



# ANTENA LOG-PERIÓDICA PARA RECEPÇÃO DE SINAL DE TV DIGITAL BRASIL/PORTUGAL

**RENAN BENEVIDES**

dezembro de 2017

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO  
ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA ELÉTRICA

RENAN BENEVIDES

ANTENA LOG-PERÍODICA PARA RECEPÇÃO DE SINAL DE TV DIGITAL  
BRASIL/PORTUGAL

São Paulo/Porto

2017

RENAN BENEVIDES

ANTENA LOG-PERIÓDICA PARA RECEPÇÃO DE SINAL DE TV DIGITAL EM  
BRASIL/PORTUGAL

Trabalho de Graduação Interdisciplinar apresentado aos cursos de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores do Instituto Superior de Engenharia do Porto e de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Elétrico e Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores.

ORIENTADOR: PROF. DOUTOR EDSON TAFELI CARNEIRO DOS SANTOS

PROF. MESTRE ARTUR NEVES E SOUZA

São Paulo/Porto

2017

## **AGRADECIMENTO**

A Deus por ter me proporcionado força e saúde para superar dificuldades e por ter colocado pessoas maravilhosas em minha vida.

Aos meus familiares pelo amor, apoio e incentivo incondicionais que mesmo nos momentos mais difíceis, nunca me faltaram.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Edson Tafeli Carneiro dos Santos e Prof. Mestre Artur Neves e Souza, por me guiarem não só apenas nas correções dentro do pouco tempo que lhe couberam, mas por acreditarem e confiarem neste trabalho.

Ao corpo docente da Universidade Presbiteriana Mackenzie por toda a construção de base e evolução que me foi proporcionado ao longo desses anos de formação acadêmica.

Ao corpo docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto por me receber e acolher em sua Universidade, e proporcionar uma experiência internacional incrível.

## RESUMO

Este trabalho trata de um projeto e análise de uma antena log-periódica para recepção de sinal de TV digital operante em Portugal e no Brasil, a qual abrange a faixa de frequências 470 MHz a 758 MHz pertencente ao espectro *Ultra High Frequency* (UHF). As principais características das antenas, tais como diagrama de radiação, diretividade, ganho, eficiência e taxa de onda estacionária, *voltage standing wave ratio* (VSWR), foram apresentadas e analisadas para que assim fosse possível escolher um tipo que tivesse um bom resultado final e que se enquadrava dentro das especificações, a qual a log-periódica foi a escolhida para a montagem. Diferentes *softwares* também foram analisados para saber qual se adequava às necessidades de modelagem e análise. Assim, seguindo os cálculos teóricos e as particularidades desse tipo de antena, foram calculadas as medidas da geometria da antena, modelada no software de simulação *Computer Simulation Technology* (CST) e analisados os resultados obtidos. Após as análises teóricas e as simulações, foi montado um protótipo da antena o qual apresentou os resultados esperados validando as técnicas empregadas.

**Palavra-chave:** Antena Log-periódica, TV Digital, sinal UHF.

## **ABSTRAT**

This work deals with the design and analysis of a log-periodic antenna for digital TV signal reception in Portugal and Brazil, which cover the frequency ranges of 470 MHz to 758 MHz, belonging to the Ultra High Frequency (UHF) spectrum. As the main characteristics of the antennas, such as radiation pattern, directivity, gain, efficiency and voltage standing wave ratio (VSWR), many specifications, one of which the log-periodic was chosen for an assembly. Different software has also been analyzed to find out which is most appropriate as modeling and analysis needs. Thus, following the theoretical calculations and antenna type particularities, all measurements of the antenna geometry, modeled on Computer Simulation Technology (CST) simulation software, were calculated and the results obtained were analyzed. After theoretical analysis and simulations, a prototype of the antenna was assembled and this one presented the expected results validating the techniques employed.

**Index Terms:** Log-periodic Antenna, Digital TV, UHF signal.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BER	Bit Error Ratio
C/N	Carrier-to-noise Ratio
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CST	Computer Simulation Technology
CST MWS	CST Microwave Studio
dB	Decibel
dB <sub>i</sub>	Decibel em relação a uma isotrópica
DC	<i>Direct Current</i>
DGS	Defect ground structure
DTV	Digital Television
DVB-T	Digital Video Broadcasting Terrestrial
DVB-T2	Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Version
E	Campo Elétrico
EM	Campo Eletromagnético
FM	Frequency Modulation
GHz	Giga Hertz
GO	Estado Brasileiro de Goiás
GPS	Global Position System
H	Campo Magnético
HD	High Definition
HDTV	High Definition Television
HE-AAC	High –Efficiency Advanced Audio Coding
Hz	Hertz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPTV	Internet Protocol Television
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial
ISSN	International Standardized Serial Number
MHz	Mega Hertz

NEC-2	Numerical Electromagnetics Code Second Version
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PEG	Moving Picture Experts Group
RF	Radio Frequênci
S11	Perda de retorno
SBTVD	Sistema Brasileiro de TV Digital
SP	Estado Brasileiro de São Paulo
TDT	Televisão Digital Terrestre
TOE	Taxa de onda estacionária
TV	Televisão
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Tabela dos valores Pré-estabelecidos do Projeto	42
Tabela 2- Relação dos comprimentos dos pares de elementos e suas distâncias relativas a uma extremidade da lança.	44
Tabela 3- Listando canais de São Paulo – SP	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Configuração da antena e a simulação da perda de retorno.	19
Figura 2 – Antena proposta por Tsai e Chen para recepção e sinal de TV digital.	20
Figura 3 - Layout do software CST Microwave Studio.	24
Figura 4 - Layout do software ANSOFT HFSS.	25
Figura 5 - Layout do software EZNEC Antenna Software.	26
Figura 6 - Análise de uma antena patch de 2.4GHz com amostra do S-parameter, densidade corrente e padrão de radiação Far-fiel.	27
Figura 7- Representação dos Planos E e H separadamente e sua combinação para um padrão de irradiação Omnidirecional.	29
Figura 8- Representação da distribuição da corrente em Dipolos de vários comprimentos.	31
Figura 9- Representação de uma antena Parabólica feita por Collin (1985).	32
Figura 10- Representação de uma antena Yagi-Uda	34
Figura 11- Representação da geometria da antena log-periódica.	36
Figura 12: Relação da diretividade, $\sigma$ e $\tau$ .	37
Figura 13- Relação de Impedância	40
Figura 14: relação de tau e sigma	42
Figura 15- relação de Impedância	45
Figura 16- Modelagem no CST, perspectiva lateral.	46
Figura 17- Modelagem da antena no CST, perspectiva frontal.	46
Figura 18- Modelagem da antena no CST, perspectiva diagonal.	46
Figura 19- Primeira montagem física da antena.	47
Figura 20- Conector na antena montada.	47
Figura 21- Antena Fixada no suporte	48
Figura 22- Kit de Calibração 85032E.	49
Figura 23- S-Parameter simulado para 0 a 3GHz.	50
Figura 24- Resultado apresentado pelo parâmetro $S_{11}$ na simulação, considerando todo sinal abaixo de -10dB.	51
Figura 25- Resultado apresentado pelo parâmetro $S_{11}$ na simulação, considerando todo sinal abaixo de -7,5dB.	51
Figura 26- Resposta da Impedância na carta de Smith.	52
Figura 27- Simulação do VSWR pelo CST.	52

Figura 28- Amostras da Diretividade na frequência 500 MHz.	53
Figura 29- Diretividade em 3D na frequência 500 MHz.	53
Figura 30- Resposta no Analisador de Rede E5062A.	54
Figura 31- Perda de Retorno comparativo de 300 MHz 3 GHz.	55
Figura 32- Perda de Retorno comparativo de 300 MHz 1 GHz.	55
Figura 33- Comparativo das respostas de VSWR entre os modelos.	56
Figura 34- Antena sintonizado no canal da Cultura.	57
Figura 35- Antena sintonizado no canal da Globo.	57
Figura 36- Diagramas polares simulados para Diretividade das frequências 600 MHz (a), 700 MHz (b) e 800 MHz (c).	62
Figura 37- Diagramas simulados para Diretividade em 3D das frequências 500 MHz, 700 MHz e 800 MHz.	64
Figura 38- Detalhe da garra no suporte.	66
Figura 39- Perspectiva de trás.	66
Figura 40- Perspectiva da Frente da Antena.	67
Figura 41- Detalhe do conector na Antena.	67

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.1.1 OBJETIVO GERAL .....	16
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
1.2 JUSTIFICATIVA .....	16
1.3 METODOLOGIA .....	17
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>19</b>
2.1 NOVO DESIGN DE ANTENA MONOPOLO PARA RECEPÇÃO DE TV DIGITAL .....	19
2.2 ANTENAS COMPACTA DE ABERTURA MONOPOLO DE BANDA LARGA PARA APLICAÇÕES DE TV DIGITAL .....	20
2.3 ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS DA TV ABERTA NO BRASIL .....	21
2.4 RETRANSMISSORES DIGITAIS .....	21
2.6 O DESEMPENHO PRÁTICO DA TRANSMISSÃO DE SINAIS DE TV DIGITAL .....	22
2.7 DVB-T2 X DVB-T .....	22
2.8 TRANSPOSIÇÃO DE FM: HABILITANDO CIDADES CONECTADAS E TECIDOS INTELIGENTES .....	23

<b>3. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO.....</b>	<b>24</b>
3.1 CST STUDIO SUITE .....	24
3.2 ANSOFT HFSS .....	25
3.3 EZNEC ANTENNA SOFTWARE.....	26
3.4 SONNET SOFTWARE .....	27
3.5 CONCLUSÃO SOBRE OS SOFTWARES DE SIMULAÇÃO ELETROMAGNÉTICA .....	28
<b>4. ANTENAS.....</b>	<b>29</b>
4.1 TIPOS DE ANTENA.....	31
<b>4.1.1 Antenas tipo fio - dipolo .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.2 Antenas de abertura .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.3 Antenas independentes da frequência.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1.4 Antena log-periódica – conjunto de dipolo .....</b>	<b>33</b>
4.2 ESCOLHA DA ANTENA CANDIDATA AO PROJETO.....	35
<b>5 PROJETO DE MODELAGEM E MONTAGEM DA ANTENA LOG-PERIÓDICA .</b>	<b>36</b>
5.1 EQUAÇÕES DE PROJETO.....	41
5.2 MODELAGEM NO SOFTWARE CST.....	45
5.3 MODELAGEM FÍSICA DA ANTENA LOG-PERIÓDICA.....	46
<b>6. RESULTADOS DOS TESTES.....</b>	<b>49</b>
6.1 RESULTADOS OBTIDOS POR SIMULAÇÃO.....	50
6.2 RESULTADOS DE PERDA DE RETORNO MEDIDOS.....	54
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>58</b>

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>62</b>
ANEXO A - DIAGRAMAS POLARES DA DIRETIVIDADE.....	62
ANEXO B - DIAGRAMAS POLARES DA DIRETIVIDADE 3D .....	64
ANEXO C - PERSPECTIVAS DA ANTENA MONTADA .....	66
ANEXO D - LISTANDO CANAIS DE SÃO PAULO – SP .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

Antenas são dispositivos usados para radiação ou recepção de ondas eletromagnéticas, ondas de rádio, podendo ter diferentes geometrias e aplicações (HUANG e BOYLE, 2008). Esta estrutura intermediária entre o espaço livre e o dispositivo de guiamento, linha de transmissão, é utilizada para liberar a energia eletromagnética gerada por uma fonte para o espaço livre ou captura-la, chamada de antena transmissora ou receptora, respectivamente.

A história da antena teve início provável em 1842 com o inventor da telegrafia por fio, Joseph Henry. Quando ele aplicou um sinal em um circuito em uma sala da Universidade de Princeton e observou que as agulhas em um circuito localizadas na adega foram magnetizadas pela corrente. O experimento foi repetido algumas vezes até atingir uma distância de um quilómetro entre os dois circuitos (STUTZMAN, 1998).

Porém foi Hertz quem realizou o primeiro experimento aceitável de antena em 1887, aplicando as Equações de Eletromagnetismo de Maxwell, as quais consistiam em um sistema para produzir e detectar ondas de rádio eletromagnético. Foram usados dois tipos de antenas, dipolo e o *loop*, onde a informação em binário foi transmitida de transmissor ao receptor de forma sem utilizar fios condutores. Desta forma pode ser considerado o primeiro sistema sem fio digital (HUANG e BOYLE, 2008).

O inventor Guglielmo Marconi, desenvolveu e comercializou uma tecnologia sem fio voltado para o sistema de radiotelegrafia. Realizando diversos experimentos com a antena monopolo de um quarto de onda. Seu experimento mais famoso é o de transmissão transatlântico de Poldhu, Reino Unido para Newfoundland, Canadá em 1901.

Já na Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945), foram utilizados outros tipos de antenas, além das antenas do tipo fio. Para detectar os aviões, navios ou submarinos inimigos, era preciso uma resposta rápida e de longo alcance, assim foram empregadas antenas de alta frequência do tipo abertura.

A partir 1948, houve um aumento das aplicações e o uso de antenas com a difusão de televisão, comunicações por satélite e uso de métodos computacionais para problemas eletromagnéticos na década de 1960 passando para comunicação de telefonia móvel em 1980. Assim, com o avanço tecnológico, as antenas passam a ser usadas não somente em comunicações analógicas, mas também em comunicações digitais, as quais são a base das

comunicações de celulares, comunicação via satélite, emissoras de televisão, entre outras. O último exemplo citado é base deste trabalho

Para a transmissão digital usa-se o sinal de *ultra high frequency* (UHF), a qual abrange a faixa de frequência 300 MHz a 3 GHz e a banda de cada canal é de 6 MHz no Brasil e 8 MHz em Portugal (ANACOM, 2008) (ANATEL, 2017).

Em Portugal usa-se o padrão de transmissão terrestre digital europeu *Digital Video Broadcasting Terrestrial* (DVB-T) a qual utiliza o MPEG-2 como padrão de compressão de vídeo e áudio, codificação COFDM com taxas de transmissão de 5 a 31,7 Mbit/s, ANATEL (2017).

Já o Brasil baseou-se no padrão de transmissão terrestre digital japonês *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial* (ISDB-T) nomeando-o de Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTV-D). Este padrão é usado em larga escala na América Latina bem como em outros países da América Central, África e Ásia. O padrão SBTV-D possui quase a mesma montagem prática, contudo há diferenças em vídeo, 30 *frames* por segundo no Brasil utiliza e 15 *frames* por segundo no Japão, áudio de HE-AAC v2 no Brasil para MPEG-2 AAC no Japão, entre outros, (ANATEL, 2017).

A mudança da transmissão da TV analógica para a digital atinge todos os âmbitos, tanto a emissora quanto o usuário. Para a emissora implica em investir em novos equipamentos de modulação, demodulação e transmissão. Para o usuário implica em troca de aparelho de televisão ou obter um conversor Digital/Analógico e na troca da antena, para uma antena de recepção UHF.

Em Portugal, essa transição foi dividida em três fases, iniciou-se em janeiro de 2012 e o desligamento total da transmissão analógica ocorreu em 26 de abril de 2012 e assim, todo o território português passou a transmitir o sinal digital, incluindo a região da Madeira e dos Açores (ANACOM, 2008).

Já no Brasil, essa transição está em andamento. Iniciou-se em fevereiro de 2016, em Rio Verde (GO) e tem previsão de até o final de 2018 pelo menos todas as capitais já estejam 100% digital (ANATEL, 2017).

