



DIOGO GARÁ CAETANO

Proposta de Sistema Colaborativo Cognitivo de Baixo Custo para Análise e Predição de Sinais DTV

Campinas

2015



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Departamento de Comunicações



Diogo Gará Caetano

Proposta de Sistema Colaborativo Cognitivo de Baixo Custo para Análise e Predição de Sinais DTV

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Telecomunicações e Telemática.

Orientador: Prof. Dr. Yuzo Iano

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELO ALUNO **DIOGO GARÁ CAETANO**
E ORIENTADA PELO PROF. DR. **YUZO IANO**

Campinas

2015

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

Caetano, Diogo Gará, 1978-
C116p Proposta de sistema colaborativo cognitivo de baixo custo para análise e
predição de sinais DTV / Diogo Gará Caetano. – Campinas, SP : [s.n.], 2015.

Orientador: Yuzo Iano.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Engenharia Elétrica e de Computação.

1. Redes de sensores. 2. Televisão digital. 3. Audiências de televisão. 4.
Espectro de frequência. 5. Monitoramento. 6. Computação em nuvem. 7.
Comunicações digitais. I. Iano, Yuzo, 1950-. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Proposal of a low cost collaborative cognitive system for analysis and prediction of DTV signals

Palavras-chave em inglês:

Sensor network

Digital television

TV audiences

Frequency spectrum

Monitoring

Cloud computing

Digital communications

Área de concentração: Telecomunicações e Telemática

Titulação: Doutor em Engenharia Elétrica

Banca examinadora:

Cristiano Akamine

Gunnar Bedicks Junior

Osamu Saotome

Lucas Heitzmann Gabrielli

Yuzo Iano

Data de defesa: 31-03-2015

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE DOUTORADO

Candidato: Diogo Gará Caetano

Data da Defesa: 31 de março de 2015

Título da Tese: "Proposta de Sistema Colaborativo Cognitivo de Baixo Custo Para Análise e Predição de Sinais DTV"

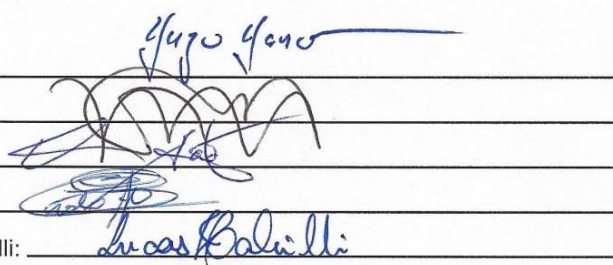
Prof. Dr. Yuzo Iano (Presidente):

Prof. Dr. Gunnar Bedicks Junior:

Prof. Dr. Osamu Saotome:

Prof. Dr. Cristiano Akamine:

Prof. Dr. Lucas Heitzmann Gabrielli:



Resumo

Esse trabalho inicialmente faz uma análise da evolução dos sistemas de comunicações digitais, enfatizando a evolução dos sistemas DTV (*Digital TV*) e explora através de aplicações, os conceitos de IoT (*Internet of Things*), computação em nuvem, mineração de dados, *big data* e rádios cognitivos, propondo o uso de redes de sensores e banco de dados para uma diversidade de aplicações relacionadas ao uso do espectro de frequências, entre elas: o sensoriamento do espectro, a medição da qualidade de sinais ao longo do tempo, a estatística de audiência e a detecção dos modelos de propagação mais adequados para cada região. Na proposta, a medição de qualidade dos sinais de radiodifusão é realizada por sensores em campo e a interface gráfica foi desenvolvida utilizando *Web Map Services*, possibilitando dessa forma a filtragem das informações por tipo de medida, área e período de interesse. Distribui-se o processamento de dados entre servidores e máquinas locais para o melhor desempenho das aplicações.

Para o sensoriamento, aplica-se o conceito de IoT ao se propor a conversão de receptores comerciais convencionais como *Set-Top-Boxes* e *smartphones* em sensores de qualidade de sinais ou rádios cognitivos. Recomenda-se a solução como viável para a composição de redes com centenas a milhares de sensores.

Devido à atual preocupação das agências reguladoras em buscar soluções para a melhor gestão e compartilhamento do espectro, propõe-se dessa forma, uma solução baseada em sensores de baixo custo e banco de dados que possam atuar na gestão do uso das frequências e, conseqüentemente possibilite uma série de análises quantitativas e qualitativas dos sinais eletromagnéticos.

Palavras-chave: redes de sensores, rádio cognitivo, TV digital, banda larga móvel, computação em nuvem, comunicações digitais, compartilhamento do espectro, interferências, audiência, monitoramento do espectro.

Abstract

This thesis initially analyses the evolution of digital communications, emphasizing the evolution of DTV systems (Digital TV), and, through software applications, explores the concepts of IoT (Internet of Things), cloud computing, data mining, big data and cognitive radios, when proposing the use of sensor networks and databases for a variety of applications related to the use of frequency spectrum, among them, spectrum sensing, measurement of signal quality over time, audience statistics, processing of collected data and its comparison with signal propagation models.

It is proposed the measurement of broadcasting signal quality through low cost field sensors and the use of Web Map Services as a user interface, enabling the data filtering by type of measurement, area and period of interest. The data is processed by servers and local machines for improvement of applications performance.

Following the concept of IoT, it is proposed the conversion of conventional commercial receivers, such as Set-Top-Boxes and smartphones into signal field sensors or cognitive radios. This solution is considered a viable solution for the composition of networks with hundreds to thousands of sensors.

Due to the concern of regulatory agencies in seeking solutions for better spectrum management and sharing among different systems, we propose a solution based on low-cost sensors and databases, which can act in the management of the frequency spectrum and therefore enable a series of quantitative and qualitative analyzes of radio signals.

Keywords: sensor networks, cognitive radio, digital TV, mobile broadband, cloud computing, digital communications, spectrum sharing, interferences, audience, spectrum monitoring.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	xix
LISTA DE TABELAS	xxiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xxv
LISTA DE SÍMBOLOS	xxxi
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Sistemas de transmissão sem fio	1
1.2 A evolução dos sistemas de comunicação	2
1.3 Motivação e objetivos	8
1.4 Organização da tese	11
Capítulo 2	13
A evolução dos sistemas de TV	13
2.1 Introdução	13
2.1 TV analógica no Brasil	24
2.2 A TV digital no Brasil	26
2.3 Transição da TV analógica para a digital no Brasil	29
2.4 O uso eficiente do espectro de frequências de VHF e UHF	35
2.5 Outorgas de TV'S por assinatura TVA no espectro de TV aberta	41
2.6 O futuro do espectro de UHF e VHF	42
2.7 Proposta para uso do espectro de TV	46
Capítulo 3	61
Monitoração e compartilhamento do espectro de frequências	61
3.1 Introdução	61
3.2 O uso de rádios cognitivos	64
3.3 A medição do espectro de frequências para o uso compartilhado	69

Capítulo 4.....	71
Sistema colaborativo cognitivo para análise de sinais DTV	71
4.1 Introdução	71
4.2 Projeto Stb-Scan	73
4.2.1 <i>Front-end e back-end</i>	76
4.2.2 <i>Informações sobre a geração, transmissão e recepção</i>	80
4.2.3 <i>Medidas coletadas</i>	81
4.3 Resultados do projeto Stb-Scan	82
Capítulo 5.....	86
Atualizações para o sistema colaborativo cognitivo.....	86
5.1 Introdução	86
5.2 Uso de Web Map Service (WMS)	88
5.1 Camada e agrupamento de medidas	91
5.1 Filtragem de estações e medidas por localidade	96
5.2 Lista de canais utilizados e intensidade de sinal	101
5.3 Relação nível de sinal e AGC (CAG).....	106
5.4 Detecção de interferências	113
5.5 Estatística de audiência	115
5.5.1 <i>Identificação do programa sintonizado</i>	117
Capítulo 6.....	127
Predição de cobertura de sinais.....	127
6.1 Introdução	127
6.2 Dados de elevação	129
6.3 Limiar de recepção padrão SBTVD.....	133
6.4 Simulação de modelos de propagação.....	136
6.5 Modelos de propagação	139
6.6 Simulação em espaço livre	141
6.7 Simulação Zona de Fresnel e Efeito “Knife Edge”	145

6.8	Simulação Okumura-Hata	147
6.9	Simulação em SFN (Single Frequency Network).....	152
6.10	Detecção do melhor modelo de propagação por localidade.....	160
6.11	Interpolação por mapas de calor	163
6.12	Tempos de execução e uso de memória.....	166
Capítulo 7		171
Conclusões		171
7.1	Trabalhos Futuros.....	174
Referências Bibliográficas		176
Trabalhos Publicados		186

A Deus agradeço pelos bens recebidos, e procuro atuar como pesquisador responsável.

Aos meus pais pelo apoio, motivação e lições de vida.

À minha esposa Verônica e nossos filhos Raul e Sofia pelo apoio e paciência.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Dr.Yuzo Iano, pela confiança, incentivo, sugestões, paciência e ajuda.

Aos membros da banca examinadora pelas correções e sugestões.

Aos professores e amigos Dr.Vicente Idalberto Becerra Sablón e Dr.Rangel Arthur, os quais me incentivaram e me direcionaram à pesquisa.

À Aninha e João Batista por todo apoio, cuidando sempre do Raul e Sofia.

Ao meu irmão Thiago pela compreensão e companheirismo.

Aos amigos da Unicamp pelo incentivo, ao Cristiano Akamine e Rangel Arthur que abriram meus caminhos à pesquisa em sistemas de TV digital.

Ao corpo docente da Feec, pelo aprendizado.

Aos membros do projeto Stb-Scan pelo empenho no desenvolvimento e troca de conhecimentos.

A todos do Laboratório de Comunicações Visuais LCV pelo apoio e paciência dedicados.

A todos do Laboratório de TV digital da Universidade Presbiteriana Mackenzie pelas informações e apoio a testes e ensaios.

Aos coordenadores e professores do Centro Universitário Salesiano de São Paulo pelo apoio.

Aos professores da Escola Federal de Engenharia de Itajubá pelos ensinamentos, especialmente aos professores José Antonio Justino Ribeiro e Luiz Lenarth Gabriel Vermaas pela confiança e indicações.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes),

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e

A Rede Nacional de Pesquisa (RNP), pelo apoio financeiro e incentivo para a finalização desse trabalho.

Agradecimentos

Ao programa CAPES RH-TVD da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo incentivo acadêmico para que este trabalho pudesse ser realizado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Datas de lançamento de padrões DTT 1G e 2G.	20
Figura 2 - Eficiência espectral dos principais padrões de comunicação digital.	22
Figura 3 - Canais considerados <i>Taboo</i> para a TV analógica.	29
Figura 4 - Máscara do espectro de transmissão para a radiodifusão de televisão digital terrestre.	31
Figura 5 - Representação de níveis mínimos indicados para proteção entre canais adjacentes analógicos e digitais.	33
Figura 6 - Sinal ISDB-T com deslocamento de frequência.	34
Figura 7 - Comparação de qualidade de imagens com medidas SSIM e MSE.	50
Figura 8 - Análise objetiva de qualidade de vídeo H.264 HD em relação à taxa de compressão. ..	50
Figura 9 - Análise objetiva de qualidade de vídeo H.264 HD em relação à taxa de compressão com escala aproximada.....	51
Figura 10 - Análise subjetiva de qualidade de vídeo H.264 HD em relação à taxa de compressão.	52
Figura 11 - Diferentes cenários ISDB-T para compartilhamento de frequências	60
Figura 12 - Arquitetura de <i>hardware</i> definido por <i>software</i>	68
Figura 13 - Arquitetura básica do sistema colaborativo cognitivo.....	71
Figura 14 - Solução desenvolvida através do projeto Stb-Scan.	74
Figura 15 - Conexões com o módulo receptor.	75
Figura 16 - Diagrama de blocos de comunicação.	77
Figura 17 - Descrição dos módulos do <i>Front-End</i> e <i>Back-End</i> para coleta e armazenamento de dados.....	79
Figura 18 - Estrutura do banco de dados proposta.	83
Figura 19 - Acesso a dados de clima.....	84
Figura 20 - Intensidade de RSSI obtida em deslocamento em uma determinada rota de testes....	84
Figura 21 - Geração de gráfico de histórico de SNR para um determinado receptor.	85
Figura 22 - Estrutura geral do sistema proposto.	87
Figura 23 - Busca por estações simultaneamente nas cidades a) Campinas, b) São Paulo, c) Nova Iorque e d) Tóquio.....	90

Figura 24 - Divisão de células e camadas.....	91
Figura 25 - Distribuição de pontos para testes agrupamento.....	93
Figura 26 - Indicação de pontos de agrupamento.	93
Figura 27 - Mapas de calor formados pelo agrupamento de medidas.....	94
Figura 28 - Diagrama de coleta e geração de manchas das medidas	95
Figura 29 - Equipamentos instalados em um veículo para testes de medição.	95
Figura 30 - Área de busca definida para a localização de estações.	96
Figura 31 - Área de busca definida para a localização de estações.	97
Figura 32 - Resultado da primeira filtragem por estações.	99
Figura 33 - Marcadores das referências e raios de busca por estações e medidas.	100
Figura 34 - Lista de estações filtradas na região de interesse.	100
Figura 35 - Visualização da localização das estações na região de interesse.....	101
Figura 36 - Listagem de frequências detectadas e número de medidas com opção de filtragem de data.....	102
Figura 37 - Geração de gráfico dinâmico com intensidades medidas de sinal na região de interesse na faixa de VHF e UHF.	102
Figura 38 - Utilização de escala de mapa de calor para indicar o nível de sinal pelo número de medidas.....	103
Figura 39 - Arquitetura básica de controle de ganho de um receptor de RF.....	104
Figura 40 - Ganho AGC - Receptor USB <i>FullSeg</i>	106
Figura 41 - Equação da reta do ganho do AGC referente ao intervalo 1.	107
Figura 42 - Equação da reta do ganho do AGC referente ao intervalo 2.	107
Figura 43 - Equação da reta do ganho do AGC referente ao intervalo 3.	108
Figura 44 - Equação da reta do ganho do AGC referente ao intervalos 4.....	108
Figura 45 - Ganho AGC - Receptor Zinwell.....	110
Figura 46 - Cobertura de sinal a 1,5 m do solo para a frequência de 641 MHz, a) Imagem gerada com manchas de calor dinâmicas e b) Imagem gerada com máxima intensidade por ponto.....	113
Figura 47 - Variação da taxa de erro de bit por região ao longo do tempo.	114
Figura 48 - Variação da taxa SNR para região ao longo do tempo.....	115
Figura 49 - Exemplo de serviços em um <i>Transport Stream</i>	118
Figura 50 - Diagrama da sintaxe do <i>Transport Stream</i>	119

Figura 51 - Percentual de tempo de canais sintonizados nos testes na área de interesse.....	124
Figura 52 - Percentual de tempo de programas sintonizados nos testes na área de interesse na frequência de 641 MHz.....	124
Figura 53 - Percentual de tempo de programas sintonizados nos testes na área de interesse na frequência 653 MHz.....	125
Figura 54 - <i>Layout</i> de formulário em NCL-Ginga para cadastro de dados de usuário.....	125
Figura 55 - Exemplo de sensor de movimento conectado a um receptor de TV.....	126
Figura 56 - Módulo espacial <i>Endeavour</i> com duas antenas separadas para diferenciar a fase das reflexões.....	130
Figura 57 - Diferenças de perfil utilizando os dados de elevação a) NED e b) SRTM, referentes a área de Manhattan, Nova Iorque.....	131
Figura 58 - Métodos de reamostragem dos dados SRTM utilizados pela NASA e pelo USGS, para geração dos modelos com resolução de 3 segundos de arco.....	132
Figura 59 - Script JSON resultante do serviço Google <i>elevation</i>	133
Figura 60 - Marcação de pontos para a simulação de propagação.....	137
Figura 61 - Diagrama de radiação comum EPTV para antena isotrópica.....	138
Figura 62 - Diagramas de radiação recomendados para as estações EPTV Campinas e Amparo.....	138
Figura 63 - Diagramas de radiação horizontais recomendados para as estações EPTV Águas de Lindoia e Valinhos.....	139
Figura 64 - Mancha de intensidade de sinal obtida para $f=641$ MHz.....	144
Figura 65 - Perfil obtido através de dados de elevação de terreno para $f=641$ MHz.....	146
Figura 66 - Predição EPTV Campinas $f=641$ MHz, Okumura-Hata, cidade de médio porte em ambiente rural com antena isotrópica.....	149
Figura 67 - Predição EPTV Campinas $f=641$ MHz, Okumura-Hata, cidade de médio porte em ambiente suburbano com antena isotrópica.....	150
Figura 68 - Predição EPTV Campinas $f=641$ MHz, Okumura-Hata, cidade de médio porte em ambiente urbano com antena isotrópica.....	150
Figura 69 - Predição EPTV Campinas $f=641$ MHz, Okumura-Hata, cidade de grande porte em ambiente urbano com antena isotrópica.....	151

Figura 70 - Predição EPTV Campinas $f=641\text{MHz}$, Okumura-Hata, a) 45,72% de pontos de cobertura urbano, médio porte b) 45,87% de pontos de cobertura, urbano, grande porte.	152
Figura 71 - Mapa de localização de todos os transmissores na área delimitada.	154
Figura 72 - Escolha dos parâmetros para o modo de predição de cobertura.	155
Figura 73 - Polígono formado pelas posições dos transmissores de mesma frequência na área de interesse.	156
Figura 74 - Simulação em SFN utilizando o centroide de estações.	157
Figura 75 - Simulação em SFN utilizando uma das estações como referência.	158
Figura 76 - Estação EPTV Campinas, área de 20 km^2 a) 83,55% de pontos de cobertura individual, b) 93,93 % de pontos de cobertura em SFN	159
Figura 77 - Estação RTVD Valinhos, área de 20 km^2 a) 25,19% de pontos de cobertura individual, b) 86,03% de pontos de cobertura em SFN.....	159
Figura 78 - Estimação de intensidade de sinal por SFN para os locais de medidas.	162
Figura 79 - Resultado visual obtido com 32 pontos/linhas, $R=10\text{ km}$, 95,3% de cobertura a) nível de <i>zoom</i> 11 b) nível de <i>zoom</i> 13.....	163
Figura 80 - Resultado visual obtido com 64 pontos/linhas , $R=10\text{ km}$, 95,66% de cobertura a) nível de <i>zoom</i> 11 b) nível de <i>zoom</i> 13.....	164
Figura 81 - Estrutura do objeto definido para geração das manchas com diferentes intensidades de de sinal.....	165
Figura 82 - Resultado visual obtido com API de mapa de calor com 32 pontos/linhas, $R=10\text{ km}$ a) nível de <i>zoom</i> 11 b) nível de <i>zoom</i> 13.....	166
Figura 83 - Cenários de testes realizados.	167
Figura 84 - Tempos de execução para diferentes configurações.	169
Figura 85 - TTFB requisição serviço Google <i>Elevation</i> com pacotes de 256 coordenadas.....	170
Figura 86 - TTFB requisição serviço LCV-UNICAMP com pacotes de 256 coordenadas.....	170

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS ATUAIS PADRÕES DE COMUNICAÇÃO DIGITAL.....	23
TABELA 2 - FAIXAS DE FREQUÊNCIAS E POTÊNCIAS DE CONTORNO	24
TABELA 3 - FAIXAS DE FREQUÊNCIAS E DISTÂNCIAS DE CONTORNO POR CLASSE DE ESTAÇÃO	24
TABELA 4 - ESPECIFICAÇÃO DAS MÁSCARAS DO ESPECTRO DE TRANSMISSÃO.....	31
TABELA 5 - RELAÇÃO DE PROTEÇÃO PARA CANALIZAÇÃO DE CANAIS DE TV EM VHF E UHF	32
TABELA 6 - RELAÇÃO DE PROTEÇÃO PARA CANALIZAÇÃO DE CANAIS DE TV EM UHF.....	34
TABELA 7 - ALOCAÇÃO DE CANAIS DE TV NA CIDADE DE SÃO PAULO.....	37
TABELA 8 - FORMATOS DO CONTEÚDO DIGITAL E MULTIPROGRAMAÇÃO NOS CANAIS UHF E VHF DE SÃO PAULO	38
TABELA 9 - RESUMO DE UTILIZAÇÃO DE FREQUÊNCIAS VHF E UHF EM SÃO PAULO ATUAIS	39
TABELA 10 - CANAIS UHF NA FAIXA DE 700 MHZ	40
TABELA 11 - RANKING DE PAÍSES COM MAIOR FAIXA DE ESPECTRO LICENCIADA PARA A BANDA LARGA MÓVEL EM MHZ.....	43
TABELA 12 - PAÍSES COM TRANSMISSÃO DIGITAL E MULTIPROGRAMAÇÃO	47
TABELA 13 - CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DE VÍDEO PARA MÉTRICA MOS	51
TABELA 14 - TAXAS ÚTEIS PARA CANAIS DE 6MHZ - 13 SEGMENTOS - SISTEMA SBTVD	53
TABELA 15 - TAXAS ÚTEIS PARA CANAIS DE 6MHZ - 12 SEGMENTOS - SISTEMA SBTVD	53
TABELA 16 - TAXAS ÚTEIS PARA CANAIS DE 6MHZ - 1 SEGMENTO- SISTEMA SBTVD	53
TABELA 17 - CÁLCULO DE TAXAS PARA 2 CONTEÚDOS HDs, 1 CONTEÚDO SD E INTERATIVIDADE.....	54
TABELA 18 - CÁLCULO DE TAXAS PARA 3 CONTEÚDOS HD'S E INTERATIVIDADE	55
TABELA 19 - CANAIS NECESSÁRIOS E CONFIGURAÇÕES COM COMPARTILHAMENTO DE FREQUÊNCIAS.....	56
TABELA 20 - MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE TRANSMISSÃO	67
TABELA 21 - RESULTADO DO AGRUPAMENTO DE MEDIDAS	94
TABELA 22 - RESULTADOS MEDIDOS E CALCULADOS PELO AGC PARA RECEPTOR USB FULL-SEG.....	109
TABELA 23 - RESULTADOS MEDIDOS E CALCULADOS PELO AGC PARA ZINWELL BROADCOM - TUNER TOSHIBA.....	111
TABELA 24 - TABELAS PSI E PID ESPECÍFICO	120
TABELA 25 - TABELAS MPEG-2, DVB E SBTVD.....	122
TABELA 26 - INTENSIDADE MÍNIMA PARA RECEPÇÃO COM ANTENA EXTERNA.....	134
TABELA 27 - VALORES REFERENCIADOS DE INTENSIDADE MÍNIMA E C/N PARA RECEPÇÃO COM ANTENA EXTERNA.....	135
TABELA 28 - VALORES SIMULADOS DE SNR PARA RECEPÇÃO COM ANTENA EXTERNA	135

TABELA 29 - PARÂMETROS DE TRANSMISSÃO - EPTV	137
TABELA 30 - MODELOS CLÁSSICOS DE PROPAGAÇÃO	141
TABELA 31 - DADOS DA ESTAÇÃO EPTV CAMPINAS.....	144
TABELA 32 - MÁXIMA DISTÂNCIA PERMITIDA EM KM PARA SINAIS ATRASADOS.....	153
TABELA 33 - MÁXIMO ATRASO PERMITIDO EM μ S PARA SINAIS ATRASADOS.....	153
TABELA 34 - RESULTADOS ORDENADOS OBTIDOS PELA COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDAS E MODELOS DE PREDIÇÃO EM SFN	162
TABELA 35 - MATRIZ DE OBJETOS COM MARCADORES GEOLOCALIZADOS COM INTENSIDADE DE SINAL	165
TABELA 36 - TEMPOS DE EXECUÇÃO DO ALGORITMO DE PREDIÇÃO.....	168
TABELA 37 - TEMPOS DE EXECUÇÃO DO ALGORITMO DE PREDIÇÃO.....	169

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G	Segunda geração de sistemas de banda larga móvel
3G	Terceira geração de sistemas de banda larga móvel
4G	Quarta geração de sistemas de banda larga móvel
ADC	(<i>Analog to Digital Converter</i>) Conversor analógico digital
AGC	(<i>Automatic Gain Control</i>) Controle de ganho automático
AMC	(<i>Adaptative Modulation and Coding</i>) Modulação e codificação adaptativa
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
API	(<i>Application Programming Interface</i>) Interface de programação de aplicações
ASI	(<i>Assynchronous Serial Interface</i>) Interface serial assíncrona
ASI	(<i>Agenzia Spaziale Italiana</i>) Agência espacial italiana
ASK	(<i>Amplitude Shift Keying</i>) Chaveamento por deslocamento de amplitude
ATSC	(<i>American Television Systems Comittee Standards</i>) Comitê americano de sistemas e padrões de televisão
AWGN	(<i>Additive White Gaussian Noise</i>) Ruído branco aditivo com distribuição gaussiana
BBC	(<i>British Broadcasting Corporation</i>) Companhia de radiodifusão britânica
BER	(<i>Bit Error Ratio</i>) Taxa de erro de bits
bps	(<i>Bits per Second</i>) Bits por Segundo
BPSK	(<i>Binary Phase Shift Keying</i>) Chaveamento por deslocamento de fase binário
CDMA	(<i>Code Division Multiple Access</i>) Múltiplo Acesso por divisão de código
CIF	(<i>Common Intermediate Format</i>) Formato intermediário comum
CINR	(<i>Carrier to Interference plus Noise Ratio</i>) Taxa de interferência entre portadora e entre portadora somada ao ruído
COFDM	(<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>) Multiplexação por divisão de frequência ortogonal codificada

DAB	(<i>Digital Audio Broadcasting</i>) Radiodifusão de áudio digital
DFT	(<i>Discrete Fourier Transform</i>) Transformada discreta de Fourier
DLR	(<i>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt</i>) Agência espacial alemã
DMB	(<i>Digital Multimedia Broadcasting</i>) Radiodifusão de multimídia digital
DOD	(<i>Department of Defense</i>) Departamento de defesa dos Estados Unidos
DSA	(<i>Dynamic Spectrum Access</i>) Acesso dinâmico ao espectro
DSP	(<i>Digital Signal Processing</i>) Processamento digital de sinais
DSS	(<i>Digital Satellite Service</i>) Serviço digital via satélite
DTV	(<i>Digital TV</i>) TV digital
DVB	(<i>Digital Video Broadcasting</i>) Radiodifusão de vídeo digital
DVB-H	(<i>Digital Video Broadcasting- Handheld</i>) Radiofusão de vídeo digital para dispositivos de mão
DVB-T	(<i>Digital Video Broadcasting- Terrestrial</i>) Radiofusão de vídeo digital terrestre
DVD	(<i>Digital Versatile Disc</i>) Disco digital versátil
ECM	(<i>Entitlement Control Message</i>) Mensagem de controle de cabeçalho
EIRP	(<i>Effective Isotropic Radiated Power</i>) - Potência efetiva isotropicamente irradiada
EN	(<i>European Normative</i>) Normatização europeia
FCC	(<i>Federal Communications Commission</i>) Comissão federal de comunicações
FDM	(<i>Frequency Division Multiplexing</i>) Multiplexação por divisão em frequência
FDMA	(<i>Frequency Division Multiple Access</i>) Múltiplo acesso por divisão de frequência
FDS	(<i>Frequency Domain Scheduling</i>) Agendamento no domínio da frequência
FEC	(<i>Forward Error Correction</i>) Correção posterior de erro
FFT	(<i>Fast Fourier Transform</i>) Transformada rápida de Fourier
FLO	(<i>Forward Link Only</i>) Transmissão em um único sentido
GPS	(<i>Global Positioning System</i>) Sistema de posicionamento global
GSM	(<i>Global System for Mobile communication</i>) Sistema global de comunicações móveis

HEVC	(<i>High Efficiency Video Coding</i>) Codificação de vídeo de alta eficiência
HSDPA	(<i>High Speed Downlink Packet Access</i>) Acesso a pacotes por <i>downlink</i> de alta velocidade
HSUPA	(<i>High Speed Uplink Packet Access</i>) Acesso a pacotes por <i>uplink</i> de alta velocidade
HTTP	(<i>Hypertext Transfer Protocol</i>) Protocolo de transferência de hipertexto
ICI	(<i>Intercarrier Interference</i>) Interferência entre portadoras
IDFT	(<i>Inverse Discrete Fourier Transform</i>) Transformada inversa de Fourier discreta
IEEE	(<i>Institute of Electrical em Electronics Engineers</i>) Instituto de engenheiros eletricitas e eletrônicos
IFFT	(<i>Inverse Fast Fourier Transform</i>) Transformada rápida de Fourier inversa
InSAR	(<i>Interferometric Synthetic Aperture Radar</i>) Interferometria por radar de abertura sintética
IoE	(<i>Internet of Everything</i>) Internet de tudo
IoT	(<i>Internet of Things</i>) Internet das coisas
IP	(<i>Internet Protocol</i>) Protocolo de internet
ISDB-T	(<i>Integrated Service of Digital Broadcasting - Terrestrial</i>) Serviços integrados de radiodifusão digital - terrestre
ISI	(<i>Intersymbol Interference</i>) Interferência intersimbólica
ISO	(<i>Internation Organization for Standardization</i>) Organização internacional para padronização
ITU	(<i>International Telecommunication Union</i>) União internacional de telecomunicações
LAN	(<i>Local Area Network</i>) Rede de área local
LDPC	(<i>Low Density Parity Check</i>) Checagem de paridade de baixa densidade
LiDAR	(<i>Light Detection and Ranging</i>) Detecção de luz e variações, Perfilamento Altimétrico a Laser

LNA	(<i>Low Noise Amplifier</i>) Amplificador de baixo ruído
LOS	(<i>Line of Sight</i>) Linha de visada
LTE	(<i>Long Term Evolution</i>) Evolução de longo prazo
MBMS	(<i>Multimedia Broadcast Multicast Service</i>) Serviço de multicast por radiodifusão de multimídia
MCS	(<i>Modulation Code Schemes</i>) Esquema de modulação e código
MDT	Modelo digital de terreno
MER	(<i>Modulation Error Ratio</i>) Taxa de erro de modulação
MIMO	(<i>Multiple Input, Multiple Output</i>) Múltiplas entradas múltiplas saídas
MMDS	(<i>Multichannel Multipoint Distribution Service</i>) Serviço de distribuição de múltiplos canais por multiponto
MNT	Modelo numérico de terreno
MPEG	(<i>Motion Picture Expert Group</i>) Grupo especializado em imagens em movimento
MRC	(<i>Maximum Ratio Combining</i>) Combinação por máxima relação
NED	(<i>National Elevation Dataset</i>) Dados de elevação nacionais
NIT	(<i>Network Information Table</i>) Tabela de informação de rede
NLOS	(<i>Non Line of Sight</i>) Sem linha de visada
NTIA	(<i>National Telecommunications and Information Administration</i>) Agência de Administração e informação nacional de telecomunicações
NTSC	(<i>National Television System(s) Committee</i>) Comitê nacional de sistemas de televisão
OFDM	(<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>) Multiplexação por divisão de frequência ortogonal
OTT	(<i>Over the Top Content</i>) Transmissão de conteúdo multimídia via internet
PES	(<i>Packetized Elementary Stream</i>) Fluxo de dados elementares empacotados
P2M	(<i>Peer to Machine</i>) Comunicação entre pessoas e máquinas

P2P	(<i>Peer to Peer</i>) Comunicação entre pessoas e pessoas
PAL	(<i>Phase Alternating Line</i>) Linha de fase alternante
PAPR	(<i>Peak to Average Power Ratio</i>) Relação entre potência de pico e potência média
PCAST	(<i>Presidents Council of Advisors on Science and Technology</i>) Conselho de assessores do presidente de ciência e tecnologia
PID	(<i>Packet Identifier</i>) Identificação de pacotes
PLR	(<i>Packet Loss Rate</i>) Taxa de perda de pacote
PSI/SI	(<i>Program Specific Information/Specific Information</i>) Informação específica de serviço/ Informação específica
QAM	(<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>) Modulação de amplitude em quadratura
QCIF	(<i>Quarter Common Intermediate Format</i>) Formato intermediário quaternário comum
QPSK	(<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>) Chaveamento em quadratura por deslocamento de fase
RF	(<i>Radio Frequency</i>) Radiofrequência
RS	(<i>Reed-Solomon</i>) Codificador de <i>Reed e Solomon</i>
RSSI	(<i>Received Signal Strenght Indicator</i>) Indicador de intensidade de sinal recebido
RTT	(<i>Radio Transmission Technology</i>) Tecnologia de transmissão via rádio
SBTVD	Sistema Brasileiro de TV digital
SDMA	(<i>Space Division Multiple Access</i>) Múltiplo acesso por divisão de espaço
SDR	(<i>Software Defined Radio</i>) Radio definido por software
SDTV	(<i>Standard Definition Television</i>) Televisão com definição padrão
SECAM	(<i>Sequencial Couleur Avec Mémoire</i>) Sequencias de cores com memória
SFN	(<i>Single Frequency Network</i>) Rede de frequência única
SIMO	(<i>Single Input Multiple Output</i>) Entrada única múltiplas saídas
SNR	(<i>Signal to Noise Ratio</i>) Relação sinal ruído
SOAP	(<i>Simple Object Access Protocol</i>) Protocolo de acesso a objeto simples
SRTM	(<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>) Missão espacial para topografia via radar

TDMA	(<i>Time Division Multiple Access</i>) Acesso múltiplo por divisão de tempo
T-DMB	(<i>Terrestrial digital Multimedia Broadcasting</i>) Radiodifusão terrestre de multimídia digital
T-DMMB	(<i>Terrestrial digital Mobile Multimedia Broadcast</i>) Radiodifusão de multimídia digital móvel terrestre
TPS	(<i>Transport Parameter Signaling</i>) Sinalização de parâmetros de transporte
TTFB	(<i>Time to First Byte</i>) Tempo para o primeiro byte
UHF	(<i>Ultra High Frequency</i>) Frequência ultra alta
UMTS	(<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>) Sistema de telecomunicação móvel universal
U-NII	(<i>Unlicensed National Information Infrastructure</i>) Infraestrutura nacional não licenciada de informação
USGS	(<i>United States Geological Survey</i>) Agência de pesquisa geológica dos Estados Unidos
VCR	(<i>Video Cassete Recorder</i>) Gravador de vídeo cassete
VHF	(<i>Very High Frequency</i>) Frequências muito altas
WIMAX	(<i>World Interoperability for Microwave Access</i>) Interoperabilidade mundial para acesso de micro-ondas
WMS	(<i>Web Map Service</i>) Serviço de mapas vias Web
XML	(<i>Extendable Markup Language</i>) Linguagem com marcação extensível

LISTA DE SÍMBOLOS

B	Precisão do ADC em número de bits
R	Resistência de entrada do ADC [Ohm]
V_c	Nível de clip [Volts]
G_{rt}	Ganho entre a antena a entrada do ADC
Y_l	l -ésima amostra na saída do ADC de I or Q do sinal k
N	Número de amostras
T_s	<i>Timestamp</i> no formato ou AAAA-MM-DD:HH:MM:SS
d	Data no formato AAAA-MM-DD
f	Frequência sintonizada ou frequência de interesse
A	Área selecionada ou área de interesse
$\overline{BER}_{dfr}$	Média diária da taxa BER para uma determinada data d , medida por um receptor r sintonizado na frequência f
$\overline{BER}_{dfrA}$	Média diária da taxa BER para uma determinada data d , entre todos os receptores r encontrados na área A , sintonizados na frequência f
$\overline{SNR}_{dfr}$	Média diária da taxa SNR para uma determinada data d , medida por um receptor r sintonizado na frequência f
$\overline{SNR}_{dfrA}$	Média diária da taxa SNR para uma determinada data d , entre todos os receptores r encontrados na área A , sintonizados na frequência f
$T_{f,r}(t_1, t_2)$	Representa a soma dos tempos de determinado receptor r sintonizado por uma dada frequência f em um intervalo de datas

	Δt .
$T_f(t_1, t_2)$	Soma total dos tempos de todos os receptores sintonizados em determinada frequência em um intervalo de datas Δt .
$T_{A,f}$	Taxa de tempo média sintonizada, a qual se refere a um valor percentual de tempo de audiência de um determinado canal dentro da área de interesse.
P_r	Potência recebida em dBm
P_t	Potência transmitida em dBm
L_t	Perda no espaço livre em dB
L_s	Perdas por sombreamento e desvanecimento lento em dB
$L_f(t)$	Perdas relativas a desvanecimentos rápidos de pequena escala devido ao efeito destrutivo dos multipercursos e pequenos espalhamentos do sinal em dB
d	Distância entre a antena transmissora e receptora em km
G_t	Ganho da antena transmissora (dBi)
G_r	Ganho da antena receptora (dBi)
L	Fator de perda do sistema
λ	Comprimento de onda em metros
$ E $	Magnitude do campo E em V/m
P_d	Fluxo de Potência em W/m ²
L_{urban}	Perda por propagação em área urbana
$a(h_{re})$	Fator de correção para a antena em áreas urbanas
A_p	Área do polígono formado pela localização das estações
c_x	Coordenada x do centroide de um determinado polígono
c_y	Coordenada y do centroide de um determinado polígono
E_p	Erro de predição em dB

$P_{M_{x,y}}$	Intensidade de potência do sinal estimada em dBm através das medidas coletada nas coordenadas geográficas x,y
$EMax(dB)$	Erro máximo em dB
$EMin(dB)$	Erro mínimo em dB
$RMSE$	Erro quadrático médio em dB

Capítulo 1

Introdução

1.1 Sistemas de transmissão sem fio

Atualmente a demanda por altas taxas de dados em transmissões digitais parece ser ilimitada. O avanço das tecnologias para transmissão e recepção de dados é a base para o surgimento de novos serviços na internet e melhor qualidade das imagens e sons transmitidos. O uso de satélites para a transmissão de dados tem a vantagem de possibilitar a cobertura de áreas subcontinentais, podendo atender a milhares de receptores com apenas um transmissor e seria uma das melhores opções para o atendimento a alta demanda por consumo de dados. Porém, devido ao alto custo do uso do espectro de frequências nas bandas C e Ku, os serviços providos por satélite são na maioria deles unidirecionais. Cabe então às redes terrestres atender a alta demanda por serviços de voz, dados e vídeos compartilhados pelos usuários. Atualmente, os principais desafios das tecnologias de transmissão digital estão na disponibilidade de frequências, assim como na decodificação dos sinais eletromagnéticos em ambientes móveis altamente interferidos e ainda na garantia de altas taxas de dados.

Com o aumento das taxas de dados para dispositivos móveis e receptores fixos, o mercado mundial enfrenta uma explosão no consumo de dados. No Brasil, segundo a Anatel [1], tivemos um crescimento de 75% na base de assinantes 3G em 2013 [2], totalizando 94 milhões de acessos entre 271,1 milhões de linhas ativas de telefonia móvel no país. Segundo o ITU (*International Telecommunication Union*) [3], foram previstos 2,3 bilhões de acessos de banda larga móvel no mundo em 2014 e a previsão é de que o consumo atual mundial aumente em 27 vezes até 2020 [4].

No entanto, nota-se que as redes celulares já se encontram sobrecarregadas. Os números indicam que a demanda por novas frequências exceda as possibilidades reais.

Além do crescimento no consumo de banda larga móvel, observa-se que a evolução das técnicas de transmissão tanto para sinais de radiodifusão como teleguiados estão proporcionando a conexão de um número cada vez maior de sensores à rede mundial. A chamada IoT (*Internet of Things*) ou mesmo a IoE (*Internet of Everything*), representam a tendência do número crescente de sensores para controle e automação de diversos dispositivos conectados a internet. Bilhões de conexões são previstas entre pessoas e pessoas (P2P), pessoas e máquinas (P2M) e máquinas e máquinas (M2M) para os próximos anos. Atualmente segundo relato de especialistas do setor de telecomunicações [4], 99% dos eletrônicos do mundo estão desconectados da internet e o próximo passo será conectá-los.

Dessa forma, a avaliação do uso eficiente do espectro, a liberação de novas frequências e opções que atendam o consumo de dados tornam-se assuntos em evidência.

Neste trabalho, faz-se uma análise da evolução dos sistemas de comunicações, enfatizando os principais padrões de TV digital e banda larga móvel, com o objetivo de planejar o desenvolvimento de uma rede sensores para o monitoramento dos diversos sistemas, a qual possa auxiliar na supervisão, na construção de novas redes, no planejamento do crescimento e na regulação do espectro de frequências, além de possibilitar a detecção de interferências e prover informações para uso compartilhado do espectro.

1.2 A evolução dos sistemas de comunicação

Após a primeira guerra mundial o número de experiências com rádio aumentou significativamente e também o uso do rádio AM [5]. A popularização do rádio se deu entre 1920 e 1930, na mesma época iniciaram-se os primeiros testes de radiodifusão de

sinais de TV. As primeiras transmissões com imagens estáticas utilizando sistemas mecânicos ocorreram em 1924 e foram realizadas pelo Engenheiro Escocês John Logie Baird [6], o mesmo desenvolveu em 1926 o primeiro sistema de televisão viável. A década de 20 para as telecomunicações foi marcada por pesquisas pioneiras para a melhoria do desempenho dos sistemas de comunicação na presença de ruído. O desenvolvimento do sistema de radar entre sua invenção em 1904 e seu uso prático em 1935, foi um dos exemplos de sistemas que evoluiu através do avanço dessas pesquisas [7].

Diversos avanços no campo das comunicações também ocorreram nas décadas seguintes, principalmente em relação ao problema da presença de ruído nas transmissões [7].

Em 1932, um importante avanço ocorreu no sistema de rádio: desenvolveu-se a Frequência Modulada (FM) patenteada por Edwin Armstrong. O inventor além de utilizar a modulação em frequência utilizou maiores larguras de banda propositalmente através do aumento do desvio em frequência, resultando principalmente em uma redução de ruído na saída do receptor. Esta técnica ficou conhecida como *noise-bandwidth trade-off* [5].

Os primeiros estudos na tentativa de entender as propriedades estatísticas do ruído e para a redução do ruído interno dos sistemas também ocorreram na década de 30, introduzindo assim o conceito de figura de ruído e uso da distribuição Gaussiana. São exemplos o surgimento da técnica de Modulação por Códigos de Pulsos - PCM (*Pulse Code Modulation*) [5], o advento do codificador de voz e do teletipo.

Publicações no início da década de 40 confirmaram a caracterização estatística do ruído como sendo Gaussiana, confirmando dessa forma que esse fenômeno poderia então ser aplicado ao estudo do ruído nos sistemas de comunicações. O surgimento do filtro casado se deu também na mesma época através de pesquisas e desenvolvimento de técnicas para aperfeiçoar a detecção de sinais no ruído.

Além do surgimento do filtro casado, outras inovações como a técnica conhecida como *spread-spectrum*, a proposta de satélites geoestacionários, os sistemas de repetição automática ARQ (*Automatic Repeat Request*), a teoria matemática das comunicações fundamentadas por Shannon e a descoberta do transistor são indicadas como os principais avanços nas comunicações da época [5] [7]. Com a invenção do transistor em 1947 por Walter Brattain, John Bardeen e William Shockley [5], os aparelhos a válvula foram aos poucos sendo substituídos por receptores de rádio mais leves e portáteis.

Em 1948, o Engenheiro e Matemático Claude Elwood Shannon, considerado como o pai da era das comunicações eletrônicas publicou o artigo “*A Mathematical Theory of Communication*” [8], onde formula a teoria matemática das comunicações e propõe formas mais eficientes de transmissão. O conceito da entropia já fundamentado na segunda lei da termodinâmica como sendo uma medida de aleatoriedade ou relacionada a ordem e desordem de um sistema, foi um dos principais conceitos introduzidos pelas teorias de Shannon para as comunicações. A entropia em uma transmissão, segundo Shannon, seria equivalente a quantidade de informação em uma mensagem em relação ao seu grau de incerteza baseando-se na presença de ruído.

A história dos códigos corretores de erros ECC (*Error-Correction Code*) são de fundamental importância para o avanço das comunicações e iniciam com a introdução aos códigos de Hamming. O surgimento do ECC foi fundamental para a melhoria de desempenho na transmissão de dados sem fio. A descrição da ideia original de sistemas corretores de erros e a construção do código de Hamming [6], desenvolvido por Richard Hamming, ocorreram simultaneamente à publicação de Shannon. O código foi utilizado inicialmente para a correção de erros de leitura em cartões perfurados, os quais geravam erros constantes.

Em 1949, em um curto espaço de tempo após as publicações de Hamming, importantes avanços ocorreram com o desenvolvimento dos códigos de Golay, descritos através da publicação “*Notes on digital Coding*” por Marcel J. E Golay [9].

Após a publicação de Shannon e o advento dos primeiros codificadores de erros, diversos pesquisadores focaram suas pesquisas na teoria das comunicações digitais, resultando nos primeiros sistemas de rádio enlaces ou link de microondas.

No início da década de 50 uma diversidade de novos códigos surgiu [6], listam-se os códigos de Reed-Muller, desenvolvidos por Irving S. Reed e Dave Muller em 1954, o código convolucional de Peter Elias em 1955, o advento dos códigos cíclicos em 1957, o código de resíduos quadráticos QR (*Quadratic Residue Code*) criados por Eugene Prange em 1958 e o código BCH desenvolvido por Bose, Chadhuri e Hocquenghem [10] em 1959, entre outros. No final da década de 50, o advento do circuito integrado (CI) tornou possível o desenvolvimento de circuitos eletrônicos menores, mais leves, com melhor eficiência energética e de alta velocidade. Os CI são utilizados amplamente na fabricação e desenvolvimento dos sistemas de comunicação. É válido lembrar que muitos códigos de erros provaram sua eficiência quando propostos, porém não possuíam tecnologia disponível na época para a decodificação em tempo hábil. Dessa forma, técnicas de decodificação mais eficientes e econômicas em processamento foram desenvolvidas nos anos seguintes ao surgimento dos codificadores.

No início da década de 60, outros códigos corretores de erros com grande importância ainda utilizados na atualidade foram criados, como os códigos de Reed-Solomon (RS) [11], desenvolvidos por Irving S. Reed e Gustave Solomon, o decodificador PGZ desenvolvido por Peterson, Gorenstein e Zierler e utilizado para a decodificação do código de Reed-Solomon e o código LDPC (*Low Density Parity Check Codes*) apresentado por Robert G. Gallager em sua tese de Doutorado em 1963 [12].

Outros importantes avanços nas comunicações digitais se deram em 1966 pelas pesquisas pioneiras de Robert W. Chang, quem apresentou o primeiro esquema de Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais – OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) [13], amplamente utilizados nos atuais e mais modernos sistemas de comunicação. O sistema OFDM foi uma solução para a transmissão de sinais simultâneos sobre um canal com banda limitada sem as interferências entre portadoras

(ICI) e símbolos (ISI). Outro importante avanço daquela época se deu pela proposta de David Forney Jr, referente ao uso de codificadores de erro de forma serial [14]. A concatenação de codificadores foi uma solução para um sistema com decaimento exponencial da probabilidade de erro, através do aumento do tamanho dos blocos no codificador e, conseqüente, aumento da complexidade de decodificação. Um dos mais famosos decodificadores para os códigos convolucionais de Peter Elias foi desenvolvido por Andrew James Viterbi em 1967. O chamado decodificador de Viterbi baseou-se na máxima verossimilhança para a decodificação dos códigos baseados em máquinas de estado e foi utilizado em vários sistemas de comunicações da atualidade, como por exemplo, nas primeiras gerações de sistemas de TV digital e sistemas de comunicações espaciais.

Historicamente, vários sistemas fizeram uso de diferentes concatenações de códigos; como exemplo, podemos citar os sistemas de transmissão das sondas espaciais *Voyager 1* e *Voyager 2*, os quais utilizaram as concatenações Reed-Solomon-Viterbi e Galois-Viterbi. Outro sistema bastante conhecido, que o fez uso da concatenação de dois codificadores de Reed-Solomon, foi o *Compact Disc* (CD).

Outros avanços significativos nas comunicações de dados ocorreram na década de 60, entre eles, a aplicação da modulação PCM na rede pública comutada de telefonia dos Estados Unidos, seguida da técnica multiplexação por divisão de tempo - TDM (*Time Division Multiplexing*), a qual permitia a combinação de 24 canais de voz em um fluxo de 1,544 Mbps. A necessidade de melhor qualidade na recepção da voz e dados, fez com que novas técnicas de modulação digital surgissem, uma vez que os sinais passavam por amplificadores e moduladores e recebiam ruído em cada etapa.

A década de 60 para as comunicações também foi marcada pelas transmissões via satélite, a proposta da fibra óptica, a primeira demonstração do uso do laser, o chaveamento de pacotes e as redes de computadores. Novos avanços na decodificação de códigos corretores de ocorrem em 1967 com a criação do decodificador de Berlekamp Massey [14] [10].

A evolução da tecnologia de redes digitais se deu na década de 70, com as redes LAN, WAN e MAN, além do surgimento do conceito de internet, o conceito de ISDN (*Integrated Services*), o início dos serviços de GPS (*Global Positioning System*), o lançamento do satélite *Navstar 1* [7] e dos primeiros sistemas celulares utilizando a técnica de múltiplo acesso por divisão de frequência - FDMA (*Frequency Division Multiple Access*).

O crescimento nas descobertas no campo das telecomunicações nos últimos 50 anos tem sido fenomenal. As várias descobertas têm possibilitado o ganho em taxa de transmissão de dados e conseqüentemente surgimento de novos padrões de transmissão sem fio e a cabo. Entre as principais técnicas criadas entre as décadas de 80 e 90 para as transmissões sem fio, destacam-se as técnicas de acesso múltiplo por divisão de tempo - TDMA (*Time Division Multiple Access*), acesso múltiplo por divisão de código - CDMA (*Code Division Multiple Access*), os códigos corretores de erro *Turbo Code* [15] [16], os equalizadores turbo e as técnicas de acesso múltiplo por divisão de espaço - SDMA (*Space-Division Multiple Access*), as quais fazem uso da diversidade espacial. O advento da tecnologia de múltiplas antenas - MIMO (*Multiple-Input and Multiple-Output*) atraiu a atenção para as comunicações sem fio.

A solução de múltiplas entradas e múltiplas saídas impactou em um aumento significativo na capacidade de transmissão de dados e na área de cobertura dos sistemas sem fio.

A combinação das diversas técnicas e soluções citadas e os esforços conjuntos de organizações de padrões ao redor do mundo culminaram no surgimento de diversos padrões de comunicações para a transmissão de voz, vídeo e dados sem fio, entre os quais podemos citar os padrões GSM TDMA, IEEE 802.11, CDMA 2000 1x RTT, 3G HSDPA, HSUPA, 3G W-CDMA, 802.16, LTE, ATSC, DVB-T, ISDB-T, entre outros.

Atualmente estamos testemunhando o crescimento e uso dos serviços de comunicações pessoais, a substituição progressiva de cabos coaxiais e par trançado por fibra óptica, a adoção dos padrões de quarta geração para a internet móvel e a segunda geração para

os sistemas de TV digital e Satélite. Os atuais sistemas de comunicação, já são capazes de transmitir áudio, vídeo e dados, com alta qualidade, em altas taxas, para dispositivos fixos e móveis, em ambientes bastante ruidosos, consequentemente, diante dessa possibilidade, o número de terminais móveis, televisores de alta definição e serviços na internet, têm crescido exponencialmente, assim como a demanda por investimentos em infraestrutura das redes e soluções para a melhor cobertura das cidades.

1.3 Motivação e objetivos

Esse trabalho tem como principal objetivo, a análise da viabilidade, potencial impacto e as possibilidades de se utilizar sensores de baixo custo para o monitoramento constante da qualidade de recepção de sinais de rádio frequência, ao mesmo tempo em que propõe o uso de servidores para o processamento e comparação dos dados coletados a partir de modelos de propagação de sinais, buscando os modelos mais aproximados para cada localidade.

Um grande avanço da melhor utilização do espectro de frequências está ocorrendo com a migração dos sistemas de TV analógica para digital.

O Brasil em 2007 deu início às transmissões digitais de TV após a definição do padrão nipo-brasileiro SBTVD ou ISDB-Tb. Para a decisão técnica entre os sistemas concorrentes, comparou-se o padrão japonês ISDB-T com outros padrões como o americano ATSC e o europeu DVB-T [17]. Entre os testes de desempenho realizados, estavam os comportamentos dos sistemas na presença de ruído impulsivo, desvanecimento, atrasos devido a reflexões dos sinais, qualidade da imagem e cobertura do sinal digital. Entre os resultados dos testes comparativos, desenvolveram-se metodologias e soluções para testes e comparações de sistemas de *broadcast* digitais, os quais são utilizados como fonte de pesquisa nessa dissertação [18] [19] [20].

