



Serviço Público Federal

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

NOTA TÉCNICA

Número: Dimci/Ditel/026/2012

Referência: Medições de Campo do Sistema HD Radio na Faixa de AM em São Paulo com a Rádio CBN AM

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO.....	1
SUMÁRIO EXECUTIVO	4
1. INTRODUÇÃO	8
2. SISTEMA DE TRANSMISSÃO	8
2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO	8
2.2. PARÂMETROS DE TRANSMISSÃO	11
3. EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA DE MEDIÇÃO.....	11
3.1. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.....	11
3.2. PARÂMETROS DE MEDIÇÃO	16
3.3. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO.....	17
3.4. PLANEJAMENTO DAS ROTAS.....	18
4. RESULTADOS DOS TESTES.....	20
4.1. COMPARAÇÃO DA INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO DO SINAL ANALÓGICO MEDIDA COM A PREVISÃO TEÓRICA.....	20
4.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL COM RECEPTOR PROFISSIONAL.....	23
4.2.1. VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS OBTIDOS NAS CAMPANHAS DE MEDIDAS.....	23
4.2.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DIURNA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO ESTÁTICA ...	24
4.2.3. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA NOTURNA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO ESTÁTICA	29
4.2.4. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DIURNA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO MÓVEL	32
4.2.5. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA NOTURNA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO MÓVEL	36
4.3. AVALIAÇÃO OBJETIVA DO ÁUDIO DIGITAL DE RECEPTORES COMERCIAIS.....	38
4.3.1. .. AVALIAÇÃO DO ÁUDIO DIGITAL DE RECEPTOR COMERCIAL NAS MEDIÇÕES ESTÁTICAS DIURNAS	38
4.3.2. AVALIAÇÃO DO ÁUDIO DIGITAL DE RECEPTOR COMERCIAL NAS MEDIÇÕES ESTÁTICAS NOTURNAS	40
4.4. RESULTADOS DA RECEPÇÃO ANALÓGICA AM	41
4.4.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA EM RECEPÇÃO ESTÁTICA DIURNA.....	41
4.4.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA EM RECEPÇÃO ESTÁTICA NOTURNA.....	44
4.4.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DA RECEPÇÃO DIURNA DOS ÁUDIOS ANALÓGICO E DIGITAL	45
4.4.4. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DA RECEPÇÃO NOTURNA DOS ÁUDIOS ANALÓGICO E DIGITAL	47
APÊNDICE.....	50
I. SISTEMA HD RADIO.....	50
I.1. HISTÓRICO E PADRONIZAÇÃO	50
I.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA HD RADIO	52
I.3. SUBSISTEMA DE TRANSMISSÃO RF.....	52
I.4. SUBSISTEMA DE TRANSPORTE E SERVIÇO MULTIPLEX.....	53
I.5. SUBSISTEMA DE ENTRADA DE ÁUDIO E DADOS.....	53
I.5.1. ENTRADAS DE ÁUDIO	53
I.5.2. ENTRADAS DE DADOS	54
I.5.3. ENTRADAS DE DADOS DE SERVIÇO DO PROGRAMA (PSD)	54
I.5.4. ENTRADAS DO SERVIÇO DE INFORMAÇÃO DA ESTAÇÃO	54
I.5.5. ENTRADAS DE OUTROS DADOS.....	55
I.6. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO/RF IBOC NA BANDA DE AM	55

I.6.1.	CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO	56
I.6.2.	INTERFACE DA CAMADA 1	57
I.6.3.	CANAIS LÓGICOS	57
I.7.	CODIFICAÇÃO DO CANAL	57
I.7.1.	EMBARALHAMENTO(“SCRAMBLING”).....	57
I.7.2.	CODIFICAÇÃO DE CANAL (“CHANNEL ENCODING”).....	57
I.7.3.	ENTRELAÇAMENTO (“INTERLEAVING”).....	57
I.8.	PROCESSAMENTO DE CONTROLE DO SISTEMA	58
I.9.	MAPEAMENTO E MODULAÇÃO DA SUBPORTADORA	59
I.10.	TRANSMISSÃO	60
I.11.	ESPECTRO E LIMITES DE EMISSÃO PARA O SISTEMA IBOC NA BANDA DE AM	61
I.11.1.	MODO HÍBRIDO	61
I.11.2.	MODO DIGITAL TOTAL	65
II.	RESULTADOS TABELADOS	67
II.1.	DETALHES DAS ROTAS UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES HD RADIO	67
II.2.	DETALHES DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES HD RADIO	68
III.	PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DA INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO DIGITAL	72
III.1.	METODOLOGIA PROPOSTA PELA IBIQUITY	72
III.2.	MELHORIAS NA METODOLOGIA PROPOSTA PELA IBIQUITY.....	73
BIBLIOGRAFIA.....		75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas da emissora CBN AM e transmissões analógica e digital.....	9
Tabela 2 – Modo de transmissão do HD Radio utilizado durante os testes	11
Tabela 3 – Características técnicas dos dispositivos e equipamentos de medição.....	14
Tabela 4 – Descrição dos parâmetros de medição do software HD Radio.....	15
Tabela 5 – Parâmetros de Avaliação	17
Tabela 6 – Descrição das rotas.....	19
Tabela 7 – Parâmetros de entrada do modelo de predição de intensidade de campo.....	21
Tabela 8 – Medições descartadas	24
Tabela 9 – Resultados da recepção estática nas rotas radiais e circulares no período diurno	26
Tabela 10 – Resultados da recepção estática noturna nas rotas radiais e circulares	30
Tabela 11 – Resultados da recepção móvel nas rotas radiais da Rádio CBN AM, período diurno	34
Tabela 12 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares da Rádio CBN AM, período diurno	35
Tabela 13 – Resultados da recepção móvel noturna nas rotas radiais.....	37
Tabela 14 – Resultados da recepção móvel noturna nas rotas circulares.....	38
Tabela 15 – Medições fixas com receptores comerciais, período diurno.....	38
Tabela 16 – Medições fixas noturnas com receptores comerciais	40
Tabela 17 – Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284	42
Tabela 18 – Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho	42
Tabela 19 – Resultados do áudio analógico em recepção estática, período diurno.....	43
Tabela 20 – Resultados do áudio analógico em recepção estática, no período noturno.....	45
Tabela 21 – Resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática diurna.....	46
Tabela 22 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática diurna	47
Tabela 23 – Resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática noturna.....	48
Tabela 24 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática noturna	49

Tabela II.1 – Detalhes da localização dos pontos de medições HD Radio	67
Tabela II.2 – Detalhes dos trechos para medições móveis	68
Tabela II. 3 – Resultados do HD Radio para recepção diurna em pontos fixos	69
Tabela II. 4 – Resultados do HD Radio para recepção noturna em pontos fixos	69
Tabela II.5 – Resultados do áudio AM para recepção diurna em pontos fixos	70
Tabela II.6 – Resultados do áudio AM para recepção noturna em pontos fixos	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do centro de transmissão da Rádio CBN AM.....	8
Figura 2 – Diagrama de bloco do sistema de transmissão	9
Figura 3 – Visão do transmissor (Harris) e do processador de áudio (Orban)	10
Figura 4 – Detalhe do transmissor Harris.....	10
Figura 5 – Torre da rádio CBN	11
Figura 6 – (a) Laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro e detalhe da antena; (b) equipamentos de medição	12
Figura 7 – Diagrama dos equipamentos de medição.....	13
Figura 8 – Antena de recepção.....	13
Figura 9 – Tela do programa do receptor HD Radio.....	14
Figura 10 – Espectro registrado no ponto R2P1.....	15
Figura 11 – Receptores analógicos comerciais NKS (esq.) e TOSHIBA (dir.)	16
Figura 12 – Receptores digitais comerciais SONY (esq.) e JVC (dir.).....	16
Figura 13 – Receptor digital profissional HD Radio.....	16
Figura 14 – Ponto de transmissão da Rádio CBN AM, com indicação dos pontos cardeais	18
Figura 15 – Rotas radiais (em azul) acrescidas das rotas circulares (em vermelho) utilizadas nos testes com a Rádio CBN AM	19
Figura 16 – Mapa de condutividade elétrica do solo para a região de São Paulo	20
Figura 17 – Contorno de serviço diurno da emissora CBN	21
Figura 18 – Contorno de serviço noturno da emissora CBN	22
Figura 19 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico diurno ..	22
Figura 20 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico noturno	23
Figura 21 – Resultados da recepção diurna em pontos fixos ilustrados no mapa	25
Figura 22 – Resultados da recepção em pontos fixos apresentados em detalhe.....	26
Figura 23 – Porcentagem de modos de recepção do áudio digital nos pontos fixos durante o tempo de medição, período diurno	27
Figura 24 – Resultados da recepção estática diurna do sinal digital	28
Figura 25 – Resultados da recepção estática diurna do sinal digital	28

Figura 26 – Resultados da recepção noturna em pontos fixos ilustrados no mapa	29
Figura 27 – Resultados da recepção estática noturna em pontos fixos ilustrados no mapa em detalhe	29
Figura 28 – Porcentagem de modos de recepção do áudio digital nos pontos fixos durante o tempo de medição, no período noturno	30
Figura 29 – Resultados da recepção estática noturna do sinal digital	31
Figura 30 – Resultados da recepção estática noturna do sinal digital.	32
Figura 31 – Parâmetro Rx_Mode registrado nas medições diurnas em mobilidade	33
Figura 32 – Detalhe do registro do Rx_Mode na área urbana de São Paulo.....	34
Figura 33 – Parâmetro Rx_Mode registrado nas medições noturnas em mobilidade	36
Figura 34 – Recepção móvel noturna na rota circular C8.....	37
Figura 35 – Resultado do tipo de áudio recebido pelo receptor SONY nas medições fixas diurnas	39
Figura 36 – Resultado do tipo de áudio recebido pelo receptor JVC nas medições fixas diurnas	39
Figura 37 – Resultado do tipo de áudio recebido pelo receptor SONY nas medições fixas noturnas	40
Figura 38 – Resultado do tipo de áudio recebido pelo receptor JVC nas medições fixas noturnas	41
Figura 39 – Avaliação subjetiva do áudio analógico AM da Rádio CBN, período diurno	42
Figura 40 – Recepção estática do áudio analógico no mapa, período diurno	43
Figura 41 – Avaliação subjetiva do áudio analógico AM da Rádio CBN, período noturno.	44
Figura 42 – Recepção estática do sinal analógico no mapa, no período noturno, dentro do raio de 28 km.	44
Figura 43 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital das medições diurnas	46
Figura 44 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital das medições noturnas	48
Figura I. 1 – Sistema de radiodifusão digital IBOC	53
Figura I. 2 – Implementação do padrão de radiodifusão digital IBOC NRSC-5 na banda AM..	55
Figura I. 3 – Diagrama em blocos do subsistema de transmissão/RF	56

Figura I. 4 – Diagrama em blocos funcional da Camada 1 da interface aérea na banda de AM com detalhes ilustrativos do fluxo de dados.....	56
Figura I. 5 – Diagrama em blocos conceitual do entrelaçamento (“interleaving”)	58
Figura I. 6 – Diagrama conceitual do processamento de controle do sistema.....	58
Figura I. 7 – Diagrama em blocos funcional de mapeamento de subportadora OFDM.....	59
Figura I. 8 – Diagrama em blocos funcional do subsistema de transmissão híbrido	60
Figura I. 9 – Espectro de IBOC AM híbrido (configuração de 5 kHz áudio)	61
Figura I. 10 – Espectro de IBOC AM híbrido (configuração de 8 kHz áudio)	62
Figura I. 11 – Espectro de IBOC AM híbrido (configuração de largura de faixa digital reduzida)	62
Figura I. 12 – Limites de emissão espectral para o sistema IBOC AM híbrido.....	63
Figura I. 13 – Limites de emissão espectral para o sistema IBOC AM híbrido.....	64
Figura I. 14 – Limites de emissão espectral para o sistema IBOC AM híbrido.....	64
Figura I. 15 – Espectro de IBOC AM no modo digital total	65
Figura I. 16 – Espectro de IBOC AM no modo digital total (configuração com largura de faixa digital reduzida)	66
Figura I. 17 – Limites de emissão espectral para o sistema IBOC AM digital total	66

Apresentação

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

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

Posteriormente, em junho de 2011, foi publicado um novo Chamamento Público, Ato de Chamamento Público n.º 01/2011, de 13 de junho de 2011, ampliando assim o prazo para a realização de testes com Rádio Digital.

A empresa *iBiquity Digital Corporation*, a partir do Chamamento Público, apresentou o sistema de Rádio Digital HD Radio para testes no Brasil. Os testes foram realizados por meio do esforço conjunto e da cooperação entre diversas entidades como 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 coordenação do Ministério das Comunicações, por meio da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica, e com apoio da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações).

O presente trabalho relata os testes do sistema HD Radio com a emissora de radiodifusão sonora CBN AM em São Paulo / SP. A transmissão híbrida da CBN AM foi realizada no período de 30 de junho a 09 de julho de 2012, no qual foram realizados testes diurnos e noturnos.

Para a realização dos testes, foi instalado um excitador HD Radio na estação da Rádio Excelsior LTDA (Rádio CBN AM) em São Paulo, equipamento esse que, acoplado junto ao transmissor linear usado para a transmissão analógica, foi usado para a transmissão do sinal digital, constituindo um sinal híbrido com o sinal AM analógico, ambos transmitindo a mesma programação.

A realização desses testes foi autorizada pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) por meio do Ato Nº 6.458, de 22 de setembro de 2011, sob a classificação de Serviço Especial para Fins Científicos ou Experimentais.

Este documento tem como objetivo oferecer a fundamentação técnica de futuros trabalhos para apoio à elaboração de Normas e Regulamentos dos Serviços de Radiodifusão.

Coordenação dos trabalhos

Coordenação-Geral de Avaliação de Outorgas (CGOU) do Departamento de Acompanhamento e Avaliação (DEAA) da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica (SCE) do Ministério das Comunicações (MC)

Entidades executantes

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (CSF)

Equipe de engenheiros e técnicos do Ministério das Comunicações que participaram dos testes

Engenheiros e técnicos do Departamento de Acompanhamento e Avaliação (DEAA)
Engenheiros da Coordenação-Geral de Radiodifusão Comunitária (CGRC) do Departamento de Outorga de Serviços de Comunicação Eletrônica (DEOC), da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica (SCE)
Engenheiros da Delegacia Regional do Ministério das Comunicações em São Paulo (DRMC-SP)

Equipe de engenheiros e técnicos do Inmetro que participaram dos testes

Augusto Pereira da Soledade
Jaci Rodrigues Nascimento Junior
João Alfredo Cal Braz
Tiago de Pina Almeida
Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos
Winicius Rosa Evangelista

Equipe de engenheiros e técnicos da Rádio CBN AM

Nilton Correia da Silva Gomes

Locais dos testes

São Paulo / SP

Emissora envolvida

Rádio Excelsior LTDA (Rádio CBN AM – SP)

Instituições de Ensino e Pesquisa envolvidas

Universidade de Brasília – UnB
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Universidade Federal do Pará – UFPA
Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC / Rio

Entidades internacionais parceiras

iBiquity Digital Corporation



Responsáveis pela Análise dos Dados

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

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

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

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

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

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

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

Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos, PhD (Inmetro): Doutor em Eletromagnetismo Aplicado.

João Alfredo Cal Braz, MSc (Inmetro): Mestre em Sistemas de Telecomunicações, doutorando em Sistemas de Comunicações.

Sumário Executivo

Neste documento são apresentados os resultados dos testes feitos com a emissora Rádio Excelsior LTDA (Rádio CBN 780 AM), em São Paulo/SP, nos períodos diurno e noturno, com a tecnologia HD Radio na faixa de frequência de Ondas Médias (faixa AM). O objetivo dos testes era avaliar a área de cobertura do sinal digital comparada à cobertura do sinal analógico, bem como a robustez do sistema em diversos ambientes, de forma a verificar o funcionamento do mesmo diante da realidade brasileira.

Os testes foram conduzidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) com a colaboração da emissora Rádio CBN AM e da empresa iBiquity Digital Corporation e o apoio da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), com a supervisão do Ministério das Comunicações (MC).

O sistema de transmissão estava localizado na região metropolitana de São Paulo. O sinal digital HD Radio foi transmitido no modo híbrido com amplificação comum, utilizando um único transmissor, com separação de $\pm 10,356$ kHz entre a portadora do sinal analógico AM e as portadoras do sinal digital HD Radio nas sub-bandas laterais inferior e superior. Nos testes diurnos, a potência utilizada no transmissor para o sinal analógico foi de 43 kW e, para o sinal digital, de 430 W. Nos testes noturnos, a potência utilizada no transmissor para o sinal analógico foi de 10 kW e, para o sinal digital, de 100 W. A relação de proteção (relação de potência EIRP entre os sinais analógico e digital) foi de 20 dB.

Em sua configuração AM, o sistema HD Radio transmite o sinal digital com qualidade de áudio estéreo. Na recepção, a qualidade final do áudio para o ouvinte vai depender da capacidade do receptor em decodificar o sinal com qualidade mono ou estéreo. Entretanto, caso os critérios mínimos de recepção não forem atingidos no momento da decodificação do sinal, o sistema realiza um mecanismo chamando *blend*, que é a comutação para o sinal analógico e o processo inverso, ou seja, a comutação para o sinal digital novamente.

Considerando que o processamento digital insere um atraso no sinal transmitido, o áudio digital naturalmente fica defasado em relação ao analógico, independentemente da existência de *blends*, podendo essa diferença entre os áudios (que nos testes observou-se ser de aproximadamente 8 segundos) ser amenizada atrasando-se o sinal analógico em relação ao digital no transmissor.

Durante os testes, foram realizadas medidas de recepção estática e móvel, em dois tipos de rotas, a saber: rotas radiais, nas quais a viatura se afastava do ponto de transmissão, e rotas circulares, nas quais a viatura se deslocava em um mesmo ambiente (urbano, urbano denso), evitando se afastar do transmissor. As rotas radiais foram planejadas para avaliar a área de cobertura dos sinais analógico e digital, enquanto que as rotas circulares foram utilizadas para avaliar a recepção em diferentes ambientes.

A avaliação da recepção estática foi feita por meio do registro da recepção digital em cada ponto de medição das rotas radiais e circulares, nos períodos diurno e noturno, com receptores profissional e comerciais digitais. Para fins de auxílio na comparação entre as áreas de cobertura dos sinais digital e analógico, foram ainda realizadas medições estáticas da recepção analógica, nos mesmos pontos, com receptores AM comerciais.

Já as medições em mobilidade foram realizadas com o receptor profissional, nos períodos diurno e noturno, para verificar a decodificação do sinal digital com qualidade estéreo e mono, as ocorrências de *blends* e a estimativa da área de cobertura digital em cada uma das rotas, as quais são divididas em trechos entre pontos fixos.

Durante as medições, o áudio gravado com o receptor profissional permitiu ao ouvinte notar a existência de *blends*, estando o áudio analógico sempre adiantado em relação ao digital, já que no centro de transmissão não houve nenhum processo de atraso do áudio analógico.

As medições de intensidade de campo elétrico do sistema analógico foram comparadas com valores teóricos para fins de validação. De uma forma geral, os valores medidos em ambas as campanhas, diurna e noturna, estiveram inferiores aos valores obtidos com os modelos de predição considerados. As diferenças observadas entre os valores medidos e os previstos devem-se ao fato de que esses modelos de predição não consideram as irregularidades do terreno e a ocupação urbana. Além disso, as curvas teóricas foram calculadas com parâmetros fixos de condutividade e de permissividade do solo. Na prática, esses dois parâmetros podem variar bastante ao longo do terreno.

Em relação às medições estáticas na campanha diurna, com a utilização do receptor profissional, foram realizadas 27 medições em toda a região, havendo decodificação do sinal digital em 21 pontos (78%), decodificação do sinal digital com alternância para o áudio analógico em 2 pontos (7%) e não decodificação do sinal digital em 4 pontos (15%). Considerando apenas a área dentro do contorno protegido diurno da emissora, de 45 km de raio a partir do transmissor, houve 25 medições, e adotando as situações de recepção mostradas anteriormente, os respectivos percentuais foram 21 (84%), 2 (8%) e 2 (8%).

Ainda considerando essas medições, o limiar de intensidade de campo elétrico digital ficou compreendido na faixa de 60 dB μ V/m a 65 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 HD Radio é respeitado. Quanto à SNR, não houve decodificação do áudio digital com valores iguais ou inferiores a 9 dB. Acima de 19 dB, a decodificação do áudio digital ocorreu em todos os pontos. Entretanto, como no intervalo entre 9 dB e 19 dB houve poucos pontos registrados, não foi possível definir um limiar preciso de SNR para a recepção estática com o sistema HD Radio no período diurno no ambiente testado.

Nas rotas radiais, os resultados obtidos nos pontos fixos foram muito bons dentro do raio de 22 km a partir do transmissor, pois quase todos registraram decodificação do sinal digital, exceto os pontos da direção sudoeste da antena transmissora, na rota R6. Nessa rota, o ponto R6P02 obteve recepção mista, isto é, com alternância para o áudio analógico, e o ponto R6P03 não teve decodificação do sinal digital. Atribui-se isso ao fato de esses pontos estarem localizados em uma região altamente industrializada e com grande tráfego de veículos pesados.

Já nas medições estáticas com receptores comerciais, foram usados um receptor de mesa da marca SONY e um receptor automotivo JVC, que possuem o mecanismo *blend*, para avaliar o áudio digital. Utilizando-se o critério de ocorrência ou não de *blends* no áudio gravado durante medições estáticas diurnas, obteve-se, dentro do contorno protegido diurno de 45 km, recepção puramente digital com o receptor SONY em 68% dos locais e em 92% com o receptor JVC. Em relação ao limiar diurno de intensidade de campo elétrico para recepção digital, verificou-se que para o receptor SONY esse valor ficou entre 68 dB μ V/m e 70 dB μ V/m, enquanto que para o

JVC, ficou entre 60 dB μ V/m e 62 dB μ V/m, respeitando-se o limiar necessário de SNR do sistema HD Radio para recepção.

Na análise da recepção estática analógica diurna, dois receptores AM comerciais, um da marca NKS e outro da marca TOSHIBA, foram utilizados para auxiliar na verificação da área de cobertura do sinal analógico. Para avaliar a qualidade da recepção do áudio analógico, utilizou-se a seguinte classificação: “Recepção Boa” (áudio com presença de ruído, desde imperceptível a leve), “Recepção Pobre” (presença de ruído ao ponto da informação tornar-se ininteligível) e “Recepção Ruim” (somente ruído).

Ainda nessas medições, considerando-se a área do raio do contorno protegido de 45 km em relação ao transmissor, houve 11 pontos (44%) com “Recepção Boa”, 9 pontos (36%) com “Recepção Pobre” e 5 pontos (20%) com “Recepção Ruim”. O limiar diurno de intensidade de campo elétrico do sistema analógico obtido para uma boa recepção de sinal ficou entre 76 dB μ V/m e 80 dB μ V/m.

Comparando o áudio analógico e a recepção digital profissional, verificou-se por meio dos testes diurnos que o áudio digital atendeu a mais pontos do que o áudio analógico com qualidade de recepção “Boa” dentro do contorno protegido de 45 km. Dentro desse mesmo contorno, a distância máxima onde ocorreu recepção analógica “Boa” foi de 13 km a partir do transmissor, enquanto que a decodificação digital (estéreo ou mono) foi observada até 22 km, caracterizando o desempenho superior do sistema digital nessa região.

Nas medições em mobilidade, na campanha diurna, as rotas R2, R3 e R7 apresentaram comportamento similar com predominância de recepção do áudio digital com qualidade estéreo ao longo dos trechos P1 a P2 e P2 a P3, até uma distância de aproximadamente 22 km. Já na rota R6, predominou a não decodificação do sinal digital. Em relação às rotas circulares, houve decodificação do áudio digital na maior parte do tempo de medição.

Em relação às medições estáticas na campanha noturna, com a utilização do receptor profissional, foram realizadas 20 medições em toda região, havendo decodificação do sinal digital em 11 pontos (55%), decodificação do sinal digital com alternância para o áudio analógico em 4 pontos (20%) e não decodificação do sinal digital em 5 pontos (25%). Dentro do contorno protegido noturno da emissora, de 28 km de raio a partir do transmissor, houve 16 medições, e em cada caso os respectivos percentuais foram 11 (69%), 4 (25%) e 1 (6%).

Ainda considerando essas medições, o limiar de intensidade de campo elétrico digital para recepção digital em medições estáticas noturnas com receptor profissional ficou compreendido na faixa de 62 dB μ V/m a 65 dB μ V/m. Da mesma forma, esse limiar apenas é válido quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal HD Radio é respeitado. No teste em questão, foi possível verificar que, para valores maiores que 20 dB, houve decodificação do sinal digital. No intervalo entre 6,6 dB e 20 dB, houve recepção digital perfeita em um ponto de medição e instável em outros quatro pontos. Devido à existência de poucos valores nesse intervalo, não foi possível definir um valor ou intervalo aceitável para o limiar de SNR no ambiente testado.

Com relação às medições estáticas noturnas com receptores comerciais obteve-se, dentro do contorno protegido de 28 km, a recepção puramente digital com o receptor SONY em 64% dos locais e em 86% com o receptor JVC. Em relação ao limiar noturno de intensidade de campo

elétrico para recepção digital com os receptores SONY e JVC, os valores variaram de 65 dB μ V/m a 70 dB μ V/m para o primeiro e de 62 dB μ V/m e 65 dB μ V/m para o segundo, respeitando-se o limiar necessário de SNR do sistema HD Radio para recepção.

Na análise da recepção estática analógica noturna, com receptores AM comerciais, dentro da área do raio do contorno protegido de 28 km em relação ao transmissor, obteve-se 4 pontos (25%) com “Recepção Boa”, 5 pontos (31%) com “Recepção Pobre” e 7 pontos (44%) com “Recepção Ruim”. O limiar noturno de intensidade de campo elétrico do sistema analógico obtido para uma boa recepção de sinal ficou entre 82 dB μ V/m e 85 dB μ V/m.

Comparando o áudio analógico e a recepção digital profissional para o período noturno, o sinal digital, dentro do contorno protegido noturno de 28 km, atendeu a mais pontos do que o sinal analógico com qualidade de recepção boa, caracterizando bom desempenho do sistema digital nessa região. Dentro do raio de 6 km, os sistemas analógico e digital tiveram atendimento semelhante. Houve decodificação do sinal digital até 20 km. Assim, no período noturno, a região de cobertura do sistema digital é maior que a do sistema analógico.

Com relação à recepção em mobilidade com o receptor profissional, para a campanha noturna, ao longo de todas as rotas, com exceção da rota R6, observou-se a presença maior de decodificação do áudio digital com qualidade estéreo ou mono, nos trechos P1 a P2 e P2 a P3, que atingem uma distância média de 22 km em relação ao transmissor. Nos últimos trechos (P3 a P4) dessas rotas, a recepção analógica esteve presente na maior parte do tempo, à exceção da rota R3, na qual houve recepção de sinal digital em 57,1% do tempo, atingindo pontos próximos ao limite do contorno protegido, localizado a 28 km do transmissor, com recepção digital estéreo. A máxima cobertura digital com recepção digital mono foi alcançada ao longo dessa mesma rota R3, a 38 km do transmissor.

Comparando o áudio analógico e a recepção digital profissional, verificou-se por meio dos testes noturnos que o áudio digital atendeu a mais pontos que o áudio analógico com recepção “Boa” dentro do contorno protegido de 28 km. Dentro desse mesmo contorno, a distância máxima onde ocorreu recepção analógica “Boa” foi de 6,58 km a partir do transmissor, enquanto obteve-se decodificação digital (estéreo ou mono) até 20,68 km, caracterizando o desempenho superior do sistema digital nessa região.

Concluindo, os resultados dos testes com o sistema HD Radio na faixa de Ondas Médias em São Paulo em transmissão híbrida mostraram que o sistema digital, de uma forma geral, possui um desempenho melhor que o sistema AM no raio de aproximadamente 20 km a partir do transmissor, estando 20 dB abaixo do AM (aproximadamente 1% da potência EIRP do sinal analógico).

Rio de Janeiro, 21 de novembro de 2012

Rodolfo Saboia Lima de Souza

Chefe de Divisão de Metrologia em Telecomunicações

Dimci – Ditel

Inmetro



1. Introdução

Este documento apresenta o resultado dos testes realizados em São Paulo com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema HD Radio de radiodifusão sonora digital [1] [2] para aplicação nas faixas de frequências de radiodifusão em amplitude modulada (AM).

Os testes foram realizados em conjunto com a emissora de radiodifusão sonora em Ondas Médias (OM), designação para a faixa de radiofrequências compreendida entre 300 kHz e 3000 kHz), Radio Excelsior Ltda, denominada Rádio CBN AM. As medições foram realizadas em períodos diurnos e noturnos, em função da diferença da forma de propagação do sinal observada entre os períodos, sendo assim importante avaliar o comportamento do sistema digital nessas duas situações.