Brasil e Portugal não compartilham da mesma faixa de frequência utilizada para a transmissão do sinal digital. Segundo o site *Televisão digital terrestre* (TDT) de Portugal, os transmissores atualmente utilizam os canais 40 ao 56, os que abrangem as frequências 622 MHz ao 758 MHz. Já o Brasil, segundo a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), utiliza o canal 14 ao 51, os quais abrangem as frequências 470 ao 698 MHz, pois os canais 52 ao 59 foram reservados para implementar a 4ª geração da comunicação de telefonia móvel.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo analisar, simular e implementar fisicamente uma antena para recepção do sinal de TV digital do padrão ISDB-T (SBTVVD) e do padrão europeu DBV que cobre a faixa de 470 MHz a 758 MHz. Esta antena deve possuir largura de faixa suficiente para cobrir toda a faixa citada.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos para a construção desta antena são apresentados abaixo:

- a) Analisar os tipos de geometrias de antenas adequadas a faixa de UHF;
- b) Analisar os tipos de antenas existentes e suas características;
- c) Avaliar os tipos de softwares de simulação;
- d) Projeto e montagem do protótipo;
- e) Avaliar o desempenho da antena num receptor de TV comercial.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Em 2006 foi decretado a implantação da TV digital no Brasil através do sistema SBTVD-T (Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre), que viabiliza o uso a população de forma gratuita e foi determinado um prazo, de sete anos após a data do decreto, para a mudança completa da transmissão analógica para digital. Porém esses prazos e algumas possibilidades previstas não foram cumpridos e adiados devido diversos fatores territoriais e técnicos, (ANATEL, 2017).

Com o desligamento da TV analógica e a mudança de todo o sistema para o meio digital serão necessárias modificações no sistema de televisivo atual, aumentando a qualidade de sinal e o serviço. Assim, é preciso estudos na área de antenas e seus métodos obtendo assim o melhor resultado possível considerando as interferências no meio urbano devido aos grandes números de obstáculos e também as áreas rurais devido às distâncias as quais os usuários se encontram.

A televisão é o eletrodoméstico mais comum nos domicílios brasileiros, existente em 97,2%, segundo o IBGE, das residências do país, com a maior porcentagem utilizando o sinal de TV aberta, que pode ser analógico ou digital. O sistema de TV aberta é o mais acessível do país no segmento televisivo. Pois, se analisar cidades pelo interior do país, onde não possuem acesso a TV à cabo ou mesmo acesso à internet, a TV aberta é possível um item de fácil acesso, com isso, um dos motivos para a prorrogação do desligamento do sinal analógico foi de uma grande parte da população não possuírem ao menos um conversor analógico digital.

As mudanças nas comunicações são constantes, criando assim muita área de estudo e criação de sistemas. Uma das mais recentes são as antenas internas, que serão utilizadas nos televisores em pouco tempo, ao invés de se colocar uma antena externa para captação de sinal, usa-se uma interna que possui maior ganho que suas antecessoras, além de uma estabilidade maior do sinal, enquanto que na externa poderiam ser alteradas pelo clima com maior facilidade.

Antes com o sinal analógico existiam problemas causados pelo multi-caminho, ou se ruído na rede elétrica, no digital o multi-caminho serve como reforço de sinal, facilitando a decodificação e aumentando a qualidade da captação, isso ocorre por meio de controle na recepção dos dados e sistema de GPS (*global position system*) para sincronismo.

Este projeto visa também elaborar uma antena capaz de sintonizar nos canais brasileiros e portugueses, mesmo fazendo parte de diferentes sistemas televisivos e possuírem a banda de cada canal diferentes. Desta forma possibilitando a comercialização da antena em ambos os países, ou até em outros países os quais trabalhem na mesma faixa de frequência.

### 1.3 METODOLOGIA

Este trabalho será elaborado através de pesquisas teóricas, simulações e construção de uma antena log-periódica para recepção do sinal de televisão digital para Brasil e Portugal.

Seu componente teórico será desenvolvido por meio de pesquisas bibliográficas sobre os tipos de antenas e softwares, seus condicionantes técnicos, seus parâmetros fundamentais e principais diferenças que influenciam no resultado final.

Seu componente prático é dividido em duas partes, simulação e montagem.

As simulações serão realizadas através de um software simulação eletromagnética de onda completa determinado após uma análise dentre as opções, a fim de auxiliar no desenvolvimento do protótipo.

A montagem será realizada após a escolha do software e tipo de antena analisados anteriormente.

Finalizando com testes do protótipo em ambiente não ideais e apresentará e comparará os resultados obtidos.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho se estruturará em seis seções;

A Seção 1 apresentará a introdução que é composta pelos seguintes itens: texto de conceituação e caracterização do tema; Objetivo; Justificativas; Metodologia.

A Seção 2 retratará alguns estudos recentes relacionado ao tema desse trabalho para que assim possa ter uma visão geral sobre o assunto.

A Seção 3 analisará software de simulação eletromagnética de antenas.

A Seção 4 apresentará os tipos de antenas, suas características e a antena candidata à construção.

A Seção 5 apresentará o projeto de modelagem no software e a montagem do protótipo.

A Seção 6 avaliará o resultado desempenho da antena num receptor de TV comercial.

A Seção 7 tecerá as conclusões do trabalho e indicará algumas recomendações para pesquisas futuras.

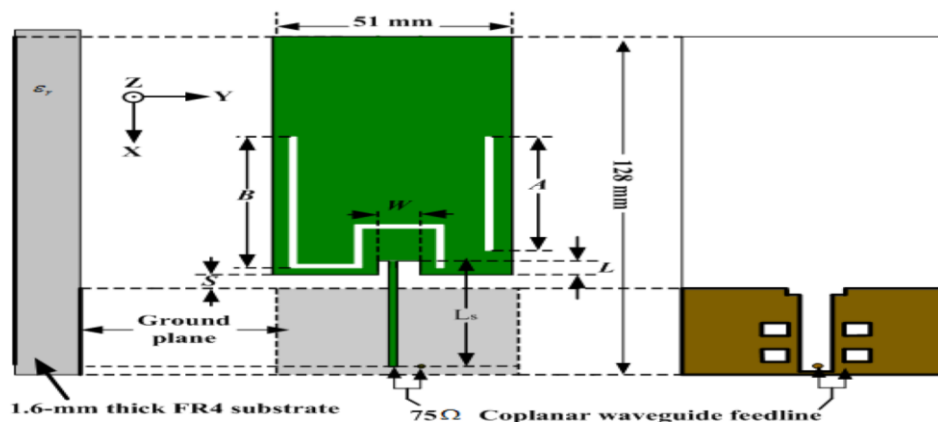


## 2.2 ANTENAS COMPACTA DE ABERTURA MONOPOLO DE BANDA LARGA PARA APLICAÇÕES DE TV DIGITAL

Tsai e Chen (2012) propuseram uma antena compacta para receber o sinal de TV digital. Em suas pesquisas observaram que os televisores analógicos estavam sendo substituídos por televisores digitais, e outros dispositivos também recebiam o sinal digital de televisão como aparelhos celulares. Desta forma, para facilitar a portabilidade da antena, pensaram em construir uma antena também compacta. A antena implementada era um monopolo impresso.

Segundo os resultados obtidos após a montagem na antena, sua eficiência de radiação foi superior a 88% ao longo da banda com um VSWR menor do que 2, o qual é essencial para o casamento de impedância ser aceitável. O design fornece uma nova maneira de compactar o tamanho da antena convencional e produz uma ampla banda com excelente impedância. A Figura 2 apresenta a configuração da antena projetada por Tsai e Chen com os detalhes da geometria e informações das características dos diferentes materiais usados.

Figura 2 – Antena proposta por Tsai e Chen para recepção e sinal de TV digital.



Fonte: Tsai e Chen (2012).

### 2.3 ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS DA TV ABERTA NO BRASIL

Com o desligamento da TV Analógica no Brasil, as emissoras de televisão aberta devem migrar seus serviços para a TV digital. Machado Filho (2013) analisou as tendências apontadas na TV aberta no Brasil para saber quais recursos podem ser melhor aproveitados com a passagem para a TV digital aberta. Essa pesquisa foi realizada com audiência da TV aberta averiguando quais o melhor meio de interatividade, além de diversas pesquisas feitas em outros países, para que com isso pudesse se determinar os melhores métodos para digitalização da TV aberta. Entre os métodos analisados se destacaram o IPTV, o sinal de televisão é transmitido através de um IP fixo na internet e TV digital, o sinal é transmitido através de impulsos eletromagnéticos por radiodifusão. A televisão aberta no Brasil está mudando, tentando manter sua relevância e penetração das camadas sociais, assim vários métodos podem ser usados para a sua transmissão e seu melhoramento.

### 2.4 RETRANSMISSORES DIGITAIS

Balan (2013) realizou um estudo para implantação de retransmissores digitais que fazem parte HDTV, sistema para exibição de programas e comerciais pré-gravados, sistema para comutação de programas ao vivo e telejornais vindos de outros estúdios ou externas e inserção de logo da emissora em marca d'água. Este estudo consistiu em testes laboratoriais e seguindo a lei brasileira para obtenção de formulas mais precisas para a alocação da geradora e retransmissores para o Brasil. Além da TV digital, o Brasil deverá adotar outros parâmetros para que o sinal seja recebido por vários aparelhos e conversores para TVs analógicas, criando assim um sistema uniforme que possa ser utilizado por todos os aparelhos desde Full HD até um televisor simples com um conversor digital-analógico.

### 2.5 ISDB-TB

Um dos desafios na implantação de um novo sistema de transmissão é adapta-lo de acordo com as necessidades de onde será implantado. No Brasil existem diferentes tipos de relevo e um território extenso, o que dificulta a implantação total de um sistema de transmissão digital. Bueno, Bedicks e Akamine (2013) realizaram um estudo na Bostwana com objetivo de

conseguir o modelo ideal do sistema de transmissão ISDB versão terrestre B mostrar através de testes laboratoriais e com dois objetivos básicos, determinar o comportamento do receptor para valores específicos de BER e analisar a relação entre C/N e BER no ambiente do laboratório obtiveram, em diversos locais, diferentes interferências campos de enfraquecimento do sinal. Os testes de campo foram executados em 41 localidades para o sinal de TV digital e estes testes mostraram que o sistema ISDB-Tb tem uma viabilidade de serviço de 82,93%, o qual é aceitável para os padrões de TV digital para o país.

## 2.6 O DESEMPENHO PRÁTICO DA TRANSMISSÃO DE SINAIS DE TV DIGITAL

Para atender a necessidade de liberar faixa de frequência para as operadoras de telefonia móvel, Silva (2014) analisou o desempenho do sinal da TV digital na faixa de transmissão *very high frequency* (VHF), frequência mais baixas em relação as outras utilizadas para transmissão, dando ênfase na eficácia da recepção do sinal e se permanecem nas condições da norma brasileira. Assim, foram realizados testes conjuntos com o Ministério das Comunicações e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) utilizando um laboratório móvel de TV digital, para medida em campo para medição da tenacidade do sinal. Com isso, os níveis dos canais de televisão que se encontram na faixa de frequência VHF nas 50 medidas feitas, quando comparados aos níveis fornecidos pelo simulador e mais a atenuação urbana e suburbana, supriram os valores previstos, seguindo o desvio padrão fornecido de 5,5dB. Então, a pesquisa se finaliza com o sinal digital transmitido na faixa de frequência VHF tem maior capacidade de contorno de obstáculo, o qual sofre menos atenuação em região urbana e é superior ao sinal transmitido pela maior malha frequências a UHF.

## 2.7 DVB-T2 X DVB-T

Aranha e Rocha (2016) fizeram uma análise comparativa das duas versões do sistema de transmissão terrestre, DVB-T e DVB-T2, apresentando assim suas características, vantagens e desvantagem. Por conta da necessidade de transmitir maior quantidade de dados em um espectro cada vez mais escasso, há a necessidade de uma constante substituição da tecnologia a fim de uma maior eficiência.

A princípio, o DVB-T foi criado para substituir o sinal analógico e foi implantado, principalmente, na Europa.

Já o DVB-T2 foi pensado para melhorar a versão anterior, dessa forma foram estabelecidas algumas premissas como: não consideraram a hipótese de alterar ou acrescentar novas antenas, deve ser utilizado as antenas já existentes; 30% a mais de capacidade no sistema com a utilização da mesma banda; flexibilidades em banda e frequência; entre outros.

Após apresentarem as especificações de cada sistema de transmissão, Aranha e Rocha concluíram que o modelo DVB-T2 superou os 30% a mais de capacidade previsto chegando a 50%, aumentou a eficiência de banda e corrigiu um problema de *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) encontrado na primeira versão, o qual diminuía a eficiência dos amplificadores e causava distorções.

## 2.8 TRANSPOSIÇÃO DE FM: HABILITANDO CIDADES CONECTADAS E TECIDOS INTELIGENTES

Wang e Iyer (2017) desenvolveram uma pesquisa a qual se concentrava em novos tipos de comunicação sem fio, onde não exigisse grandes quantidades de energia. Observaram a grande quantidade de energia que existia no ar bombeadas pelas estações rádio bases das estações FM e quiseram aproveitá-las. O dispositivo seria capaz de capturar essas ondas já existentes no ar, modifica-las ligeiramente e retransmitir um novo conteúdo usando apenas uma pequena bateria para alimentar a antena, a qual poderia ser consumida durante anos.

O primeiro teste do dispositivo foi instalado em um cartaz anunciando um concerto de Seattle por Simply Three. Puderam observar que os dispositivos móveis conseguiam sintonizar no canal em até 4 metros, já os automóveis poderiam sintonizar em 18 metros de distância de onde o cartaz estava instalado.

A base do funcionamento deste dispositivo está em usar o princípio de retrodifusão (quando a onda emitida pela estação rádio base sofre uma dispersão e essa dispersão é feita no sentido oposto da transmissão) e codifica um sinal diferente em cima da onda já existente, alterando assim a sua frequência para uma frequência que não está em uso por nenhuma estação já existente.

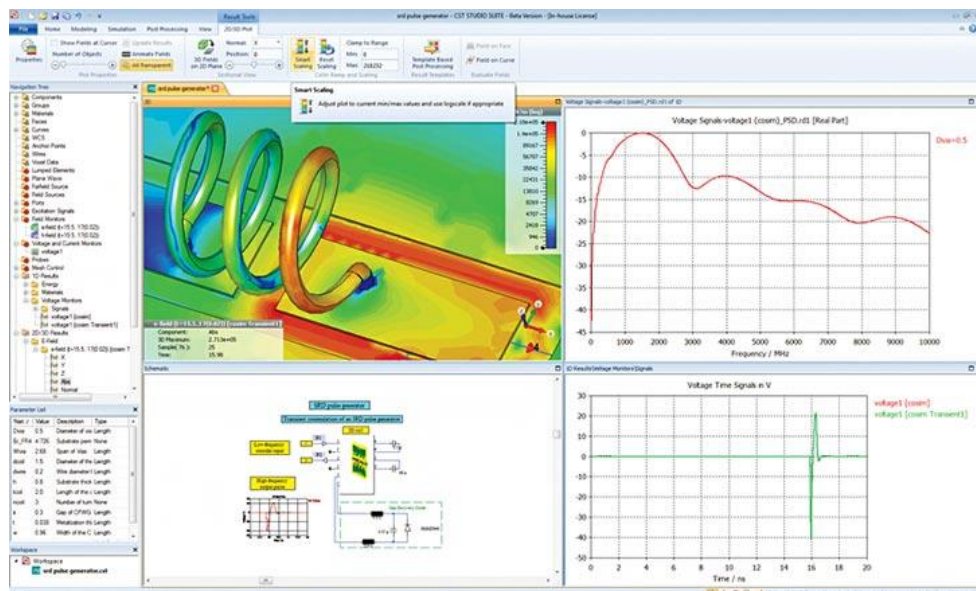
### 3. SOFTWARES DE SIMULAÇÃO

Para se projetar uma antena é preciso analisar diversas variáveis simultaneamente, todos os cálculos devem ser precisos e possuir uma visão dos resultados esperados. Então, algumas empresas do ramo da engenharia desenvolveram softwares para simular essas aplicações e facilitar o desenvolvimento do projeto. Este trabalho retratará alguns dos softwares de simulação eletromagnética mais usados nesta área e compara-los a fim de usar o que mais se encaixa no desenvolvimento da montagem de uma antena de recepção de sinal UHF.

#### 3.1 CST STUDIO SUITE

O CST STUDIO SUITE, desenvolvido pela *Computer Simulation Technology* (CST), é um software especializado em simulações de projetos eletromagnéticos, suas ferramentas de projetos são desenvolvidas para otimizar e operar várias bandas de frequência. Suas principais características são: *Interface* fácil de usar; filtros de importação capaz de interagir com outros programas, como o Matlab; parametrização versáteis e ferramentas de otimização automática; opções de pós-processamento; operações no domínio do tempo e da frequência. A Figura 3 apresenta o *layout* do *software* e algumas de suas funções.