Observando a evolução dos sistemas de TV digital e banda larga móvel, nota-se o ganho em desempenho dos padrões de segunda geração em relação à área de cobertura, eficiência espectral, redução de *overhead* e consequente aumento das taxas de dados úteis, quando comparados aos sistemas de primeira geração.

Entre os principais motivadores deste trabalho, estão a constante inovação e descobertas das comunicações digitais, as inúmeras possibilidades do uso de sensores em sistemas de comunicação digital, assim como a demanda por soluções para gestão do espectro de frequências, o aumento no consumo de dados e necessidade de identificação e liberação de faixas de espectro subutilizadas.

Ao se propor uma metodologia baseada em sensores e banco de dados, verifica-se a possibilidade de utilização de computadores servidores com alta capacidade de processamento para a obtenção da cobertura de sinais através de modelos de propagação e comparação de medidas obtidas em campo. O uso de servidores remotos leva o processamento dos dados para o ambiente de computação em nuvem, possibilitando o processamento paralelo e reduzindo o tempo de processamento e custos de licenças das atuais soluções, as quais utilizam o método de processamento local.

Ao se utilizar o conceito de IoT para o sensoriamento, uma diversidade de novas aplicações estão surgindo, principalmente as que tangem o tema de cidades inteligentes. A possibilidade de milhares de sensores conectados em rede pode contribuir para a melhoria do trânsito, além de detectar catástrofes, aumentar a segurança dos grandes centros urbanos e, nesse contexto, auxiliar na detecção de interferências e na busca por frequências a serem compartilhadas. Exploram-se desta forma, as possibilidades do uso do canal de retorno para serviços como a medição de qualidade de sistemas de radiodifusão terrestre.

Acredita-se que a utilização do canal de retorno para esta finalidade, pode auxiliar na evolução das atuais metodologias para medição de sinais em campo. Atualmente a confirmação do diagrama de radiação e testes de qualidade de sinais são realizados

pelas equipes de engenharia das redes de TV ou operadores de rede através de testes pontuais em campo. Soluções que permitam o sensoriamento remoto com o mínimo de confiabilidade podem reduzir custos, além de reduzir o tempo na coleta de dados e aumentar de forma significativa o número de amostras.

A monitoração em tempo real possibilita também a visualização dos níveis dos sinais digitais em campo, através de mapas 2D e 3D. Outra possibilidade ao se utilizar receptores de TV comuns, é a monitoração do índice de audiência.

É proposta a utilização de sensoriamento com amostragem periódica para avaliação dos serviços em diferentes locais, condições climáticas e alterações constantes da topologia das cidades, tornando a avaliação de desempenho automática e disponível à consulta de usuários, radiodifusores e órgãos reguladores. Os sensores poderão ser considerados como ferramentas adicionais para as demais técnicas já utilizadas.

Sistemas como IPTV, Wimax, LTE (*Long Term Evolution*), e as tecnologias 3G possuem a capacidade de transmissão de vídeo digital e são bidirecionais, ou seja, as normas foram desenvolvidas contemplando o canal de retorno. Muitas delas, principalmente as tecnologias baseadas em células e setores, utilizam as informações dos receptores para a troca de células e modulação adaptativa.

Recentemente as agências americanas NTIA (*National Telecommunications and Information Administration*), FCC (*Federal Communications Commission*) e agências federais norte americanas, estabeleceram um programa de testes piloto para avaliar as possibilidades de compartilhamento de espectro entre sistemas de comunicação federais e não federais [23]. O programa piloto é considerado uma oportunidade para que as agências federais dos Estados Unidos possam trabalhar cooperativamente com a indústria, institutos de pesquisa e universidades com o objetivo de desenvolver novas tecnologias que possam melhorar o gerenciamento das frequências [21] [23] [24].

Em 2013, a Anatel investiu 26,8 milhões de reais em soluções para monitoração de espectro [22]. Entre as soluções adquiridas, estavam analisadores portáteis, estações

transportáveis de radiolocalização e radiomonitoramento e estações de radiovideometria.

Observam-se através dos investimentos citados, que estas são as primeiras iniciativas em busca de soluções para a melhor gestão do espectro. A solução proposta nessa dissertação busca o atendimento às atuais necessidades para o melhor uso do espectro de frequências, explorando ao mesmo tempo as diversas possibilidades de análise dos sinais através do armazenamento do histórico de medidas.

1.4 Organização da tese

No capítulo dois, com o objetivo de analisar o uso eficiente do espectro de frequências UHF e VHF pelos sistemas de TV, é descrito o processo entre o surgimento dos primeiros sistemas de TV à transição entre os sistemas analógicos e digitais no Brasil. Juntamente, são questionadas as outorgas de TV paga no espectro de TV aberta, o futuro do uso do espectro e uma proposta para uso eficiente das frequências de UHF e VHF para atender a atual demanda por frequências.

No capítulo três é apresentado o conceito e uso de rádios cognitivos com o objetivo de monitoração e compartilhamento do espectro de frequências.

No capítulo quatro é realizada a introdução à proposta de sistema colaborativo cognitivo para análise de sinais DTV e, são apresentadas as implementações técnicas realizadas pelo projeto RNP Stb-Scan com a finalidade de conversão de receptores em sensores assim como seus resultados.

O capítulo cinco aborda as atualizações realizadas sobre a plataforma do projeto Stb-Scan, buscando a construção do sistema colaborativo cognitivo para análise de sinais DTV assim como os resultados alcançados.

O capítulo seis descreve a metodologia utilizada para aplicação de algoritmos de predição através de sistemas WMS (*Web Map Services*) e seus resultados.

O trabalho é finalizado com as conclusões relevantes sobre a importância, impacto e eficiência do uso das técnicas e metodologias propostas e as possibilidades de trabalhos futuros.

Capítulo 2

A evolução dos sistemas de TV

2.1 Introdução

O surgimento dos primeiros sistemas de TV se deu pela combinação e avanços nas tecnologias no campo da óptica, mecânica e eletrônica, com o objetivo de captura, transmissão e projeção de imagens.

As primeiras imagens a serem transmitidas de forma elétrica se deram através de tecnologias precursoras às primeiras máquinas de FAX, entre elas, cita-se o pantelógrafo, o qual permitia a transmissão de textos escritos à mão, assinaturas e desenhos restritos a uma dimensão de 150 x 100 mm [5] [25]. O pantelógrafo foi utilizado comercialmente em 1860 para a verificação de assinaturas utilizadas em transações bancárias. O conceito de televisão surgiu logo após o invento do telefone, contextualizado por volta de 1878 como telefonoscópio ou videofone, o termo foi citado em diversas obras de ficção científica da época.

A ideia de se utilizar o método de varredura inventado por Paul Nipkow para captura e transmissão de imagens foi posto em prática em 1881 com avanços no pantelógrafo. O conceito de *scan* ou rasterização seria o processo de converter uma imagem em um fluxo ou sequência de pulsos elétricos, esse conceito foi aplicado desde então nas diversas tecnologias de transmissão de imagens sucessoras ao pantelógrafo com pêndulo [27], incluindo a televisão.

As primeiras transmissões de TV analógicas experimentais ocorreram no início da década de 30 e deram início a uma corrida para o desenvolvimento de sistemas com

uma melhor qualidade de áudio e vídeo. Os primeiros televisores apresentavam quadros com 30 linhas a uma taxa de 5 quadros por segundo [5], posteriormente com a migração das soluções mecânica para eletrônica uma variedade de opções de linhas por quadro, taxas de quadro, proporções de tela, potências de transmissão e diferentes alturas de antena foram apresentadas. Um padrão de transmissão seria necessário para a comercialização em massa de televisores.

Os primeiros modelos de televisores produzidos foram os de raios catódicos. Algumas descobertas foram cruciais para o seu desenvolvimento, como o uso do selênio, a célula fotoelétrica e o tubo de raios catódicos (CRT).

Os principais padrões analógicos de TV foram desenvolvidos na década de 40 e 50 e foram adotados mundialmente em versões modificadas [29]. Em 1954, foi definida a versão final do sistema norte-americano de TV em cores, o sistema *National Television System Committee* (NTSC) [27] [28]. Inicialmente o padrão NTSC apresentava problemas em relação à fidelidade das cores. Os demais padrões como o francês *Sequencial Couleur Avec Mémoire* (SECAM) e o alemão *Phase Alternation Line* (PAL) foram desenvolvidos posteriormente e já apresentavam soluções para o problema de fidelidade de cores do padrão americano. Os demais países do mundo adotaram um desses padrões e os modificaram principalmente para a proteção da indústria local. O sistema a cores adotado pelo Brasil em 1974 foi o PAL em sua variação PAL-M; as justificativas do país para a adoção do padrão PAL-M foram a de uma melhor visualização de cores em relação ao padrão NTSC sem a necessidade de controle de matiz, além da compatibilidade com o sistema preto e branco Norte-Americano padrão M já em funcionamento no Brasil e compatibilidade de banda de transmissão de 6 MHz [25] [26] [29].

Diversos padrões surgiram ao redor do mundo devido a alterações dos principais padrões citados, como NTSC 4.43, NTSC-M, NTSC-J, SECAM-L, SECAM-B/G, SECAM-H, SECAM-K, PAL-B, PAL-G/H, PAL-I, PAL-D/K, PAL-M e PAL-N. As principais

alterações foram em relação à banda de transmissão, número linhas, linhas ativas, portadora de cores e portadoras de som.

Após a disseminação da tecnologia de TV pelos vários continentes, soluções eram necessárias para a troca de conteúdo de vídeo entre as várias nações. A princípio, as fitas eram transportadas de forma marítima levando semanas até o destino.

Uma solução para esse tipo de problema foi realizada em 1962 com o lançamento do satélite *Telstar* [5] [30], sendo o primeiro a transmitir sinais de televisão e telefone do espaço ao vivo entre os Estados Unidos e a Europa de forma experimental. É interessante observar que as transmissões do *Telstar* duravam apenas alguns minutos devido ao giro orbital que colocava o satélite fora do alcance das estações. Vários outros satélites foram lançados nos anos seguintes, porém apenas em 1978 foi lançado o satélite Yuri, o primeiro de uma série de satélites do tipo BS (*Broadcasting Satellite*) com o objetivo principal de radiodifusão de sinais de TV [30].

Os sistemas analógicos de radiodifusão de sinais TV foram dominantes entre as primeiras transmissões na década de 30 até o advento da TV digital no final da década de 90 [29] [28].

O advento dos sistemas de transmissão de vídeo digital se deu entre outras descobertas principalmente pelo desenvolvimento das técnicas de compressão de vídeo digital. A primeira descoberta no campo da compressão de vídeo se deu em 1929 através das pesquisas de Raymond Davis Kell [32], o qual descreveu e patenteou uma forma de compressão onde não seria necessária a transmissão sucessiva de imagens completas e sim apenas a diferença entre as imagens sucessivas dos objetos [29]. Essa definição ainda é o elemento central dos vários padrões de compressão da atualidade.

A técnica de entrelaçamento foi considerada uma das primeiras formas de compressão de imagens para o sistema analógico, onde os campos de linhas pares e ímpares são transmitidos alternadamente. Ao se entrelaçar as linhas durante a transmissão, foi possível a redução da banda pela metade, dado que houve uma redução da resolução da imagem ao se transmitir apenas metade das linhas.

A necessidade de armazenamento de vídeos surgiu com a disseminação dos sistemas de TV. O primeiro programa de TV realizado através de vídeo gravado em uma fita magnética foi realizado pela BBC em 1955 [5] [27]. Os padrões de cassete foram padronizados na década de 70, porém os primeiros VCR (*Video Cassete Recorder*) chegaram aos lares dos consumidores como eletrodoméstico apenas na década de 80. Na disputa entre os padrões de armazenamento de vídeo estavam os padrões VHS e Beta [25].

A década de 80 também foi marcada pelo advento dos DSP (*Digital Signal Processor*). Com o uso de DSP, deu-se início ao processamento de vídeo e áudio digitais. O processamento de vídeo foi desenvolvido para lidar principalmente com as técnicas de entrelaçamento, compressão preditiva e armazenamento de vídeo. Em 1984, a ITU (União Internacional de Telecomunicações) padronizou a recomendação H.120, o primeiro padrão de compressão de vídeo digital. O padrão H.120 utilizou a modulação por código de pulso diferencial DPCM (*Differential Pulse-Code Modulation*), quantização escalar e técnicas de códigos de tamanhos variáveis para transmitir sinais de vídeo dos padrões NTSC e PAL através de linhas de comunicações dedicadas [29].

Avanços nas técnicas de compressão de vídeo digital ocorreram na década de 90 com o advento do padrão H.261, o objetivo principal era a transmissão de vídeos com resoluções CIF (352 x 258 pixels) ou QCIF (176 x 144 pixels) através da rede ISDN (*Integrated Services Digital Network*) utilizando múltiplos *streams* de 64 Kbps.

Vários outros padrões sucederam o H.261, entre eles citam-se os padrões Motion JPEG, MPEG-1, MPEG-2/H.262, Digital Video (DV), H.263, RealVideo, MPEG-4, Divx/XviD, WMV9/VC-1, H.264/MPEG-4 part 10/AVC, AVS e o atual HEVC [5] [29].

O padrão MPEG-2 foi desenvolvido conjuntamente pela ISO (Organização Mundial para Padronização) e ITU e definido em 1993. Foi o primeiro padrão de compressão acordado como padrão mundial para a TV digital. O MPEG-2 possui suporte para as definições SDTV (720x566/480 Pixels) e HDTV (1920 x 1080 pixels); o fato de suportar a resolução HD fez com que o desenvolvimento do padrão MPEG-3 fosse descontinuado.

O Padrão MPEG-2 ainda é utilizado na atualidade, sendo o padrão de compressão para o DVD, câmeras de vídeo, redes de distribuição e *Set-Top-Box* dos primeiros padrões de TV digital.

Em 1994, utilizando a compressão MPEG-2 e o padrão DSS (*Digital Satellite Service*) foi lançado o primeiro serviço de TV digital via satélite - DirectTV [30] .

Em 1998, surgiram as primeiras transmissões de TV digital terrestre (propagação pelo ar). Os Estados Unidos adotaram o sistema *Advanced Television Systems Committee* (ATSC) e os europeus o sistema *Digital Video Broadcasting-Terrestrial* (DVB-T). No Japão, foi criado o sistema *Integrated System Digital Broadcasting-Terrestrial* (ISDB-T), que somente entrou em operação comercial a partir de 2003.

Os primeiros padrões de TV digital fizeram o uso do padrão de compressão MPEG-2 e promoveram um grande avanço nos sistemas de radiodifusão de TV. Entre as vantagens dos sistemas digitais, citam-se a melhor definição de imagem e qualidade do áudio, o aumento do número de canais de áudio, a melhor eficiência espectral, a possibilidade de transmissão de múltiplos canais em uma banda de

6 MHz ou 8 MHz, a interatividade, a flexibilidade na modulação, a robustez a interferências do tipo intersimbólica (ISI) e entre portadoras (ICI), a mobilidade, a robustez a multipercursos e a possibilidade de operarem em redes de frequência única (SFN) [33] [34].

Uma das características dos primeiros padrões de TV digital foi a opção de mobilidade: o consórcio DVB criou o padrão *Digital Video Broadcast-HandHeld* (DVB-H) em 2004 [42].

O DVB-H foi desenvolvido também como resposta do consórcio europeu a opção de mobilidade conhecida como 1-Seg já estabelecida na norma do sistema ISDB-T. Outros padrões de TV Móvel foram lançados nos anos seguintes, entre eles citam-se o Coreano *Digital Multimedia Broadcasting* (DMB), o Americano *Media Forward Link Only* (Media-FLO), o Europeu *Digital Video Broadcast-Satellite HandHeld* (DVB-SH), o Chinês *Terrestrial Digital Mobile Multimedia Broadcast* (T-DMMB) e o Japonês *Integrated System Digital Broadcasting-Terrestrial Mobile Multimedia* (ISDB-Tmm) [16].

Os padrões de TV digital móveis foram os primeiros a fazerem uso do padrão de compressão H.264. A primeira tecnologia de TV móvel de maior relevância na Europa na época foi a *Digital Video Broadcast-HandHeld* (DVB-H) [16]. Várias redes foram implantadas na Europa. A Itália foi o primeiro país a lançar os serviços comerciais de TV paga para dispositivos móveis utilizando o padrão DVB-H em 2006; outros lançamentos ocorreram nas principais áreas urbanas da Finlândia, Suíça, Áustria, Holanda, Hungria e Albânia, porém as operações foram progressivamente sendo desligadas.

Um processo similar ocorreu com o padrão *Media Forward Link Only* (Media-FLO) implementado nos Estados Unidos, o qual também teve a sua operação descontinuada. No Brasil, testes com o padrão DVB-H foram realizados pelo grupo Abril, detentor na época da TV Abril (TVA) em parceria com o grupo Sul-Africano Naspers, com o objetivo de avaliar a possibilidade de operar comercialmente o serviço de TV móvel paga na cidade de São Paulo. Além da dificuldade no licenciamento de frequências, concluiu-se que haveria necessidade de uma densa rede de frequência única para a recepção de um sinal de qualidade em ambientes fechados como prédios comerciais, shoppings e residências; o projeto foi então descontinuado.

As experiências com as tecnologias DVB-H e Media-FLO através do mundo mostraram que as suposições sobre a existência de demanda de mercado para o consumo de serviços de TV móvel pagos, os quais pudessem justificar os investimentos em redes dedicadas, estavam equivocadas. O fracasso das primeiras operações foi também justificado pela falta de opções de modelos de receptores e baixa quantidade de receptores no mercado para adoção em massa. Os consumidores não mostraram interesse em pagar pelo conteúdo televisivo nos celulares ou TV portáteis. Segundo[43], houve também falha em um quadro regulatório que obrigasse os radiodifusores, operadores de redes de radiodifusão e operadores de redes celulares a trabalharem em conjunto [43].

Dois casos de sucesso nas soluções de TV móvel de primeira geração podem ser citados, são elas o japonês ISDB-T (*System Digital Broadcasting- Terrestrial*) e o T-DMB (*Terrestrial*

Digital Multimedia Broadcasting) sul-coreano. Porém, nesses dois casos, o conteúdo transmitido para os dispositivos móveis era aberto e no caso do sistema japonês, os dados destinados ao celulares e TV portáteis eram transmitidos de forma intrínseca ou “em banda” utilizando apenas uma porção do espectro destinado à TV fixa, não havendo, dessa forma, a necessidade de implantação de redes dedicadas ao conteúdo móvel. A mobilidade foi também uma demanda dos reguladores que adotaram os sistemas.

Atualmente, a vasta quantidade de *smartphones* e *tablets* está renovando o interesse por TV móvel. Os consumidores possuem agora, uma variedade de tamanhos de telas para assistir o conteúdo em mobilidade. A experiência do usuário em relação ao consumo de aplicações multimídia tem ocorrido sobre a tecnologia 3G e, recentemente, sobre as primeiras redes 4G, através da tecnologia *Long-Term Evolution* (LTE). A tecnologia LTE está sendo implementada ao redor do mundo e provê uma melhor capacidade que o sistema 3G, com uma melhor cobertura, aumento das taxas de transmissão e redução da latência.

Com a atual e crescente demanda por conteúdo multimídia em mobilidade, desenvolve-se continuamente as tecnologias de acesso, principalmente na busca de soluções com melhor eficiência espectral, com capacidade de atender a um número maior de usuários, com o melhor desempenho possível em taxa de dados e latência.

As buscas por soluções para a melhoria do desempenho dos padrões de radiodifusão digital evoluíram significativamente na última década. Entre o lançamento dos primeiros padrões de TV digital, como o DVB-T em 1997 [42] e ISDB-T em 1999 [44], treze anos se passaram até que consórcio DVB lançou uma segunda geração para o sistema terrestre em 2009, o DVB-T2 [47]. Sequencialmente foram lançadas novas versões para o sistema a cabo DVB-C2, satélite, DVB-S2, e uma nova versão para o sistema móvel *Digital Video Broadcast - Next Generation Handheld* (DVB-NGH) [43]. Seguindo a ordem cronológica entre o lançamento das normas e novos padrões, espera-se que as normas para a terceira geração de sistemas de TV digital estejam disponíveis

em meados de 2021. A Figura 1 ilustra as datas de lançamento dos diferentes padrões de TV digital.

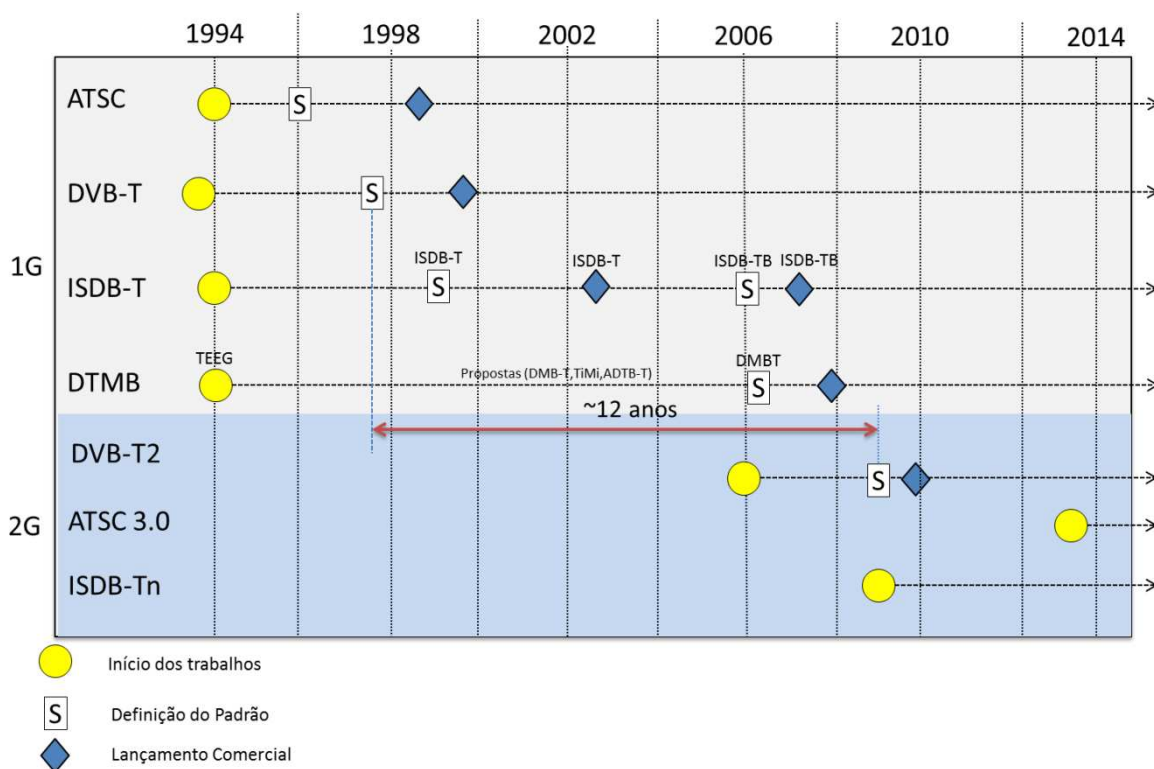


Figura 1 - Datas de lançamento de padrões DTT 1G e 2G.

Entre algumas das principais inovações aplicadas aos atuais padrões ou padrões em desenvolvimento de sistemas de comunicação digital, podemos citar:

- Uso de novos algoritmos de codificação de canal como H.264 e HEVC,
- Aplicação de códigos corretores de erros como LDPC, códigos turbos e codificação 2D;
- Diversidade na transmissão e recepção, através das técnicas MISO e MIMO,
- Rotação de constelação ,
- Uso de altas ordens de modulação, por exemplo 512,1024,2048, 4096 QAM,
- Múltiplas taxas de código e modulação (MCS),

- Segmentação do espectro utilizando OFDM,
- Flexibilidade através de n camadas de modulação,
- Modulação adaptativa e diversidade de polarização,
- Equalização turbo,
- Multiplexação híbrida, por exemplo OFDM, VSB,
- Entrelaçadores diversos em tempo e frequência,
- Antenas inteligentes, por exemplo com formação de feixe conhecidas como *Beamforming*.

Observa-se que uma das formas de medir o desempenho dos sistemas é verificar sua capacidade de transmissão em canais AWGN, neste tipo de canal, pode-se comparar o desempenho do sistema em relação à teoria do limite de Shannon [8] [31]. Os atuais sistemas com exceção dos novos sistemas conhecidos como Pcell [45], utilizam como regra o limite de capacidade de canal de Shannon para avaliar o seu desempenho: quanto mais próximo do limite e quanto maior a eficiência espectral melhor será o sistema conforme ilustrado na Figura 2.

Através da Figura 2, disponibilizada por [46], é possível observar que o DVB-T2 é o sistema que apresenta o melhor desempenho quando comparado aos demais padrões da atualidade, indicando a sua superioridade em relação à eficiência espectral e proximidade ao limite de capacidade de canal estabelecido. Observa-se que novos padrões em desenvolvimento com o NHK Super Hi-Vision apresentam ordens de modulação nunca antes alcançadas por outros padrões de radiofusão terrestre. É importante notar que neste tipo de canal não se verifica o desempenho dos sistemas em ambientes móveis.

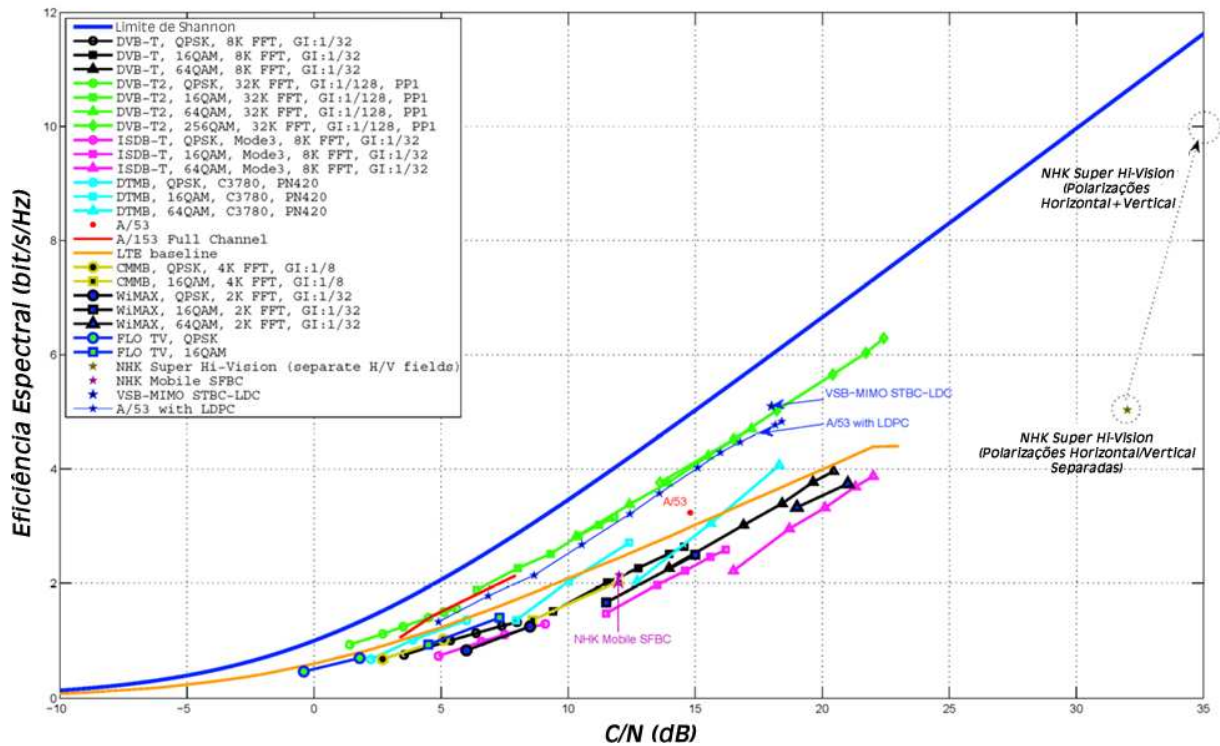


Figura 2 - Eficiência espectral dos principais padrões de comunicação digital.

Na Tabela 1 [46] é possível comparar alguns dos principais padrões e suas características.

Nos subcapítulos a seguir, com o objetivo de avaliar o uso atual das faixas de VHF e UHF no Brasil, é realizada uma introdução aos históricos e características dos sistemas de TV analógico e digital. Também se verifica a definição e tipo de conteúdo transmitido por canal. Uma proposta é então apresentada visando uma melhor eficiência no uso do espectro de frequências nessas faixas.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS ATUAIS PADRÕES DE COMUNICAÇÃO DIGITAL

Item Avaliado	ATSC A/43	ATSC A/153	DVB-T	DVB-T2	DVB-H	ISDB-T	DTMB	CMMB	MediaFLO-EV	802.16M	LTE-Advanced
Área de Cobertura	F(50,90)	F(50,90)	F(50,90)	F(50,90)	F(50,90)	F(50,90)	F(50,90)	F(50,90)	F(50,90)		
PAPR	6,5 dB	6,5 dB	8,5 a 12,5 dB	8,5 a 12,5 dB	8,5 a 12,5 dB	8,5 a 12,5 dB	6,5 a 12,5 dB	8,5 a 12,5 dB	8,5 a 12,5 dB	8,5 a 12,5 dB	8,5 a 12,5 dB
Redução de PAPR	NA	NA	NA	ACE ou TR < 2 dB	NA	NA	NA	NA		NA	DFTS-OFDM Apenas Uplink
Profundidade do Entrelaçamento Temporal(ms)	4	7,15	0,6 a 3,5	<500 células	0,6 a 3,5	0 a 400	200 a 500	NA	NA	~1 ms	~1ms
Tolerância a Ruído de Fase ¹	Eficiente	Eficiente	Médio	Médio	Médio	Médio	Médio	NA	Médio	Médio	Médio
Tolerância a Ruído Impulsivo ²	Eficiente	Eficiente	Baixo	Eficiente	Baixo	Eficiente	Eficiente	NA	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Tolerância a Multipercurso Dinâmico ³	Baixo	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	NA	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Tolerância a Longo Multipercurso Estático ⁴	Baixo	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Eficiente	NA	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Característica Única	Baixo Requisito de C/N	Simultâneo de HDTV e Mobile TV		Constelação Rotacionada, FEF's, MultiPipes, MISO	TimeSlicing	OFDM Segmentado, Tipos de Modulação, 3 Camadas	TDS-OFDM, Uso Sequencia		Segunda Camada Física, acesso Independente a cada stream, Full Stat Mux, Wide e Local	Modos Unicast, Multicast, Broadcast, Unicast Optimizado, Tráfego por rajadas.	Modos Unicast, Multicast, Broadcast, Unicast Optimizado, Tráfego por rajadas.
Configuração de Antena	1x1	1x1	1x1	1x1,2x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1,2x2,4x4,8x8	1x1,2x2,4x4,8x8
Notas											
1: Tolerância a ruído de fase em TOV de -80dBc/Hz@20kHz offset=Eficiente, menor que -90dBc/Hz@20kHz offset=Médio											
2:Tolerância a ruído Impulsivo em TOV de atenuação de 17 -25 dB de D/U é considerado Eficiente, 9-14 dB de atenuação é considerado Baixo											
3:Tolerância ao Multipercurso Dinâmico >75Hz é considerado Eficiente, <5 Hz é considerado baixo.											
4:Tolerância ao Longo Multipercurso Estático de 0dB D/U Pós-Eco de até 10 us é considerado Eficiente, <2 dB D/U de Pós-Eco de até 10us é considerado Baixo											

2.1 TV analógica no Brasil

Para o serviço de radiodifusão terrestre de televisão, o Brasil adota o padrão analógico PAL-M (525 linhas/quadro, 60 campos/segundo e canais de 6 MHz de largura de faixa), empregando as faixas de frequências e as classes de estações dadas nas Tabelas 2 e 3 [49].

A intensidade de campo descrita na Tabela 2 como E(50,50) se refere ao valor de intensidade excedidos em 50 % dos locais e durante 50 % do tempo.

TABELA 2 - FAIXAS DE FREQUÊNCIAS E POTÊNCIAS DE CONTORNO

Faixa	Canal	Frequências (MHz)	Intensidade de campo E(50,50) (dBμV/m)			
			Contorno 1 (Área de serviço primária)	Contorno 2 (Área de serviço urbana)	Contorno 3 (Área de serviço rural)	Contorno protegido
VHF baixo	2-6	54-88	76	68	54	58
VHF alto	7-13	174-216	77	71	60	64
UHF	14-59	470-746	80	74	70	70

TABELA 3 - FAIXAS DE FREQUÊNCIAS E DISTÂNCIAS DE CONTORNO POR CLASSE DE ESTAÇÃO

Faixa	Canal	Frequências (MHz)	Classes de estação Contorno protegido (km)			
			Classe Especial	Classe A	Classe B	Classe C
VHF baixo	2-6	54-88	63	42	25	14
VHF alto	7-13	174-216	66	46	28	16
UHF	14-59	470-746	53	40	26	14

No Brasil, a transmissão dos sinais de TV é realizada por estações geradoras e estações retransmissoras. Estações conhecidas como “afiliadas” ou “cabeça de rede” são também consideradas estações geradoras, porém repetem o sinal de outras geradoras e realizam

a inserção de conteúdo local na programação. Geralmente as emissoras afiliadas cobrem grandes áreas com a mesma programação em canais diferentes [34].

A Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) é responsável pelo gerenciamento do espectro de frequências no Brasil e cabe a ela a fiscalização do espectro eletromagnético. A Anatel é subordinada ao Ministério das Comunicações, a quem por sua vez cabe à responsabilidade de outorga das faixas de frequência [49].

As estações de TV analógicas são assim definidas [49]:

- Geradoras (TV) - destinadas à produção de conteúdo e à transmissão, com seus canais definidos no plano básico de distribuição de canais de televisão em VHF e UHF (PBTv).
- Retransmissoras (RTV) - destinadas à extensão da cobertura das geradoras e ao atendimento de regiões de sombra, com seus canais estabelecidos pelo plano básico de distribuição de canais para retransmissão de televisão em VHF e UHF (PBRTV).
- Televisão por Assinatura (TVA) - canais de TV paga, com seus canais definidos no plano básico de atribuição de canais de televisão por Assinatura em UHF (PBTVA).

Até o advento da TV digital, o atual sistema para alocação de frequências de sinais de TV é conhecido como rede de multi-frequência - MFN (*Multi Frequency Network*). No sistema MFN, para a viabilização de canais a cada nova localidade, são utilizados diferentes canais para a geração e retransmissão. Em muitos casos a mesma programação acaba cobrindo uma parte comum da mesma localidade com os sinais da geradora e retransmissora. Uma solução para esse desperdício em espectro será a

transição completa para os sistemas digitais e a utilização dos recursos da TV digital, como o uso das redes de frequência única - SNF (*Single Frequency Network*).

No Brasil, as frequências destinadas à transmissão de TV são divididas em canais de 6 MHz e se distribuem da seguinte forma:

Seis canais destinados aos sinais analógicos na faixa de frequência muito alta - VHF (*Very High Frequency*), sendo eles, os canais de 2 a 6, nas frequências de 54 a 88 MHz [49].

Cinquenta e dois canais destinados aos sinais digitais, divididos entre as faixas VHF e frequência ultra alta - UHF (*Ultra High Frequency*), sendo os canais de 7 a 13 nas frequências de 174 a 216 MHz e canais de 14 a 59 nas frequências de 470 a 746 MHz.

Observa-se que os canais de VHF baixo 2, 3, 4, 5 e 6 foram suprimidos conforme orientação do relatório técnico “planejamento de canais de TV digital” [49]. A faixa de frequência em questão é sujeita a interferências de ruído impulsivo e foi poupada na época devido ao desconhecimento da capacidade do padrão de TV digital que seria adotado em relação à robustez ao ruído. O canal 37 UHF não é utilizado para a radiodifusão, sendo reservado para pesquisas radioastrômicas.

Os canais de 60 a 69, nas frequências de 746 a 806 MHz foram inicialmente reservados para as TVs públicas e recentemente leiloados para os operadores de banda larga móvel.

2.2 A TV digital no Brasil

Os primeiros passos da TV digital no Brasil foram dados com a criação de uma comissão assessora para assuntos de televisão chamada de COMTV na década de 90 [17] [25] [51]. O principal objetivo da COMTV era estudar a chamada TV de alta definição e faziam parte a SET (Sociedade de Engenharia de Televisão) a ABERT (Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão) e empresas do setor de radiodifusão [17].

Com o início da implantação da TV digital nos Estados Unidos, houve interesse do grupo SET/ABERT em realizar testes de transmissão digital na copa do mundo de

futebol em 1998, para isso foram concedidas algumas licenças experimentais pela Anatel. O CPqD (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento) foi nomeado para o acompanhamento e supervisão dos testes, para os quais foi criado o Laboratório de TV Digital da Escola de Engenharia Mackenzie em parceria com a empresa NEC do Brasil (*Nippon Electric Company*) utilizando recursos governamentais da lei da informática [17] [52].

Em 1999, foram realizados testes comparativos em laboratório e testes em campo na cidade de São Paulo entre os padrões ATSC e DVB-T. Posteriormente, no final do ano de 1999, o sistema ISDB-T também foi considerado para testes e avaliação de desempenho. Novos testes foram realizados até maio de 2000.

Os resultados dos testes foram encaminhados à Anatel para servir de subsídio para uma futura decisão do governo brasileiro sobre o sistema de TV digital a ser adotado no Brasil. Os resultados obtidos pelo grupo SET/ABERT e Mackenzie [17], indicavam que o sistema Americano ATSC e o Europeu DVB-T haviam apresentado baixo desempenho em relação à recepção de sinais com multipercursos (ATSC) e em relação à imunidade a ruídos impulsivos (DVB-T). O padrão ISDB-T, sendo uma versão desenvolvida posteriormente aos padrões americano e europeu, apresentou um melhor desempenho técnico entre os três padrões testados, porém o padrão ainda não havia sido lançado em seu país sede e dificilmente teria uma aceitação mundial. A previsão seria de que os países da Europa, África e a Austrália adotassem o padrão DVB-T e os Estados Unidos, Canadá, México e América Central o ATSC, com os demais mercados ainda em disputa, alguns ainda poderiam desenvolver seus próprios padrões ou adotar um dos três propostos. Devido ao mercado restrito apenas ao Japão, o custo previsto para os equipamentos de transmissão no padrão ISDB-T seriam altos em relação aos demais e o Brasil precisaria de fábricas de semicondutores e componentes no país para a redução de custos.

Em 2003 um novo convênio entre a Universidade Presbiteriana Mackenzie, ABERT e SET foi firmado com o objetivo de analisar a evolução dos três sistemas de TV digital, o

qual indicou uma evolução significativa no desempenho dos receptores [17] [49]. No mesmo ano, o governo brasileiro decidiu propor diretrizes para o desenvolvimento de um sistema nacional de TV digital [17]. Vinte e um consórcios de pesquisa entre universidades e empresas foram formados sob a coordenação do CPqD e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e trabalharam entre os anos de 2004 e 2006 com o propósito de fornecer subsídios ao governo brasileiro para a escolha do padrão nacional SBTVD.

Com recursos escassos, os consórcios conseguiram apresentar contribuições importantes, como a incorporação do padrão MPEG-4 para compressão de vídeo e o HE-AAC v2 para o áudio, uma proposta de middleware, uma proposta de melhoria nas técnicas de codificação de canal através do uso de códigos turbo, um projeto de terminal de acesso de baixo custo, uma proposta de deslocamento de frequência de 1/7 MHz e vários aplicativos. Entre as propostas adotadas, estavam o novo padrão de compressão MPEG-4, o deslocamento em frequência e o middleware brasileiro conhecido como Ginga.

O Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD) é então definido em junho de 2006, utilizando como referência o sistema de modulação ISDB-T com inovações brasileiras e passa assim a ser chamado de sistema nipo-brasileiro ou ISDB-T versão B (ISDB-T_B) [17]. No mesmo ano, o fórum SBTVD foi criado com o objetivo de definir as especificações técnicas da TV digital brasileira através de oito normas compreendendo transmissão, codificação, multiplexação, recepção, codificação de dados, segurança, middleware e canal de interatividade [38] [39] [40] [41].

O sistema ISDB-T_B teve sua primeira transmissão oficial em 2 dezembro de 2007, dando início às transmissões de TV digital no Brasil. Até o ano de 2012 a cobertura do sinal digital atingia 46,80% da população [17]. Outros países da América Latina adotaram o padrão ISDB-T_B, entre eles citam-se Peru, Argentina, Chile, Venezuela, Equador, Costa Rica, Paraguai, Filipinas, Guatemala, Honduras, Bolívia, Uruguai e Nicarágua. Recentemente o padrão ISDB-T_B foi adotado também por alguns países da África como

Botswana e Angola. O desligamento ou migração total da TV analógica para digital foi previsto inicialmente para o ano de 2016, porém prevê-se um desligamento em etapas entre janeiro de 2015 e dezembro de 2018 [17].

2.3 Transição da TV analógica para a digital no Brasil

Além dos fatores técnicos e econômicos, uma das dificuldades no processo de transição da TV analógica para a digital, é o planejamento de frequências para a transmissão em *simulcast*, ou seja, a transmissão dos sinais analógicos e digitais simultaneamente até o desligamento completo dos sistemas analógicos.

Para a canalização da TV analógica, algumas regras foram criadas para evitar interferências entre os canais. Inicialmente os canais só poderiam ser reutilizados a partir de uma determinada distância, o mesmo acontecendo com os canais adjacentes inferiores e superiores, os quais, para proteção das portadoras de áudio e vídeo, deveriam estar espaçados em frequência. Outros tipos de interferência implicavam em diferentes regras para a reutilização dos canais em diferentes localidades, levando à não utilização de canais específicos em algumas regiões, para evitar interferências. Esses canais específicos são chamados de canais *Taboos* para TV Analógica e são indicados na Figura 3.

Entre as regras criadas para a canalização de sinais de TV, estão às regras de interferência co-canal, canal adjacente inferior e superior, batimentos de FI (Frequência Intermediária), frequência imagem de áudio, frequência imagem de vídeo e oscilador local.

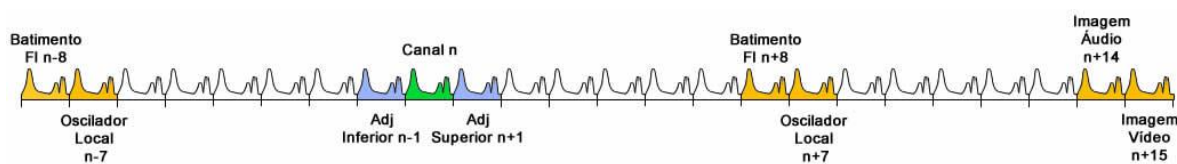


Figura 3 - Canais considerados *Taboo* para a TV analógica.

Algumas das interferências citadas ocorrem no conversor de UHF, entre elas citam-se [98]:

Interferência por batimento de FI - interferência resultante do batimento que ocorre no conversor do receptor de UHF entre o canal n e o canal $n+8$ ou $n-8$, resultando um sinal que interferirá na FI do receptor de televisão sintonizado no canal n .

Interferência por frequência imagem de áudio - interferência gerada no conversor do receptor de UHF entre o canal n e o canal interferente $n+14$.

Interferência por frequência imagem de vídeo - interferência gerada no conversor do receptor de UHF entre o canal n e o canal interferente $n+15$.

Interferência por oscilador local - interferência gerada no conversor do receptor de UHF entre o canal n e o canal interferente $n-7$ ou $n+7$.

Observa-se que o planejamento de frequências para o sistema analógico deve ser realizado de forma criteriosa, a fim de se manter a qualidade do vídeo e áudio. Por outro lado os canais digitais suportam as interferências citadas acima, podendo também gerar mais interferências nos canais analógicos. Para evitar interferências durante o *simulcast* de canais analógicos e digitais, algumas regras e normas foram definidas, como evitar a transmissão de canais adjacentes em distâncias inferiores a 2 km, além de uma máscara espectral para a transmissão digital e um deslocamento em frequência do canal digital.

Em relação à máscara espectral, definiu-se que o nível do espectro fora da banda [40] alocado para a transmissão do sinal de televisão deve obrigatoriamente ser reduzido, aplicando-se uma filtragem adequada. A Tabela 4 e Figura 4 [40] indicam as atenuações mínimas das emissões fora da faixa em relação à potência média do transmissor, especificadas em função do afastamento em relação à portadora central do sinal digital, para as máscaras não crítica, subcrítica e crítica [40].

TABELA 4 - ESPECIFICAÇÃO DAS MÁSCARAS DO ESPECTRO DE TRANSMISSÃO

Separação ou afastamento em relação à portadora central do sinal digital MHz	Atenuação mínima em relação à potência média, medida na frequência da portadora central		
	Máscara não-crítica dB	Máscara subcrítica dB	Máscara crítica dB
-15	83	90	97
-9	83	90	97
-4,5	53	60	67
-3,15	36	43	50
-3	27	34	34
-2,86	20	20	20
-2,79	0	0	0
2,79	0	0	0
2,86	20	20	20
3	27	34	34
3,15	36	43	50
4,5	53	60	67
9	83	90	97
15	83	90	97

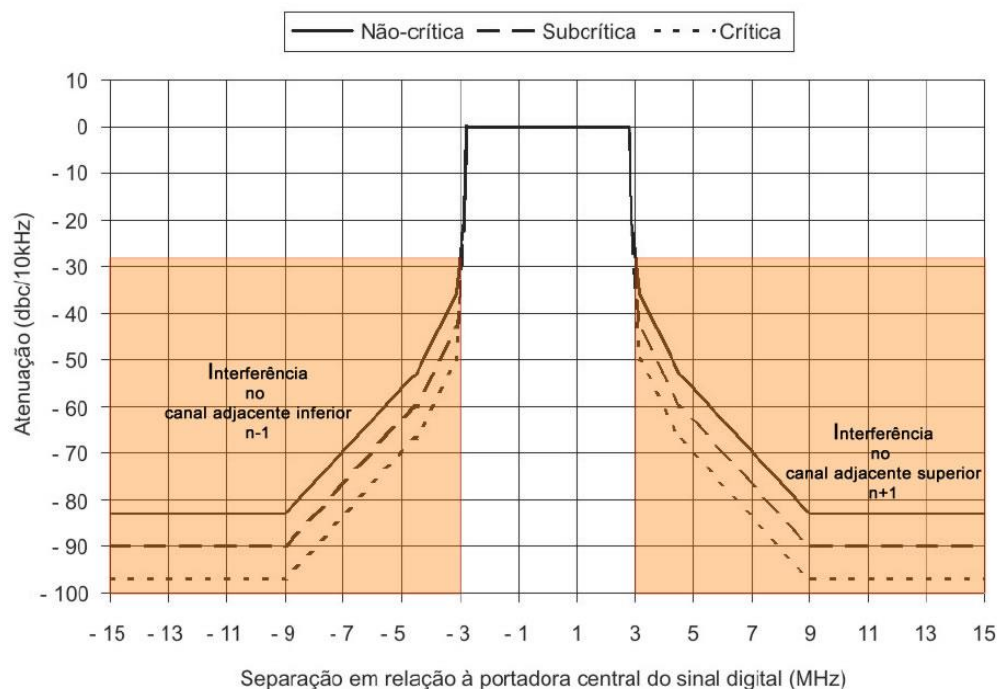


Figura 4 - Máscara do espectro de transmissão para a radiodifusão de televisão digital terrestre.

Observa-se através da Figura 4, que para a máscara não crítica, a potência do sinal digital deverá ter um decaimento de 27 dB na borda do canal e aproximadamente 45 dB a 1 MHz da borda do canal já interferente nos canais adjacentes inferiores e superiores. As máscaras apresentadas foram recomendadas considerando-se a transmissão de canais adjacentes digitais em suas configurações de maior sensibilidade e adjacentes analógicos.

A proteção dos canais digitais e analógicos é considerada assegurada para um serviço livre de interferências quando em seu contorno protegido a relação entre o sinal desejado e cada um dos sinais interferentes tiver, no mínimo, o valor indicado na Tabela 5 para canais em VHF e UHF, em função do canal interferente. A Tabela 6 indica as relações de proteção específicas para canais em UHF [49].

TABELA 5 - RELAÇÃO DE PROTEÇÃO PARA CANALIZAÇÃO DE CANAIS DE TV EM VHF E UHF

Canal Interferente	Canal Desejado = N Relação (dB)			
	Analógico sobre Analógico	Digital sobre Analógico	Analógico sobre Digital	Digital sobre Digital
N-1 (Adjacente Inferior)	-6	-11	-26	-24
N (Co-Canal)	+28 (com decalagem) + 45 (sem decalagem)	+34	+7	+19
N+1 (Adjacente superior)	-12	-11	-26	-24

Verifica-se através dos valores indicados na Tabela 5, que havendo a existência de sinais co-canais entre um sinal analógico e um digital, para a garantia de qualidade do sinal analógico, esse deverá estar 34 dB acima da potência do sinal digital, enquanto um sinal digital com interferência de um canal analógico precisará estar com potência de apenas 7 dB acima do sinal digital interferido. Representa-se na Figura 5 os níveis mínimos para interferência de canais adjacentes entre sinais analógicos e digitais.

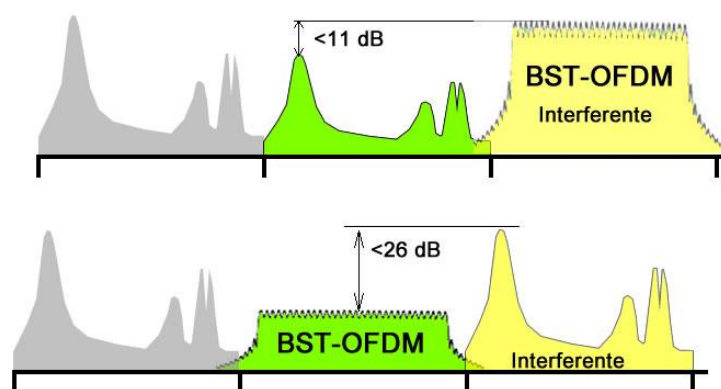


Figura 5 - Representação de níveis mínimos indicados para proteção entre canais adjacentes analógicos e digitais.

Nota-se que ambos os sinais analógicos e digitais podem ser adjacentes a outros sinais analógicos e digitais com potências maiores que o canal de referência, porém o sinal digital suporta uma relação de potência de até 26 dB em relação ao seu vizinho analógico, enquanto um sinal analógico suporta uma relação de apenas 11 dB em referência a seu vizinho digital.

A relação entre vizinhos digitais deve ser no máximo de 24 dB para que não ocorram interferências, ou seja, o canal de referência poderá estar apenas 24 dB abaixo de seu adjacente superior ou inferior. Na Tabela 6 são indicadas as relações de proteção entre as demais interferências de FI, oscilador local, imagem de áudio e imagem de vídeo de canais analógicos em canais analógicos e digitais em canais analógicos. Observa-se que a interferência gerada pelos sinais digitais são em média 18 dB menores que as causadas por outros sinais analógicos.

TABELA 6 - RELAÇÃO DE PROTEÇÃO PARA CANALIZAÇÃO DE CANAIS DE TV EM UHF

Canal Interferente	Canal Desejado = N Relação (dB)			
	Analogico sobre Analogico	Digital sobre Analogico	Analogico sobre Digital	Digital sobre Digital
N-8 e N+8 (FI)	-12	-25	Não Aplicável	Não Aplicável
N-7 e N+7 (Oscilador Local)	-6	-24	Não Aplicável	Não Aplicável
N+14 (Imagem de Áudio)	-6	-24	Não Aplicável	Não Aplicável
N+15 (Imagem de Vídeo)	+3	-22	Não Aplicável	Não Aplicável

Outra característica do sistema Nipo-Brasileiro de TV digital foi o deslocamento da frequência central em 1/7 MHz com o objetivo de proteção da portadora de áudio do canal adjacente inferior analógico conforme apresentado na Figura 6. Observa-se que esta medida auxilia na proteção do canal adjacente analógico, porém não será eficiente para o *simulcast* futuro de sinais digitais de TV e sistemas como o 3G ou 4G em canais adjacentes.