A estrutura do documento é definida da maneira detalhada a seguir. O Capítulo 2 descreve o sistema de transmissão instalado na Rádio CBN AM para irradiar os sinais digital e analógico durante os testes. O Capítulo 3 descreve a unidade móvel, os equipamentos e a metodologia de medições utilizados para caracterizar o sinal recebido. O Capítulo 4 relata os resultados dos testes, apresentando a comparação entre a intensidade de campo prevista e a obtida nas medições, a avaliação da cobertura do sinal digital com receptor profissional e com receptores comerciais, os resultados da recepção analógica AM e a comparação entre resultados da recepção dos sinais analógico e digital. No Apêndice são apresentados o histórico e uma visão geral das características técnicas do sistema HD Radio, os detalhes das medições e seus resultados e a descrição do procedimento para obtenção da intensidade do campo elétrico digital.

2. Sistema de Transmissão

2.1. Características Técnicas do Sistema de Transmissão

A transmissão foi realizada na estação de Ondas Médias da Rádio Excelsior Ltda (denominada Rádio CBN AM), localizada em São Paulo / SP, conforme a Figura 1.

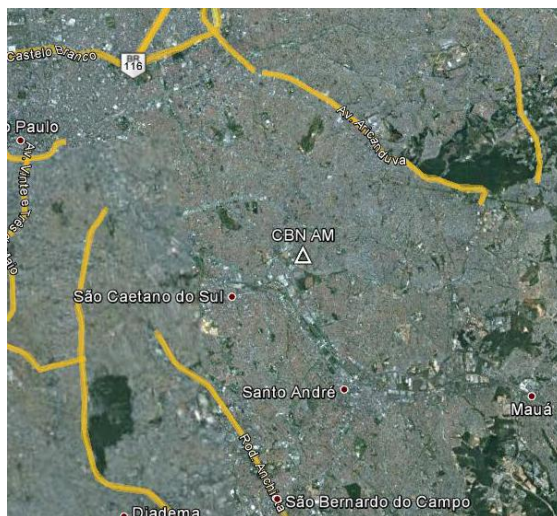


Figura 1 – Localização do centro de transmissão da Rádio CBN AM

Os testes foram realizados no modo amplificação comum, utilizando um único transmissor. Isso significa que os sistemas de transmissão dos sinais HD Radio e AM utilizaram a mesma antena. O diagrama de bloco do sistema de transmissão é mostrado na Figura 2 e os principais componentes do sistema de transmissão que foi instalado na estação da Rádio CBN para geração do sinal híbrido são descritos na Tabela 1.

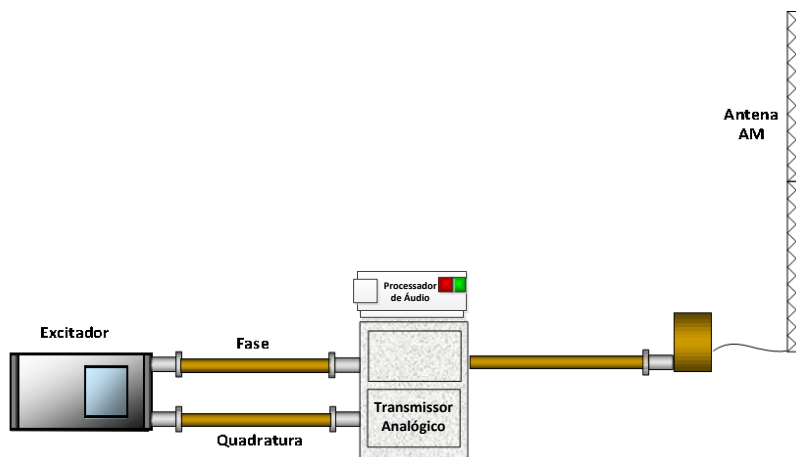


Figura 2 – Diagrama de bloco do sistema de transmissão

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS OPERACIONAIS
FREQUÊNCIA: 780 kHz CLASSE: B CAMPO CARACTERÍSTICO: E = 321 mV/m POTÊNCIA DIURNA: 50 kW / POTÊNCIA NOTURNA: 10 kW
LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA
ENDEREÇO: Rua Hiléia Amazônica, 13, Jardim Panorama, São Paulo / SP COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 23°36'20,85"S / 46°32'20,20"W DATUM: WGS 84
TRANSMISSOR
FABRICANTE: Harris Corporation MODELO: 3DX-50, tipo DX Destiny POTÊNCIA NOMINAL: 10 a 55 kW POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES (diurna / noturna): 43 kW / 10 kW
EXCITADOR HD RADIO
FABRICANTE: Harris Corporation MODELO: Dextar AM IBOC
PROCESSADOR DE ÁUDIO ANALÓGICO
FABRICANTE: ORBAN / MODELO: 9200
SISTEMA IRRADIANTE
DIAGRAMA DE RADIAÇÃO: Omnidirecional TIPO: Antena monopolo vertical ALTURA: 122 metros
LINHA DE TRANSMISSÃO
FABRICANTE: Andrew MODELO: HJ11-50 DIÂMETRO: 4" COMPRIMENTO: 130 m IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO: 0,03 dB/100 m
SINAL DIGITAL HD RADIO
FREQUÊNCIA: 780 kHz POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES (diurna / noturna): 430 W / 100 W RELAÇÃO DE POTÊNCIA AM/HDRADIO: 20 dB TAXA DE BITS: 36,4 kbps

Tabela 1 – Características técnicas da emissora CBN AM e transmissões analógica e digital

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 $\pm 10,356$ kHz da frequência central (portadora analógica – Modo MA1 Híbrido), sendo que cada sub-banda ocupa uma largura de canal adjacente de 9,811 kHz.

O transmissor utilizado durante os testes é fabricado pela *Harris Corporation*. Nesse equipamento, os áudios (oriundos do processador Orban) são codificados e os parâmetros de transmissão são programados. Os equipamentos são mostrados na Figura 3 e na Figura 4.



Figura 3 – Visão do transmissor (Harris) e do processador de áudio (Orban)



Figura 4 – Detalhe do transmissor Harris

A antena de transmissão dos sinais está localizada a uma altitude de aproximadamente 835 metros acima do nível do mar, com uma altura de 122 metros. A Figura 5 mostra uma imagem da antena transmissora.



Figura 5 – Torre da rádio CBN

2.2. Parâmetros de transmissão

O sistema HD Radio oferece três configurações para a transmissão do sinal digital [3],[4], apresentadas no item I do Apêndice desta Nota Técnica. Os testes descritos neste documento foram realizados com o modo híbrido, com a configuração apresentada na Tabela 2.

Ocupação Espectral	Modo de Serviço	Canais Disponíveis	Modulação	Taxa de transmissão (kbps)			Taxa de Codificação		
				P1	P3	PIDS	P1	P3	PIDS
Híbrido	MA1	P1, P3 e PIDS	64 QAM, 16 QAM e QPSK	20	16	0,4	5/12	2/3	1/3

Tabela 2 – Modo de transmissão do HD Radio utilizado durante os testes

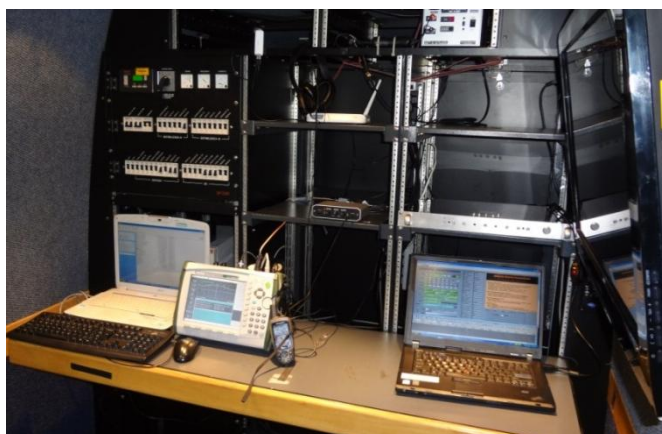
3. Equipamentos e Metodologia de Medição

3.1. Equipamentos de Medição

As medições do sistema HD Radio foram realizadas com o laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro, um veículo totalmente preparado e configurado para a execução de trabalhos em campo, conforme Figura 6. A estrutura disponível para o laboratório móvel conta com o compartilhamento dos equipamentos e recursos do laboratório de comunicações sem fio do Inmetro, ampliando as possibilidades de configurações de medição do veículo. Esse laboratório possui facilidade de adaptação de novos equipamentos e conjuntos de antenas para realizar todos os tipos de experimentos em diferentes sistemas de comunicações e frequências.



(a)



(b)

Figura 6 – (a) Laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro e detalhe da antena; (b) equipamentos de medição

A Figura 6 apresenta a disposição dos equipamentos de medição no interior do laboratório móvel. 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 sinal digital HD Radio.

Na

Figura 7, 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.

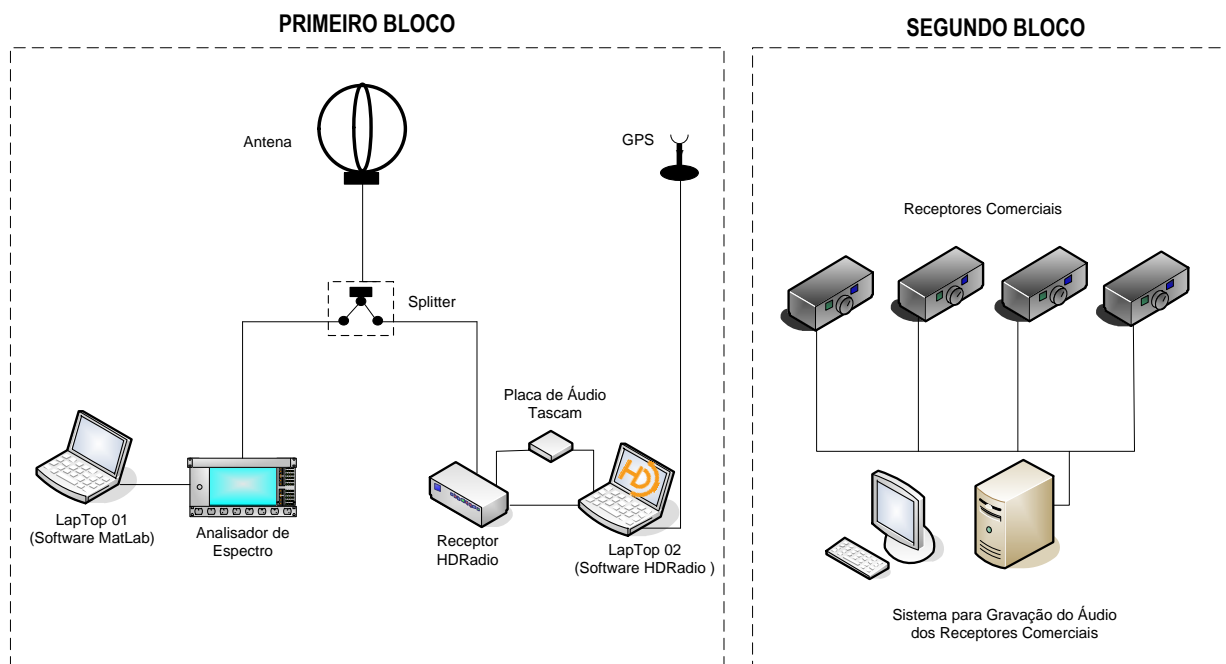


Figura 7 – Diagrama dos equipamentos de medição

No primeiro bloco, o analisador de espectro e o receptor HD Radio foram conectados à antena double loop ativa, Modelo MFDL 0517, fabricada pela empresa Millimetrica (Figura 8), por meio de um divisor de potência, permitindo que o sistema realizasse simultaneamente ambas 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 3 são apresentadas as características técnicas dos equipamentos de medição utilizados.



Figura 8 – Antena de recepção

Dispositivo / Equipamento	Descrição
Antena	Modelo: MFDL 0517 Tipo: Dual Loop Active Mobile Antenna. Características: 500 KHz -1700 KHz, Ganho 0dB, comprimento 1380mm Fator K = 26,76 dB (50 Ω) @780 KHz Fabricante: Millimetrica
Divisor	Mini Circuits Model 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	Garmin GPS-18X
Laptops	Laptop com Matlab para analisador de espectro Laptop para receptor HD Radio
Desktop	Computador de mesa com software para gravação de áudio
Acessórios	Cabos seriais

Tabela 3 – Características técnicas dos dispositivos e equipamentos de medição

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 9 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 4.

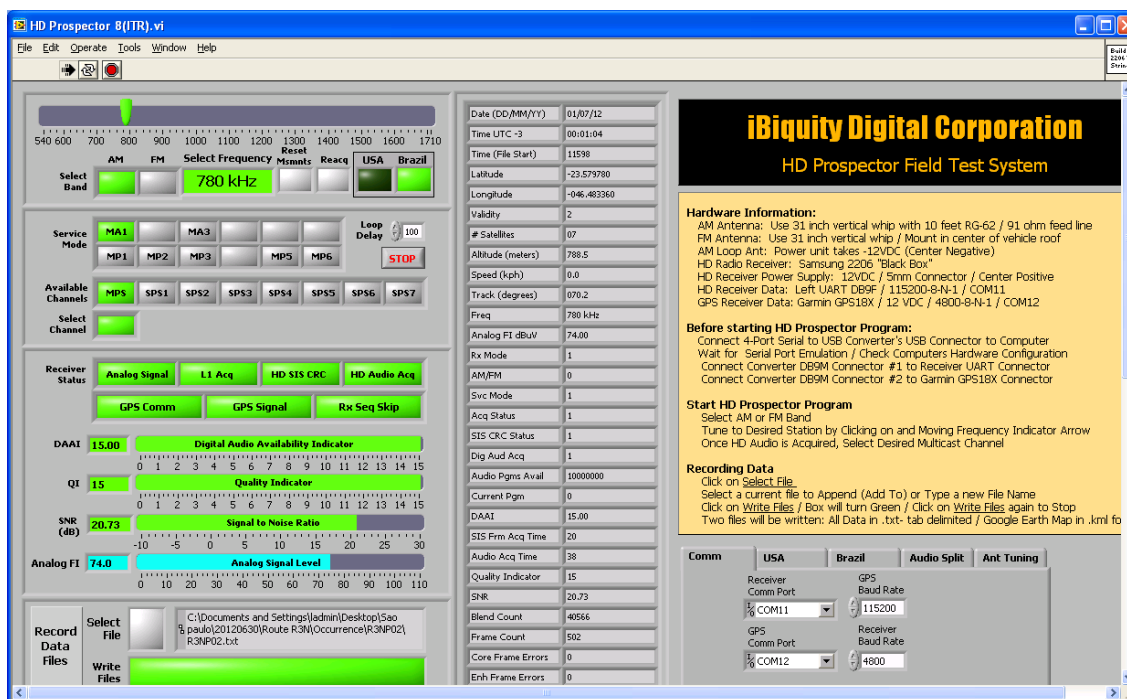


Figura 9 – Tela do programa do receptor HD Radio

Parâmetro	Descrição
Rx_Mode	Indica status de recepção: 0 = indica que não há decodificação do áudio digital 1 = indica que há decodificação do áudio digital no modo estéreo paramétrico 2 = indica que há decodificação do áudio digital com qualidade mono
Svc Mode	1 indica modo híbrido MA1 3 indica modo todo digital MA3
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 <i>Station Information Service</i> , 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=SPS etc... Para AM só está disponível o MPS.
DAAI	<i>Digital Audio 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>).
QI	<i>Quality Indicator</i> é uma indicação relativa de qualidade de sinal digital. Valores de 1 a 10 indicam <i>core digital audio acquisition</i> (somente AM) e valores de 11 a 15 indicam recepção <i>digital</i> (FM) ou <i>enhanced digital</i> (AM)
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 <i>blends</i> para o sinal analógico desde o início da gravação de dados.
Analog FI	Nível de sinal analógico (dBµV)

Tabela 4 – Descrição dos parâmetros de medição do software HD Radio

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 10. No processamento são obtidas as intensidades de campo elétrico do sinal analógico AM 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 item III do Apêndice.

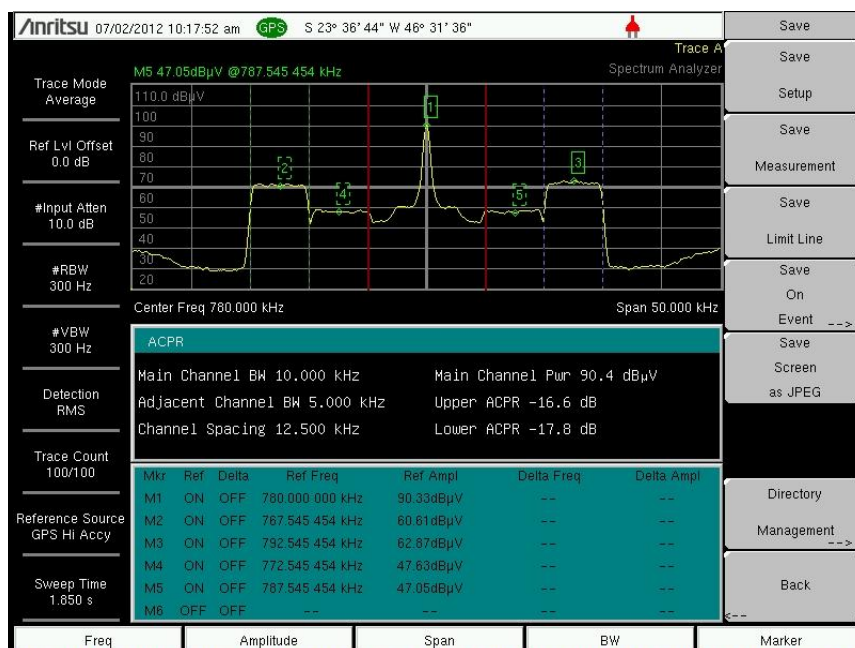


Figura 10 – Espectro registrado no ponto R2P1

O segundo bloco de medição, apresentado na

Figura 7, é destinado à gravação dos áudios analógico AM e digital HD Radio. O áudio analógico do sinal AM 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 11. O áudio digital HD Radio foi gravado

com os receptores comerciais JVC KW-NT30HD (receptor automotivo) e SONY XDR-S3HD (receptor de mesa), Figura 12, havendo também a gravação com o receptor digital profissional HD Radio, conforme Figura 13.



Figura 11 – Receptores analógicos comerciais NKS (esq.) e TOSHIBA (dir.)



Figura 12 – Receptores digitais comerciais SONY (esq.) e JVC (dir.)



Figura 13 – Receptor digital profissional HD Radio

3.2. Parâmetros de Medição

Os equipamentos e o sistema de medição fornecem uma ampla gama de parâmetros registrados durante os testes. A Tabela 5 mostra os parâmetros obtidos durante os testes, os quais 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.

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 AM	Banda Básica	Receptores analógicos comerciais AM	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

Tabela 5 – Parâmetros de Avaliação

Dentre todos os parâmetros, os três mais importantes são: as intensidades dos campos elétricos digital e analógico obtidas com o analisador de espectro (a obtenção da intensidade do campo elétrico analógico é realizada 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 ou não a decodificação do sinal digital).

Os espectros gravados permitem estudos sobre interferência e ruído, bem como a realização de cálculos de potência e de 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 AM 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.

3.3. 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 [5]. 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 van 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 de 5 minutos.
- Gravação do áudio digital com receptores comerciais, por um período de 2 minutos.
- Gravação do áudio analógico AM com receptores comerciais, por um período de 2 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 durante toda a rota.
- Gravação do áudio digital com receptor profissional.
- Gravação dos eventos ocorridos durante a rota, por meio de software (registro de ocorrências).

3.4. Planejamento das Rotas

A antena de transmissão está localizada no centro de São Paulo, como ilustra a Figura 14.

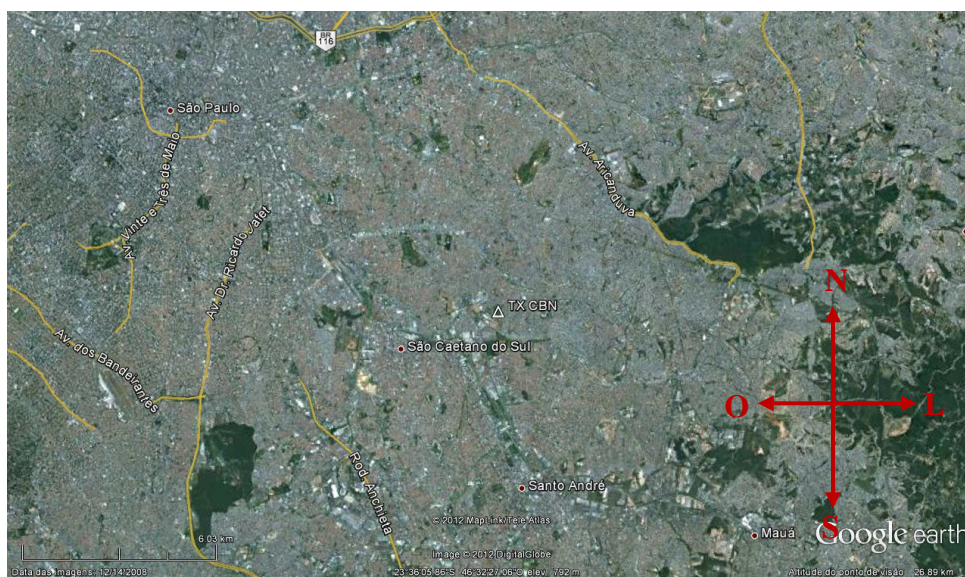


Figura 14 – Ponto de transmissão da Rádio CBN AM, com indicação dos pontos cardiais

As rotas radiais planejadas para os testes do sistema HD Radio foram escolhidas em função da orientação azimutal e atingem cerca de 45 km em relação ao transmissor da Rádio CBN AM. As rotas circulares foram definidas em diferentes ambientes da cidade, os quais são classificados conforme a Recomendação ITU-R 1411 Guia para Avaliação do Sistema de Rádio Digital AM IBOC, Junho 2007. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/>

[6]. A Tabela 6 descreve as rotas realizadas, com a indicação de quais foram realizadas no período diurno e no noturno. As rotas radiais e as rotas circulares podem ser visualizadas na Figura 15. As localizações dos pontos fixos de medição ao longo das rotas estão detalhadas no item II do Apêndice deste documento.

Rota	Descrição	Diurno	Noturno
Rota Radial R2	Direção Leste	X	X
Rota Radial R3	Direção Nordeste	X	X
Rota Radial R6	Direção Sudoeste	X	X
Rota Radial R7	Direção Noroeste	X	X
Rota Circular C1	Rota Urbana (Itaquera/Penha)	X	
Rota Circular C5	Rota Urbana (Santo André)	X	
Rota Circular C8	Rota Urbana (Aricanduva)	X	X
Rota Circular C9	Rota Urbana Densa (São Mateus)	X	

Tabela 6 – Descrição das rotas

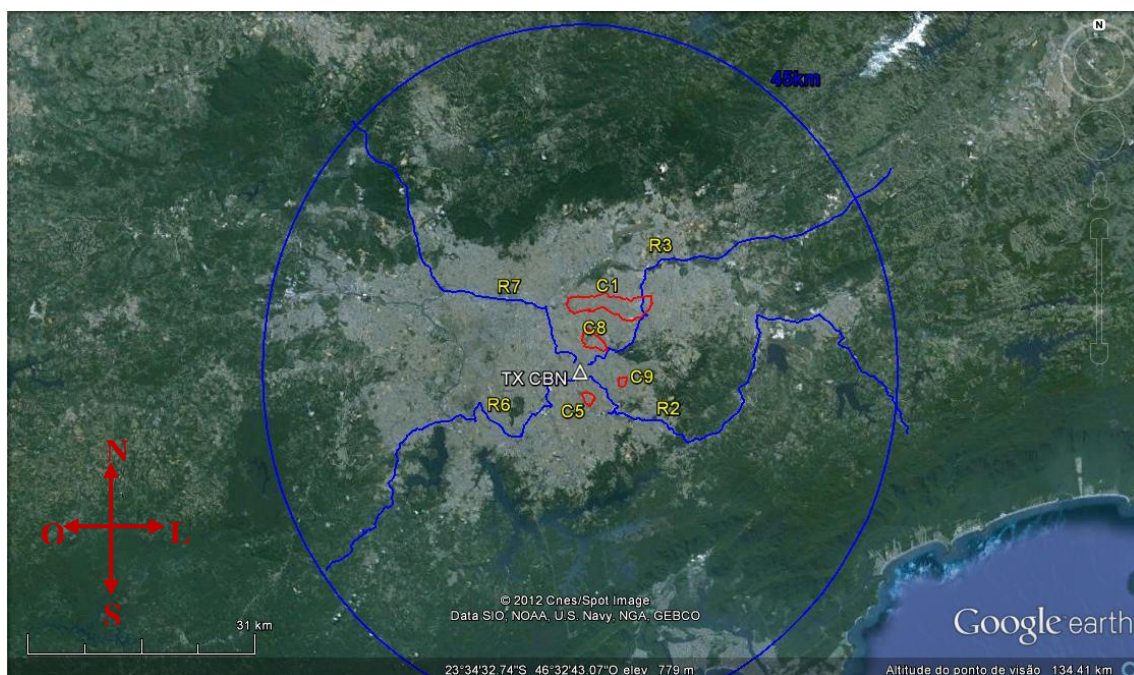


Figura 15 – Rotas radiais (em azul) acrescidas das rotas circulares (em vermelho) utilizadas nos testes com a Rádio CBN AM

4. 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.

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

Para as predições teóricas de intensidade de campo foram usadas duas metodologias: o método descrito no regulamento da Anatel (método da ITU descrito na Conferência Regional – Região 2 no Rio de Janeiro em 1981 [7]) [8] e o método da Recomendação ITU-R P.368 [9].

Na faixa de Ondas Médias, para a predição da parcela da intensidade do campo elétrico que corresponde à propagação por onda de superfície faz-se necessário o conhecimento prévio dos parâmetros de condutividade elétrica e permissividade do solo, que são levados em consideração nos modelos de predição para essa faixa. Os valores de condutividade na região de São Paulo são obtidos a partir do Atlas Mundial de Condutividade do Solo, conforme descrito na Recomendação UIT-R P.832-2 [10]. Nesse Atlas, observa-se que os valores de condutividade na região de teste são de 1 mS/m e 3 mS/m, conforme Figura 16, dependendo do local de recepção do sinal. O valor da permissividade relativa do solo nessa região é 15, e o do campo característico da emissora, que corresponde ao valor de campo elétrico na distância de 1 km da estação transmissora, é de 321 mV/m. A Tabela 7 resume os parâmetros de entrada utilizados pelos modelos de predição.

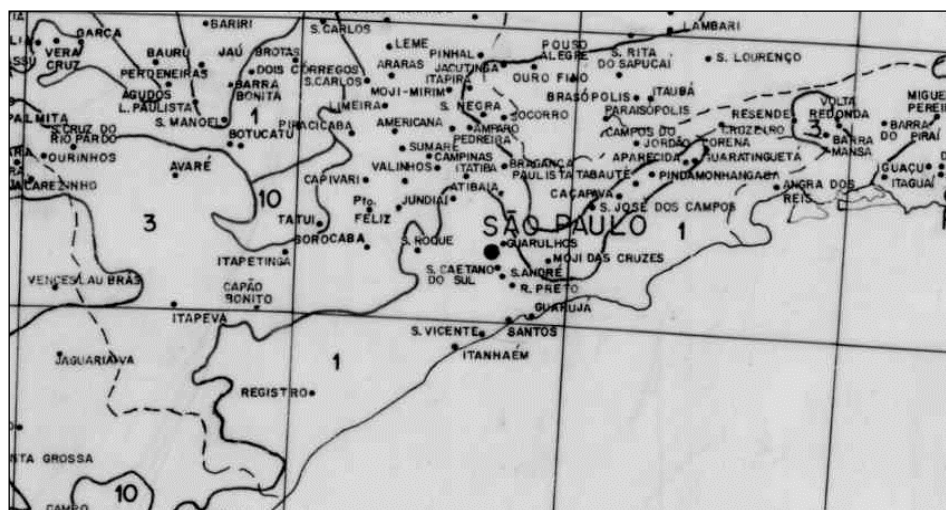


Figura 16 – Mapa de condutividade elétrica do solo para a região de São Paulo

Parâmetro de entrada	Valores para a Rádio CBN AM
Permissividade Relativa do Solo	15
Condutividade do Solo	1 mS/m ou 3 mS/m, conforme o local de medição
Potência Transmitida	Analógico Diurno: 43 kW Analógico Noturno: 10 kW
Campo Característico	321 mV/m

Tabela 7 – Parâmetros de entrada do modelo de previsão de intensidade de campo

Os modelos de previsão do regulamento da Anatel e da ITU-R P.368 não consideram a influência da variação do perfil do terreno no cálculo da atenuação, nem a existência da ocupação urbana. Embora existam estudos que considerem a morfologia do terreno na faixa de frequências em questão, eles não estão sendo considerados na avaliação desse trabalho [11].