Figura 3 - Layout do *software* CST *Microwave Studio*.



Fonte: CST MWS

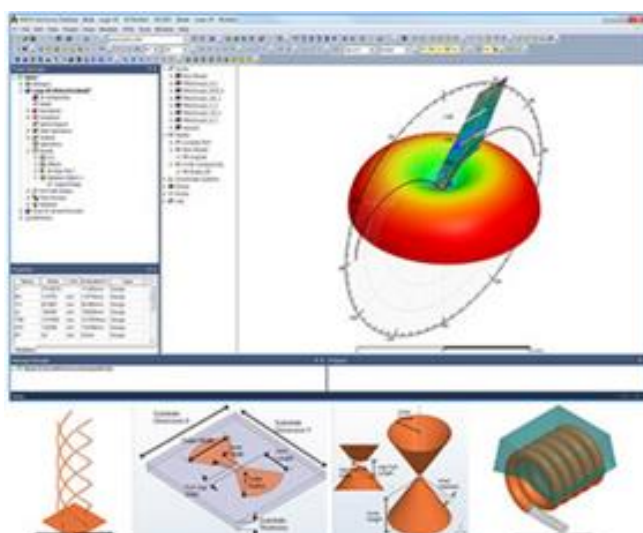
O CST é dividido em módulos para várias aplicações, rádio e frequência (RF), motores, sensores, atuadores, transformadores, canhão de elétrons, canhão catódicos, entre outros. O módulo que mais se aplica ao objetivo deste trabalho é o CST MWS (CST Microwave Studio). O CST MWS, é uma ferramenta para simulações em 3D para dispositivos de alta frequência voltado para análise de antenas, filtros, acopladores, circuitos, entre outros.

Possui também uma aplicação especializada em design de antenas, o Antena Magus. Este software também está disponibilizado para estudantes, mas deve ser adquirido a parte e interage com o CST MWS. Ele acelera o processo de design e modelação de antenas disponibilizando uma biblioteca com uma gama de modelos de antenas que podem ser inclusos no projeto a ser desenvolvido. Suas grandes vantagens são: complementar o CST MWS e informações detalhadas de vários tipos de antenas.

### 3.2 ANSOFT HFSS

O Ansoft *High Frequency Structure Simulator* (HFSS) foi desenvolvido pela Ansof Corporation e é voltado para simulações de campo eletromagnéticos (EM) em dispositivos. O Software usa o layout da Microsoft, então sua *interface* é familiar e simples. O Ansoft HFSS foi projetado para análise de antenas, previsão de comportamentos de ondas eletromagnéticas de alta frequência e perdas. A Figura 4 apresenta o *layout* do *software* e algumas de suas funções.

Figura 4 - *Layout* do *software* ANSOFT HFSS.



Fonte: ANSOFT HFSS.

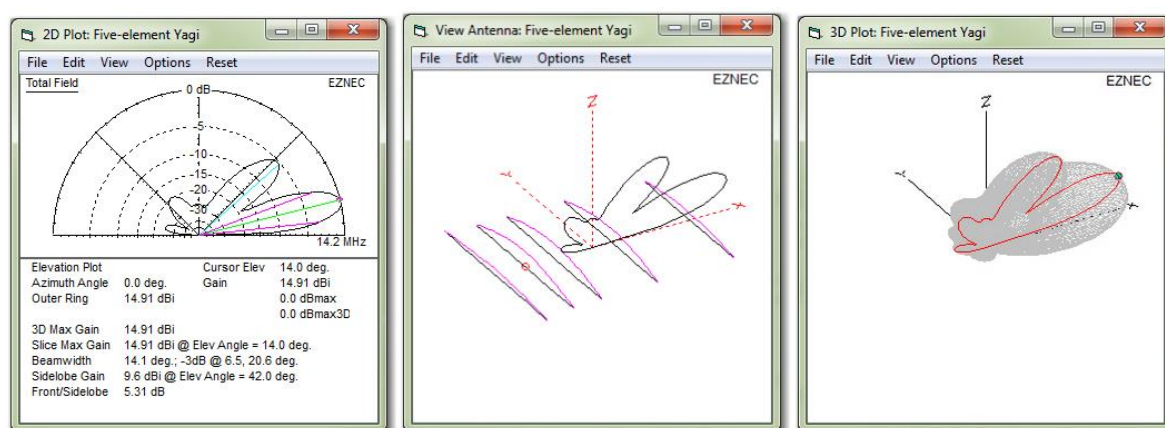
Suas vantagens são:

- a) Análise de modelos: realiza múltiplas simulações simultâneas a fim de mostrar como as variações afetam o produto a ser desenvolvido;
- b) Disponibiliza uma biblioteca com modelos para servir como base de um projeto.
- c) Possibilidade criar desenhos em 3D ou de importa-los e outros programas;
- d) Informações sobre os materiais comuns.

### 3.3 EZNEC ANTENNA SOFTWARE

EZNEC foi desenvolvido por W7EL e Sam Lewallen com aplicação voltado para o desenvolvimento e simulações de antena, com uma interface mais simples, de fácil utilização e usa o mecanismo de cálculo do sistema de modelagem de antenas para antenas de arame e superfície da segunda versão do *Numerical Electromagnetics Code* (NEC-2). A Figura 5 apresenta os *layouts* do *software* funções.

Figura 5 - *Layout* do *software* EZNEC Antenna Software.



Fonte: EZNEC Antenna Software.

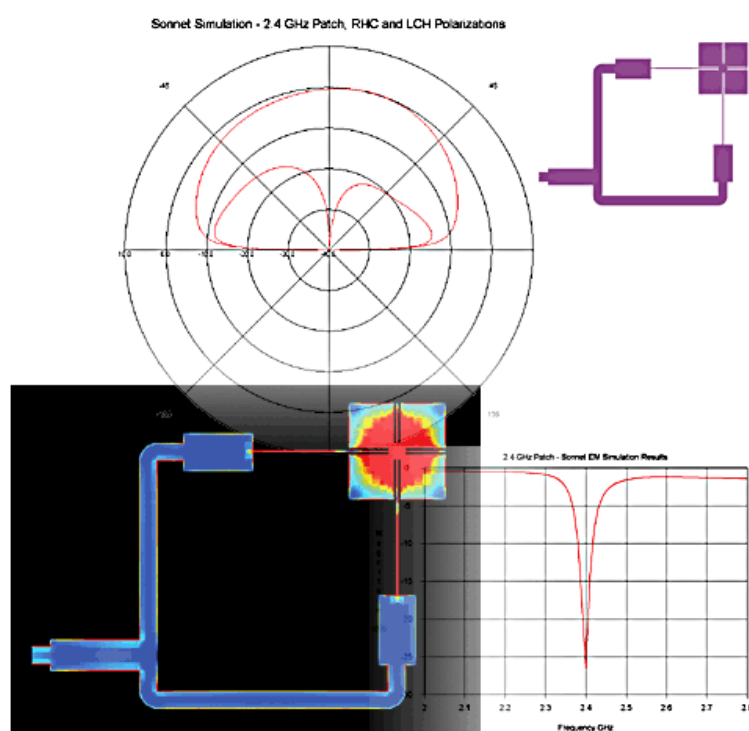
Suas principais características são:

- a) Análise gráfica de tri e bidimensional.
- b) Capaz de analisar, em um mesmo layer ou gráfico, várias informações simultâneas
- c) Suporta o desenvolvimento de antenas de grande dimensão.

### 3.4 SONNET SOFTWARE

O SONNET é um software de análise do Eletromagnetismo em alta frequência e é muito utilizado por grandes empresas para analisar, principalmente, circuitos e antenas planares, tais como *microchips*, *stripline*, guia de ondas coplanar, chapas verticais, antenas planares, entre outras. A Figura 6 apresenta os *layouts* do *software* funções e algumas de suas funções.

Figura 6 - Análise de uma antena patch de 2.4GHz com amostra do *S-parameter*, densidade corrente e padrão de radiação *Far-fiel*.



Fonte: SONNET Software.

Suas principais características são:

- a) *Interface* gráfica tridimensional;
- b) Versão gratuita, porém, limitada, ou uma versão completa por 30 dias;
- c) Resultados precisos. Chegam muito próximo à um modelo real;
- d) Oferece tutoriais.

### 3.5 CONCLUSÃO SOBRE OS SOFTWARES DE SIMULAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Após comparar alguns *softwares* existentes no mercado o escolhido para realizar as simulações foi o CST STUDIO SUITE por possuir as seguintes vantagens:

- a) *Interface* gráfica de fácil uso e aplicação das ferramentas;
- b) Sistema de modelização e montagem;
- c) Trabalha em alta gama de bandas de frequências;
- d) Possui uma versão acadêmica estudantil;
- e) Capaz de interagir com outros softwares;
- f) Faz o uso de otimização ao invés da experimentação;
- g) Capaz de desenvolver um protótipo virtual.

#### 4. ANTENAS

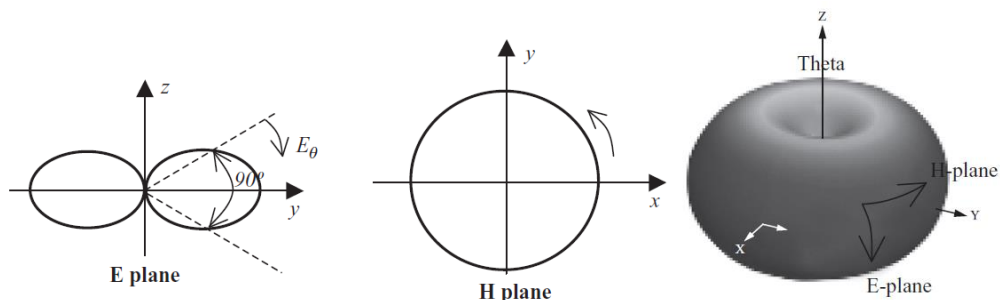
As antenas são usadas para transmitir ou receber sinais eletromagnéticos e seu estudo se desenvolveu, principalmente, a partir das Equações de Maxwell, onde ele faz uma relação entre Campos Elétricos, Campos Magnéticos e Fonte de Energia (Huang e Boyle, 2008). Dessa forma, foram estabelecidos alguns parâmetros importantes a serem considerados na hora de desenvolver uma antena ou analisa-la. Os parâmetros mais importantes são:

- Diagrama de irradiação;
- Diretividade;
- Ganho;
- Perda de Retorno;
- Taxa onda estacionária.

O Diagrama de irradiação indica a relação da intensidade irradiada em função dos ângulos espaciais a uma distância fixa e pode ser representada em um formato 3D e 2D. No diagrama 3D é representado o campo Elétrico (E) e o Magnético (H) em um mesmo gráfico e o 2D são analisados os campos separadamente. Podem ser classificados em 4 tipos de Diagramas:

- Omnidirecional, com um formato de rosca (3D) ou em forma de 8 (2D);
- Direcional, sua irradiação possui uma direção possuindo assim lóbulo (os);
- Isotrópica, antena hipotética sem perdas onde irradia igualmente em todas as direções.

Figura 7- Representação dos Planos E e H separadamente e sua combinação para um padrão de irradiação Omnidirecional.



Fonte: Huang e Boyle (2008)

A Diretividade é a relação entre a intensidade de irradiação em uma dada direção e a intensidade de irradiação média. Uma antena diretiva quer dizer que ela não é isotrópica, então a diretividade relaciona a intensidade e irradiação dessa antena com uma fonte de energia isotrópica. Dessa forma, tem-se a Equação 1:

$$D = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (1)$$

Onde,

- D = diretividade (adimensional);  
 U = intensidade de irradiação [W/rad];  
 Prad = potência irradiada total [W].

O ganho descreve o desempenho da antena, a qual considera tanto a diretividade quanto a sua eficiência. Assim, o ganho é definido na Equação 2 como a intensidade de radiação em uma determinada direção e a potência de entrada total aceita pela antena, dividida por  $4\pi$ .

$$G = \frac{4\pi U}{P_{in}} \quad (2)$$

Onde,

- G = ganho;  
 Pin = potência de entrada [W].

Há vários fatores que influenciam na eficiência da antena, desde a composição física e química do material a perda na linha de transmissão causada pelo descasamento de impedância. Portanto, eficiência total é definida pela Equação 3 como:

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (3)$$

Onde,

- $e_0$  = eficiência total;  
 $e_r$  = eficiência de reflexão;  
 $e_c$  = eficiência condutiva;  
 $e_d$  = eficiência dielétrica.

Quando a antena é conectada a um circuito, esse circuito a “enxerga” como sendo apenas uma carga, ou seja, é como se colocasse uma carga em uma linha de transmissão com uma impedância e essa impedância deve estar casado com a linha de transmissão. Dessa forma, são analisados a taxa de onda estacionária (TOE), perda de retorno (S11). Para a maioria das antenas a perda de retorno ideal é maior do que -10dB e o TOE menor ou igual a 2.

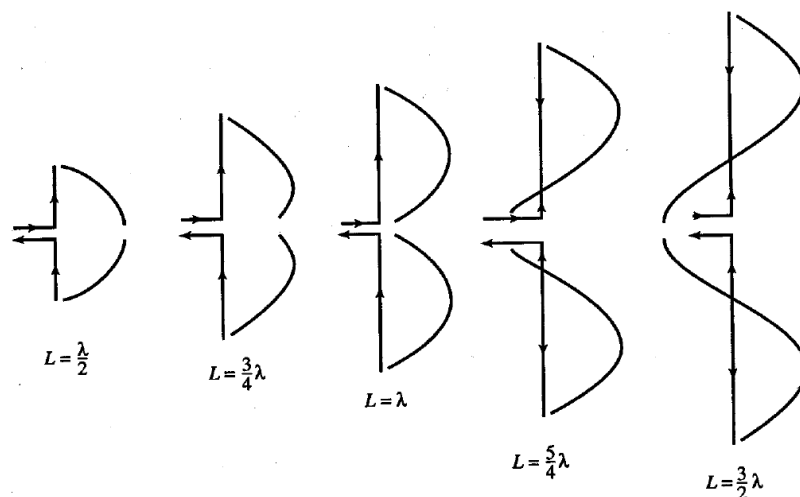
#### 4.1 TIPOS DE ANTENA

As antenas são divididas de acordo com sua geometria e as características citadas anteriormente. Assim, cada tipo possui suas particularidades e devem ser analisadas de específica para cada tipo.

##### 4.1.1 Antenas tipo fio - Dipolo

Como foi dito anteriormente, Hertz usou em seu experimento uma antena do tipo dipolo. Por possuir uma estrutura básica, a qual consiste em dois filamentos metálicos de mesmo comprimento, geralmente, alimentados corrente em sentidos opostos entre os filamentos. O seu comprimento ( $L$ ) é relacionado com o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e pode ser das seguintes proporções:

Figura 8- Representação da distribuição da corrente em Dipolos de vários comprimentos.



Fonte: Stutzman (1998)

O dipolo de meia onda é uma das antenas mais comuns. Segundo Balanis (2008), seu casamento à linha de transmissão é simples, principalmente na ressonância, com uma resistência de radiação que se aproxima de  $50 \Omega$  ou  $75 \Omega$ , as quais correspondem às impedâncias características de algumas linhas de transmissão.

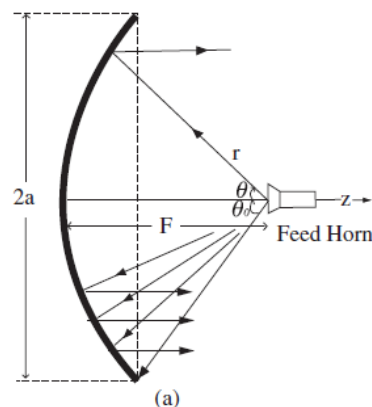
#### 4.1.2 Antenas de Abertura

As antenas de abertura são usadas para frequências maiores do que as de tipo fio e é formado por placas que são projetadas e moldadas para funcionarem de maneira eficiente. A antena de abertura mais popular é a antena parabólica, sua configuração consiste em uma antena de alimentação no centro e um paraboloide refletor superfície é um paraboloide de revolução, onde as ondas emitidas pela antena de alimentação, no foco do refletor, são transformadas em ondas planas, proporcionando uma alta diretividade.