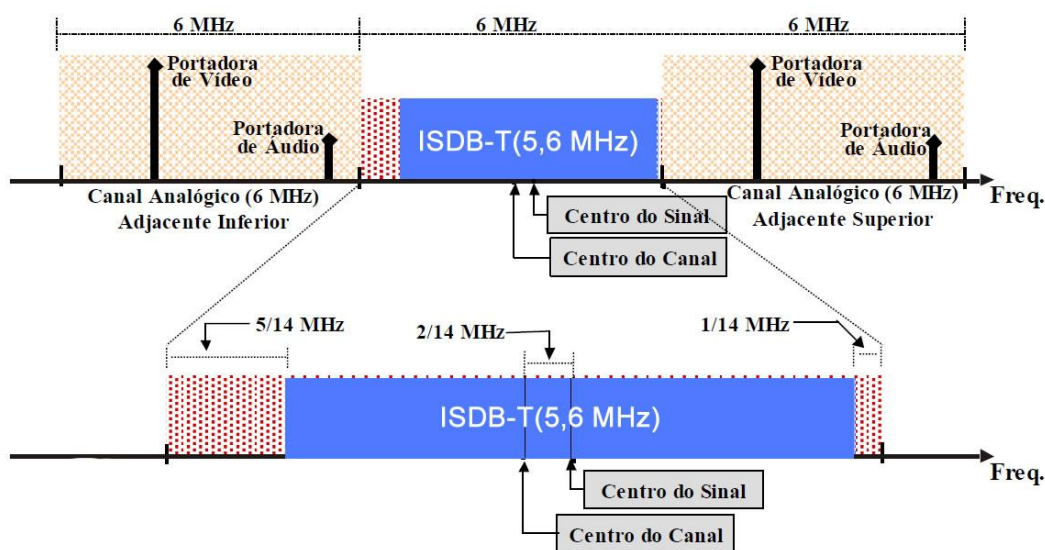


Figura 6 - Sinal ISDB-T com deslocamento de frequência.

Para a implantação da TV digital no Brasil, definiram-se planos básicos para a distribuição e atribuição de canais, entre eles estão:

- PBTV- Plano básico de distribuição de canais de TV, Geração em VHF e UHF.
- PBTVA, Plano básico de atribuição de canais de TV por assinatura em UHF.
- PBRTV, Plano básico de distribuição de canais para retransmissão de TV em VHF e UHF.
- PBTVD, Plano básico de distribuição de canais digitais em VHF e UHF.

2.4 O uso eficiente do espectro de frequências de VHF e UHF

Com o advento de tecnologias de banda larga de terceira e quarta geração, o consumo de dados através de dispositivos móveis no mundo vem aumentando de forma expressiva. Segundo informações do relatório da fabricante CISCO [54], o consumo de dados por dispositivos móveis nos Estados Unidos chegou próximo ao dobro entre 2012 e 2013, chegando a um consumo médio mensal por usuário de 1,38 GB contra 752 MB em 2012. O Japão foi o líder em consumo em 2013 chegando a um consumo médio mensal por usuário de 1,87 GB seguido dos Estados Unidos com 1,38 GB e Coréia do Sul com 1,25 GB.

O tráfego global de dados por dispositivos móveis alcançou 1,5 exabytes por mês em 2013 contra 820 petabytes por mês em 2012. A previsão é de um tráfego de 15 exabytes para 2018 [54].

Em 2013, os Estados Unidos direcionaram suas agências governamentais, como a NTIA, para que tomassem novos passos buscando o compartilhamento do espectro sem fio com operadores comerciais em um esforço para atender a crescente demanda por serviços móveis [23].

Em virtude desse crescimento, o espectro de frequências para radiodifusão nunca esteve tão valioso.

Recentemente no Brasil, o espectro de frequências antes destinado a TV por assinatura via MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) na faixa de 2,5 GHz foi liberado para o uso de serviços de banda larga móveis. Com o advento da TV digital e sua capacidade de multiprogramação, o cobiçado espectro de VHF e UHF também foi colocado em evidência. Inicialmente todo o espectro destinado aos canais de TV está sendo utilizado para possibilitar a transição da TV analógica para a digital, porém antes mesmo do desligamento da TV analógica, já se discute o leilão da faixa de 700 MHz pertencente aos canais de TV em UHF para o uso de serviços de banda larga móveis, segurança pública, defesa nacional e infraestrutura.

O *simulcast* de canais de TV analógicos, digitais e de banda larga móveis está atualmente em testes no país e já indicam interferências para coexistência de forma adjacente, necessitando de novas regras para o afastamento ou bandas de guarda entre os sinais.

Através da Tabela 7, avalia-se o espectro de frequências de VHF e UHF destinados aos canais de TV aberta da cidade de São Paulo, como exemplo de região metropolitana com melhor uso espectral no país. Na Tabela 8, é possível também observar a atual forma de utilização dos canais digitais na cidade de São Paulo.

TABELA 7 - ALOCAÇÃO DE CANAIS DE TV NA CIDADE DE SÃO PAULO

Frequência				Frequência			
Canal	Banda, MHZ	Tipo de Sinal	Alocação	Canal	Banda, MHZ	Tipo de Sinal	Alocação
2	54-60	Analógico	TV Cultura	36	602-608	Analógico	TV Esporte Interativo
3	60-66	Inutilizável - Interferido		37	608-614	Reservado	Radioastronomia
4	66-72	Analógico	SBT	38	614-620	Analógico	TV Diário
5	76-82	Analógico	Globo	39	620-626	Digital	Rede Vida
6	82-88	Analógico	TV Aparecida	40	626-632	Analógico	TV RIT
7	174-180	Analógico	Record	41	632-638	Digital	TV Aparecida
8	180-186	Inutilizável - Interferido		42	638-644	Analógico	Record News SP
9	186-192	Analógico	Rede TV	43	644-650	Digital	Record News
10	192-198	Inutilizável - Interferido		44	650-656	Analógico	TV Boas Novas
11	198-204	Analógico	TV Gazeta	45	656-662	Analógico	Boa Vontade TV
		Digital - Interferido (TV Mackenzie)					
12	204-210			46	662-668	Analógico	TV Novo Tempo
13	210-216	Analógico	Bandeirantes	47	668-674	Digital	NGT (SP)
14	470-476	Analógico	Mix TV -RTV	48	674-680	Analógico	NGT (SP)
15	476-482	Digital	Mega- TV	49	680-686	Digital	Terra Viva (TVA)
16	482-488	Analógico	Mega- TV	50	686-692	Analógico	Rede Brasil RBTv
			TV São Paulo/Gazeta				
17	488-494	Digital		51	692-698	Digital	TV Boas Novas
18	494-500	Digital	Globo -digital	52	698-704	Analógico	Top TV
			Globo News				
19	500-506	Analógico	codificado (TVA)	53	704-710	Analógico	Rede Gospel
20	506-512	Digital	Record	54	710-716	Digital	Rede Gospel
21	512-518	Analógico	Rede 21 TV	55	716-722	Digital	TVZ
22	518-524	Digital	Rede 21	56	722-728	Digital	Rede Brasil RBTv
23	524-530	Digital	Bandeirantes	57	728-734	Digital	Fonte TV(SESC TV)
24	530-536	Digital	TV Cultura	58	734-740	Analógico	TV Cristã (Templária)
25	536-542	Analógico	Rede 21 TV	59	740-746	Analógico	TV Canção Nova
26	542-548	Digital	CNT	60	746-752	Digital	TV Mackenzie
27	548-554	Analógico	CNT	61	752-758	Digital	TV Câmara
28	554-560	Digital	SBT	62	758-764	Analógico	TV Brasil EBC
29	560-566	Digital	Rede TV	63	764-770	Digital	TV Brasil
30	566-572	Digital	RIT TV	64	770-776	Digital	TV Justiça
31	572-578	Digital	TV Ideal	65	776-782	Vago	
32	578-584	Analógico	TV Ideal	66	782-788	Vago	
			Top TV 2- Canal				
33	584-590	digital	Abril (TVA)	67	788-794	Vago	
34	590-596	Analógico	Rede Vida	68	794-800	Vago	
35	596-602	digital	Top TV	69	800-806	Vago	

TABELA 8 - FORMATOS DO CONTEÚDO DIGITAL E MULTIPROGRAMAÇÃO NOS CANAIS UHF E VHF DE SÃO PAULO

Nome	Analógico	Digital	Canal Virtual-Multiprogramação
TV Cultura	2	24	2.1 CULTURA HD, 2.2 UNIVESP HD, 2.3 MULTICULTURA SD
SBT	4	28	4.1 SBT HD
Globo	5	18	5.1 GLOBO HD
TV Aparecida	6	41	41.1 TV APARECIDA HD
Record	7	20	7.1 RECORD HD
Rede TV	9	29	9.1 REDE TV HD, 9.2 REDE TV 3D
TV Gazeta	11	17	11.1 GAZETA HD, 11.2 GAZETA SD
Bandeirantes	13	23	13.1 BAND HD
Mega- TV	16	15	16.1 MEGA TV SD, 16.2 MEGA TV HD
Rede 21 TV	21	22	21.1 CANAL 21 HD
CNT	27	26	27.1 CNT HD
TV Ideal	31	32	32.1 IDEAL TV SD
Rede Vida	34	39	34.1 REDE VIDA HD
Record News SP	42	43	42.1 RECORD NEWS HD
TV Boas Novas	44	51	51.1 TV BOAS NOVAS HD
NGT(SP)	47	48	48.1 BGT DIGITAL SD
Rede Gospel	53	54	54.1 REDE GOSPEL SD
Rede Brasil RBTv	50	56	56.1 REDE BRASIL HD
TV Brasil EBC	62	63	63.1 TV BRASIL HD, 63.2 TV BRASIL SD
Top TV	35	52	52.1 TOP TV HD 52.2 TOP TV SD
TV RIT	40	30	30.2 RIT TV SD 30.3 RIT TV NOTÍCIAS SD
Mix TV -RTV	14		
TVCi - TV Mundial Rede 21			
TV	25		
TV Esporte Interativo	36		
Globo News codificado (TVA)	19		
TV ABC - RBTv	45		
TV Novo Tempo	46		
TV Cristã (Templária)	58		
TV Canção Nova	59		
Terra Viva		49	49.1 TERRA VIVA SD
Top TV 2- Canal Abril (TVA)		33	33.1 TOP TV SD
TVZ		55	55.1 TVZ HD, 55.2 TVZ SD
Fonte TV(SESC TV)		57	57.1 SESC TV SD
TV Mackenzie		60	60.1 MACKENZIE HD
TV Camara		61	61.1 TV CAMARA SD, 61.2 TV ALESP SD, 61.3 TV SENADO
TV Justiça		64	64.2 TV PONTO JUSTIÇA SD

Resume-se o uso das frequências atuais na cidade de São Paulo através da Tabela 9.

TABELA 9 - RESUMO DE UTILIZAÇÃO DE FREQUÊNCIAS VHF E UHF EM SÃO PAULO ATUAIS

Item	Número	Especificação
Canais inutilizáveis nas faixas de UHF e VHF	5	Canais 3,8,10,12,37
Total de canais disponibilizados nas faixas de UHF e VHF	63	
Banda Total (MHz)	378	
Total de canais analógicos	29	
Total de canais digitais	28	
Total de canais com pares digitais e analógicos	21	
Total de canais com programação somente analógica	8	Canais 14,25,36,19,45,46,58,59 , alguns estão migrando para o digital
Total de canais com programação somente digital	7	Canais 49,33,55,57,60,61,64.
Total de canais digitais com multiprogramação	3	Cultura,RIT TV,TV Câmara
Total de canais vagos	6	Referentes a Faixa de 700 MHz

Com a necessidade de liberação da faixa de 700 MHz, os canais de TV indicados na Tabela 10 terão que ser realocados ou desligados, sobrando 45 canais para a radiodifusão de sinais de TV, já descontados os canais interferidos 3, 8, 10, 12 e o canal reservado para radioastronomia 37. Observa-se através da Tabela 9 que considerando a digitalização de todos os canais, a demanda máxima atual seria de 36 canais, referente à soma de 21 pares analógicos e digitais somados a 7 canais somente digitais e 8 somente analógicos.

TABELA 10 - CANAIS UHF NA FAIXA DE 700 MHZ

Frequência			
Canal	Banda, MHZ	Tipo de Sinal	Alocação
52	698-704	Analógico	Top TV
53	704-710	Analógico	Rede Gospel
54	710-716	digital	Rede Gospel (Sinal já Desligado)
55	716-722	digital	TVZ
56	722-728	digital	Rede Brasil RBTv
57	728-734	digital	Fonte TV(SEC TV)
58	734-740	Analógico	TV Cristã (Templária)
59	740-746	Analógico	TV Canção Nova
60	746-752	digital	TV Mackenzie
61	752-758	digital	TV Câmara
62	758-764	Analógico	TV Brasil EBC
63	764-770	digital	TV Brasil
64	770-776	digital	TV Justiça
65	776-782	Vago	
66	782-788	Vago	
67	788-794	Vago	
68	794-800	Vago	
69	800-806	Vago	

Nota-se que, para essa manobra, é possível que ocorra um desligamento antecipado de canais analógicos e uma possível negociação entre emissoras para melhor uso de suas frequências. Entre as frequências de VHF e UHF, encontram-se também canais de TV por assinatura. Alguns desses canais possuem 11 horas de programação aberta. Entre os grupos que possuem outorgas TVA no espectro destinado a canais abertos, estão o grupo Abril, Globo e Bandeirantes.

2.5 Outorgas de TV'S por assinatura TVA no espectro de TV aberta

Em 1988, um decreto assinado pelo presidente José Sarney criou a modalidade de TVA (TV por Assinatura) no espectro de TV aberta, a qual deveria distribuir o sinal para assinantes com sinais codificados. Como a tentativa de criar uma TV paga com apenas um canal era de difícil sucesso, o próprio decreto permitia que essa modalidade de TV também pudesse transmitir parte de sua programação abertamente [50].

Em 1989 e 90, 25 licenças foram outorgadas para diferentes famílias que mantinham relações com o governo; as licenças foram transferidas para outros grupos ao longo do tempo, embora algumas famílias de políticos as mantenham até os dias atuais [50].

As outorgas de TVA constituem um conjunto de 25 canais de UHF nas cidades São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Fortaleza, Salvador, Porto Alegre, Vitória, Curitiba e Brasília, algumas controladas por grandes grupos de mídia, como Globo, RBS, Bandeirantes e Abril, além de outros grupos de mídia menores e igrejas. Por pressão de outros radiodifusores, ao longo do tempo foi-se aumentando o período em que essas TVs podiam transmitir os sinais de forma aberta. Começou com 25%, passou para 35%, até que, em 2003, a Anatel aprovou a ampliação para 45% o tempo de irradiação aberta diária.

Na prática, nenhuma dessas outorgas opera comercialmente e a existência do serviço tem se prestado apenas à reserva de espectro ou repetição de sinais da TV aberta. Em alguns casos, os canais utilizam as concessões de canais TVA como segunda concessão para transmissão de conteúdo aberto como a Record News e Globo News em São Paulo.

No caso da capital Paulista, as autorizações começam a vencer em 2018, e não serão mais renovadas, pois a legislação só prevê uma renovação por 15 anos, o que aconteceu entre 2003 e 2005.

Atualmente, além das organizações Globo, o grupo Abril e a Bandeirantes têm participação nas quatro outorgas de TVA no município de São Paulo. Recentemente a Anatel decidiu cobrar os grupos que controlam as outorgas do serviço especial de TV

por assinatura nas principais capitais brasileiras. As empresas precisarão pagar a conta pelas autorizações de uso do espectro correspondente, conforme determinação da agência em 2010. Em alguns casos a conta chega a R\$ 16 milhões por outorga [99].

2.6 O futuro do espectro de UHF e VHF

O processo de substituição de canais analógicos por digitais, conhecida como ASO (*Analog Switch-Off*) nos Estados Unidos ocorreu em 2009 liberando 18 canais de televisão. Aproximadamente um quarto das frequências destinadas anteriormente à radiodifusão de TV foram liberadas e rapidamente utilizadas pelos operadores de banda larga e telefonia móvel. Mesmo com a liberação das 18 frequências, os operadores de telefonia ainda buscam uma nova fatia do espectro de TV norte americano. Em 2013, as agências de regulação do espectro dos Estados Unidos FCC e NTIA, e a Comissão Federal de Comunicações, planejaram uma nova estratégia para a liberação de novas frequências de radiodifusão. Através de leilões, as estações de TV Americanas terão a opção de se desligarem, mudarem para frequências mais baixas e de menor interesse ou dividirem os canais em troca de recursos financeiros providos pelo governo dos Estados Unidos. Os Estados Unidos hoje possuem uma das maiores faixas de frequências licenciadas para a banda larga móvel: são 608 MHz disponibilizados e um adicional de 55 MHz em processo de licenciamento, sem contar a nova fatia de espectro a ser liberada pelos radiodifusores, perdendo somente para a Alemanha que conta com 615 MHz [57]. Na Tabela 11 é possível observar a colocação de países com maior quantidade de espectro licenciado e a quantidade de espectro em licenciamento no ano de 2013 [57].

TABELA 11 - RANKING DE PAÍSES COM MAIOR FAIXA DE ESPECTRO LICENCIADA PARA A
BANDA LARGA MÓVEL EM MHZ

País	Atual	Em Licenciamento	Atual + Licenciamento
Alemanha	615	0	615
USA	608	55	663
França	555	50	605
Brasil	554	0	554
Itália	540	20	560
Espanha	540	60	600
Japão	500	10	510
Austrália	478	230	708
Coréia do Sul	390	0	390
Reino Unido	353	265	618
China	227	360	587

É importante observar que os dados indicados na Tabela 11 são referentes ao ano de 2013 e que vários países estão licenciando novas faixas de frequências em 2014 e 2015. A Coreia do Sul, por exemplo, possui planos de quadruplicar o espectro de frequências disponível para os operadores de banda larga móvel até 2023 [58]. O plano refere-se à liberação de até 1.190 MHz que serão adicionados aos 390 MHz atuais, o país conta atualmente com 26,5 milhões de usuários dos sistemas 4G.

Uma das estratégias utilizadas na Coreia do Sul para a liberação de frequências é o encerramento das transmissões do sistema 2G que contam atualmente com 8 milhões de usuários.

Analisando os dados citados, observa-se que há uma tendência mundial para a transferência de uma parte da faixa de UHF e VHF para os operadores de telefonia e banda larga móvel. São vários os motivos para que as faixas de TV abertas sejam as primeiras a perderem espaço para as tecnologias de banda larga móvel. Primeiramente do ponto de vista técnico, os canais de TV possuem uma grande largura de banda,

normalmente entre 6 e 8 MHz, facilitando a alocação dos sinais de banda larga, os quais ocupam canais entre 1,4 e 20 MHz. Outro fator é referente à disponibilidade de canais, na maioria dos casos, dependendo da região, sobram canais, os quais atualmente têm auxiliado na migração para a TV digital, permitindo assim a transmissão dos sinais digitais e analógicos de forma simultânea. Outro fator para a perda de frequências dos radiodifusores refere-se à situação sócio-econômica da população; com um aumento do poder aquisitivo, há uma tendência à adesão dos telespectadores aos serviços da TV paga, a qual inclui a programação aberta e uma diversidade de canais. As TVs por assinatura, além da diversidade de canais, oferecem serviços de vídeo sob demanda (VOD), e o chamado *Triple-Play*, referindo-se a oferta dos serviços de vídeo, telefone e dados através de cabo coaxial, fibra ou vídeo via satélite e dados via cabo.

Atualmente discute-se também uma tendência à migração de usuários de TV paga para a TV via internet também conhecida como serviços OTT (*Over the Top*). Serviços como o Netflix, já possuem uma base de 37,56 milhões de usuários no mundo [59]. É interessante observar que a TV via internet se beneficia da estrutura dos operadores de TV paga para oferecer os seus serviços de forma gratuita. Esse tipo de vantagem incomoda os operadores de rede que estão analisando uma forma de bloquear ou cobrar pelo tráfego de vídeo do concorrente em suas redes.

Observa-se desta forma que tanto os radiodifusores, quanto os operadores de TV paga, estão perdendo espaço para a banda larga móvel e para a transmissão via internet. No caso das operadoras de TV paga, muitas delas, para sua sobrevivência, se uniram a empresas de telefonia e hoje oferecem a banda larga via cabo coaxial ou fibra em velocidades muito superiores às atingidas via radiofrequência.

No Brasil, do ponto de vista da audiência de canais abertos e do crescimento no uso de sistemas de banda larga sem fio, observam-se as seguintes estatísticas:

Informações segundo o IBGE, em 2012 [60]:

- População brasileira: 193,7 milhões.

- Domicílios: 62,8 milhões.
- 95% do lares brasileiros possuem aparelhos de TV.
- 87,9% dos domicílios possuem telefone fixo ou celular.
- 47,1% dos domicílios possuem apenas telefone celular.
- 30,7% dos domicílios possuem acesso à internet.

Segundo a empresa Google em 2013 [61]:

- 26% da população utiliza smartphones.

Segundo a IDC, em 2013 [62]:

- 142% foi o crescimento na venda de *tablets* no Brasil.
- 122% foi o crescimento na venda de *smartphones* no Brasil.

Segundo a ABTA, em 2013 [63]:

- 6,7 milhões de domicílios tem acesso a conexões de banda larga.
- 17,6 Milhões de domicílios são assinantes de TV por assinatura.
- 12% foi o crescimento da base de TV por assinatura no país.

Segundo o Fórum SBTVD em 2014 [53] [64]:

- 70% do território brasileiro já possui a cobertura de TV digital.
- 55 % dos domicílios do mundo já possuem TV digital.

Analisando as estatísticas citadas, observa-se que devido ao constante crescimento da base de assinantes de TV por assinatura no país e, com o alto crescimento nas vendas de smartphones, acredita-se que a audiência da TV aberta poderá ser diretamente afetada, devendo perder nos próximos 15 anos uma boa parte de sua receita proveniente de comerciais para os canais de TV por assinatura. Com a previsão de baixa na audiência da TV aberta e devido ao grande interesse dos operadores de telefonia nas frequências

de UHF e VHF, conseqüentemente novas faixas de espectro deverão ser futuramente licenciadas.

Conclui-se através dos indicadores, que o modelo atual de radiodifusão de TV aberta tende a perder espaço ou até mesmo ser extinto, dando lugar aos novos sistemas de banda larga móvel, os quais também possuem a capacidade de radiodifusão, além de outros serviços como acesso à internet. É importante observar que os canais ou programas transmitidos atualmente pelas TVs abertas já estão presentes também nas TVs por assinatura e pela internet, devendo a TV aberta se adaptar, para disputar assim, a concorrência pela audiência com os demais canais pagos e pelo conteúdo transmitido sob demanda.

2.7 Proposta para uso do espectro de TV

Analisando as tendências para o uso do espectro de frequências VHF e UHF no Brasil e, a atual utilização do espectro na cidade de São Paulo, verifica-se que após a liberação da faixa 700 MHz, 45 canais ficarão disponíveis para a radiodifusão de TV. Porém, para a transmissão simultânea de sistemas de banda-larga móveis e radiodifusão de TV, deve-se também contar com uma banda de guarda para evitar interferências.

Observando o planejamento de frequências nos Estados Unidos, foi considerado como intervalo de guarda a não utilização do último canal de 6 MHz imediatamente adjacente à frequência 698 MHz [65], ou uso de um intervalo de guarda de 5 MHz para a garantia de interoperabilidade. O custo de banda no caso dos Estados Unidos ficou para os operadores de telefonia móvel [65].

Considerando que o intervalo de guarda no Brasil também fique por conta dos operadores de telefonia e banda larga móvel, mantém-se a contagem de 45 canais, os quais com o desligamento da TV analógica, ficarão disponíveis apenas para os canais digitais. Observa-se que atualmente tem-se 21 canais digitais com seus pares analógicos,

7 canais somente com o sinal digital e 8 somente com sinal analógico. Considerando a possibilidade de que todos os 8 canais analógicos migrem para o digital, teremos um total de 36 canais digitais acomodando todos os radiodifusores atuais, com um sobra de 8 canais.

Em 2018, com o vencimento das outorgas de TVA no espectro de VHF e UHF, é possível que mais 4 canais sejam liberados na cidade de São Paulo (19, 33, 30, 21), sendo o total de 25 no Brasil.

Prevendo-se a necessidade de liberação de maiores faixas de espectro de TV nos próximos 5 a 10 anos, propõe-se a multiprogramação compartilhada de frequências entre os radiodifusores e novas técnicas para o compartilhamento de frequências entre sistemas diversos.

Na Tabela 12 [49], são listados alguns países que já iniciaram suas transmissões digitais fazendo o uso da multiprogramação.

TABELA 12 - PAÍSES COM TRANSMISSÃO DIGITAL E MULTIPROGRAMAÇÃO

Serviços	Alemanha	Austrália	Coreia do Sul	Espanha	Eua	Finlândia	Holanda	Itália	Japão	Reino Unido	Suécia
Monoprogramação											
Multiprogramação											
Interativos											
Sem canal de retorno											
Com canal de retorno											
Mobilidade/Portabilidade											
Multiserviço											

Novas interfaces como o Serviço de Radiodifusão de Multimídia conhecido como MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*), referente a uma especificação para as atuais redes celulares 3GPP, as quais prometem uma entrega eficiente de conteúdo via *broadcast* e *multicast*, indicam que futuramente os sistemas de banda larga móveis deverão assumir o papel dos radiodifusores.

Considera-se o MBMS uma evolução das redes de celulares 3GPP e também um passo no compartilhamento de espectro, uma vez que os conteúdos dos vídeos dos canais abertos poderão ser acessados via endereços IP *multicast*. Inicia-se dessa forma uma fusão dos serviços de *broadcast* via radiodifusão e da banda larga móvel. Os sistemas de MBMS podem ser vistos de maneira simples como sistemas IPTV via radiodifusão; os serviços de *streaming* só deverão ser transmitidos para certos grupos em células diferentes sob demanda, reduzindo assim o uso do espectro de frequências.

Observa-se um conflito ao se propor o uso do MBMS para a transmissão de TV aberta, uma vez que o serviço será prestado por empresas privadas de telefonia ou TV por assinatura. Outra restrição é referente à área de cobertura, a qual deve ser equivalente para que todos os telespectadores possam ter a continuidade dos serviços. Devendo ocorrer futuramente o *simulcast* de conteúdo entre padrões digitais de TV aberta e sistemas MBMS.

Entre a atual forma de utilização do espectro de UHF e VHF por padrões de TV digital e futuros sistemas de *multicast* via banda larga, recomenda-se o máximo da multiprogramação digital e o compartilhamento das frequências entre os radiodifusores para a multiprogramação.

Observando o uso dos canais de TV na cidade de São Paulo, observa-se que alguns canais já fazem uso da multiprogramação. A multiprogramação refere-se à transmissão de diferentes programas multiplexados no mesmo canal. Um exemplo em São Paulo é o modo de transmissão da TV Cultura no canal 2, a qual transmite a Cultura HD, Univesp HD e Multicultura SD, além do conteúdo 1-Seg. Também podemos citar a TV Câmara, RIT TV e Top TV fazendo o uso da multiprogramação.

Atualmente com o padrão de compressão H.264, consegue-se a transmissão de vídeos em HD (*High Definition*), com um mínimo grau de qualidade com taxa entre 5 Mbps a 9 Mbps [66]. Observa-se que empresas de *streaming*, como a Netflix, transmitem vídeos em alta definição no padrão H.264/AVC com taxas entre 5 a 6 Mbps [66].

Observando os testes de qualidade de vídeo em alta definição com compressão H.264/AVC realizado pelo Ministério das Comunicações [66], foram realizadas duas análises de vídeos, uma subjetiva e outra objetiva, três vídeos não comprimidos de alta definição com taxa de 1,9 Gbps foram escolhidos para os testes, sendo eles “*Factory*”, “*Dinner*” e “*EBC*”. Os testes foram realizados em tempo real, através de transmissões em laboratório e com codificação por hardware simulando um ambiente real de transmissão e recepção.

A análise objetiva utilizou como métrica o cálculo do índice de similaridade estrutural ou SSIM (*Structural Similarity Index*) em sua versão de escala única, o qual faz uma métrica da diferença entre duas imagens. A escala do SSIM é um valor decimal entre -1 e 1, na versão de escala única considera-se apenas a escala de 0 a 1, onde o valor 1 indica que as imagens originais e comprimidas são idênticas.

A partir da Figura 7 [67], observa-se que a métrica SSIM corresponde melhor à percepção do olho humano do que a métrica de erro quadrático médio MSE (*Mean Square Error*) e que valores maiores que 0,914 para o índice SSIM indicam baixa distorção.

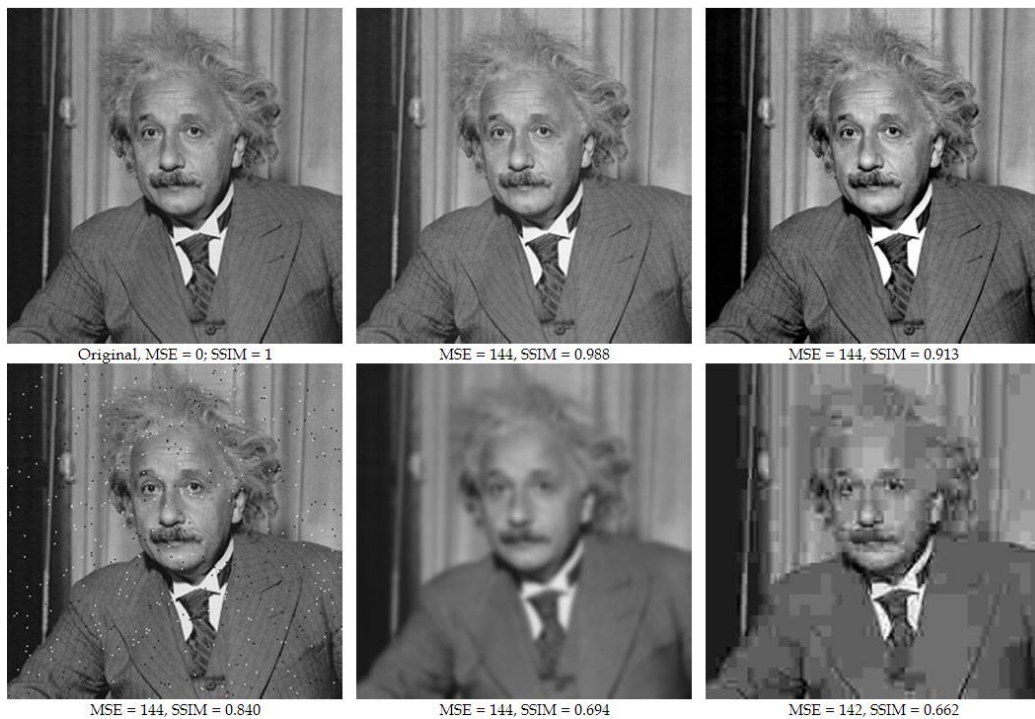


Figura 7 - Comparação de qualidade de imagens com medidas SSIM e MSE.

A seguir, observa-se os testes comparativos entre os vídeos em definição *Full HD* sem compressão e com compressão H.264/AVC. As Figuras 8 e 9 [66] indicam os valores de SSIM relativos às várias taxas de compressão.

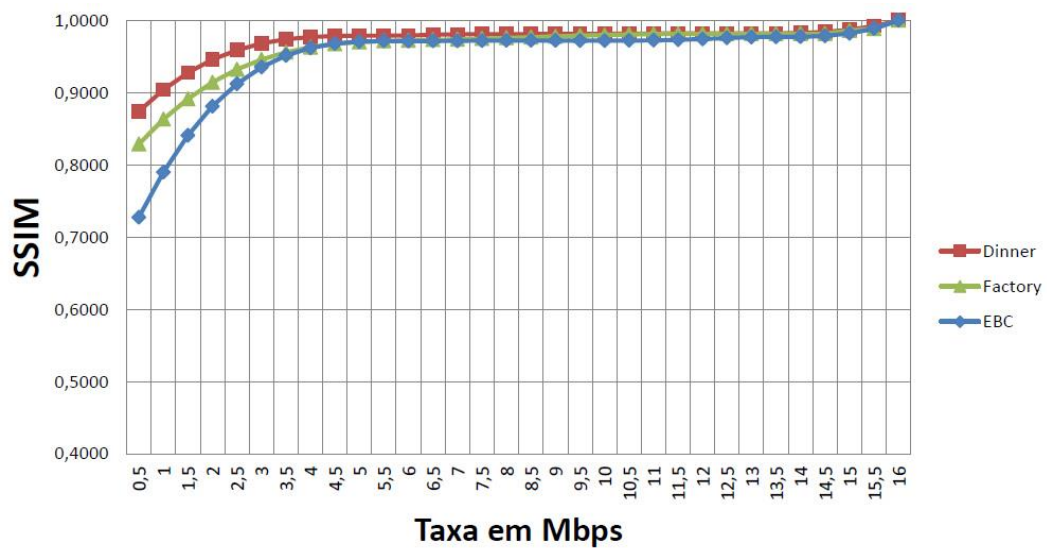


Figura 8 - Análise objetiva de qualidade de vídeo H.264 HD em relação à taxa de compressão.

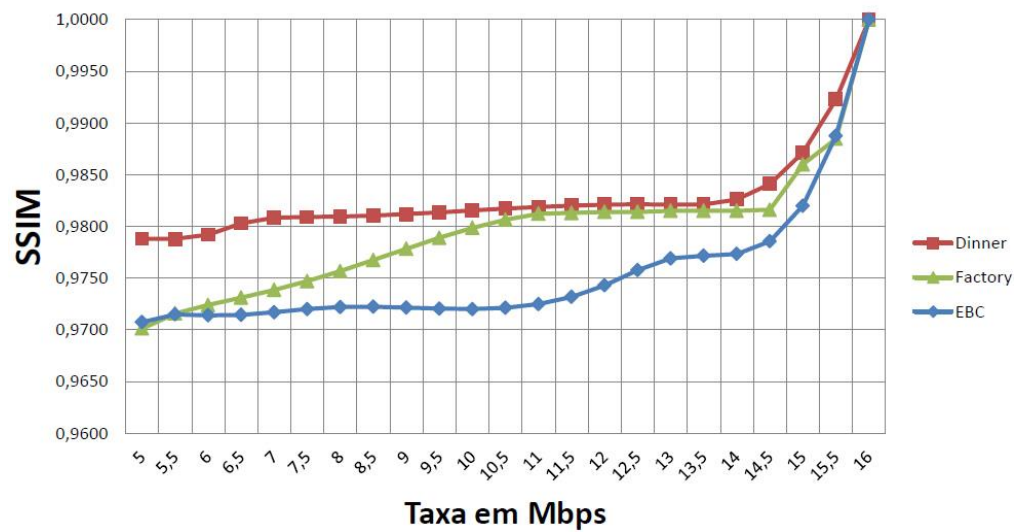


Figura 9 - Análise objetiva de qualidade de vídeo H.264 HD em relação à taxa de compressão com escala aproximada.

Nota-se que os índices SSIM com taxas a partir de 5 Mbps são maiores que 0,975, indicando uma baixa distorção nessa taxa de compressão.

A Figura 10 indica também uma análise de qualidade subjetiva, através da métrica de nota média de opinião ou MOS (*Mean opinion score*), onde a qualidade de vídeo é indicada a partir de notas aferidas por telespectadores. Os testes foram realizados com 15 avaliadores e com a seguinte escala de notas.

TABELA 13 - CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DE VÍDEO PARA MÉTRICA MOS

Classificação	Nota
Excelente	5
Boa	4
Regular	3
Ruim	2
Péssimo	1

Observa-se na Figura 10, que a partir da taxa de 5 Mbps, o índice MOS foi maior que 4 para todos os vídeos.

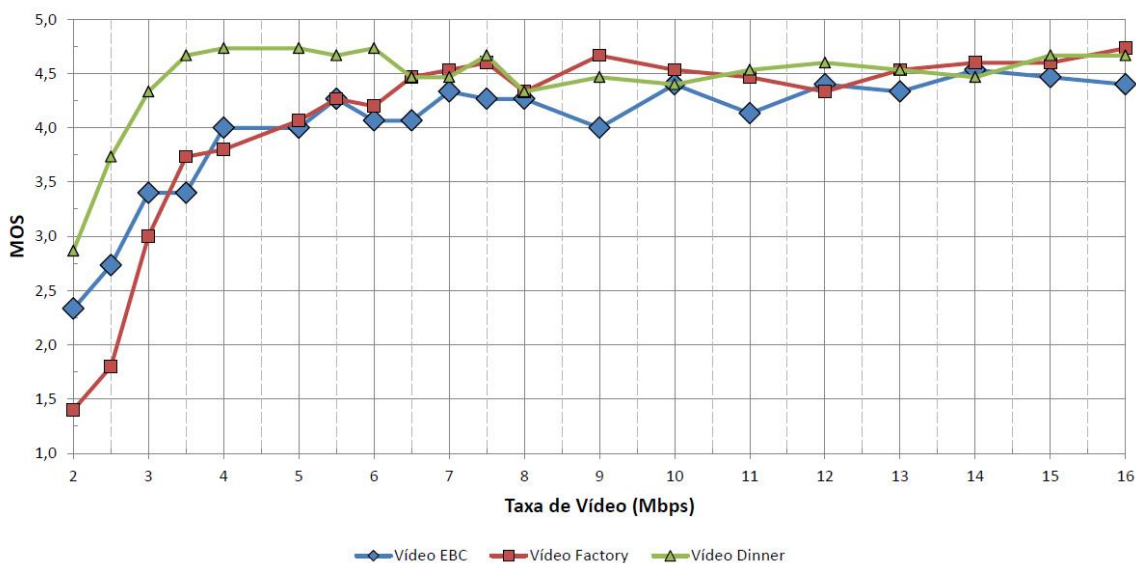


Figura 10 - Análise subjetiva de qualidade de vídeo H.264 HD em relação à taxa de compressão.

Os testes realizados acima validam a escolha de taxas utilizadas pelas empresas de transmissão via internet também conhecida como *streaming* utilizando a compressão H.264/AVC. Taxas de compressão a partir de 5 Mbps são indicadas para vídeos em alta definição com baixa taxa de distorção, outros testes mostraram taxas limites de 1,7 Mbps para vídeos de definição SD [66].

A maioria dos radiodifusores brasileiros utilizam uma configuração de modulação para o sistema digital que permite o tráfego entre 18 e 19,9 Mbps (64-QAM, FEC:3/4, IG:1/8 à 1/32), porém com a utilização do segmento central para a radiodifusão de conteúdo para dispositivos móveis, desconta-se 1,4 a 1,5 Mbps da taxa total de bits disponíveis, permitindo assim o tráfego de vídeos com uma variedade de taxas e definições. A seguir são citadas as configuração e taxas úteis mais comumente indicadas para a radiodifusão no padrão SBTVD. As taxas abaixo indicadas são referentes ao uso de todos os 13 segmentos do padrão SBTVD para conteúdos com definição SD e HD, ou 12

segmentos para SD e HD mais 1 segmento para os dispositivos móveis com definição LD.

TABELA 14 - TAXAS ÚTEIS PARA CANAIS DE 6MHZ - 13 SEGMENTOS - SISTEMA SBTVD

Configuração Modulador	Parâmetros	Taxa de Bits Úteis [Mbps]
1	64-QAM;FEC $\frac{3}{4}$; IG:1/8	18,2
2	64-QAM;FEC $\frac{3}{4}$; IG:1/16	19,3
3	64-QAM;FEC $\frac{3}{4}$; IG:1/32	19,9

TABELA 15 - TAXAS ÚTEIS PARA CANAIS DE 6MHZ - 12 SEGMENTOS - SISTEMA SBTVD

Configuração Modulador	Parâmetros	Taxa de Bits Úteis [Mbps]
1	64-QAM;FEC $\frac{3}{4}$; IG:1/8	16,8
2	64-QAM;FEC $\frac{3}{4}$; IG:1/16	17,8
3	64-QAM;FEC $\frac{3}{4}$; IG:1/32	18,3

TABELA 16 - TAXAS ÚTEIS PARA CANAIS DE 6MHZ - 1 SEGMENTO- SISTEMA SBTVD

Configuração Modulador	Parâmetros	Taxa de Bits Úteis [Mbps]
1	DQPSK/QPSK;FEC $\frac{2}{3}$; IG:1/4	0,374
2	DQPSK/QPSK;FEC $\frac{2}{3}$; IG:1/8	0,416

A seguir indicam-se algumas das possíveis configurações para máximo aproveitamento espectral. Observa-se que, como o conteúdo móvel reserva um segmento de frequências entre os 13 disponíveis, o cálculo da taxa total para o conteúdo destinado a receptores fixos é realizado contando-se com os 12 segmentos de frequência restantes. Com a multiprogramação, também se considerou a transmissão de dados de interatividade

para cada canal virtual transmitido, referindo-se aos canais virtuais A, B e C da Tabela 17.

TABELA 17 - CÁLCULO DE TAXAS PARA 2 CONTEÚDOS HDs, 1 CONTEÚDO SD E

INTERATIVIDADE

Conteúdo	Taxa [Mbps]
Tabelas (PAT,NIT, PMT, SDT).	0,08
Interatividade (Data Carrossel) 1-13818-6 - A	0,6
Interatividade (Data Carrossel) 1-13818-6- B	0,6
Interatividade (Data Carrossel) 1-13818-6- C	0,6
1-H.264 VIDEO HD -A	6
MPEG-4 AAC AUDIO	0,108
MPEG-4 AAC AUDIO	0,108
Private Sections	0,06
1-H.264 VIDEO HD -B	6
MPEG-4 AAC AUDIO	0,108
MPEG-4 AAC AUDIO	0,108
Private Sections	0,06
1-H.264 VIDEO SD -C	2,5
MPEG-4 AAC AUDIO	0,108
MPEG-4 AAC AUDIO	0,108
Private Sections	0,06
Pacotes Nulos	0,4
Total:	17,6 Mbps

Observa-se que a partir das taxas propostas na Tabela 17, seria possível a transmissão de 3 canais virtuais com conteúdo, sendo dois canais com definição HD com taxas constantes CBR (*Constant Bit Rate*) de 6 Mbps e um deles com definição SD com taxa constante ou taxa CBR de 2,5 Mbps. Considera-se cada canal virtual com dois canais de áudio e ainda 400 Kbps de sobra de taxa ou pacotes nulos, os quais poderão ser utilizados para conteúdos com taxas variáveis VBR (*Variable Bit Rate*). Somam-se

também as taxas necessárias para a transmissão das tabelas SI (*Service Information*). Nota-se que a soma total das taxas ficou em torno de 17,75 Mbps, podendo-se utilizar a configuração de modulação em 64-QAM, FEC: 3/4 e IG: 1/6, a qual é comumente utilizada pelos radiodifusores.

Outra proposta de multiprogramação compartilhada seria a possibilidade de transmissão de três conteúdos em alta definição com dois canais de áudio, três conteúdos interativos e um segmento destinado para dispositivos móveis no mesmo canal de 6 MHz. As taxas utilizadas nessa configuração são indicadas na Tabela 18.

TABELA 18 - CÁLCULO DE TAXAS PARA 3 CONTEÚDOS HD'S E INTERATIVIDADE

Conteúdo	Taxa [Mbps]
Tabelas (PAT,NIT, PMT, SDT).	0,08
Interatividade (Data Carrossel) 1-13818-6 -A	0,6
Interatividade (Data Carrossel) 1-13818-6 -A	0,6
Interatividade (Data Carrossel) 1-13818-6- A	0,6
1-H.264 VIDEO HD	5
MPEG-4 AAC AUDIO	0,108
MPEG-4 AAC AUDIO	0,108
Private Sections	0,06
1-H.264 VIDEO HD	5
Áudio Estéreo	0,108
Áudio Estéreo	0,108
Private Sections	0,06
1-H.264 VIDEO HD	5
Áudio Estéreo	0.108
Áudio Estéreo	0,108
Private Sections	0,06
Pacotes Nulos	0,2
Total:	17,80 Mbps

O conteúdo atual em alta definição é transmitido pelos radiodifusores com taxas entre 10 e 12 Mbps [68]. Nota-se que há um evidente desperdício de espectro e que ainda há espaço para a multiprogramação, seja ela compartilhada ou não por outros radiodifusores.

As configurações citadas são apenas exemplos e se aproximam da configuração utilizada pela TV Cultura em São Paulo.

Fazendo um levantamento da atual utilização do espectro na capital paulista, observa-se que entre os canais digitais, tem-se 21 conteúdos em HD e 13 conteúdos exclusivos em SD, contando-se também um adicional de 8 canais analógicos que poderão migrar ou estão em fase de migração para o digital. Considerando-se a mesma relação entre conteúdos HDs e SDs dos demais canais, teríamos 29 conteúdos em HD e 16 em SD para atender a demanda de todo o conteúdo transmitido pelos radiodifusores atuais na capital paulista.

A seguir utilizando a Tabela 19, considerando a possibilidade futura de compartilhamento de canais entre radiodifusores, são considerados três configurações para atender a atual e futura demanda, com todos os canais convertidos para HD sem a necessidade de transmissão de conteúdo de SD.

TABELA 19 - CANAIS NECESSÁRIOS E CONFIGURAÇÕES COM COMPARTILHAMENTO DE FREQUÊNCIAS

Configuração	Conteúdo a ser transmitido por canal de 6 MHz	Possível demanda	Número de canais de 6 MHz Necessários
1	(2 HDs, 1 SD, 1-Seg, Áudio Estéreo, 3 conteúdos Interativos)	29 HDs, 16 SDs	16
2	(3 HDs, 1-Seg, Áudio Estéreo, 3 conteúdos Interativos)	33 HDs	11
3 (ISDB-T + ISDB-Tmm)	(3 HDs, 1-Seg, Áudio Estéreo, 3 conteúdos Interativos) + Canais 1-Seg	33 HDs + 33 conteúdos 1-Seg.	13

Verifica-se que dos 49 canais disponíveis ao serviço de radiodifusão após o leilão da faixa de 700 MHz, 36 canais estão atualmente ocupados e deverão continuar ocupados após a migração total para a TV digital. Nos cenários apresentados na Tabela 19, supondo o uso do compartilhamento de frequências, um total de 25 canais, referentes à diferença entre os 36 canais atualmente ocupados e os 11 canais com multiprogramação indicados na configuração 2 da Tabela 19, os quais equivalem a uma faixa de 150 MHz e poderiam ser disponibilizados. Nota-se que utilizando a configuração 2, não haveria espaço para a transmissão de conteúdo móvel para todos os canais. A norma do sistema brasileiro de TV digital restringe a apenas um canal móvel por frequência de 6, 7 ou 8 MHz. O segmento central destinado ao conteúdo móvel denominado One-Seg utiliza um total de 428,53 kHz de banda onde trafega apenas um canal com vídeo no formato CIF ou QCIF destinado aos dispositivos móveis. O uso de uma variação do padrão ISDB-T, conhecido como ISDB-Tmm (*ISDB-T Mobile Multimedia Broadcasting System*) seria uma solução para a utilização de mais frequências apenas para a radiodifusão de conteúdo para dispositivos móveis. O padrão ISDB-Tmm utiliza todos os 13 segmentos ou toda a banda de 6, 7 ou 8 MHz para a radiodifusão de conteúdo para dispositivos móveis utilizando o padrão de compressão ITU-T H.264/MPEG-4 AVC [69]. A adoção dessa solução, porém, exigiria dispositivos compatíveis com o novo padrão.

A multiprogramação, ou a transmissão de conteúdos diferentes em diferentes canais ou conteúdos diferentes no mesmo canal digital por uma mesma emissora privada ou pública, foi proibida pela norma 01/2009 do Ministério das Comunicações.

No Brasil o uso do recurso da multiprogramação é permitido apenas para emissoras da união e para o canal da cidadania. Assim, as emissoras educativas podem utilizar o recurso por meio do canal da cidadania, o qual permite à entidade exibir uma faixa com a programação que já exibe normalmente e mais quatro faixas de conteúdo previstas no programa do Ministério das Comunicações.

A programação simultânea ou multiprogramação a ser veiculada em mais de um canal deverá obedecer ao estabelecido no artigo 13 do Decreto-lei nº 236, de 28 de fevereiro de

1967. Dessa forma limitam-se à divulgação de programas educacionais, mediante a transmissão de aulas, conferências, palestras e debates. O decreto-lei veda a transmissão de qualquer propaganda, direta ou indiretamente, bem como o patrocínio dos programas transmitidos, mesmo que nenhuma propaganda seja feita através deles [70].

Esse é um tema bastante polêmico, pois a multiprogramação foi bastante divulgada no processo de adoção do padrão de TV digital. A TV Cultura por exemplo, planejou utilizar o maior número de canais disponíveis para a transmissão de tele cursos ou programação específica para certos segmentos da população, como os jovens. A medida impede que a emissora leve esses planos adiante.

A TV Cultura em um movimento para forçar o governo federal a rever a norma que limitou a multiprogramação às emissoras ligadas à União, iniciou em São Paulo a transmissão em caráter experimental de mais dois canais de seu serviço digital: o Multicultura, que recicla acervo da matriz, e o Univesp TV, o qual se refere a uma parceria com a secretaria de ensino superior do estado de São Paulo, com cursos a distância onde se mesclam aulas presenciais.

O atual leilão de frequências da faixa de 700 MHz (Largura de Banda de 100 MHz) estabelecido pela portaria número 477 do dia 20 de junho de 2014 [107], indica que a faixa de frequências inicialmente foi negociada com valores em torno de 6 a 15 bilhões de reais [99]. A variação dos valores é relativa ao compromisso das empresas de telefonia e banda larga móveis em relação à garantia de taxas e áreas de cobertura. Ao final do leilão em setembro de 2014, arrecadou-se entre 4,9 e 5,8 bilhões de reais [3]. Os valores indicam que um canal de 6 MHz nesta faixa atualmente vale aproximadamente 324 milhões de reais (54 milhões/MHz).

Nessas proporções, uma nova faixa de 150 MHz poderia ser negociada então em até 8 bilhões de reais. Devido ao alto valor, acredita-se no interesse do governo em uma revisão futura da norma 01/2009 do Ministério das Comunicações, a qual possa permitir futuramente a multiprogramação e o compartilhamento de frequências.

Um empecilho à aprovação da multiprogramação está no interesse de empresas específicas para evitar pulverização de receitas publicitárias com demais emissoras. O Ministério das Comunicações informa que seria necessário estabelecer normas mais rigorosas em relação à multiprogramação para evitar o aluguel de canais a terceiros, como canais de vendas e religiosos, para que não haja uma reprodução, em escala muito maior, do que já acontece hoje, pois o ministério não consegue ter uma fiscalização eficiente [70].

Uma vez que as redes de televisão já possuem investimentos em infraestrutura, essas teriam que ser beneficiadas ou oneradas para que liberem suas frequências e possam alugar um espaço nos canais compartilhados. As atuais estruturas de torres e repetidores das empresas poderão ser utilizadas também para outros fins como links de microondas, antenas celulares e banda larga móvel. Caberia ao Ministério das Comunicações priorizar o uso do espectro para os atuais radiodifusores e normalizar a locação de espaços para demais programas de vendas ou religiosos.

A Figura 11 ilustra alguns diferentes cenários para a transmissão do conteúdo de TV digital com compartilhamento de frequências entre emissoras.

A transmissão de vários programas utilizando uma ampla faixa de frequências através de um único sistema de radiação, comumente realizado pelos sistemas MMDS, seria opção para a composição de uma grande rede de frequência única, utilizando todos os transmissores das várias emissoras com o mesmo conteúdo.

Para a composição de uma grande rede de frequência única entre diferentes radiodifusores, seria necessário o estabelecimento de links entre os atuais estúdios e uma única central responsável pela multiplexação de todos os canais, conforme modelo utilizado atualmente pelos operadores de TV paga, os quais concentram centenas de canais em uma só estação chamada *Headend*, links seriam necessários entre a estação *Headend* e as demais estações de repetição. O custo dessa nova estrutura seria financiado pelo estado e repassado aos operadores de banda larga através dos leilões das faixas de frequências.