O contorno diurno teórico da Rádio CBN é de 2 mV/m (66 dB μ V/m) e tem a distância variável de 45 a 62 km em relação à estação transmissora, conforme ilustra a Figura 17.

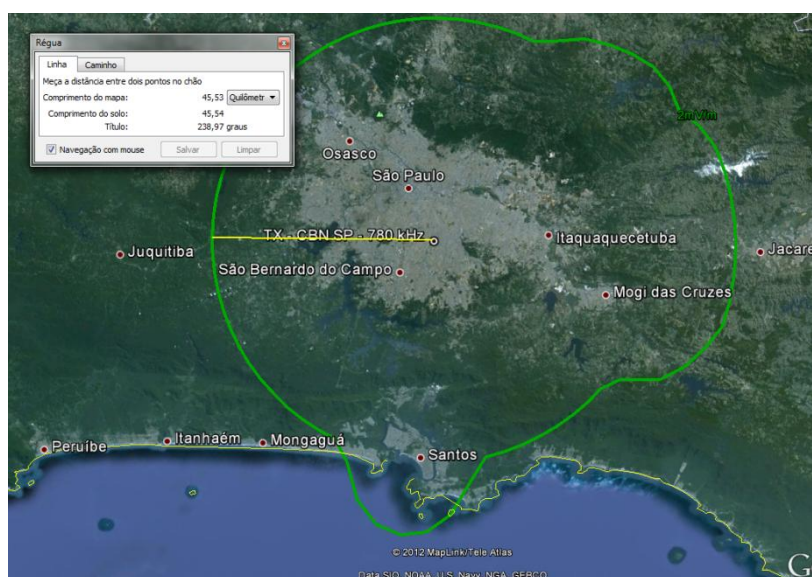


Figura 17 – Contorno de serviço diurno da emissora CBN

O contorno noturno teórico da emissora CBN é de 2,5 mV/m (68 dB μ V/m) e tem a distância variável de 28 a 34 km em relação à estação transmissora, conforme ilustra a Figura 18.

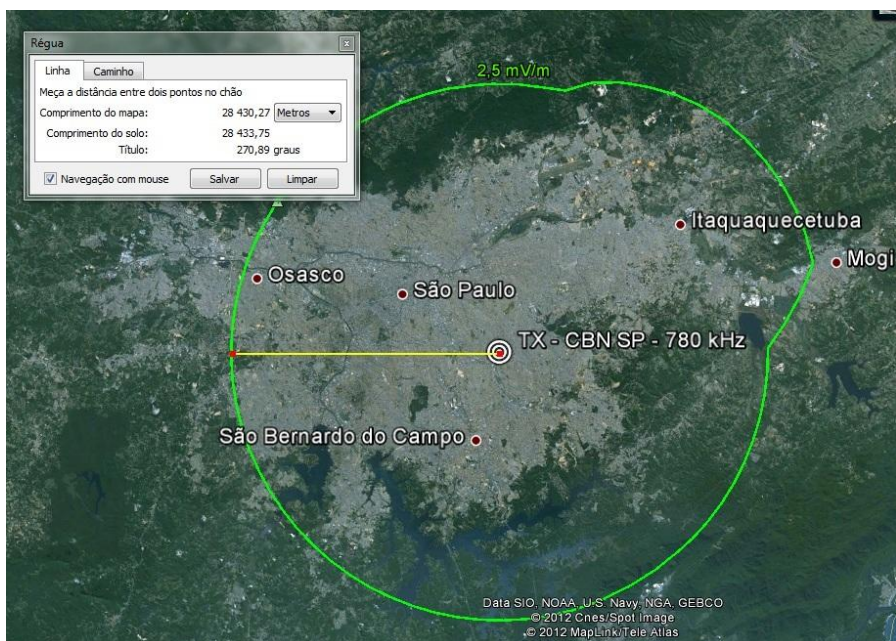


Figura 18 – Contorno de serviço noturno da emissora CBN

Para fins de análise, nesse documento, os contornos de serviço diurno e noturno serão considerados como circunferências com raios de 45 km e 28 km, respectivamente, a partir do centro de transmissão.

Os resultados de predição da intensidade de campo elétrico da Rádio CBN utilizando os modelos da Anatel e da ITU (recomendação ITU-R P 368), considerando os valores de 1 mS/m para a condutividade do solo e 15 para a permissividade, são apresentados na Figura 19 e na Figura 20, juntamente com resultados das medições do sinal analógico em ponto fixo, para os períodos diurno e noturno.

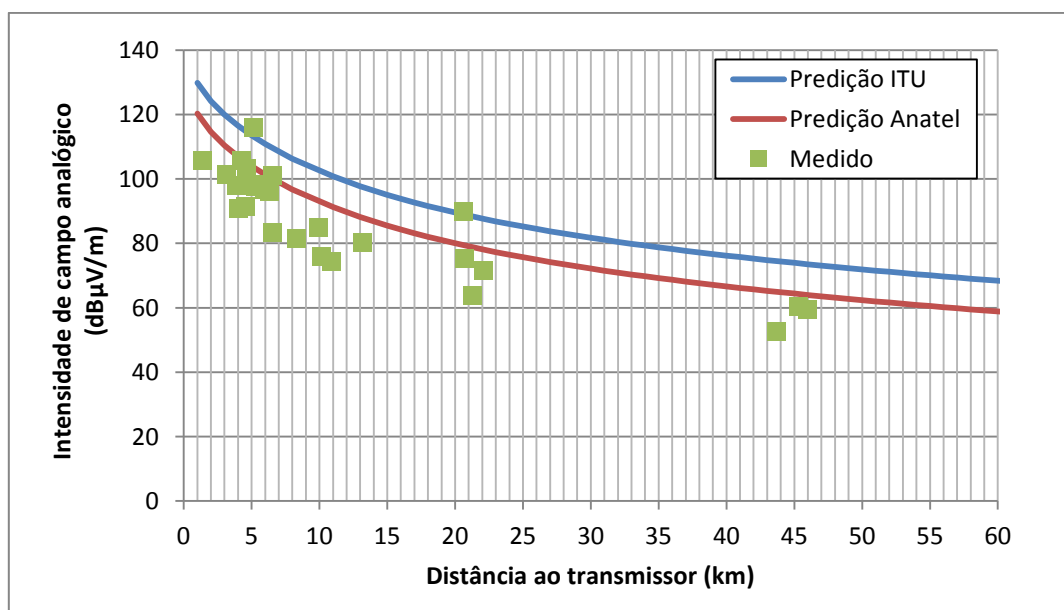


Figura 19 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico diurno

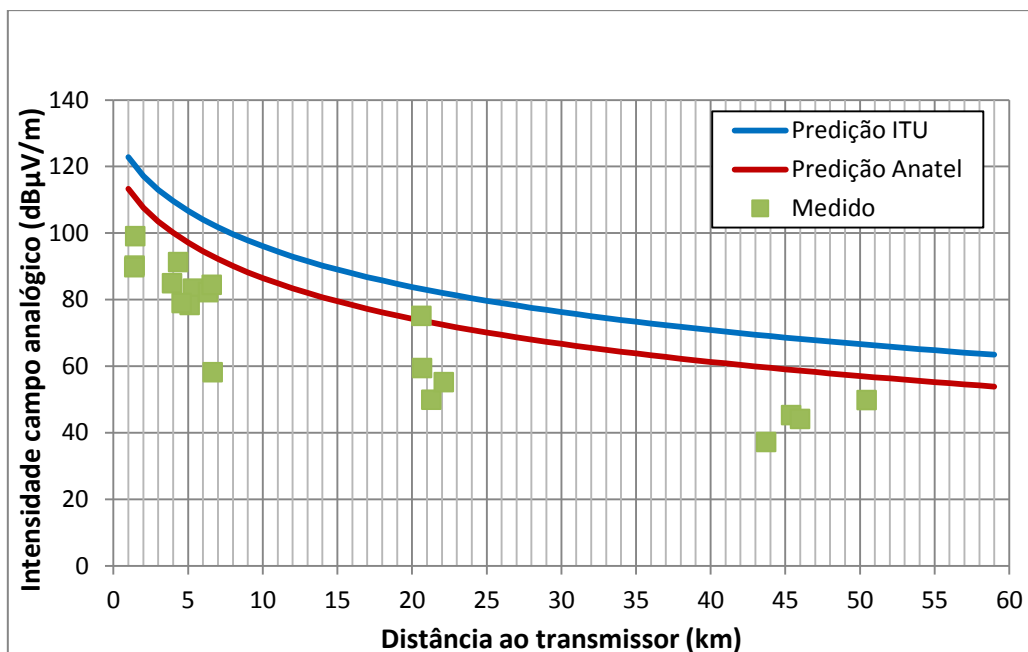


Figura 20 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico noturno

As diferenças observadas entre os valores medidos e os previstos devem-se ao fato de que os modelos de predição não consideram as irregularidades do terreno e a ocupação urbana. Além disso, as curvas teóricas são calculadas com parâmetros fixos de condutividade e de permissividade do solo, conforme mencionado. Na prática, a condutividade do solo pode ser bastante variável ao longo do terreno, conforme o tipo de solo e os materiais nele existentes. A permissividade depende do grau de umidade do solo, sendo também variável ao longo do terreno. Por fim, no período noturno, o ruído do ambiente urbano é menor, porém a intensidade de campo registrada inclui os sinais interferentes, que são mais fortes à noite devido à contribuição das ondas ionosféricas.

A predição de intensidade de campo pela Recomendação UIT-R P.368 é apresentada para fins de comparação. Consta-se, no entanto, que o modelo da recomendação superestima a maioria dos valores de campo obtidos nessas medições.

4.2. Avaliação da área de cobertura do sinal digital com receptor profissional

4.2.1. Verificação da consistência dos dados obtidos nas campanhas de medidas

Os trabalhos experimentais envolvendo medições requerem a etapa de verificação da consistência dos dados registrados. Diversos fatores podem influenciar os dados ou mascarar erros em medições aparentemente consistentes. Falhas no sistema de transmissão ou no recepção, ou falhas durante o registro dos dados devido a conexões instáveis de cabos entre os equipamentos ou com a antena são alguns exemplos desses fatores.

Para garantir que os resultados analisados provenham de dados consistentes de medições, os dados são verificados e, havendo dúvida sobre a sua consistência, os mesmos são descartados. A

lista dos pontos de medição que foram descartados em cada período de campanha é apresentada na Tabela 8.

Nome do ponto fixo ou trecho móvel descartado	
Diurno	Noturno
C5P01	C8P03
C5P03	R3P01
C5P04	
C8P01	
C8P03	
R2P01	
R3P01	
R3P04	
R6P01	
Trecho R3P03 a R3P04	

Tabela 8 – Medições descartadas

4.2.2. Avaliação da área de cobertura diurna do sinal digital com recepção estática

Na medição estática, faz-se o registro da recepção digital em cada ponto de medição. Para entender os resultados obtidos na recepção digital, faz-se necessário primeiro entender o funcionamento do sistema HD Radio no que tange à recepção e à qualidade do áudio na faixa de AM.

O sistema de rádio digital HD Radio, na configuração AM, possui quatro modos de serviço, MA1 e MA2 [2], para transmissão híbrida, e MA3 e MA4, para transmissão no modo todo digital, permitindo diferentes configurações dos canais lógicos P1, P2, P3 e PIDS. Os canais P1, P2 e P3 são utilizados para propósitos gerais como áudio e transferência de dados e o canal PIDS é utilizado para o envio de informação sobre o serviço de dados.

Nos testes realizados na emissora CBN AM na cidade de São Paulo, foi utilizado o modo MA1 (híbrido estendido), utilizando os canais lógicos P1, P3 e PIDS transportando menos informação, se comparado com os modos MA2 e MA4, porém fornecendo maior robustez ao sinal. Nesse modo, as bandas laterais primárias carregam dados classificados como “*Core mode*” e as bandas secundárias, dados “*Enhanced mode*”. Ao receber o sinal, o receptor tenta decodificar primeiro a informação que está no “*Core*” de 20 kbps com qualidade mono. Em caso de sucesso, o sistema passa a decodificar a banda que está no “*Enhanced*”, totalizando 36 kbps com qualidade estéreo.

Na decodificação do sinal na recepção, se os critérios mínimos de recepção não forem atingidos, o sistema realiza o chamando *blend*, que é a comutação para o sinal analógico e o processo inverso, ou seja, a comutação para o sinal digital novamente. Quando uma operação de *blend* é realizada, o parâmetro Rx_Mode do software de medição muda de estado, sendo um indicador da correta demodulação do sinal digital. No modelo HD Radio AM, o Rx_Mode possui três valores que irão indicar a qualidade do áudio: Rx_Mode=1 indica que o sinal recebido foi demodulado com qualidade estéreo, Rx_Mode=2 indica que o sinal recebido foi demodulado com qualidade mono e Rx_Mode=0 indica ausência de áudio digital.

Durante a campanha de medição, o software profissional coletava as amostras de áudio a cada 100 ms. Em certas ocasiões, o receptor profissional registrava ausência de recepção de áudio digital de uma (1) ou mais amostras “n” em intervalos longos de amostras em que houve a decodificação do áudio digital. Esse pequeno intervalo de tempo não era suficiente para que o sistema HD Rádio realizasse o *blend*, ocorrendo apenas o *drop out* do áudio, não se tratando de falhas perceptíveis para o ouvinte. Portanto, no processamento dos dados, a decodificação foi considerada perfeita tanto para a qualidade estéreo (Rx_Mode=1) como para a mono (Rx_Mode=2) quando houve ocorrências de *drop outs*, desde que não totalizassem mais que 1% do tempo total de medição no ponto.

Uma visão global dos resultados com recepção estática diurna pode ser observada na Figura 21, na qual os pontos em verde representam a decodificação do áudio digital, seja ele com qualidade estéreo ou mono, os pontos em vermelho indicam a não decodificação, e os pontos em amarelo indicam a presença de recepção digital mono ou estéreo intercalada com ausência de recepção digital.

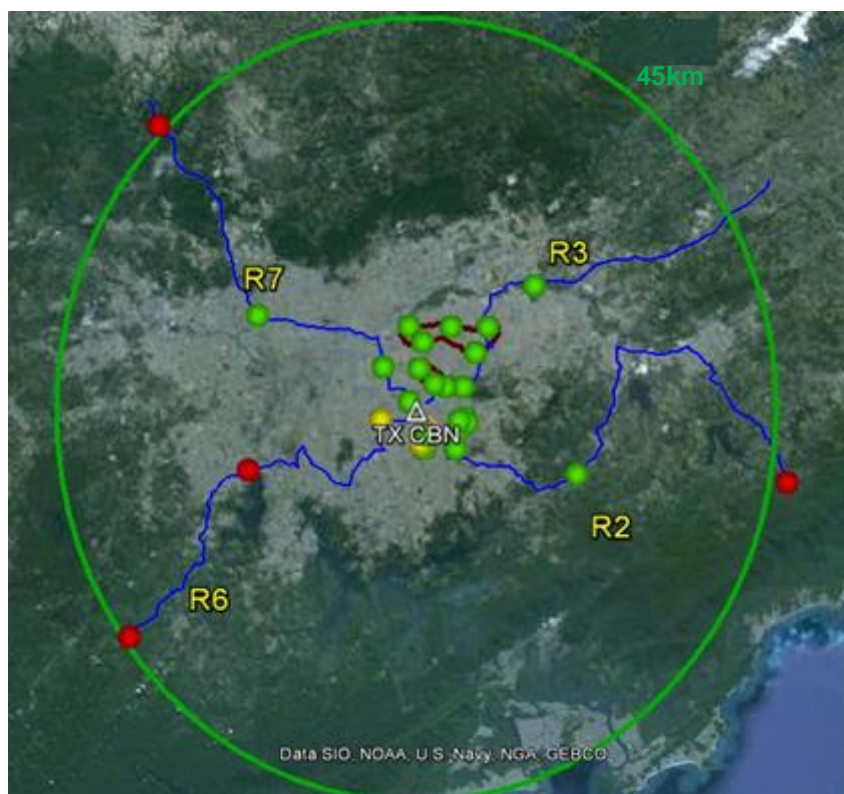


Figura 21 – Resultados da recepção diurna em pontos fixos ilustrados no mapa

Na Figura 22 é apresentada a visão detalhada das rotas circulares.



Figura 22 – Resultados da recepção em pontos fixos apresentados em detalhe.

A Tabela 9 apresenta os resultados da recepção digital diurna nos pontos fixos. Em relação aos 25 pontos medidos dentro do raio de 45 km do contorno protegido, foram obtidos 21 pontos com decodificação do áudio digital, o que corresponde a 84%. Em relação ao total de pontos medidos, 27, houve recepção digital em 21 deles (78%).

Recepção do Sinal Digital	Contorno Protegido (45 km)	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
Sim	21 (84%)	21 (78%)
Alternância com sinal analógico	2 (8%)	2 (7%)
Não	2 (8%)	4 (15%)
<i>Total de medições</i>	25 (100%)	27 (100%)

Tabela 9 – Resultados da recepção estática nas rotas radiais e circulares no período diurno

Os resultados obtidos nos pontos foram muitos bons, pois houve decodificação de sinal digital na maioria deles, exceto naqueles situados na direção sudoeste da antena transmissora, na rota R6. Nessa rota, o ponto R6DP02 obteve recepção mista e o ponto R6DP03 não obteve decodificação do sinal digital. É possível verificar, por meio dos registros de ocorrências, que o trecho entre esses pontos de medição passa em uma avenida com tráfego de veículos pesados e próximo a uma região altamente industrializada e cabos de alta tensão que podem ter gerado interferências causadas por ruídos impulsivos. Vale ressaltar que, quando não houve decodificação do sinal digital, o sistema realizou o *blend* para recepção analógica, a qual, nesses pontos, também apresentou alto ruído.

O gráfico da Figura 23 apresenta a distribuição dos modos de recepção (Rx_Mode = 1, 2 e 0) em cada ponto durante o tempo de medição, no qual pode-se visualizar que, entre os pontos com recepção digital (estéreo e/ou mono), o modo de recepção predominante foi o áudio com qualidade estéreo (Rx_Mode=1).

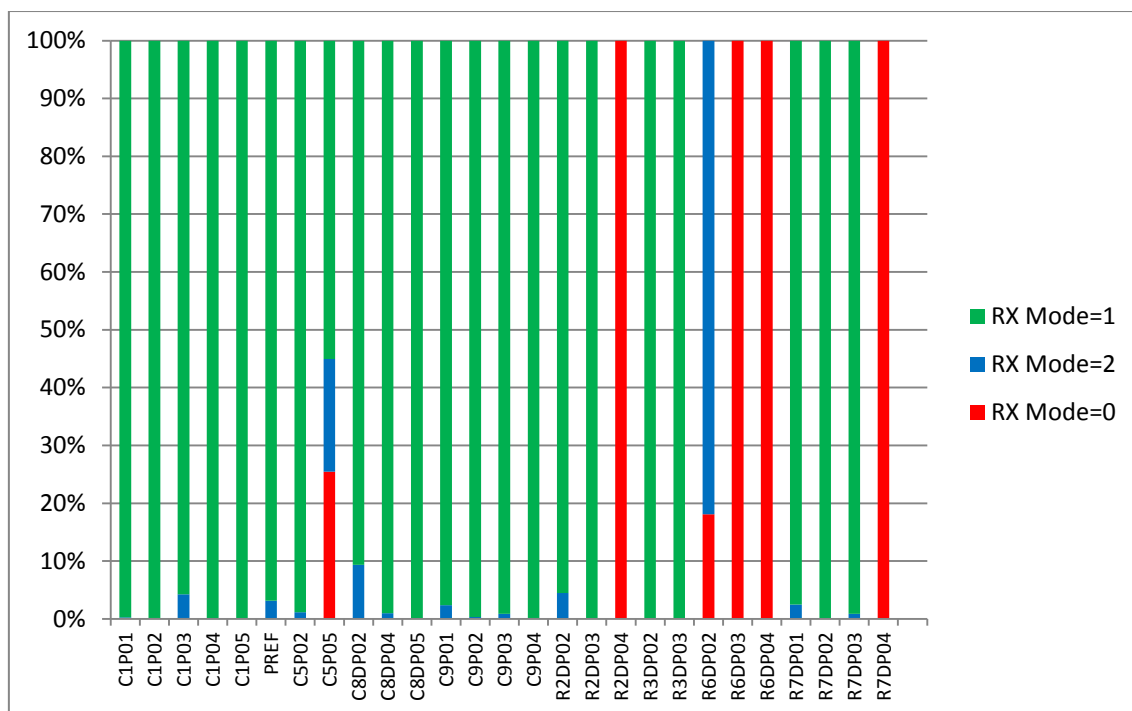


Figura 23 – Porcentagem de modos de recepção do áudio digital nos pontos fixos durante o tempo de medição, período diurno

O gráfico da Figura 24 apresenta a intensidade do campo elétrico digital mediano dos pontos de medição, classificados conforme os resultados de recepção do parâmetro Rx_Mode, em função da distância ao transmissor. Conforme observado no gráfico, o limiar de intensidade de campo elétrico para recepção digital pelo receptor profissional ficou compreendido na faixa de 60 a 65 dB μ V/m. Cabe salientar que esse limiar apenas é válido quando o limiar de SNR para a decodificação do sinal HD Radio é respeitado.

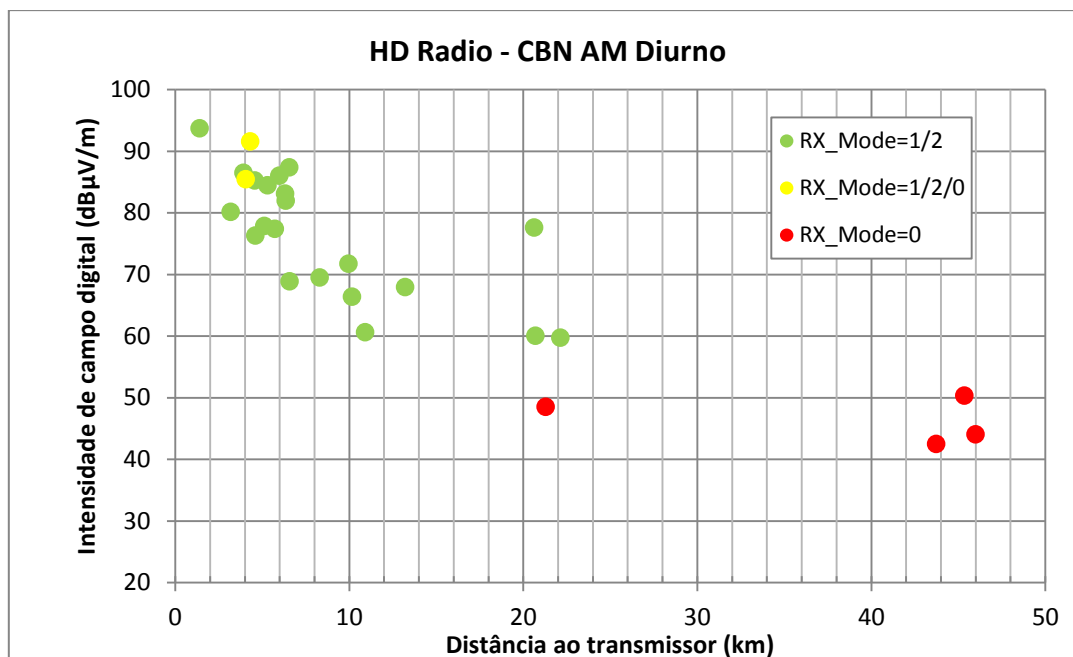


Figura 24 – Resultados da recepção estática diurna do sinal digital

A Figura 25 ilustra que não houve decodificação do áudio digital com valores do parâmetro SNR iguais ou inferiores a 9 dB. Acima de 19 dB, a decodificação do áudio digital ocorreu em todos os pontos. Entretanto, no intervalo entre 9 dB e 14 dB, não houve registro de valores de SNR, e, entre 14 dB e 19 dB, dois pontos apresentaram *blends* e outros dois obtiveram decodificação do áudio digital. Devido a esses fatores, não foi possível definir um limiar preciso de SNR para a recepção estática com o sistema HD Radio no período diurno no ambiente testado.

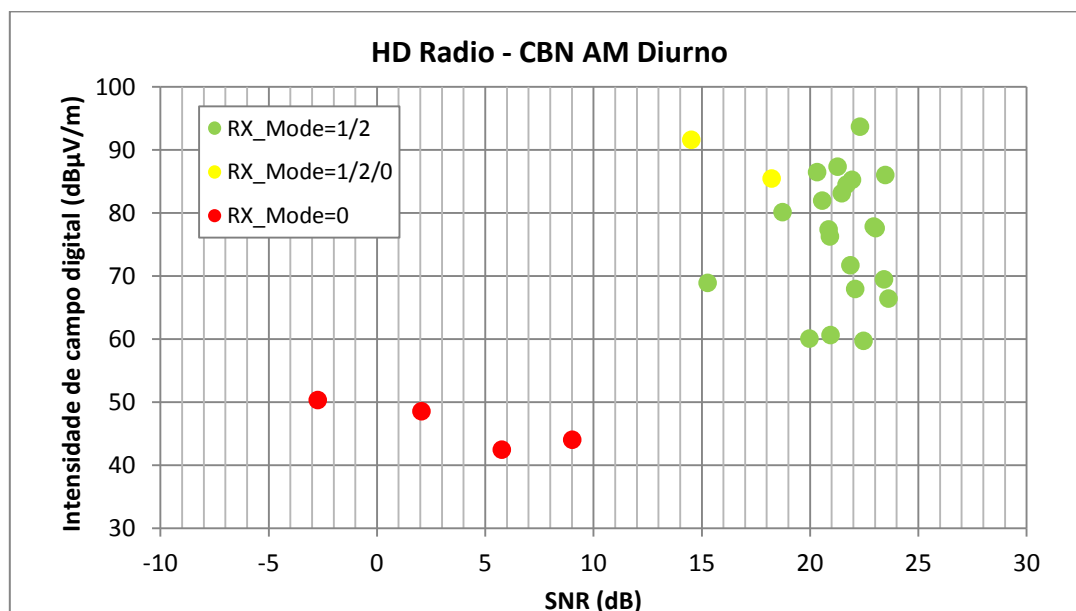


Figura 25 – Resultados da recepção estática diurna do sinal digital

4.2.3. Avaliação da área de cobertura noturna do sinal digital com recepção estática

Uma visão global dos resultados da recepção estática no período noturno pode ser observada na Figura 26 e na Figura 27. O padrão das cores dos pontos de medição em função do parâmetro Rx_Mode é idêntica à utilizada na Seção 4.2.2.