Segundo Huang e Boyle (2008) uma antena de abertura parabólica ideal seria se o paraboloide refletor fosse extremamente grande, ou infinita, e a alimentação fosse extremamente pequena, ou pontual, no foco do paraboloide e com irradiação apenas em direção ao refletor. Dessa forma, toda a energia Eletromagnética irradiada seria direcionada em uma direção com largura de banda igual a zero.

Como é impossível criar um sistema ideal, esse tipo de antena é são mais adequadas para aplicações de alta frequência, comunicações por satélite, por exemplo. Assim, a estrutura, que deve ser muito maior do que o comprimento de onda, seja de possível aplicação e bastante eficiente.

Figura 9- Representação de uma antena Parabólica feita por Collin (1985).



Fonte: Huang e Boyle (2008)

### 4.1.3 Antenas independentes da frequência

Antenas Independentes da Frequência são antenas capazes de trabalhar em diversas frequências, antenas de banda larga. Para o projeto, essa é uma das principais características que uma antena deve possuir para trabalhar na faixa de frequência UHF, usada em TV digital. O termo Antenas Independentes da Frequência surgiu após a década de 1950 (BALANIS, 2008), quando houve a necessidade de estender as larguras de banda para valores mais elevados.

No conceito de antenas independentes da frequência as características fundamentais podem ficar inalteradas se seu tamanho físico e a frequência operação, ou comprimento de onda, forem modificados. Ou seja,

“se todas as dimensões físicas forem reduzidas por um fator de dois, o desempenho da antena permanecerá inalterado se a frequência operação for aumentada por um fator de dois”, (BALANIS, 2008).

Desta forma, é aplicado uma modelagem em escala para que o desempenho seja invariante, mantendo-se as dimensões elétricas.

Para que uma antena tenha características independentes da frequência, sua superfície deve ser descrita pelas Equações 4 e 5:

$$r = F(\theta, \varphi) = e^{a\varphi f(\theta)} \quad (4)$$

Onde:

$$a = \frac{1}{K} \frac{dK}{dC} \quad (5)$$

r = distancia ao longo da superfície;

C = ângulo azimutal;

K = constante de proporção.

### 4.1.4 Antena Log-Periódica – Conjunto de Dipolo

A log-periódica não fazer parte, verdadeiramente, das antenas independentes da frequência por não possuir uma forma especificada somente por ângulos, mas suas características aproximam-se delas.

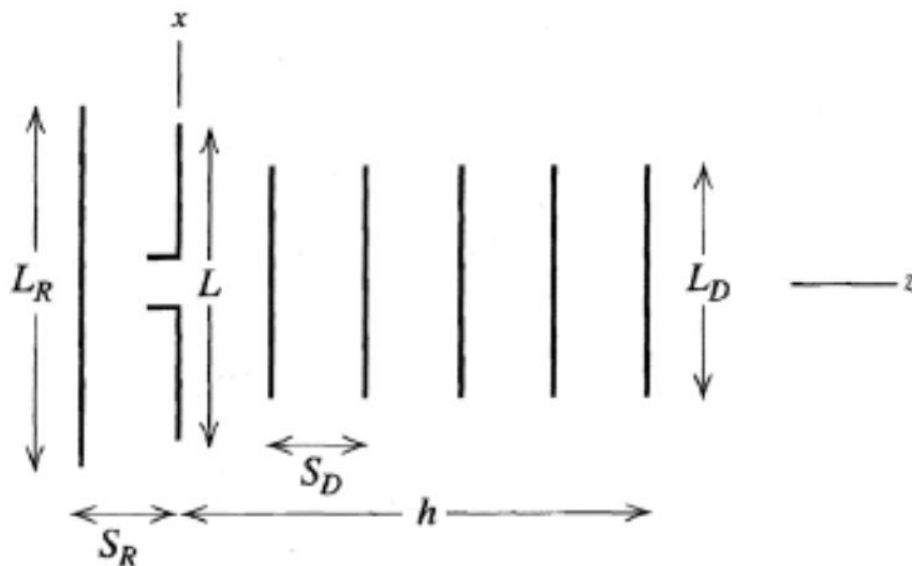
Sua configuração se assemelha muito a antena Yagi-Uda, que também é formada por um conjunto de dipolos, porém, todos os elementos são energizados. Ou seja, todos os

elementos são ativos, e não passivos como na Yagi-Uda. Stutzman (1998) aponta também que a antena Log-periódica possui uma largura de banda ativa muito maior do que a Yagi-Uda, a qual é fundamental para alguns tipos de aplicação.

Uma antena log-periódica de conjunto de dipolos tem sua estrutura parecida com uma antena Yagi-Uda. Porém elas possuem características físicas distintas e fundamentais para a sua construção.

Stutzman (2016) explica a estrutura da antena Yagi-Uda a qual possui apenas um elemento energizado e os outros são chamados de parasitas deste elemento. O elemento energizado é chamado de ressoante ( $L$ ) e os parasitas podem ser chamados de refletores ( $L_R$ ) ou direcionais ( $L_D$ ). Os espaçamentos desses elementos também são divididos em espaçamento do refletor ( $S_R$ ) e espaçamento do direcional ( $S_D$ ), como mostra a Figura 10.

Figura 10- Representação de uma antena Yagi-Uda



Fonte: Stutzman (2016).

Já a log-periódica, seus elementos são todos alimentados. Geralmente essa alimentação ocorre na sua extremidade, onde o comprimento do dipolo é menor.

Sua geometria consiste em múltiplos dipolos com diferentes comprimentos e esses elementos podem fazer parte da região ativa e não ativa da antena. Stutzman (1998) explica que a função de um elemento está ligada à frequência de operação, sendo assim, se o comprimento  $L$  desse elemento for metade do comprimento de onda  $\lambda$ , então este pertence à região ativa. Caso contrário pertencerá a região não-ativa, podendo se assemelhar a um refletor.

A frequência atuação de uma antena Log-periódica é determinada, basicamente pelo seu elemento de maior comprimento, indicando a frequência menor, e pelo seu elemento de menor comprimento, indicando a frequência maior.

Stutzman (1998) define antena Log-periódica como uma antena com uma geometria estrutural onde suas características de impedância e irradiação são repetidas periodicamente com o logaritmo da frequência.

#### 4.2 ESCOLHA DA ANTENA CANDIDATA AO PROJETO

Como foi apresentado, existem vários tipos de antenas juntamente com vários tipos de aplicações e para este trabalho foi escolhido a antena Log-Periódica pois apresentam as seguintes características que contribuem na sua escolha:

a) **Impedância de entrada:** a sua variação de impedância de entrada em relação ao logaritmo da frequência é periódica (daí o nome log-periódico);

b) **Largura de banda:** sua operação em banda larga é assegurada se a variação de impedância, diagrama, diretividade, etc. ao longo de um ciclo forem feitas suficientemente pequenas e aceitáveis para correspondente largura do ciclo, (BALANIS, 2008);

c) **Diretividade:** sua geometria proporciona uma alta diretividade, onde toda sua potência é direcionada, fazendo com que haja um alto ganho. Uma antena diretiva garante maior aproveitamento de suas funcionalidades, aumento da qualidade do sinal recebido.

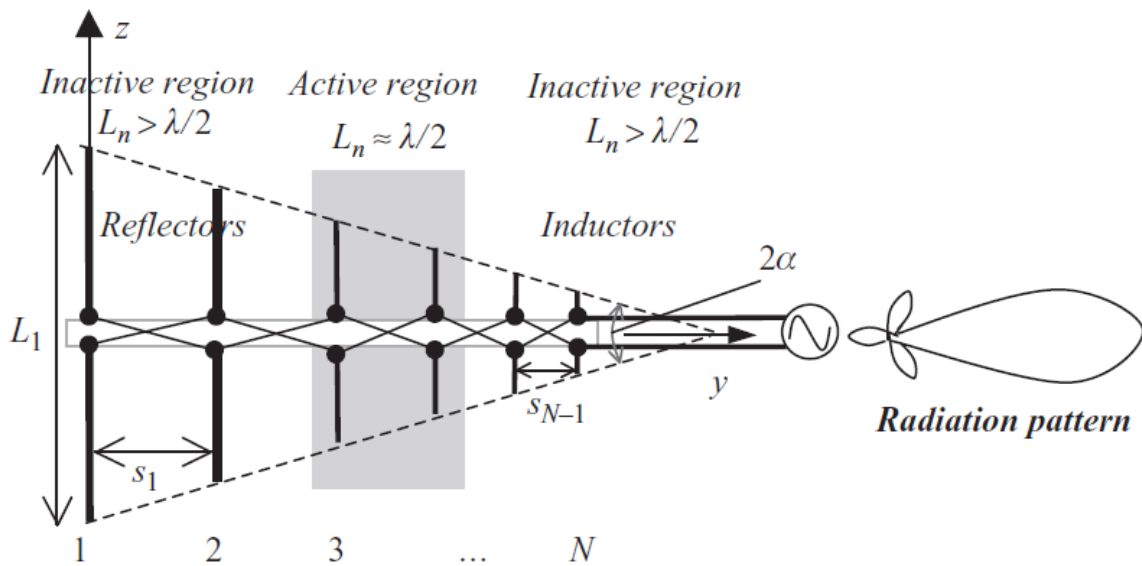
d) **Elevada largura de banda** Capaz de cobrir todo o espectro, desde VHF quanto UHF;

## 5 PROJETO DE MODELAGEM E MONTAGEM DA ANTENA LOG-PERIÓDICA

Para a construção de uma antena Log-periódica é preciso atentar-se aos detalhes e relações existentes. Como o nome indica, ela possui uma relação logarítmica da frequência e sua periodicidade.

Dessa forma, serão apresentadas as relações existentes neste tipo de antena e a seguir os passos necessários para o projeto e construção de uma antena Log-periódica.

Figura 11- Representação da geometria da antena log-periódica.



Fonte: Huang e Boyle (2008)

Huang e Boyle (2008) apresentam a representação da geometria e do padrão de irradiação da antena log-periódica na Figura 11, e, a relação de escala de escala e o fator de espaçamento através das Equações 6 e 7:

$$\tau = \frac{L_2}{L_1} = \frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{s_{n+1}}{s_n} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{g_{n+2}}{g_n} < 1 \quad (6)$$

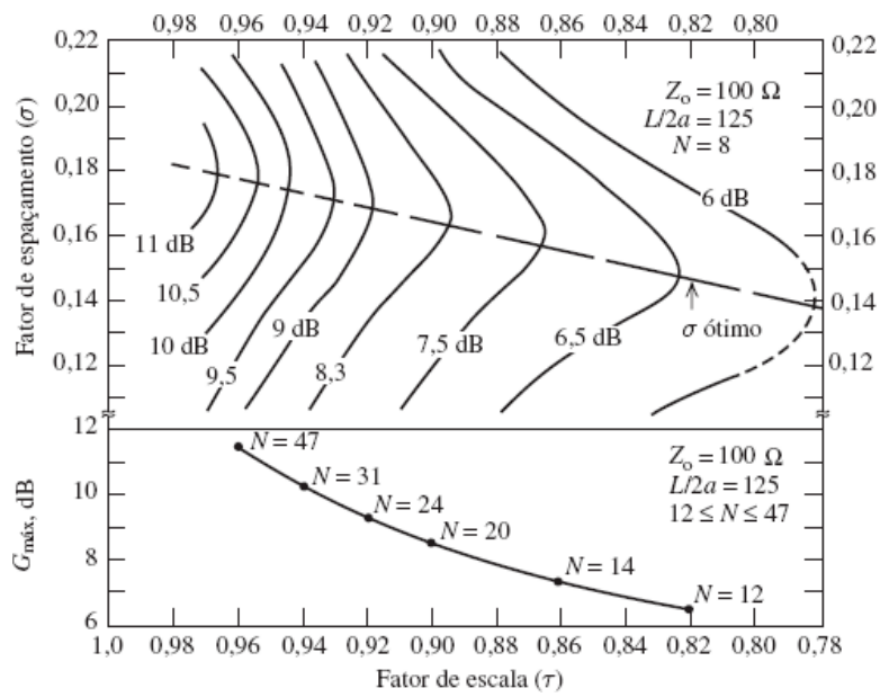
$$\sigma = \frac{s_1}{2L_1} = \frac{s_n}{2L_n} \quad (7)$$

Onde,

- $L_n$  = comprimento do enésimo elemento;
- $n$  = 1, 2, ..., N;
- $s_n$  = espaçamento entre os elementos  $n$  e  $(n+1)$ ;
- $d_n$  = diâmetro dos elementos;
- $\tau$  = relação de fator de escala;
- $\sigma$  = fator de espaçamento.
- $g$  = espaçamento entre os elementos

Carrel (1961) apresenta um dos estudos mais importantes para o cálculo de diretividade constante em função de  $\sigma$  e  $\tau$  para conjuntos de dipolos, onde relaciona essas três propriedades importantes em um único gráfico para utilizar o fator de espaçamento ótimo. O estudo de Carrel foi corrigido posteriormente por Butson e Thompson (1976). Na Figura 12, está a relação da diretividade, fator de espaçamento e a relação de escala.

Figura 12: Relação da diretividade,  $\sigma$  e  $\tau$ .



Fonte: Stutzman (2016)

Ribeiro (2012) apresenta outra forma de calcular as equações de Diretividade, as quais são usadas para calcular a Diretividade teórica e a estimada, relacionando, o comprimento de onda máxima ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ) para Diretividade teórica e o  $\tau$  para a estimada, Equações 8 e 9.

$$D = 10 * \log \left( \frac{4 * (\lambda_{m\acute{a}x}/2)}{\lambda_{m\acute{a}x}} \right) \quad (8)$$

$$D_{estimado} = 199 * 493 * \tau^2 + 314 * \tau^3 \quad (9)$$

Como a mostrado na Figura.8, se traçado uma linha imaginária nas extremidades dos dipolos e prolongando-a até que se encontrem, formam um ângulo  $2\alpha$  (ângulo vértice). Esse ângulo faz parte das características das estruturas independentes da frequência. Dessa forma, Huang e Boyle (2008) apresentam a relação do ângulo ápice com outros componentes da estrutura pela Equação 10:

$$\alpha = \arctg \left( \frac{L_n - L_{n+1}}{2s_n} \right) = \arctg \left( \frac{L_n(1 - \tau)}{2s_n} \right) = \arctg \left( \frac{1 - \tau}{4\sigma} \right) \quad (10)$$

O fator de escala ( $\tau$ ) também deve ser relacionado com a frequência, assim, Huang e Boyle (2008) a relacionam a partir da equação (5.1) e também o logaritmo dessa função para mostrar que a frequência ressonância na escala log é aumentada por cada  $|\log \tau|$  da seguinte maneira:

$$\tau = \frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{f_n}{f_{n+1}} \rightarrow \log f_{n+1} = \log f_n - \log \tau \quad (11)$$

Para determinar a largura de banda da região ativa (Bar), Carrel (1961) propôs uma equação que relaciona  $\tau$  e  $\alpha$ .

$$Bar = [1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \cot(\alpha)] \quad (12)$$

Porém, em um projeto é considerado uma largura de banda maior do que a desejada. Assim, e essa nova largura de banda é chamada de largura de banda de projeto (Bs) e

pode-se relacionar com a largura da região ativa por um fator entre a maior e a menor frequência (B) através das Equações 13 e 14.

$$B = \frac{f_{m\acute{a}x}}{f_{m\acute{i}n}} \quad (13)$$

$$B_s = BBar = B[1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \cot(\alpha)] \quad (14)$$

Para determinar o comprimento dos elementos ( $L_{m\acute{a}x}$  e  $L_{m\acute{i}n}$ ) é necessário determinar o valor do comprimento de onda máxima, relacionado a velocidade da luz ( $v$ ) com a frequência mínima ( $f_{m\acute{i}n}$ ).