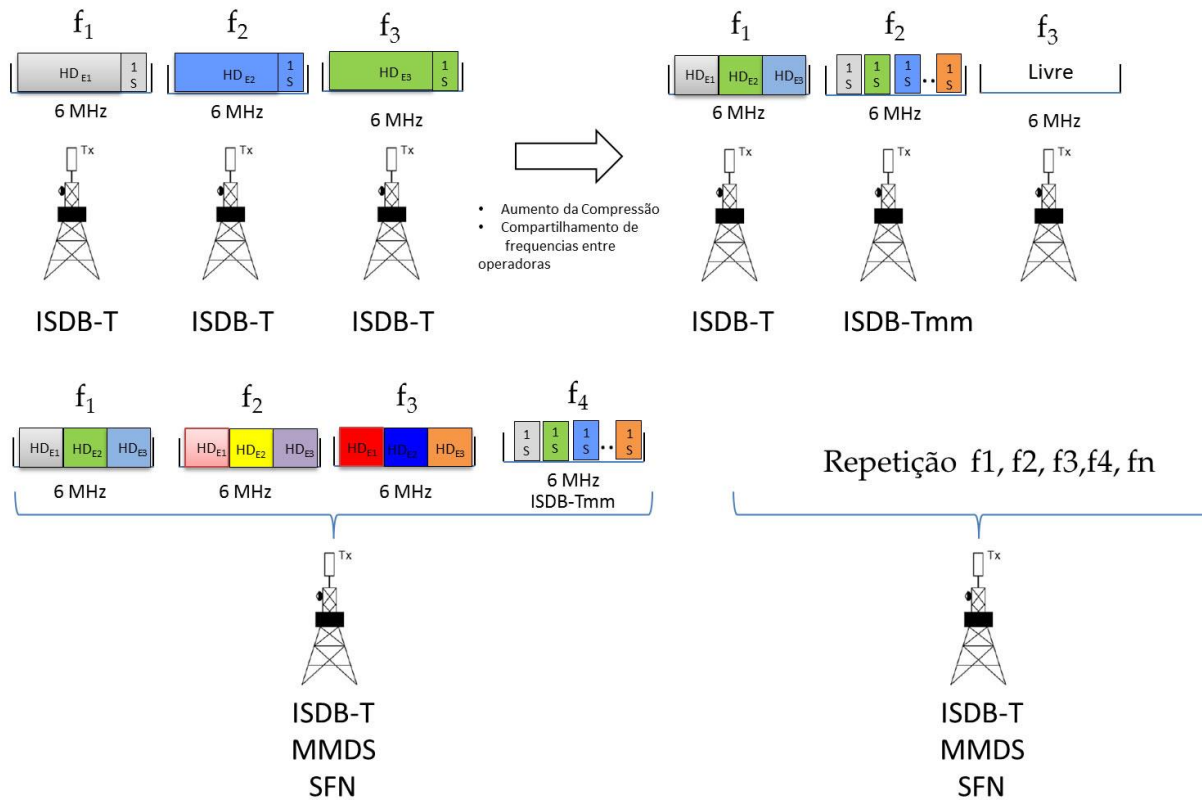


Figura 11 - Diferentes cenários ISDB-T para compartilhamento de frequências

Conclui-se que a multiprogramação é uma opção ainda não explorada e poderá ser útil para a liberação de novas faixas de espectro, podendo ao mesmo tempo alavancar receita para o estado e desafogar a demanda por tráfego de dados. Caberá então ao estado financiar os equipamentos necessários para os estabelecimentos dos links e das redes SFN entre os radiodifusores.

Capítulo 3

Monitoração e compartilhamento do espectro de frequências

3.1 Introdução

Devido à alta demanda por faixas de espectro para os serviços de banda larga móvel, além da evolução dos sistemas de comunicações digitais em relação a melhor eficiência espectral, outra medida que está sendo tomada, é a análise do uso eficaz do espectro de forma geográfica pelas diversas tecnologias. Atualmente as faixas de espectro são designadas para serviços ou aplicações específicas, como comunicação aérea, civil, militar, ambulâncias, telefonia sem fio residencial, celulares, GPS, rádio, televisão, telemetria, segurança, entre outras. Cada tecnologia que utiliza o espectro eletromagnético para comunicação tem que operar em uma frequência determinada. Como forma de garantir o uso do recurso de frequências de forma apropriada, as agências de comunicação regulamentam o uso do espectro e determinam as faixas de frequência licenciadas.

Para evitar as sobrecargas de licitações de licenças nos órgãos reguladores, assim como simplificar a utilização de rádio frequência por aplicações específicas, as quais utilizam baixa potência, foram definidas as faixas de frequências não licenciadas. As faixas não licenciadas são faixas de uso liberado por equipamentos de baixa potência ou radiação restrita, os quais não interferem significativamente em outros sistemas e dispensam autorização para o uso e para o licenciamento da estação.

São exemplos desta modalidade microfones sem fio, sistemas de telefone sem fio, controle remotos de alarmes, controle de portões eletrônicos e redes locais sem fio.

As faixas de frequências utilizadas para essas aplicações se referem às bandas ISM (*Instrumentation, Scientific, and Medical*), que compreendem os segmentos do espectro entre 902 MHz a 928 MHz, 2400 MHz a 2483 MHz, 5725 MHz a 5850 MHz e a banda U-NII (*Unlicensed National Information Infrastructure*), que contém as faixas de frequência entre 5150 MHz e 5825 MHz.

Verifica-se que, além do contínuo desenvolvimento das tecnologias de acesso sem fio, é necessário o desenvolvimento de novas metodologias e soluções, que auxiliem a melhor utilização do espectro, para assim conseguir a liberação de novas faixas de frequência. O fato de que existem faixas de frequências sobrecarregadas e outras ociosas em determinados períodos, levaram às pesquisas ao desenvolvimento dos rádios cognitivos.

O conceito de rádio cognitivo foi proposto por J. Mitola e G. Q. Maguire em 1999 [71] e se refere à capacidade do dispositivo em determinar os melhores parâmetros de transmissão, recepção e canal de transmissão de acordo com as condições de qualidade dos canais de transmissão. Em parte, esse conceito já é utilizado pelos sistemas de banda larga sem fio, através da chamada modulação e código adaptativa - AMC (*Adaptive Modulation and Coding*) e programação no domínio da frequência - FDS (*Frequency Domain Scheduling*).

Testes pilotos estão sendo realizados para análise das possibilidades do compartilhamento do espectro por diferentes tecnologias, em diferentes regiões, em faixas licenciadas, não licenciadas ou uso simultâneo de ambas as faixas. A concepção do uso de espectro compartilhado tem como principal barreira à administração dos recursos para o gerenciamento das interferências. Tecnologias já conhecidas como rádio cognitivo, sistemas adaptativos, acesso dinâmico ao espectro - DSA (*Dynamic Spectrum Access*), computação em nuvem, sensoriamento, entre outras, são ferramentas para que o compartilhamento de espectro se torne possível.

Verifica-se que as pesquisas nessa área ainda são consideradas como embrionárias [73]. O reconhecimento da importância de se disponibilizar mais espectro para a banda larga

móvel, promovendo a inovação, expandindo os serviços de consumo e promovendo o crescimento econômico contínuo são os motivadores para que as agências invistam em soluções para a possibilidade de compartilhamento.

Em 2013, a agência de telecomunicações americana NTIA, através do governo de Barack Obama foi direcionada a tomar novas medidas para possibilitar o uso de espectro compartilhado [23]. No Brasil, medidas estão sendo tomadas pela Anatel através de projetos específicos, primeiramente ações são tomadas para melhorar o monitoramento do espectro. Nota-se através das ações tomadas pela NTIA que para a possibilidade do compartilhamento, além da monitoração do espectro para a detecção de faixas compartilhadas utilizáveis, são necessários diversos testes de interferências entre diferentes sistemas. Cita-se entre as pesquisas realizadas pela NTIA, a detecção de interferências de radares em receptores LTE operando na mesma frequência [73].

Como proposta, nesse trabalho, projeta-se um sistema colaborativo, onde informações serão inseridas por órgãos fiscalizadores, radiodifusores, operadores, usuários, sensores diversos e pesquisadores de sistemas de comunicações digitais.

As informações contidas na plataforma poderão servir de base para o desenvolvimento ou operação das novas gerações de sistemas de rádio cognitivo e melhoramento dos sistemas de comunicações digitais.

Para testes de avaliação da proposta, foram desenvolvidos uma nova metodologia de medição de sinais e um protótipo para avaliar sua aplicabilidade.

O primeiro passo para a construção do protótipo, foi a conversão de um receptor comercial *Set-Top-Box* em um sensor de medidas do sinal digital com capacidade de sintonizar diversos canais através de comandos remotos.

3.2 O uso de rádios cognitivos

Os sistemas de rádios cognitivos são considerados sistemas de rádios inteligentes capazes de serem programados e configurados dinamicamente. O seu transceptor é projetado para utilizar o melhor canal de comunicação em sua área de transmissão. Esse tipo de rádio é capaz de detectar os canais disponíveis no espectro de frequências sem fio, e então configurar dinamicamente seus parâmetros de transmissão ou recepção para permitir o melhor uso do espectro em uma dada localização. Os rádios cognitivos são uma forma eficiente de realizar a gestão do espectro [74].

“A União Internacional de Telecomunicações, UIT, define sistema de rádio cognitivo como um sistema que utiliza uma tecnologia para obter conhecimento do ambiente operacional e geográfico relacionado à sua área de cobertura, das políticas estabelecidas e seu estado interno, ajustando dinamicamente e autonomamente seus parâmetros operacionais e protocolos de acordo com o conhecimento obtido, buscando alcançar objetivos pré-definidos; aprendendo a partir dos resultados obtidos” [75] [76].

Entre as funções do rádio cognitivo estão a capacidade de varrer periodicamente o espectro, levantar quais são os canais ocupados com serviços primários licenciados e identificar canais e espaços temporais também conhecidos como *white spaces*, nos quais não há operação de serviço primário [75].

Os procedimentos citados são também conhecidos como sensoriamento do espectro. O rádio cognitivo possibilita dessa forma a detecção e utilização de canais vagos por um determinado espaço de tempo por sistemas secundários.

Para esse tipo de transmissão, existem algumas restrições, dado que a transmissão secundária não interfira nas transmissões primárias ou em outras secundárias. Também deve haver um controle para que as transmissões secundárias que estiverem em operação sejam encerradas caso um serviço primário entre em operação.

Segundo [75] e [77], a maior parte do espectro é subutilizada e estudos indicam que a taxa de uso em 2009 era de menos de 20% [74]. Observa-se também que apenas uma

fração do espectro não requer licença para ser utilizada. Essa fração atualmente conhecida como faixa não licenciada, é utilizada, por exemplo, pelas redes sem fio no padrão IEEE 802.11.

Atualmente, as agências reguladoras em diversos países analisam possíveis mudanças no modelo regulatório de licenciamento do espectro. Em 2008, a agência americana FCC (*Federal Communication Commission*) emitiu um memorando que trata das regras para utilização do espectro compartilhado [78] [79].

A seguir são citadas algumas das regras:

- a) equipamentos que não estejam operando no modo cliente, como uma estação-radiobase, por exemplo, devem incluir a capacidade de geolocalização e ter acesso a uma base de dados, administrada por uma outra entidade, que contenha os canais que podem ser utilizados por usuários não licenciados em uma dada região;
- b) a banda de operação é entre os canais 2 e 51 (exceto canais 3, 4 e 37) ou entre 54 e 698 MHz;
- c) equipamentos fixos podem operar com potência máxima de 4 watts de potência efetivamente irradiada de forma isotrópica EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*);
- d) equipamentos pessoais portáteis podem operar com até 100 miliwatts de potência, exceto em canais adjacentes, que devem ser limitados até 40 miliwatts.

No memorando de 2008 [78], entre as regras citadas estava também a necessidade de que os equipamentos não licenciados deveriam evitar a interferência em microfones sem fio e estações de TV licenciadas.

Em 2010, a FCC emitiu um novo memorando [78], anulando a regra anterior, principalmente motivada por grandes empresas do setor de tecnologia, as quais alegaram um alto custo para o desenvolvimento de sistemas de rádio com detectores de alta sensibilidade.

Nos Estados Unidos, para os equipamentos cognitivos, a FCC em 2010 autorizou a utilização de informações de uma base de dados com a lista de canais em uso por região, incluindo o sinal de TV analógica e digital e microfones sem fio.

Em 2012, as agências americanas FCC e NTIA (*National Telecommunications and Information Administration*) em conjunto publicaram um plano através do relatório do Conselho de Assessores do Presidente de Ciência e Tecnologia PCAST (*President's Council of Advisors on Science and Technology*), o qual advoga o compartilhamento do espectro nos Estados Unidos. O relatório é referente a uma parceria pública e privada para a criação de um teste em ambiente urbano onde o compartilhamento do espectro possa ser demonstrado e avaliado.

Segundo as agências federais norte americanas, o teste inclui instalações sustentáveis de grande escala para testes em sistemas em ambientes reais utilizando várias bandas de frequência, incluindo frequências utilizadas para segurança pública e bandas de uso restrito do governo [79] [24].

Para proteger os usuários primários dos efeitos de interferência das transmissões dos rádios cognitivos, estes devem identificar de forma confiável as oportunidades existentes em frequência, espaço e tempo.

Em [80] são listados alguns métodos que podem ser usados na identificação de oportunidades de transmissão.

Os métodos indicados na Tabela 20 são apresentados na primeira coluna e as funcionalidades ou características, nas demais colunas. O símbolo “✓” indica que o método requer suporte a uma determinada funcionalidade, enquanto o símbolo “-” indica que o método não requer ou não se aplica à determinada funcionalidade ou característica. O custo (baixo/alto) e a complexidade do transceptor (baixa/alta) também são analisados.

TABELA 20 - MÉTODOS DE IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE TRANSMISSÃO

Métodos	Custo da Infraestrutura	Compartilhamento com o sistema implementado	Complexidade do transceptor	Posicionamento	Conexão com a Internet	Monitoramento Contínuo	Padronização do Canal
Banco de Dados	Alto	-	Baixa	✓	✓	-	-
Sinais-Piloto	Alto	-	Baixa	✓	-	-	✓
Sensibilidade de Espectro	Baixo	✓	Alta	-	-	✓	-

Entre os métodos citados, os dois primeiros métodos transferem a responsabilidade aos sistemas primários de informar aos sistemas secundários as informações necessárias para compartilhamento do espectro ou uso oportunista de frequências. Informações como localização dos transmissores primários, potência e tempo de transmissão são então registradas em um banco de dados centralizado ou informadas através de portadoras-piloto locais.

Como vantagem, esses dois métodos possibilitam o desenvolvimento de sistemas secundários simples, porém, necessitam de alterações no sistema primário licenciado, as quais podem ser incompatíveis com as redes já implantadas e possuir alto custo de implantação. As soluções envolvendo banco de dados e sinais-piloto também exigem informações do posicionamento dos demais usuários, além de uma conexão ao banco de dados ou acesso ao sinal-piloto.

O último método utiliza o sensoriamento direto das bandas licenciadas do espectro pelos sistemas secundários, onde, ao se detectar oportunidades de transmissão, o rádio cognitivo poderá ocupá-la imediatamente.

Entretanto, ele deve controlar o acesso ao espectro, de modo adaptativo, e mudar de banda ou interromper a transmissão para evitar interferências nos receptores primários ou demais secundários.

A busca por oportunidade de transmissão pode ser classificada em dois grupos: sensoriamento reativo e ativo [74].

Em sistemas com sensoriamento reativo, a busca por oportunidades ocorre sob demanda, nesse caso o espectro é somente analisado quando se tem algo a transmitir.

Em sistemas ativos a busca é realizada periodicamente. Nos sistemas ativos, embora o tempo de busca seja minimizado, o consumo de energia é maior.

Recomenda-se que os rádios possuam autonomia para operar nos dois modos. Existem vários desafios para a correta detecção das transmissões.

Comumente, a estrutura de rádio definido por software ou SDR (*Software Defined Radio*) é proposta para o sensoriamento espectral em rádios cognitivos, onde um mesmo hardware pode ser reprogramado por software para ser reutilizado na implementação. A Figura 12 apresenta a arquitetura de um SDR real.

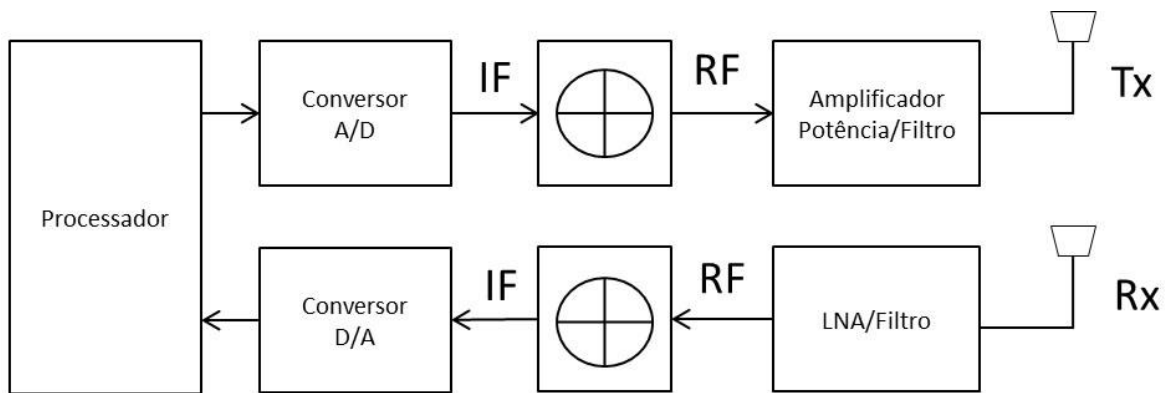


Figura 12 - Arquitetura de *hardware* definido por *software*.

Nesse trabalho, apresenta-se uma variação dos métodos propostos por [74], onde se considera a conversão de transceptores convencionais para sensores. Conforme o conceito SDR, o mesmo hardware é reutilizado para outras finalidades através da atualização de *firmware*. Nesse caso específico, também há a possibilidade de instalação de aplicativos de terceiros para contribuir de forma colaborativa, ou seja, os modos se tornam ativos somente com a autorização do usuário ou requisição dos operadores ou agência responsável. O método proposto reduz o custo de produção e implementação de sensores nos rádios atuais, possibilitando a implementação da cognição.

No Brasil, desde 2010 [76], são realizadas plenárias pela Anatel para a discussão sobre sistemas de rádio cognitivo, porém até o momento não foram definidas as regras para sua utilização no país.

3.3 A medição do espectro de frequências para o uso compartilhado

Para o compartilhamento do espectro de frequências, a primeira questão é como lidar com a interferência co-canal. Sabemos que os sistemas de radiodifusão assim como os sistemas de comunicação baseados em setorização de frequências e células, distanciam suas estações de outras estações, as quais operam na mesma frequência, ou quando possível, direcionam os sinais opostamente para a redução da interferência co-canal.

A princípio, pretende-se definir níveis mínimos de qualidade para os sinais digitais, coletar medidas em campo em tempo real, e auxiliar os sistemas de comunicação na tomada de decisões, frente a ambientes interferidos e regiões sem a cobertura de sinal.

Para a identificação de interferências e regiões sem cobertura, demanda-se um número significativo de medidas com amostragem regular e espalhadas por toda a área de cobertura. Os sensores deverão possuir um espaçamento mínimo viável, para que possam informar o desempenho do sistema irradiante.

Diante dessas condições, para a coleta de centenas de medidas diariamente, as quais seriam coletadas por sensores com controle de amostragem fixa, recomenda-se a instalação de sensores em veículos de frota, como ônibus, táxis e demais veículos que circulam regularmente pelos centros urbanos.

Os sensores deverão ter a capacidade de varrer o espectro de frequência dentro de sua limitação e coletar as informações de qualidade de sinal.

Ao se pensar em centenas ou milhares de sensores coletando informações, torna-se necessário, considerar certas restrições ao sensoriamento, como o grau de confiabilidade das medidas, a probabilidade de falha dos sensores, a necessidade de manutenção e o custo da operação. Dependendo do número de falhas e problemas técnicos, o projeto

pode tornar-se inviável. Levando em conta as restrições indicadas, consideram-se nessa proposta os próprios receptores dos usuários como sensores, alguns exemplos são *Set-Top-Box*, TVs inteligentes e *smartphones*. Entre as vantagens da utilização de receptores comerciais como sensores, evidencia-se o grande número de equipamentos a disposição, espalhados aos milhares nos centros urbanos, sem a necessidade de manutenção por parte do órgão de medição, considerando dessa forma o sistema colaborativo por parte do usuário. Cabe então ao órgão interessado, a análise de como se obter as informações necessárias a partir desses receptores e, torná-las minimamente confiáveis ou conhecer a-priori seu grau de confiabilidade.

Capítulo 4

Sistema colaborativo cognitivo para análise de sinais DTV

4.1 Introdução

Como solução para o monitoramento do espectro de frequências e análise constante dos níveis dos sinais nos centros urbanos, propõe-se a criação de um sistema colaborativo cognitivo de baixo custo, capaz de monitorar continuamente o uso do espectro a partir da conversão de transceptores comerciais convencionais em sensores cognitivos ativos controlados pelos usuários ou pelos sistemas primários de transmissão. A Figura 13 ilustra a arquitetura básica do sistema proposto.

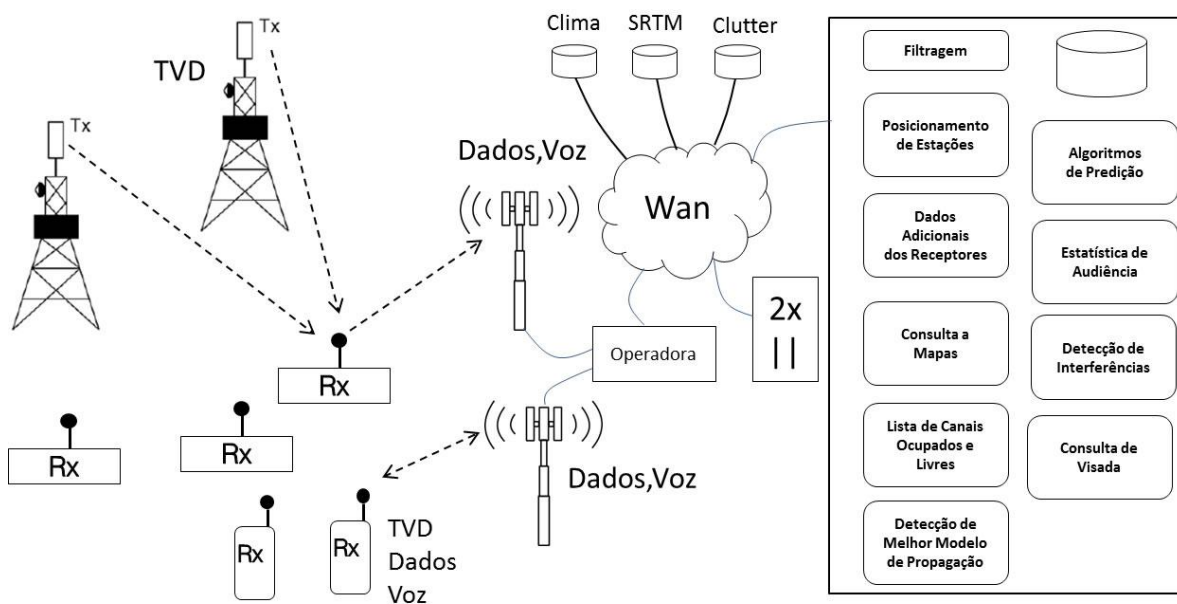


Figura 13 - Arquitetura básica do sistema colaborativo cognitivo.

Na solução proposta, os transceptores são então reprogramados ou recebem aplicativos específicos, para que possam iniciar o sensoriamento do espectro ou medição da qualidade dos sinais das frequências sintonizadas. Os dados coletados, por sua vez, são então transmitidos pelas redes de comunicação celular ou redes dedicadas para a comunicação com uma determinada base de dados. No caso da utilização das redes de comunicação celular, em situações onde não há cobertura de sinal, é possível programar o dispositivo para armazenar as medidas e transmitir em um momento oportuno, neste caso, o dispositivo deverá possuir uma memória adicional, como uma memória não volátil conectado a ele.

A comunicação entre as aplicações dos transceptores reprogramados e a base de dados se dá através de serviços *Web*. Após a filtragem e tratamento dos dados, as informações coletadas recebem uma marcação temporal e são então armazenadas para consulta.

Para a geração das manchas dos níveis de intensidade de sinais através de mapas, optou-se pela utilização de soluções de serviços de mapas da *Web* ou WMS (*Web Map Services*).

A partir do sensoriamento de medidas por diversos sensores, ao se deslocar, os sensores contribuem informando uma lista de canais ocupados e quais as condições de recepção.

A partir do histórico de medidas, é possível então, a obtenção de uma série de informações como possíveis interferências, lista de canais vagos e ocupados e, no caso de receptores de TV, o índice de audiência.

Neste trabalho, foram exploradas novas técnicas de filtragem para reduzir o tempo de consultas e também restringir os resultados às áreas geográficas específicas.

Uma vez que os dados coletados estavam armazenados em bancos de dados em nuvem, explorou-se as vantagens dos recursos e APIs de mapas *Web* para a geração das manchas de intensidade de sinais, as quais representam em mapas, os resultados obtidos pelos algoritmos de predição de sinais. Para a execução dos algoritmos foram utilizadas máquinas locais ou servidores remotos. A utilização de servidores remotos

possibilitou a redução do tempo de execução dos algoritmos de predição, além de abrir a possibilidade de processamento paralelo.

Para a aplicação dos algoritmos de predição de sinais, foi necessário o acesso a servidores de dados obtidos por módulo espacial ou SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) externos, para a obtenção de dados de elevação. O mesmo tipo de acesso pode ser realizado para a consulta de bases climáticas e para o auxílio ao processo conhecido como clusterização dos centros urbanos.

Como estudo de caso, os transceptores de TV conhecidos como *Set-Top-Box* foram escolhidos para a conversão em sensor.

É importante notar que a solução proposta é extensível a qualquer dispositivo de comunicação comercial que possa se conectar-se a internet. Como exemplo, podem ser citados *smartphones* com sintonizadores DTV, TVs inteligentes com sintonizadores embutidos e *smartphones*/celulares com sintonizadores de banda larga sem fio.

Como base de pesquisa, utilizou-se a estrutura disponibiliza pelo projeto RNP-Stb-Scan.

4.2 Projeto Stb-Scan

Entre 2009 e 2011, foi desenvolvido o projeto Stb-Scan [81]. O projeto foi desenvolvido por diversos pesquisadores em parceria entre as instituições Unicamp, Unisal e Mackenzie e financiado pela Rede Nacional de Pesquisa (RNP).

A Proposta se refere ao desenvolvimento de uma ferramenta de coleta de sinais, estatística de acesso, auxílio à predição de cobertura do sinal digital terrestre e diagnóstico para instalações de TV digital como API (*Application Programing Interface*) para Middleware Ginga. Ginga é o nome do middleware Recomendação ITU-T para serviços IPTV e do Sistema Nipo-Brasileiro de TV Digital Terrestre ISDB-T_B.

Uma visão geral da estrutura do projeto é apresentada através da Figura 14.

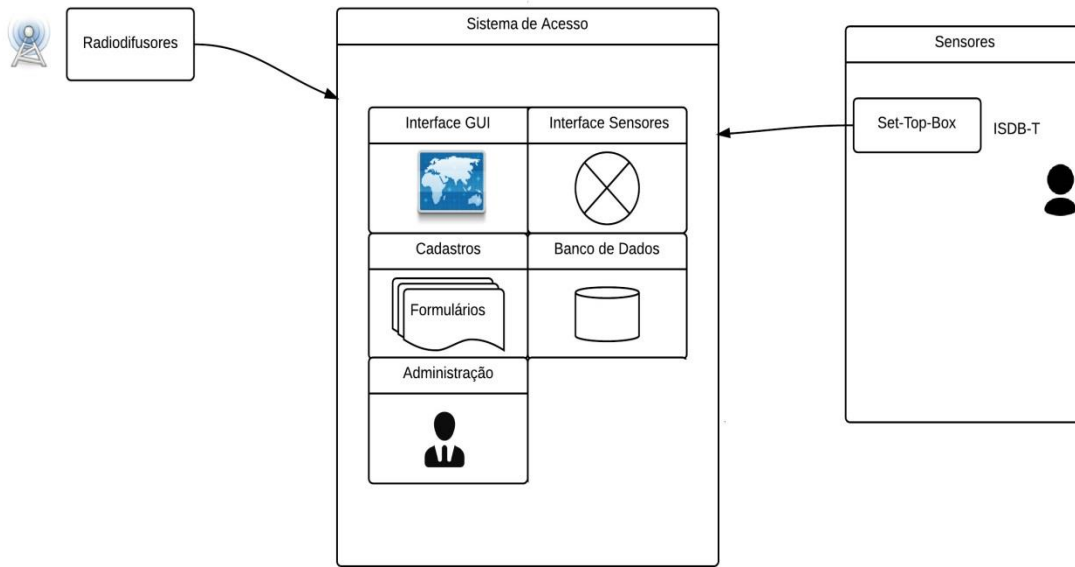


Figura 14 - Solução desenvolvida através do projeto Stb-Scan.

Basicamente, a proposta envolve a conversão de *Set-Top-Box* em sensores para à medição da qualidade dos sinais de TV digital, as medidas coletadas em campo podem ser vistas por mapas *Web*. O sistema consegue controlar os receptores remotamente, configurando-os para medir um ou mais canais com tempos de amostragem determinados. O papel indicado pelos radiodifusores é referente à inserção de dados sobre as estações de transmissão. Na Figura 15, ilustra-se o uso do *Set-Top-Box* como sensor e as conexões com as portas ethernet, USB e RF (Rádio Frequência), as quais respectivamente possuem a finalidade de comunicação, localização e recepção do sinal digital. A Figura 15 ilustra também as linguagens de aplicativos utilizados no desenvolvimento dos aplicativos embarcados no receptor [81].

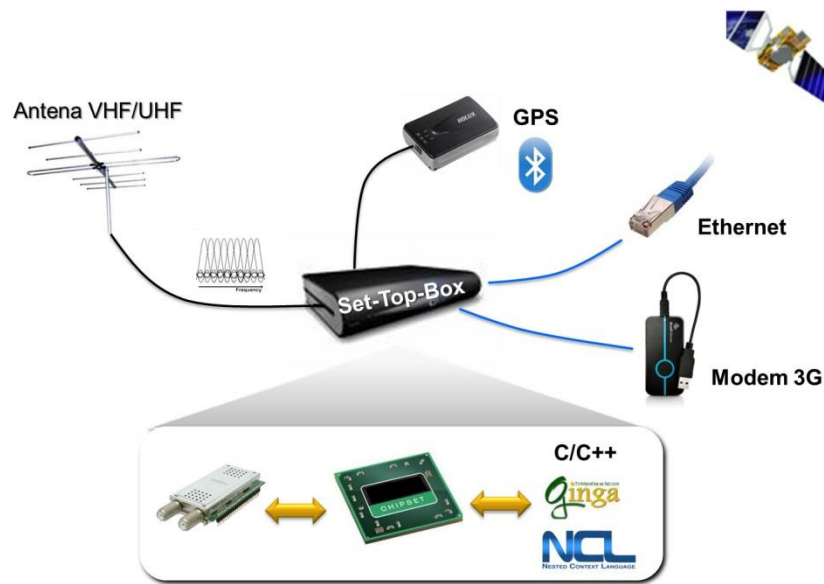


Figura 15 - Conexões com o módulo receptor.

A presente proposta utiliza a estrutura do projeto Stb-Scan como receptores reprogramados, serviços *Web* e base de dados. Estende-se o projeto através do desenvolvimento de novos métodos de filtragem, melhoria na confiabilidade das medidas, métodos de cálculo do índice de audiência, reprogramação da interface *Web*, acesso a servidores SRTM, inclusão da opção de geração de manchas de modelos de propagação de sinais e detecção dos melhores modelos de propagação para determinadas localidades.

A seguir, são listas as principais funcionalidades do projeto Stb-Scan [81]:

- Ambiente *Web* para acesso e gestão do conteúdo,
- Interface gráfica para consulta a mapas utilizando a API Googlemaps v2,
- Formulários para cadastramento de dados dos radiodifusores,
- Formulário para cadastramento de informações do receptor, local de instalação e controle dos receptores.
- *Webservice* para interface entre sensor e banco de dados

O projeto Stb-Scan foi desenvolvido utilizando uma mescla de linguagens computacionais, como C , Java, Javascript, Php e o middleware Ginga.

O acesso para o cadastro de dados pelas entidades colaborativas é dado por uma página *Web*, a qual tem a função de receber os dados provenientes dos radiodifusores, operadores de redes e demais usuários. As páginas *Web*, os algoritmos e banco de dados, foram armazenados em um servidor no laboratório LCV(Laboratório de Comunicações Visuais) da Unicamp.

4.2.1 *Front-end e back-end*

Compreende-se o sistema entre duas partes principais, chamadas de *Front-end* e *Back-end*, ou parte inicial e final do processo. Sendo a parte inicial, referente às aplicações embarcadas nos sensores e a parte final referente às aplicações instaladas nos servidores.

A comunicação entre as aplicações é realizada através da rede TCP/IP, sobre o protocolo HTTP, utilizando uma conexão à internet disponibilizada para o equipamento, seja ela uma rede local pela porta *ethernet* ou uma rede móvel, através de um modem 3G, pela porta USB.

A comunicação é bidirecional, o aplicativo do lado do *Set-Top-Box*, não só envia mensagens SOAP (*Simple Object Access Protocol*) ao servidor, como também recebe mensagens do servidor, o diagrama de comunicação é apresentado através da Figura 16.

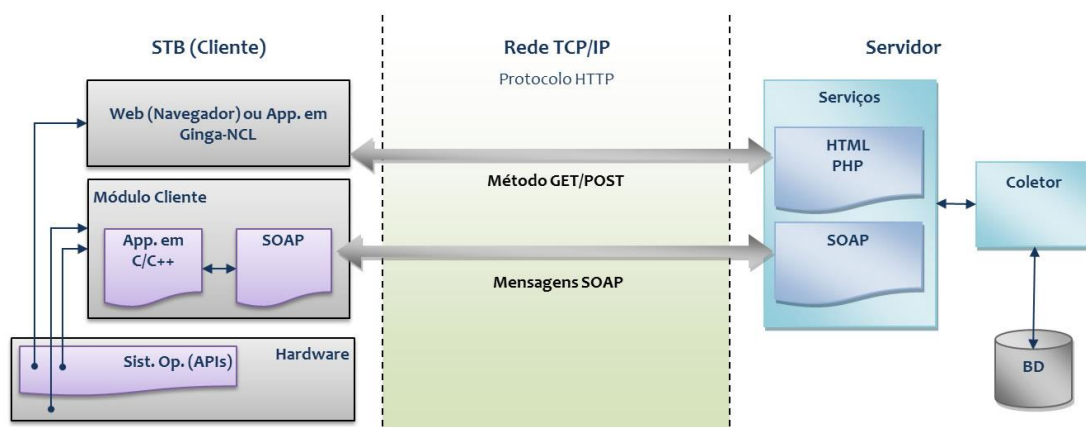


Figura 16 - Diagrama de blocos de comunicação.

De modo geral, o processo envolve a possibilidade de controlar o sensor remotamente, definindo a taxa de amostragem para coleta das medidas e as frequências a serem monitoradas, o receptor em um tempo determinado envia uma requisição ao servidor para que ele o atualize com novos parâmetros de controle.

O sistema foi desenvolvido de forma que o telespectador possua prioridade no uso do equipamento, supondo que um determinado usuário altere o canal e o equipamento esteja executando alguma rotina, então o processo é interrompido e apenas o canal escolhido pelo usuário é analisado.

Para possibilitar essa forma de controle, no receptor, referenciado como *Set-Top-Box* (Cliente), a solução é dividida em 3 módulos, conforme apresenta a Figura 16.

A seguir, especificam-se os módulos do sistema [81]:

Módulo Cliente: Módulo de software em linguagem compatível com o STB, como C/C++, Java ou Ginga-NCL, responsável por requisitar novas instruções e encaminhar os dados para os servidores remotos. O módulo de software é embarcado na memória interna do equipamento e executa as funções em paralelo com as demais funcionalidades do equipamento. Inclui aplicações para estabelecer a comunicação,

serializar os dados e comandos, como exemplo, cita-se a formatação dos dados em XML/SOAP.

Formulários no Receptor: Foram desenvolvidos em Ginga-NCL e fornecem informações complementares sobre os sistemas de transmissão ou qualidade da recepção; são fornecidas pelos usuários através de formulários eletrônicos ou diretamente sobre mapas, enviam os dados cadastrados pelos usuários para o servidor através dos métodos *Get* ou *Post*.

Serviços no Servidor: No servidor são disponibilizadas páginas *Web* dinâmicas e também serviços de comunicação SOAP tal como no cliente. Os serviços de comunicação SOAP ou serviço *Web* são responsáveis por receber e processar as mensagens SOAP contendo dados e comandos provenientes do *Set-Top-Box*, os quais serão processados pelo módulo “servidor coletor”.

Servidor Coletor: Refere-se a uma função capaz de processar os dados e comandos enviados pelo sensor receptor e pelos usuários através de páginas *Web*; são recebidos no servidor pelo serviço SOAP. Os dados são tratados e convertidos em formatos apropriados, em seguida, os comandos extraídos das mensagens são executados. O principal comando neste caso é a função de armazenamento dos dados em um registro do banco de dados (BD).

Banco de Dados: Refere-se à modelagem e construção da base de dados responsável por armazenar as informações recebidas do *Set-Top-Box* que foram devidamente formatadas pelo módulo “servidor coletor”. Foram desenvolvidas interfaces em forma de páginas *Web* dinâmicas, também hospedadas no servidor, tornando possível a atualização de parâmetros pelos administradores do sistema.

Os passos ou módulos específicos necessários para todo o processo de sensoriamento, armazenamento de dados e controle de receptores, são apresentados na Figura 17.

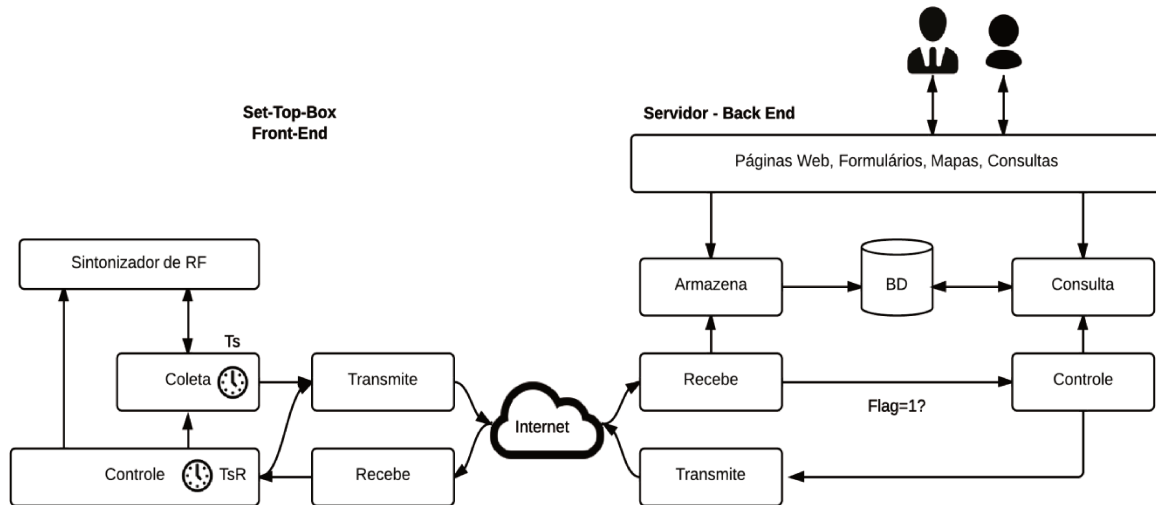


Figura 17 - Descrição dos módulos do *Front-End* e *Back-End* para coleta e armazenamento de dados.

As funções indicadas são executadas em paralelo aos demais aplicativos já existentes no receptor. O arquivo de *boot* original foi modificado para acionar as rotinas necessárias no momento em que o receptor for ligado.

Os tempos indicados a seguir realizam o controle da coleta de dados:

Ts (*Sample Time*) - Período de amostragem pré-determinado para a medição de dados de um determinado receptor.

TsScan (*Scan Sample Time*) - Período referente à mudança automática de canal.

TsR (*Remote Sample Time*) - Período para a requisição de novos dados de controle.

4.2.2 Informações sobre a geração, transmissão e recepção

Para o posicionamento das estações de transmissão sobre mapas e consulta aos parâmetros de transmissão, faz-se necessário o cadastramento de algumas informações por parte dos radiodifusores de TV, algumas das informações são: A posição geográfica da estação de transmissão, o tipo da antena, o diagrama de irradiação, a altura da antena, ganho e potência EIRP. Após o cadastramento, indica-se em um mapa através de um ícone a correta posição do sistema radiante.

No caso dos operadores de banda larga, os dados de localização das estações de transmissão já são informados aos receptores, não havendo a necessidade de cadastramento da localização, as demais informações deverão ser cadastradas.

A seguir, listam-se algumas informações a serem cadastradas, as informações indicadas como “somente leitura” são fornecidas pelos receptores.

Geradoras:

- Nome
- Razão social
- Endereço

Emissoras:

- Geradora
- Nome
- Razão social
- Prefixo
- Endereço

Receptor:

- Codinome (Apelido) do receptor
- MAC Address (Somente Leitura)
- IP Interno (Somente Leitura)

Estação de Transmissão:

- Emissora
- Nome da estação
- Canal de RF
- Classe de potência
- Classe de operação
- EIRP (kW)
- Coordenadas
- Canal virtual
- Endereço

Local da Instalação :

- Ganho do amplificador (dB)
- Perda em cabos (dB)
- Tipo da antena de recepção
- Ganho da antena de recepção

- IP Externo (Somente Leitura)
- Versão do *firmware* (Somente Leitura)
- Versão do *software* (Somente Leitura)
- Modelo do Receptor (Somente Leitura)
- Coordenadas geográficas/veículo
- Endereço

4.2.3 Medidas coletadas

As seguintes medidas foram coletadas pelos *Set-Top-Boxes*. A maioria das medidas puderam ser acessadas através do barramento I²C (*Inter Integrated Circuit*) entre o *chipset* do receptor e o demodulador do dispositivo e através de metadados.

Medidas relativas ao sinal digital [81]:

- RSSI - Nível de intensidade de sinal em dBm,
- SNR - Relação sinal ruído em dB,
- BER - Taxa de erro de bit após o decodificador Reed-Solomon,
- Amostras do sinal em fase e quadratura e tipo de modulação,
- Tipo de sinal recebido (HDTV,SDTV, LDTV),
- Frequência sintonizada,
- Taxa de correção de erro FEC,
- Modulação por camada,
- Número de segmentos da camada sintonizada.

Georreferenciamento:

- Coordenas Geográficas,
- IP

Outras informações:

- Modelo do receptor,
- Versão do *firmware*,
- Dados de controle,
- Programa sintonizado.

4.3 Resultados do projeto Stb-Scan

Como resultado [81], dois modelos de receptores DTV foram convertidos para sensores, os sensores se mostraram capazes de medir o sinal digital e informar a base sobre as condições do sinal em determinada localidade. Os sinais foram coletados no interior de um veículo em deslocamento com velocidades de até 70 km/h sintonizando um sinal ISDB-T *Full-Seg*. Foram utilizados para os testes *Set-Top-Boxes* convencionais, um modem 3G e uma antena VHF/UHF do tipo *indoor* para cada receptor. Os receptores puderam ser controlados remotamente para a varredura de vários canais nos tempos determinados. Nos receptores da marca EITV com *chipset* da ST Microelectronics, as funções de controle foram desenvolvidas em Ginga-NLC/Lua. Para esse receptor foi possível executar as funções de coleta de medidas e paralelamente manter o receptor com suas demais funcionalidades. Verificou-se a necessidade de alterar o padrão do *middleware* Ginga para possibilitar a execução das funções de medição a cada troca de canais. Algumas medidas como o controle de ganho automático ou AGC (*Automatic Gain Control*) não puderam ser coletadas por falta de informações da API da STMicroelectronics para um dos modelos de receptores. Já o Receptor Zinwell, com *chipset* Broadcom teve seu *middleware* original alterado e perdeu suas funções principais, não mostrando o sinal de vídeo. O receptor ficou dedicado às medições, conseguiu informar o ganho AGC e permitiu a troca de canais remotamente. Para o completo funcionamento do receptor, seria necessário o contínuo desenvolvimento da solução,

uma vez que após a atualização do middleware original, vários testes seriam necessários para validação de todas as demais funções.

As Figuras 18, 19 e 20 ilustram a estrutura do banco de dados desenvolvida para o projeto e alguns resultados obtidos, como uma aplicação para acesso à dados de clima, a intensidade de sinal obtida por um receptor ao longo de uma determinada rota e o histórico de medidas SNR obtidas por um receptor.

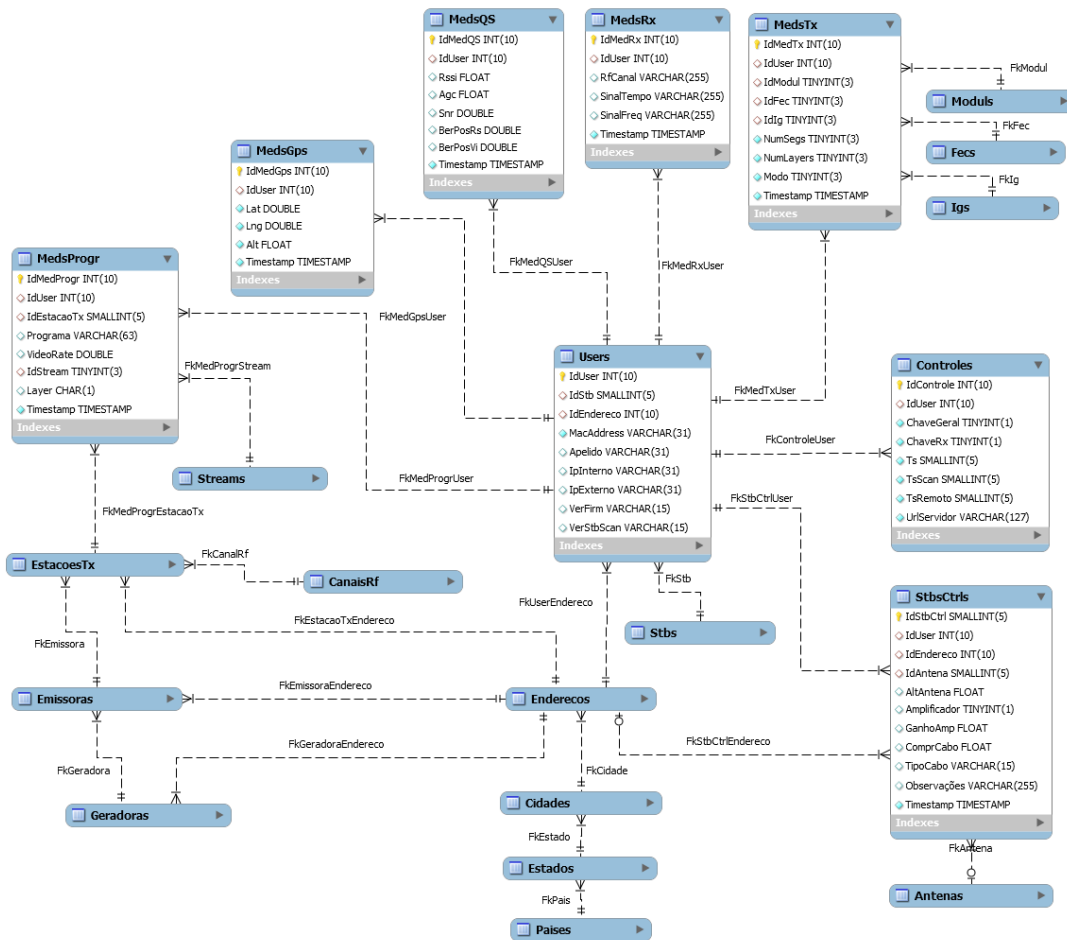


Figura 18 - Estrutura do banco de dados proposta.

A Figura 19 ilustra a interface desenvolvida para a apresentação de dados climáticos, os dados são recebidos através de serviços *Web* de servidores remotos e são apresentados de acordo com a posição geográfica do usuário.



Figura 19 - Acesso a dados de clima.

A Figura 20 apresenta o resultado dos primeiros testes de coleta de medidas de intensidade de sinal em um veículo em deslocamento em uma determinada rota. As cores indicam que o sinal esteve acima do limiar aceitável durante todo o percurso. A escala indicada no mapa não está de acordo com o nível correto do sinal medido, uma vez que ainda não havia nenhuma correção ou tratamento dos dados coletados.

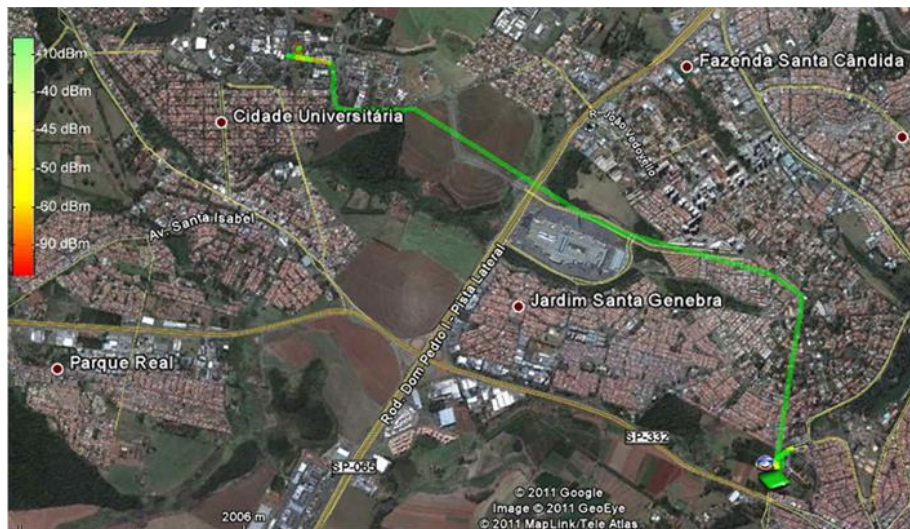


Figura 20 - Intensidade de RSSI obtida em deslocamento em uma determinada rota de testes.

A Figura 21 ilustra a interface gráfica para o levantamento do histórico de medidas coletadas em campo por um determinado receptor.

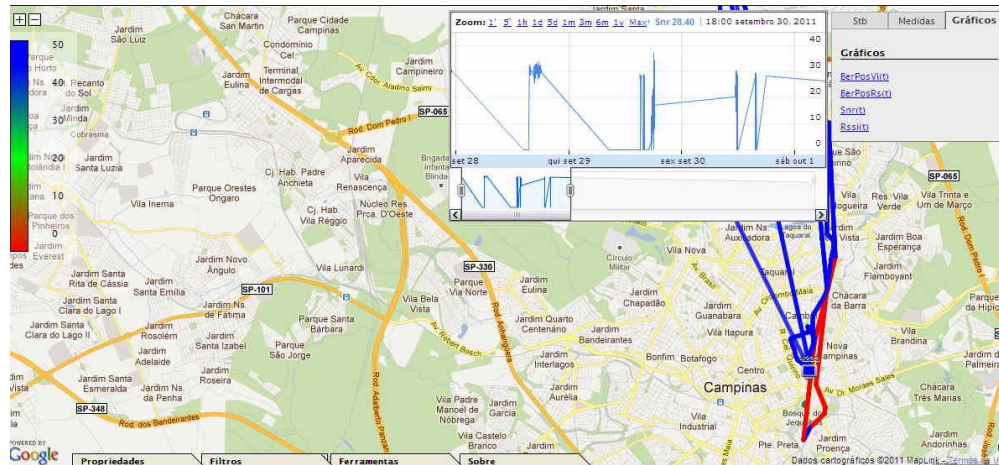


Figura 21 - Geração de gráfico de histórico de SNR para um determinado receptor.

Conclui-se que, para que o método proposto seja funcional, faz-se necessário primeiramente uma parceria com os fabricantes de *chipset* para o acesso e tratamento de dados específicos e restritos dos sintonizadores. Recomenda-se ao final uma atualização contínua das bases de dados, assim como a utilização de uma infraestrutura adequada, contendo servidores com alta capacidade de processamento, os quais permaneçam em funcionamento contínuo, além de *backups* constantes e validação das informações encaminhadas pelos radiodifusores e operadores de rede.