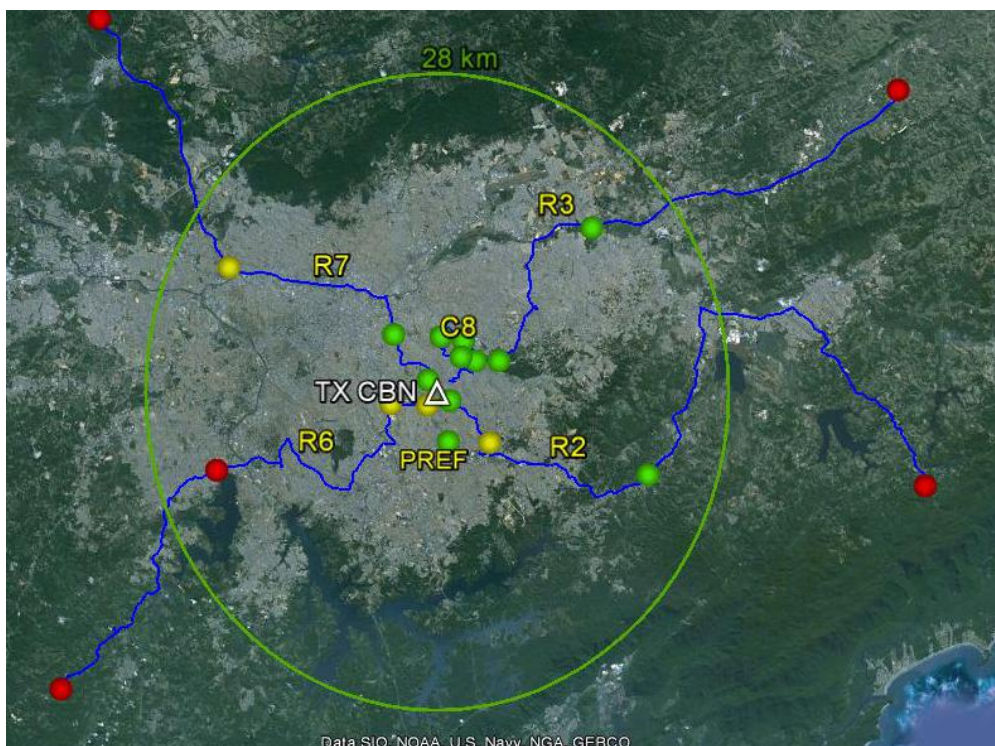


Figura 26 – Resultados da recepção noturna em pontos fixos ilustrados no mapa

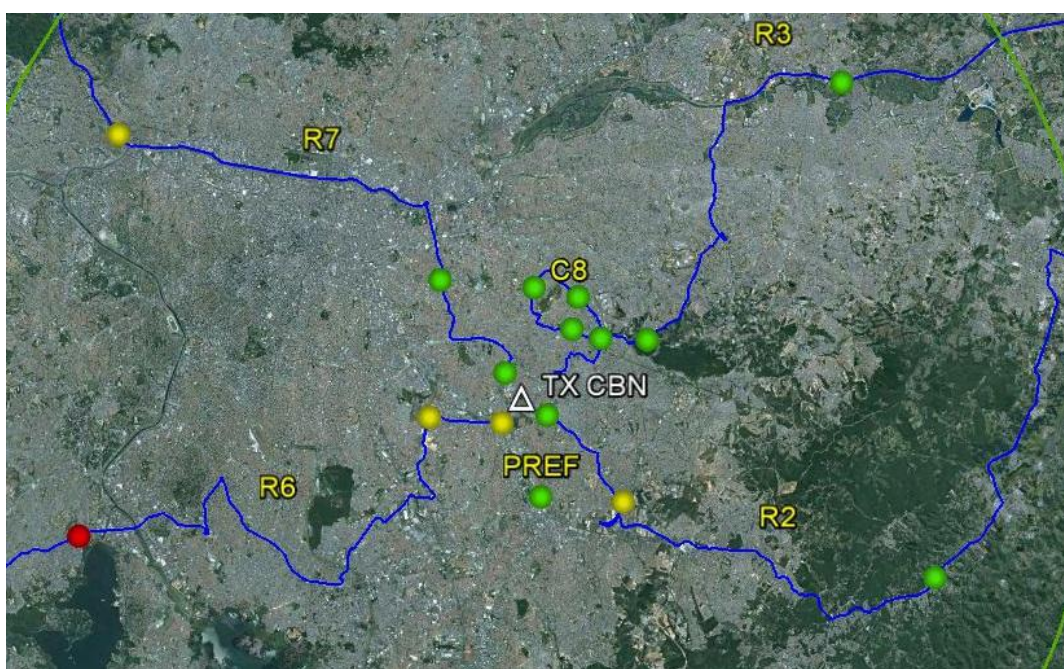


Figura 27 – Resultados da recepção estática noturna em pontos fixos ilustrados no mapa em detalhe

A Tabela 10 apresenta os resultados da recepção digital nos pontos fixos. Em relação ao total de pontos medidos (20), houve decodificação do sinal digital em 11 deles (55%).

Decodificação do Áudio Digital	Contorno Protegido (28 km)	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
Sim	11 (69%)	11 (55%)
Alternância com áudio analógico	4 (25%)	4 (20%)
Não	1 (6%)	5 (25%)
<i>Total de medições</i>	16 (100%)	20 (100%)

Tabela 10 – Resultados da recepção estática noturna nas rotas radiais e circulares

Dos 16 pontos medidos dentro do contorno protegido de 28 km, considerando as rotas radiais e circulares, 11 pontos (69%) tiveram decodificação do áudio digital. Fora desse contorno, não houve decodificação do áudio digital, sendo a recepção nesses pontos exclusivamente analógica.

A Figura 28 apresenta a distribuição dos modos de recepção em cada ponto durante o tempo de medição noturna, ilustrando as porcentagens de tempo em que o sinal recebido foi do tipo estéreo (Rx_Mode=1), do tipo mono (Rx_Mode=2) ou analógico (Rx_Mode=0).

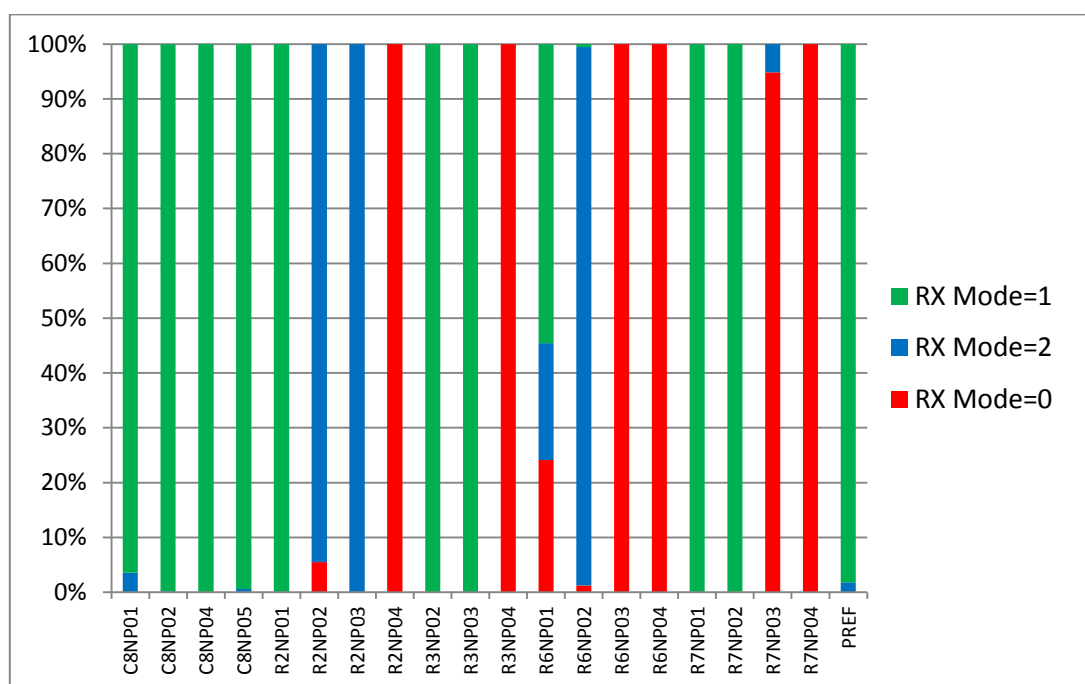


Figura 28 – Porcentagem de modos de recepção do áudio digital nos pontos fixos durante o tempo de medição, no período noturno

Correlacionando os dados da Figura 28 e da Tabela II.4, pode-se observar que os pontos em que houve decodificação do áudio digital com qualidade estéreo na totalidade do tempo de medição (100%) foram os pontos C8NP04, R3NP02, R3NP03, R7NP01 e R7NP02, sendo que todos estão situados dentro do contorno protegido da emissora (28 km). O único ponto em que houve

decodificação do áudio digital com qualidade mono na totalidade do tempo de medição (100%) foi o R2NP03, a 20,68 km do transmissor, indicando uma degradação do sinal nesse local.

A Figura 29 apresenta a intensidade do campo elétrico digital mediano dos pontos de medição, no período noturno, classificados conforme os resultados de recepção do parâmetro Rx_Mode, em função da distância ao transmissor.

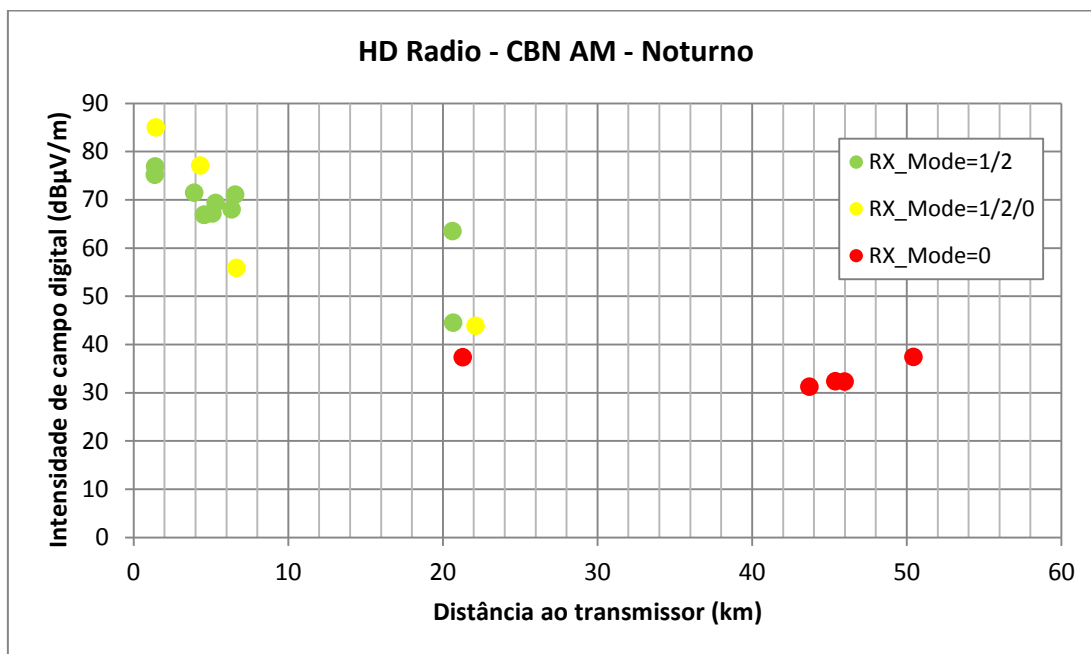


Figura 29 – Resultados da recepção estática noturna do sinal digital

Conforme observado na Figura 29, o limiar de intensidade de campo elétrico para recepção digital noturna pelo receptor profissional ficou compreendido na faixa de 62 dBµV/m a 65 dBµV/m, considerando a pequena quantidade de pontos de medição analisados. No entanto, no ponto R2NP03, a 20,68 km de distância em relação ao transmissor, houve decodificação do áudio digital, mesmo com uma intensidade de campo elétrico de 44,46 dBµV/m, o que pode ser atribuído à região ter características de área suburbana para rural, onde o nível de ruído é bem menor. Cabe salientar que o limiar definido apenas é válido quando o limiar de SNR para a decodificação do sinal HD Radio é respeitado.

A Figura 30 ilustra que não houve decodificação do áudio digital com valores do parâmetro SNR iguais ou inferiores a 6,6 dB. Acima de 20 dB, a decodificação do áudio digital ocorreu em todos os pontos. Entretanto, no intervalo entre 12 dB e 20 dB, verificou-se recepção com alternância entre analógico e digital em quatro pontos e recepção digital em um ponto. Devido a esses fatores, não foi possível definir um limiar preciso de SNR para a recepção estática com o sistema HD Radio no período noturno no ambiente testado.

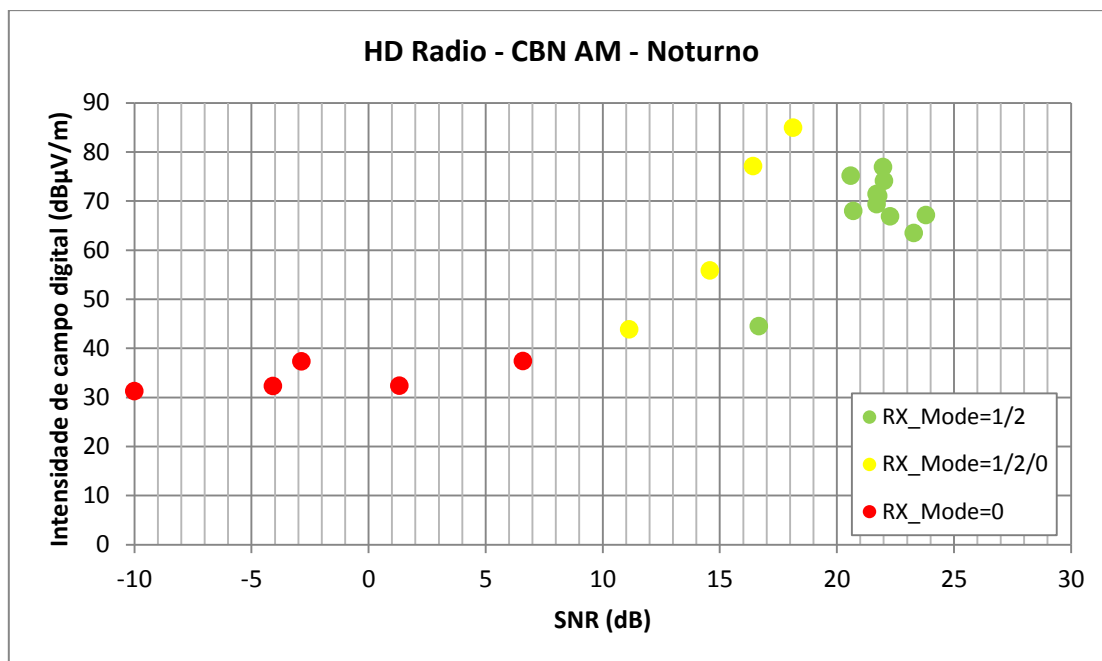


Figura 30 – Resultados da recepção estática noturna do sinal digital.

4.2.4. Avaliação da área de cobertura diurna do sinal digital 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. Assim, o número de amostras coletadas num pequeno trecho é enorme, o que torna inviável a visualização do comportamento da recepção em um mapa em virtude da sobreposição de várias amostras. Portanto, embora todos os dados sejam considerados e analisados no processamento dos dados da campanha móvel, não é viável a plotagem de todos eles no mapa. Nesse caso, a cada conjunto de “n” amostras, apenas o valor da Mediana do conjunto é plotada. 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 dos parâmetros Rx_Mode, que indicam presença ou ausência do sinal digital. Os percentuais apresentados correspondem ao total de ocorrências de Rx_Mode=1 (decodificação de áudio com qualidade estéreo) e de Rx_Mode=2 (decodificação de áudio com qualidade mono) 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.

A Figura 31 apresenta o parâmetro Rx_Mode registrado ao longo das rotas, sendo indicados em verde os pontos onde Rx_Mode=1, em azul onde Rx_Mode=2 e em vermelho onde Rx_Mode=0.



Figura 31 – Parâmetro Rx_Mode registrado nas medições diurnas em mobilidade

A Tabela 11 apresenta os resultados gerais da recepção móvel em rotas radiais.

Rota	Trecho	Distância ao último ponto do trecho (km)	Rx_Mode=1 (Estéreo) (%)	Rx_Mode=2 (Mono)(%)
Radial R2	P1 a P2	6,6	71,6	3,7
	P2 a P3	20,7	91,3	7,7
	P3 a P4	45,4	40,9	38,6

Radial R3	P1 a P2	6,35	66,95	1,56
	P2 a P3	20,6	95,1	4,11
Radial R6	P1 a P2	4,3	2,91	27,36
	P2 a P3	21,26	46,26	22,64
	P3 a P4	43,72	0,53	28,3
Radial R7	P1 a P2	6,5	80,2	2,6
	P2 a P3	22,13	80,1	14,9
	P3 a P4	46	19,6	35,05

Tabela 11 – Resultados da recepção móvel nas rotas radiais da Rádio CBN AM, período diurno

As rotas R2, R3 e R7 apresentaram comportamento similar com predominância de recepção do áudio digital com qualidade estéreo ao longo dos trechos P1 a P2 e P2 a P3, com percentagens variando de 66,95% a 95,1% ao longo dos trechos até uma distância de aproximadamente 22 km. Já na rota R6, predominou a não decodificação do sinal digital, pelas razões anteriormente mencionadas no item 4.2.2. O panorama geral dos trechos pode ser obtido correlacionando os dados da Figura 31 com a Tabela 11.

No detalhe da área urbana próxima à estação transmissora da CBN, mostrado na Figura 32, é possível visualizar o comportamento do parâmetro Rx_Mode nas rotas circulares, cujos valores em cada trecho são apresentados na Tabela 12.

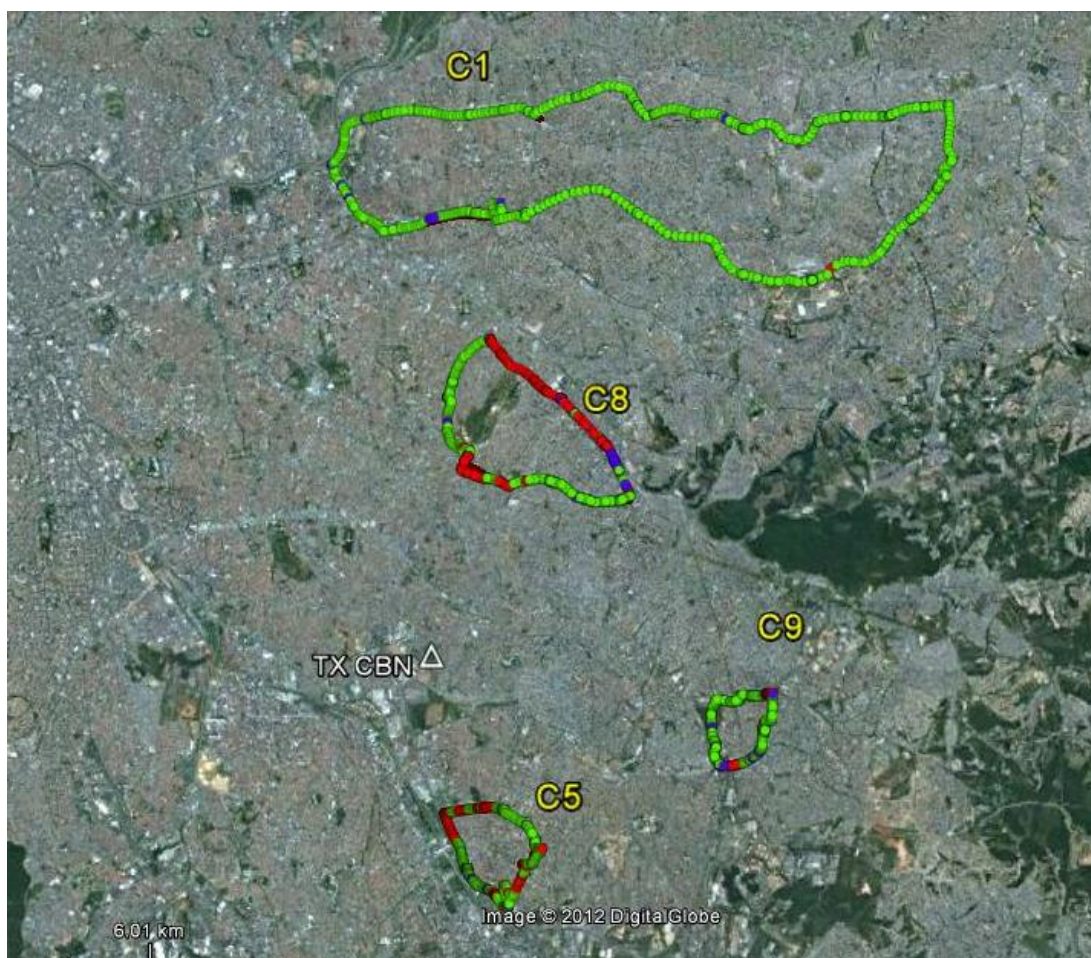


Figura 32 – Detalhe do registro do Rx_Mode na área urbana de São Paulo

Rota	Tipo/Local	Trecho	Duração (min)	Rx_Mode=1 (%)	Rx_Mode=2 (%)
Circular C1	Urbana	P1 a P2	13,59	98,72	1,27
		P2 a P3	13,66	98,77	1,2
		P3 a P4	12,91	97,8	0,72
		P4 a P5	12,55	98,43	1,56
		P5 a P1	6,63	89,97	9,99
Circular C5	Urbana	P1 a P2	3,1	41,8	2,25
		P2 a P3	7,55	81,32	4,6
		P3 a P4	7,17	59,94	4,55
		P4 a P5	2,44	59,92	11,6
		P5 a P1	2,78	52,09	7,05
Circular C8	Urbana	P1 a P2	12,56	27,6	7,5
		P2 a P3	10,73	87,8	3,25
		P3 a P4	6,46	47,2	1,54
		P4 a P5	5,45	87,76	7,76
		P5 a P1	4,91	27,3	37,3
Circular C9	Urbana Densa	P1 a P2	2,73	93,62	6,34
		P2 a P3	5,25	96,8	3,11
		P3 a P4	4,47	72,98	12,13
		P4 a P1	3,28	20,68	9,98

Tabela 12 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares da Rádio CBN AM, período diurno

A rota C1 obteve decodificação do áudio digital na maior parte do tempo de medição, sendo o modo digital estéreo predominante, com porcentagens acima de 97% ao longo dos trechos, exceto no trecho P5 a P1, no qual a porcentagem foi de 90%.

A rota C9 apresentou predominância de recepção de áudio digital com qualidade estéreo ao longo dos trechos, exceto no trecho P4 a P1, onde se observou a não decodificação do sinal digital em quase 70% do tempo. Nesse trecho há grande concentração de linhas de transmissão de alta tensão, o que pode ter contribuído para a degradação do sinal.

Na rota C8, dois trechos tiveram recepção digital em mais de 90% do tempo, porém os demais trechos (P1 a P2, P3 a P4 e P5 a P1) apresentaram porcentagens inferiores, devido ao fato de atravessarem uma região industrial com intenso tráfego de veículos e linhas de alta tensão, o que causa o aumento do nível de ruído e interferências na recepção digital.

Na rota C5, a decodificação do áudio digital ocorreu com maior frequência no trecho de P2 a P3, correspondendo a 85,92% do tempo. Nos demais trechos, o sistema HD Radio não apresentou o mesmo desempenho, com registros de recepção mono, intercalados com recepção de áudio analógico. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato da presença de linha de alta tensão e alto tráfego de veículos pesados.

Diante do exposto, os dados obtidos em mobilidade mostram uma boa recepção do áudio digital estéreo em uma área de até 22 km distante do transmissor. A partir desse ponto, a recepção digital estéreo diminui consideravelmente e a recepção digital mono aumenta. Cabe destacar que a maior distância registrada para recepção digital mono foi de 45 km. Dependendo da direção, a ocorrência de *blends* é bastante alta, situação essa que pode gerar desconforto ao usuário.

4.2.5. Avaliação da área de cobertura noturna do sinal digital com recepção móvel

Nessa Seção, empregaram-se as observações referentes à plotagem das amostras descritas na Seção 4.2.4, bem como o mesmo critério de contagem dos parâmetros Rx_Mode para o cálculo da porcentagem de tempo da decodificação de sinal digital mono e de sinal digital estéreo em cada trecho avaliado.

A Figura 33 apresenta o parâmetro Rx_Mode registrado ao longo das rotas, sendo indicados em verde os pontos onde Rx_Mode=1, em azul os com Rx_Mode=2 e em vermelho, onde Rx_Mode=0. Os resultados gerais da recepção móvel noturna nas rotas radiais são apresentados na Tabela 13.

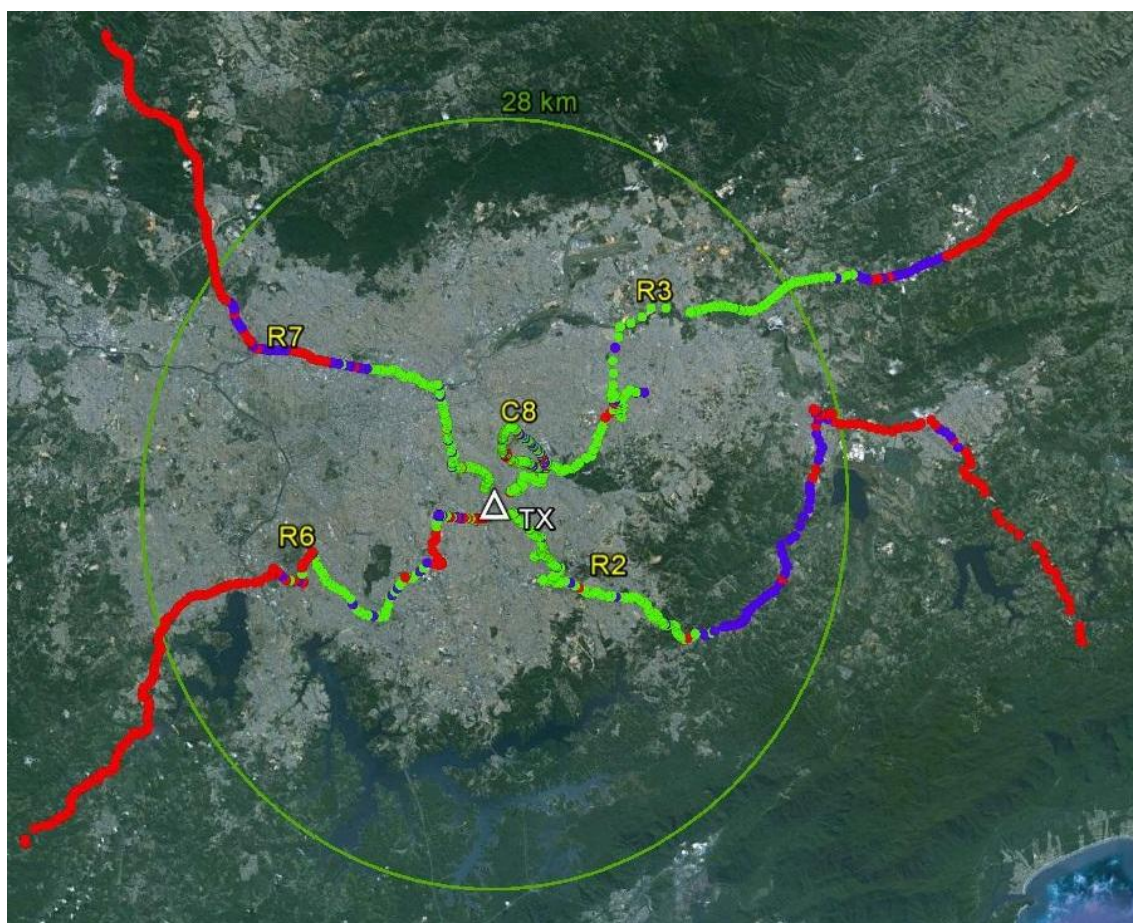


Figura 33 – Parâmetro Rx_Mode registrado nas medições noturnas em mobilidade

Rota	Trecho	Distância ao último ponto do trecho (km)	Rx_Mode=1 (Estéreo) (%)	Rx_Mode=2 (Mono)(%)
Radial R2	P1 a P2	6,6	91,3	5,81
	P2 a P3	20,7	67,4	25,0
	P3 a P4	45,4	1,0	30,3
Radial R3	P1 a P2	6,4	97,6	0,8
	P2 a P3	20,6	64,5	27,7
	P3 a P4	50,4	40,0	17,1

Radial R6	P1 a P2	4,3	22,5	30,7
	P2 a P3	21,3	33,6	20,2
	P3 a P4	43,7	0	0
Radial R7	P1 a P2	6,6	93,1	5,4
	P2 a P3	22,1	46,1	28,2
	P3 a P4	46,0	0	8,8

Tabela 13 – Resultados da recepção móvel noturna nas rotas radiais

Ao longo de todas as rotas, com exceção da rota R6, observou-se a presença maior de Rx_Mode = 1 e 2, com decodificação do áudio digital com qualidade estéreo ou mono, nos trechos P1 a P2 e P2 a P3, que atingem uma distância média de 22 km em relação ao transmissor.

Na análise dos últimos trechos das rotas (trecho P3 a P4), a recepção analógica esteve presente na maior parte do tempo, à exceção da rota R3, que teve recepção de sinal digital em 57,1% do tempo. Nessa rota, verificou-se recepção digital estéreo (Rx_Mode=1) na maior parte da região do contorno protegido noturno de 2,5 mV/m, inclusive nos pontos próximos ao seu limite, localizado a 28 km do transmissor.

As rotas R6 e R7 foram as que ofereceram coberturas digitais menos extensas, dentro das medições realizadas. Por outro lado, a rota 3 apresentou a melhor recepção do sinal digital, atingindo uma distância aproximada de 38 km em relação ao transmissor com qualidade de recepção do áudio mono.

Para as medições móveis noturnas, foi realizada medição em apenas uma rota circular, em um ambiente tipicamente urbano, denominada C8. O mapa na Figura 34 exibe a variação do parâmetro Rx_Mode ao longo da mesma. Os resultados gerais da recepção móvel noturna na referida rota circular são apresentados na Tabela 14.