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 2l_{m\acute{a}x} = \frac{v}{f_{m\acute{i}n}} \quad (15)$$

Após determina o comprimento de onda máximo, o comprimento físico total dos elementos é determinado através da equação a seguir, apresentado por Balanis (2008).

$$L_T = \frac{\lambda_{m\acute{a}x}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cotg(\alpha) \quad (16)$$

Balanis (2008) apresenta a quantidade de elementos através da fórmula.

$$N = 1 + \frac{\ln(B_s)}{\ln(1/\tau)} \quad (17)$$

Já dos elementos em relação à extremidade pode ser determinada através da razão geométrica e as propriedades do triângulo, onde já se sabe o comprimento dos elementos e o ângulo vértice.

$$g_{n,n+1} = \frac{(L_n - L_{n+1})/2}{tg(\alpha)} \quad (19)$$

Analisando para a parte elétrica do projeto, um aspecto importante é a impedância de entrada da antena, a qual se ajusta de acordo com o diâmetro do elemento e o intervalo de alimentação entre os polos.

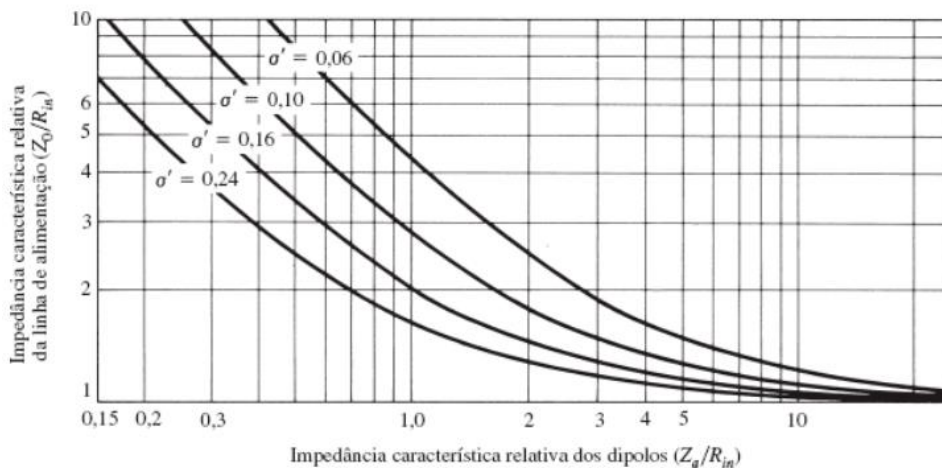
A distância entre os dois condutores centro a centro (s) pode ser estabelecido através da impedância de entrada desejada ( $Z_0$ ), o diâmetro dos dipolos e dos condutores da linha de alimentação. Para definir essa distância, é necessário definir a impedância característica média dos elementos, que por sua vez, é relacionado com o comprimento do enésimo elemento juntamente com seu diâmetro.

$$Z_a = 120 \left[ \ln \left( \frac{l_n}{d_n} \right) - 2,25 \right] \quad (20)$$

Em uma configuração de um log-periódico, a razão do comprimento do enésimo elemento pelo seu diâmetro deve seguir para todos os outros elementos. Porém, na prática utiliza-se grupos de elementos com o mesmo diâmetro e comprimentos diferente.

Carrel (1961) apresenta um gráfico de Impedância característica relativa de uma linha de alimentação em função da impedância característica relativa dos dipolos onde o espaço relativo médio ( $\sigma'$ ), a impedância característica média dos elementos ( $Z_a$ ), impedância da entrada real ( $R_{in}$ ) e a impedância característica da linha de alimentação ( $Z_0$ ) são relacionadas. A Figura 13 apresenta a relação de impedância característica relativa da linha de alimentação com a impedância característica dos dipolos.

Figura 13- Relação de Impedância



Fonte: Balanis (2008)

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} \quad (21)$$

Desta forma, após encontrar o valor da impedância característica da linha de alimentação pelo gráfico de Carrel (1961), é possível determinar o valor da distância entre os dois condutores centro a centro.

$$s = d \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) \quad (22)$$

### 5.1 EQUAÇÕES DE PROJETO

Após definidos todos os parâmetros necessários para o cálculo da estrutura física da antena log-periódica, Balanis (2008) apresenta uma rotina de projeto para servir como base ao projetar uma antena.

- 1° - Dada D0 (dB), determinar  $\sigma$  e  $\tau$ ;
- 2° - Determinar  $\alpha$ ;
- 3° - Determinar Bar e Bs;
- 4° - Determinar L e N;
- 5° - Determinar Za;
- 6° - Determinar Z0/Rin;
- 7° - Determinar s.

Desta forma, alguns valores são pré-determinados tais como, diretividade (em dB), impedância de entrada (Rin), diâmetro dos elementos da linha de alimentação (d) e frequências superior e inferior de banda passante (B). Os valores definidos são mostrados através da tabela 1.

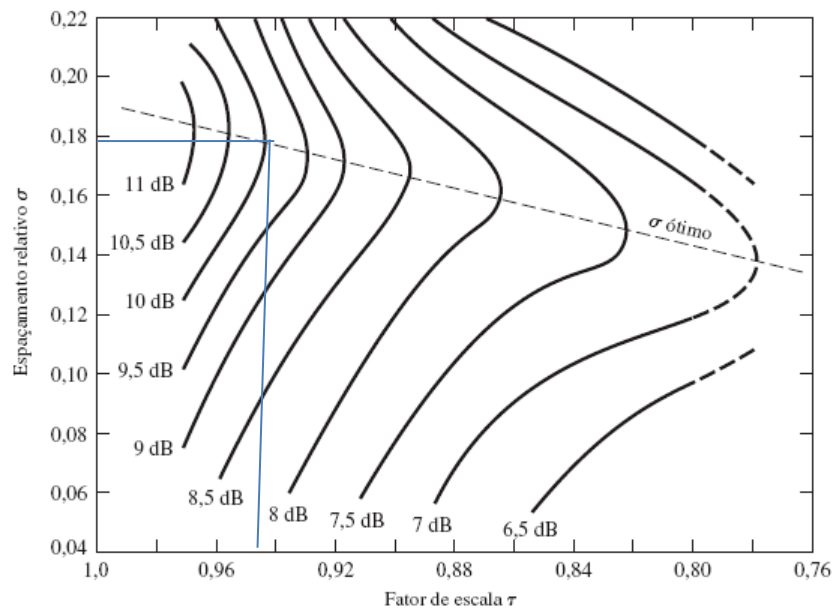
Tabela 1- Tabela dos valores Pré-estabelecidos do Projeto

Diretividade (dB)	10 dB
Impedância de Entrada (Rin)	75 Ohm
Diâmetro dos elementos da linha de alimentação (d)	4 mm
Frequência Superior (fmáx)	758 MHz
Frequência Inferior (fmín)	470 MHz

Fonte: Autor.

Estabelecido o valor de 10 dB de diretividade, é possível encontrar os valores de  $\tau$  e  $\sigma$  que são 0,94 e 0,177 respectivamente pela Figura 14.

Figura 14- Relação de tau e sigma



Fonte: Balanis (2008)

Encontrado os valores de  $\tau$  e  $\sigma$  pelo gráfico anterior, pode-se encontrar o ângulo vértice pela Equação 10.

$$\alpha = \arctg \left( \frac{1 - 0,94}{4 * 0,177} \right) = 4,84^\circ$$

Utilizando-se os valores de frequência máxima e mínima, calcula-se a banda ativa (Bar) e a de projeto (Bs) usando as Equações 12, 13 e 14.

$$Bar = [1,1 + 7,7(1 - 0,94)^2 \cot(4,84^\circ)] = 1,428$$

$$B = \frac{758}{470} = 1,613$$

$$B_s = 1,428 * 1,613 = 2,303$$

A determinação do comprimento total dos elementos (L) e o número de elementos (N) podem ser calculados através das Equações 15, 16 e 17, adotando-se a velocidade da luz como  $3 \cdot \frac{10^8 m}{s}$ .

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{3 \cdot 10^8}{470 \cdot 10^6} = 0,638 m$$

$$N = 1 + \frac{\ln(2,303)}{\ln(1/0,94)} = 14 \text{ elementos}$$

$$L_T = \frac{0,638}{4} \left(1 - \frac{1}{3,65}\right) \cotg(16,7) = 0,305 m$$

Para calcular o elemento maior que é considerado a metade do comprimento de onda ( $\lambda/2$ ).

$$L_1 = \frac{0,638}{2} = 0,319 m$$

Os elementos são divididos em duas partes, uma vez que uma metade é colocado em uma lança e a outra é colocado na outra. Assim, para calcular os demais comprimentos e as demais distâncias entre eles utiliza-se a relação da razão geométrica ( $\tau$ ).

Para o cálculo das distâncias entre os elementos, foi considerado 3 cm em uma extremidade para o encaixe do conector e 8 cm na outra extremidade para a base onde a antena será instalada. Dessa forma, os cálculos foram parametrizados para qual posição da lança o próximo elemento deverá ser colocado. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Relação dos comprimentos dos pares de elementos e suas distâncias relativas a uma extremidade da lança.

	<b>Afastamento do elemento na Lança (mm)</b>	<b>Tamanho da haste (mm)</b>
<b>1</b>	1072	160
<b>2</b>	959	150
<b>3</b>	853	141
<b>4</b>	753	132
<b>5</b>	659	124
<b>6</b>	570	117
<b>7</b>	487	110
<b>8</b>	409	103
<b>9</b>	336	97
<b>10</b>	267	91
<b>11</b>	202	86
<b>12</b>	141	81
<b>13</b>	84	76
<b>14</b>	30	71

A determinação da impedância característica média dos elementos foi obtida pelo uso da Equação 20 e o espaço relativo médio a Equação 21.

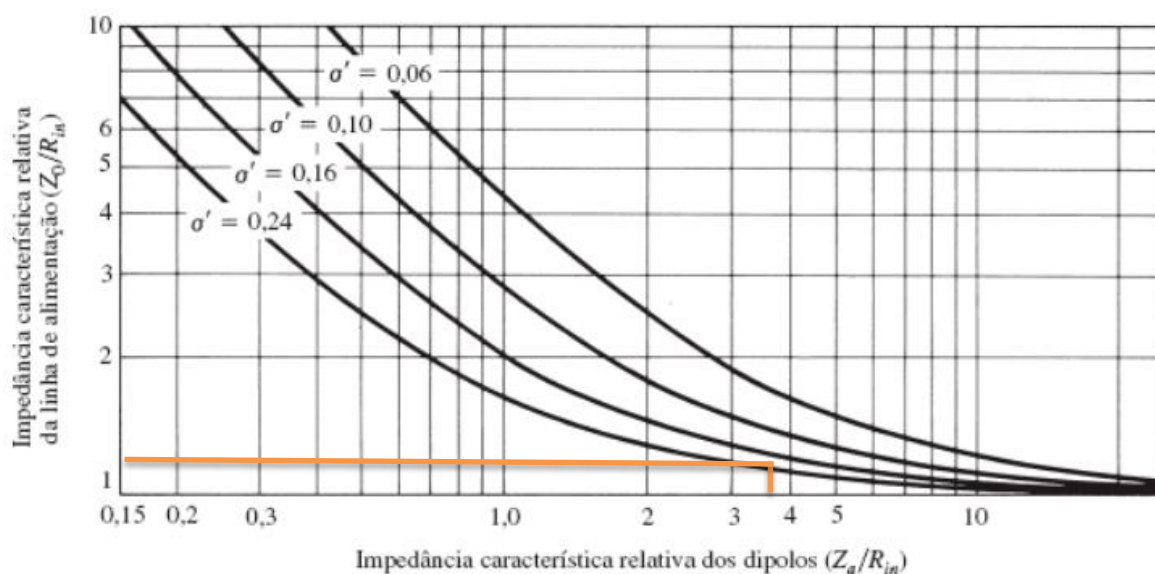
$$Z_a = 120 \left[ \ln \left( \frac{0,320}{0,004} \right) - 2,25 \right] = 244,84 \text{ ohms}$$

$$\frac{Z_a}{R_{in}} = \frac{244,84}{75} = 3,411$$

$$\sigma' = \frac{0,177}{\sqrt{0,94}} = 0,188 = 0,19$$

Para calculado a impedância característica relativa dos dipolos, o espaço relativo médio ( $\sigma'$ ) e utilizando-se o gráfico da Figura 15 que os relacionam com a impedância característica relativa de uma linha de alimentação.

Figura 15- relação de Impedância



Fonte: Balanis (2008)

Desta forma, encontra-se o valor de 1,3 para a impedância característica relativa de uma linha de alimentação. Portanto  $Z_0$  pode ser encontrado por:

$$Z_0 = 1,3 * R_{in} = 1,3 * 75 = 97,5 \text{ ohm}$$

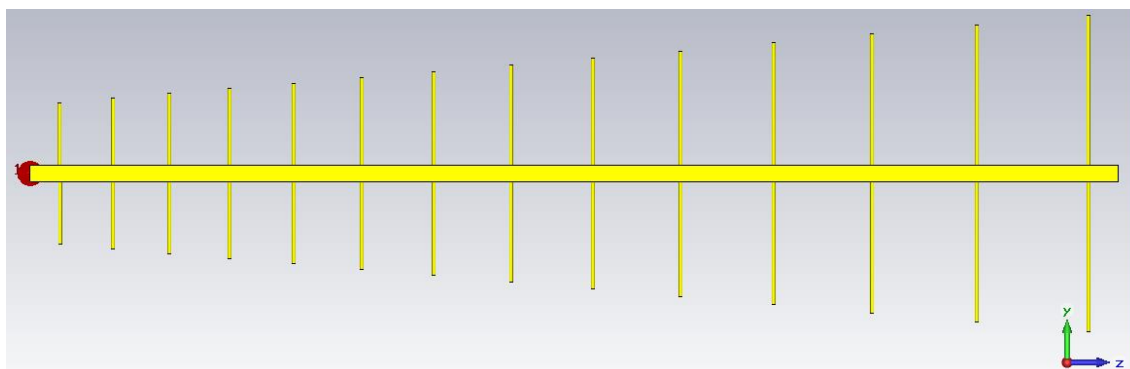
E por fim, calcula-se a distância entre os dois condutores centro a centro usando a Equação 22.

$$s = 0,001 \cosh\left(\frac{97,5}{120}\right) = 0,0013 \text{ m} = 1,3\text{mm}$$

## 5.2 MODELAGEM NO SOFTWARE CST

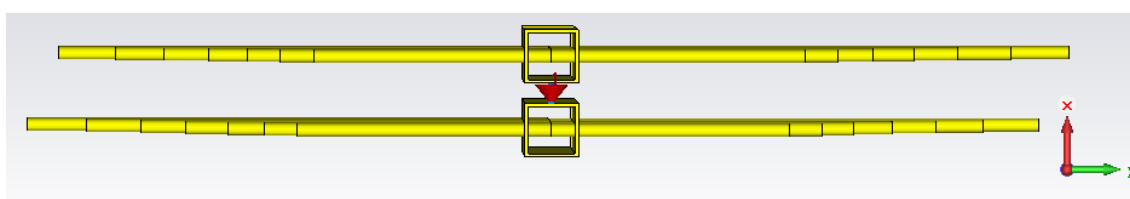
Foi feito a modelagem do protótipo no CST para realizar as simulações e verificar as respostas e analisar se é viável passar para a montagem física ou melhorar algum parâmetro antes. Assim, a modelagem da antena no CST é apresentada nas figuras: Figura 16; Figura 17 e Figura 18.

Figura 16- Modelagem no CST, perspectiva lateral.