Capítulo 5

Atualizações para o sistema colaborativo cognitivo

5.1 Introdução

Com o objetivo de testar a metodologia proposta para a geração de um sistema de sensoriamento colaborativo e cognitivo, utilizou-se a estrutura do projeto Stb-Scan, criando-se novos módulos e metodologias para filtragem e melhorias no tempo de execução.

Inicialmente, propõe-se a extensão do conceito de conversão dos receptores DTV em sensores para os demais dispositivos dos diversos padrões como LTE, Wi-Fi (IEEE 802.11), rádio digital, entre outros.

Também se propõe a conversão de equipamentos profissionais em sensores, compatibilizando-os com a plataforma proposta, possibilitando dessa forma a comparação das medidas entre receptores de diferentes modelos e a agregando confiabilidade. A estrutura geral da proposta é apresentada através da Figura 22.

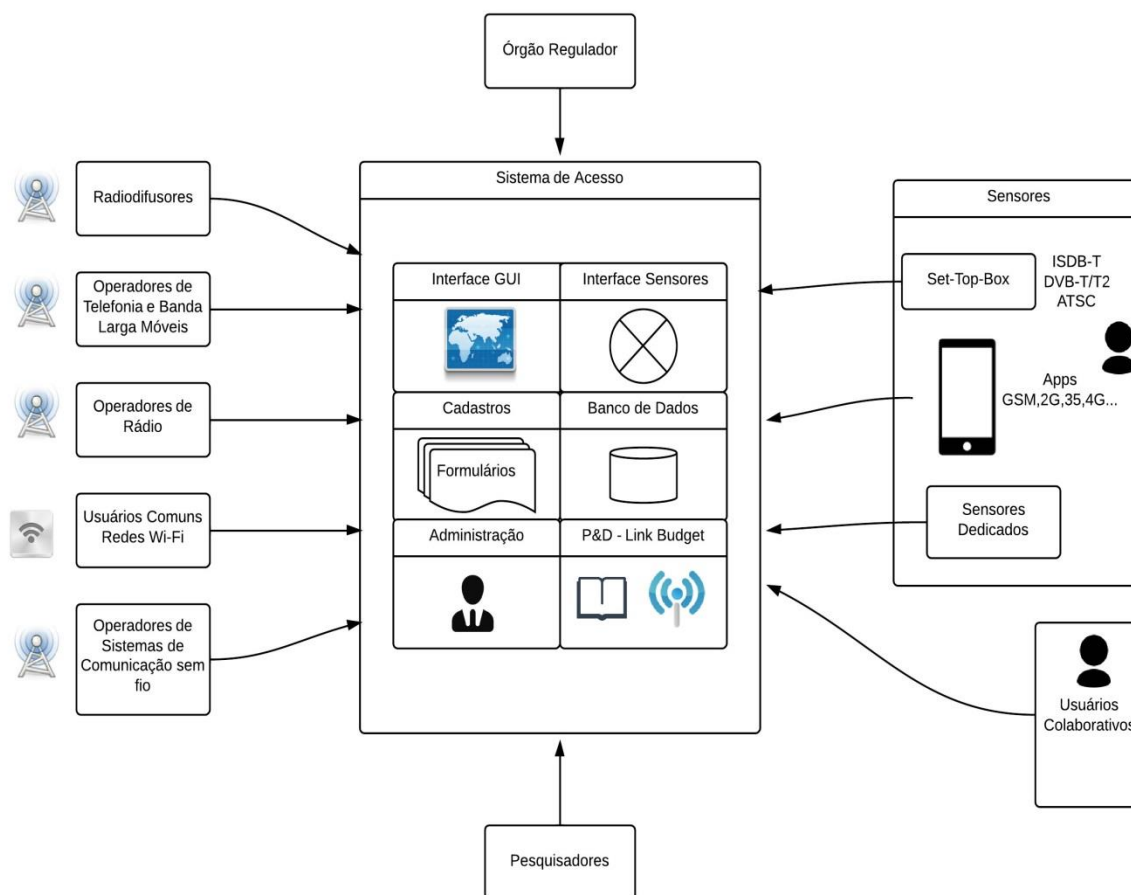


Figura 22 - Estrutura geral do sistema proposto.

Conforme ilustrado na Figura 22, como base para futuros sistemas que possam contribuir para um melhor uso do espectro, entende-se a necessidade de um grande volume de dados fornecidos e atualizados regularmente pelos operadores das redes de telecomunicações, além de sensores em campo que possam confirmar e validar as medidas em tempo real. Os sensores poderão ser dispositivos convencionais ou sensores dedicados de alta confiabilidade. O formato padrão da mensagem de retorno dos sensores poderá ser definido pelo órgão regulamentador competente, assim como o estabelecimento do modelo do canal de retorno.

Nesse trabalho, para a finalidade de testes, utilizou-se qualquer conexão com a internet como canal de retorno. Não foram considerados requisitos como confidencialidade das informações, confiabilidade na entrega de dados e atrasos.

5.2 Uso de Web Map Service (WMS)

Para a visualização das informações cadastradas e medidas coletadas, utilizou-se interfaces de mapas conhecidas como WMS (*Web Map Service*). A especificação foi desenvolvida e publicada através do *Open Geospatial Consortium* em 1999.

Atualmente dispomos de uma série de opções de Sistemas de Informações Geográficas GIS (*Geographic Information System*) através da *Web*. Os sistemas *Web GIS* têm sido aplicados para uma série de finalidades, tornando-se uma plataforma de serviços com crescimento e atualizações constantes. Como exemplo, podem-se citar aplicações de trânsito, indicação colaborativa de problemas sociais, rastreamento de frotas, pesquisa de rotas e destinos, aplicações climáticas, entre outros serviços dinâmicos. Diferentemente dos aplicativos desktop, os quais para a obtenção de dados cartográficos necessitam do *download* de grandes arquivos GIS, além da devida instalação em uma máquina cliente com diferentes sistemas operacionais, os aplicativos de mapas *Web*, por outro lado, acessam serviços *Web* em busca das informações pontuais e facilitam o acesso através de navegadores da internet. Entre os principais serviços de *Web Map Services* da atualidade estão o Google Maps, GoogleEarth, OpenStreetMap, WikiMapia, meta:Maps, Geoserver, Deegree, MapGuide, World Wind Server, QGIS, GeoWebCache, ArcGIS, ArcIMS, GeoMedia, Nasa World Wind, entre outros [103].

Devido à vasta quantidade de informações de suporte aos desenvolvedores, optou-se pela solução GoogleMaps para os testes da presente proposta. A seguir são citadas as vantagens e desvantagens do uso do GoogleMaps como opção de WMS.

Principais Vantagens:

- Quantidade de informações para auxílio ao desenvolvimento,
- Vasta biblioteca com exemplos de códigos,
- Atualização constante da base de mapas mundial,
- Ampla gama de APIs e funções GIS,
- Compatibilidade com a maioria dos navegadores,
- Gratuito para 25000 acessos diários,
- Desenvolvimento contínuo.

Principais Desvantagens:

- É uma solução proprietária, caso ocorram mudanças na regra da empresa, a aplicação poderá ser afetada sem aviso prévio.
- Há limite para os serviços gratuitos de geocodificação e elevação.

A Figura 23 ilustra uma das vantagens de se trabalhar com o sistema WMS: o mesmo já oferece os mapas atualizados de qualquer região do planeta. Nessa Figura é possível observar a solução proposta sendo aplicada para a busca por estações simultaneamente em várias cidades do mundo.

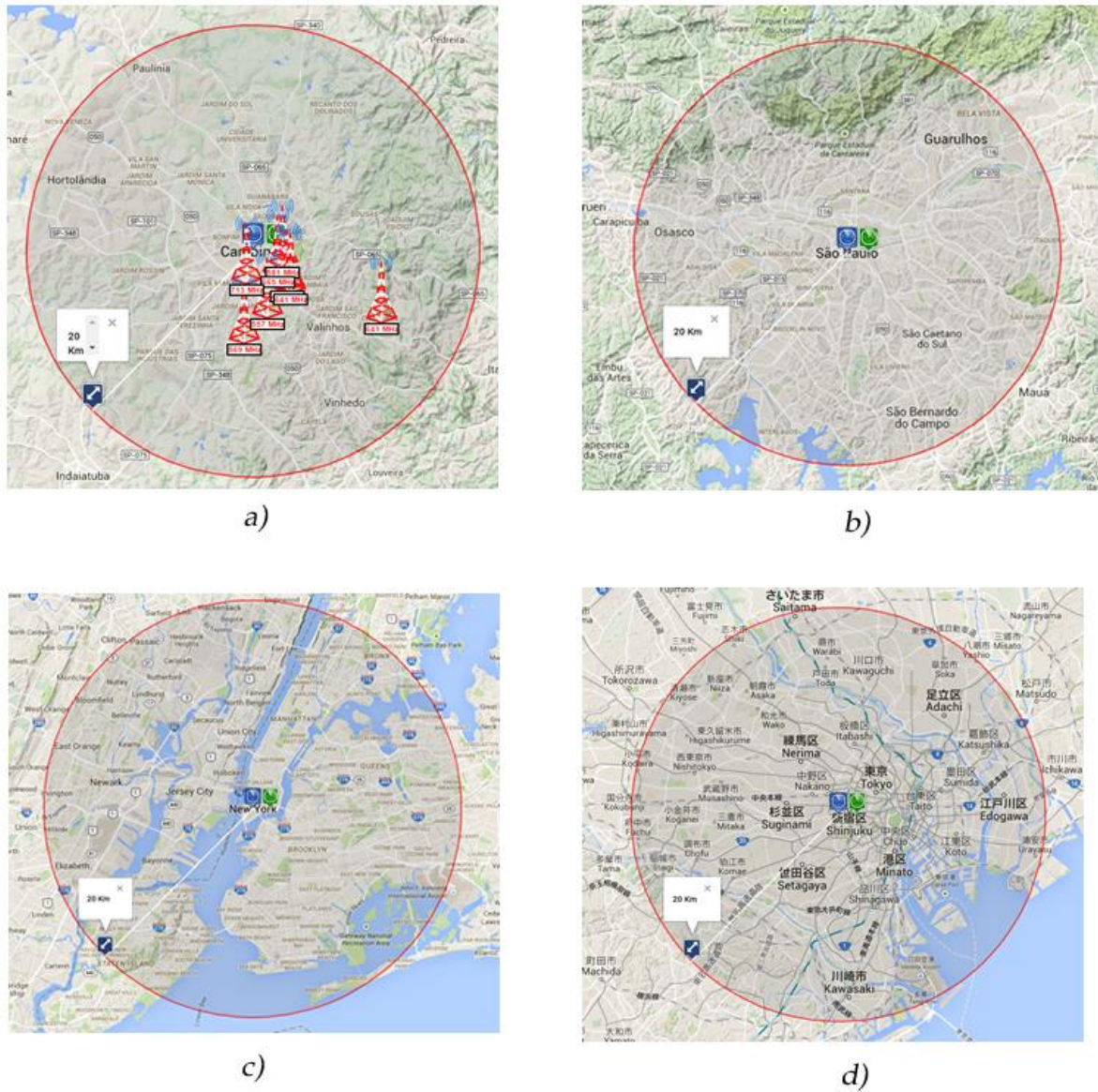


Figura 23 - Busca por estações simultaneamente nas cidades a) Campinas, b) São Paulo, c) Nova Iorque e d) Tóquio

5.1 Camada e agrupamento de medidas

Para a coleta e apresentação de medidas sobre os mapas, dividiu-se o mapa através de filtragem no banco de dados em várias camadas de medidas por faixa de altitude conforme ilustra a Figura 24. Possibilitando dessa forma, a geração de mapas por camadas para altitudes pré-definidas.

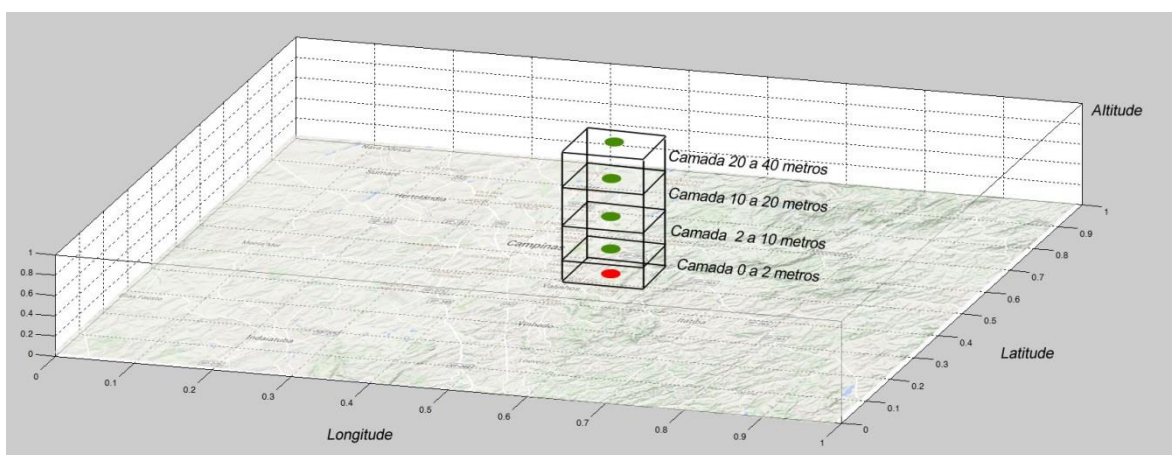


Figura 24 - Divisão de células e camadas.

As células indicadas são referentes a áreas ao entorno das posições das medidas coletadas, o método proposto tem o objetivo de agrupar as medidas coletadas para cada localidade.

Considera-se o raio da terra com distância de 6378 km [82], resultando em uma circunferência de 40175 km. O equador é então dividido em 360 graus de longitude, sendo cada grau equivalente a aproximadamente 111,32 km.

Deslocando-se do equador em direção aos polos, entretanto, um grau de longitude deve ser multiplicado pelo cosseno da latitude, reduzindo a distância até chegar a zero com a aproximação aos polos.

Para a conversão de coordenadas no formato Graus, Minutos e segundos (DMS) para decimal, considera-se [82]:

$$DD = D + \frac{M}{60} + \frac{S}{3600} \quad (5.1)$$

Em que,

DD é a coordenada decimal resultante,

D é o valor referente a horas das coordenadas no formato DMS,

M é valor referente a minutos das coordenadas no formato DMS,

S é o valor referente a segundos das coordenadas no formato DMS.

Como exemplo, podemos citar a seguinte conversão:

Coordenada DMS: 38° 53' 23" N, 77° 00' 32" W, tem-se +38,88972,-77,00889 decimais,

Dessa forma, para o agrupamento, considera-se a média da latitude e longitude dos grupos formados por arredondamento de casas decimais. O processamento é realizado diretamente no banco de dados. Supondo-se a distribuição de pontos apresentado na Figura 25, onde a distância média de cada ponto é de aproximadamente 100 metros, um agrupamento de 100 metros não teria efeito, plotando-se praticamente a mesma quantidade de pontos.

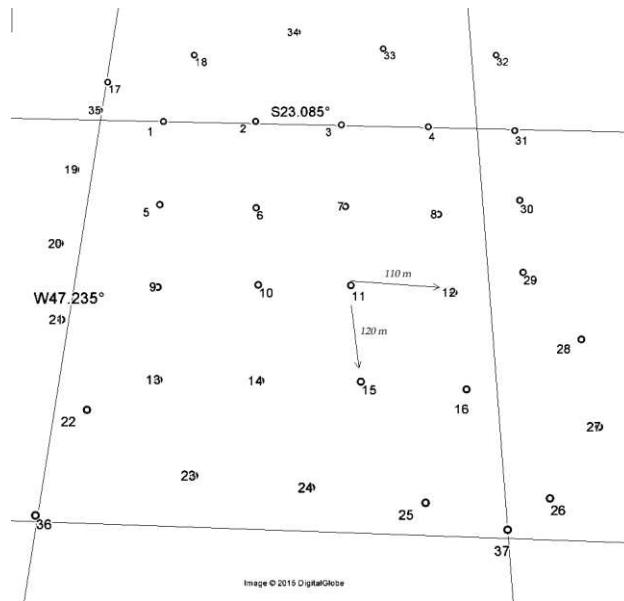


Figura 25 - Distribuição de pontos para testes agrupamento.

Aplicando-se um agrupamento por duas casas decimais ou um centésimo de grau decimal, conforme a distribuição ilustrada na Figura 25, obtém-se três grupos representados por três pontos conforme apresenta a Figura 26.

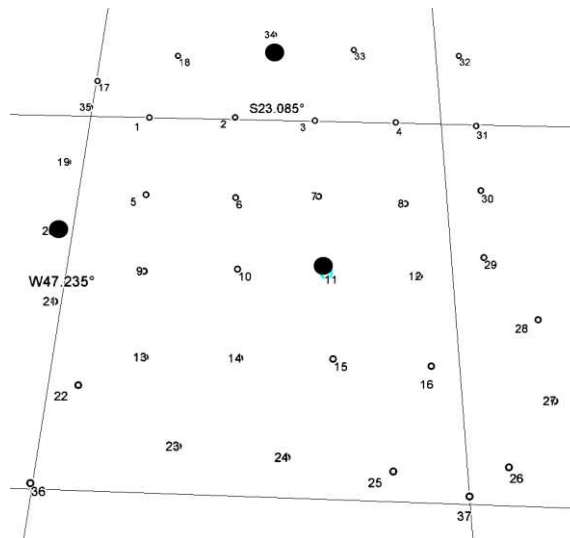


Figura 26 - Indicação de pontos de agrupamento.

Cada grupo representa uma diferente intensidade de sinal conforme número de medidas ou grau de agrupamento. A Tabela 21 lista o número de medidas agrupadas para a distribuição acima.

TABELA 21 - RESULTADO DO AGRUPAMENTO DE MEDIDAS

Grupos	AvgLat)	Avg(Lng)	Número de Medidas
1	-23,084052	-47,232420	6
2	-23,087524	-47,231588	27
3	-23,087747	-47,235102	4

A Figura 27 ilustra a aplicação de manchas de intensidade de calor formadas pelo agrupamento de medidas da Tabela 21 utilizando API's de mapa de calor, as quais já possuem interpolação automática com o controle de aproximação de *zoom*. Pode-se observar na Figura 27 os três pontos gerados pelo agrupamento e também a mancha única formada pela interpolação dos pontos ao se optar por uma visão mais distante do mapa.

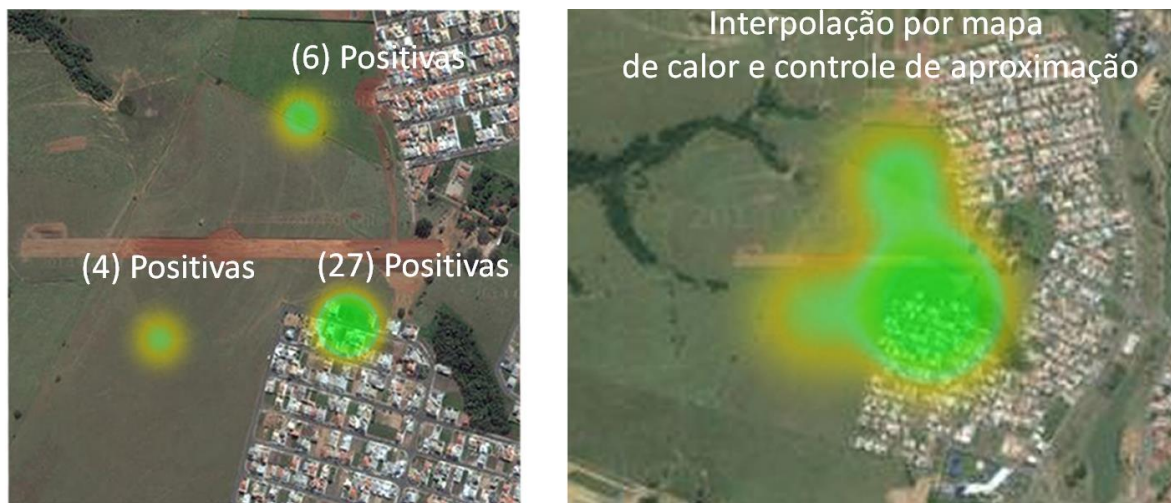


Figura 27 - Mapas de calor formados pelo agrupamento de medidas.

A Figura 28 ilustra o diagrama para coleta, filtragem e geração das manchas de medidas coletadas e transmitidas pelos sensores instalados em um veículo.

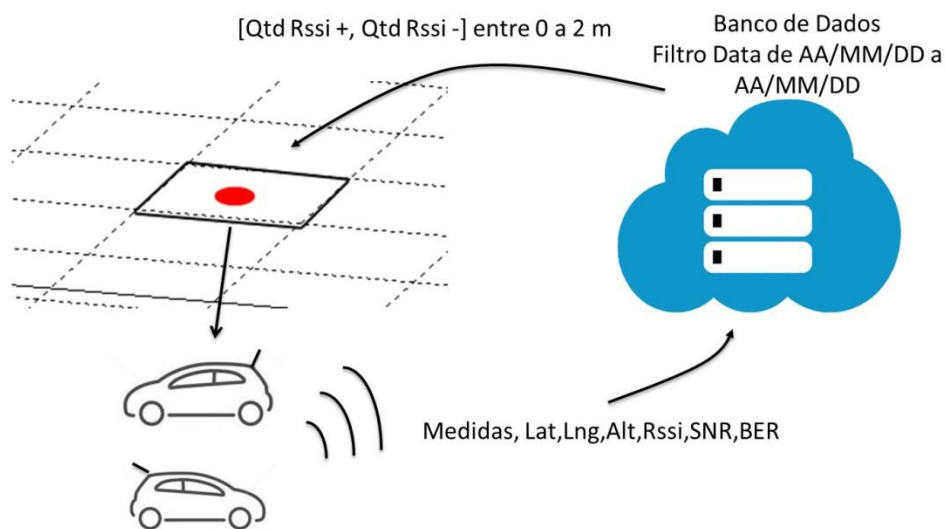


Figura 28 - Diagrama de coleta e geração de manchas das medidas

A Figura 29 apresenta os equipamentos utilizados para a coleta de medidas em deslocamento através de um veículo.

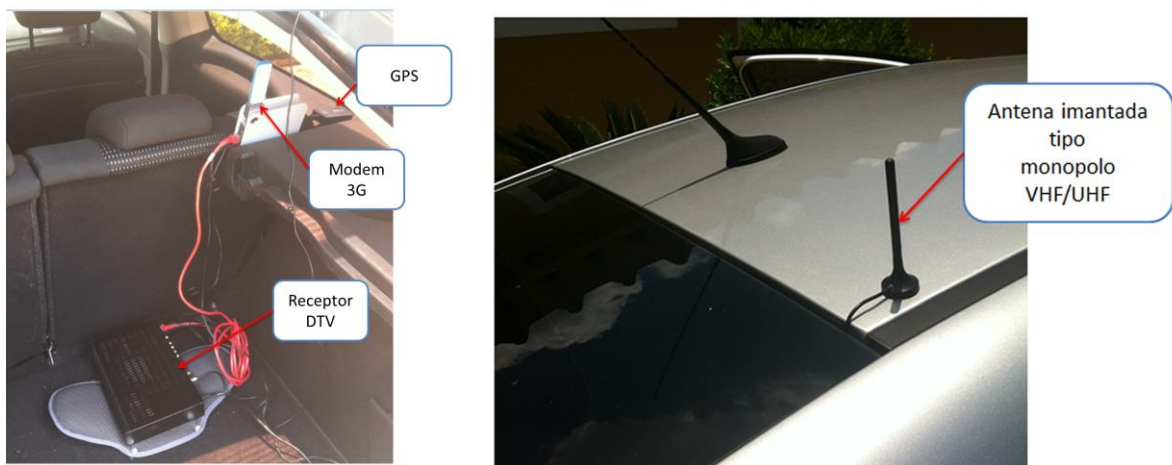


Figura 29 - Equipamentos instalados em um veículo para testes de medição.

5.1 Filtragem de estações e medidas por localidade

Para reduzir o tempo de busca por estações e medidas, definiu-se uma área circular de interesse, determinada por um raio de busca a partir de uma coordenada de referência. A referência inicial adotada é relativa às coordenadas geográficas centrais da cidade de interesse. A referência, porém, pode ser deslocada para outro ponto qualquer do mapa a partir do arrasto do cursor de referência.

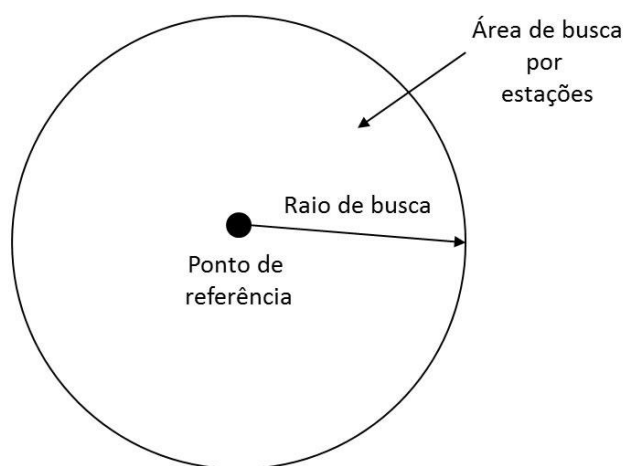


Figura 30 - Área de busca definida para a localização de estações.

Após a definição do ponto de referência e raio de busca, as informações são encaminhadas para a filtragem no banco de dados utilizando o método de *geofencing* ou cerca geográfica. Para simplificar a filtragem, considera-se uma circunferência inscrita em um quadrado, onde o diâmetro da circunferência será relativo à área do quadrado, as coordenadas de referência para a filtragem serão relativas às coordenadas centrais dos lados dos quadrados. A Figura 31 ilustra a definição da área quadrada inicial de busca.

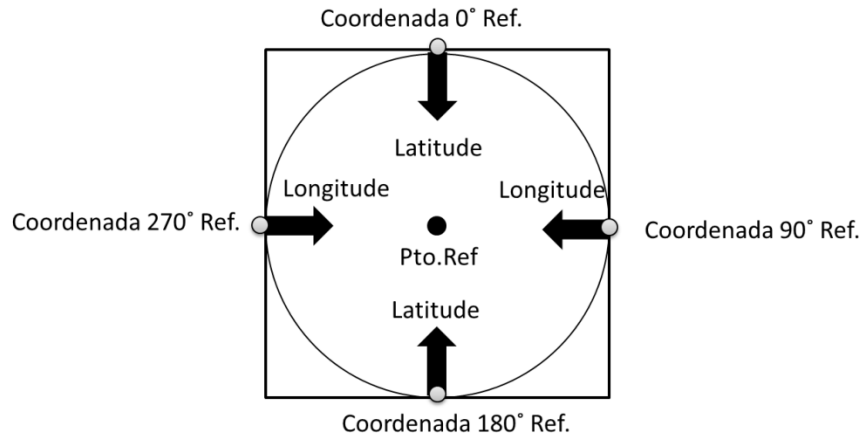


Figura 31 - Área de busca definida para a localização de estações.

O método de *geofencing* é utilizado para a criação de cercas virtuais, baseando-se em coordenadas geográficas. Nesse caso, criou-se uma cerca quadrada tendo o ponto central como a coordenada central da cidade escolhida.

Para a determinação dos pontos das extremidades do quadrado, utilizou-se a fórmula de *Haversine* [100], a qual calcula as distâncias entre dois pontos de uma esfera a partir de suas latitudes e longitudes, sendo,

$$a = \text{sen}^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \text{sen}^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right) \quad (5.2)$$

$$c = 2 \arctg \left(\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{1-a}} \right) \quad (5.3)$$

$$d = R \cdot c \quad (5.4)$$

Em que,

φ é a latitude,

λ é a longitude,

R é a raio médio da terra (6371 km),

d é a distância entre duas coordenadas em km.

Os ângulos são dados em radianos.

O teorema de Pitágoras também foi uma opção para curtas distâncias e melhor desempenho do sistema.

$$\Delta\lambda = \lambda_{P_1} - \lambda_{P_2} \quad (5.5)$$

$$\Delta\varphi = \frac{\varphi_{P_1} - \varphi_{P_2}}{2} \quad (5.6)$$

$$x = \Delta\lambda \cos(\Delta\varphi) \quad (5.7)$$

Considerando-se, $y = \Delta\varphi$, tem-se:

$$d = R\sqrt{x^2 + y^2} \quad (5.8)$$

Onde,

φ é a latitude,

λ é a longitude,

P₁= Ponto de interesse 1,

P₂= Ponto de interesse 2,

R é a raio médio da terra (6371 km),

d= distância em km entre os pontos P₁ e P₂.

Utilizando-se a cerca virtual quadrada, observa-se ainda a necessidade de refinamento das buscas para eliminar as estações fora da circunferência inscrita como apresentado na Figura 32.

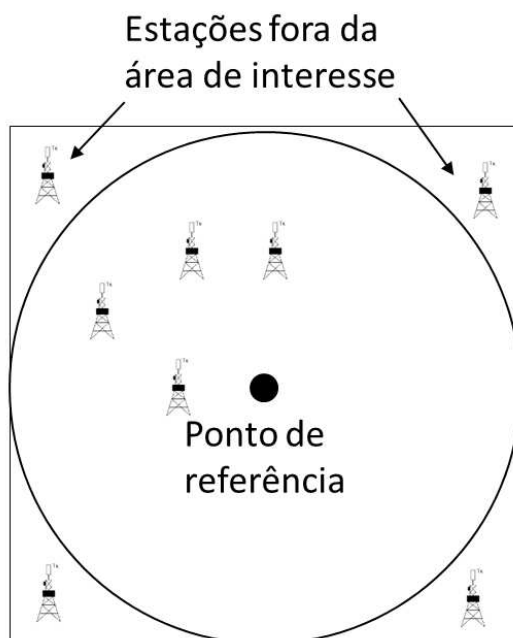


Figura 32 - Resultado da primeira filtragem por estações.

Para o refinamento das buscas, utilizou-se novamente a fórmula de *Haversine* em laço verificando se a posição das estações seria menor ou igual ao raio de busca, descartando desta forma as estações com distâncias maiores que o raio de interesse.

O mesmo método foi utilizado para a busca por medidas coletadas em campo. Porém, utilizou-se um segundo marcador como posição de referência, tornando a área de busca por medidas independente da área de busca por estações. O marcador de referência das medidas foi deslocado em 2 km para evitar sobreposição visual entre os marcadores. O resultado da interface utilizada pode ser visto na Figura 33.

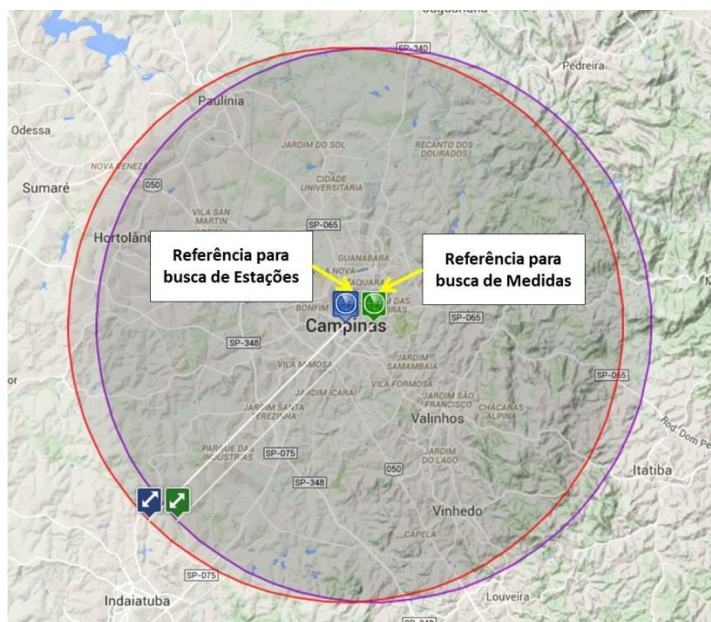


Figura 33 - Marcadores das referências e raios de busca por estações e medidas.

A Figura 34 a seguir, tomando como referência a cidade de Campinas, SP, ilustra a tabela dinâmica gerada com as informações das estações encontradas a partir das equações de buscas utilizadas. Podendo dessa forma, listar e visualizar as posições das estações cadastradas.

Estações Detectadas:

Seleção	Emissora	Estação de Transmissão	Frequência
☒	EPTV Campinas	RTVD - Valinhos	641 MHz
☒	EPTV Campinas	EPTV Campinas	641 MHz
☒	TV Bandeirantes Campinas	Band Digital Canal	485 MHz
☒	TV Rede Vida Campinas	Rede Vida Campinas	581 MHz
☒	TV Record Campinas	RTVD Record	665 MHz
☒	TV Seculo 21	RTVD Seculo 21	713 MHz

Figura 34 - Lista de estações filtradas na região de interesse.

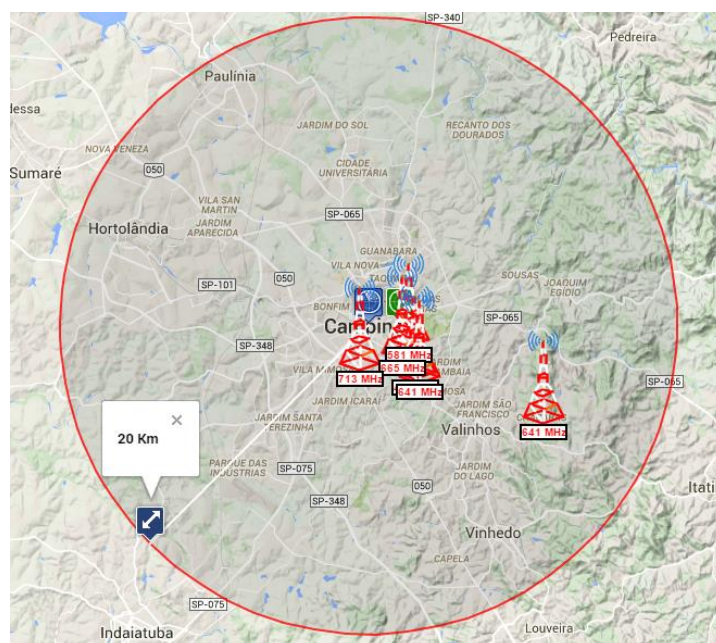


Figura 35 - Visualização da localização das estações na região de interesse.

O módulo de filtragem para listagem e mapeamento de estações apresenta dessa forma, uma proposta de organização e fácil visualização das torres de transmissão e as frequências que estão utilizando.

5.2 Lista de canais utilizados e intensidade de sinal

O mesmo procedimento foi realizado para identificar e filtrar as medidas coletadas na região de interesse. A Figura 36 ilustra a tabela gerada dinamicamente indicando o número de medidas e as respectivas frequências detectadas em uma região pré-determinada. Foram geradas opções para visualização das medidas geolocalizadas através de mapas. Uma opção de filtragem por data através de barra de rolagem com duplo cursor foi desenvolvida para a filtragem do período a ser analisado para a área de busca.



Figura 36 - Listagem de frequências detectadas e número de medidas com opção de filtragem de data.

Observa-se através da tabela dinâmica ilustrada na Figura 36 que entre os dias 19/10/2014 e 13/12/2014, 9 canais estavam sendo utilizados pelo serviço TVD na cidade de Campinas, SP. A Figura 37 ilustra o gráfico de barras dinâmico gerado para o intervalo de frequências entre 57 e 857 MHz.

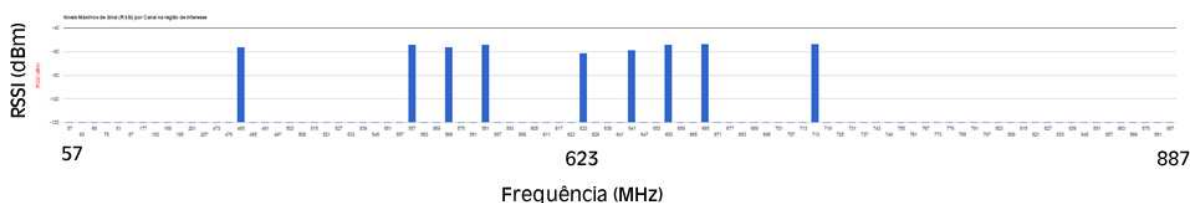


Figura 37 - Geração de gráfico dinâmico com intensidades medidas de sinal na região de interesse na faixa de VHF e UHF.

Ao se utilizar uma rede de sensores para a tomada de decisões em relação a sistemas irradiantes, um dos principais questionamentos é em relação à confiabilidade das medidas, uma vez que os dados informados por receptores comuns podem ter desvios significativos, além de desconhecermos as perdas e ganhos do sistema de recepção.

No caso de celulares e smartphones, os ganhos da antena e perdas nos dispositivos podem ser conseguidos através da detecção do modelo do dispositivo e especificações do fabricante. Porém, para os receptores fixos residenciais, como *Set-Top-Boxes* ou TVs conectadas, não se sabe a priori, qual o modelo de antena utilizada pelo usuário e quais as perdas relativas ao cabeamento e conectores. Nesse caso, uma medida com baixo nível de intensidade de sinal, ou até mesmo ausência de sinal, pode se dar por falhas em conectores ou altas perdas nos componentes da instalação, não significando dessa forma, que há falta de sinal na região.

Uma forma de se detectar problemas na instalação de um determinado usuário seria a comparação do nível de sinal desse usuário com o nível de sinal de usuários vizinhos, uma vez que a probabilidade de falha simultânea entre todos os usuários da região seja baixa.

Uma das propostas do sistema Stb-Scan para melhorar a confiabilidade dessas medidas, foi o levantamento do máximo de informações sobre a instalação do usuário.

Nessa proposta, considera-se também o número de medidas informadas em determinada região. Caso o número de medidas com intensidade abaixo do limiar seja maior que o número de medidas com sinal positivo ou acima do limiar, então se cria uma mancha com intensidade de cor diferenciada, indicando dessa forma, as condições de sinal na região. A Figura 38 ilustra os diferentes tipos de manchas de calor utilizados em relação ao número de medidas para sinais acima e abaixo do limiar de um determinado sistema.

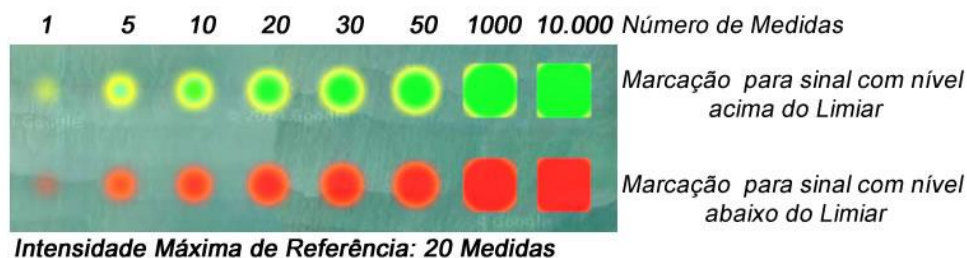


Figura 38 - Utilização de escala de mapa de calor para indicar o nível de sinal pelo número de medidas.

Outro requisito importante para a melhoria na confiabilidade das medidas é o uso das informações do controle automático de ganho AGC (*Automatic Gain Control*).

A Figura 39 apresenta a arquitetura básica de controle de ganho de um receptor de RF. Ele consiste de um amplificador de baixo ruído de ganho variável VG-LNA, um estágio de conversão para banda base e um amplificador de ganho variável (VGA) com um conversor analógico para digital. A potência do sinal de entrada pode variar significativamente devido à atenuação e ao desvanecimento. O VG-LNA ajusta o ganho na tentativa de manter a variação dentro de um pequeno intervalo, enquanto o AGC faz o ajuste fino do VGA na entrada do ADC.

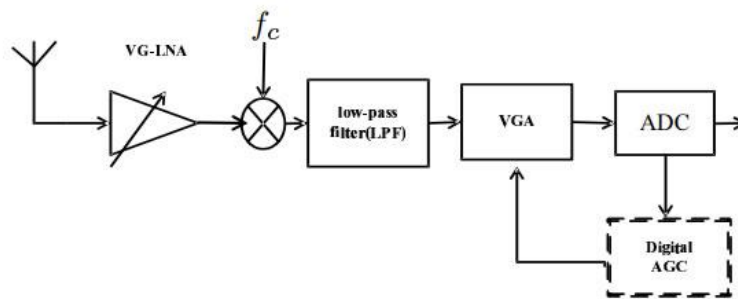


Figura 39 - Arquitetura básica de controle de ganho de um receptor de RF.

O AGC então tem a função controlar o ganho do amplificador do sinal na entrada de RF do receptor, com o objetivo de elevar o sinal ao limiar de sensibilidade do equipamento.

Nos sistemas de TV digital, o componente chamado de demodulador, normalmente desempenha duas funções dentro do *chipset*: sintonização e demodulação. O sintonizador realiza o tratamento inicial do sinal de RF, incluindo filtragem, amplificação e translado do sinal de RF para banda base.

O demodulador ISDB-T processa o sinal proveniente do sintonizador. Neste estágio, basicamente é realizada a decodificação do sinal ISDB-T, permitindo ainda, a combinação do sinal de duas antenas, utilizando a técnica de combinação com máxima relação (MRC - *Maximum Ratio Combining*).

Os sistemas celulares de banda larga sem fio utilizam regularmente a técnica de modulação adaptativa para regular a modulação e taxa de código do codificador de erro a ser utilizado para garantir a transmissão na melhor qualidade possível. Para isso os dispositivos já realizam as medidas de qualidade do canal e as utilizam como referência.

Entre as medidas coletadas, estão a medida de intensidade do sinal RSSI (*Relative Signal Strength Indicator*) e relação portadora ruído CINR (*Carrier to Interference and Noise Ratio*).

Por exemplo, para o padrão Wimax 802.16e, a variação na precisão das medidas absolutas de nível de sinal é de ± 4 dB [84]. A faixa de valores a serem medidos inicia 6 dB abaixo do nível de sensibilidade da configuração MCS (*Modulation Code Schemes*) mais robusta, ou de -123 dBm até -40 dBm.

Um dos métodos sugeridos para a medida de RSSI é:

$$RSSI = 10^{-\frac{G_{rf}}{10}} \frac{1,2567 \cdot 10^4 V_c^2}{2^{2B} R} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |Y_I \text{ ou } Q[k, n]| \right)^2 \quad (5.9)$$

Em que,

B é a precisão do ADC (*Analog to Digital Converter*) em número de bits,

R é a resistência de entrada do ADC [Ohm],

V_c é o nível de clip [Volts],

G_{rf} é o ganho entre a antena a entrada do ADC,

Y_I ou $Q[k, n]$ é a n -ésima amostra na saída do ADC de I a Q do sinal k ,

N é o número de amostras.

Para a medição de CINR, o padrão 802.16 [84], estabelece uma faixa entre -10 dB e 53 dB, com incremento de 1dB. A precisão indicada deve ser estar entre 1 a 2 dB.

Um dos métodos para computar a CINR, é dado por:

$$CINR[k] = \frac{\sum_{n=0} |s[k, n]|}{\sum_{n=0}^{N-1} |r[k, n] - s[k, n]|^2} \quad (5.10)$$

Em que,

$r[k, n]$ é a amostra n da mensagem k , $s[k, n]$ é a amostra do piloto correspondente ao símbolo n .

5.3 Relação nível de sinal e AGC (CAG)

Com o objetivo de avaliar a precisão das medidas de receptores DTV convencionais, gerou-se em laboratório um nível de sinal conhecido através de um gerador de sinais ISDB-T e observou-se o ganho automático dos receptores.

Para um receptor Dibcom USB *FullSeg*, foi possível obter a seguinte curva ilustrada pela Figura 40.

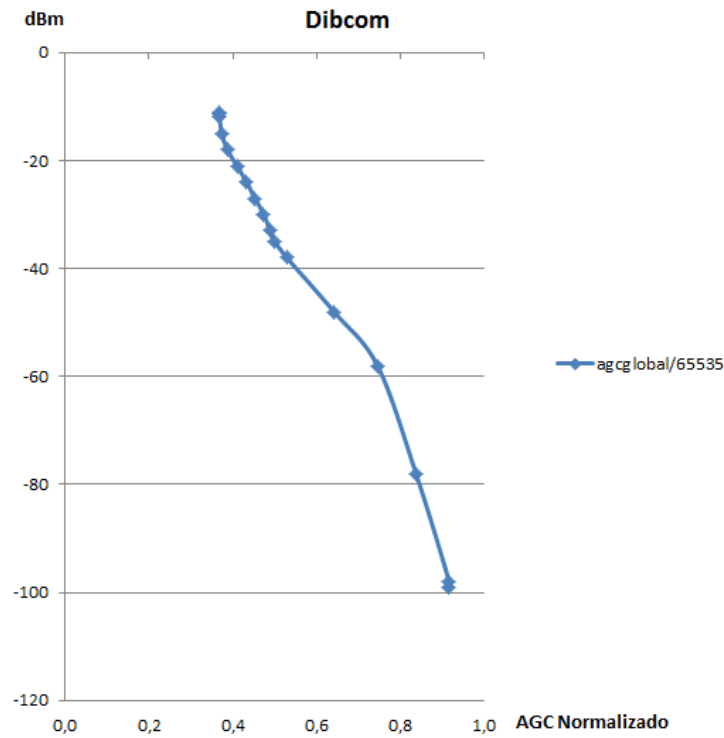


Figura 40 - Ganho AGC - Receptor USB *FullSeg*.

Observa-se que a resposta do ganho foi aproximadamente linear, possibilitando a obtenção de equações da reta através da divisão de intervalos, no caso dividiu-se os intervalos em :

Intervalo 1: AGC: 0,223 a 0,228, Equação: $y = -1044,6x + 226,56$,

Intervalo 2 : AGC: 0,229 a 0,529, Equação: $y = -163,68x + 47,25$,

Intervalo 3: AGC: 0,530 a 0,745 Equação: $y = -96,163x + 13,643$,

Intervalo 4: AGC: 0,746 a 0,916, Equação: $y = -258,56x + 138,36$.

Os gráficos das retas de cada intervalo são apresentados através das Figuras 41 a 44.

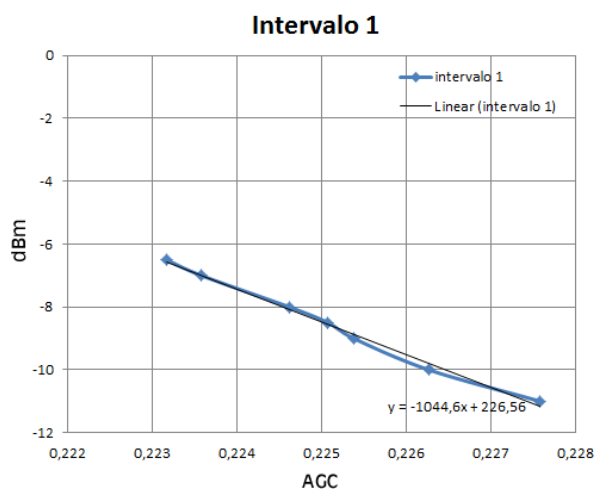


Figura 41 - Equação da reta do ganho do AGC referente ao intervalo 1.

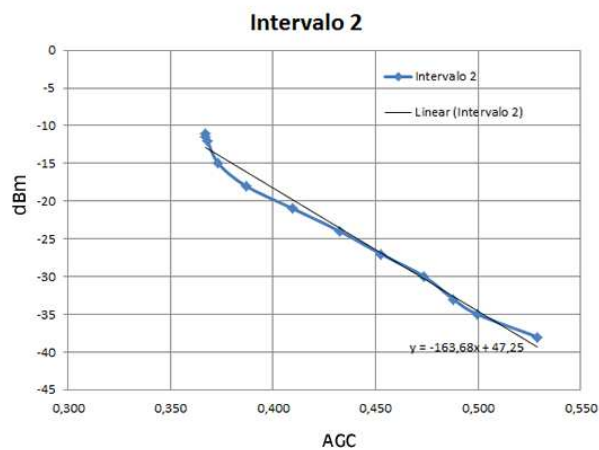


Figura 42 - Equação da reta do ganho do AGC referente ao intervalo 2.

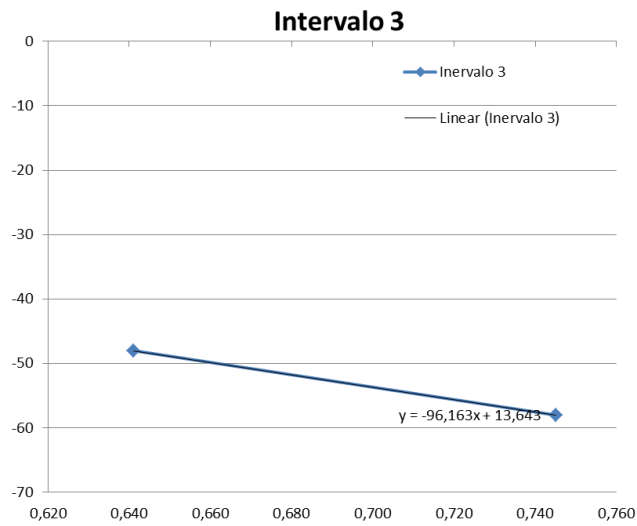


Figura 43 - Equação da reta do ganho do AGC referente ao intervalo 3.

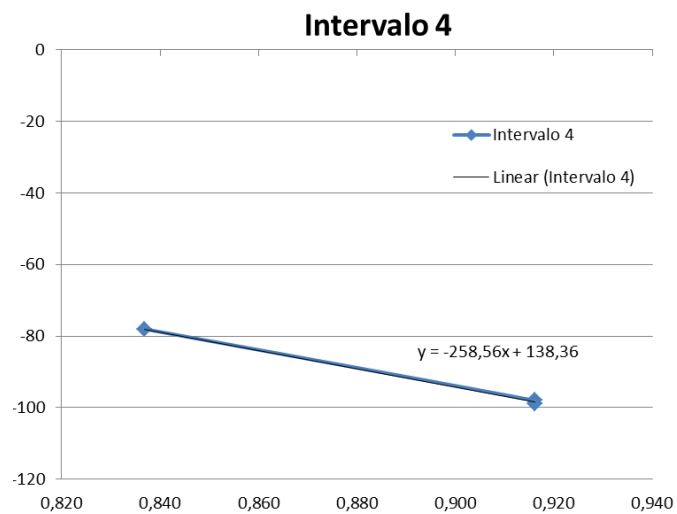


Figura 44 - Equação da reta do ganho do AGC referente ao intervalos 4.

A Tabela 22 apresenta a comparação entre os resultados medidos e representados pelas equações das retas.

TABELA 22 - RESULTADOS MEDIDOS E CALCULADOS PELO AGC PARA RECEPTOR USB FULL-SEG

Rf Level Medido [dBm]	AGCGlobal	Agcglobal/65535 (Normalizado)	Nível Calculado Eq.Reta [dBm]	Erro [dB]
-3	0	0,000	-3,000	0,000
-6	0	0,000	-3,000	-3,000
-6,3	1	0,000	-3,000	-3,300
-6,5	14625	0,223	-6,556	0,056
-7	14652	0,224	-6,987	-0,013
-8	14720	0,225	-8,071	0,071
-8,5	14750	0,225	-8,549	0,049
-9	14770	0,225	-8,868	-0,132
-10	14828	0,226	-9,792	-0,208
-11	14914	0,228	-11,163	0,163
-11,1	24066	0,367	-12,857	1,757
-11,5	24063	0,367	-12,850	1,350
-12	24120	0,368	-12,992	0,992
-15	24465	0,373	-13,854	-1,146
-18	25350	0,387	-16,064	-1,936
-21	26853	0,410	-19,818	-1,182
-24	28350	0,433	-23,557	-0,443
-27	29660	0,453	-26,829	-0,171
-30	31050	0,474	-30,300	0,300
-33	31974	0,488	-32,608	-0,392
-35	32748	0,500	-34,541	-0,459
-38	34661	0,529	-39,319	1,319
-48	42010	0,641	-48,001	0,001
-58	48825	0,745	-58,001	0,001
-78	54840	0,837	-78,004	0,004
-98	60036	0,916	-98,504	0,504
-99	60036	0,916	-98,504	-0,496

Nota-se que entre o intervalo de -30 a -90 dBm, o qual pode-se considerar como a faixa de maior probabilidade de níveis a serem medidos em campo, o erro médio absoluto foi de 0,38 dB, o que tornaria as medidas aceitáveis.