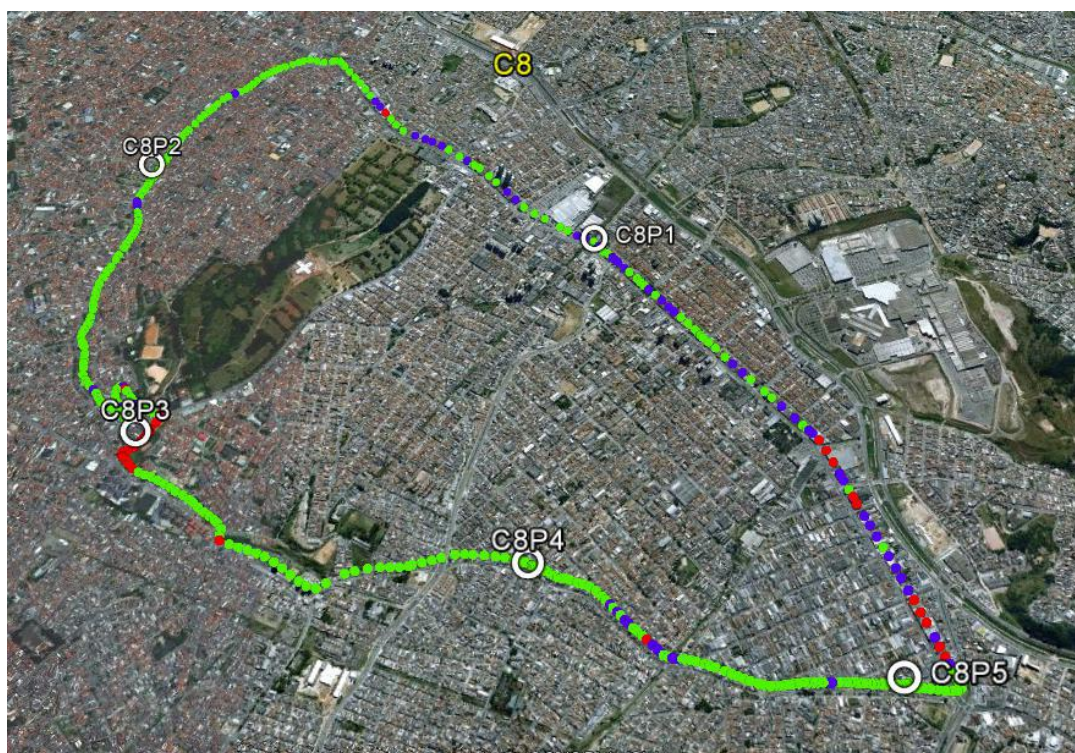


Figura 34 – Recepção móvel noturna na rota circular C8

Rota	Tipo/Local	Trecho	Duração (min)	Rx_Mode=1 (%)	Rx_Mode=2 (%)
Circular C8	Urbana	P1 a P5	7,4	55,7	32,0
		P5 a P4	5,7	87,5	10,8
		P4 a P3	7,9	51,1	1,6
		P3 a P2	7,5	81,6	8,4
		P2 a P1	9,9	82,1	17,3

Tabela 14 – Resultados da recepção móvel noturna nas rotas circulares

Em quatro dos cinco trechos da rota circular percorrida, obteve-se recepção digital (estéreo ou mono) superior a 87% do tempo de medição. A região de maior comprometimento da recepção digital estava localizada no trecho P4 a P3, cujo resultado não alcançou 53% do tempo. Isto pode ser atribuído em grande parte ao fato de existir nesse trecho cabeamento energizado dos ônibus elétricos circulantes, agindo como fonte de interferência eletromagnética.

4.3. Avaliação objetiva do áudio digital de receptores comerciais

4.3.1. Avaliação do áudio digital de receptor comercial nas medições estáticas diurnas

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 (estéreo e/ou mono) 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 foram utilizados dois modelos de receptores comerciais, Sony (receptor de mesa) e JVC (automotivo), nas medições em 27 pontos fixos. A Tabela 15 apresenta os resultados dentro do contorno protegido de 45 km e em toda a região onde houve a campanha de testes no período diurno.

Recepção	Contorno Protegido de 45 km		Toda a região de testes	
	SONY	JVC	SONY	JVC
Digital	17 (68%)	23 (92%)	17 (63%)	23 (85%)
Mista (alternância com áudio analógico)	2 (8%)	0 (0%)	2(4%)	0 (0%)
Analógica	6 (24%)	2 (8%)	8 (30%)	4 (15%)
<i>Total de medições fixas</i>	25 (100%)		27 (100%)	

Tabela 15 – Medições fixas com receptores comerciais, período diurno

A Figura 35 e a Figura 36 apresentam esses resultados considerando a localização dos pontos de medição e a intensidade de campo elétrico digital mediano registrada pelo receptor profissional.

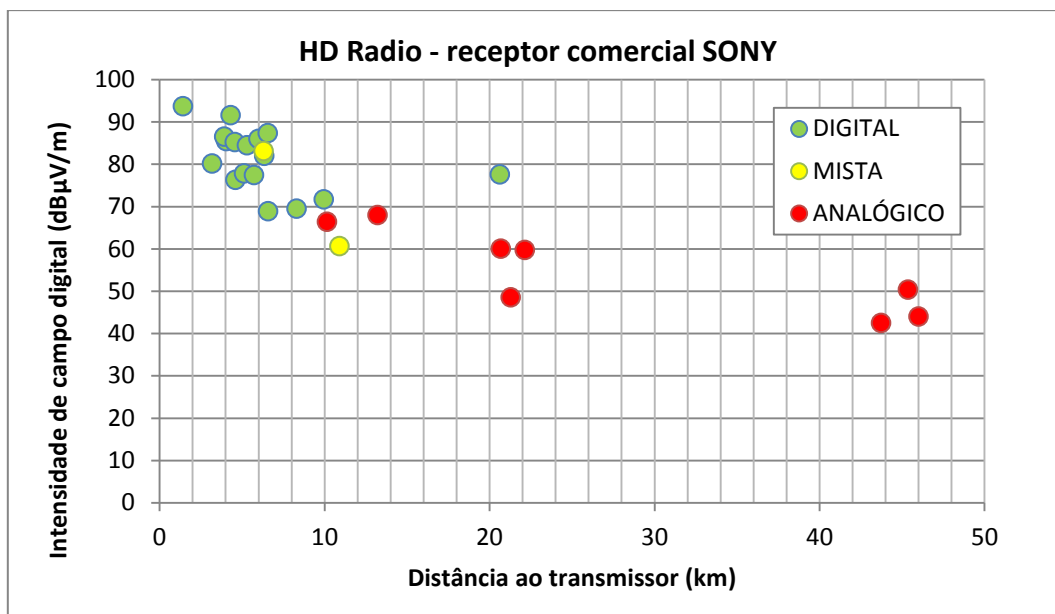


Figura 35 – Resultado do tipo de áudio recebido pelo receptor SONY nas medições fixas diurnas

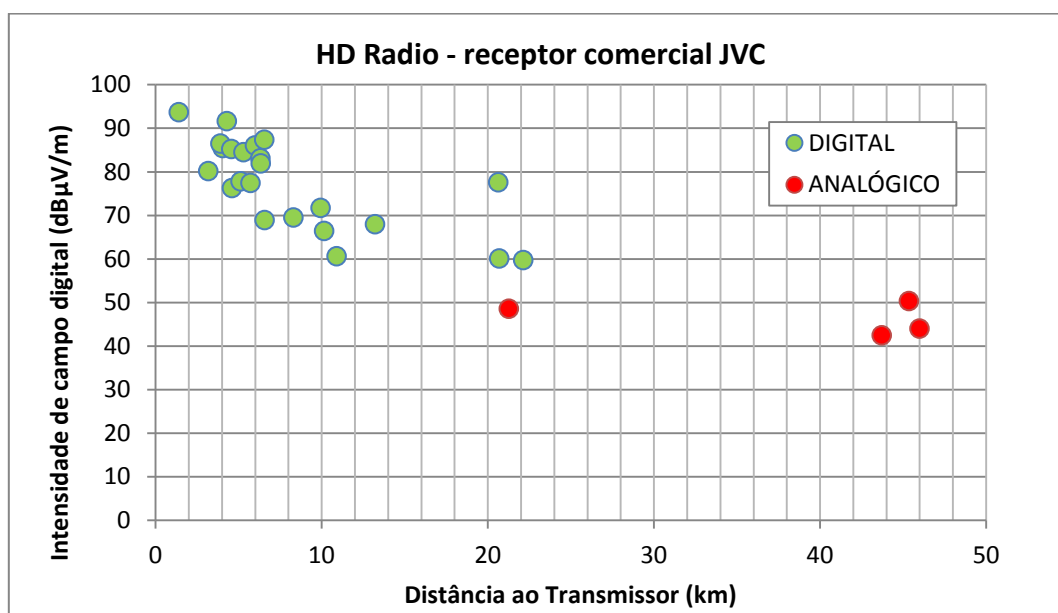


Figura 36 – Resultado do tipo de áudio recebido pelo receptor JVC nas medições fixas diurnas

Nesses gráficos, observa-se que o limiar de intensidade de campo elétrico para recepção digital com o receptor SONY esteve entre 68 dBµV/m e 70 dBµV/m, e para o receptor JVC, esse limiar foi de 60 dBµV/m a 62 dBµV/m (resultado semelhante ao obtido para o receptor profissional).

4.3.2. Avaliação do áudio digital de receptor comercial nas medições estáticas noturnas

Seguindo os mesmos critérios de classificação apresentados na Seção 4.3.1, foi realizada a avaliação da recepção dos dois receptores comerciais, SONY (receptor de mesa) e JVC (receptor automotivo), em 20 pontos fixos. A Tabela 16 apresenta os resultados dentro do contorno protegido de 28 km e em toda a região onde houve a campanha de testes. Os resultados mostram que, dentro do contorno protegido noturno, o áudio recebido foi majoritariamente digital, com ambos os modelos de receptores. Fora da região delimitada pelo contorno protegido, o áudio dos receptores comerciais foi puramente analógico.

Recepção	Contorno Protegido de 28 km		Toda a região de testes	
	SONY	JVC	SONY	JVC
Digital	9 (56%)	13 (81%)	9 (45%)	13 (65%)
Mista	2 (13%)	1 (6%)	2 (10%)	1 (5%)
Analógica	5 (31%)	2 (13%)	9 (45%)	6 (30%)
<i>Total de medições fixas</i>	16 (100%)		20 (100%)	

Tabela 16 – Medições fixas noturnas com receptores comerciais

A Figura 37 e a Figura 38 apresentam esses resultados considerando a localização dos pontos de medição e a intensidade de campo elétrico digital mediano registrada pelo receptor profissional.

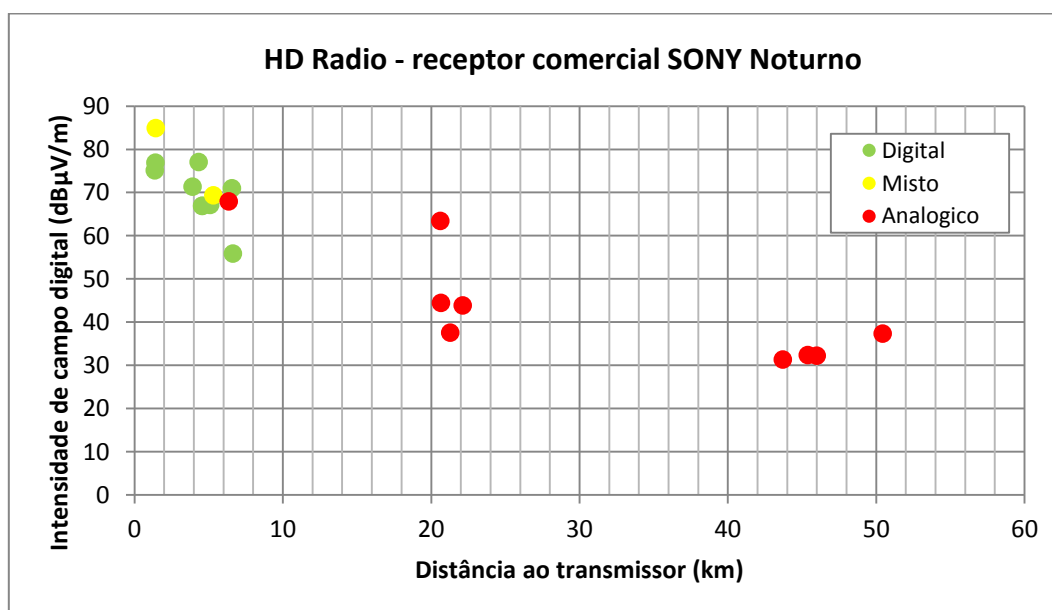


Figura 37 – Resultado do tipo de áudio recebido pelo receptor SONY nas medições fixas noturnas

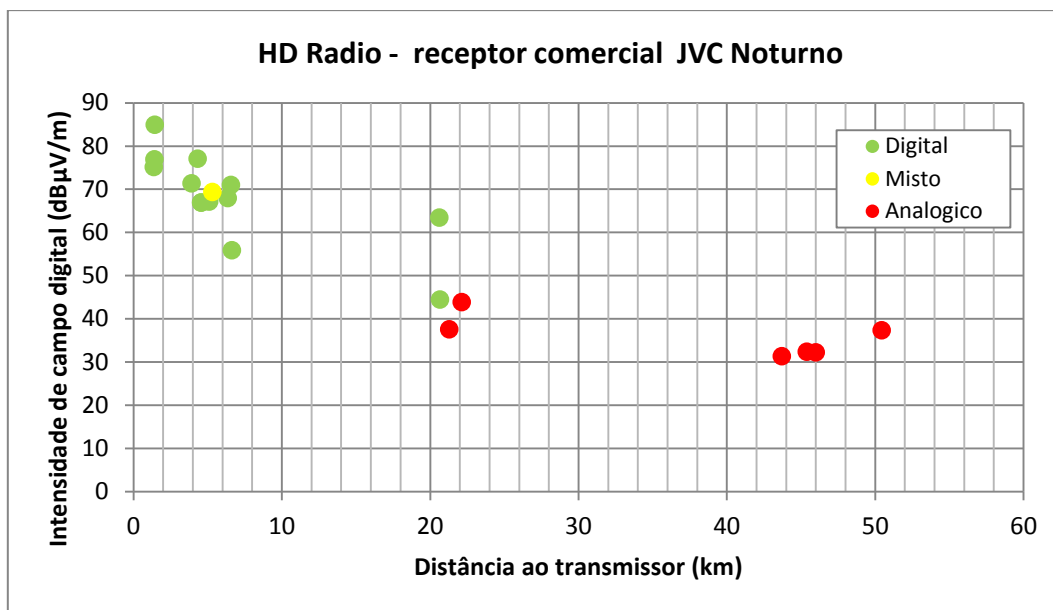


Figura 38 – Resultado do tipo de áudio recebido pelo receptor JVC nas medições fixas noturnas

Nesses gráficos, observa-se que o limiar de intensidade de campo elétrico para recepção digital com o receptor SONY esteve entre 65 dBµV/m e 70 dBµV/m, e para o receptor JVC, esse limiar foi de 62 dBµV/m a 65 dBµV/m (resultado semelhante ao obtido para o receptor profissional).

4.4. Resultados da Recepção Analógica AM

4.4.1. Avaliação da área de cobertura em recepção estática diurna

A cobertura do sinal analógico AM da Rádio CBN 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 [12]. 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 17). 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. A Tabela II.5 do item II do Apêndice apresenta as médias das notas atribuídas aos áudios referentes aos receptores comerciais. É importante ressaltar que não foram realizadas medições móveis do áudio analógico AM.

<i>Quality</i>	<i>Impairment</i>
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

Tabela 17 – Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284

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 18 apresenta a definição da classificação das notas empregadas 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

Tabela 18 – Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho

A classificação da qualidade do áudio analógico AM diurno obtido em cada ponto fixo a partir de medições da CBN AM é apresentada na Figura 39, com a intensidade de campo analógico em função da distância ao transmissor, sendo que os mesmos pontos são apresentados na Figura 40. 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”.

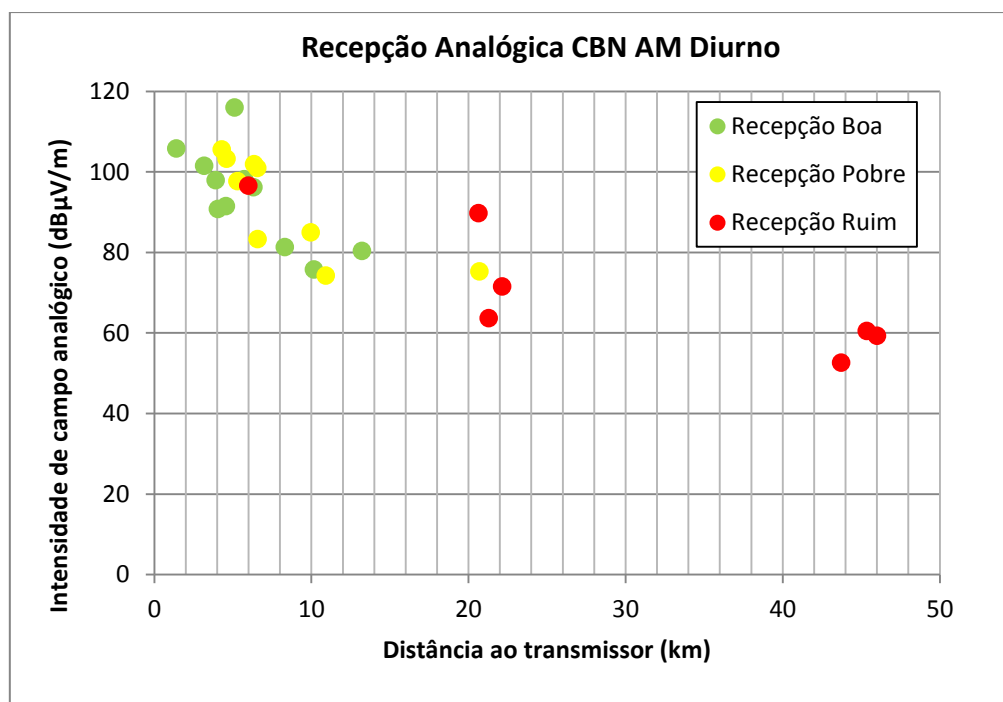
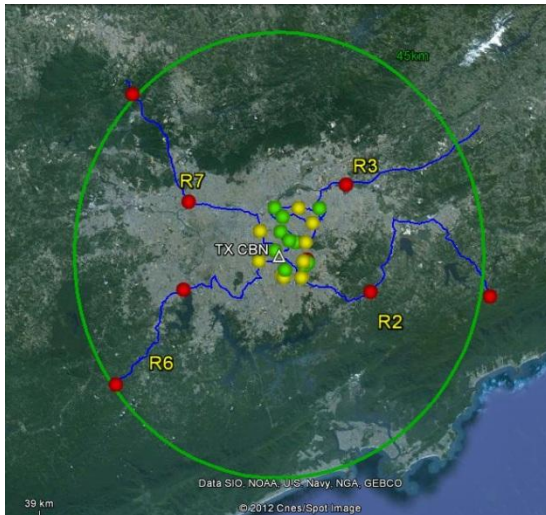


Figura 39 – Avaliação subjetiva do áudio analógico AM da Rádio CBN, período diurno



(a) Visão global



(b) Visão detalhada

Figura 40 – Recepção estática do áudio analógico no mapa, período diurno

Por meio da Figura 39 e da Figura 40 é possível verificar que a recepção analógica foi avaliada predominantemente como “Recepção Boa” ou “Recepção Pobre” até a distância de 20 km em relação ao transmissor, com alternância entre as duas, sendo que a maior distância onde ocorreu “Recepção Boa” foi 13 km. Observa-se que há apenas 1 ponto (C9P03) com “Recepção Ruim” dentro desse raio de 13 km, apesar de registrar intensidade de campo elétrico de 96,61 dB μ V/m. Por meio dos registros de ocorrência, verificou-se que a baixa qualidade do áudio nesse ponto foi devido à interferência de outra estação. A partir de um raio de 20 km em relação ao transmissor, verificou-se apenas “Recepção Ruim” em todas as rotas radiais, exceto no ponto R2DP03, localizado a 20,7 km que apresentou “Recepção Pobre” mesmo tendo intensidade de campo de 75,26 dB μ V/m.

Observa-se no gráfico que o limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico AM para uma “Recepção Boa” ficou entre 76 dB μ V/m a 80 dB μ V/m.

O áudio analógico foi registrado em 27 locais e a classificação da recepção encontra-se na Tabela 19. Dentro do contorno protegido de 45 km em relação ao transmissor, houve 11 pontos (44%) com “Recepção Boa” analógica, 9 pontos com “Recepção Pobre” e 5 pontos com “Recepção Ruim”.

Recepção Analógica	Contorno Protegido de 45 km	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
Boa	11 (44%)	11(41%)
Pobre	9 (36%)	9 (33%)
Ruim	5(20%)	7 (26%)
<i>Total de medições</i>	25(100%)	27 (100%)

Tabela 19 – Resultados do áudio analógico em recepção estática, período diurno

4.4.2. Avaliação da área de cobertura em recepção estática noturna

Seguindo a metodologia adotada na seção anterior, a classificação da qualidade do áudio analógico AM noturno obtido em cada ponto fixo é apresentada na Figura 41, com a intensidade de campo elétrico em função da distância ao transmissor. A Figura 42 exibe o mapa com a qualidade do áudio analógico em cada local de medição.

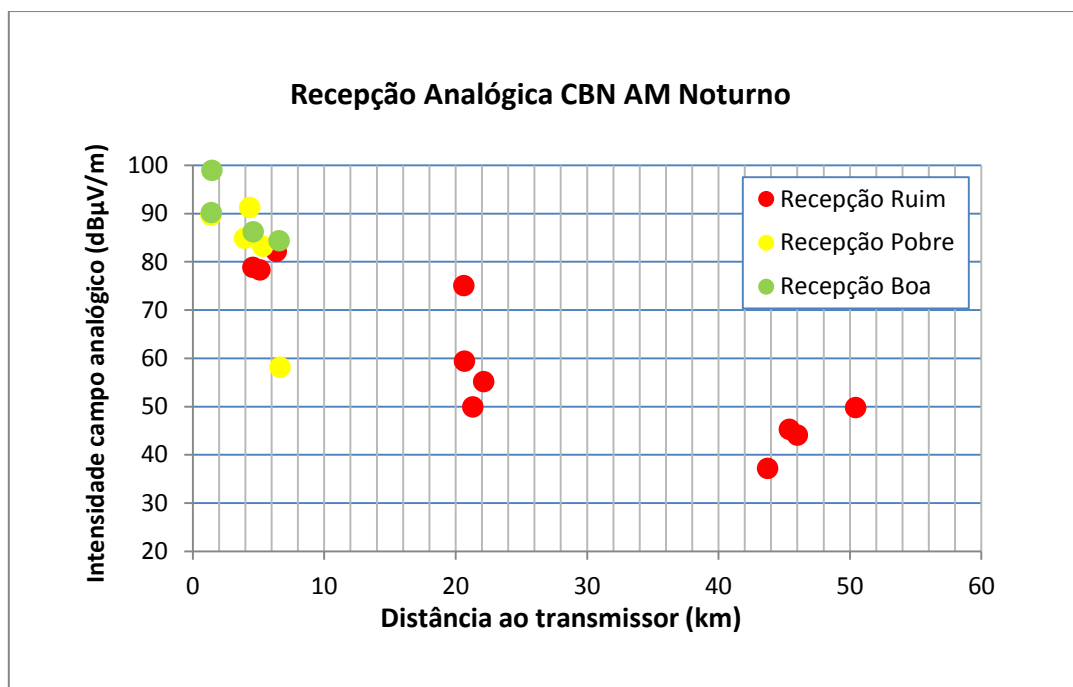


Figura 41 – Avaliação subjetiva do áudio analógico AM da Rádio CBN, período noturno.

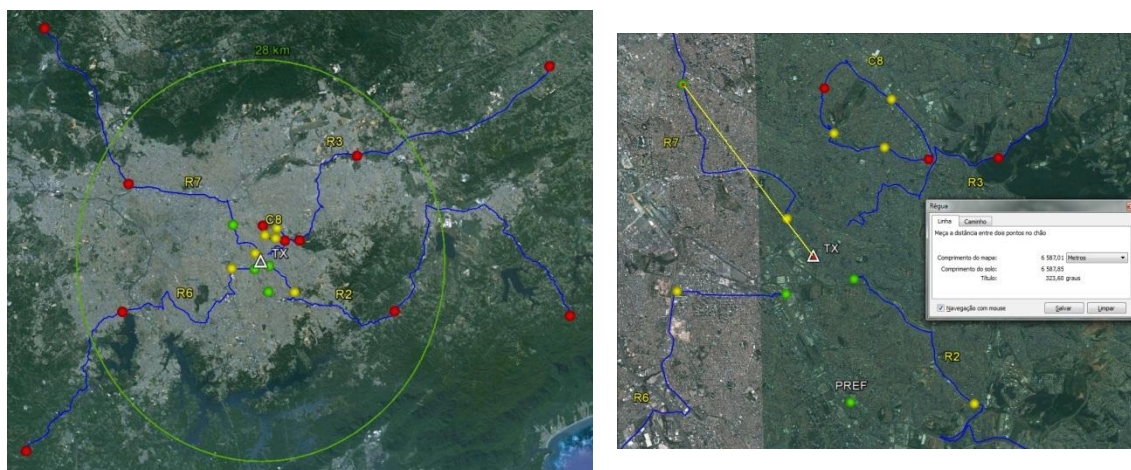


Figura 42 – Recepção estática do sinal analógico no mapa, no período noturno, dentro do raio de 28 km.

Na Figura 41 e na Figura 42, é possível verificar que as recepções analógicas avaliadas como “Recepção Boa” e “Recepção Pobre” ficaram concentradas na região interna à circunferência

em um raio de 7 km em torno do transmissor. No entanto, foi registrada a ocorrência de “Recepção Ruim” já a partir da distância de 4,5 km do transmissor, iniciando-se no ponto C8NP05.

Observa-se no gráfico que o limiar de campo elétrico do sistema analógico AM para uma “Recepção Boa” no período noturno ficou entre 82 dB μ V/m e 85 dB μ V/m.

O áudio analógico foi registrado em 20 locais e a classificação da recepção encontra-se na Tabela 20. Dentro do raio de 28 km em relação ao transmissor, houve 4 pontos (25%) com “Recepção Boa”, 5 pontos (31%) com “Recepção Pobre” e os demais foram considerados como “Recepção Ruim”.

Recepção Analógica	Raio de 28 km	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
Boa	4 (25%)	4 (20%)
Pobre	5 (31%)	5 (25%)
Ruim	7 (44%)	11 (55%)
<i>Total de medições</i>	16 (100%)	20 (100%)

Tabela 20 – Resultados do áudio analógico em recepção estática, no período noturno

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

Os resultados referentes à qualidade do áudio analógico (sistema AM) 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 21 apresenta os resultados em cada ponto fixo das medições realizadas no período diurno.

Pontos	Distância ao transmissor (km)	Qualidade de Áudio Analógico	Rx_Mode (Digital Estéreo=1/Digital Mono=2/Ausência de Sinal Digital=0)
Ponto de Referência	4,60	2,75	1/2
C1P01	10,15	3,56	1/2
C1P02	10,91	2,55	1/2
C1P03	13,21	3,24	1/2
C1P04	9,95	2,65	1
C1P05	8,30	3,43	1/2
C5P02	3,18	3,47	1/2
C5P05	4,04	3,59	1/2/0
C8DP02	5,12	4,12	1/2
C8DP04	3,92	4,24	1/2
C8DP05	4,57	4,00	1
C9P01	5,72	4,10	1/2
C9P02	5,30	2,83	1/2
C9P03	5,99	1,00	1/2
C9P04	6,31	3,77	1/2
R2DP02	6,58	2,09	1/2
R2DP03	20,69	2,74	1/2
R2DP04	45,36	1,00	0

R3DP02	6,35	2,10	1
R3DP03	20,63	2,00	1
R6DP02	4,30	2,44	1/2/0
R6DP03	21,28	1,00	0
R6DP04	43,72	1,00	0
R7DP01	1,41	3,29	1/2
R7DP02	6,55	2,32	1
R7DP03	22,14	1,15	1/2
R7DP04	45,99	1,00	0

Tabela 21 – Resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática diurna

Os resultados mostram que, dos 27 pontos fixos, houve mais pontos com decodificação de sinal digital (estéreo e mono) registrados com o receptor profissional (21 pontos), do que com áudio analógico com qualidade boa (11 pontos).

Os valores da Tabela 21 são apresentados na Figura 43. Conforme a classificação definida na Tabela 18, o limiar para “Recepção Boa” do áudio analógico corresponde à nota 3. Nessa avaliação, quando o Rx_Mode foi igual a 1 ou 2 (estéreo ou mono), 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 0/1/2, estes estão indicados como uma nota “média” igual a 2,5 no áudio digital.