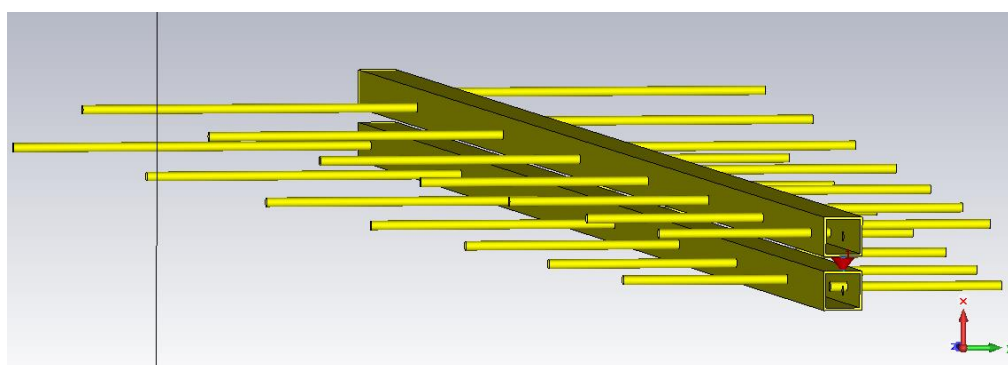
Fonte: Autor.

Figura 17- Modelagem da antena no CST, perspectiva frontal.



Fonte: Autor.

Figura 18- Modelagem da antena no CST, perspectiva diagonal.



Fonte: Autor.

### 5.3 MODELAGEM FÍSICA DA ANTENA LOG-PERÍODICA

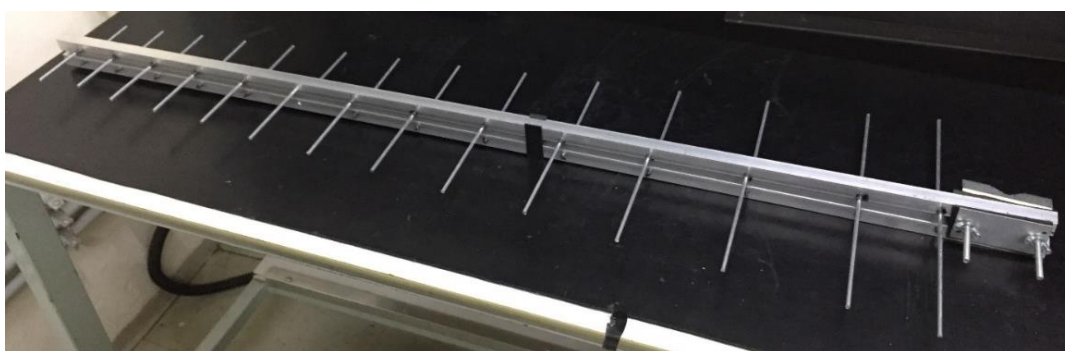
Para realizar a montagem física da antena, foram utilizados os seguintes materiais:

- Duas hastes de alumínio, vasadas, espessura de 2mm;
- Varetas metálicas – tamanhos projetados, espessura 4mm;
- Conector de cabo coaxial;
- Trava em V – base de sustentação;

- Duas placas de alumínio – base de sustentação;
- Duas Borboletas;
- Placas de Borracha – isolar as duas hastes;
- Alicate de bico;
- Cerrote;
- Trena.

Primeiramente foi cortado os pares das hastes e furado as duas lanças de acordo com a Tabela-3. Depois foram colocados os elementos nas posições corretas, representado na Figura 19.

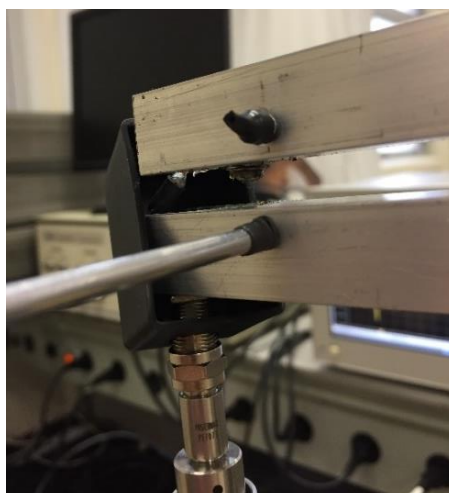
Figura 19- Primeira montagem física da antena.



Fonte: Autor

Foi colocado o conector na extremidade da lança, onde os elementos são menores. Uma lança ficou conectada à parte positiva e a outra negativa do conector, mostrado na Figura 20.

Figura 20- Conector na antena montada.



Fonte: Autor

A antena foi fixada em um tripé para sustentar toda a estrutura e, assim, poder colocar o conector e fazer as medições, demonstrado na Figura 21.

Figura 21- Antena Fixada no suporte



Fonte: Autor.

## 6. RESULTADOS DOS TESTES

Após a montagem do protótipo foi realizado a medida da perda de retorno ( $S_{11}$ ) utilizando-se um analisador de rede vetorial. Os resultados esperados devem cumprir as características ideais para um bom funcionamento da antena as quais devem ter banda de frequência entre 470 MHz e 758 MHz, perda de retorno abaixo -7,5 dB (para funcionamento comercial), e VSWR maior ou igual à 1, e inferior ou igual à 2,5.

As medições foram feitas com o analisador de rede vetorial E5062A ENA-L RF *Network Analyzer* na faixa de calibração de 0,3 a 3,0 GHz, para verificação da qualidade da montagem da antena desenvolvida. Após medição a antena apresentou faixa de operação de 450 MHz a 853 MHz, sem apresentar outras ressonâncias.

O analisador ainda pode ser usado para medir outras antenas, até utilizadas para satélites. O Kit de calibração é mostrado na Figura 22.

Figura 22- Kit de Calibração 85032E.

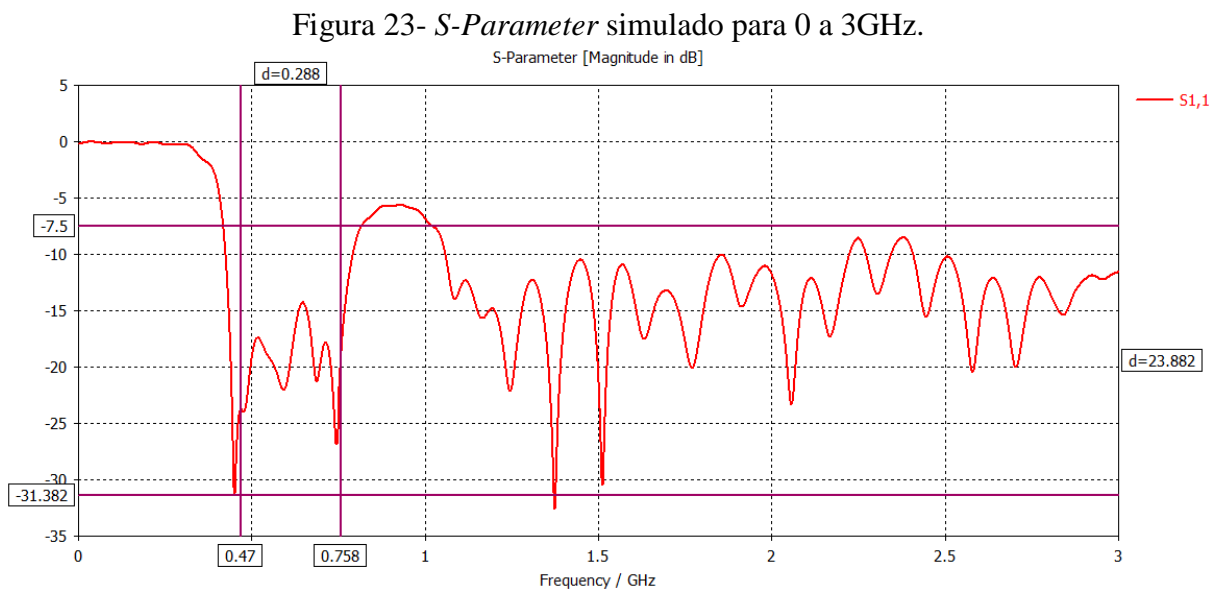


Fonte: Autor.

## 6.1 RESULTADOS OBTIDOS POR SIMULAÇÃO

Os resultados simulados são encontrados no próprio software de simulação onde podem ser configurados alguns parâmetros de medição iniciais, como o domínio da frequência. As frequências que devem ser analisadas, para fins de comparação com os resultados originados na medição partindo de DC até 3 GHz.

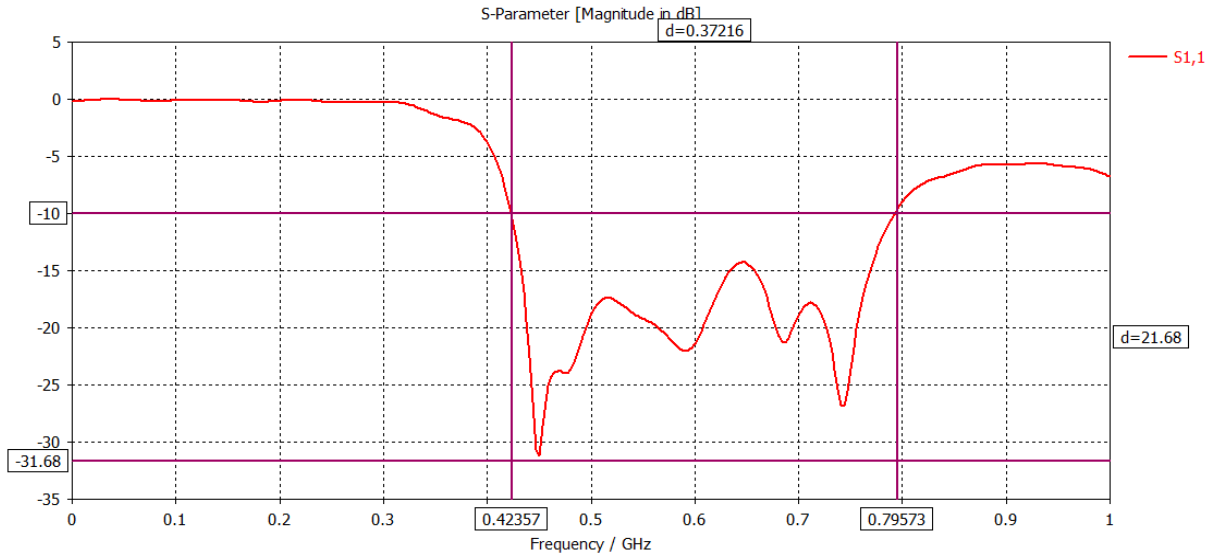
Através da janela de parâmetros  $S_{11}$ , pode ser observado a perda de retorno da antena, apontando seu desempenho dentro da frequência estabelecida. A Figura 23 mostra a resposta da simulação para a perda de retorno com uma análise completa das frequências até 3 GHz.



Fonte: Autor.

A perda de retorno dentro do limite teórico de -10 dB ficou entre as frequências 423 MHz a 795 MHz, considerando apenas as frequências para qual a antena foi projetada. A Figura 24 apresenta a resposta da simulação apenas para as frequências até 1 GHz.

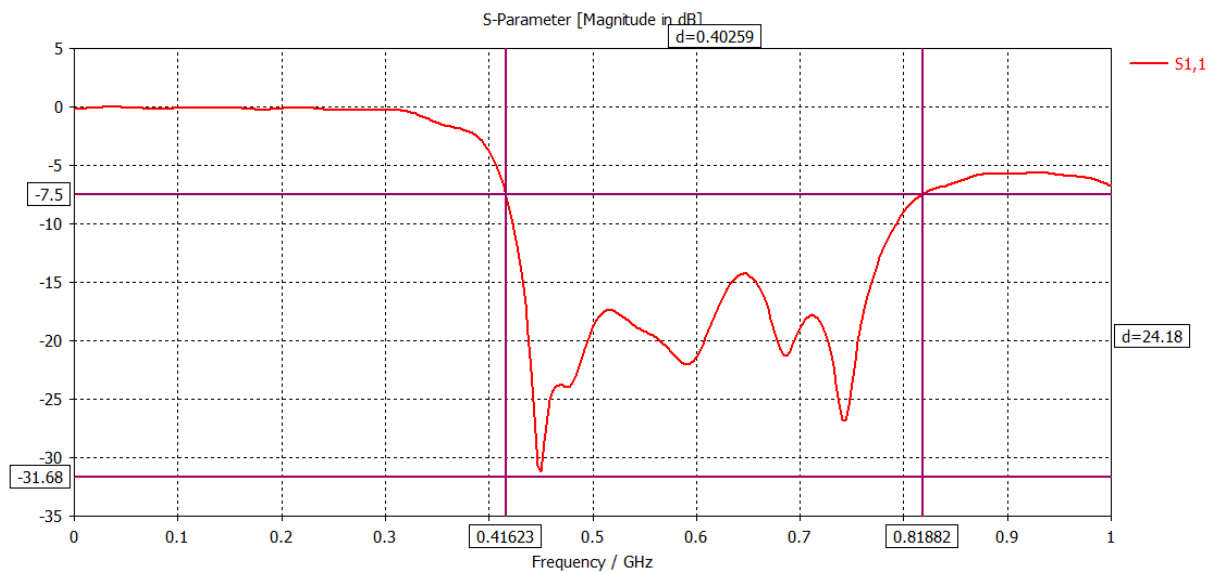
Figura 24- Resultado apresentado pelo parâmetro  $S_{11}$  na simulação, considerando todo sinal abaixo de -10dB.



Fonte: Autor.

Comparando com o limite comercial do parâmetro  $S_{11}$  de -7,5dB, a banda aumentou passando para 423 MHz a 766 MHz. A Figura 24 apresenta a resposta da simulação apenas para as frequências até 1 GHz, com indicação do limite de -7,5 dB.

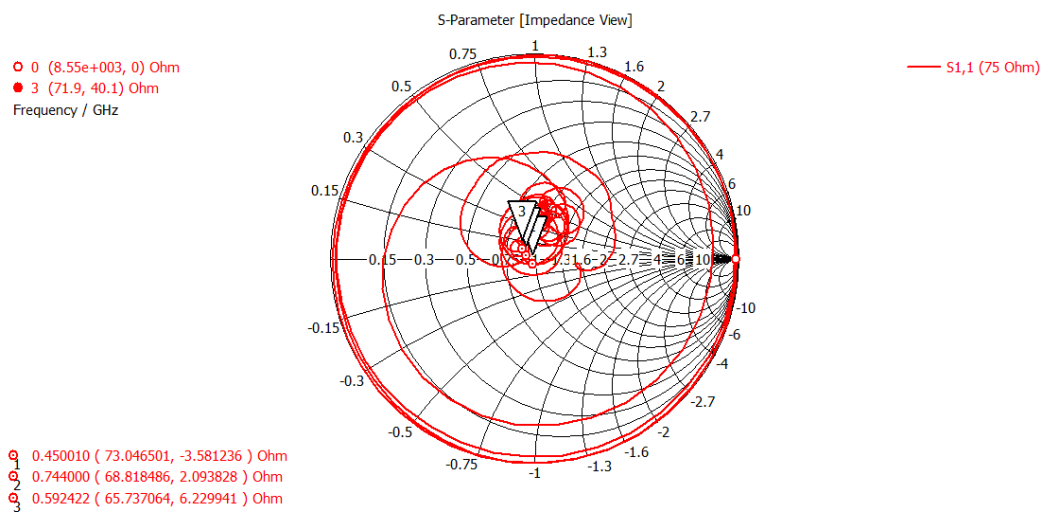
Figura 25- Resultado apresentado pelo parâmetro  $S_{11}$  na simulação, considerando todo sinal abaixo de -7,5dB.



Fonte: Autor.