Em um segundo caso, fez-se o mesmo levantamento para um receptor Zinwell com chipset BROADCOM BCM7402 e Tuner TOSHIBA TC90101FG, observou-se a seguinte curva:

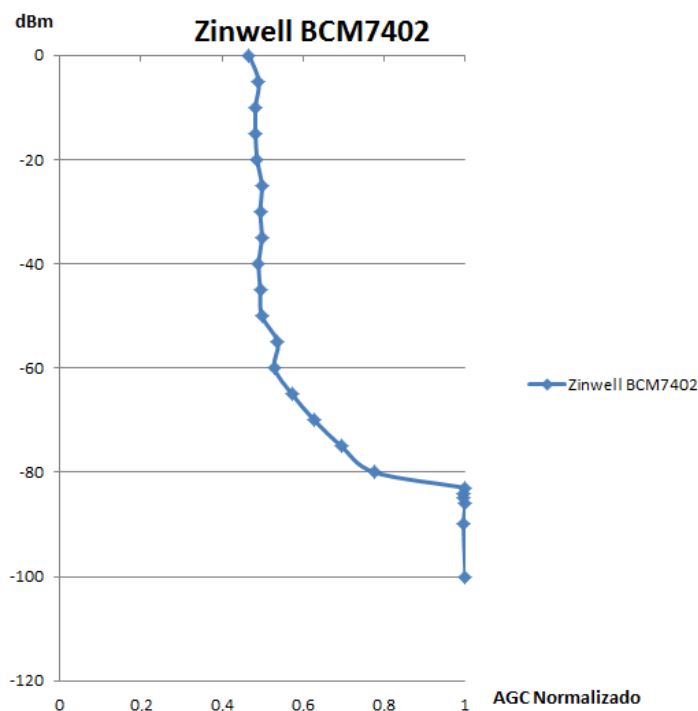


Figura 45 - Ganho AGC - Receptor Zinwell.

Utilizando equações da reta para 3 intervalos diferentes, onde:

Intervalo 1: AGC : 0 a 0,537, Equação: $y = -847,74x + 390,42$,

Intervalo 2 : AGC 0,538 a 0,776, Equação: $y = -79,98x - 18,813$,

Intervalo 3: AGC > 0,776, Equação: $y = -17,994x - 66,047$.

Obteve-se:

TABELA 23 - RESULTADOS MEDIDOS E CALCULADOS PELO AGC PARA ZINWELL BROADCOM -
TUNER TOSHIBA

Rf Level Medido [dBm]	AGCGlobal	Agcglobal/255 (Normalizado)	Nível Calculado Eq.Reta [dBm]	Erro [dB]
-100	255	1,000	-84,041	-15,959
-90	254	0,996	-83,970	-6,030
-86	255	1,000	-84,041	-1,959
-85	254	0,996	-83,970	-1,030
-84	254	0,996	-83,970	-0,030
-83	255	1,000	-84,041	1,041
-80	198	0,776	-80,915	0,915
-75	177	0,694	-74,329	-0,671
-70	160	0,627	-68,997	-1,003
-65	146	0,573	-64,605	-0,395
-60	135	0,529	-61,155	1,155
-55	137	0,537	-65,032	10,032
-50	127	0,498	-31,788	-18,212
-45	126	0,494	-28,463	-16,537
-40	125	0,490	-25,139	-14,861
-35	127	0,498	-31,788	-3,212
-30	126	0,494	-28,463	-1,537
-25	127	0,498	-31,788	6,788
-20	124	0,486	-21,814	1,814
-15	123	0,482	-18,490	3,490
-10	123	0,482	-18,490	8,490
-5	125	0,490	-25,139	20,139
0	119	0,467	-5,192	5,192

Para a mesma faixa entre -30 a -90 dBm, considera-se um erro médio absoluto de aproximadamente 5 dB, indicando que o receptor possui uma menor confiabilidade para uso em levantamento de níveis de sinal em campo. Para uma configuração de

transmissão ISDB-T (64QAM FEC 3/4 TI:200 ms IG:1/8), o limiar de recepção foi de -80 dBm com AGC:198 (0,776).

A seguir, apresentam-se os resultados medidos com um receptor Zinwell no interior de um veículo, com as seguintes configurações:

Medidor: *Set-Top-Box* Zinwell,

Tuner: Toshiba TC90101FG,

Modem: Huawei operadora Claro,

Antena: UHF/VHF Indoor , Ganho: 2,5 dBi,

Altura Aproximada do Solo: 1,5 m,

Frequência: 641,143 MHz,

Limiar de RSSI considerado: -80 dBm,

Velocidade de deslocamento: Variando entre 0 a 120 km/h.

Na Figura 46, é possível observar os pontos na cor verde indicando que a intensidade de sinal foi maior que o limiar considerado para o sistema em determinada localidade, enquanto as marcações em vermelho indicam um nível de sinal abaixo do limite estabelecido.

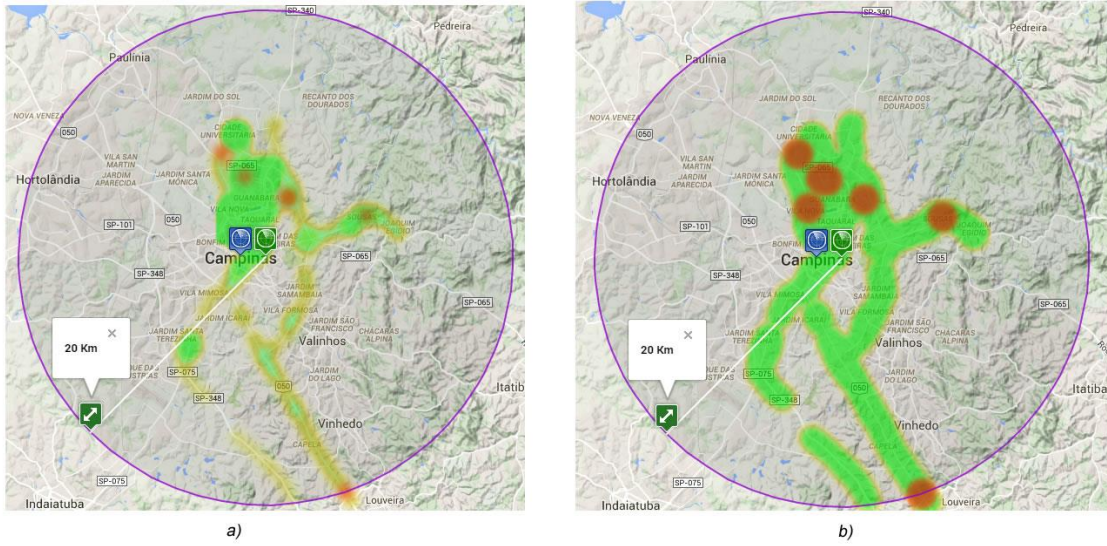


Figura 46 - Cobertura de sinal a 1,5 m do solo para a frequência de 641 MHz, a) Imagem gerada com manchas de calor dinâmicas e b) Imagem gerada com máxima intensidade por ponto.

5.4 Detecção de interferências

Utilizando a mesma metodologia de filtragem por área, através do levantamento em campo e histórico de medidas objetivas como taxa de erro de bits - BER (*Bit Error Rate*) e relação sinal ruído - SNR (*Signal to Noise Ratio*), nota-se a possibilidade de verificar possíveis interferências ao se comparar, por exemplo, as médias diárias de taxa de erro na região de interesse.

A média diária, denominada $\overline{BER}_{dfr}$, para uma determinada data d (AAAA-MM-DD), receptor r e frequência f . É referente à média da taxa BER de todas as medidas coletadas por um receptor específico em um único dia e em uma determinada frequência f , e é representada por:

$$\overline{BER}_{dfr} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N BER_{d,f,r,i} \quad (5.11)$$

Em que,

N indica o total de medidas coletadas por um determinado receptor r na data d .

Uma vez que a média diária depende também da área de interesse, denomina-se $A\{\}$, o filtro de medidas dentro da área escolhida e $\overline{BER}_{dfrA}$, a taxa de erro de bit média diária dentro da área A . Nesse cálculo, primeiramente selecionam-se as medidas dentro de uma determinada área e em seguida realiza-se o cálculo da média levando em conta as medidas coletadas por todos os receptores sintonizados em uma dada frequência f . A média diária da taxa BER dentro da área de interesse é então dada por:

$$\overline{BER}_{dfrA} = A\left\{\frac{1}{N_r} \sum_{r=0}^r \overline{BER}_{d,f,r}\right\} \quad (5.12)$$

Em que,

N_r indica o total de receptores que coletaram medidas na área de interesse na data d e frequência f .

A Figura 47 ilustra o gráfico dinâmico gerado a partir das médias diárias das taxas BER na frequência 641 MHz em uma área de 1256 km² tomando como referência a cidade de Campinas, SP.

Para o gráfico em questão, utilizou-se um limite de $BER=1 \times 10^{-6}$, onde uma média diária dentro da região acima do limite poderá indicar uma possível interferência.

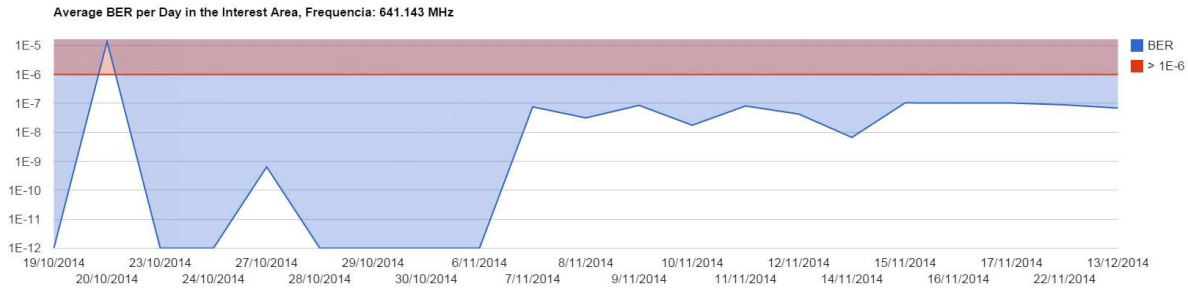


Figura 47 - Variação da taxa de erro de bit por região ao longo do tempo.

A mesma lógica foi utilizada para as medidas de SNR (*Signal to Noise Rate*), calculando-se $\overline{SNR}_{dfr}$ e $\overline{SNR}_{dfrA}$. A Figura 48 apresenta o gráfico com as médias diárias de SNR para a mesma área e período de interesse.

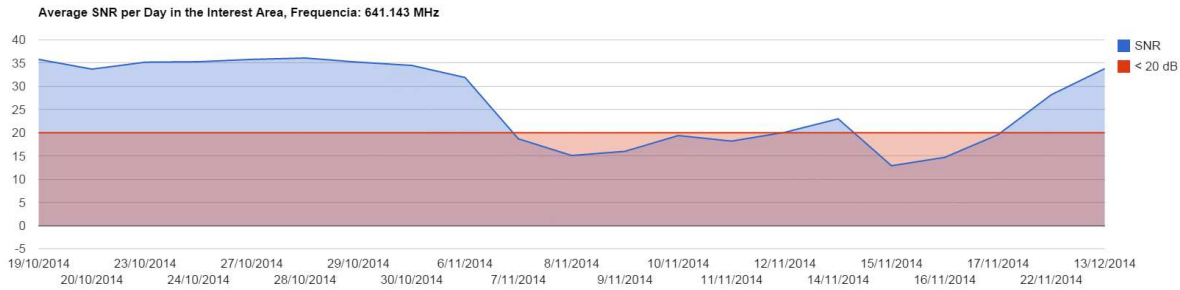


Figura 48 - Variação da taxa SNR para região ao longo do tempo.

Observa-se um decaimento na qualidade dos sinais a partir dos gráficos entre os dias 07/11 e 17/11, principalmente devido à coleta de medidas em deslocamento, que estão sujeitas a interferências adicionais como multipercursos e efeito *Doppler*.

5.5 Estatística de audiência

Atualmente a estatística de audiência de TV no Brasil é realizada por dois grupos privados concorrentes, o Ibope e o grupo alemão Gfk.

Considera-se a medição de audiência uma das informações mais importantes para mídia televisiva no Brasil. O Ibope, por exemplo, oferece uma série de serviços voltados a esse mercado, desde um *ranking* de emissoras até a otimização de planos de mídia.

Entre os serviços oferecidos encontram-se: consulta de audiência de TV em tempo real, análises de audiência de TV, planejamento de mídia televisiva, audiência de TV em público-alvo comportamentais, relatórios e análises de audiência personalizados, entre outros.

Até surgirem as primeiras técnicas de medição de audiência, segundo [83] os métodos utilizados possuíam baixa confiabilidade. A primeira metodologia utilizada foi a do flagrante ou visita. Os pesquisadores do Ibope visitavam cada família para saber o que estavam assistindo e utilizavam uma amostra desenhada para representar a população e orientar as entrevistas.

Por volta de 1950, havia o hábito de a família inteira ficar em frente à TV e, por isso, não se media a audiência de pessoas, mas de domicílios. Essa técnica foi utilizada na maioria dos estados por vários anos até 1986.

Por volta de 1970, o IBOPE adquiriu uma empresa que media a audiência através de *meters*, máquinas que registravam em que canal cada casa estava sintonizada.

Esse aparelho, o tevêmetro, registrava a sintonia de um grupo de domicílios que passou a fazer parte de uma metodologia de painel. As máquinas eram instaladas nas casas das pessoas e funcionavam com um tipo de fita de telex que ia registrando a audiência minuto a minuto.

Para a escolha de domicílios, são pesquisadas as bases do IBGE para saber quantos domicílios existem por região, como eles estão divididos, qual é o percentual de pessoas por sexo, por faixa etária, perfil socioeconômico, presença de crianças no domicílio, etc. Quanto mais representativa for a amostra ou domicílio escolhido, mais próximo é o resultado do resultado de toda a população.

O Ibope atualmente apresenta uma solução que representa 54% dos domicílios com TV, alcançando as principais capitais e aglomerações urbanas com mais de 100 mil habitantes das regiões Sul e Sudeste e com mais de 200 mil habitantes das regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte.

Os domicílios que atendem às características representativas de cada região são sorteados. Para aumentar o interesse na monitoração, as famílias muitas vezes recebem brinquedos, doces e participam de sorteios mensais com prêmios em dinheiro.

Na grande São Paulo, até 1992, o número de domicílios monitorados era de 256, em 2012 chegou a 660 e no Brasil a 2,2 mil [83].

Analisando o método atual, verifica-se que entre as desvantagens da solução, está a necessidade de deslocamento de técnicos para certos domicílios onde não há canal de retorno para que seja possível a leitura das informações. Outra desvantagem é o fato dos residentes terem conhecimento de sua representatividade e portando o seu poder de influenciar as estatísticas, bastando apenas deixar o televisor ligado em um determinado canal, sem a presença de nenhum telespectador. Em 2012, 1% de audiência no IBOPE correspondia a 127 mil domicílios, ou seja, 479 mil pessoas do PNT (Painel Nacional de TV) em média. Dessa forma uma manipulação do tempo em um certo canal representaria 479 mil domicílios assistindo aquela programação. Outra questão é o mau uso das informações. Segundo o Ibope, os veículos de mídia costumam ignorar as estatísticas fornecidas pelos outros estados, utilizando como referência apenas os dados de São Paulo, conseqüentemente o número de domicílios representados por um ponto seria maior do que 479 mil.

Segundo [85] [83], entre as principais novidades do grupo Gfk na forma de aferir os dados, estão o tamanho da amostra (8.000 residências, 35% maior do que o Ibope) e a medição de audiência dos programas gravados e assistidos posteriormente, além da audiência que utiliza *tablets*, computadores e celulares.

A presente proposta apresenta uma solução objetiva para a medição de audiência dos canais digitais, podendo contribuir significativamente no aumento do número de domicílios monitorados, tornando a medição automática, sem a necessidade de deslocamento de técnicos aos locais de medição.

5.5.1 Identificação do programa sintonizado

Para a identificação dos programas sintonizados, utilizaram-se as informações das tabelas transmitidas pelo MPEG-2 *Transport Stream* (TS).

O MPEG-2 TS (*Transport Stream*) ou Fluxo de Transporte [37] é um formato padronizado para a transmissão e armazenamento de áudio, vídeo, dados e protocolos

para informação sobre os programas e sistema (PSIP). O formato TS é especificado no padrão MPEG-2 Parte 1 ou ISO/IEC 13818-1, ITU-T Rec.H222.0. O *Transport Stream* especifica um formato de *container* encapsulando o fluxo dos pacotes PES (*Packetized Elementary Stream*), incluindo códigos corretores de erros e informações para o sincronismo das *streams* com o objetivo de manter a integridade dos pacotes na transmissão quando um sinal é degradado.

A Figura 49 ilustra de forma simplificada um exemplo de alguns serviços sendo transmitidos em um fluxo de transporte.

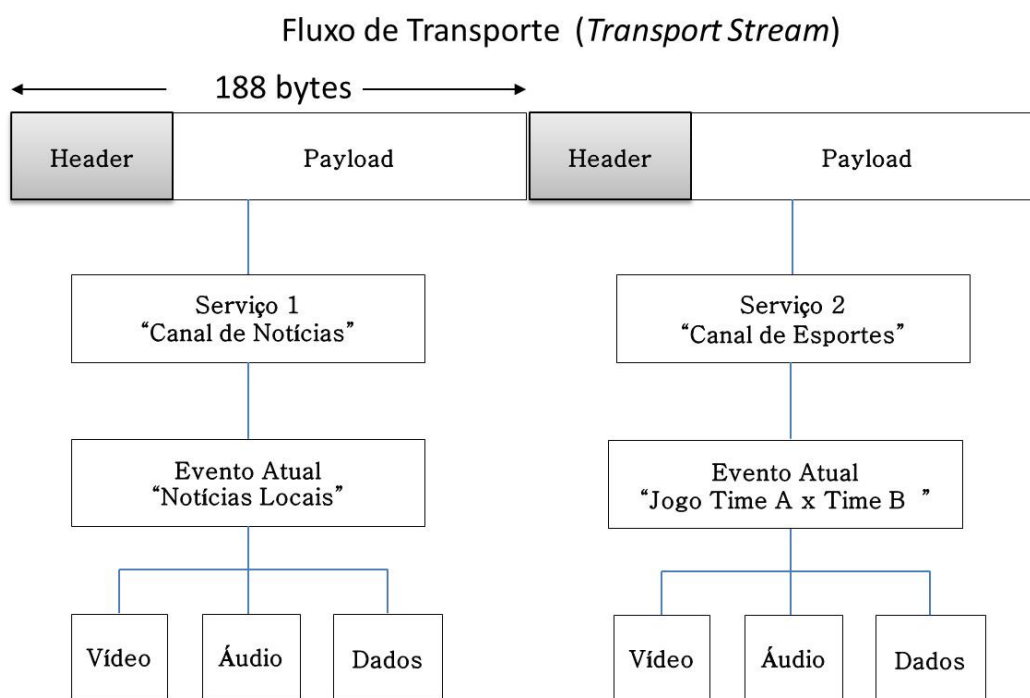


Figura 49 - Exemplo de serviços em um *Transport Stream*.

A taxa de bits do TS pode ser fixa ou variável e depende das taxas *streams* elementares. As informações de taxas da TS são definidas pelos valores e localização dos campos PCR (*Program Clock Reference*), os quais, em geral, são campos separados para cada programa.

A Figura 50 ilustra graficamente a sintaxe do *Transport Stream*, para melhor visualização, alguns campos reservados foram omitidos ou indicados em blocos sem descrição.

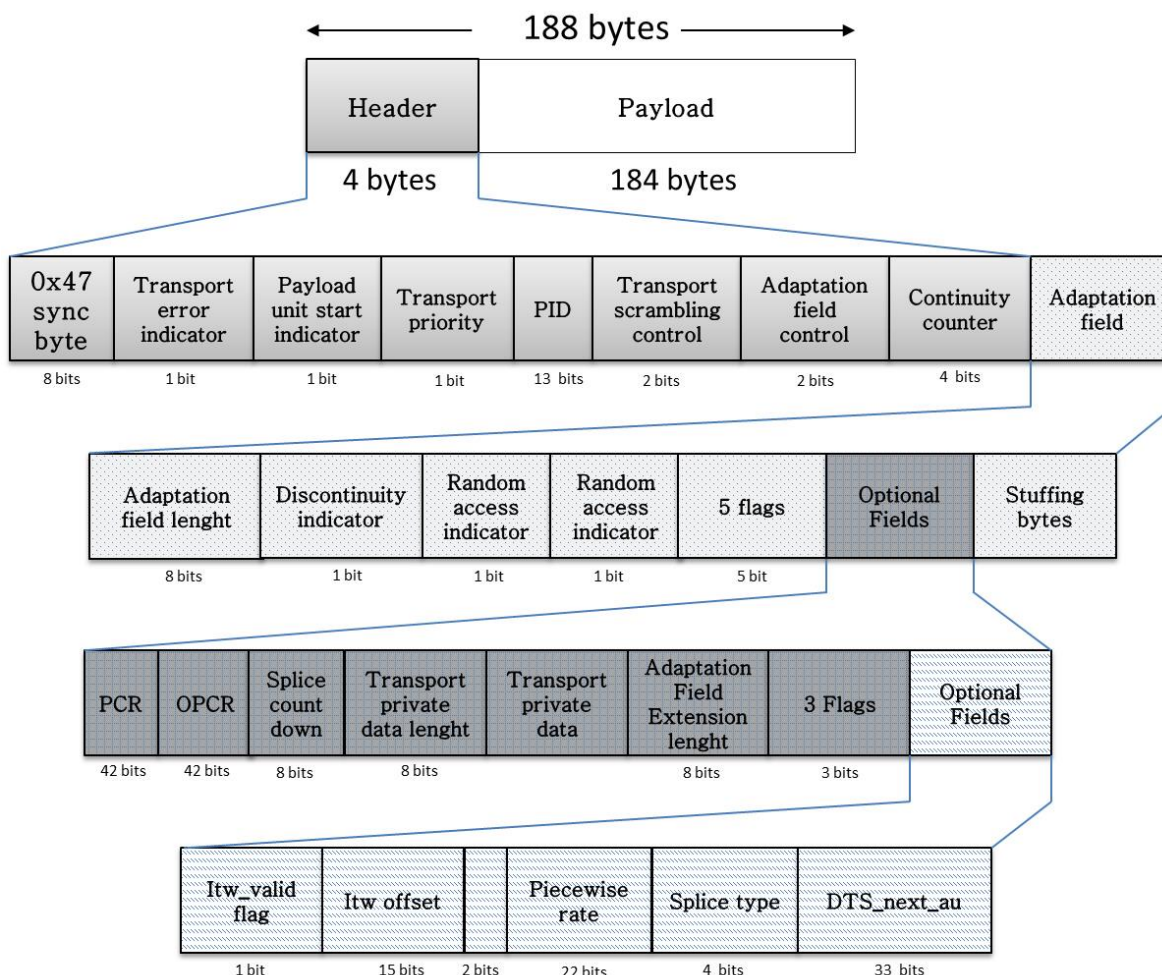


Figura 50 - Diagrama da sintaxe do *Transport Stream*.

No pacote TS formado por 188 bytes, 4 bytes são utilizados para cabeçalho, os demais bytes podem ser utilizados pelo campo de adaptação e informação útil. No cabeçalho, é necessário determinar a palavra de sincronismo (0x47), assim como a identificação do pacote através do identificador de pacotes PID (*Packet Identifier*), entre várias outras informações para identificação, correção de erros e sincronismo dos pacotes. Cada pacote de TS deve conter informação de um único pacote PES.

Como o *Transport Stream* possui vários programas e serviços, sua decodificação é mais complexa, o que exige o uso de metadados para dizer ao decodificador o que decodificar.

Para isso existem tabelas específicas de programas (PSI), que são pacotes padronizados e possuem PID (*Packet Identifier*) específicos. As tabelas PSI contêm as informações necessárias para demultiplexação e apresentação dos programas transportados pela TS. As tabelas PSI são transmitidas com uma certa regularidade e são listadas a seguir.

TABELA 24 - TABELAS PSI E PID ESPECÍFICO

Tabelas PSI	PID Específico
Program Association Table (PAT)	0x0000
Program Map Table (PMT)	Variável definido pelo Operador
Conditional Access Table (CAT)	0x0001
Network Information Table (NIT)	0x0010

As tabelas específicas para o acesso aos dados de interesse são [17] [42]:

PMT (*Program Map Table*): Essa tabela possui um PID determinado pelo operador de transmissão. Para cada programa é transmitida uma tabela PMT que lista todos os *Elementary Stream* que formam um programa. Além das tabelas definidas no padrão MPEG-2, cada padrão de TV Digital define novas tabelas. Entre elas estão às tabelas de *Service Information* (SI) definidas no padrão DVB e que são descritas a seguir, são elas SDT, EIT, TDT e RST.

NIT (*Network Information Table*): Essa tabela é opcional e possui um PID específico 0x0010, lista informações sobre a rede física, como ordem de modulação QAM, RF, frequência de cada *Transport Stream*, parâmetros da modulação e nome da operadora de rede.

SDT - (Service Description Table): Essa tabela possui um PID específico 0x0011, lista o nome e outras informações relativas a todos os serviços que estão no *Transport Stream* como presença de criptografia e eventos.

EIT - (Event Information Table): Essa tabela possui um PID específico 0x0012, possui informações sobre o evento atual e dos eventos passados e futuros, como horário de início, duração, descrição. Essa tabela é útil para a construção do EPG (*Electronic Service Guide*).

TDT/TOT - (Time and Date/ Time Offset Table) : Essas tabelas possuem um PID específico 0x14, sincronizam o receptor com informações de hora e data e diferença entre a hora local e a hora UTC (*Coordinated Universal Time*).

RST - (Running Status Table): Essa tabela possui um PID específico 0x0013, indica o estatus de um evento, a informação é permanentemente atualizada e permite a mudança para um determinado evento quando este se inicia.

A PSI (*Program System Information*) e SI (*System Information*) MPEG-2, DVB mandatórias e opcionais e a PSI/SI do Sistema SBTVD mandatórias e opcionais são apresentadas na Tabela 25.

TABELA 25 - TABELAS MPEG-2, DVB E SBTVD

Tabelas	PID	DVB			SBTVD		
		MPEG-2 System (PSI)	Tabelas Mandatórias (SI)	Tabelas Opcionais (SI)	MPEG-2 System (PSI)	Tabelas Mandatórias (SI)	Tabelas Opcionais (SI)
PAT	0x0000	✓			✓		
CAT	0x0001	✓			✓		
PMT	Variável	✓			✓		
NIT	0x0010	✓			✓		
SDT	0x0011		✓				
EIT	0x0012		✓				
TDT	0x0014		✓				
RST	0x0013		✓				
BAT	0x0011			✓		✓	
TOT	0x0014			✓		✓	
PCAT	0x0022					✓	
ST	Exceção 0x0000 0x0001 0x0014			✓			
BIT	0x0024					✓	
NBIT	0x0025					✓	
LDT	0x0025					✓	
EMM				✓			
ECM				✓			
Pacotes Nulos	0x1FFF			✓		✓	

Utilizando os mesmos filtros de área para as medidas de RSSI, BER e SNR, através da marcação temporal de cada medida, primeiramente, soma-se os tempos entre as medidas coletadas, as quais foram sintonizadas sequencialmente em um mesmo canal por um receptor específico. Após a soma dos tempos de cada receptor para cada canal, somam-se os tempos totais entre todos os receptores da área de interesse. Como a solução se baseia em amostragens fixas de sinais, é necessário observar que um tempo

de amostragem longo pode inviabilizar a soma dos tempos, uma vez que o usuário poderá mudar diversas vezes de canal durante o intervalo de coleta de dados, tornando necessário limitar o tempo de amostragem ou forçar o receptor a transmitir os dados durante a troca de canais.

Para a soma dos tempos foram utilizadas as seguintes equações:

$$T_{f,r}(t_1, t_2) = \sum_{n=0}^{N-1} Ts_{n+1} - Ts_n, \text{ onde } t_1 \leq Ts \leq t_2 \quad (5.13)$$

Em que,

Ts : Representa a marcação temporal da medida ou *TimeStamp* da medida.

$T_{f,r}(t_1, t_2)$: Representa a função soma das diferenças temporais dos marcadores de tempo Ts armazenados para cada medida coletada por um receptor r sintonizado por em uma dada frequência f em um intervalo de datas Δt ($t_2 - t_1$).

N representa o número total de medidas coletadas por um único receptor r dentro do intervalo Δt ($t_2 - t_1$) e, n representa o índice ordenado em ordem crescente de *Timestamps* Ts .

Sendo a soma total dos tempos de todos os receptores sintonizados em determinada frequência no intervalo de datas Δt , determinado por,

$$T_f(t_1, t_2) = \sum_{r=0}^{R-1} T_{f,r}(t_1, t_2) \quad (5.14)$$

Em que,

R representa o total de receptores com medidas disponíveis na dada frequência de interesse f .

Uma vez que a soma temporal deve ocorrer apenas para os receptores dentro de um determinada área de interesse, denomina-se $A\{ \}$, o filtro de medidas dentro da área determinada e $T_{A,f}$, o tempo total de todos os receptores r sintonizados em uma dada

frequência f dentro da área escolhida. Após a somatória, é possível obter os percentuais relativos ao tempo sintonizado ou tempo de audiência em cada frequência e em cada programa.

$$T_{A,f}(t_1, t_2) = A\{T_f(t_1, t_2)\} \quad (5.15)$$

Obtendo-se dessa forma os seguintes gráficos,

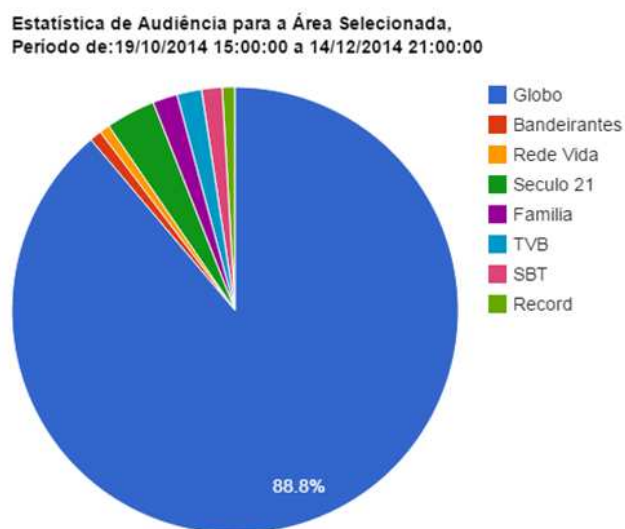


Figura 51 - Percentual de tempo de canais sintonizados nos testes na área de interesse.



Figura 52 - Percentual de tempo de programas sintonizados nos testes na área de interesse na frequência de 641 MHz.

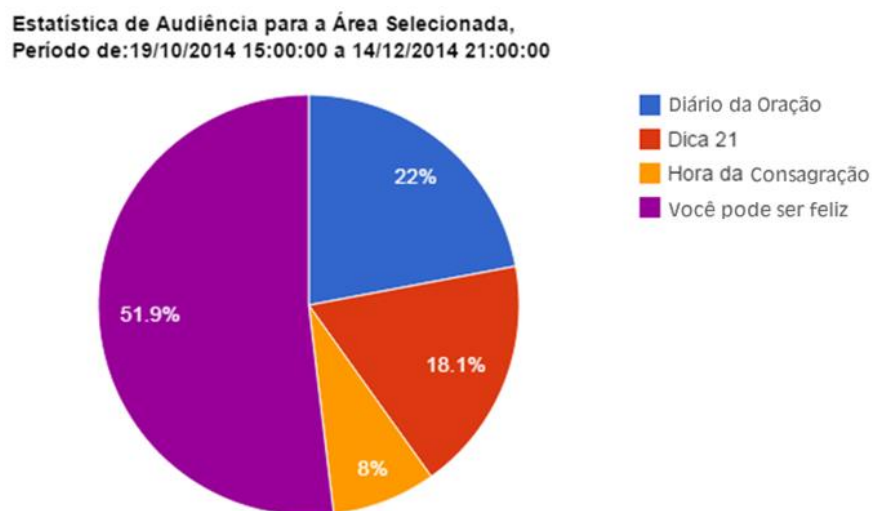


Figura 53 - Percentual de tempo de programas sintonizados nos testes na área de interesse na frequência 653 MHz.

Para o levantamento das demais informações como o percentual de pessoas por sexo, por faixa etária, o perfil sócio-econômico, a presença de crianças no domicílio, entre outros fatores observados pelo método do Ibope, foi proposto pelo projeto Stb-Scan, o uso de formulários utilizando o padrão Ginga NCL, o qual seria capaz de habilitar ou cancelar a contribuição de um determinado receptor à estatística de audiência. A Figura 54 apresenta o *layout* do formulário proposto.

STB-SCAN

SINAL CADASTRO PARÂMETROS CLIMA

CADASTRO DE USUÁRIO

0800 721 7467

Mac Address 12:34:56:82:84:2A

Apelido

CEP

Logradouro

Complemento

Bairro

Cidade

UF

Shopfato.com

Figura 54 - *Layout* de formulário em NCL-Ginga para cadastro de dados de usuário.

Verificou-se também através das aplicações do projeto, a possibilidade de conexão de diferentes dispositivos aos receptores, como GPS e modem 3G aos *Set-Top-Box*.

Dessa forma, como evolução dos métodos propostos pelo Ibope e Stb-Scan, uma opção para o levantamento de informações por domicílio sem a necessidade de utilização de formulários, seria o uso de sensores de movimento conectados aos receptores, coletando assim informações como a quantidade de pessoas que estão diante dos televisores, além da possibilidade de identificação de movimentos e gestos dos telespectadores, entre outras informações. Porém, para essa finalidade, seria interessante que este recurso esteja presente nas próximas gerações de TV.

Um exemplo de sensor que poderia ser conectado aos receptores de TV ou SmartTV's para testes, seria o dispositivo *Microsoft Kinect*. A Figura 55 ilustra um possível cenário onde o sensor estaria conectado a um receptor de TV para a detecção de número de telespectadores e gestos.



Figura 55 - Exemplo de sensor de movimento conectado a um receptor de TV.

Embora esse tipo de aplicação possa invadir a privacidade dos usuários, é comum que as empresas interessadas estimulem os usuários a autorizar o acesso às informações em troca de benefícios como premiações, bônus ou algum tipo de pontuação ou vantagem.

Os gráficos obtidos nesse capítulo indicam a possibilidade real de obtenção de dados de estatística de audiência, a partir de receptores comerciais comuns, através de atualização de software e geolocalização.

Capítulo 6

Predição de cobertura de sinais

6.1 Introdução

Outra aplicação proposta nesse trabalho é referente ao uso de modelos de propagação de rádio com objetivo de estimar o nível do sinal em áreas onde não houve coleta de dados, além da possibilidade de comparação entre os resultados das medidas coletadas e dos valores estimados.

Aponta-se como inovação, o uso do ambiente *Web* para acesso aos mapas e geração de imagens das manchas obtidas por modelos de predição, tornando possível a execução dos algoritmos tanto no lado do cliente como nos servidores da aplicação.

A maioria dos modelos de propagação é derivada de combinações de métodos analíticos e empíricos. A abordagem empírica é baseada no ajuste de curvas ou no uso de expressões analíticas as quais recriam um conjunto de dados medidos. Essa abordagem tem como vantagem levar em conta todos os fatores de propagação de forma implícita, sejam eles os conhecidos ou desconhecidos, através de medidas em campo. Entretanto, a validade do modelo empírico para uma determinada frequência ou em outros ambientes diferentes daquele utilizado para derivar o modelo, poderá apenas ser utilizada através da medição de novos dados no novo ambiente e na frequência escolhida [90].

Ao longo do tempo, alguns modelos de propagação clássicos foram definidos, os quais, hoje, são utilizados para predição de cobertura de grandes áreas. Através do uso de modelos de propagação, estimam-se os níveis de sinal em função das distâncias,

tornando possível também a predição da SNR a partir da determinação do piso de ruído do sistema de recepção.

Os modelos de propagação se diferenciam para ambientes externos (*outdoor*) e internos (*indoor*). A propagação de sinais em ambientes externos normalmente se dá sobre terrenos irregulares. O perfil do terreno deve ser levado em conta para estimar a perda de propagação. O perfil de um terreno pode variar desde um perfil com simples curvatura da terra a uma alta cadeia montanhas. A presença de árvores, prédios e outros obstáculos também devem ser levados em conta. Atualmente existe uma gama de modelos propagação para terrenos irregulares, os quais variam em complexidade e precisão. A maioria dos modelos se baseia em interpretações sistemáticas dos dados medidos na área de interesse.

Os três principais mecanismos relacionados à propagação de ondas eletromagnéticas são a reflexão, difração e espalhamento.

Em ambientes urbanos, é comum a presença de um alto número de prédios e objetos. A recepção normalmente se dá sem linha de visada ou NLOS (*Non-Line-of Sight*) e o sinal é então recebido com desvanecimento devido aos vários multipercursos.

Para a aplicação dos modelos de propagação, os principais fatores a serem levados em conta são [90]:

- Elevação,
- Perda no espaço livre,
- Zona de Fresnel,
- Difração por efeito ponta de faca,
- Tipo de solo,
- Coeficientes de reflexão do tipo de solo ou material.

Para a execução dos algoritmos de predição, nesse trabalho, foi sugerido que para a obtenção de mapas e geração das manchas de intensidade de sinais, fossem utilizados os *Web Map Services*.

A seguir são apresentadas algumas vantagens no uso de sistemas *Web* para a execução dos modelos de propagação:

Vantagens:

- Pode ser executado em qualquer máquina com diferentes sistemas operacionais (Linux, MAC, Windows, *Tablets*),
- Não é necessário o download de grandes arquivos,
- Não é necessária a instalação e atualização,
- Facilidade no uso.

Desvantagens:

- Requer conectividade com a Internet.
- Limitação dos navegadores

6.2 Dados de elevação

A missão espacial de topografia por radar conhecida com *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) ocorreu no ano 2000 com duração de 11 dias [86] [87], foi realizada em conjunto pela Agência Espacial Norte-Americana - NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), a Agência de Inteligência Geospacial Americana - NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), o Departamento de Defesa dos Estados Unidos - DoD (*United States Department of Defense*), a Agência Espacial Alemã - DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*) e a Agência Espacial Italiana - ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*), com o objetivo de mapear o relevo da área continental da terra com interferometria de radar de abertura sintética (InSAR), entre 60° de latitude norte e 54°

de latitude sul, o que corresponde a aproximadamente 80% das áreas emersas do planeta.

Os princípios da InSAR foram desenvolvidos no início dos anos 1980 [87]. A altitude de um ponto na superfície terrestre pode ser determinada a partir da diferença de fase entre reflexões de um mesmo sinal de radar captado por dois receptores distantes um do outro [88].

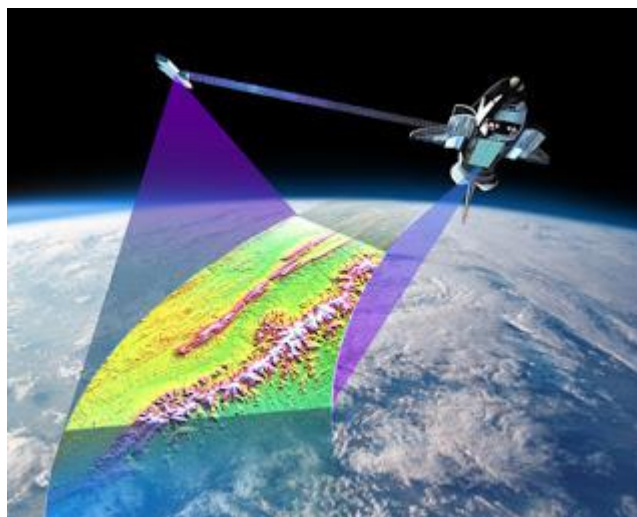


Figura 56 - Módulo espacial *Endeavour* com duas antenas separadas para diferenciar a fase das reflexões.

No caso da missão SRTM, os canais principais de transmissão e recepção para as bandas C (5,3 GHz) e X (9,6 GHz) foram posicionados na área de carga do ônibus espacial *Endeavour*, enquanto as antenas secundárias (somente recepção) foram colocadas na extremidade de um mastro retrátil de 60 m de comprimento.

Os dados brutos foram processados pela NASA e, apesar de obtidos com resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m no equador), foram disponibilizados inicialmente com este nível de detalhe apenas para a área dos Estados Unidos. Para os demais países, houve uma reamostragem dos dados para 3 segundos de arco (aproximadamente 90 m) de resolução espacial.

O produto final possui precisão vertical global de ± 16 m e horizontal de ± 20 m [88]. Para a América do Sul, a precisão vertical é de 6,2 m e a horizontal de 9,0 m [89]. O

produto é georreferenciado ao datum WGS84 em coordenadas geográficas decimais e pode ser obtido via internet.

Como resultado das técnicas empregadas na missão SRTM, obtém-se modelos digitais de elevação ou MDEs, os quais consideram a altitude de elevação pelo dossel das árvores para áreas densamente florestadas e altitude de edifícios em densas áreas urbanas considerando um comprimento de onda de aproximadamente 5,6 cm.

A Figura 58 ilustra a diferença no perfil do terreno obtidos pelo USGS NED (*National Elevation Dataset*) e dados SRTM na área de Manhattan, Nova Iorque.

Observa-se que há uma grande diferença entre as altitudes, confirmando a presença dos altos picos, provavelmente formados pelas edificações.

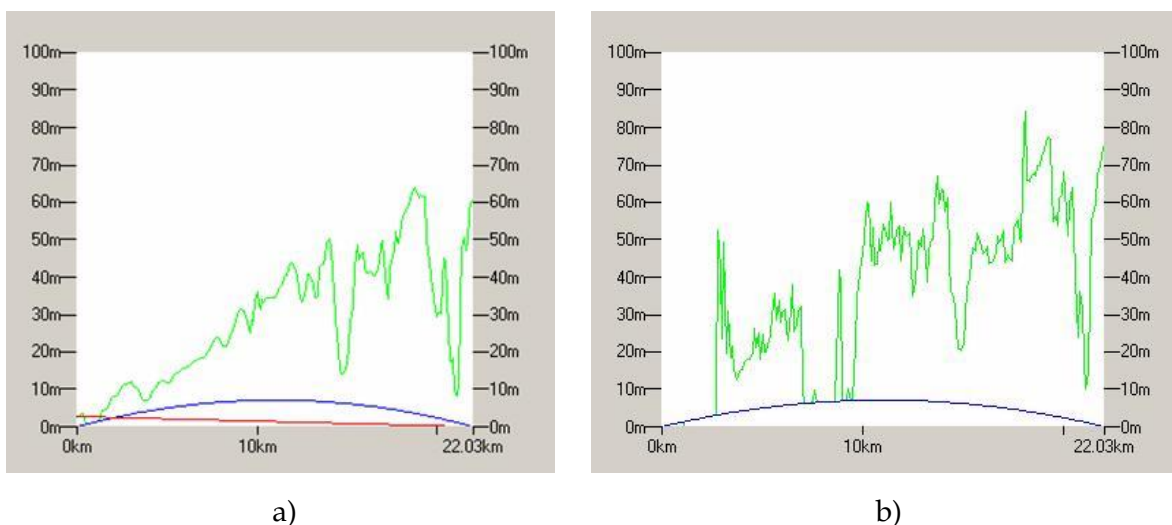


Figura 57 - Diferenças de perfil utilizando os dados de elevação a) NED e b) SRTM, referentes a área de Manhattan, Nova Iorque.

Os modelos conhecidos como MDT (Modelo Digital de Terreno) e MNT (Modelo Numérico de Terreno) consideram os valores de altitude do nível do solo, obtidos, por exemplo, em mapas topográficos, levantamentos por GPS ou pela técnica de altimetria a laser também conhecida como LiDAR.

Uma característica importante a ser observada é a metodologia empregada na reamostragem dos dados originais para 3 segundos de arco. Os dados distribuídos pelo

USGS (Serviço Geológico dos Estado Unidos) foram gerados a partir da média dos valores originais, em uma janela de 3x3 pixels, o que resulta em um modelo suavizado com relação ao original. Os dados disponibilizados pela NASA foram gerados a partir do valor do pixel central da janela 3x3 e, portanto possuem informações dos dados originais conforme apresentado através da Figura 58 [88].

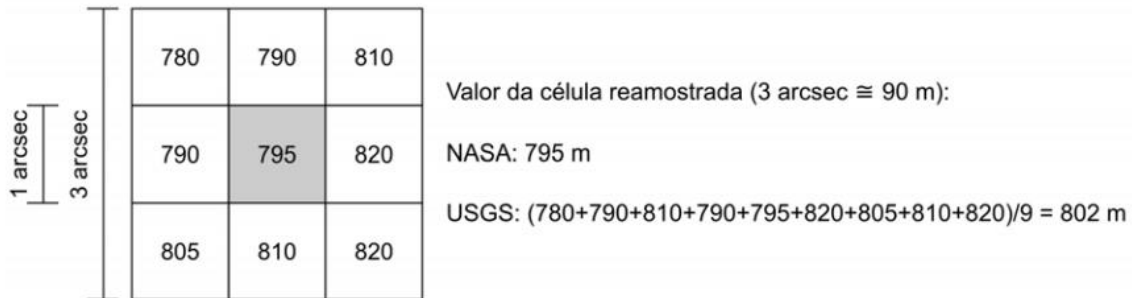


Figura 58 - Métodos de reamostragem dos dados SRTM utilizados pela NASA e pelo USGS, para geração dos modelos com resolução de 3 segundos de arco.

No dia 23 de setembro de 2014, foi anunciado pelo governo americano a disponibilidade pública de dados SRTM com resolução espacial de 30 metros para as demais áreas do planeta. Além da disponibilidade de dados de SRTM, outros serviços disponibilizados através de *Web-Services* como USGS e Google são disponibilizados. Nota-se que o serviço de elevação fornecido gratuitamente com limitação de uso pela empresa Google, o qual utiliza uma variedade de fontes para se obter dados de elevação, tem obtido uma melhor resolução quando comparado aos demais. Os dados de elevação do serviço do *Google Elevation* [89] incluem a elevação em locais profundos do oceano, os quais não são obtidos através dos dados de SRTM.

Neste trabalho, primeiramente os dados de elevação foram obtidos a partir de *Web-Services* dos servidores Google, onde a cada requisição são informadas diferentes resoluções, podendo-se alcançar poucos metros conforme a descrição do script JSON indicado na Figura 59, o qual é resultante de uma requisição do serviço do *Google Elevation*.

O serviço é gratuito, porém, limita-se a 2500 requisições por dia, sendo 512 locais por requisição, além de limitar a taxa de requisição do serviço.

```
{
  "results": [
    {
      "elevation": 1608.637939453125,
      "location": {
        "lat": 39.73915360,
        "lng": -104.98470340
      },
      "resolution": 4.771975994110107
    }
  ],
  "status": "OK"
}
```

Figura 59 - Script JSON resultante do serviço Google *elevation*.

A seguir define-se o limiar de intensidade de sinal para a execução da predição de sinais.

6.3 Limiar de recepção padrão SBTVD

Para o cálculo do limiar de recepção do padrão SBDTV e uso nas aplicações de predição de sinais, utilizou-se como referência a norma do sistema brasileiro de TV digital ABNT NBR 15608-1:2008 [102], recomendada através da Tabela 26, onde indica os níveis de limiar para o cálculo do *Link Budget* do padrão SBTVD.

TABELA 26 - INTENSIDADE MÍNIMA PARA RECEPÇÃO COM ANTENA EXTERNA

Fator	Símbolo	VHF Baixo	VHF Alto	UHF	Equação
Largura de faixa (MHz)	B	6			
Constante de Boltzmann (Ws/K)	k	$1,38 \times 10^{-23}$			
Temperatura Absoluta (K)	T	290			
Ruído Térmico (dBm)	Nt	-106,20			$Nt = kTB$
Figura de Ruído do Receptor (dB)	Nr	10			Testes de Laboratório realizados no Brasil [22]
Limiar de C/N (dB)	C/N	15+D			D = 0 para ATSC D = 2 para COFDM FEC 2/3 D = 4 para COFDM FEC 3/4
Mínima Potência do Sinal (dBm)	Ps	-81,2+D			$Ps \text{ (dBm)} = Nt \text{ (dBm)} + Nr \text{ (dB)} + C/N \text{ (dB)}$
Frequencia Central (MHz)	fb	69	194	592	Média Geométrica dos Extremos da Faixa
Comprimento de Onda (m)	λ	4,35	1,55	0,51	$\lambda + 300 / fb$
Área Efetiva da Antena Isotrópica (dBm2)	Ai	1,77	-7,21	16,90	$Ai = \lambda^2 / (4 \pi)$
Ganho do Dipolo de Meia Onda em relação à Antena Isotrópica (dBi)	Gi	2,15			
Ganho da Antena em relação ao Dipolo de meia Onda (dBd)	G	4,5	6,5	10	Antena Comercial
Impedância Intrínseca (Ω)	η	120π			
Fator de Dipolo (dBm-DbuV/m)	Kd	-111,84	-120,82	-130,51	$Kd = (Ai Gi) / \eta$
Perda em cabos (dB)	Lf	1	2	4	
Margem frente à Ruído Impulsivo	Mm	6	1	0	
Intensidade de Campo Mínima (dBuV/m)	Emin	33,14 + D	36,12 + D	43,31 + D	$Emin \text{ (dBuV/m)} = Ps \text{ (dBm)} + Lf \text{ (dB)} + Mm \text{ (dB)} - G \text{ (dBd)} - Kd \text{ (dBm- dBuV/m)}$

Considerando os valores indicados na tabela, considerando $D = 2$ para 64-QAM COFDM FEC 2/3 e $D = 4$ para 64-QAM COFDM FEC 3/4, tem-se:

TABELA 27 - VALORES REFERENCIADOS DE INTENSIDADE MÍNIMA E C/N PARA RECEPÇÃO COM ANTENA EXTERNA

Configuração	D	$E_{\min}(\text{dBuV/m})$	$P_{\min}(\text{dBm})$	C/N(dB)
COFDM FEC 2/3	2	35,14	-79,2	17
COFDM FEC 3/4	4	37,14	-77,2	19

Na Tabela 28 [17], observa-se os resultados obtidos através de simulações, indicando quais seriam os limites de SNR em canais AWGN para as várias configurações do padrão ISDB-T, a Tabela 28 indica o valor de SNR mínimo para o limiar de BER de 3×10^{-6} após o decodificador de Reed-Solomon e 2×10^{-4} após a saída do decodificador de Viterbi.

TABELA 28 - VALORES SIMULADOS DE SNR PARA RECEPÇÃO COM ANTENA EXTERNA

Configuração	Taxa	$\text{SNR}_{\min}[\text{dB}]$
QPSK	1/2	2,3
QPSK	2/3	4,1
QPSK	3/4	5,1
QPSK	5/6	6,2
QPSK	7/8	6,9
16-QAM	1/2	8,1
16-QAM	2/3	10,1
16-QAM	3/4	11,3
16-QAM	5/6	12,5
16-QAM	7/8	13,2
64-QAM	1/2	13,2
64-QAM	2/3	15,8
64-QAM	3/4	16,8
64-QAM	5/6	18,2
64-QAM	7/8	19,0

Os valores de simulação marcados na Tabela 28 quando comparados à norma do padrão SBTVD, indicam uma diferença entre 1,2 e 2,2 dB.

6.4 Simulação de modelos de propagação

Utilizando a API do Google Maps V3 [103], após o posicionamento em mapas das posições das estações transmissoras, foi desenvolvida a opção de predição de cobertura. Para a predição de cobertura, foram considerados os seguintes fatores:

- Localização da estação (Latitude e Longitude em graus decimais),
- Frequência de operação (MHz),
- EIRP (dBm),
- Altitude da estação em relação ao nível do mar (m),
- Altura da antena transmissora em relação à altitude da estação (m),
- Altitude da antena receptora em relação ao solo(m),
- Ganho da antena receptora (dBi),
- Distância entre antena transmissora e receptora (km),
- Diagrama de radiação (Antena Isotrópica),
- Modelo de propagação,
- Número de pontos por linha.