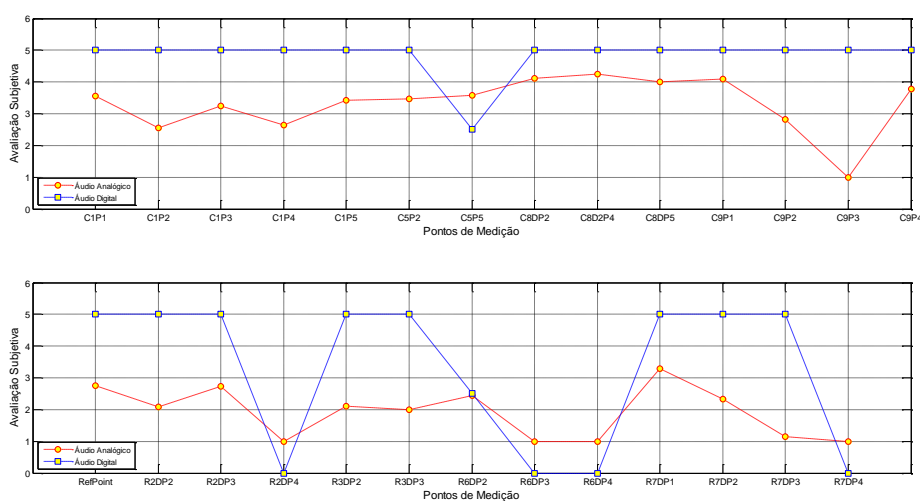


Figura 43 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital das medições diurnas

A Tabela 22 mostra a consolidação dos resultados da Tabela 21, indicando a quantidade de pontos em cada situação de recepção listada abaixo, em relação à decodificação do áudio digital e à qualidade de recepção do áudio analógico correspondente:

- pontos onde houve áudio digital (Rx_Mode=1/2) e o analógico estava bom;
- pontos onde houve áudio digital (Rx_Mode=1/2), porém o áudio analógico estava pobre e ruim;
- pontos onde não houve áudio digital e onde Rx_Mode=0/1/2, porém o áudio analógico estava bom;

- pontos onde não houve áudio digital e onde Rx_Mode=0/1/2, e o áudio analógico estava pobre e ruim.

		Recepção do Áudio Analógico		
		Boa	Pobre e Ruim	Totais
Recepção do Áudio Digital	Sim (Rx_Mode=1/2)	10 (37%)	11 (41%)	21 (78%)
	Não (Rx_Mode=0) e Mista (Rx_Mode=0/1/2)	1 (4%)	5 (18%)	6 (22%)
	Totais	11 (41%)	16 (59%)	27 (100%)

Tabela 22 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática diurna

Em 10 locais (37%), houve recepção digital e analógica boa simultaneamente. Em 11 locais (41%), houve recepção digital enquanto que a analógica estava classificada como “Pobre” ou “Ruim”, considerando toda a região de teste. O único ponto de recepção analógica com qualidade “Boa” em que não ocorreu recepção digital foi o C5P05, situado a 4,04 km do transmissor, no qual a decodificação digital foi intermitente (Rx_Mode variando entre 0, 1 e 2).

Verificou-se por meio dos testes que o áudio digital atendeu a mais pontos do que o áudio analógico com qualidade de recepção “Boa” dentro do contorno protegido de 45 km. Dentro desse mesmo contorno protegido, a distância máxima onde ocorreu recepção analógica “Boa” foi de 13 km a partir do transmissor, enquanto que a decodificação digital (estéreo ou mono) foi observada até 22 km, caracterizando o desempenho superior do sistema digital nessa região.

Portanto, pode ser concluído que, de uma forma geral, no ambiente testado, o sinal digital tem área de cobertura melhor que a do que sistema analógico, possuindo um desempenho melhor que o sistema AM no raio de 22 km a partir do transmissor, estando 20 dB abaixo do AM (aproximadamente 1% da potência EIRP do sinal analógico).

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

A mesma análise feita na seção anterior é realizada para as medições feitas no período noturno. A Tabela 23 apresenta os resultados em cada ponto fixo.

Pontos	Distância ao transmissor (km)	Qualidade de Áudio Analógico	Rx_Mode (Digital Estéreo=1/Digital Mono=2/Ausência de sinal digital=0)
Ponto de Referência	4,56	3,85	1/2
C8NP01	5,32	2,15	1/2
C8NP02	5,11	1,9	1/2
C8NP04	3,93	2,15	1/2
C8NP05	4,56	1,8	1/2
R2NP01	1,41	3,5	1/2
R2NP02	6,65	2,6	1/2/0
R2NP03	20,68	1,6	1/2

R2NP04	45,40	1,15	0
R3NP02	6,36	1,05	1/2
R3NP03	20,63	1,15	1/2
R3NP04	50,44	1	0
R6NP01	1,45	3,45	1/2/0
R6NP02	4,32	2,65	1/2/0
R6NP03	21,30	1,25	0
R6NP04	43,72	1	0
R7NP01	1,39	2,8	1/2
R7NP02	6,58	3	1/2
R7NP03	22,13	1,5	1/2/0
R7NP04	46,00	1,15	0

Tabela 23 – Resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática noturna

Os resultados mostram que, dos 20 pontos fixos, houve mais pontos com decodificação de sinal digital (estéreo ou mono) registrados com o receptor profissional (11 pontos), do que com áudio analógico com qualidade boa (4 pontos).

Os valores da Tabela 23 são apresentados na Figura 44, atribuindo-se a nota máxima para a qualidade do áudio digital quando o Rx_Mode foi igual a 1 ou 2 (estéreo ou mono), devido às características intrínsecas do sistema digital HD Radio com a configuração utilizada, e a nota 2,5 quando o Rx_Mode foi 0/1/2.

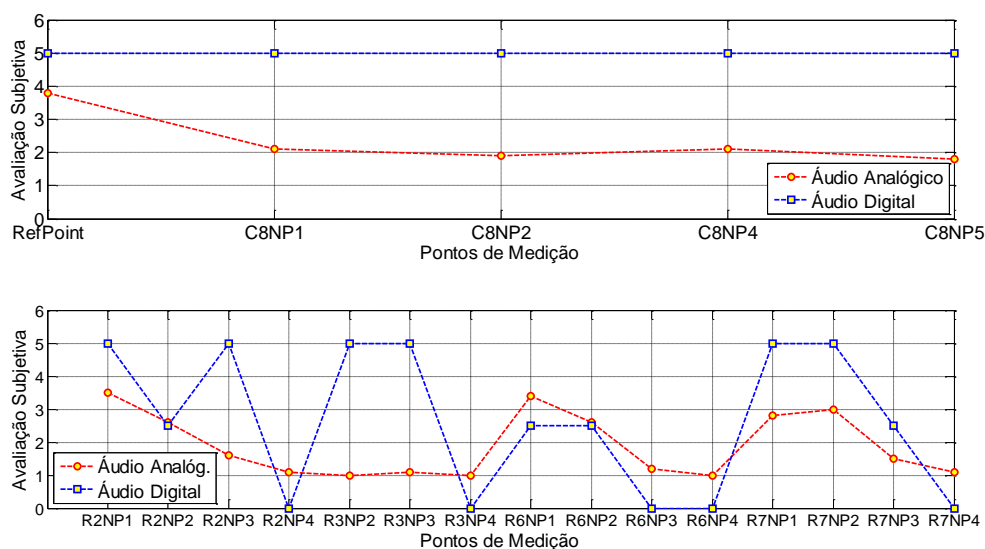


Figura 44 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital das medições noturnas

A Tabela 24 mostra a consolidação dos resultados da Tabela 23, indicando a quantidade de pontos em cada situação de recepção em relação à decodificação do sinal digital e à qualidade de recepção do sinal analógico correspondente, conforme explicado no item 4.4.3.

		Recepção do Áudio Analógico		
		Boa	Pobre e Ruim	Totais
Recepção do Áudio Digital	Sim (Rx_Mode=1/2)	3 (15%)	8 (40%)	11 (55%)
	Não (Rx_Mode=0) e Mista (Rx_Mode=0/1/2)	1 (5%)	8 (40%)	9 (45%)
	Totais	4 (20%)	16 (80%)	20 (100%)

Tabela 24 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática noturna

Em 3 locais (15%), houve recepção digital e analógica boa simultaneamente. Todos esses pontos ficam localizados a menos de 7 km do transmissor. Em 8 locais (40%), houve recepção digital enquanto que a analógica estava classificada como “Pobre” ou “Ruim”. Para os pontos sob essa classificação, a máxima distância ao transmissor foi de 20,68 km. Houve apenas 1 local (5%) onde a decodificação digital foi intermitente (Rx_Mode variando entre 0, 1 e 2) e a recepção analógica possuía qualidade “Boa”. Isso ocorreu no ponto R6NP01, situado a 1,45 km do transmissor.

Verificou-se por meio dos testes que, da mesma forma como ocorreu no período diurno, no período da noite o áudio digital atendeu a mais pontos que o áudio analógico com recepção “Boa” dentro do contorno protegido de 28 km. Dentro desse contorno, a distância máxima onde ocorreu recepção analógica “Boa” foi de 6,58 km a partir do transmissor, enquanto obteve-se decodificação digital (estéreo ou mono) até 20,68 km, caracterizando o desempenho superior do sistema digital nessa região.

Portanto, pode ser concluído que, para o período noturno, o sinal digital tem área de cobertura superior à do sistema analógico, possuindo um desempenho melhor que o sistema AM no raio de 21 km a partir do transmissor, estando 20 dB abaixo do AM (aproximadamente 1% da potência EIRP do sinal analógico).

APÊNDICE

I. Sistema HD Radio

I.1. Histórico e padronização

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.

À época de seu desenvolvimento, a tecnologia empregada no HD Radio se configurava como a principal alternativa às tecnologias correntes para a implantação da radiodifusão sonora digital no país que oferecesse qualidade superior de áudio sem a necessidade de alocação de uma faixa separada de espectro de frequências para sua alocação. Esta realização se dá pelo HD Radio ter sido o pioneiro na geração de um sistema híbrido¹ 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. A transmissão deste sinal digital agregado ocorre pela adição de subportadoras nas bandas laterais ao sinal analógico que devem obedecer a máscaras de transmissão estabelecidas pelo FCC que limitam a potência digital transmitida relativa ao sinal analógico e aos sinais em canais adjacentes [2] [15].

O *National Radio Systems Committee* (NRSC) é a organização responsável pelo desenvolvimento de padrões técnicos para a indústria de radiodifusão sonora nos EUA. A norma atual, emitida em 2005 e com sua mais recente revisão de setembro de 2011 [1], prevê a implantação do sistema de radiodifusão sonora digital em: canais de radiodifusão MW (540 a 1700 kHz) utilizando largura de banda de aproximadamente 10 kHz e 20 kHz para o sinal digital, de acordo com a configuração escolhida. Com essas configurações é possível utilizar larguras de banda de áudio analógico de 5, 8 e 9,4 kHz [16], canais em VHF (88,1 a 107,9 MHz) utilizando largura de banda de aproximadamente 200 kHz e 400 kHz para o sinal digital, de acordo com a configuração escolhida [17]. O sinal digital transmitido em MW no modo híbrido apresenta-se dividido em duas bandas laterais (superior e inferior em relação ao sinal analógico). A configuração denominada “padrão” utiliza aproximadamente 10 kHz de largura de banda em cada lateral, totalizando aproximadamente 20 kHz para a transmissão do sinal digital. Além dessa configuração, o sistema permite reduzir as bandas laterais para aproximadamente 5 kHz, totalizando aproximadamente 10 kHz para a transmissão do sinal digital. A taxa de dados alcançada no canal lógico destinado ao áudio e dados atinge 36,4 kbit/s, distribuídos em 3 (três) canais lógicos.

O sinal digital transmitido em VHF no modo híbrido apresenta-se dividido em duas bandas laterais (superior e inferior em relação ao sinal analógico), possibilitando duas configurações: híbrida e híbrida estendida (com uma, duas ou quatro partições). Neste caso, a taxa de dados nos canais lógicos destinada ao áudio e dados depende da configuração escolhida, variando de aproximadamente 99,4 kbit/s até 148 kbit/s.

¹ Alternativamente à versão híbrida, existe o sistema *all-digital*, que não contém componente analógica modulada.

Fontes de áudio digitais devem ser inseridas nos chamados serviços de programação para então serem encapsuladas e multiplexadas, fases que antecedem a codificação e a transmissão do sinal digital. A norma vigente não especifica mecanismos de codificação e de compressão das fontes de áudio, mas a *iBiquity* desenvolveu o algoritmo *HD Radio Audio Compression* (HDC) [18], baseado no codificador MPEG-4 HE-AAC, para ser utilizado nos sistemas MW e VHF de HD Radio [19].

A disseminação do padrão pelo mundo está se dando em diferentes estágios em vários países. Em abril de 2012 foi anunciado o lançamento da primeira emissora HD Radio no México, na capital federal, como a primeira de uma série de outras emissoras programadas para adoção no país [20]. Além desse, diversos outros países operam de forma limitada, como República Dominicana, Suíça, Ucrânia e Indonésia. Países como Canadá, Argentina e China estão realizando testes de campo com o padrão [21],[22].

Um grande número de testes de campo com o sistema HD Radio, a fim de avaliar o desempenho do sistema em variadas condições, foi realizado nos EUA. O NRSC criou um fórum para todos os interessados em radiodifusão digital terrestre avaliarem o sistema e proverem informações ao FCC. Em 1999 e 2000, o NRSC desenvolveu seu primeiro conjunto de guias de teste, que foram desenvolvidos para validação do sistema HD Radio, incluindo ensaios de laboratório e de campo. Em 2001, a *iBiquity* completou um extensivo programa de testes da tecnologia nas faixas de AM e FM, seguindo os procedimentos de testes definidos pelo NRSC. Em 2002, o NRSC completou a avaliação do sistema e recomendou à FCC autorizar a tecnologia para operação.

Entre os testes realizados pela *iBiquity* estão incluídos a avaliação da transmissão na faixa de AM no período noturno [23] e o estudo da compatibilidade com o serviço analógico [24]. Nestes documentos é relatado que o sinal digital não foi capaz de cobrir todas as áreas correntemente servidas pelo serviço analógico, mas atendeu às áreas primárias das estações avaliadas. Quanto à compatibilidade, foram detectados impactos mínimos em estações transmissoras regionais e nenhum impacto detectável em estações locais. Em sequência a estes, a *iBiquity* realizou estudos na transmissão *all-digital* nas faixas de AM [25] e FM [26]. Ambos os relatórios atestaram o desempenho aprimorado do sistema nestas condições. Foram realizadas pela *iBiquity*, em [27],[28], medições para estudo de desempenho do sistema na faixa de FM, modo híbrido, realizados nas cidades de São Francisco e Las Vegas. Os resultados apresentados demonstraram qualidade de recepção do sinal digital superior à experimentada pelo serviço analógico e, além disto, nas localidades onde ocorreu ausência de sinal digital, a comutação automática (*blend*) para recepção do sinal analógico ocorreu de forma satisfatória. No mesmo período, testes de campo foram realizados pela *National Public Radio* (NPR), com o objetivo de avaliar o desempenho da recepção móvel do padrão, na faixa de FM. Os testes foram conduzidos em 4 cidades americanas e os resultados são exibidos graficamente, ilustrando a recepção do sinal e o campo elétrico recebido ao longo das rotas. A partir destes resultados foram traçados contornos da área de recepção do sinal acima de 95% do tempo. Inferiu-se então que sua área de serviço recai normalmente sobre a área de serviço de 60 a 70 dB μ V/m de uma estação FM típica. Estudo da cobertura do serviço digital na faixa de FM foi conduzido em [29], onde foi realizada a avaliação do campo elétrico recebido em função da qualidade da

recepção do sinal digital, também com a finalidade de definir áreas de cobertura para taxas de 90 e 97% de serviço.

I.2. Características técnicas do Sistema HD Radio

O sistema digital de radiodifusão sonora “In-Band/On-Channel” (IBOC) é concebido para possibilitar uma transição gradual do sistema de radiodifusão sonora atual para um sistema totalmente digital. Dois tipos de transmissão são especificados: híbrido, que consiste de sinais analógicos (AM ou FM) e sinais digitais, e digital total, que não contém uma componente analógica modulada. Os espectros de RF de ambos sistemas ajustam-se às máscaras de transmissão estabelecidas pelo FCC, que limitam a potência digital transmitida relativa ao sinal analógico e aos sinais em canais adjacentes.

O sistema IBOC fornece serviços digitais de áudio e de dados a receptores móveis, portáteis e fixos de transmissores terrestres em canais de radiodifusão existentes AM e FM. No modo híbrido, as transmissoras podem continuar a transmitir sinais analógicos AM e FM simultaneamente com os canais digitais IBOC, permitindo-lhes, e a seus ouvintes, uma transição de rádio analógico a digital conservando suas atuais alocações de frequências.

O sistema aceita como entrada áudio digital comprimido e utiliza técnicas de processamento de sinais em banda básica para aumentar a robustez do sinal no canal de transmissão. Isto permite que um sinal de áudio de alta qualidade seja transmitido utilizando níveis de potência e segmentos de banda selecionados para possibilitar maior robustez e minimizar interferências a sinais analógicos existentes.

A Figura I. 1 ilustra os três principais subsistemas do sistema de radiodifusão digital IBOC padronizadas pelo NRSC-5 [1] e como estes se relacionam entre si. Os principais subsistemas são:

- Subsistema de transmissão/RF
- Subsistema de transporte e serviço multiplex
- Subsistemas de áudio e entrada de dados

I.3. Subsistema de Transmissão RF

O subsistema de transmissão/RF recebe o fluxo de bits multiplexado e aplica codificação e entrelaçamento, que podem ser utilizados no receptor para a reconstrução dos dados transmitidos, mesmo quando o sinal recebido não for idêntico ao transmitido devido a imperfeições no canal. O fluxo de bits multiplexado e codificado é modulado em subportadoras OFDM (“Orthogonal Frequency Division Multiplex”) e convertido para a banda AM ou FM.

I.4. Subsistema de transporte e serviço multiplex

O subsistema de transporte e serviço multiplex alimenta a informação a ser transmitida para o subsistema de transmissão/RF. As informações de áudio e os dados recebidos são organizados em pacotes, sendo estes multiplexados em um único fluxo de dados. Cada pacote é identificado como um pacote de áudio ou de dados. Alguns pacotes de dados (i.e., aqueles com dados de serviço do programa, que incluem título da música, nome do artista, etc) são adicionados ao fluxo de pacotes que transportam sua informação de áudio associada antes de serem alimentados no multiplexador.

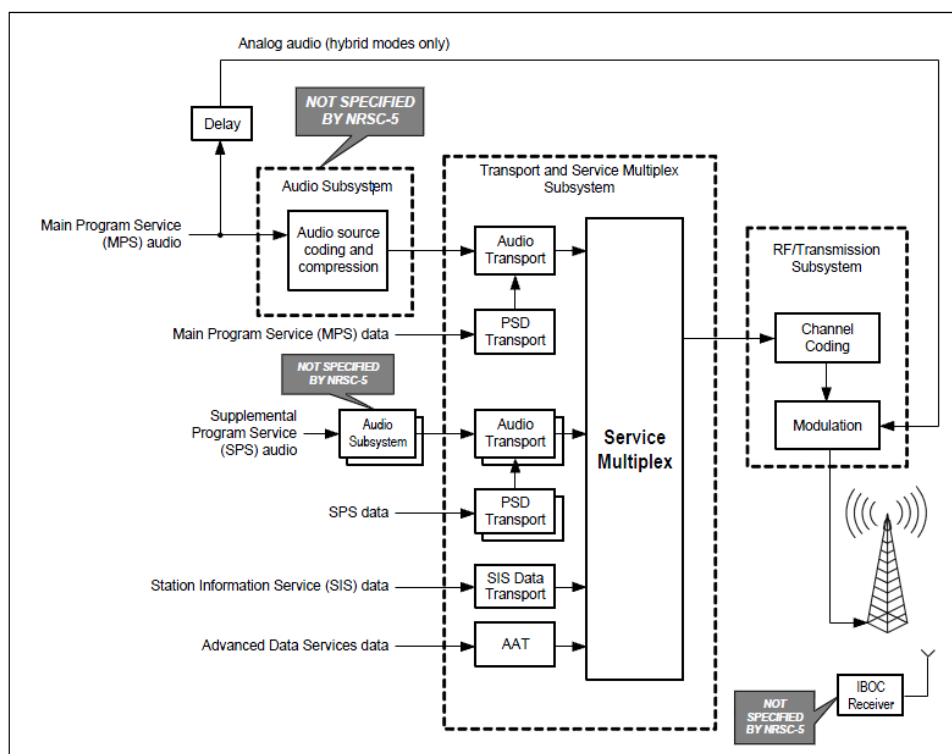


Figura I. 1 – Sistema de radiodifusão digital IBOC

I.5. Subsistema de entrada de áudio e dados

I.5.1. Entradas de áudio

A codificação e a compressão de fonte de áudio do serviço principal do programa (MPS – “Main Program Service”) e do serviço suplementar do programa (SPS – “Supplemental Program Service”) devem ser realizadas antes da informação de áudio ser alimentada nos subsistemas de transporte de áudio. Cada serviço de áudio (serviço principal do programa e cada serviço suplementar do programa) tem seu próprio subsistema de codificação, compressão e transporte. O NRSC-5 não inclui especificações para codificação e compressão de fonte de áudio. Sistemas de codificação e compressão de fonte de áudio adequados utilizarão tecnologias apropriadas (p. ex., codificação perceptual de áudio) para reduzir a taxa de bits requerida para descrição de sinais de áudio.

Em modos híbridos, o áudio MPS analógico é também modulado diretamente sobre a portadora de RF para recepção por receptores analógicos convencionais. O áudio analógico MPS não

passa pelo subsistema de transporte de áudio, e é submetido a um retardo para que chegue ao receptor simultaneamente com o sinal digital. Este fato possibilita uma comutação praticamente imperceptível da recepção digital para a analógica quando a qualidade do sinal recebido não for suficiente para recepção de áudio digital ou quando os pacotes digitais nas PDU – “Protocol Data Unit” – do MPS estiverem corrompidos. Esta característica, conhecida como “blend”, também é utilizada para variações rápidas do canal, permitindo que o receptor demodule e reproduza o fluxo analógico primeiro e então misture ao fluxo de áudio digital.

I.5.2. Entradas de dados

Há três tipos de entrada de dados no sistema de radiodifusão digital IBOC. O primeiro tipo são Dados de Serviço do Programa (PSD – “Program Service Data”), que inclui a informação descritiva associada com a programação de áudio transmitida, tal como o título da música e o artista. O segundo tipo são dados do Serviço de Informação da Estação (SIS – “Station Information Service”), que contém informação sobre a estação e o sinal que não está associado com um fluxo de programa individual. O terceiro tipo são dados dos Serviços de Dados Avançados (ADS – “Advanced Data Services”), que são geralmente referidos como “outros dados”.

I.5.3. Entradas de Dados de Serviço do Programa (PSD)

Os campos PSD incluem título da música, artista, álbum, gênero, comentários, identificadores comerciais e de referência.

Há duas classificações de PSD. A primeira é PSD Principal (MPSD – “Main PSD”), que pode ser transmitida junto com o programa de áudio principal, e destina-se a descrever ou complementar o programa de áudio principal ouvido pelo ouvinte.

A segunda classificação de PSD é PSD Suplementar (SPSD – “Supplemental PSD”), que pode ser transmitido com o Serviço de Programa Suplementar (SPS) do programa de áudio. Cada entrada SPSD é formatada da mesma maneira que a MPSD, mas tem conteúdo associado com um SPS específico de um programa de áudio.

I.5.4. Entradas do Serviço de Informação da Estação

O segundo maior tipo de entrada de dados do sistema de radiodifusão digital IBOC são dados do Serviço de Informação da Estação (SIS). Estes dados fornecem informações gerais sobre a estação, incluindo informações técnicas, úteis para aplicações não relacionadas ao programa. Os campos de SIS incluem o número de identificação da estação (baseado no FCC), letras de chamada da estação, nome da estação, localização da estação, categoria do programa (para programas principal e suplementar), “Active Radio” que é utilizado para alertas emergenciais, um campo que permite que a transmissora envie uma mensagem de texto arbitrária e campos reservados para uso futuro.

I.5.5. Entradas de outros dados

Serviços de Dados Avançados (ADS) propiciam às transmissoras a capacidade de transmitirem informações não relacionadas às anteriores (MPS, SPS ou SIS). Estes serviços podem transportar qualquer forma e conteúdo que possa ser expressado como um arquivo de dados ou um fluxo de dados, incluindo serviços de áudio. Exemplos de tais serviços incluem: (i) efeitos visuais associados com os serviços MPS, SIS ou SPS; (ii) apresentações multimídia de cotações, notícias, tempo, e programação de entretenimento, incluindo áudio, texto e imagens; (iii) atualizações de radiodifusão para sistemas veiculares; (iv) armazenamento local de conteúdo para posterior repetição; (v) anúncios dirigidos; (vi) atualizações de tráfego e informações para uso com sistemas de navegação; e (vii) serviços de assinatura ou de acesso gratuito mas limitado, utilizando acesso condicional.

I.6. Características do Sistema de Transmissão/RF IBOC na Banda de AM

A Figura I. 2 ilustra como o padrão é particionado de acordo com a camada do protocolo e indica os documentos referenciados na referência [1] que especificam em detalhe os requisitos associados. É uma visão geral de toda a implementação do padrão de radiodifusão digital IBOC NRSC-5 na banda de AM.

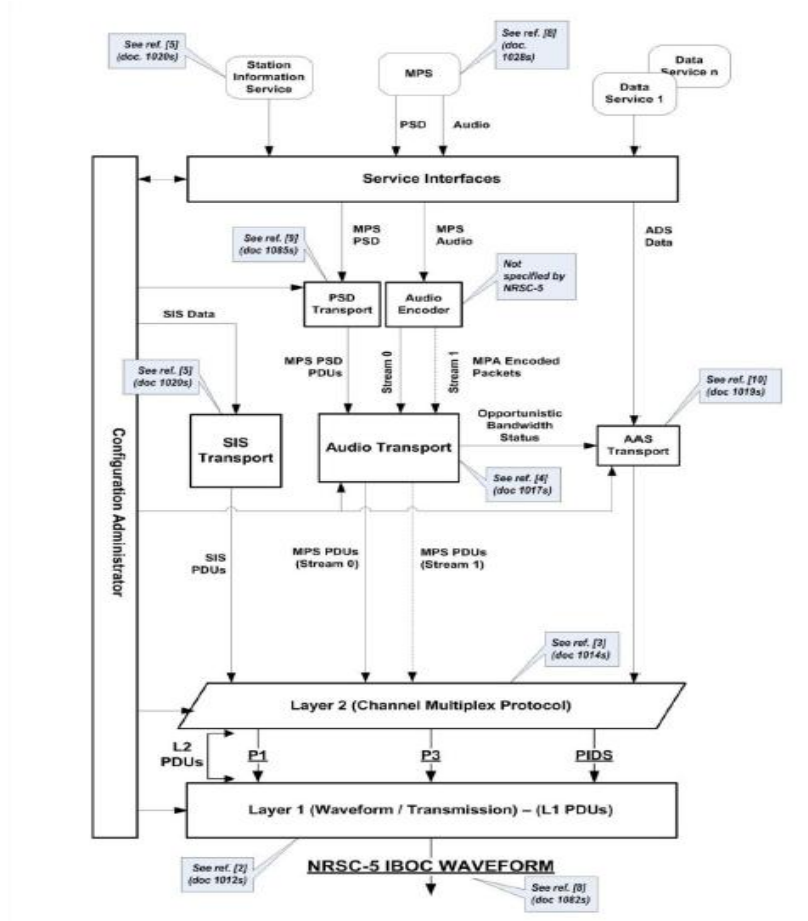


Figura I. 2 – Implementação do padrão de radiodifusão digital IBOC NRSC-5 na banda AM

I.6.1. Características de Transmissão

Esta seção inclui uma descrição de alto nível de cada bloco funcional da Camada 1 e o fluxo de sinal associado. A Figura I. 3 é um diagrama em blocos do nível superior do subsistema de transmissão/RF ilustrando a ordem de processamento.

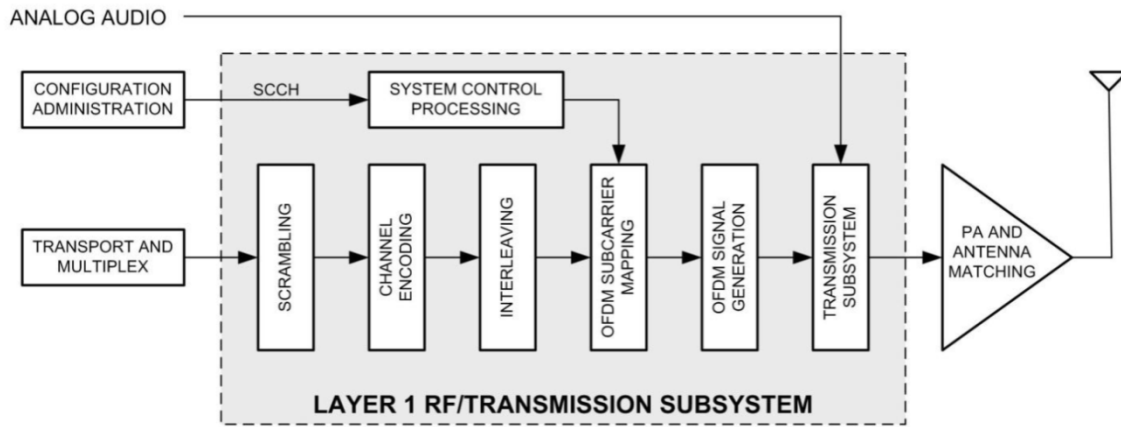


Figura I. 3 – Diagrama em blocos do subsistema de transmissão/RF

A Figura I. 4 é um diagrama em blocos funcional de processamento da Camada 1.