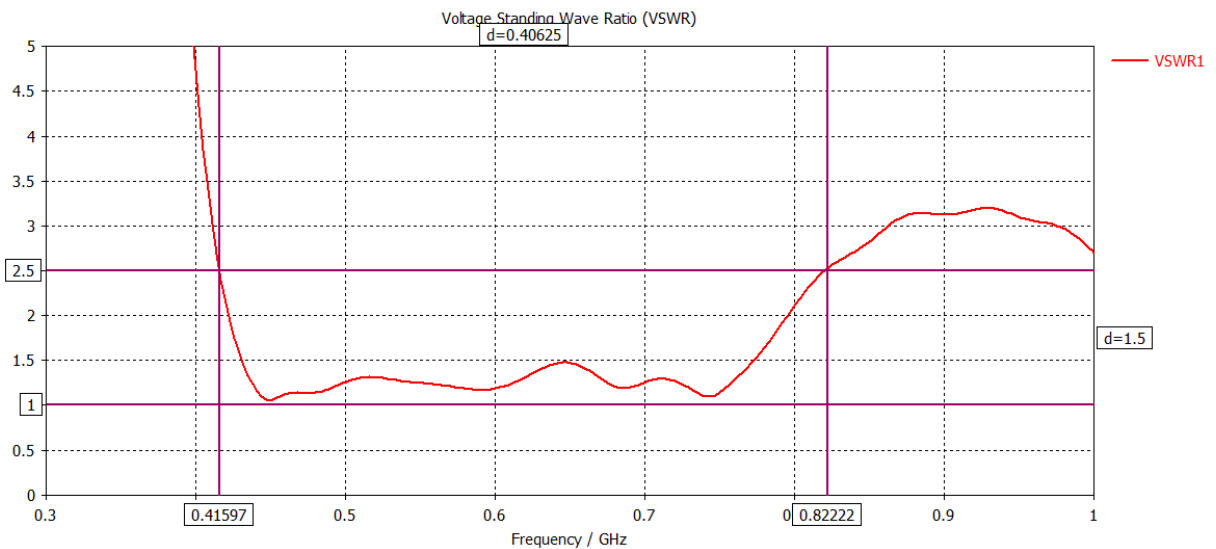
A taxa de onda estacionária (VSWR) considera o casamento de impedância, assim, através dos parâmetros de  $S_{11}$  é possível analisar o casamento de impedância de todo o sinal pela carta de Smith. Os resultados apresentaram um ótimo casamento de impedância por considerando  $1 \leq VSWR \leq 2,5$  para a utilização da antena para fins comerciais. A Figura 26 apresenta a resposta da impedância na Smith, indicando três pontos e dentro da banda projetada. Já a Figura 27 apresenta a resposta do VSWR linearmente na frequência 300 MHz a 1 GHz.

Figura 26- Resposta da Impedância na carta de Smith.



Fonte: Autor.

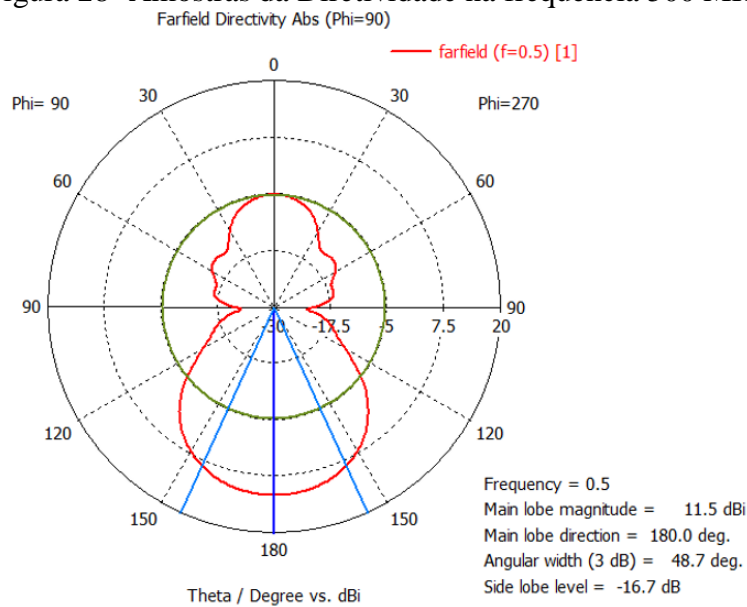
Figura 27- Simulação do VSWR pelo CST.



Fonte: Autor.

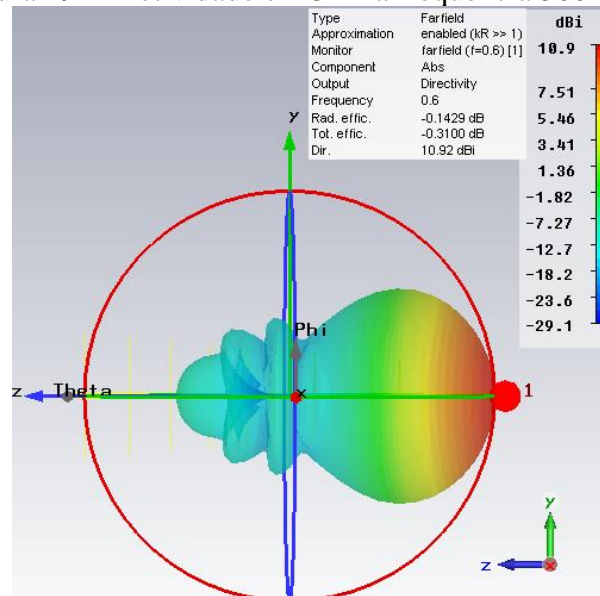
A diretividade obtida por simulação pode ser apresentada na forma 2D (diagrama polar) e 3D. Dessa forma, o *Farfield* foi configurado para mostrar os resultados de 500 MHz, 600 MHz, 700 MHz e 800 MHz. Pode-se observar que o lóbulos principal pode atingir até 12dB de diretividade, e apresenta também alguns lóbulos secundários a qual faz com que aja uma dispersão de potência e a diminuindo sua eficiência, porém, para a aplicação de sinal de broadcasting de TV digital, essa perda não é muito significativa. As figuras 28 e 29 apresentam a resposta da simulação do *Farfield* em polar e 3D, respectivamente.

Figura 28- Amostras da Diretividade na frequência 500 MHz.



Fonte: Autor.

Figura 29- Diretividade em 3D na frequência 500 MHz.

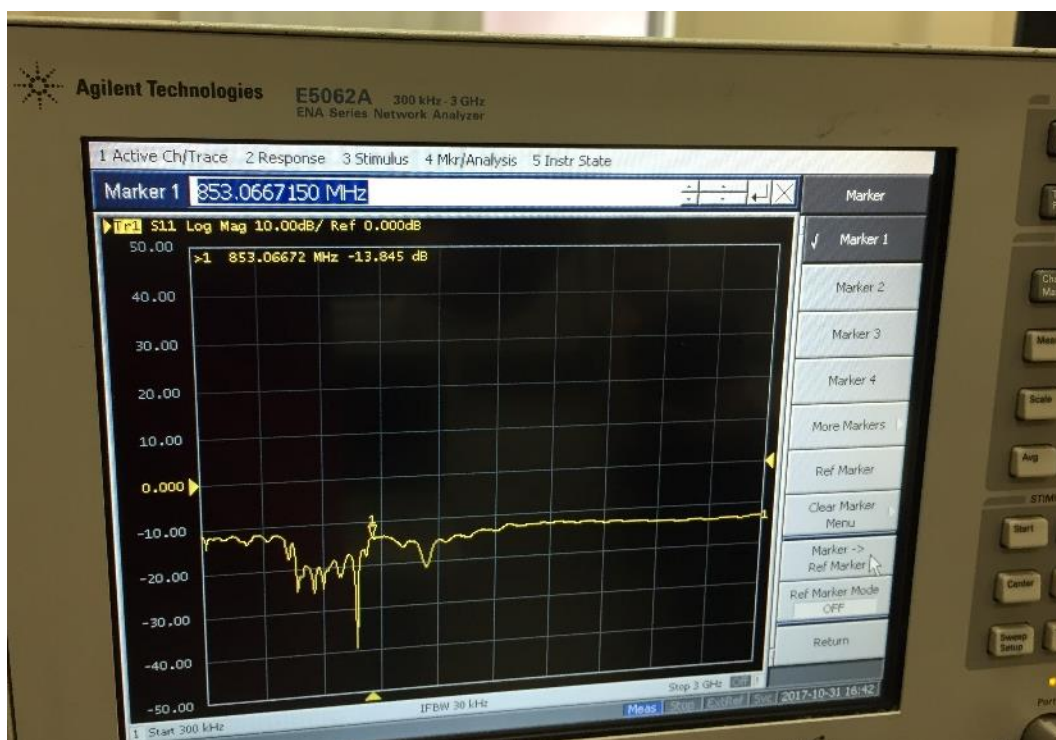


Fonte: autor.

## 6.2 RESULTADOS DE PERDA DE RETORNO MEDIDOS

Os resultados práticos começam a partir da montagem do protótipo onde é feito o teste de continuidade dos elementos e depois é conectado a pelo analisador de rede vetorial (E5062A ENA-L RF Network Analyzer). Foi tomado como base uma antena log-periódica comercial. A Figura 30 mostra o analisador de rede vetorial usado.

Figura 30- Resposta no Analisador de Rede E5062A.

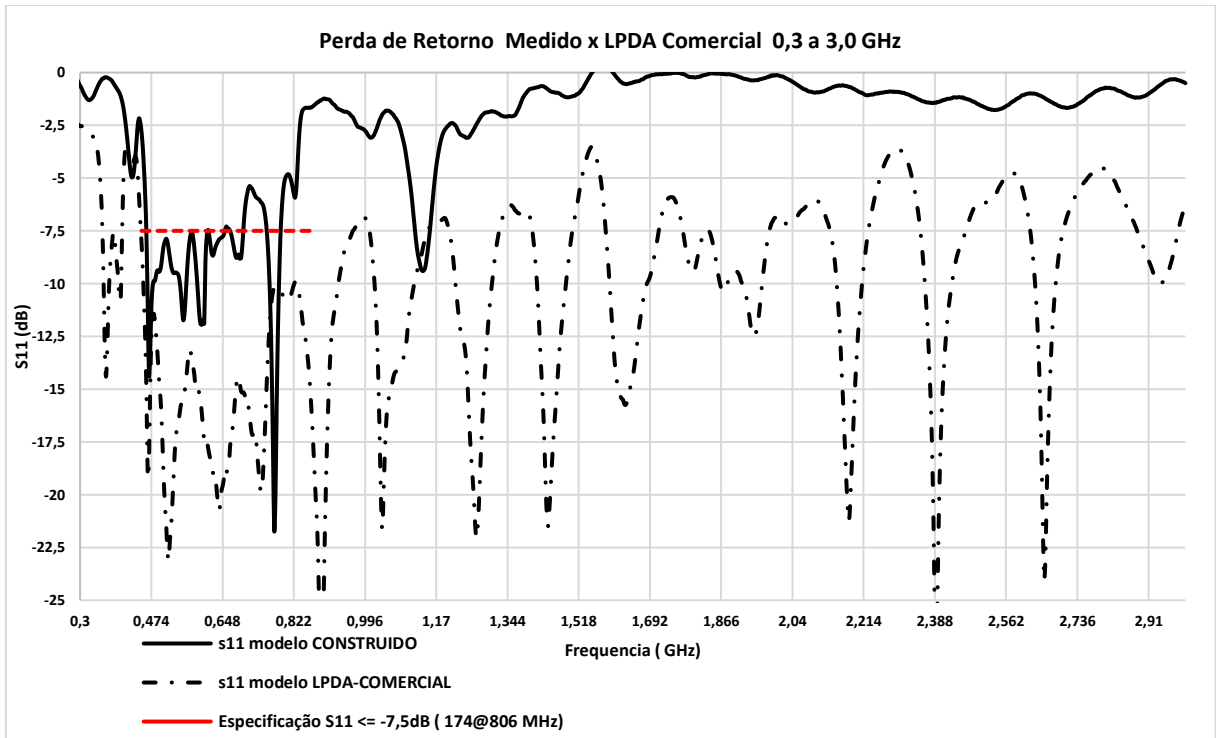


Fonte: Autor.

Coletados os dados gerados pelo analisador de rede vetorial da antena comercial utilizada como parâmetro de comparação e o protótipo, foi possível comparar as respostas de perda de retorno do modelo comercial e o medido.

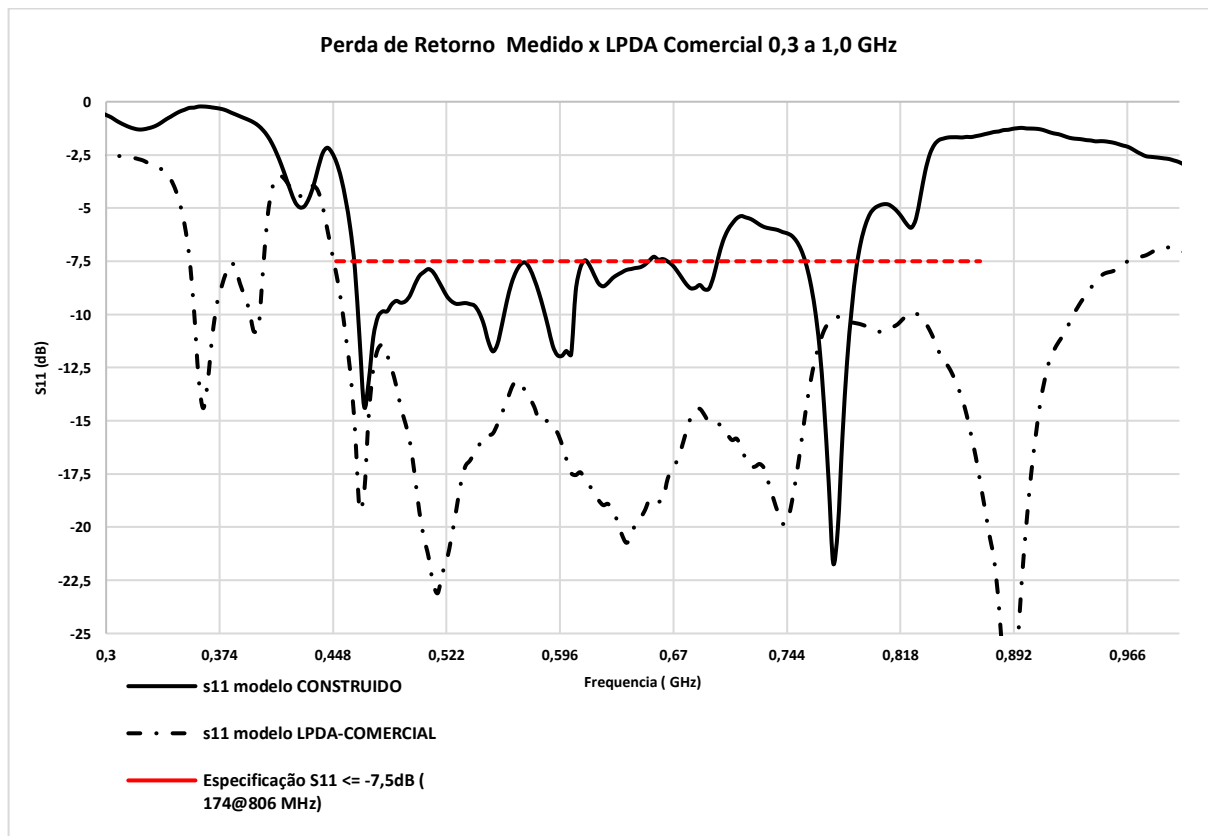
A Figura 31 e a Figura 32 apresentam a comparação da resposta da perda de retorno para as duas antenas de 300 MHz a 3GHz e de 300 MHz a 1 GHz, respectivamente, mostrando que a antena comercial possui várias ressonâncias durante todo o espectro. Já a antena projetada, possui um filtro nas frequências mais baixas e em 450 MHz apresenta uma resposta de perda de retorno ideal para recepção de sinal, a qual se mantém com uma boa magnitude até 850 MHz, aproximadamente.

Figura 31- Perda de Retorno comparativo de 300 MHz 3 GHz.



Fonte: Autor.

Figura 32- Perda de Retorno comparativo de 300 MHz 1 GHz.