Para a simulação, definiu-se primeiramente a distância de cobertura de interesse d em torno de uma determinada estação de transmissão em quilômetros. Como segundo passo, dividiu-se a distância d em um número finito de pontos pré-determinados, sendo o número de pontos igual a 2^n para n de 3 a 11. A distância entre a estação de transmissão e um determinado ponto é indicada por $d(T_x, P_n)$, após a definição dos pontos, definiu-se um passo em graus i para a simulação.

Para cada ponto P_n , encontraram-se os dados de elevação através de serviços da *Web* como USGS, *Google Elevation* ou base SRTM.

As requisições de elevação foram realizadas por linha de forma assíncrona.

A Figura 60 ilustra a divisão do raio de cobertura determinado, dividido por n pontos com passo de i graus.

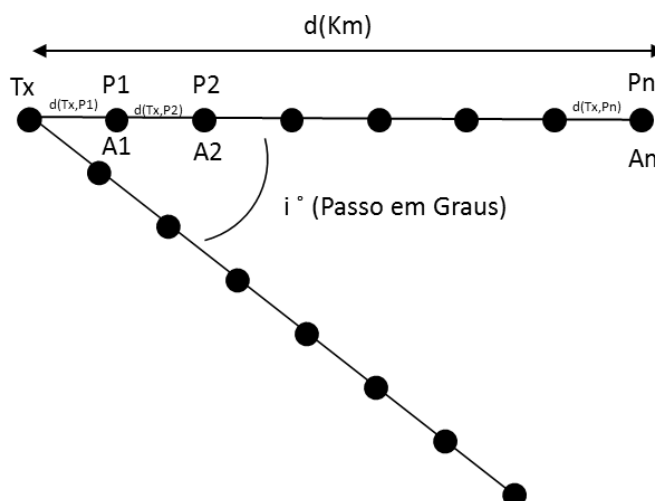


Figura 60 - Marcação de pontos para a simulação de propagação.

Entre as estações de transmissão utilizadas na simulação, foram obtidos dados reais das estações da EPTV (Emissoras Pioneiras de Televisão) afiliada do grupo rede Globo de televisão conforme a Tabela 29.

TABELA 29 - PARÂMETROS DE TRANSMISSÃO - EPTV

Estação	EIRP(dBm)	Lat	Lng	Altura da Antena (m)	Elevação (m)
RTVD - Limeira	61,51	-22,5416	-47,3888	51,5	663
RTVD - Águas de Lindoia	51,66	-22,4808	-46,6297	31,3	1062
RTVD - Amparo	53,40	-22,6586	-46,7530	51,5	1066
RTVD - Piracicaba	67,23	-22,6711	-47,6061	90,0	612
RTVD - Valinhos	54,03	-22,9675	-46,9522	61,5	926
RTVD- São Pedro	43,10	-22,5208	-47,9233	25,5	882
EPTV Campinas	72,78	-22,9436	-47,0305	88,0	778

Os diagramas de radiação isotrópicos e diagramas recomendados em [34] para a cobertura do interior do estado de São Paulo são apresentados através da Figura 62 e Figura 63 a seguir e são indicados em coordenadas polares com potência normalizada.

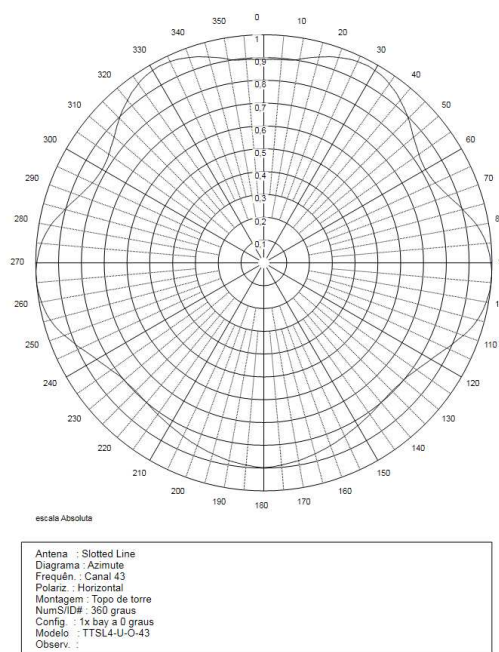
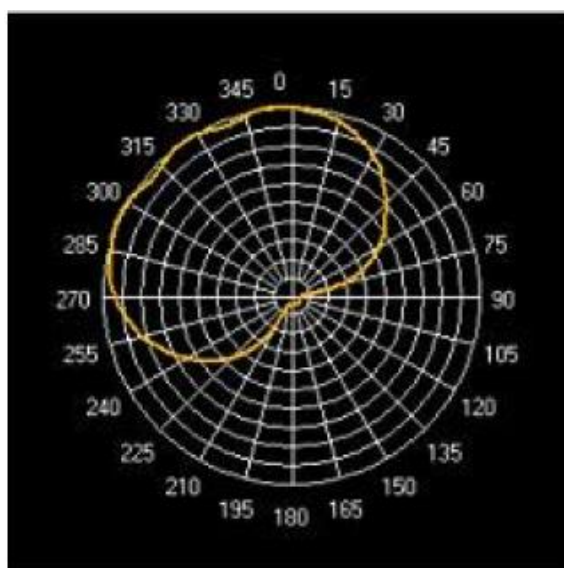
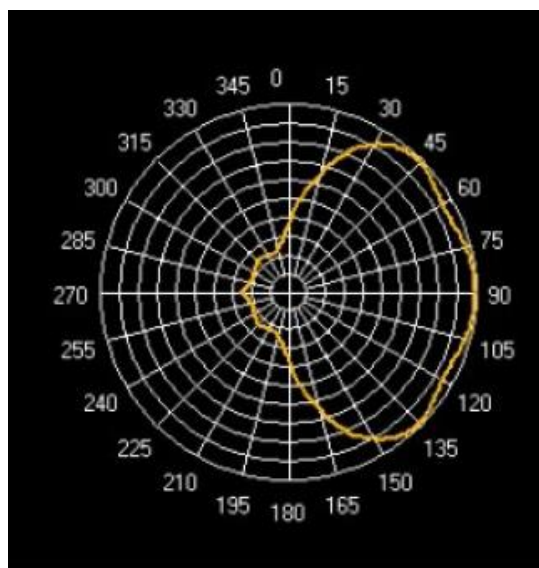


Figura 61 - Diagrama de radiação comum EPTV para antena isotrópica.

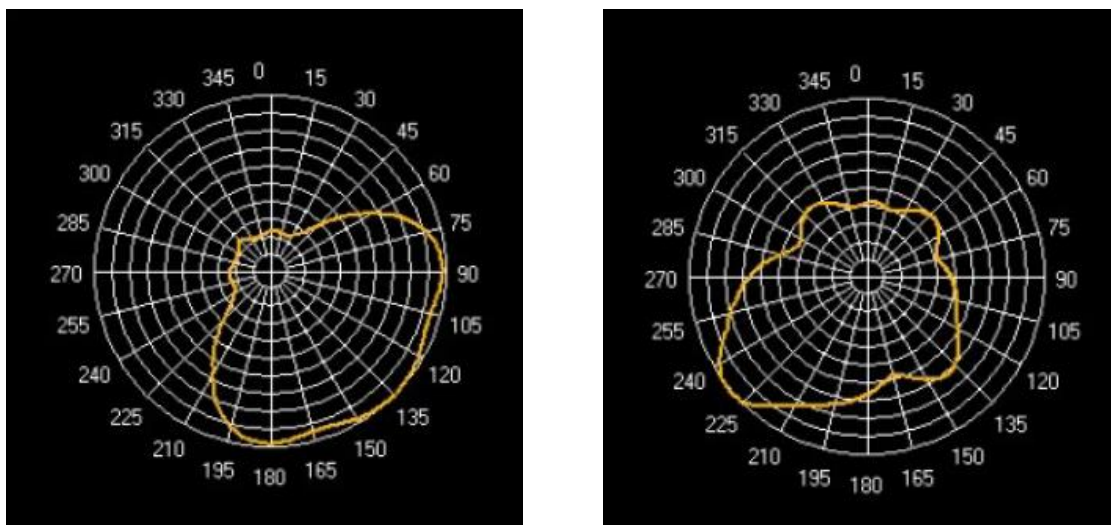


a) EPTV Campinas



b) RTVD Amparo

Figura 62 - Diagramas de radiação recomendados para as estações EPTV Campinas e Amparo.



a) RTVD Águas de Lindóia

b) RTVD Valinhos

Figura 63 - Diagramas de radiação horizontais recomendados para as estações EPTV Águas de Lindóia e Valinhos.

Com o objetivo de testar o ambiente o *Web* para o processamento de predição de cobertura e também encontrar os desvios entre as medidas coletadas e previstas, simulou-se a perda de propagação utilizando alguns modelos clássicos.

6.5 Modelos de propagação

A Tabela 30 provê detalhes sobre os principais modelos de predição de sinais existentes, os modelos são subdivididos nas seguintes categorias [92]:

Fundamentais: Puramente teóricos e frequentemente desenvolvidos a partir de outros modelos mais avançados.

Básicos: Os quais são a maioria, tipicamente incluem correções empíricas das medidas e frequentemente necessitam de um ajuste fino para cada tipo de ambiente.

Terreno: São expansões dos modelos básicos que incluem características do terreno em seus cálculos.

Suplementares: São correções de outros modelos.

De forma simplificada, a função de um modelo é prever os valores de $L_t + L_s$ na equação:

$$P_r = P_t - (L_t + L_s + L_f(t)) \quad (6.1)$$

Em que,

P_r e P_t são as potências recebidas e transmitidas,

L_t é perda no espaço livre

L_s são as perdas por sombreamento e desvanecimento lento.

$L_f(t)$ são as perdas relativas a desvanecimentos rápidos de pequena escala devido ao efeito destrutivo dos multipercursos e pequenos espalhamentos do sinal, os quais variam no tempo.

Na maioria das aplicações, o $L_f(t)$ é computado estocasticamente utilizando uma distribuição de probabilidade [92].

A Tabela 30 lista os modelos clássicos de propagação e suas categorias.

TABELA 30 - MODELOS CLÁSSICOS DE PROPAGAÇÃO

Nome	Nome Abreviado	Categoria	Ano
<i>Friis' Fresspace</i>	friis	Fundamental	1946
<i>Egli</i>	egli	Básico	1957
<i>Hata-Okumura</i>	hata	Básico	1968
<i>Edwards-Durkin</i>	edwards	Básico/Terreno	1969
<i>Alsebrook-Parsons</i>	alsebrook	Básico/Terreno	1977
<i>Blomquist-Ladell</i>	blomquist	Básico/Terreno	1977
<i>Longley-Rice Irregular Terrain Modelo(ITM)</i>	itm	Terreno	1982
<i>Walfish-Bertoni</i>	bertoni	Básico	1988
<i>Flat-Edge</i>	flatedge	Básico	1991
<i>COST-Hata/Cost-231</i>	cost 231	Básico	1993
<i>Walfish-Ikegami</i>	walfish	Básico	1993
<i>Two-Ray(Ground Reflection)</i>	two.ray	Fundamental	1994
<i>Hata-Davidson</i>	davidson	Básico	1997
<i>Erceg-Greenstein</i>	erceg	Básico	1998
<i>Directional Gain Reduction Factor(GRF)</i>	grf	Suplementar	1999
<i>Rural Hata</i>	rural.hata	Basico	2000
<i>ITU Terrain</i>	itu	Terreno	2001
<i>Stanford University Interium (SUI)</i>	sui	Básico	2001
<i>Green-Obaidat</i>	green	Básico	2002
<i>ITU-R/CCIR</i>	itur	Básico	2002
<i>ECC-33</i>	ecc33	Básico	2003
<i>Riback-Medbo</i>	fc	Suplementar	2006
<i>ITU-R 452</i>	itur452	Terreno	2007
<i>IMT-2000</i>	imt2000	Básico	2007
<i>deSouza</i>	desouza	Básico	2008
<i>Effective Directivity Antenna Model(EDAM)</i>	edam	Suplementar	2009
<i>Herring Air-to-Ground</i>	herring.atg	Básico	2010
<i>Herring Ground-to-Ground</i>	herring.gtg	Básico	2010

6.6 Simulação em espaço livre

O modelo de propagação em espaço livre é normalmente utilizado para a predição de níveis de intensidade de sinal, estando o transmissor e receptor em linha de visada livre de obstruções. Como exemplo de utilização desse modelo, podemos citar as comunicações via satélite e links de microondas.

A potência recebida pela antena receptora, a qual está separada da antena transmissora pela distância d , é dada pela equação de *Friss* para o espaço livre [90].

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (6.2)$$

Onde,

d é a distância entre a antena transmissora e receptora,

P_t é a potência transmitida (W),

$P_r(d)$ é a potência recebida (W)

G_t é o ganho da antena transmissora,

G_r é o ganho da antena receptora,

L é o fator de perda do sistema ($L \geq 1$) e

λ é o comprimento de onda em metros.

A magnitude do campo E é dada por,

$$|E| = \sqrt{\frac{P_r(d) 120\pi}{G_r \frac{\lambda^2}{4\pi}}} \text{ (V/m)} \quad (6.3)$$

A perda de propagação considerando o ganho das antenas é dada por [90],

$$PL(dB) = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left(\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) \quad (6.4)$$

A perda de propagação não considerando o ganho das antenas é dada por,

$$PL(dB) = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left(\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right) \quad (6.5)$$

Uma forma conveniente de se expressar a perda PL em (dB) é :

$$\begin{aligned}
 PL(dB) &= 10\log\left(\left(\frac{4\pi}{c}d.f\right)^2\right) \\
 &= 20\log\left(\frac{4\pi}{c}d.f\right) \\
 &= 20\log(d) + 20\log(f) + 20\log\left(\frac{4\pi}{c}\right) \\
 &= 20\log(d) + 20\log(f) - 147.55
 \end{aligned} \tag{6.6}$$

Para unidades de frequência em MHz e distância em Km, a equação se torna,

$$PL(dB) = 32.45 + 20\log(d) + 20\log(f) \tag{6.7}$$

A potência efetiva isotropicamente irradiada - EIRP é dada por,

$$EIRP = P_t G_t \tag{6.8}$$

O fluxo de potência P_d (expresso em W/m^2) é dado por ,

$$P_d = 10\log\left(\frac{EIRP}{4\pi d^2}\right) = \frac{|E|^2}{4\pi d^2} W/m^2 \tag{6.9}$$

A seguir, plota-se a função de predição utilizando o modelo de perda em espaço livre utilizando o processamento local no lado do cliente, para uma distância de 20 km, utilizando 32 pontos por linha.

Estação: EPTV Campinas,

Área coberta: 1256,6 km²,

Total de pontos: 11520 pontos,

Passo em graus: 1 grau,

Altura da antena de recepção : 1,5 m,

Ganho da antena de recepção : 2,5 dBi.

TABELA 31 - DADOS DA ESTAÇÃO EPTV CAMPINAS

Estação	EIRP(dBm)	Lat	Lng	Altura da Antena (m)	Altitude (m)
EPTV Campinas	72,78	-22,9436	-47,0305	88,0	778

A seguir através da Figura 64, observa-se a mancha de intensidade de sinal obtida para o padrão ISDB-T na cor verde, indicando que todos os pontos calculados possuem níveis de sinal superior ao limiar de referência de -77 dBm, (64-QAM COFDM 2/3).

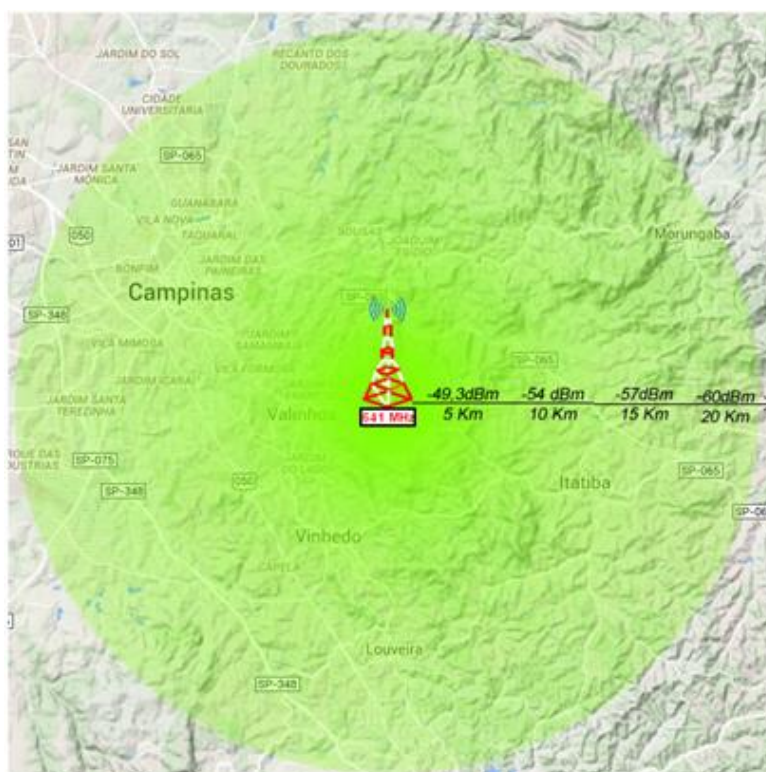


Figura 64 - Mancha de intensidade de sinal obtida para f=641 MHz

6.7 Simulação Zona de Fresnel e Efeito “*Knife Edge*”

Ao trabalhar como modelos de propagação, um dos fatores a serem levados em conta é a perda por difração devido ao fenômeno chamado de difração por efeito ponta de faca ou *Knife Edge*. Para calcular a perda por difração é comum primeiramente realizar o levantamento do grau de obstrução do link entre o transmissor e receptor através do cálculo das Zonas de Fresnel.

O fenômeno da difração pode ser explicado pelo princípio de Huygens, o qual afirma que todos os pontos de uma determinada frente de onda pode se tornar um ponto inicial para a produção de ondas secundárias, as quais somadas formam uma segunda frente de onda. A difração se refere a propagação dessas segundas frentes de onda em regiões de sombra [90].

O conceito de perda por difração em função da distância no entorno de um obstáculo é explicado pelas zonas de Fresnel [90] [91]. As zonas de Fresnel representam às sucessivas regiões onde as ondas secundárias possuem uma distância entre o transmissor e receptor $n\lambda/2$ maior que a distância total da linha de visada.

Quando o deslocamento de fase é equivalente a meio comprimento de onda, tem-se o cancelamento do sinal. Para deslocamentos de fase menores e maiores que meio comprimento de onda, tem-se respectivamente, interferências construtivas e destrutivas.

A primeira zona de Fresnel é considerada como principal, a segunda zona contribui negativamente e a terceira positivamente, porém não há como obter vantagens das difrações da terceira zona devido às perdas na segunda zona.

De forma resumida, é importante verificar o percentual de obstrução da primeira zona: alguns links precisam de ao menos 60% da primeira zona liberada para sua operação.

O raio da zona dos círculos da n -ésima zona de Fresnel, é denotado por r_n e pode ser expresso em termos de n , λ , d_1 , d_2 [92].

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (6.10)$$

A aproximação é válida para $d_1, d_2 \gg r_n$.

O raio da primeira zona de Fresnel também pode ser calculado por,

$$r = 17,31 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}} \quad (6.11)$$

Onde,

r é o raio da zona em metros, d_1 e d_2 são as distâncias do ponto de interesse à antena receptora em metros, d é a distância total do link em linha reta em metros, e f é a frequência em MHz.

Para avaliar as possíveis falhas de cobertura de sinal, foram desenvolvidas funções para a geração de gráficos representando as zonas de Fresnel entre dois pontos do mapa conforme ilustrado na Figura 68.

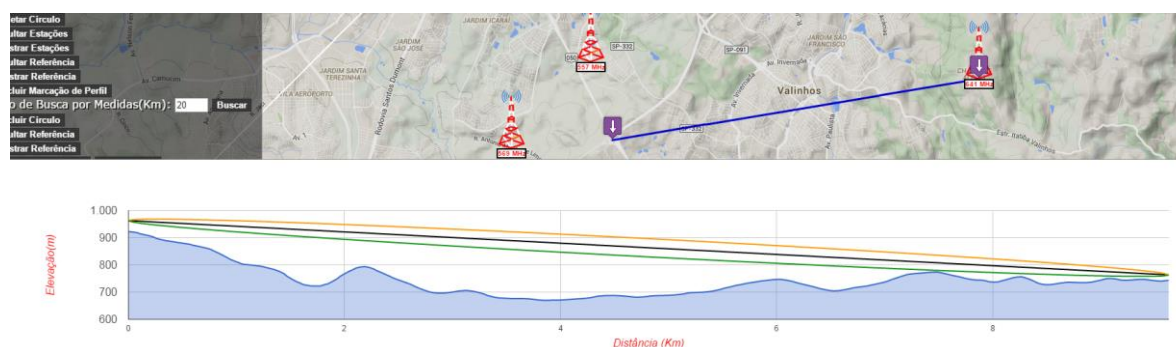


Figura 65 - Perfil obtido através de dados de elevação de terreno para $f=641$ MHz.

Ao observar o grau de obstrução entre o transmissor e receptor, sendo h , a altura efetiva da obstrução em relação à linha de visada entre transmissor e receptor.

Aplica-se o modelo de perda por ponta de faca através do cálculo de L_{KE} ,

$$L_{KE} = -20 \log \left(\frac{0,225}{v} \right) \quad (6.12)$$

Onde v é o parâmetro adimensional de difração de *Fresnel-Kirchoff*, dado por,

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \quad (6.13)$$

Onde a perda total é dada por $L(dB)$, onde,

$$L(dB) = L_{FS} + L_{KE} \quad (6.14)$$

6.8 Simulação Okumura-Hata

O modelo Hata [90], também conhecido como Okumura-Hata é uma formulação empírica dos gráficos de perdas de propagação fornecidos por Okumura. O modelo é válido para frequências entre 150 MHz e 1500 MHz e apresenta uma fórmula padrão com fatores de correção para diferentes áreas de propagação. A fórmula padrão para área urbana é dada por,

$$L_{urban}(dB) = 69,55 + 26,16 \log fc - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d \quad (6.15)$$

Onde,

f_c é a frequência em MHz,

h_{te} é a altura da antena transmissora em metros variando entre 30 a 200 m,

h_{re} é a altura da antena receptora em metros variando entre 1 a 10 m,

d é a distância em km entre a antena transmissora e receptora,

$a(h_{re})$ é o fator de correção para diferentes portes de áreas urbanas.

Para a área urbana com porte entre pequeno e médio:

$$a(h_{re}) = (1,1 \log f_c - 0,7)h_{re} - (1,56 \log f_c - 0,8) \text{ dB} \quad (6.16)$$

Para área urbana de grande porte:

$$\begin{aligned} a(h_{re}) &= 8,29(\log(1,54h_{re}))^2 - 1,1 \text{ dB para } f_c \leq 300 \text{ MHz} \\ a(h_{re}) &= 3,2(\log(11,74h_{re}))^2 - 4,97 \text{ dB para } f_c \leq 300 \text{ MHz} \end{aligned} \quad (6.17)$$

Para uma área suburbana, altera-se a equação para a equação (6.18).

$$L(\text{dB}) = L_{urban}(\text{dB}) - 2 \left(\log \left(\frac{f_c}{28} \right) \right)^2 - 5,4 \quad (6.18)$$

E para uma área rural, altera-se a equação para a equação (6.19).

$$L(\text{dB}) = L_{urban}(\text{dB}) - 4,78(\log f_c)^2 + 18,33 \log f_c - 40,94 \quad (6.19)$$

A Figura 66 ilustra a mancha de intensidade de sinal obtida para o modelo Okumura-Hata utilizando o processamento local no lado do cliente, na simulação foi definida uma distância de 20 km, utilizando 32 pontos por linha.

Dados para a predição:

Estação: EPTV Campinas,

Área coberta: 1256,6 km²,
 Total de pontos: 11520 pontos,
 Passo em graus: 1 grau,
 Altura da antena de recepção(m): 1,5m ,
 Ganho da antena de recepção(dBi): 2,5 dBi.

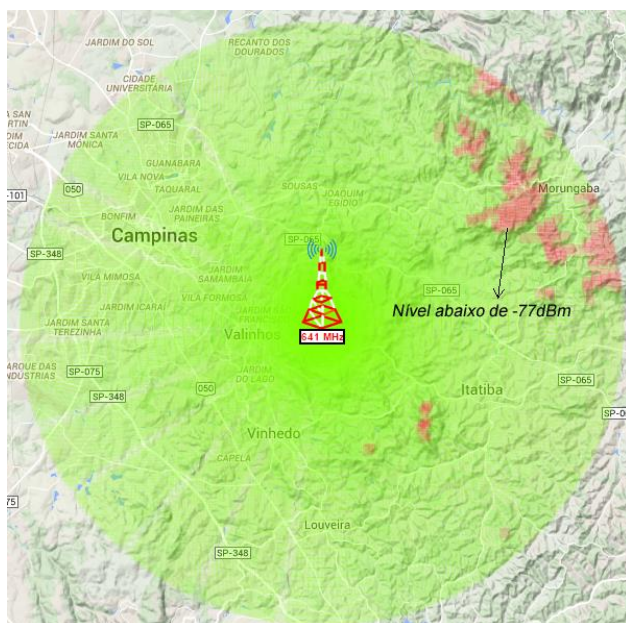


Figura 66 - Predição EPTV Campinas f=641MHz, Okumura-Hata, cidade de médio porte em ambiente rural com antena isotrópica.

Nessa simulação, observa-se que 97,19 % dos pontos estimados na área de interesse possuem nível de sinal acima do limiar de -77 dB. Na Figura 67, altera-se o tipo do ambiente para suburbano de médio porte reduzindo o número de pontos com sinais positivos para 56,31%.

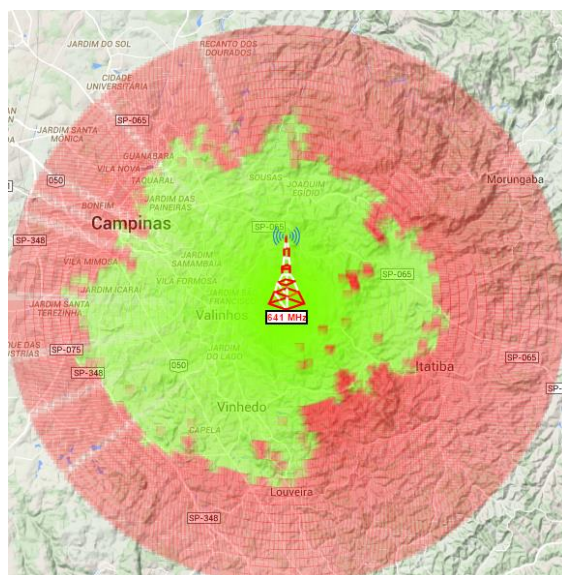


Figura 67 - Predição EPTV Campinas $f=641\text{MHz}$, Okumura-Hata, cidade de médio porte em ambiente suburbano com antena isotrópica.

Através das Figuras 68 e 69, observa-se que em ambientes urbanos a previsão de cobertura é ainda mais conservadora, alcançando apenas 23,2% de pontos com sinais positivos nos casos de ambientes urbanos e suburbanos de grande porte.

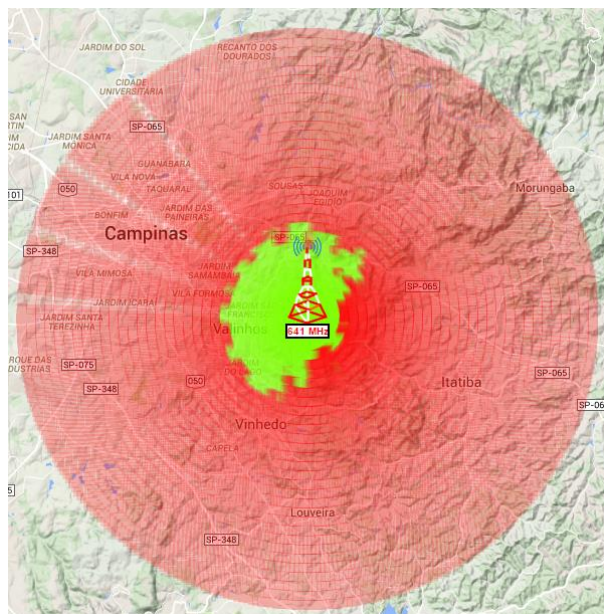


Figura 68 - Predição EPTV Campinas $f=641\text{MHz}$, Okumura-Hata, cidade de médio porte em ambiente urbano com antena isotrópica.

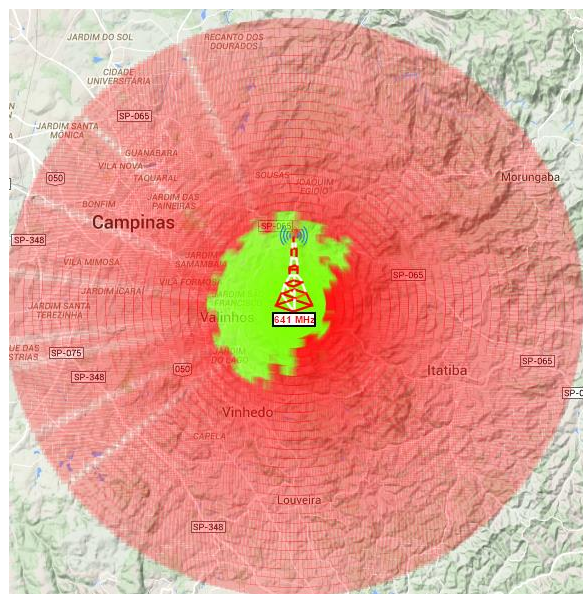


Figura 69 - Predição EPTV Campinas f=641MHz, Okumura-Hata, cidade de grande porte em ambiente urbano com antena isotrópica.

A seguir verifica-se a predição de cobertura de sinais com 32 pontos por linha para a mesma região, porém com raio reduzido para 10 km.

Ao se reduzir o raio de 20 km para 10 km, mantendo-se o número de 32 pontos por linha, dobra-se o número de pontos calculados para a mesma região.

Observa-se novamente que o modelo Okumura-Hata para ambientes urbanos de médio porte foi muito próximo ao modelo para grandes centros urbanos, apresentando uma diferença de apenas 0,11% mais conservador em número de pontos positivos que o modelo urbano de médio porte. A Figura 70 ilustra as duas previsões. As cores mais intensas indicam um maior número de pontos para a mesma altitude de visão.

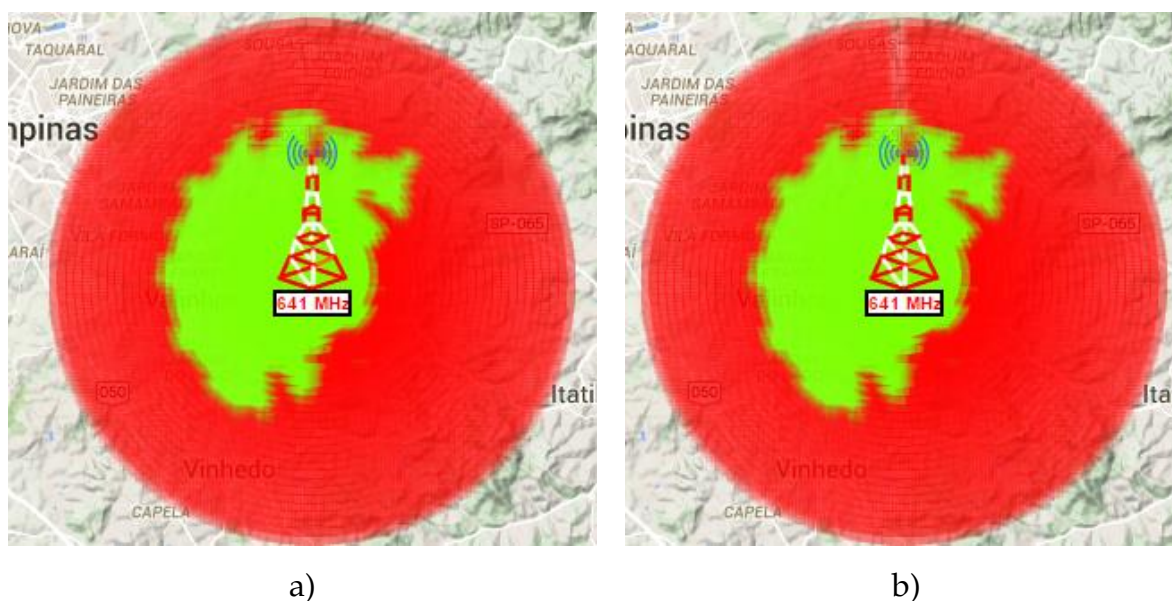


Figura 70 - Predição EPTV Campinas $f=641\text{MHz}$, Okumura-Hata, a) 45,72% de pontos de cobertura urbano, médio porte b) 45,87% de pontos de cobertura, urbano, grande porte.

Nas sessões a seguir, são avaliadas às coberturas de sinais utilizando uma rede de frequência única. As medidas obtidas em campo são comparadas aos dados obtidos pelos modelos de predição. O objetivo das comparações é identificar qual seria o modelo mais adequado para uma determinada localidade.

6.9 Simulação em SFN (*Single Frequency Network*)

As redes de frequência única SFN (*Single Frequency Network*) [33] [34] [51], referem-se a transmissão síncrona de n transmissores modulados com o mesmo sinal e radiando na mesma frequência. Os sinais transmitidos por vários transmissores em diferentes localizações e seus múltiplos percursos são recebidos em tempos diferentes, ou seja, além da diferença de tempo entre os sinais recebidos de diferentes transmissores, existe ainda uma diferença temporal entre a chegada de um sinal de um único transmissor e seus múltiplos percursos. Como exemplo, para o sistema COFDM, esta diferença

temporal pode contribuir construtivamente até o limite de auto interferência da rede se o atraso dos sinais ultrapassar o limite de tempo fixado pelo método de utilização de intervalo de guarda. Caso contrário haverá uma interferência no sinal desejado.

Para a escolha do tamanho do intervalo de guarda necessário para evitar a auto interferência de sinais, deve-se levar em conta a distância máxima entre dois transmissores da rede e modo de operação.

Para o sistema SBTVD, o modo 8k é o mais indicado para evitar a auto interferência de sinais, por outro lado há uma perda da capacidade de recepção de sinais em altas velocidades devido ao menor espaçamento em frequência entre as portadoras e a perda de ortogonalidade devido ao efeito *Doppler*. As Tabelas 32 e 33 apresentam os valores máximos permitidos em km para o multipercurso de um sinal COFDM ou a diferença máxima percorrida pelos sinais emitidos por dois transmissores.

TABELA 32 - MÁXIMA DISTÂNCIA PERMITIDA EM KM PARA SINAIS ATRASADOS

BW: 6 MHZ				
Modo/IG	1/4	1/8	1/16	1/32
2K	18,90 km	9,45 km	4,73 km	2,36 km
4K	37,80 km	18,90 km	9,45 km	4,73 km
8K	75,60 km	37,80 km	18,90 km	9,45 km

TABELA 33 - MÁXIMO ATRASO PERMITIDO EM μ S PARA SINAIS ATRASADOS

BW: 6MHZ				
Modo/IG	1/4	1/8	1/16	1/32
2K	63 μ s	31,5 μ s	15,75 μ s	7,87 μ s
4K	126 μ s	63 μ s	31,5 μ s	15,75 μ s
8K	252 μ s	126 μ s	63 μ s	31,5 μ s

A seguir, para a geração das manchas de predição utilizando os modelos de Okumura-Hata em SFN, foram desenvolvidas funções para atender aos seguintes passos:

- Escolha da área de interesse,
- Filtragem das estações com mesma frequência na área de interesse,
- Escolha do ponto de referência para a geração do mapa,
- Predição conjunta em SFN.

Para possibilitar a comparação entre as coberturas de um único transmissor e da rede SFN, primeiramente foram detectados os transmissores de mesma frequência pertencentes à área circular demarcada, ocultando os demais transmissores. A Figura 71 apresenta a área circular com todos os transmissores de várias frequências na localidade.

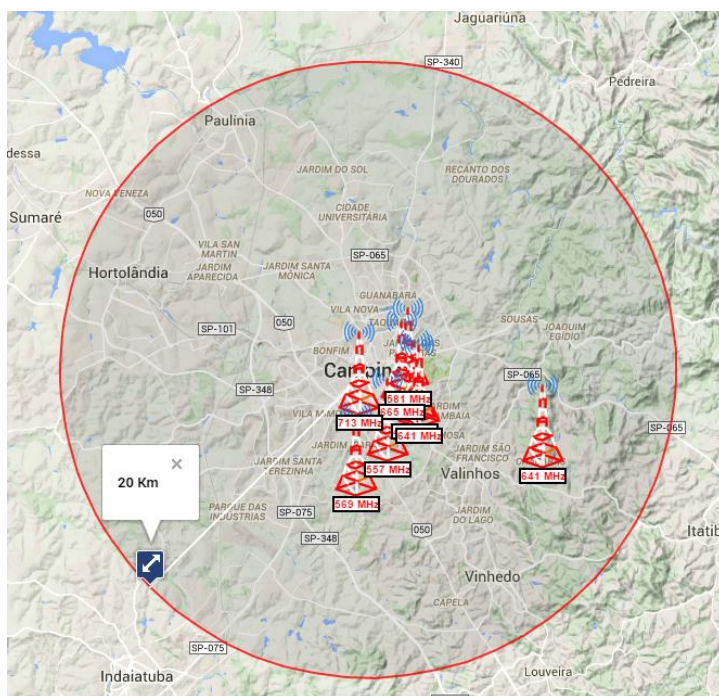


Figura 71 - Mapa de localização de todos os transmissores na área delimitada.

Ao se escolher um dos transmissores, foram geradas as opções para se obter o perfil do terreno até a localidade do transmissor, ou entrar no modo de predição de cobertura.

Após as escolhas dos parâmetros de recepção, como altura da antena receptora, ganho da antena e perdas associadas, define-se a distância daquele ponto em

quilômetros para a execução da predição. Outras opções definidas para os testes de predição de sinais foram: execução na máquina do cliente, execução por servidor remoto, predição SFN, exclusão dos pontos de predição, exclusão de mapa de calor e opção de parar a predição. A Figura 72 ilustra a interface do sistema ao acessar o modo de predição.

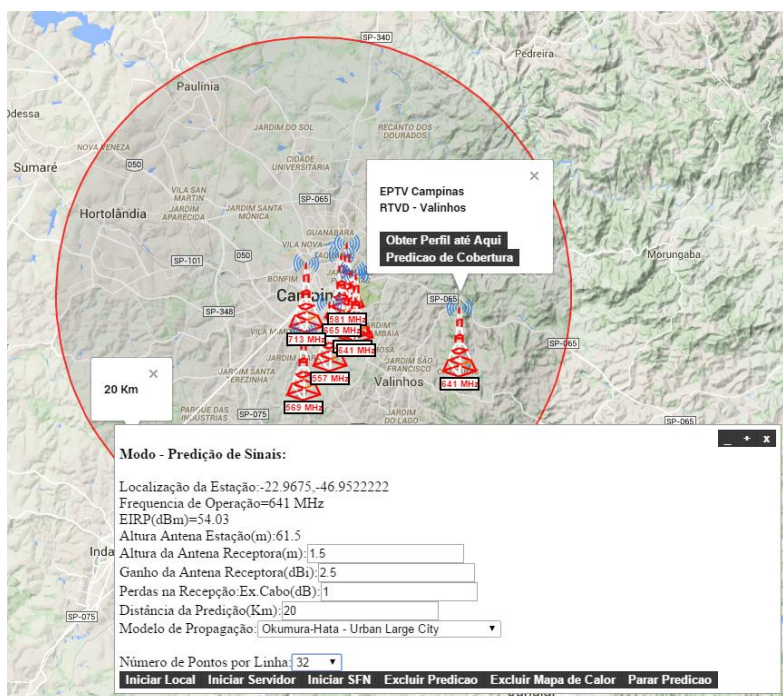


Figura 72 - Escolha dos parâmetros para o modo de predição de cobertura.

Como referência para iniciar a geração da mancha de cobertura de sinais, inicialmente foi encontrado o ponto central entre os possíveis transmissores na área de interesse. O ponto central foi localizado através do cálculo do centroide ou centro de massa de uma figura geométrica formada pelas estações. Considera-se as posições geográficas das estações como vértices do polígono, considerando dessa forma um polígono formado por N vértices (x_i, y_i) , $i=0$ a $N-1$, tendo como

último vértice (X_N, Y_N) . Representa-se um polígono fechado quando o último vértice for equivalente ao primeiro.

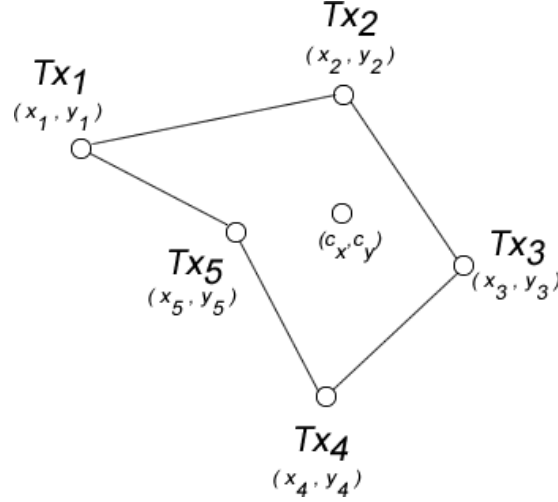


Figura 73 - Polígono formado pelas posições dos transmissores de mesma frequência na área de interesse.

A área do polígono é dada por [93],

$$A_p = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (6.20)$$

As coordenadas do centroide c_x e c_y , são dadas por

$$c_x = \frac{1}{N \cdot A} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (6.21)$$

$$c_y = \frac{1}{N \cdot A} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (6.22)$$

A Figura 73 ilustra uma simulação em SFN, utilizando quatro transmissores na mesma frequência, o ponto de referência para a geração da mancha de cobertura

é o centroide do polígono formado pelas coordenadas das estações. A seta no mapa indicada o sentido e o andamento do processo.

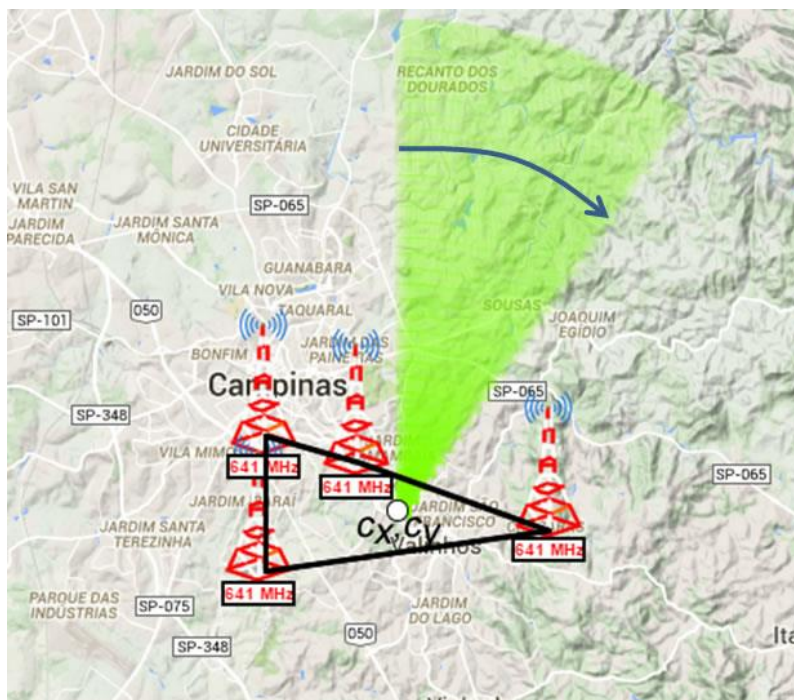


Figura 74 - Simulação em SFN utilizando o centroide de estações.

Com o propósito de comparar as áreas de cobertura, uma das estações foi pré-selecionada como referência. Verificou-se então, qual seria o percentual de cobertura individual da estação para uma área determinada em seu entorno, e qual seria o percentual de cobertura em SFN. A rede SFN formada se refere aos demais transmissores dentro da área selecionada demarcada pelo círculo indicado na Figura 75.

Para o cálculo da potência recebida em um determinado ponto da cobertura em SFN, somam-se as potências de cada transmissor com suas respectivas perdas de propagação para as diferentes distâncias conforme equação (6.23).

$$P_{rSFN}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} P_{rTi}(d_i) \quad (6.23)$$

Onde,

n refere-se ao enésimo ponto de predição,

N refere-se ao enésimo transmissor.

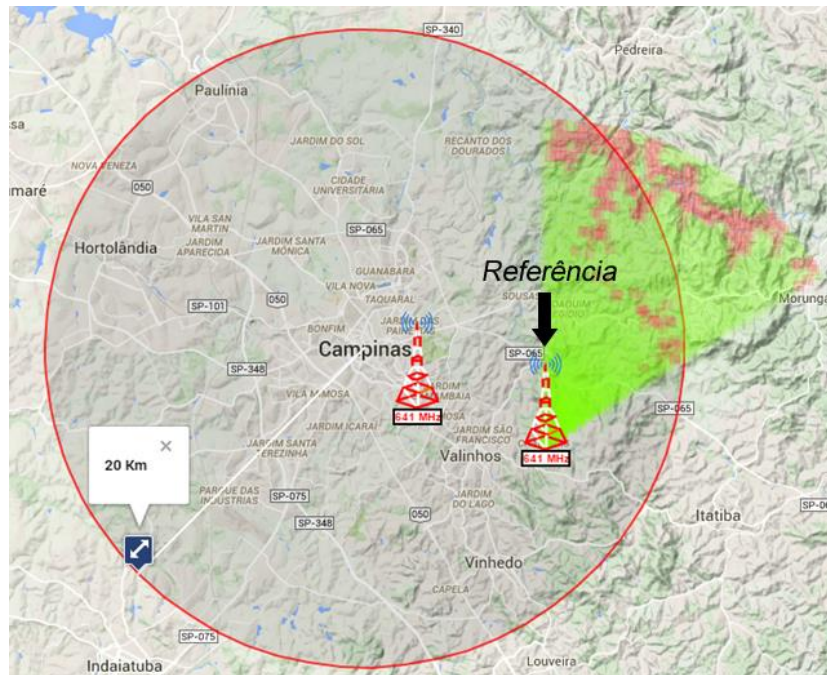
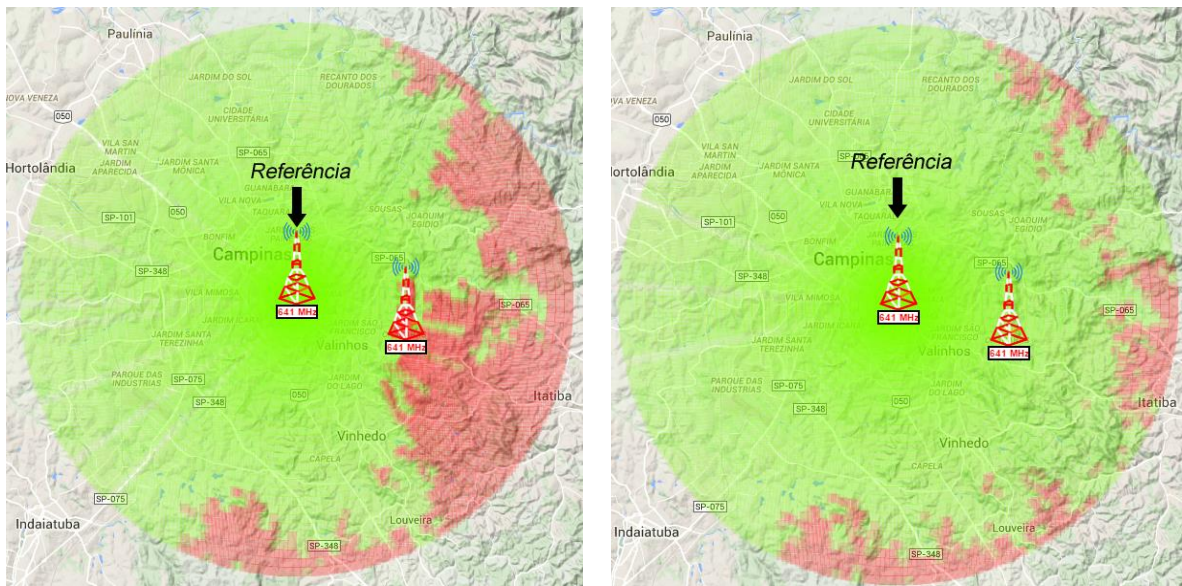


Figura 75 - Simulação em SFN utilizando uma das estações como referência.

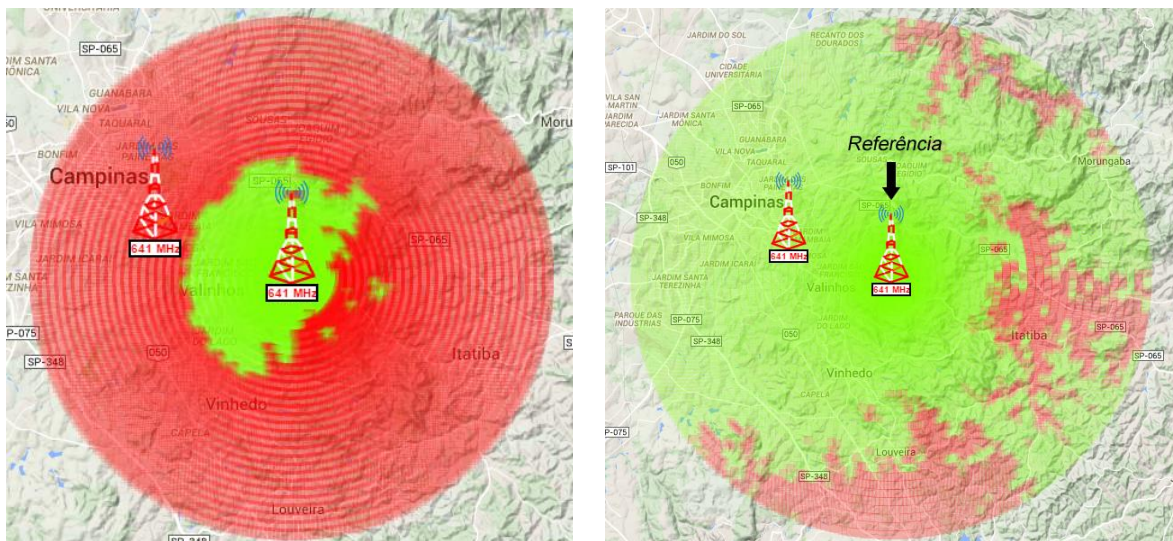
A Figura 76 ilustra a comparação das coberturas individuais das duas estações encontradas na área de selecionada e suas transmissões em SFN.



a)

b)

Figura 76 - Estação EPTV Campinas, área de 20 km² a) 83,55% de pontos de cobertura individual, b) 93,93 % de pontos de cobertura em SFN



a)

b)

Figura 77 - Estação RTVD Valinhos, área de 20 km² a) 25,19% de pontos de cobertura individual, b) 86,03% de pontos de cobertura em SFN.

Os resultados obtidos mostram que conforme esperado os resultados das simulações apresentaram ganhos com a rede SFN. A seguir utilizam-se os resultados das medidas em campo para validação das simulações.

6.10 Detecção do melhor modelo de propagação por localidade

Após o desenvolvimento das funções para geração das manchas das medidas de campo e aplicação de algoritmos de predição de cobertura de sinais, verifica-se a possibilidade de comparar os modelos implementados com as medidas em campo, buscando dessa forma, o modelo mais aproximado para determinada região.

Tomando como referência as posições das medidas coletas por frequência, estima-se qual seria a intensidade de sinal em rede de frequência única para aquela localidade. As estações pertencentes à rede são determinadas pelo círculo delimitador da área de interesse. A Figura 78 ilustra a estimação de intensidade de sinal formada por duas estações para um dos locais onde as medidas foram coletadas.

Para a comparação de medidas, considera-se,

O erro de predição E_p como,

$$E_p(dB) = P_{M_{x,y}}(dBm) - P_{SFN_{x,y}}(dBm) \quad (6.24)$$

Onde, $P_{M_{x,y}}$ se refere à intensidade de potência do sinal estimada em dBm através das medidas coletada nas coordenadas geográficas x,y e $P_{SFN_{x,y}}$ se refere à intensidade de potência do sinal estimado em dBm através dos modelos de predição em SFN .