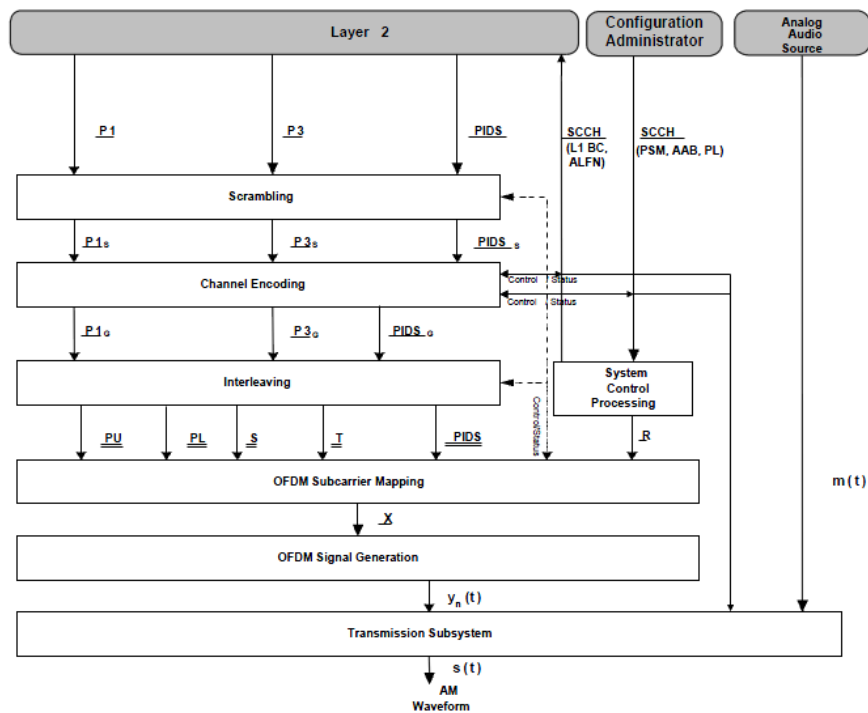


Figura I. 4 – Diagrama em blocos funcional da Camada 1 da interface aérea na banda de AM com detalhes ilustrativos do fluxo de dados

I.6.2. Interface da Camada 1

A interface da Camada 1 ilustra os pontos de acesso entre o multiplex de canal e a Camada 1 da pilha de protocolos do sistema. Os dados entram na Camada 1 como quadros de transferência discretos, com tamanho único e taxa determinada pelo modo de serviço. Quadros de transferência que transportam informação do multiplex de canal são referidos como PDU's L1.

I.6.3. Canais Lógicos

O conceito de canais lógicos e sua função é essencial para o transporte e a transmissão de dados através do sistema IBOC. Um canal lógico é um percurso de sinal que conduz PDU's da Camada 1 com um grau de serviço especificado. Na

Figura I. 5 os canais lógicos são denotados por símbolos, como P1, PIDS, etc. O sublinhado indica que o dado no canal lógico é formatado como um vetor.

I.7. Codificação do canal

Codificação de canal compreende as funções de embaralhamento (“scrambling”), codificação de canal, e entrelaçamento (“interleaving”), mostradas na Figura I. 3.

I.7.1. Embaralhamento(“Scrambling”)

Esta função torna aleatórios os dados digitais em cada canal lógico para suavizar as periodicidades do sinal, quando a forma de onda é demodulada em um demodulador analógico convencional de AM. Os bits em cada canal lógico são embaralhados para tornar aleatórios os dados no domínio do tempo e auxiliar na sincronização do receptor. As entradas dos embaralhadores (“scramblers”) são os canais lógicos ativos da Camada 2, como escolhidos pelo modo de serviço. As saídas dos embaralhadores são quadros de transferência de bits embaralhados para cada um dos canais lógicos ativos. O embaralhador gera um código pseudoaleatório que é somado módulo 2 com os vetores de dados de entrada. O código gerador é um LFSR (“Linear Feedback Shift Register”).

I.7.2. Codificação de canal (“Channel Encoding”)

A codificação de canal melhora o desempenho do sistema, aumentando a robustez do sinal na presença de interferências e imperfeições do canal. Um FEC (Forward Error Correction) implementado através de “Punctured Convolutional Encoding”, é aplicado a cada canal lógico no subsistema de transmissão/RF.

I.7.3. Entrelaçamento (“Interleaving”)

O entrelaçamento também é aplicado aos canais lógicos no subsistema de transmissão/RF. O processo de entrelaçamento oferece diversidade tanto em frequência quanto em tempo. O retardo fornece diversidade de tempo aos canais lógicos afetados. Se aplicado, o valor do retardo de diversidade é um valor fixo.

O entrelaçamento consiste de quatro operações primárias: geração de subquadros, retardo para diversidade, alinhamento do tempo de transmissão, e mapeamento de bits. Estas operações são aplicadas aos canais lógicos P1, P3 e PIDS, começando com geração de subquadros (ver Figura 5). A geração de subquadros cria novos canais lógicos em que a informação entrante é

redistribuída. Alguns subquadros passam por “buffers” de retardo, criando o percurso de diversidade de retardo, que resulta nos fluxos principal e de “backup”. A etapa final é para o mapeador de bits dispersar os dados sequenciais de subquadro para locações não-sequenciais específicas nas matrizes de saída do entrelaçador. O mapeamento de bits resulta num novo conjunto de canais lógicos que passam esta informação entrelaçada ao processo de geração de subportadora OFDM.

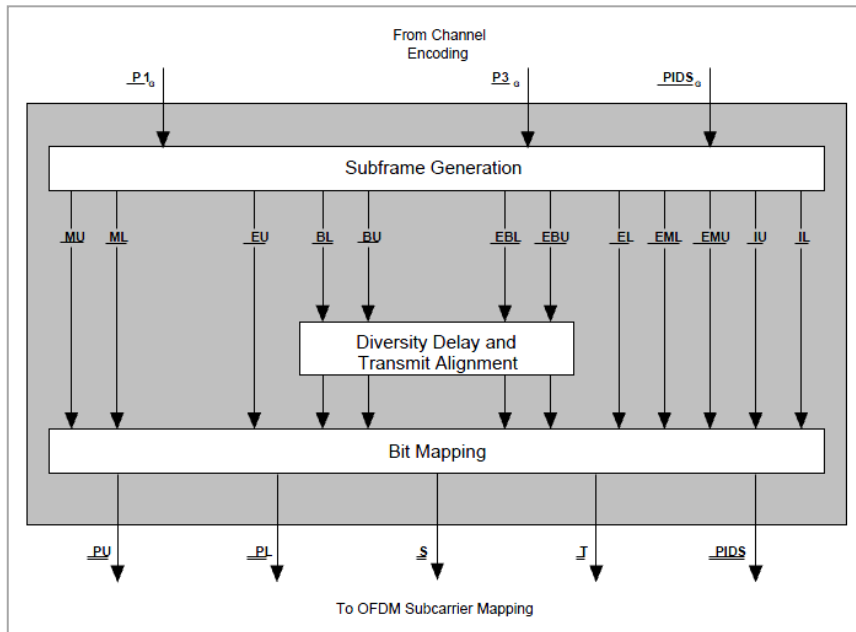


Figura I. 5 – Diagrama em blocos conceitual do entrelaçamento (“interleaving”)

I.8. Processamento de Controle do Sistema

Como mostrado na Figura I. 6, o canal de controle do sistema (SCCH – “System Control Channel”) é desviado do codificador de canal. Na configuração do sistema, o processamento de controle do sistema monta e codifica diferencialmente uma sequência de bits (sequência de dados de controle do sistema) destinada a cada subportadora de referência, como indicado na Figura I. 6. Há duas subportadoras de referência com separações específicas da portadora no espectro OFDM.

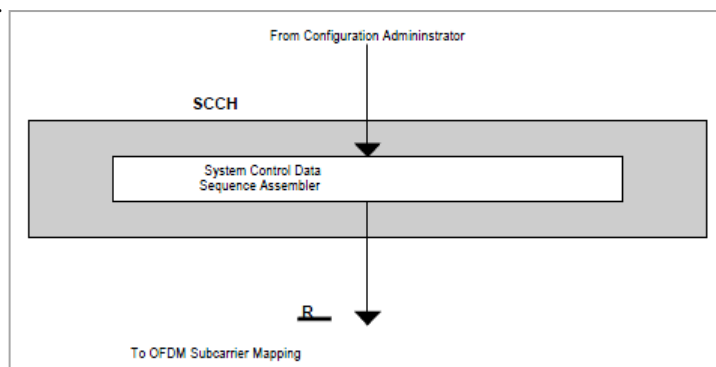


Figura I. 6 – Diagrama conceitual do processamento de controle do sistema

1.9. Mapeamento e modulação da subportadora

O mapeamento da subportadora OFDM atribui partições do entrelaçador para partições de frequências. Para cada matriz ativa do entrelaçador, o mapeamento da subportadora OFDM atribui uma fila de bits de cada entrelaçador a sua respectiva frequência de portadora e valor de constelação no vetor de saída complexo X . Adicionalmente, bits da sequência de dados de controle do sistema de uma fila de R são mapeados para uma subportadora de referência ativa em X . O modo de serviço dita quais matrizes do entrelaçador e quais elementos de R estão ativos. A Figura I. 7 mostra as entradas, saída, e funções componentes do mapeamento da subportadora OFDM.

As entradas para o mapeamento da subportadora OFDM para cada símbolo são uma fila de bits de cada matriz ativa do entrelaçador e uma fila de bits de R , a matriz de sequências de dados de controle do sistema. A saída do mapeamento da subportadora OFDM para cada símbolo OFDM é um único vetor complexo X , de comprimento 163.

As matrizes transportando áudio e dados do usuário (PU, PL, S, T, PIDS) são mapeadas a pontos de constelação escalados QPSK, 16-QAM ou 64-QAM e para subportadoras específicas. A matriz R é mapeada a pontos de constelação BPSK e as subportadoras de referência. Estes fasores são então escalados em amplitude e mapeados a suas subportadoras OFDM atribuídas. Este processo resulta em um vetor, X , de fasores que são saída da função de geração do sinal OFDM.

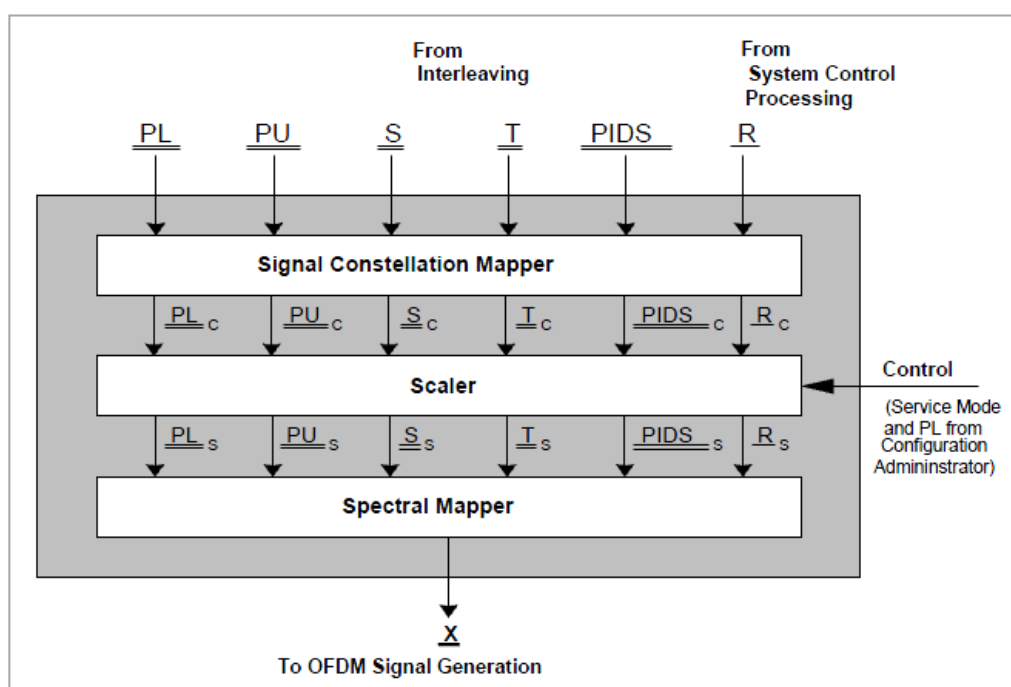


Figura I. 7 – Diagrama em blocos funcional de mapeamento de subportadora OFDM

I.10. Transmissão

A geração do sinal OFDM recebe símbolos complexos OFDM no domínio da frequência do mapeamento de subportadora OFDM, e entrega pulsos no domínio do tempo representando a parte digital do sinal IBOC na banda AM.

A entrada para a geração do sinal OFDM para o n -ésimo símbolo é um vetor complexo X_n de comprimento L , representando os valores complexos da constelação para cada subportadora OFDM no símbolo n . Por conveniência de notação, a saída de mapeamento de subportadora descrita acima não utiliza o índice n . Em vez disso, ela refere-se ao vetor X como representando um único símbolo OFDM. Nesta seção o índice é acrescentado a X devido ao significado de n para a geração do sinal OFDM. O símbolo OFDM é transformado para o domínio do tempo por uma transformada de Fourier discreta e formatado para criar um símbolo no domínio tempo, $y_n(t)$. A saída da geração do sinal OFDM é um pulso complexo em banda básica no domínio do tempo $y_n(t)$, representando a parte digital do sinal IBOC na banda de AM para o símbolo n OFDM.

Os símbolos $y_n(t)$ são concatenados para formar uma forma de onda contínua no domínio tempo. A forma de onda é então mapeada espectralmente e particionada em frequência no conjunto de subportadoras OFDM. Esta forma de onda OFDM é combinada (somada) com a forma de onda modulada em amplitude (AM) $a(t)$ (no modo híbrido) para criar $z(t)$. Esta forma de onda passa por um conversor de subida de RF para criar a forma de onda completa IBOC em RF para transmissão. Este processo é ilustrado na Figura I. 8.

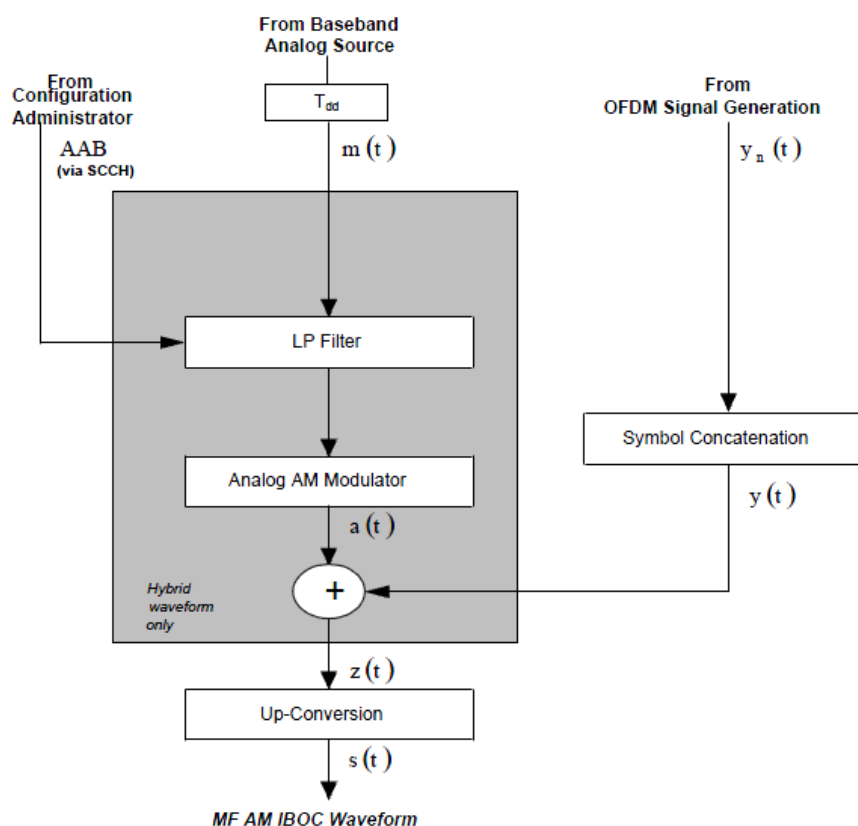


Figura I. 8 – Diagrama em blocos funcional do subsistema de transmissão híbrido

I.11. Espectro e limites de emissão para o sistema IBOC na banda de AM

O sistema “HD Radio” opera de acordo com as alocações de frequências e o espaçamento de canais definidos pelo FCC. Os espectros dos sinais transmitidos, tanto da versão híbrida quanto da versão digital total, estão centrados na frequência do canal AM atribuído, e em conformidade com a “máscara de emissões espectrais”.

O sinal digital é modulado utilizando OFDM (“Orthogonal Frequency Division Multiplexing”), um esquema de modulação paralelo em que o fluxo de dados modula um grande número de subportadoras ortogonais que são transmitidas simultaneamente. O processo OFDM é inerentemente flexível, permitindo facilmente o mapeamento de canais lógicos a diferentes grupos de subportadoras.

I.11.1. Modo Híbrido

Na versão híbrida, o sinal digital é transmitido em bandas laterais primárias e secundárias em ambos os lados do sinal analógico original, bem como abaixo do sinal analógico original em bandas laterais terciárias. A largura de faixa do áudio analógico pode ser de 5 kHz ou 8 kHz, conforme Figura I. 9 e Figura I. 10. Se a largura de faixa de 8 kHz for escolhida, as bandas laterais secundárias também estarão abaixo do sinal analógico original. Uma configuração de largura de faixa digital reduzida também é apresentada, onde uma largura de faixa de áudio analógico de até 9,4 kHz pode ser acomodada, conforme a Figura I. 11.

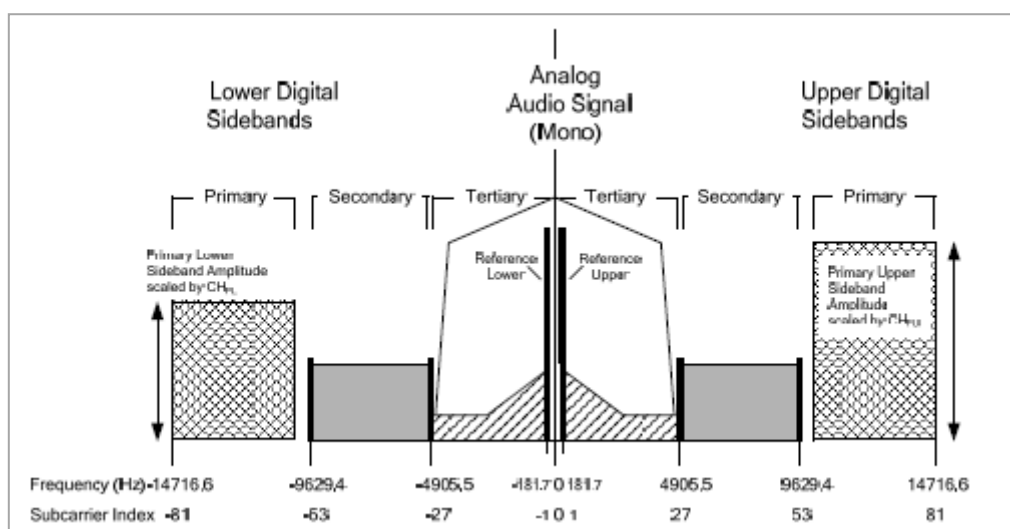


Figura I. 9 – Espectro de IBOC AM híbrido (configuração de 5 kHz áudio)

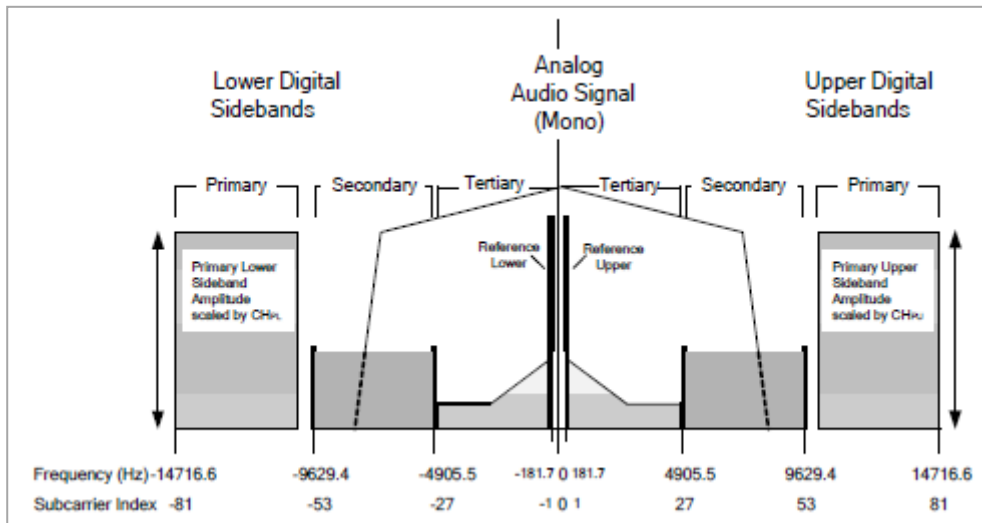


Figura I. 10 – Espectro de IBOC AM híbrido (configuração de 8 kHz áudio)

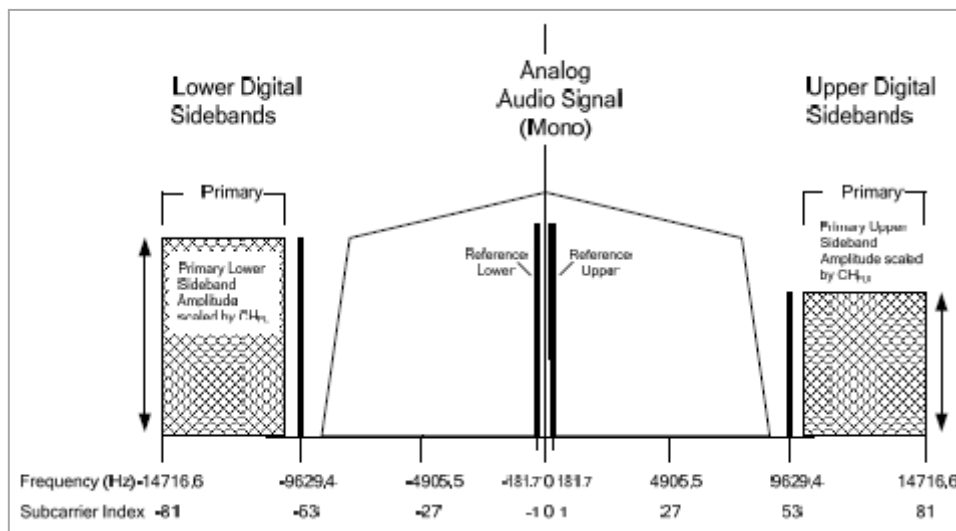


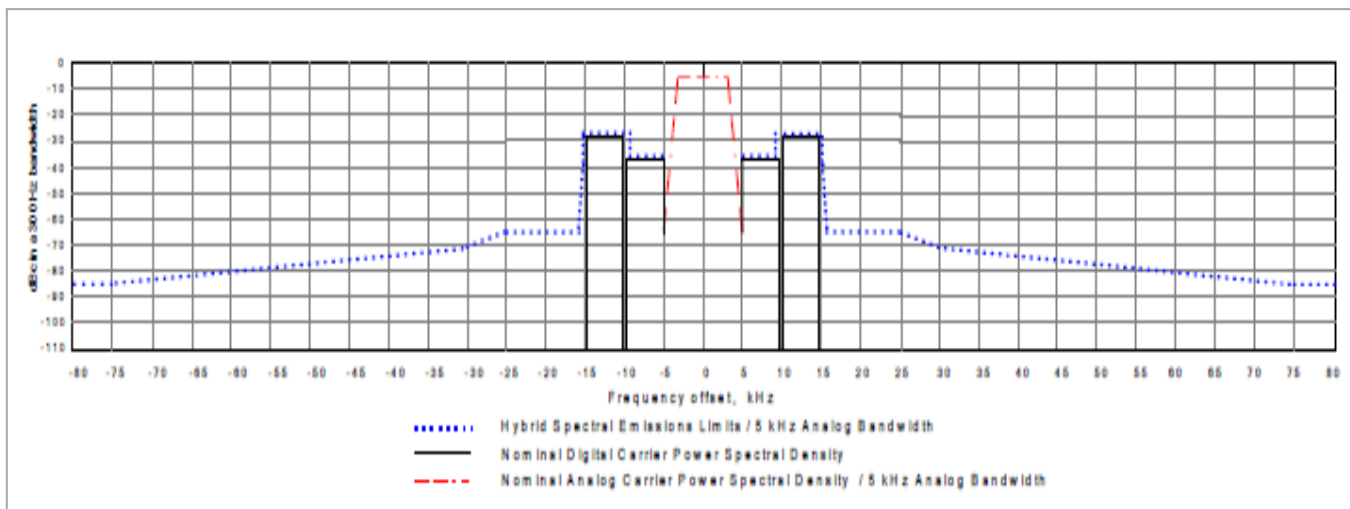
Figura I. 11 – Espectro de IBOC AM híbrido (configuração de largura de faixa digital reduzida)

Os níveis de todas as subportadoras OFDM dentro de cada banda lateral primária são iguais. Contudo os níveis das duas bandas laterais primárias são ajustáveis independentemente. Os níveis das bandas laterais secundárias e terciárias podem ser estabelecidos a um de dois valores selecionáveis. Adicionalmente, há duas subportadoras de referência para o controle do sistema cujos níveis são fixados em um valor que é diferente das bandas laterais.

O sinal AM original é monofônico. O sistema híbrido não suporta transmissão AM analógica estereofônica.

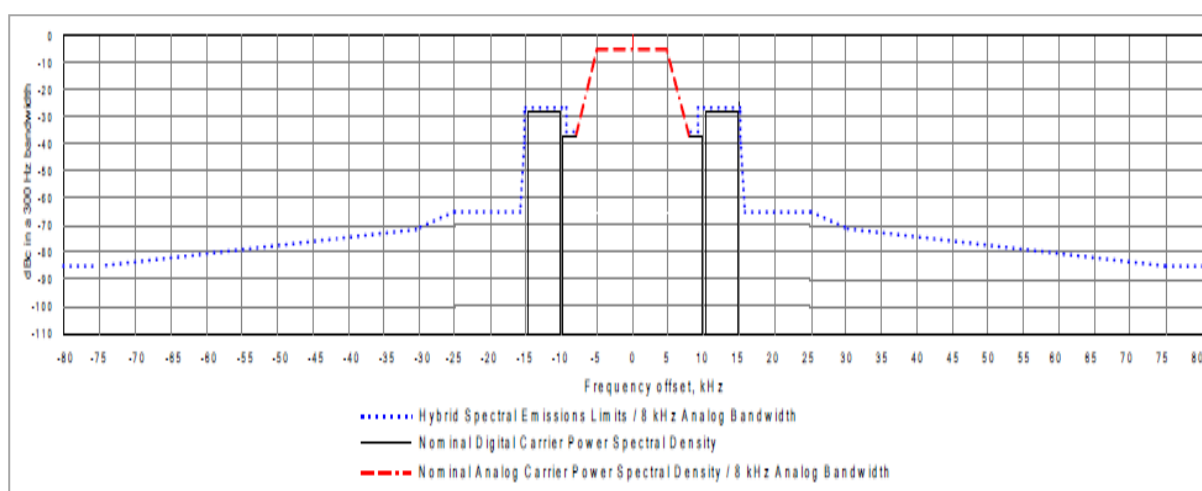
Os limites de emissão espectral para transmissões IBOC AM híbridas são apresentados nas Figura I. 12, Figura I. 13 e Figura I. 14 em função das configurações de largura de faixa.

Estes limites consideram ruído e sinais espúrios gerados de todas as fontes, incluindo ruído de fase e produtos de intermodulação.



