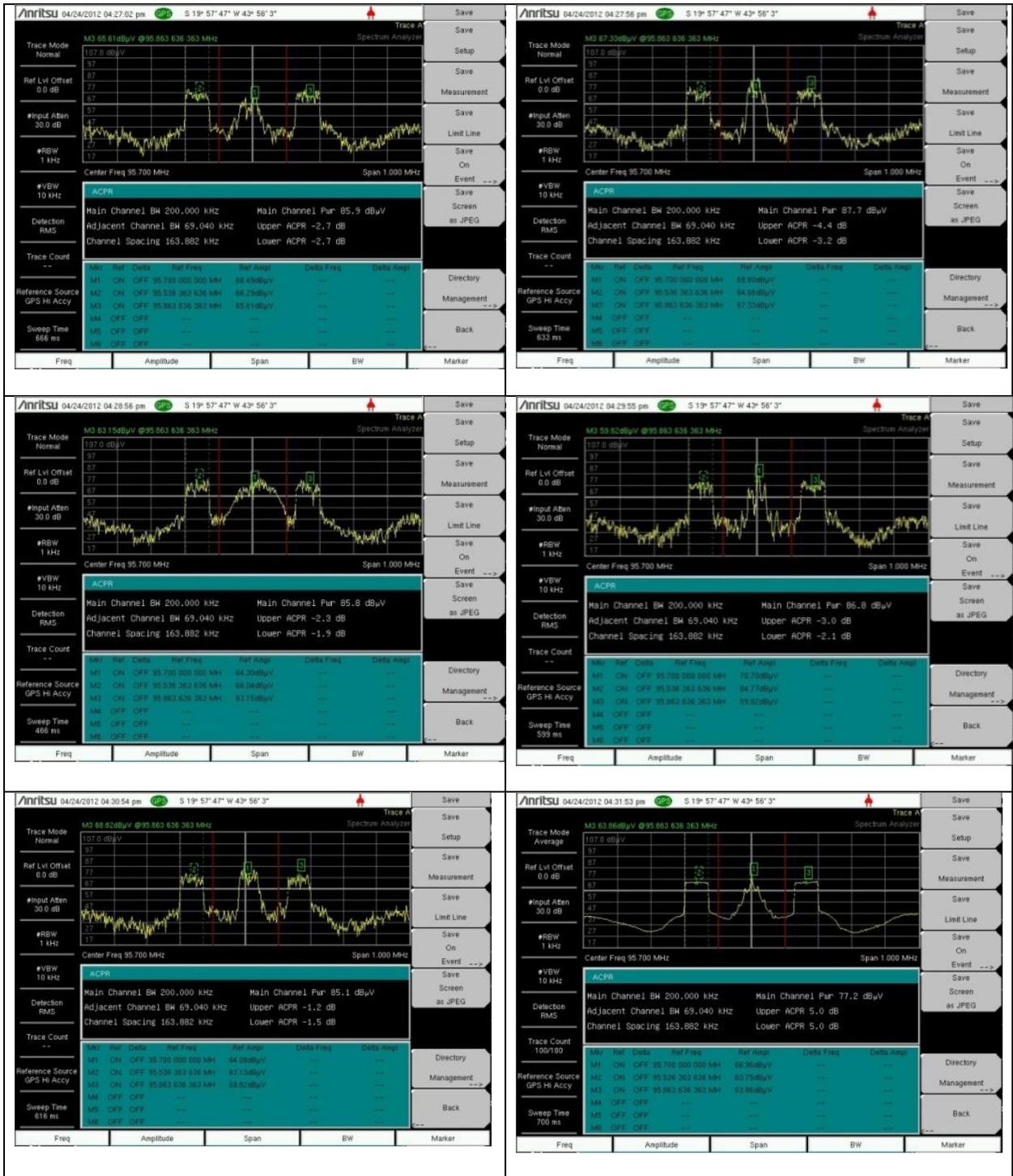


Figura 83 - Ponto 4: distância ao transmissor de 1134 m

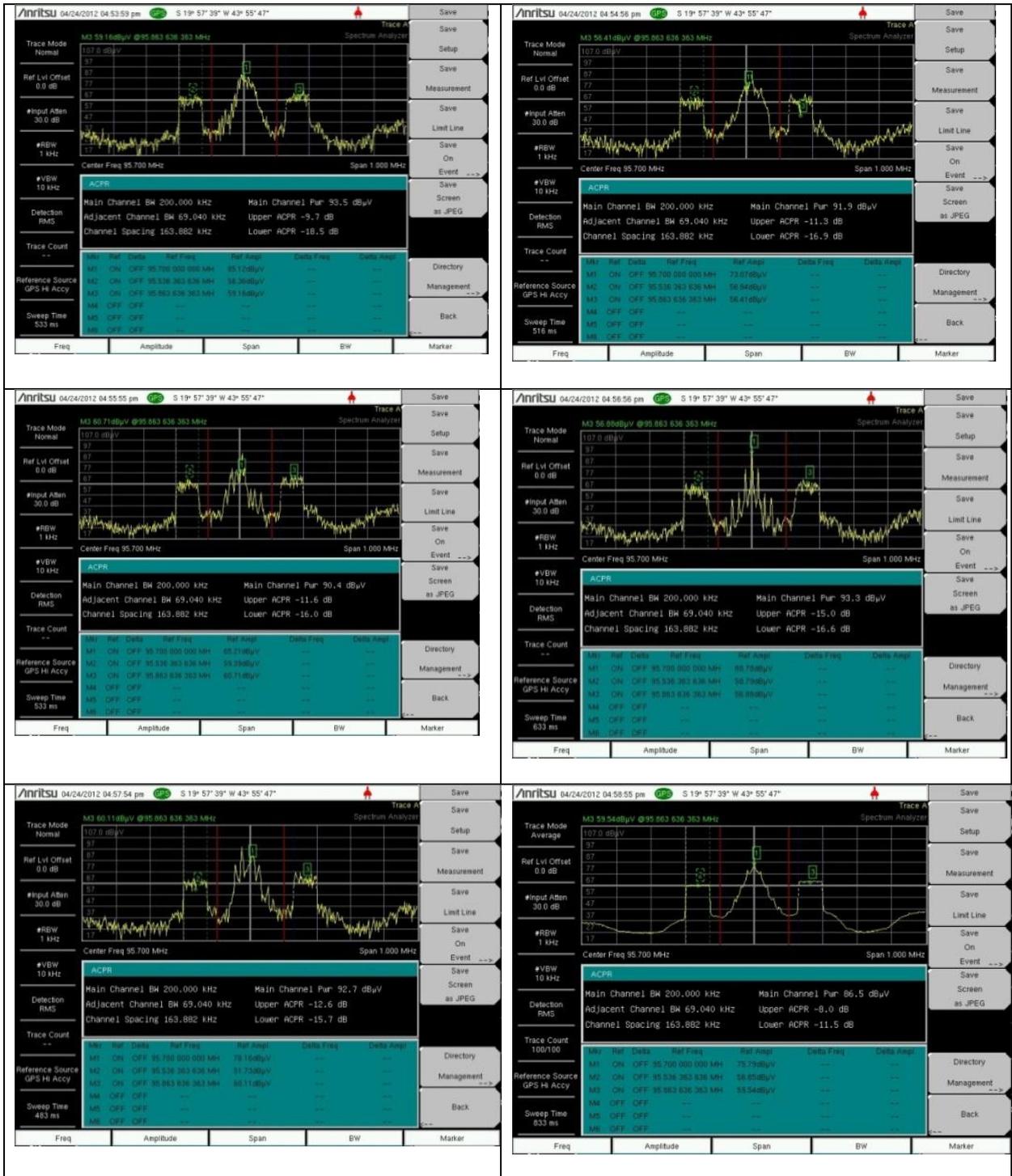


Figura 84 -Ponto 5: distância ao transmissor de 1150 m

III.2 Melhorias na Metodologia proposta pela iBiquity

Com o intuito de melhorar a metodologia proposta pela iBiquity foram realizadas as seguintes alterações:

- a) Um software de captura de traços do analisador de espectro foi desenvolvido pela equipe do Inmetro com a ferramenta MatLab. Assim, a cada 1,2 segundos, todas as informações da tela do analisador eram armazenadas em arquivo Excel para posterior processamento com o software desenvolvido. Assim, ao invés de ter cinco telas print screen com detecção instantânea em cada ponto, tem-se o equivalente a 150 telas num período de 3 (três) minutos de medição com o analisador de espectro com detecção instantânea e mais 3 (três) minutos de medição com o analisador no modo average, melhorando consideravelmente a precisão do valor Dif.
- b) O software HD Radio Profissional fornece os dados a cada 100 milissegundos. Assim na campanha móvel não foi possível sincronizar diretamente as amostras do software HD Radio Profissional com o analisador de espectro. Nesse caso, o valor mediano de cada 12 amostras do software HD Radio Profissional foi sincronizado com um traço do analisador de espectro.
- c) Para validar o item “b”, as intensidades de campo elétrico do sinal analógico oriundas do software HD Radio e do analisador de espectro foram comparadas e o erro ocorreu na décima casa decimal, sendo, portanto, considerado aceitável.

Com a automatização, foi possível determinar o valor da intensidade de campo elétrico digital em cada ponto fixo e em movimento, sendo, portanto, um método mais preciso do que o proposto pela iBiquity, que iria atribuir o valor Dif para toda a radial.

IV. Arquivo de Medição do Sistema HD Radio

Este apêndice apresenta uma parte do arquivo de medições (30 amostras) do ponto R1P1 com todos os campos coletados pelo software HD Prospector Field Test System do receptor profissional HD Radio. Em cada ponto fixo a medição coleta aproximadamente 3000 amostras. Na medição em mobilidade a quantidade de amostras depende da distância entre dois pontos fixos.

| Date (DD/MM/YY) | Time UTC -3 | Time (File Start) | Distance to TX | Latitude | Longitude | Validity | # Sat | Altitude (meters) | Speed (kph) | Track (degrees) | Freq | Analog FI dBuV | Rx Mode | AM/FM | Svc Mode | Acq Status | SIS CRC Status | Dig Aud Acq | Audio Pgms Avail | Current Pgm | DAAI | SIS Frm Acq Time | Audio Acq Time | Quality Indicator | SNR | Blend Count | Frame Count | Core Frame Errors | Enh Frame Errors |
|-----------------|-------------|-------------------|----------------|-----------|------------|----------|-------|-------------------|-------------|-----------------|----------|----------------|---------|-------|----------|------------|----------------|-------------|------------------|-------------|------|------------------|----------------|-------------------|-------|-------------|-------------|-------------------|------------------|
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 498 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.14 | 1041 | 54553 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 803 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.14 | 1041 | 54553 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 803 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54558 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 803 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54558 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 1000 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54562 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 1200 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54562 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 1305 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54566 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 1305 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54566 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 1401 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54571 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:37 | 1401 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54571 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 1499 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54575 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 1802 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54575 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 1802 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54579 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 1802 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54579 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 1999 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54583 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 2200 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54583 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 2307 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54588 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 2307 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.84 | 1041 | 54588 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 2401 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54592 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:38 | 2401 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54592 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:39 | 2500 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54596 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:39 | 2699 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54596 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:39 | 2803 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54601 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:39 | 2803 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54601 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:39 | 3099 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54605 | 114 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----------|------|-------------|-----------|------------|---|---|--------|---|-------|----------|----|---|---|---|---|---|---|----------|---|----|----|-----|----|-------|------|-------|-----|---|
| 04/06/2012 | 11:02:39 | 3200 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54605 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:39 | 3306 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54609 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:39 | 3306 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54609 | 114 | 0 |
| 04/06/2012 | 11:02:39 | 3401 | 0.234809846 | -15.90354 | -48.064482 | 2 | 9 | 1234.7 | 0 | 254.8 | 98.1 MHz | 75 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10000000 | 0 | 15 | 24 | 119 | 15 | 17.82 | 1041 | 54614 | 114 | 0 |