Os erros máximo $EMax$ e mínimo $EMin$,

$$EMax(dB) = |E_{p_i}(dB)|, \text{ Para } i = 0 \text{ a } N - 1 \quad (6.25)$$

$$EMin(dB) = |E_{p_i}(dB)|, \text{ Para } i = 0 \text{ a } N - 1 \quad (6.26)$$

Onde,

N = total de medidas em determinada frequência.

O erro médio,

$$Erro \text{ Médio}(dB) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |E_{p_i}(dB)| \quad (6.27)$$

O erro quadrático médio EQM ou RMSE,

$$RMSE(dB) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |E_{p_i}(dB)|^2} \quad (6.28)$$

Verifica-se que o valor aceitável de RMSE para um determinado modelo deve estar entre 6 a 7 dB para áreas urbanas e 10 a 15 dB para áreas rurais e suburbanas [95] [96].

A Figura 78 ilustra a composição de sinais SFN para comparação a uma medida em um determinado local da área de interesse.

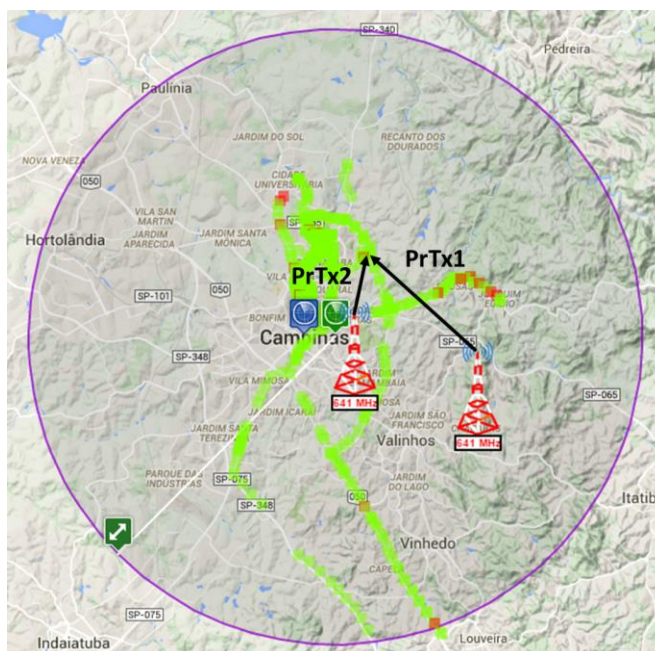


Figura 78 - Estimação de intensidade de sinal por SFN para os locais de medidas.

Após os cálculos das métricas citadas, dinamicamente compara-se as intensidades de sinal coletados com as medidas previstas por cada modelo de propagação em SFN.

TABELA 34 - RESULTADOS ORDENADOS OBTIDOS PELA COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDAS E MODELOS DE PREDIÇÃO EM SFN

Modelo de Propagação	RMSE (dB)	Erro Médio (dB)	Erro Mínimo (dB)	Erro Máximo (dB)
<i>Okumura-Hata- Suburbano</i>	5,2	3,1	0,0087	30,0
<i>Okumura-Hata- Medium City</i>	9,0	7,4	0,037	21,0
<i>Okumura-Hata- Large City</i>	9,0	8,4	0,027	21,0
<i>Okumura-Hata- Open Land</i>	20,0	20,0	8,3	48,0
<i>Free Space Loss</i>	25,0	25,0	14,0	53,0

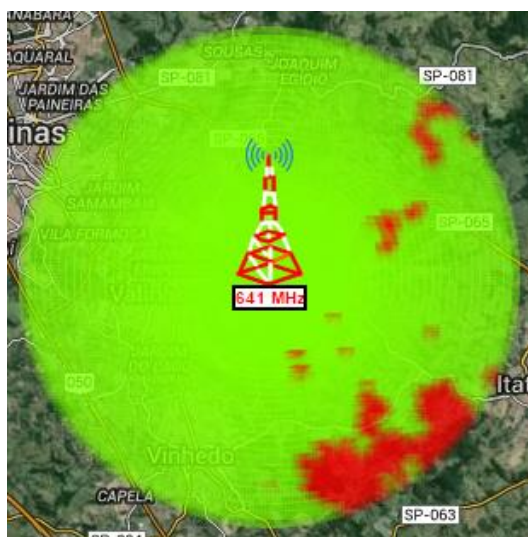
Observa-se através dos resultados obtidos que embora o erro máximo seja alto, o modelo com maior aproximação encontrado para a região de interesse foi o Okumura-Hata Suburbano com um valor de RMSE de 5,2 dB.

6.11 Interpolação por mapas de calor

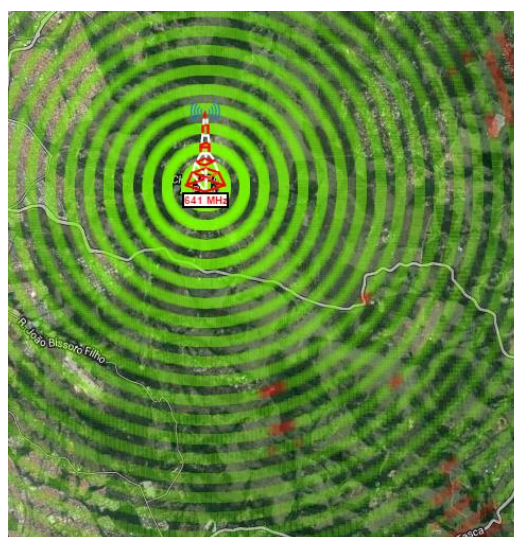
Ao aplicar a técnica sugerida para a geração das manchas de intensidade de sinais nos mapas de predição, observa-se a necessidade de interpolação dos valores previstos para a obtenção de uma mancha de intensidade mais precisa. Utilizando os mapas *Web*, uma das soluções para o melhoramento gráfico das manchas de intensidade é a regulagem da aproximação de *zoom* ao mapa, outra técnica a ser utilizada é o uso das funções de mapas de calor das API's dos próprios mapas. Como exemplo, cita-se a API *Heatmap* do *Google maps*, a qual aplica automaticamente a interpolação através do aumento do raio da mancha de uma única medida de acordo com a sua frequência de ocorrência, fundindo-a a outras manchas de acordo com o nível de *zoom* dos mapas. A seguir apresentam-se alguns resultados obtidos com e sem a API de mapas de calor.

As Figuras 79 e 80 apresentam o resultado visual das manchas de cobertura utilizando-se 32 pontos e 64 pontos por linha, para um nível de *zoom* de escala 11.

Observa-se a perda de definição por falta de interpolação no caso da geração da mancha com 32 pontos por linha.



a)



b)

Figura 79 - Resultado visual obtido com 32 pontos/linhas, R=10 km, 95,3% de cobertura a) nível de *zoom* 11 b) nível de *zoom* 13.

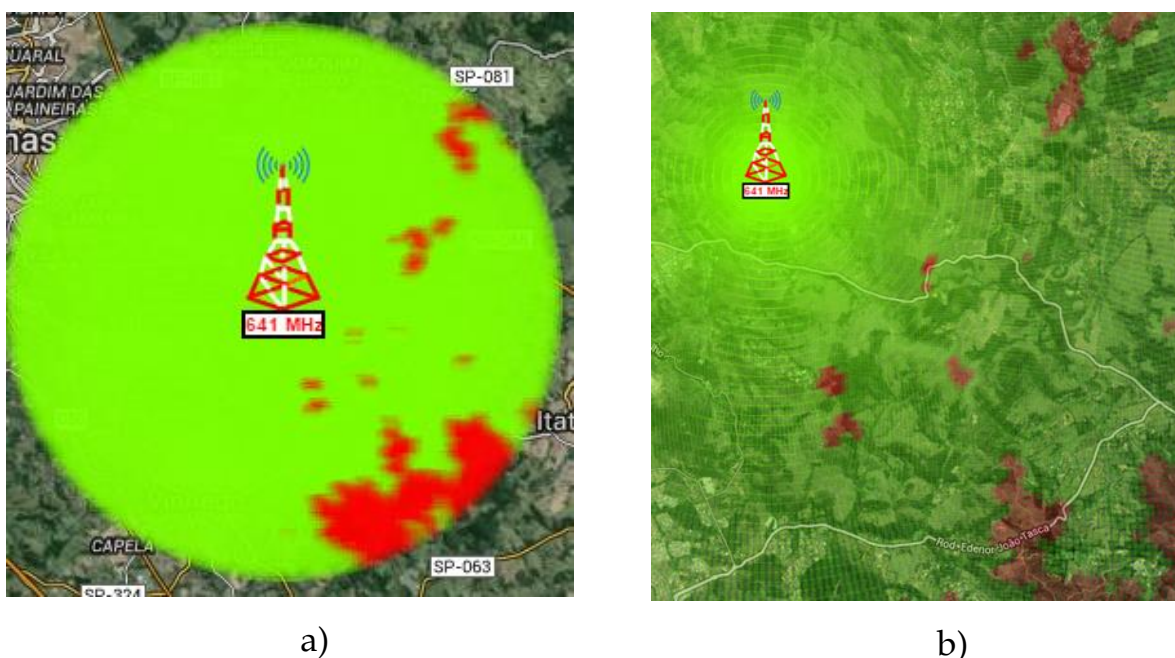


Figura 80 - Resultado visual obtido com 64 pontos/linhas , R=10 km, 95,66% de cobertura a) nível de zoom 11 b) nível de zoom 13.

A seguir utiliza-se a API *googlemaps Heatmap* para a interpolação das medidas, observa-se que mesmo com o aumento do *zoom* para 13, onde há uma maior aproximação da imagem, não é possível a visualização das linhas de pontos. O uso da API para interpolação reduz o tempo de execução e geração das manchas de predição.

Originalmente as funções de geração das manchas de calor foram desenvolvidas para indicar regiões com maior incidência de certo tipo de ocorrência, alguns exemplos de utilização são, mapas de temperatura, escala *Richter*, velocidades do vento, entre outros indicadores de magnitude. Para a aplicação em níveis de intensidade de sinal, foi necessária a criação de duas manchas, uma para sinais positivos ou acima do limiar e outra para sinais negativos ou abaixo do limiar, onde uma mancha com 'fraca' intensidade indica incidência de poucas medidas coletadas no local. A Tabela 35 se refere à matriz com a distribuição em colunas dos marcadores com intensidade de sinal positiva e negativa.

TABELA 35 - MATRIZ DE OBJETOS COM MARCADORES GEOLOCALIZADOS COM INTENSIDADE DE SINAL

$Pr \geq Lim$	$Pr < Lim$
$Marker_i$	$Marker_i$
$Marker_{i+1}$	$Marker_{i+1}$
...	...
$Marker_n$	$Marker_n$

Onde cada marcador refere-se a um objeto Javascript responsável pela geração da mancha de um determinado ponto no mapa. A matriz de objetos também é representada pela estrutura indicada pela Figura 81, a qual indica os níveis de cores RGB utilizadas, por exemplo, para os marcadores de nível de sinais positivos.

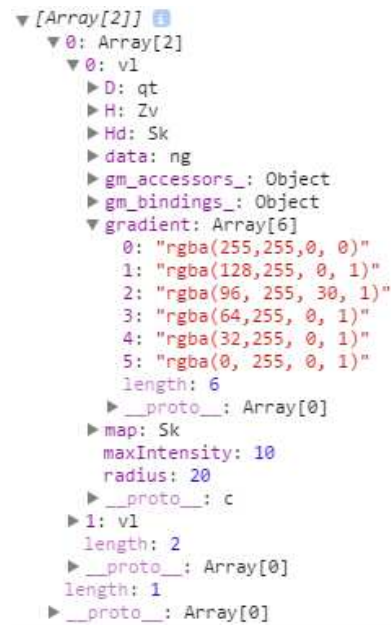


Figura 81 - Estrutura do objeto definido para geração das manchas com diferentes intensidades de de sinal.

O resultado visual pode ser observado através da Figura 82, nota-se uma nítida melhoria nos contornos da imagem formada através do uso de mapas de calor.

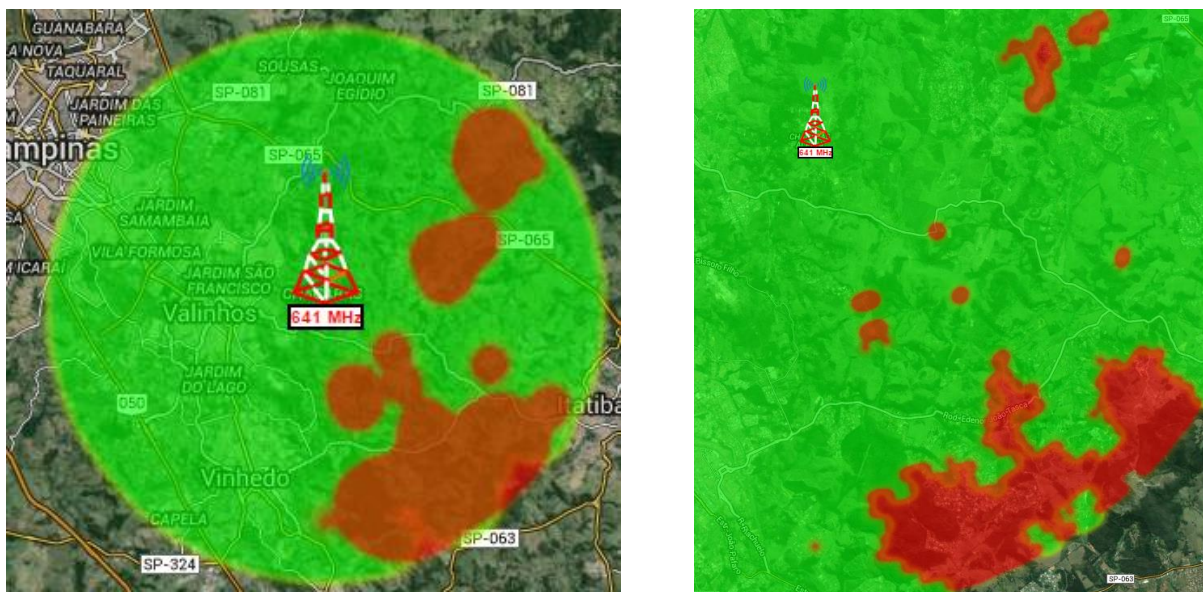


Figura 82 - Resultado visual obtido com API de mapa de calor com 32 pontos/linhas, $R=10$ km a) nível de zoom 11 b) nível de zoom 13.

6.12 Tempos de execução e uso de memória

Um ponto importante na aplicação de algoritmos de predição em ambiente *Web* é a observação do tempo de execução dos algoritmos e geração das manchas. É necessário observar se a execução dos algoritmos e geração das manchas de medidas ou estimativas podem ser realizadas em tempo hábil e qual a limitação dos algoritmos em relação ao uso de memória de máquina.

Ao se desenvolver os modelos de predição de sinais em ambiente *Web*, foi notada a possibilidade de execução dos algoritmos utilizando a capacidade de processamento da máquina do cliente ou transferir o processamento para servidores remotos, a escolha do lado do processamento pode se dar apenas pela escolha do tipo de linguagem *Web* escolhida.

A seguir são citadas algumas linguagens conhecidas como *client-side* ou *server-side*.

Client-Side: Javascript e Markup Syntax: HTML, CSS.

Server-Side: Java, Asp.Net, PHP, C#, C++.

Com a finalidade de testar o desempenho em tempo de execução, as funções para a geração das manchas foram implementadas para executar os algoritmos tanto no lado do cliente como em um servidor remoto. A Figura 83 apresenta o diagrama com os diferentes cenários de acesso à dados e as Tabelas 36 e 37 os respectivos tempos de execução para diferentes configurações de geração das manchas.

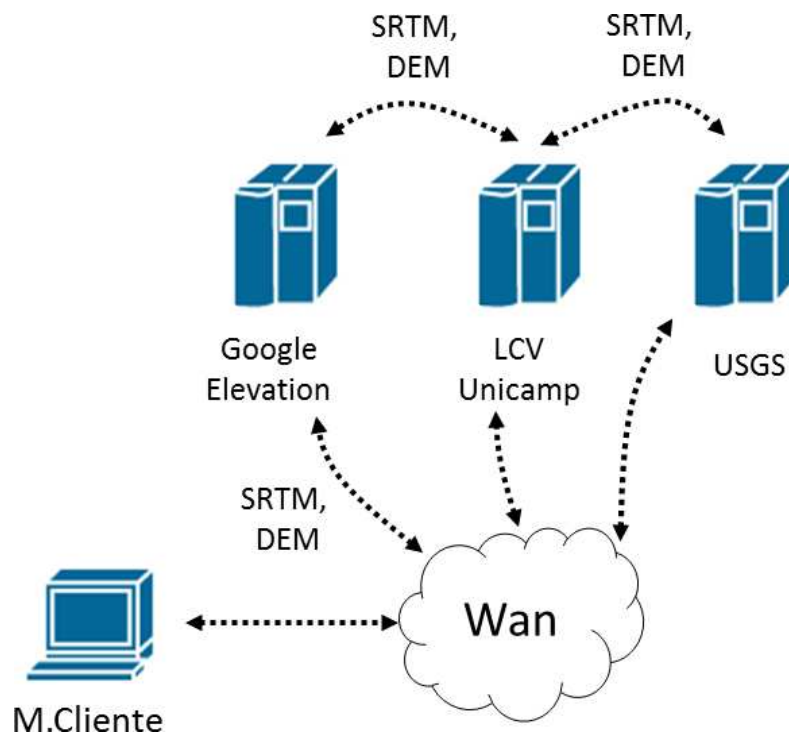


Figura 83 - Cenários de testes realizados.

As velocidade de conexão foram testadas através de [94], sendo 1,6 Mbps de *download* e 0,6 de *upload*. Foram utilizadas as seguintes configurações de sistema: conexão através de cabo *ethernet*, sistema operacional windows 7, navegador Chrome. Processador: Intel Core 2 Duo; CPU P8700; 2.53 GHZ; 4GB RAM. As linguagens de programação

utilizadas foram Javascript no lado do cliente (CS) e Php no lado do servidor (SS), o banco de dados utilizado foi mysql.

TABELA 36 - TEMPOS DE EXECUÇÃO DO ALGORITMO DE PREDIÇÃO

Configuração			<i>Client Side + WebService Terceiro [CS +3rd WS M1]</i>	<i>Server Side + WebService Próprio [SS +OWS M1]</i>
Pontos/Linha	Total de Pontos	Intervalo entre Requições [ms]	Tempo [s]	Tempo [s]
8	2.880	30	13,8	62,5
16	5.760	60	30,4	62,7
32	11.520	200	92,3	63,6
64	23.040	450	242,8	64,7
128	46.080	800	411,4	64,3
256	92.160	2000	740,3	67,9
512	184.320	3500	1263,2	109,7

A partir de 1024 pontos por linha, o sistema apresentou lentidão para processar as informações e trabalhar com os mapas, podendo essa relação de pontos por linha ser considerada como limitante para a solução adotada.

Também foram realizados testes com conexões mais rápidas, com taxa de *download* de 11 Mbps e *upload* de 0,95 Mbps em uma máquina local com a seguinte configuração: rede sem fio, sistema operacional linux Fedora v12, navegador Mozilla, Processador Intel Core i5-2410M, CPU 2,3 GHz x 4 Core, 8 GB RAM. As linguagens de programação utilizadas foram Javascript no lado do cliente (CS) e Php no lado do servidor (SS), o banco de dados utilizado foi mysql.

TABELA 37 - TEMPOS DE EXECUÇÃO DO ALGORITMO DE PREDIÇÃO

Configuração			<i>Client Side + WebService Terceiro [CS +3rd WS M2]</i>	<i>Server Side + WebService Próprio [SS +OWS M2]</i>
Pontos/Linha	Total de Pontos	Intervalo entre Requisições [ms]	Tempo[s]	Tempo[s]
8	2.880	30	15,1	61,1
16	5.760	60	21,6	61,4
32	11.520	200	72,1	62,6
64	23.040	450	162,4	63,9
128	46.080	800	288,1	66,4
256	92.160	2000	720,1	70,0
512	184.320	3500	1260,0	115,4

A Figura 84 apresenta o gráfico relativo aos tempos de execução indicados pelas Tabelas 36 e 37.

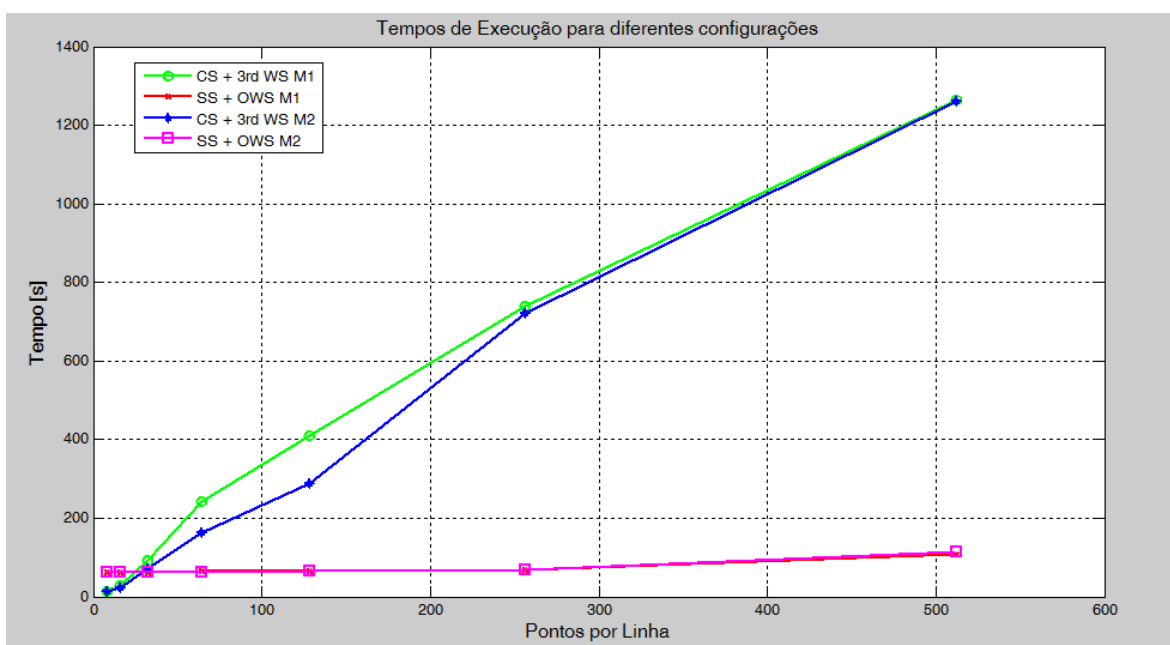


Figura 84 - Tempos de execução para diferentes configurações.

Observa-se através da análise dos tempos de requisição e parâmetro TTFB (*Time to First Byte*) referentes às Figuras 85 e 86, que o tempo de resposta dos servidores do serviço *Google Elevation* foi seis vezes mais rápido do que o tempo do servidor utilizado no laboratório LCV-Unicamp, nota-se que devido a limitação na frequência das requisições para os servidores externos, o uso do próprio servidor ainda apresentou vantagens, principalmente nas requisições com pacotes com mais de 32 coordenadas. Um teste com duas máquinas em uma conexão simultânea requisitando dados do servidor LCV-Unicamp, teve um impacto em 60% de aumento no tempo para execução dos algoritmos.



Figura 85 - TTFB requisição serviço *Google Elevation* com pacotes de 256 coordenadas.



Figura 86 - TTFB requisição serviço LCV-UNICAMP com pacotes de 256 coordenadas.

Através do gráfico ilustrado pela Figura 84, observa-se uma redução entre 14,1% a 90,8% no tempo de execução ao se utilizar um servidor remoto a partir de 32 pontos por linha, considerando também o uso de um servidor SRTM próprio para a obtenção dos dados de elevação.

É importante notar que várias melhorias ainda são possíveis para o melhor desempenho nos tempos das consultas aos bancos de dados, como o uso de diferentes tipos de banco de dados, conexões persistentes, otimização de *queries*, novas API's javascript, entre outros.

Capítulo 7

Conclusões

Analisando-se o histórico do desenvolvimento dos sistemas de transmissão digital, observa-se que mesmo com o rápido avanço no desenvolvimento das tecnologias de comunicações, dificilmente será possível em alguns anos atender à alta demanda de consumo de dados em alta taxa e em mobilidade via radio frequência e a baixo custo. Nota-se que o alto consumo de dados tem como consequência direta a valorização de determinadas faixas de espectro e há uma tendência clara de transferência de frequências para os sistemas de banda larga móvel. Estando o espectro supervalorizado, os leilões de faixas de frequência se tornam uma forma de alavancar receitas para o Estado, aumentando assim o interesse pela rápida liberação de novos canais. A transição de faixas de frequências entre sistemas é também consequência de uma mudança na forma de consumo de mídia e tem abrangência global.

Considerando a capacidade das atuais tecnologias de transmissão, observa-se que o espectro de frequências mundialmente ainda é subutilizado, principalmente devido a fatores econômicos, legislativos e tecnológicos. Buscou-se dessa forma, novas alternativas para o atendimento a demanda por liberação de novas faixas.

Inicialmente, foi realizada uma análise do uso do espectro através de uma proposta inovadora de sistema de rádio cognitivo de baixo custo. Acredita-se que entre os primeiros passos para uma gestão eficiente do espectro, estão a sua constante monitoração de forma geográfica e mudanças na legislação para melhor aproveitamento da capacidade dos sistemas digitais.

Em outras palavras, é necessário registrar a existência e a frequência dos chamados espaços vagos e oportunidades de transmissão. Da mesma forma, é importante também

verificar se existe audiência significativa para justificar a ocupação dos canais de TV nas faixas de VHF e UHF.

O melhor aproveitamento dos recursos dos sistemas de TV digital, como a multiprogramação e o compartilhamento de canais entre emissoras, é também indicada neste trabalho como uma das alternativas para a liberação de novas faixas de espectro.

O uso da tecnologia de rádios cognitivos, somada a mudanças na legislação, além do surgimento de novas tecnologias de transmissão e também de novas metodologias para a monitoração e gestão do espectro, podem contribuir de forma eficiente para a reutilização de frequências entre os diversos sistemas e padrões de transmissão da atualidade, atendendo assim temporariamente a demanda por dados.

Como contribuição, primeiramente foi realizada uma análise do processo de desligamento dos sistemas analógicos de TV, onde se propõe formas para a liberação de novas faixas espectrais a partir do melhor uso dos recursos do sistema de TV digital SBTVD.

Nos capítulos 3, 4, 5 e 6, foram propostos: o uso de sistemas de rádio cognitivos para detecção das frequências que estão sendo utilizadas pelos sistemas de TV digital em localidades pré-determinadas; uma metodologia de filtragem a partir do uso de banco de dados e através de cercas geográficas; uma proposta de uso de sensoriamento colaborativo; uma nova metodologia para estimar o índice de audiência televisivo; uma nova metodologia para estimar os níveis de intensidade de sinais através de receptores comerciais; uma nova proposta para o processamento de algoritmos de modelos de propagação de sinais em ambientes externos e em rede de frequência única (SFN); o uso de mapas de calor para interpolação dos dados de propagação e, por último, a detecção automática do modelo de propagação mais aproximado para uma determinada localidade.

Para a implementação dos sistemas de rádio cognitivos, propôs-se a conversão de receptores comerciais em sensores através da instalação de novos aplicativos ou reprogramação de seu *firmware*, reduzindo dessa forma, os custos relacionados à

instalação e manutenção de equipamentos e a possibilidade da criação de redes com centenas a milhares de sensores.

Para a filtragem de dados, utilizou-se *Web Map Services* e suas diversas APIs, possibilitando a interface entre figuras geométricas definidas como cercas geográficas e banco de dados.

Para a coleta de medidas, os sensores foram testados em veículos e residências. Após a coleta de medidas, foram mapeadas as regiões com sinais acima e abaixo dos limiares de intensidade.

Através do uso de sensoriamento colaborativo, foi possível a estimação dos tempos de audiência entre os programas sintonizados. Além do mapeamento das áreas com presença de sinal digital, foram utilizados navegadores para o processamento de algoritmos de predição de sinais, comparando dessa forma, os níveis das medidas coletadas e as previstas pelos algoritmos.

A proposta de uso do ambiente *Web* através dos navegadores e diferentes linguagens de programação possibilitou a transferência de processamento da máquina do cliente para um servidor remoto, reduzindo assim o tempo de processamento.

Em relação à reprogramação de transceptores para sensores, conclui-se sobre a necessidade prévia do conhecimento do sistema operacional do dispositivo, o tipo do seu sintonizador e obter previamente as respostas aos níveis de intensidade de sinais recebidos. É interessante que a iniciativa de compatibilizar os receptores ao sistema de monitoração, seja realizada pelos próprios fabricantes dos dispositivos, uma vez que, se faz necessário, o conhecimento prévio desses dados, para acesso aos sintonizadores, além de conhecimento de ganhos e perdas do sistema de recepção.

Em relação à confiabilidade das medidas, recomenda-se que os aparelhos sejam homologados por um órgão competente, definindo-se assim o grau de precisão de suas medidas. Nota-se que, sem a validação das medidas, apenas seria possível a geração das manchas das estimativas, nas regiões que possuem o sinal acima ou abaixo do limiar de

recepção, não havendo precisão, do quanto acima ou abaixo estariam os níveis em relação à referência.

Ao sistema de consulta às medidas, recomenda-se filtrar a geração das manchas de medidas através do modelo de receptor, obtendo dessa forma, um mapa exclusivo para cada tipo de receptor com um diferente grau de precisão.

Contribui-se ao final, com os testes e resultados indicando a possibilidade e vantagens de se utilizar aplicações *Web* para projetos de redes de transmissão em radio frequência, reduzindo o tempo de processamento, porém limitando o número de pontos totais utilizados nas manchas de cobertura de sinais.

Acredita-se dessa forma, que o modelo de soluções proposto, ou alguma variante próxima a esse modelo, com extensão para os diversos padrões de transmissão, possa atender aos requisitos de uma gestão eficiente do espectro de frequências sem a necessidade de um alto investimento.

A utilização de soluções com banco de dados, além de fornecer o histórico de monitoração do espectro e verificar os diversos parâmetros de qualidade ao longo do tempo, poderá informar sobre e controlar o uso de canais vagos, liberando dessa forma novas frequências para o melhor uso deste escasso recurso.

7.1 *Trabalhos Futuros*

Recomendam-se como trabalhos futuros as seguintes extensões para a solução proposta:

- Utilização de uma gama de diferentes sensores, de analisadores de espectro a smartphones.
- Testes com diferentes bancos de dados para melhorar o desempenho de leitura e levantamento dos dados.

- Testes de acesso com mais terminais simultâneos em diferentes conexões.
- Utilizar novas técnicas para redução do tempo de latência na requisição e geração de manchas de medidas.
- Adicionar novos modelos de propagação ao sistema.
- Tornar o sistema colaborativo para a construção de novos modelos de propagação.
- Testar novas formas de geração de manchas de intensidade de sinais para redução do tempo e memória.
- Construir dinamicamente as escalas de intensidade de cor para os mapas.
- Aplicar uma filtragem a partir de senhas para que apenas os radiodifusores possam adicionar e alterar dados sobre as suas estações.
- Estender o uso para mapas 3D, obtendo informações dinâmicas para a formação de cluster e dados de elevação de construções.

Referências Bibliográficas

- [1] Agência Nacional de Telecomunicações - Portal de Notícias - Anatel [Online]. (2014, Jan). <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNoticias.do?acao=carregaNoticia&codigo=32359>.
- [2] Relatório Huawei, [Online]. (2012, Dez). Disponível em http://blogs.ne10.uol.com.br/mundobit/2012/12/14/conexao-3g-no-brasil-registra-841-de-crescimento-em-um-ano/?doing_wp_cron=1405516130.5672309398651123046875
- [3] Relatório ITU. [Online]. (2014, Maio). Disponível em <http://www.futurecom.com.br/blog/serao-23-bilhoes-de-acessos-de-banda-larga-movel-no-mundo-em-2014-apontam-uit/>
- [4] Relatório Cisco, *"Mobile data growth projections Cisco VNI for 2013-2018"*, Feb, 2014.
- [5] *"History of Communications"*, IEEE Communications Magazine, (2013) [Online] <http://www.comsoc.org/commag/history-communications>.
- [6] *"Telecommunication Hystory"*, (1998) [Online] <http://telecom.tbi.net/history1.html>
- [7] M.Schwartz, *"History of Communications, Improving the Noise Performance of Communication System:1930s a 1940"*, IEEE Communications Magazine, Mai, 2010.
- [8] Shannon, C.E. *"A Mathematical Theory of Communication."*, Bell System Technical ,1948.
- [9] M J.E.Galoy, *"Notes on digital Coding"*. Proc. IRE 37: 657, (1949)
- [10] J.L. Massey ,*" Shift-register synthesis and BCH decoding"*, IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. IT-15, Jan, 1969.
- [11] I. S. Reed ,G.Solomon,*"Polynomial Codes over Certain Finite Fields"*, Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 1960.
- [12] Abrantes A. Silvio, *"Descodificação iterativa de códigos LDPC por transferência de mensagens em grafos de factores"*, Whitepaper, Universidade do Porto, 2005.
- [13] N.LaSorte, W.J.Barnes, H.H.Refaei, *"The History of Orthogonal Frequency Multiplexing"*, IEEE, 2008.

- [14] ER.Berlekamp, “ *Key Papers in the Development of Coding Theory*”, I.E.E.E, Press, p. 4, 1974.
- [15] C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima - “*Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding Turbo Codes*” - Proc. Int. Conf. Communications, p. 1064-1070, 1993.
- [16] D.G.Caetano, “*Análise de Desempenho de Sistemas de TV digital Móveis DVB-H e ISDB-T utilizando Concatenação de Códigos BCH e Turbo Codificadores*”, Dissertação de Mestrado, Unicamp, 2007.
- [17] C. Akamine, “*Análise de desempenho do sistema de TV digital DVB-T com entrelaçador temporal em canais com ruído impulsivo*”, Dissertação de Mestrado, 2004.
- [18] SET/ABERT “*Digital Television Systems - Brazilian Tests - Final Report Part 1*”, ANATEL SP , Mar, 2000.
- [19] JEITA Handbook, “*Methods of Measurement for digital Terrestrial Broadcasting Transmission Networks*” 1.2, Oct.2006.
- [20] SET/ABERT “*Digital Television Systems - Brazilian Tests - Final Report Part 2*”, ANATEL SP , May. 2000.
- [21] Relatório de Testes de compartilhamento de Espectro, Agência Americana NTIA. (Sep,2014) [Online] <http://www.ntia.doc.gov/category/spectrum-sharing>
- [22] Agência Nacional de Telecomunicações - Portal de Notícias - Anatel [Online].
- [23] G. Gross, “*Obama directs agencies to move toward sharing spectrum*”, PC World Magazine, Jun,2014.
- [24] T.Parker, “*NTIA eye creation of model city for dynamic spectrum-sharing tests*”, FCC Report, Julho de 2014.
- [25] L.C.Pereira, E.P.Bezerra, “*Televisão digital: do Japão ao Brasil*”, Cultura Midiática, Revista do Programa de Pós-Graduação em Comunicação da Universidade Federal da Paraíba, Ano 1, n.01, Dez,2008.
- [26] N.O.Senatori, F.Sukys, “*Introdução à Televisão e ao sistema PAL-M*”, Dez,1984.

- [27] *"The Origins and Future Prospects of digital Television"*, Benton Foundation, (Jan, 2001)
[Online] http://benton.org/initiatives/obligations/charting_the_digital_broadcasting_future/sec1
- [28] "Sistema de TV digital", Parte I, Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, Ano 5, n. 5, p 13-96
- [29] M.Jacobs, J.Probell, *"A Brief History of Video Coding"*, Arc International, 2007.
- [30] "DirectTV History", (2006), [Online] Disponível em <http://www.answers.com/topic/directv-inc>
- [31] H. Nickl, J. Hagenauer, F. Burkert, *"Approaching Shannon's Capacity Limit by 0.2 dB Using Simple Hamming Codes"*, IEEE Communication Letters, 1997.
- [32] A.B. Carlson, P.B. Crilly, J.C. Rutledge, *"Communication System: an introduction to signals and noise in electrical communication"*, Fourth Ed., McGraw Hill, 2002.
- [33] DVB Document A024, *"Specification of a Mega-Frame for SFN Synchronisation"*, Fev, 1997.
- [34] Carvalho M.Renato, "Utilização da Rede SFN para Expansão da Rede de Retransmissão Regional da TV digital Aberta", Dissertação Mestrado Unicamp, 2006.
- [35] Associação Brasileira de Normas Técnicas(ABNT), "Televisão digital Terrestre - Codificação de vídeo, áudio e multiplexação Parte 1: Codificação de vídeo," ABNT NBR 15602-1, 2007.
- [36] Associação Brasileira de Normas Técnicas(ABNT), "Televisão digital Terrestre - Codificação de Vídeo, Áudio e multiplexação Parte 2: Codificação de vídeo," ABNT NBR 15602-2, 2007.
- [37] Tektronix. (2007) *"A Guide to MPEG Fundamental and Protocol Analys"*, [Online]. http://www.tek.com/Measurements/programs/mpeg_fundamentals/
- [38] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), "Televisão digital Terrestre - Multiplexação e Serviços de Informação (SI) - Parte 1:SI do Sistema de Radiodifusão". ABNT NBR 15603-1, 2008.

- [39] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), "Televisão digital Terrestre - Multiplexação e Serviços de Informação (SI) - Parte 2: Estrutura de Dados e Definições da Informação Básica de SI". ABNT NBR 15603-2, 2008.
- [40] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), "Televisão digital Terrestre - Sistema de Transmissão". ABNT NBR 15601, 2007.
- [41] Association of Radio Industries and Business (ARIB), "Transmission System for Digital Terrestrial Broadcasting", STD-B31, V1.6 E2, Nov.2005.
- [42] digital Video Broadcasting (DVB), "Framing Structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", European Telecommunications Standard Institute (ETSI), EN 300 744, V1.5.1, Nov. 2004.
- [43] B.G.David, "Next Generation Mobile Broadcasting", International Standard Book Number-13: 978-1-4398-9869-7, 2013.
- [44] ISDB Project "Channel Coding, Frame Structure and Modulation Scheme for Terrestrial Integrated Services digital Broadcasting ISDB-T", Document 11A/Jxx-E, 1999.
- [45] Pcell Technology, (2015), <http://www.artemis.com/>
- [46] Advanced Television Systems Committee, "Final Report on ATSC 3.0 Next Generation Broadcast Television", ATSC Planning Team 2, Sep, 2011.
- [47] digital Video Broadcasting (DVB), "Second Generation framing structure coding and modulation for digital terrestrial television", European Telecommunications Standard Institute (ETSI), EN 302 307, V1.1.2, Jun. 2006.
- (Jan,2013.). [http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNoticias.do?acao=carregaNoticia &codigo=27866](http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNoticias.do?acao=carregaNoticia&codigo=27866)
- [48] "Western Television, Scanning Disc Television", (Apr,2001) [Online] <http://www.tvhistory.tv/pre-1935.htm>
- [49] CPqD, Relatório Técnico: Planejamento de Canais de TV digital, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, www.anatel.gov.br, Sep.2013.
- [50] Outorgas TVA, (Ago,2007), [Online] <http://www.telesintese.com.br/premio-por-omissao/>

- [51] Arthur Rangel, "Novas Propostas para Otimização de Receptores de TV digital Baseados em OFDM em Ambientes de Redes de Frequência Única Regionais", Tese Doutorado Unicamp, 2007.
- [52] CPqD, Relatório de Análise dos Testes de Laboratório e Campo de Sistemas Digitais Realizados no Brasil', Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 2001.
- [53] Cobertura da TV digital, (2012) [Online]
http://www.teleco.com.br/tvdigital_cobertura.asp
- [54] K.Fitchard, "*The U.S officially enters the gigabyte era of mobile data consumption*", [Online] (Feb, 2014). Disponível em <http://gigaom.com/2014/02/05/cisco-the-u-s-is-officially-in-the-gigabyte-era-of-mobile-data-consumption/>
- [55] CISCO Executive Summary, "*Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013-2018*", White paper, 2013.
- [56] S.Possebon, "Grupos de mídia podem pagar até R\$ 16 milhões pelo espectro de UHF usado por outorgas de TVA", Revista Tela Viva, Out. 2013.
- [57] Office of Science and Technology Policy & The National Economic Council, The White House, "*Four Years of Broadband Growth*", [Online] (Jun, 2013).
http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/broadband_report_final.pdf
- [58] I.Mansfield, "*South Korea to Quadruple Mobile Broadband Radio Spectrum*", Cellular News Magazine [Online] (Dec, 2013). <http://www.cellular-news.com/story/63631.php>
- [59] Da Redação, "Ritmo de crescimento do Netflix cai no segundo trimestre", (Jul, 2013). [Online]. <http://www.telaviva.com.br/22/07/2013/ritmo-de-crescimento-do-netflix-cai-no-segundo-trimestre/tl/348265/news.aspx>
- [60] Redação IG São Paulo, "Censo IBGE 2010". (Apr, 2012) [Online].
<http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/2012-04-27/ibge-pela-1-vez-domicilios-brasileiros-tem-mais-tv-e-geladeira-d.html>

- [61] Relatório Google, "Nosso Planeta Mobile: Brasil, Como entender o usuário de celular". (May, 2013) [Online]. <http://pt.slideshare.net/alexandrehonorio/google-our-mobile-planet-2013>
- [62] F.Santos, "Mercado brasileiro de celulares encerrou 2012 com a marca de 59,5 milhões de unidades comercializadas, segundo estudo da IDC". IDC, Analyze the future, (Mar,2013). [Online]. Disponível em <http://www.idcbrasil.com.br/releases/news.aspx?id=1458>
- [63] Estatísticas ABTA, "Dados do Setor de TV por Assinatura". (Jun,2014). [Online]. Disponível em http://www.abta.org.br/dados_do_setor.asp
- [64] Assessoria, "No mundo, TVs digitais supera analógicas em número, diz estudo da ITU", Forum SBTVD, (Out,2013). [Online] <http://forumsbtvd.org.br/no-mundo-tvs-digitais-supera-analogicas-em-numero-diz-estudo-da-itu/>
- [65] C.Chapman, Relatório Seminário Ericsson, "*Some Spectrum management learning form down under Ericsson Broadband for all*", Jun. 2012.
- [66] E.Zucarini, W.Bastos, M.Caetano, T.Ataíde, R.Gontijo, "TV digital Multiprogramação", Ministério das Comunicações. (Nov,2013) [Online] http://www.mc.gov.br/documentos/imagens/Multiprograma%C3%A7%C3%A3o_EB_C_12NOV2013.pdf
- [67] Z.Wang, A.C.Bovik, R.H.Sheikh, F.P. Simoncelli, "*The SSIM Index for Image Quality Assessment*". (Feb,2003) [Online], <http://www.cns.nyu.edu/lcv/ssim/>
- [68] E.R.Carvalho, "Uma Plataforma Modular para testes com interatividade na TV digital Brasileira", Dissertação de Mestrado USP, 2008.
- [69] S.Tonooka, "*Introducing ISDBT-Tmm mobile multimídia broadcasting system*".(May,2010).[Online] http://www.itu.int/ITU-D/asp/CMS/Events/2011/digitalBroadcast-May2011/S3_Japan.pdf
- [70] H.Rosa, "TV digital Multiprogramação", WirelessBrasil, (Mar,2009). [Online] http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/secoes/tv_digital_multiprograma%C3%A7%C3%A3o/resumo.html

- [71] J. Mitola III and G. Q. Maguire, Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," IEEE Personal Communications Magazine, vol. 6, nr. 4, pp. 13-18, Aug. 1999
- [72] Consultation, "The future role of spectrum sharing for mobile and wireless data services - Licensed sharing, Wi-Fi, and dynamic spectrum access", Ofcom. (Aug,2013).[Online] http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/spectrum-sharing/summary/Spectrum_Sharing.pdf
- [73] S.H Frank, J.E. Carroll, G.A. Sanders; R.L Sole , "Effects of Radar Interference on LTE Base Station Receiver Performance", NTIA Technical Report TR-14-499, Dec, 2013.
- [74] J.J Bazzo, F.A.C.M. Cardoso, D.Manzan , E.Bonon, R. Takaki, D. G Diniz Rádios cognitivos: desafios e tendências,2011.
- [75] ITU. ITU-R SM.2152, "Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS)", Geneva, Switzerland, 2009.
- [76] A.Linhares , R.F.Santoyo, R.Bizerra, Y.Robledo. "Aspectos técnicos e regulatórios para implementação da tecnologia de rádios cognitivos no Brasil", Redes Com, N°9, 2014.
- [77] MACKENZIE, A. B. et al. "Cognitive Radio and Networking Research", Virginia Tech.Proceedings of the IEEE, v. 97, n. 4, p. 660-688,2009.
- [78] FCC Report , "Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands", FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (FCC), 2008.
- [79] FCC Report, "Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands ", FCC 10-174, 2010.
- [80] S.A GHASEMI, "E. S. Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Requirements,Challenges and Design Trade-Offs"., IEEE Communications Magazine, v. 46, n. 4, p.32-39, Apr. 2008.
- [81] D.G Caetano, R. Arthur, " Relatório Projeto RNP Stb-Scan", 2011.
- [82] "Australian Geodetic Datum", (2014) [Online] <http://www.ga.gov.au/earth-monitoring/geodesy/geodetic-datums/historical-datums-of-australia/australian-geodetic-datum-agd.html>.

- [83] Criativa Marketing, "Esclarecendo os métodos do Ibope", (May,2012) [Online] <http://www.criativamarketing.com.br/index.php/inicio/item/379-esclarecendo-os-m%C3%A9todos-do-ibope>.
- [84] IEEE WirelessMAN 802.16, "Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", IEEE P802.16 Draft, Mar, 2007.
- [85] Folha Uol, "GFK ANUNCIA INÍCIO DE MEDIÇÃO DA AUDIÊNCIA NA TV NO BRASIL"; (Mar,2014) [Online]. <http://www.agppesquisas.com.br/noticias-e-artigos/gfk-anuncia-inicio-de-medicao-da-audiencia-na-tv-no-brasil/>
- [86] Farr, T.G., P.Rosen, et. Al., "The Shuttle Radar Topography Mission", *Reviews of Geophysics*, Vol.45, DOI: 10.1029/2005RG00018, Issue 2, Jun,2007.
- [87] Zebker, Goldstein, "Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), Volume 91, Issue B5, pages 4993-4999, 10, April 1986.
- [88] C.H.Grohmann, C.Riccomini, Steiner, "Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia", *S.S./Rev. Geogr. Acadêmica* v.2 n.2 . ISSN 1678-7226, 2008.
- [89] S.Young, W. Waters, "Comparison of Google Elevation Data and SRTM3 Elevation Data". (May,2010) [Online]. <https://groups.google.com/forum/#!topic/google-maps-js-api-v3/KcjkS-U36dE>
- [90] T.S.Rappaport, "Wireless Communications Principles and Practice", Second Edition, 2002.
- [91] J.Butler et.Al, "Wireless Networking In The Developing World", 3rd Edition, ISBN-13: 978-1484039359, 2013.
- [92] Spring, Neil, Riley, F.George, "Passive and Active Measurement", 12th International Conference, PAM. 2011 .
- [93] P.Bourke, "Calculation The Area and Centroid of a Polygon". (July, 1988) [Online] http://www.seas.upenn.edu/~sys502/extra_materials/Polygon%20Area%20and%20Centroid.pdf

- [94] Teste de velocidade de Conexão, (2014) [Online] <http://www.minhaconexao.com.br>
- [95] F.Nasir, A.Adeseke, Ayeni ,Y.A. Adediran , “*On the study of empirical path loss models for accurate prediction of TV signal for secondary users*”, Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 49, 155-176, 2013.
- [96] C. Phillips, D. Sicker, D Grunwald , “*Research Article Bounding the Practical Error of Path Loss Models*”, March 2012.
- [97] A. Brandalize, “ Perfilamento a LASER : Comparação com Métodos Fotogramétricos”, Revista Brasileira de Geografia Física, vol 07, n.04 ,2014.
- [98] Resolução 284, Anatel, (2001) [Online]
<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/2001/270-resolucao-284>
- [99] Tela Viva, (Out,2013), [Online]
<http://www.telaviva.com.br/31/10/2013/grupos-de-midia-podem-pagar-ate-r-16-milhoes-pelo-espectro-de-uhf-usado-por-outorgas-de-tva/pt/359870/news.aspx>
- [100] R. W. Sinnott, “*Virtues of the Haversine*”, Sky and Telescope 68 (2), 159 ,1984.
- [101] G. J.Allman, “Greek Geometry from Thales to Euclid.” Reprinted by Kessinger Publishing LLC 2005. ed. [S.l.]: Hodges, Figgis, & Co, 1889. p. 26. ISBN 143260662X.
- [102] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “Televisão digital Terrestre - Guia de Operação”. ABNT NBR 15608-1, 2008.
- [103] Google Maps API v3, (2014) [Online]
<https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/?hl=pt-br>
- [104] E.R.Berlekamp, “*Algebraic coding theory*”, McGraw-Hill, New York, 1968[Online]http://catalogue.pearsoned.co.uk/assets/hip/gb/hip_gb_pearsonhighered/samplechapter/Glover_digital%20Comms_C01%20reduced%20file%20size.pdf
- [105] I.A Glover, “*Digital Communications*”, 3rd Edition, Aug, 2009.
- [106] H. Nickl, J. Hagenauer, F. Burkert, “*Approaching Shannon’s Capacity Limit by 0.2 dB Using Simple Hamming Codes*”, IEEE Communication Letters,1997.

[107] LICITAÇÃO Nº 2/2014-SOR/SPR/CD-ANATEL, “Edital Leilão Faixa de 700 MHz”, [Online] <http://www.astralbrasil.org/documentos/edital-de-leilao-da-faixa-de-700-mhz.html>

Trabalhos Publicados

- [1] D. G. Caetano ,Y. Iano, , R. Arthur, E. Carrara, *Performance Comparison of Convolutional and Turbo Convolutional Codes for ISDB-T in AWGN and Brazilian Channels*, ITS2006 International Telecommunications Symposium, Fortaleza-CE, 2006.
- [2] D. G.Caetano, Y.Iano, C.Akamine, R.Arthur, G.Bedicks Jr ,*“Improving DVB-T system for Brazilian Enviroments”*, IEEE/Comsoc/SBrT -6th International Telecommunications Symposium 2006 - Fortaleza - Ceará, Brasil, Setembro de 2006.
- [3] D. G. Caetano ,R. Arthur, Y. Iano, C. Akamine, *Evaluation of improved ISDB-T by Turbo Codes using Brazilian Channels*, Unisal - Revista de Ciência e Tecnologia, ISSN 1677-9649,2007.
- [4] D.G. Caetano, “Análise de Desempenho do Sistema DVB-H em canais Brasil”, Revista Ciência e Tecnologia, Unisal, Setembro de 2006.
- [5] R.Arthur, Y.Iano ;R.F.Larico, L.H. Bonani; D.G.Caetano, “Nova técnica para sincronismo em tempo e frequência de sinais OFDM baseada em reconhecimento de padrões.”, XXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBrT, Rio de Janeiro,2008.
- [6] D.G Caetano , Y. Iano, R. Arthur, “Análise de Segurança em Sistemas de Acesso Condicional DVB”, Revista Ciência e Tecnologia, v. 25, p. 34/10, 2010.
- [7] D.G Caetano , Y. Iano , R. Arthur; V.I.B Sablon, “Comparação de Desempenho do Sistema Isdb-tb Utilizando Concatenação de Códigos BCH, LDPC e Turbo Codificadores”. In: Brazilian Technology Symposium, 2010, Campinas. 2010. v. 1.
- [8] J.P Covre, V.I.B Sablon, D.G. Caetano, “Software para Transmissão por Carrossel de Dados DSM-CC para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital”, LACCEI 2012.
- [9] Y.Iano, D.G Caetano, R.Arthur, “A Real Time QoS monitoring system for Broadcast digital TV over 3D Maps”, CC3DR, 2012.

[10] D.G Caetano, Y.Iano, R.Arthur, V.I.B Sablon, Pedido de Patente INPI (Np) 13084-4, 2012, “Método e ferramenta para coleta de sinais, estatística de acesso, auxílio à predição de cobertura de sinal digital terrestre e diagnóstico para instalações de TV digital”.