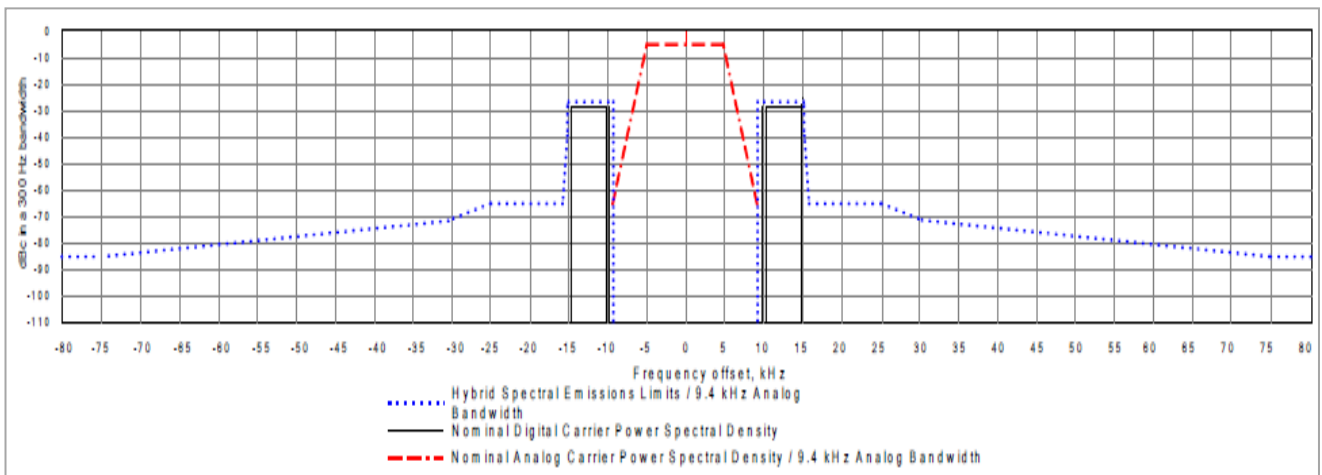
Frequency Offset Relative to Carrier	Level Relative to Unmodulated Carrier (dBc per 300 Hz)
5 to 9.4 kHz offset	-34.3
9.4 to 15 kHz offset	-26.8
15 to 15.2 kHz offset	-28
15.2 to 15.8 kHz offset	$-39 - (\text{frequency offset in kHz} - 15.2) \cdot 43.3$
15.8 to 25 kHz offset	-65
25 kHz to 30.5 kHz offset	$-65 - (\text{frequency offset in kHz} - 25) \cdot 1.273$
30.5 kHz to 75 kHz offset	$-72 - (\text{frequency offset in kHz} - 30.5) \cdot 0.292$
> 75 kHz offset	-85

Figura I. 12 – Limites de emissão espectral para o sistema IBOC AM híbrido
(configuração com largura de faixa analógica de 5 kHz)



Frequency Offset Relative to Carrier	Level Relative to Unmodulated Carrier (dBc per 300 Hz)
8 to 9.4 kHz offset	-34.3
9.4 to 15 kHz offset	-26.8
15 to 15.2 kHz offset	-28
15.2 to 15.8 kHz offset	$-39 - (\text{frequency offset in kHz} - 15.2) \cdot 43.3$
15.8 to 25 kHz offset	-65
25 kHz to 30.5 kHz offset	$-65 - (\text{frequency offset in kHz} - 25) \cdot 1.273$
30.5 kHz to 75 kHz offset	$-72 - (\text{frequency offset in kHz} - 30.5) \cdot 0.292$
> 75 kHz offset	-85

Figura I. 13 – Limites de emissão espectral para o sistema IBOC AM híbrido
(configuração com largura de faixa analógica de 8 kHz)



Frequency Offset Relative to Carrier	Level Relative to Unmodulated Carrier (dBc per 300 Hz)
9.4 to 15 kHz offset	-26.8
15 to 15.2 kHz offset	-28
15.2 to 15.8 kHz offset	$-39 - (\text{frequency offset in kHz} - 15.2) \cdot 43.3$
15.8 to 25 kHz offset	-65
25 kHz to 30.5 kHz offset	$-65 - (\text{frequency offset in kHz} - 25) \cdot 1.273$
30.5 kHz to 75 kHz offset	$-72 - (\text{frequency offset in kHz} - 30.5) \cdot 0.292$
> 75 kHz offset	-85

Figura I. 14 – Limites de emissão espectral para o sistema IBOC AM híbrido
(configuração de largura de faixa digital reduzida)

I.11.2. Modo Digital Total

No modo digital total o sinal analógico é substituído por bandas laterais primárias de maior potência. A portadora de AM sem modulação é mantida. A banda lateral superior secundária move-se para as frequências superiores acima da banda lateral superior primária, e a banda lateral inferior terciária move-se para frequências inferiores abaixo da banda lateral inferior primária. As bandas laterais inferior secundária e superior terciária não são mais utilizadas. Além disso, a potência das bandas laterais secundária e terciária é aumentada. Estas modificações resultam numa redução da largura e faixa total, tornando o modo digital total menos suscetível a interferência de canal adjacente. As subportadoras de referência localizam-se de ambos os lados da portadora AM sem modulação, como no modo híbrido, mas com um nível superior. O espectro do modo digital total é ilustrado na Figura I. 15.

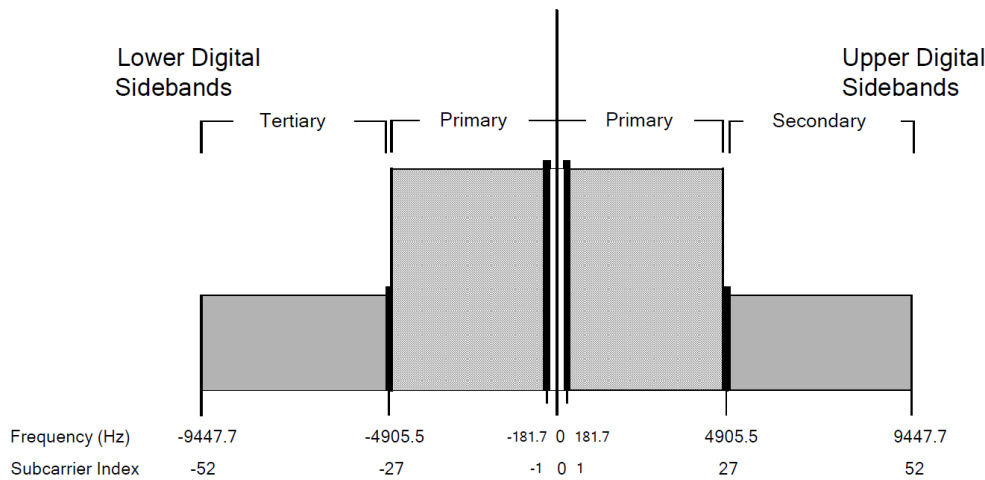


Figura I. 15 – Espectro de IBOC AM no modo digital total

Opcionalmente, as subportadoras secundária e terciária podem ser desativadas, de modo que somente as bandas laterais primária e PIDS sejam transmitidas, reduzindo a largura de faixa total de transmissão a menos de 9,4 kHz. A Figura I. 16 ilustra esta situação.

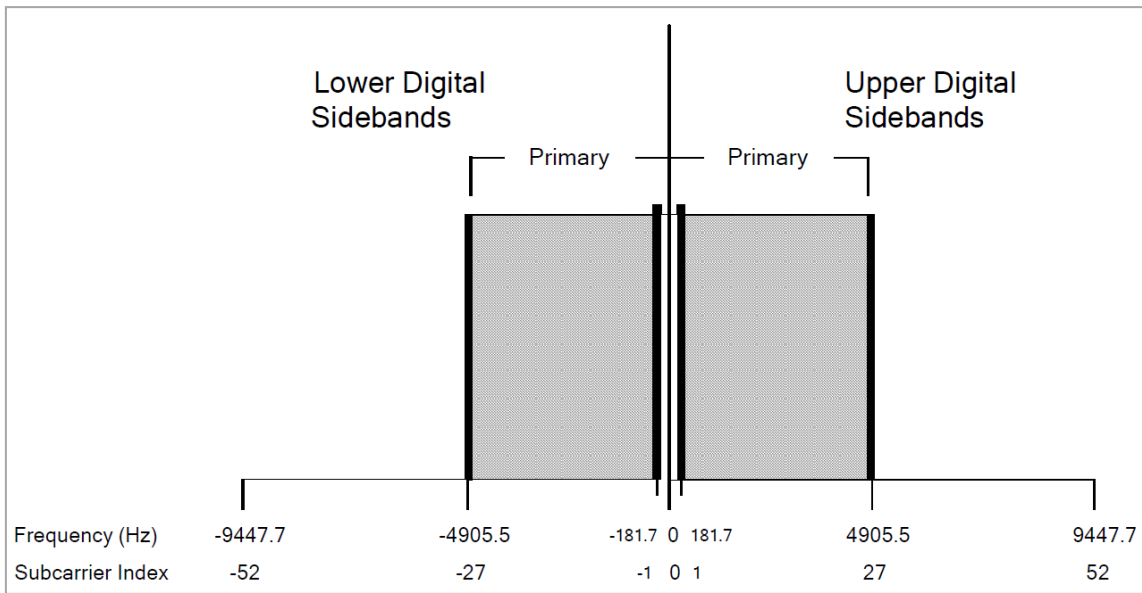
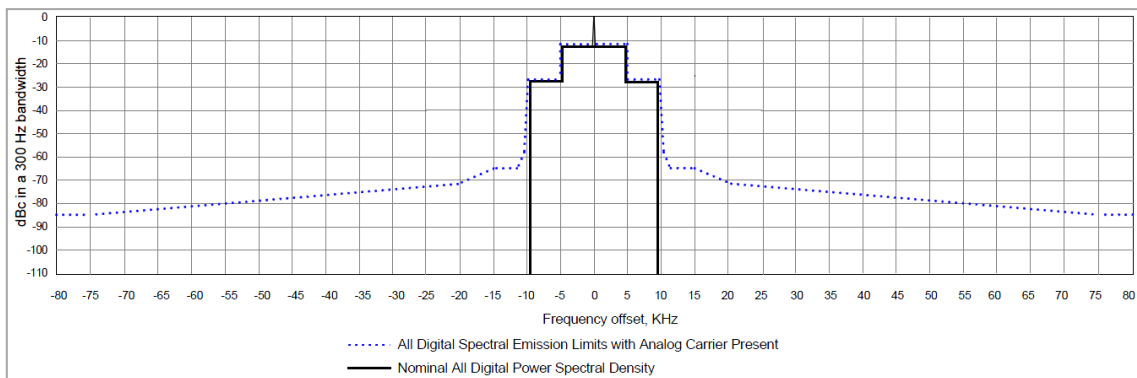


Figura I. 16 – Espectro de IBOC AM no modo digital total (configuração com largura de faixa digital reduzida)

Os limites de emissão espectral para transmissões IBOC AM no modo digital total são apresentados na Figura I. 17.



Frequency Offset Relative to Carrier	Level Relative to Unmodulated Carrier (dBc per 300 Hz)
181.7 Hz to 4814.65 Hz offset	-12.3
4814.65 Hz to 9.8 kHz offset	-27.3
9.8 to 10.5 kHz offset	$-28 - (\text{frequency offset in kHz} - 9.8) \cdot 42.86$
10.5 to 11.5 kHz offset	$-58 - (\text{frequency offset in kHz} - 10.5) \cdot 7.0$
11.5 to 15 kHz offset	-65
15 to 20.5 kHz offset	$-65 - (\text{frequency offset in kHz} - 15) \cdot 1.273$
20.5 to 75 kHz offset	$-72 - (\text{frequency offset in kHz} - 20.5) \cdot 0.239$
> 75 kHz offset	-85

Figura I. 17 – Limites de emissão espectral para o sistema IBOC AM digital total

II. Resultados tabelados

II.1. Detalhes das rotas utilizadas nas medições HD Radio

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

A Tabela II.1 apresenta as coordenadas geográficas dos locais de medição estática. A diferença entre a localização dos pontos nas medições realizadas nos períodos diurno e noturno são consideradas irrelevantes, de tal forma que as informações de latitude, longitude e distância ao transmissor podem ser consideradas as mesmas em ambos os turnos.

Pontos	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)
Ponto de Referência	-23°38'46,15"	-46°31'42,86"	4,60
C1P01	-23°30'53,13"	-46°32'50,22"	10,16
C1P02	-23°30'54,24"	-46°29'52,81"	10,92
C1P03	-23°30'55,43"	-46°27'17,09"	13,22
C1P04	-23°32'35,21"	-46°28'8,98"	9,95
C1P05	-23°31'53,18"	-46°31'51,42"	8,31
C5P02	-23°37'54,96"	-46°31'34,04"	3,18
C5P05	-23°38'30,39"	-46°31'58,18"	4,04
C8P01	-23°33'46,13"	-46°30'55,01"	5,35
C8P02	-23°33'35,54"	-46°32'6,66"	5,12
C8P04	-23°34'35,92"	-46°31'2,14"	3,92
C8P05	-23°34'47,39"	-46°30'14,82"	4,57
C9P01	-23°37'27,27"	-46°29'11,15"	5,72
C9P02	-23°36'56,90"	-46°29'16,76"	5,30
C9P03	-23°36'46,14"	-46°28'50,19"	5,99
C9P04	-23°37'6,03"	-46°28'42,34"	6,31
R2P01	-23°35'52,34"	-46°31'42,79"	1,37
R2P02	-23°38'47,80"	-46°29'31,49"	6,58
R2P03	-23°40'25,51"	-46°20'59,19"	20,69
R2P04	-23°40'54,32"	-46°6'4,92"	45,36
R3P02	-23°34'47,14"	-46°29'0,28"	6,35
R3P03	-23°28'14,15"	-46°24'0,80"	20,63
R3P04	-23°21'23,48"	-46°7'32,34"	50,44
R6P01	-23°36'58,08"	-46°32'48,63"	1,41
R6P02	-23°36'54,19"	-46°34'47,74"	4,30
R6P03	-23°40'10,17"	-46°44'9,47"	21,28
R6P04	-23°50'56,40"	-46°52'35,22"	43,72
R7P01	-23°35'43,47"	-46°32'48,81"	1,41
R7P02	-23°33'30,78"	-46°34'38,75"	6,56
R7P03	-23°30'10,85"	-46°43'29,84"	22,14
R7P04	-23°17'54,63"	-46°50'26,89"	45,99

Tabela II.1 – Detalhes da localização dos pontos de medições HD Radio

Percurso	Rota	Comprimento (km)
R2P01 a R2P02	Radial 2	9,9
R2P02 a R2P03	Radial 2	26,4
R2P03 a R2P04	Radial 2	45,4
R3P01 a R3P02	Radial 3	11,0
R3P02 a R3P03	Radial 3	21,5
R3P03 a R3P04	Radial 3	33,0
R6P01 a R6P02	Radial 6	50,6
R6P02 a R6P03	Radial 6	8,1
R6P03 a R6P04	Radial 6	17,2
R7P01 a R7P02	Radial 7	24,4
R7P02 a R7P03	Radial 7	10,0
R7P03 a R7P04	Radial 7	24,2
C1P01 a C1P02	Circular 1	51,2
C1P02 a C1P03	Circular 1	12,7
C1P03 a C1P04	Circular 1	25,4
C1P04 a C1P05	Circular 1	50,6
C1P05 a C1P01	Circular 1	12,3
C5P01 a C5P02	Circular 5	24,2
C5P02 a C5P03	Circular 5	20,8
C5P03 a C5P04	Circular 5	14,7
C5P04 a C5P05	Circular 5	12,1
C5P05 a C5P01	Circular 5	13,9
C8P01 a C8P02	Circular 8	4,8
C8P02 a C8P03	Circular 8	9,4
C8P03 a C8P04	Circular 8	8,9
C8P04 a C8P05	Circular 8	4,8
C8P05 a C8P01	Circular 8	2,6
C9P01 a C9P02	Circular 9	9,4
C9P02 a C9P03	Circular 9	6,4
C9P03 a C9P04	Circular 9	12,2
C9P04 a C9P01	Circular 9	8,2

Tabela II.2 – Detalhes dos trechos para medições móveis

II.2. Detalhes dos Resultados das Medições HD Radio

Nas tabelas a seguir são apresentados os detalhes dos resultados.

Pontos	Distância ao transmissor (km)	Campo Analógico Mediano (dB μ V/m)	Campo Digital Mediano (dB μ V/m)	SNR Mediana (dB)	Rx_Mode=1 (%)	Rx_Mode=2 (%)	Rx_Mode=0 (%)
Ponto de Referência	4,61	103,23	76,27	20,93	96,82	3,17	0
C1P01	10,15	75,76	66,40	23,63	99,72	0,27	0
C1P02	10,91	74,23	60,63	20,95	99,86	0	0,13
C1P03	13,21	80,36	67,93	22,09	95,74	4,13	0,13
C1P04	9,95	84,93	71,71	21,87	100	0	0
C1P05	8,31	81,32	69,47	23,43	99,93	0,07	0
C5P02	3,18	101,47	80,14	18,74	98,84	1,16	0
C5P05	4,05	90,79	85,43	18,24	55,04	19,50	25,46

C8P02	5,12	115,95	77,83	22,95	90,66	9,34	0
C8P04	3,92	97,93	86,48	20,34	98,99	1,01	0
C8P05	4,57	91,50	85,24	21,94	100	0	0
C9P01	5,72	98,17	77,40	20,87	97,63	2,36	0
C9P02	5,30	97,72	84,47	21,7	99,66	0,34	0
C9P03	5,99	96,61	86	23,48	99,12	0,88	0
C9P04	6,32	96,18	83,10	21,47	99,86	0,13	0
R2P02	6,58	83,30	68,89	15,28	95,53	4,46	0
R2P03	20,69	75,26	60,04	19,98	99,93	0,068	0
R2P04	45,36	60,45	50,30	-2,73	0	0	100
R3P02	6,35	96,45	81,93	20,57	100	0	0
R3P03	20,63	89,72	77,59	23,04	100	0	0
R6P02	4,30	105,59	91,58	14,52	0	81,92	18,07
R6P03	21,28	63,65	48,52	2,06	0	0	100
R6P04	43,72	52,58	42,47	5,78	0	0	100
R7P01	1,41	105,79	93,68	22,32	97,49	2,50	0
R7P02	6,56	100,96	87,34	21,28	100	0	0
R7P03	22,14	71,51	59,71	22,48	99,12	0,74	0,13
R7P04	45,99	59,26	44	9,02	0	0	100

Tabela II. 3 – Resultados do HD Radio para recepção diurna em pontos fixos

Pontos	Distância ao transmissor (km)	Campo Analógico Mediano (dB μ V/m)	Campo Digital Mediano (dB μ V/m)	SNR Mediana (dB)	Rx_Mode=1 (%)	Rx_Mode=2 (%)	Rx_Mode=0 (%)
Ponto de Referência	4,56	86,21	66,83	22,02	98,16	1,81	0,03
C8P01	5,32	83,27	69,30	21,70	96,39	3,57	0,04
C8P02	5,11	78,34	67,13	23,80	99,80	0,20	0,00
C8P04	3,93	84,91	71,41	21,70	100,00	0,00	0,00
C8P05	4,56	78,90	66,83	22,28	99,39	0,61	0,00
R2P01	1,41	90,23	76,90	21,86	99,93	0,07	0,00
R2P02	6,65	58,18	55,84	14,47	0,00	94,50	5,50
R2P03	20,68	59,44	44,46	16,51	0,00	100,00	0,00
R2P04	45,40	45,26	32,36	1,04	0,00	0,00	100,00
R3P02	6,36	82,21	67,94	20,70	100,00	0,00	0,00
R3P03	20,63	75,12	63,49	23,28	100,00	0,00	0,00
R3P04	50,44	49,77	37,39	6,60	0,00	0,00	100,00
R6P01	1,45	99,00	84,93	18,20	54,54	21,34	24,12
R6P02	4,32	91,28	77,09	16,43	0,55	98,23	1,22
R6P03	21,30	49,92	37,28	-2,87	0,00	0,00	100,00
R6P04	43,72	37,19	31,24	-10,00	0,00	0,00	100,00
R7P01	1,39	89,68	75,15	20,60	100,00	0,00	0,00
R7P02	6,58	84,36	71,00	21,77	100,00	0,00	0,00
R7P03	22,13	55,15	43,82	11,13	0,00	5,18	94,82
R7P04	46,00	44,06	32,25	-4,08	0,00	0,00	100,00

Tabela II. 4 – Resultados do HD Radio para recepção noturna 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 AM	Intensidade do Campo Elétrico Analógico Mediano (dB μ V/m)
Ponto de Referência	4,60	1,5	4,0	2,75	103,23
C1P01	10,15	3,6	3,6	3,56	75,76
C1P02	10,91	2,5	2,7	2,55	74,23
C1P03	13,21	3,3	3,2	3,24	80,36
C1P04	9,95	2,7	2,6	2,65	84,93
C1P05	8,30	3,3	3,6	3,43	81,32
C5P02	3,18	3,6	3,6	3,47	101,47
C5P05	4,04	2,8	2,7	3,59	90,79
C8P02	5,12	4,1	4,1	4,12	115,95
C8P04	3,92	4,3	4,2	4,24	97,93
C8P05	4,57	4,0	4,0	4,00	91,50
C9P01	5,72	4,2	4,0	4,10	98,17
C9P02	5,30	2,9	2,8	2,83	97,72
C9P03	5,99	1,0	1,0	1,00	96,61
C9P04	6,31	3,7	3,8	3,77	96,18
R2P02	6,58	2,1	2,1	2,09	83,30
R2P03	20,69	2,8	2,7	2,74	75,26
R2P04	45,36	1,0	1,0	1,00	60,45
R3P02	6,35	1,3	2,8	2,10	96,45
R3P03	20,63	1,7	2,3	2,00	89,72
R6P02	4,30	2,4	2,5	2,44	105,59
R6P03	21,28	1,0	1,0	1,00	63,65
R6P04	43,72	1,0	1,0	1,00	52,58
R7P01	1,41	3,2	3,4	3,29	105,79
R7P02	6,55	2,3	2,4	2,32	100,96
R7P03	22,14	1,1	1,2	1,15	71,51
R7P04	45,99	1,0	1,0	1,00	59,26

Tabela II.5 – Resultados do áudio AM para recepção diurna 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 AM	Intensidade do Campo Elétrico Analógico Mediano (dB μ V/m)
Ponto de referência	4,56	3,5	4,2	3,85	86,21
R2P01	1,41	4,0	3,0	3,5	90,23
R2P02	6,65	2,5	2,7	2,6	58,18
R2P03	20,68	1,2	2,0	1,6	59,44
R2P04	45,40	1,1	1,2	1,15	45,26
R3P02	6,36	1,1	1,0	1,05	82,21
R3P03	20,63	1,0	1,3	1,15	75,12
R3P04	50,44	1,0	1,0	1	49,77
R6P01	1,45	3,1	3,8	3,45	99,00
R6P02	4,32	1,5	3,8	2,65	91,28
R6P03	21,30	1,0	1,5	1,25	49,92

R6P04	43,72	1,0	1,0	1	37,19
R7P01	1,39	2,9	2,7	2,8	89,68
R7P02	6,58	3,0	3,0	3	84,36
R7P03	22,13	1,1	1,9	1,5	55,15
R7P04	46,00	1,1	1,2	1,15	44,06
C8P01	5,32	1,9	2,4	2,15	83,27
C8P02	5,11	1,3	2,5	1,9	78,34
C8P04	3,93	3,0	1,3	2,15	84,91
C8P05	4,56	2,5	1,1	1,8	78,90

Tabela II.6 – Resultados do áudio AM para recepção noturna em pontos fixos

III. Procedimento para obtenção da Intensidade de Campo Elétrico Digital

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 permanece quando ambos os sinais são irradiados, variando de acordo com o ambiente, faz-se necessário o registro de medição do sinal digital em cada ponto de medida. Portanto, 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.

III.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 III.1.

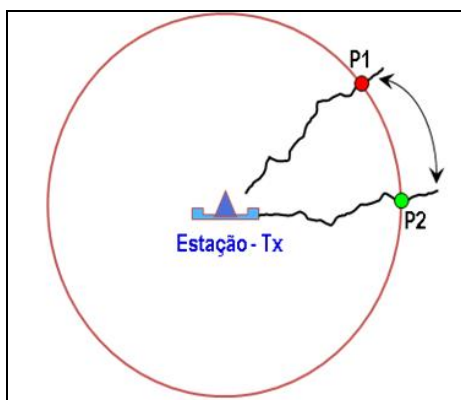


Figura III.1-Raio para determinação da relação de potência entre os sinais analógico e digital

- b) Escolher na direção de cada radial do planejamento da campanha de medição um ponto com visada direta, e em cada ponto escolhido capturar (*print screen*) 6 (seis) telas 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, ou seja, banda lateral superior e inferior do sinal digital, por meio da seguinte equação:

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

onde

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

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.

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. 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 com a ferramenta MatLab. 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 minutos de medição com o analisador de espectro com detecção instantânea e mais 3 minutos de medição com o analisador no modo *average*, melhorando consideravelmente a precisão do valor Dif.

- b) O software HD Profissional fornece os dados a cada 100 milissegundos, assim, na campanha móvel não foi possível sincronizar diretamente as amostras do software HD profissional com o analisador de espectro. Nesse caso, o valor mediano de cada 12 amostras do software HD 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, 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.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Doc. NRSC-5-C, In-band/on-channel Digital Radio Broadcasting Standard. Setembro, 2011.
- [2] Doc. No. SY_SSS-1082s rev. F. HD Radio AM Transmission System Specifications, iBiquity Digital Corporation. 24 de agosto, 2011.
- [3] Ibiqity Digital Corporation. HD Radio Air Interface, Design Description Layer 1 FM. SY_IDD_1011s Revision G. 23 de agosto, 2011.
- [4] Ibiqity Digital Corporation. HD Radio Air Interface, Design Description Layer 1 AM. SY_IDD_1012s Revision F. 23 de agosto, 2011.
- [5] Guia para Avaliação do Sistema de Rádio Digital AM IBOC, Junho 2007. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/>
- [6] Rec. ITU-R P.1411-3 Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor communications systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz, 2005.
- [7] Final Acts of the Regional Conference – Region 2 in Rio de Janeiro, 1981.
- [8] “Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Onda Média e em Onda Tropical – (faixa de 120 metros)”. Anatel.
- [9] Recommendation ITU-R P.368-7, “Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz”. Março, 1992.
- [10] Recommendation ITU-R P.832-2, “World atlas of ground conductivities”. Julho, 1999.
- [11] R.H.Ott, L.E.Vogler, G.A.Hufford, “Ground Wave Propagation over Irregular Inhomogeneous Terrain: Comparison of Calculations and Measurements”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-27, no 2. Março 1979.
- [12] Recommendation ITU-R BS.1284-1: General methods for the subjective assessment of sound quality, 2003
- [13] 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).
- [14] Rec, ITU-R BS.412-9: Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF, 1998.
- [15] Doc. No. SY_SSS-1026s rev. F. HD Radio FM Transmission System Specifications, iBiquity Digital Corporation. 25 de agosto, 2011.
- [16] Ibiqity Digital Corporation. HD Radio Air Interface, Design Description Layer 1 AM. SY_IDD_1012s Revision F. August 23, 2011.

- [17] Ibiquty Digital Corporation. HD Radio Air Interface, Design Description Layer 1 FM. SY_IDD_1011s Revision G. August 23, 2011.
- [18] Ibiquty Digital Corporation, HD Radio: How it Works, Disponível em: http://www.ibiquity.com/hd_radio/hdradio_how_does_it_work, Data de acesso: 27 de abril de 2012.
- [19] Shuldiner, Albert, [Memorando] 13 abr, 2005. Columbia [para] IBOC Standards Development Working Group e DAB Subcommittee, 6f, iBiquity patent disclosure.
- [20] HD Radio Alliance. New HD Radio technology launches in Mexico. Disponível em: <http://www.hdradio.com/news-buzz/new-hd-radio-technology-launches-in-mexico>. Data de acesso: 27 de abril de 2012.
- [21] Ibiquty Digital Corporation. HD Radio Broadcasting Around the World, Disponível em: <http://www.ibiquity.com/international>. Data de acesso: 27 de abril de 2012.
- [22] Ibiquty Digital Corporation, 2010 Station Guide, Disponível em: http://www.ibiquity.com/i/pdfs/HDRadio_Station_%20Guide_lores_Dec2009.pdf. Data de acesso: 27 de abril de 2012.
- [23] Ibiquty Digital Corporation, Field report – AM IBOC nighttime performance. 20 de out., 2003.
- [24] Ibiquty Digital Corporation. AM nighttime compatibility study report. 23 de maio, 2003.
- [25] Ibiquty Digital Corporation. AM All-digital IBOC field test report. 12 de abril, 2002.
- [26] Ibiquty Digital Corporation. FM All-digital IBOC field test report, 1 de fev., 2002.
- [27] Ibiquty Digital Corporation. FM Hybrid IBOC field test results. Dez. 2000.
- [28] Ibiquty Digital Corporation. Experimental test report on IBOC DAB field tests using KWNR-FM. Las Vegas, Nevada, 2000.
- [29] Kean, J. HD Radio coverage measurement and prediction. Proceedings of the International Symposium on Advanced Radio Technologies, pp.123-130, fev. 2007.