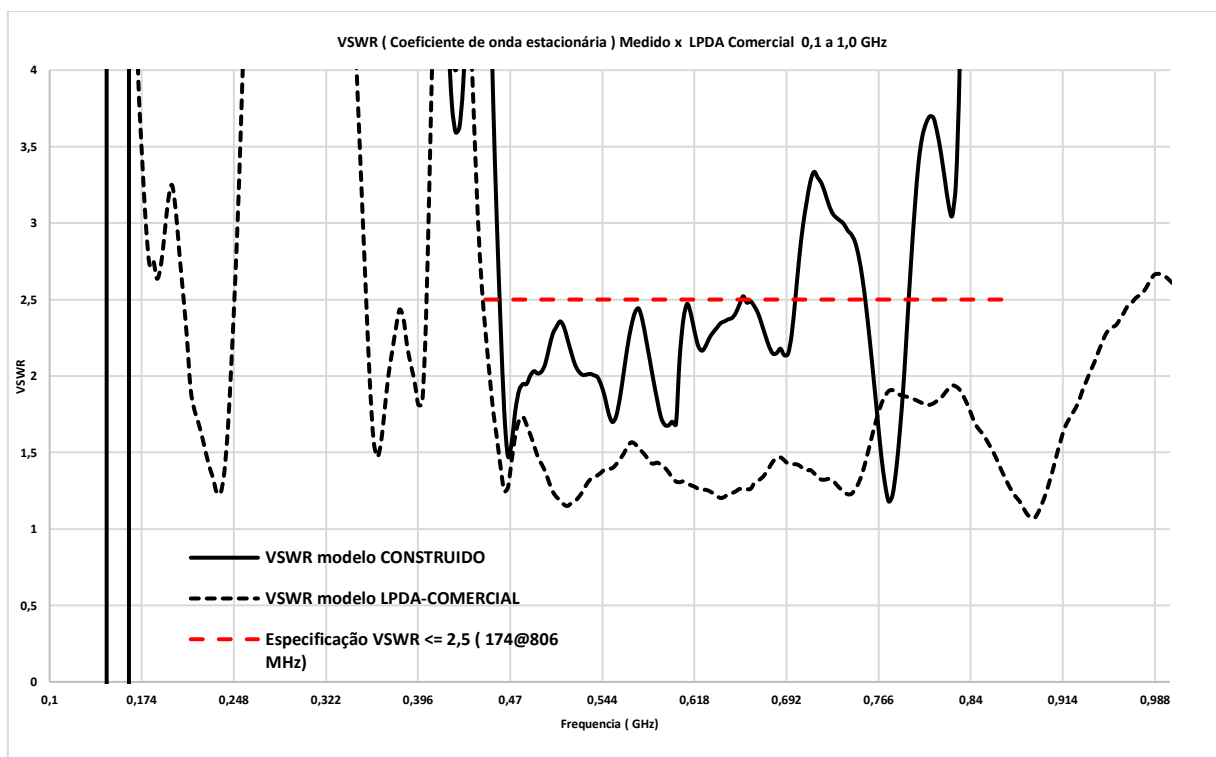


Fonte: Autor.

Isso ocorre por conta do fator de escala ( $\tau$ ) escolhido para o projeto de cada antena. A antena comercial, foi projetada com um  $\tau$  baixo, por isso há outras ressonâncias nas frequências mais altas. Já a antena projetada neste trabalho, foi escolhido um  $\tau$  elevado, onde limita a faixa desejada e há menos ressonâncias em outras frequências.

Já para a comparação do VSWR nos modelos comercial e construído, o modelo construído apresentou um VSWR não tão bom quanto o esperado. Isso pode ter acontecido, devido aos erros de precisão ocorridos durante o processo de montagem. Dessa forma, a antena não teve um casamento de impedância esperado, afetado assim no desempenho dela. A Figura 33 mostra a comparação da resposta do VSWR entre os dois modelos.

Figura 33- Comparativo das respostas de VSWR entre os modelos.



Fonte: Autor.

O último passo foi conectar a antena na TV para ver os canais sintonizados através dela. Os receptores mais modernos de TV possuem um limiar de detecção de -77 dB de sensibilidade, a TV usada possui o mesmo limiar de detecção e ela sintonizou em 37 dos 47 canais existentes na Capital de São Paulo, no momento em que essa dissertação foi escrita (PEROTONI E VIEIRA). Os canais mostraram uma boa qualidade de imagem e puderam ser

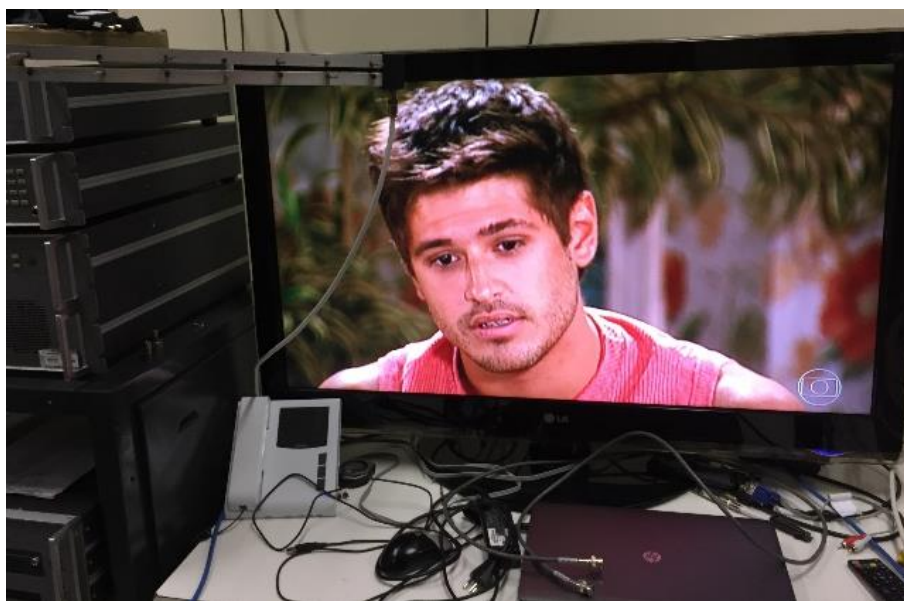
assistidos perfeitamente sem apresentar ruídos na imagem, apresentados na Figura 34 e na Figura 35.

Figura 34- Antena sintonizado no canal da Cultura.



Fonte: Autor.

Figura 35- Antena sintonizado no canal da Globo.



Fonte: Autor.

## CONCLUSÃO

Foi apresentado nesse trabalho um estudo sobre antenas, suas principais geometrias, as principais características a serem consideradas para analisar e montar uma antena, as propriedades geométricas e de parametrização de um antena Log-periódica para recepção de sinal de TV digital na faixa de 470 a 758 MHz. Após as análises teóricas, foi realizado simulação no domínio da frequência utilizando o *software* computacional, simulador de onda completa CST-Studio.

Através das respostas dos resultados simulados foi possível provar a aplicação das técnicas de parametrização logarítmica apresentadas por meio da literatura. Esses resultados mostraram um bom funcionamento da antena, porém os resultados medidos mostram que há alguns aspectos a serem melhorados, tais como casamento de impedância, o qual pode ser melhorado passando o conector (apenas uma polarização) para a outra extremidade da lança manter onde está e mudar o ângulo entre as lanças, revisar as simulações aumentando o valor de  $\tau$  a fim de aumentar o número de elementos e conseqüentemente aumentar o a eficiência da antena.

A antena foi montada de forma manual e não por equipamentos de precisão a qual as fabricas possuem. Assim, podem ocorrer erros de precisão na hora da montagem o que influencia diretamente no desempenho da antena.

Porém, após conectar a antena a um televisor com decodificador de TV digital, foi possível observar o bom funcionamento para a maioria dos canais. No momento da escrita dessa dissertação existiam 47 canais operantes em SP-Capital e a antena foi capaz de sintonizar 37 canais em um ambiente *indoor*.

Para trabalhos futuros, é sugerido que faça as melhorias citadas a cima, modelar outros tipos de geometria de antena, estudar outras aplicações de antenas, como antena para transmissão de rede móveis, e internet das coisas.

## REFERÊNCIAS

ANACOM. **Introdução em Portugal da Televisão Digital Terrestre (DVB-T)**. 1998. Portugal. Disponível em: <<https://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=342919>>. Acesso em: 15 maio 2017.

ANATEL. **Cronograma de desligamento da TV analógica é modificado**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/tecnologia/noticia/tv-digital-veja-cronograma-de-desligamento-do-sinal-analogico-nas-cidades.ghtml>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

ANATEL. **Plano de atribuição, destinação e distribuição de faixas de frequências no brasil**. 2017. Brasil. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=347196>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

ARANHA, Fernando Graziani; ROCHA, Prof. Carlos Augusto. **Análise comparativa da segunda geração do DVB-T2 x DVB-T**. 2012. 7 f. - Curso de Engenharia, Srst – Seminário de Redes e Sistemas de Telecomunicações, Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel, Santa Rita do Sapucaí, 2016.

BALAN, Willians Cerezzi. **Retransmissoras digitais: apagão em 2016**. Revista de Radiodifusão: Os caminhos da TV brasileira, São Paulo, v. 7, n. 7, p.29-33, 2013. Semestral. Disponível em: <<http://www.set.org.br/revistaderadiodifusao/7/>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

BALANIS, Constantine A. **Teoria de antenas, v1: análise e síntese**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 1 v. (978-85-216-1653-5).

BALANIS, Constantine A. **Teoria de antenas, v2: análise e síntese**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 2 v. (978-85-216-1653-5).

BUENO, Eduardo Santos; BEDICKS JUNIOR, Gunnar; AKAMINE, Cristiano. **Results of field tests of the ISDB - TB system at 8 MHz in Botswana**. Revista de Radiodifusão: TV INTERNET RADIO CINEMA, São Paulo, v. 7, n 8 p.17-22, 2013. Semestral. Disponível em: <<http://www.set.org.br/revistaderadiodifusao/8/>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

BSD, Portal. **Lista De Canais Terrestres: Listando canais de São Paulo - SP**. 2017. Disponível em: <[http://www.portalbsd.com.br/terrestres\\_channels.php?channels=1](http://www.portalbsd.com.br/terrestres_channels.php?channels=1)>. Acesso em: 15 set. 2017.

CAPABILITIES, Ansys Hfss. **High-Frequency Electromagnetic Solvers**. Disponível em: <<http://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss/hfss-capabilities#cap4>>. Acesso em: 17 set. 2016.

CST, Computer Simulation Technology. **CST MICROWAVE STUDIO**. 2017. Disponível em: <<https://www.cst.com/products/cstmws>>. Acesso em: 27 set. 2016.

HUANG, Yi; BOYLE, Kevin. Antennas: **From Theory to Practice**. United Kingdom: A John Wiley And Sons, Ltd, Publication, 2008.

HUANG, Yi; BOYLE, Kevin. Antennas: **From Theory to Practice**. United Kingdom: A John Wiley And Sons, Ltd, Publication, 2008. Pag 77 a 162

IBEGE. **Televisão**. 2015. Disponível em: <<https://teen.ibge.gov.br/noticias-teen/8311-televisao.html>>. Acesso em: 08 out. 2016.

LEI, Fang; Li, Zengrui; LUO, Limei, ZHANG, Hui, YANG, Yaoqing. **A nobel monopole antenna for digital television receiving application**. School of Information Engineering ; Communication University of China, Beijing 100024, China; The University of Nebraska. 2012.

MACHADO FILHO, Francisco. **O futuro da televisão digital aberta no brasil**. *Revista de Radiodifusão: Os caminhos da TV brasileira*, São Paulo, v. 7, n. 7, p.11-20, 2013. Semestral. Disponível em: <<http://www.set.org.br/revistaderadiodifusao/7/>>. Acesso em: 04 abr. 2016.

P. C. Butson and G. T. Thompson. **A note on the calculation of the gain of log-periodic dipole antennas**. *IEEE Trans on Antennas and Propagation*, AP-24, 105–106, 1976.

PEROTONI, Marcelo Bender et al. **Wideband Planar Monopole Antennas for the Brazilian Digital TV System**. *Ieee Latin America Transactions*, São Paulo, v. 13, n. 1, p.102-106, 1 jan. 2015. Disponível em: <[http://ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol13/vol13issue01Jan.2015/13TLA1\\_16BenderPerotoni.pdf](http://ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol13/vol13issue01Jan.2015/13TLA1_16BenderPerotoni.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2017.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Decreto nº 5.820, de 29 de junho de 2006**. Dispõe sobre a implantação do SBTVD-T, estabelece diretrizes para a transição do sistema de transmissão analógica para o sistema de transmissão digital do serviço de radiodifusão de sons e imagens e do serviço de retransmissão de televisão, e dá outras providências.. Implantação do Sbtvd. Brasília, 30 jun. 2006. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/decreto/d5820.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5820.htm)>. Acesso em: 25 set. 2016.

R. L. Carrel. **Analysis and design of log-periodic dipole antenna**. PhD Thesis, Universidade de Illinois, 1961.

SANTOS, Edson Tafeli Carneiro dos. **Uma Nova Proposta de Antena Banda Larga Para Recepção do Sinal de TV Digital do Padrão ISDB-Tb**. 2016. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2016.

SILVA, Adriano Goetz da; TERADA, Marco Antônio Brasil. **Análise do desempenho prático da transmissão de sinais de TV digital**. Revista de Radiodifusão • V. 08 • N. 09 • 2014 59, Gama, v. 8, n. 9, p.59-62. 2014.

SONNET. Disponível em: <<https://www.sonnetsoftware.com/products/sonnet-suites/>>. Acesso em: 17 set. 2017.

STUTZMAN, Warren L.; THIELE, Gary A.. **Antenna Theory and Design**. 2. ed. New Yourk: John Wiley e Sons, Inc., 1998.

STUTZMAN, Warren L.; THIELE, Gary A.. **Teoria e projeto de antenas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 1 v. (9788521627746).

STUTZMAN, Warren L.; THIELE, Gary A.. **Teoria e projeto de antenas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 2 v. (9788521627753).

TSAI, Chih-yu; T.-C.CHEN, Oscal. **Compact Broadband Monopole Slot Antenna for Digital TV Application**. Ieee Asia-pacific Conference On Antennas And Propagation, Singapore, n. 2012, p.1-2, 27 Não é um mês valido! 2012.

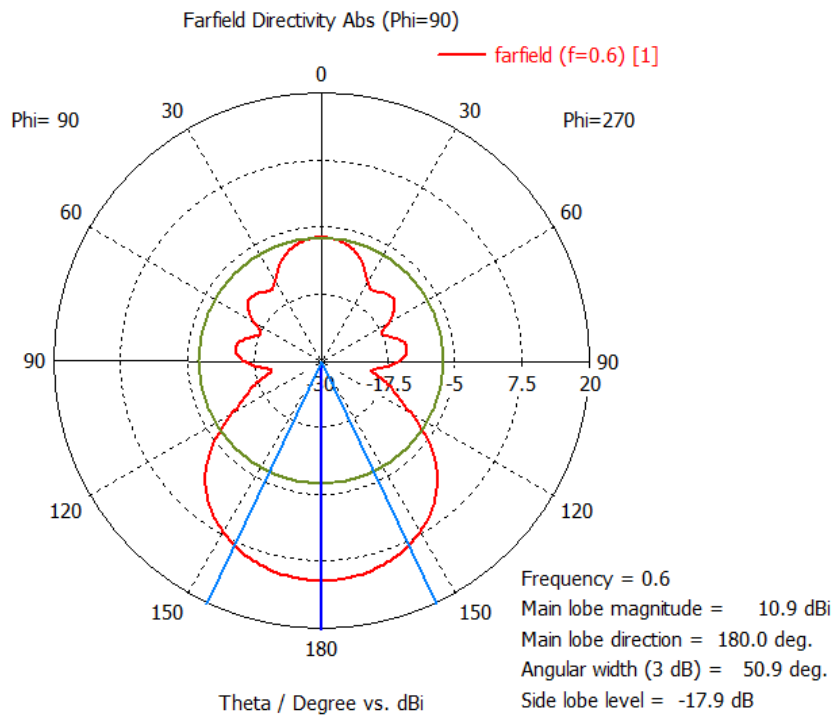
WANG, Anran; IYER, Vikram. **FM Backscatter: Enabling Connected Cities and Smart Fabrics**. Washington, 2017. Disponível em: <<http://smartcities.cs.washington.edu/fmbackscatter.pdf>>. Acesso em: 13 maio 2017.

ZNEC. **ZNEC Antenna Software by W7EL**. Disponível em: <<https://www.eznec.com/>>. Acesso em: 17 set. 2016.

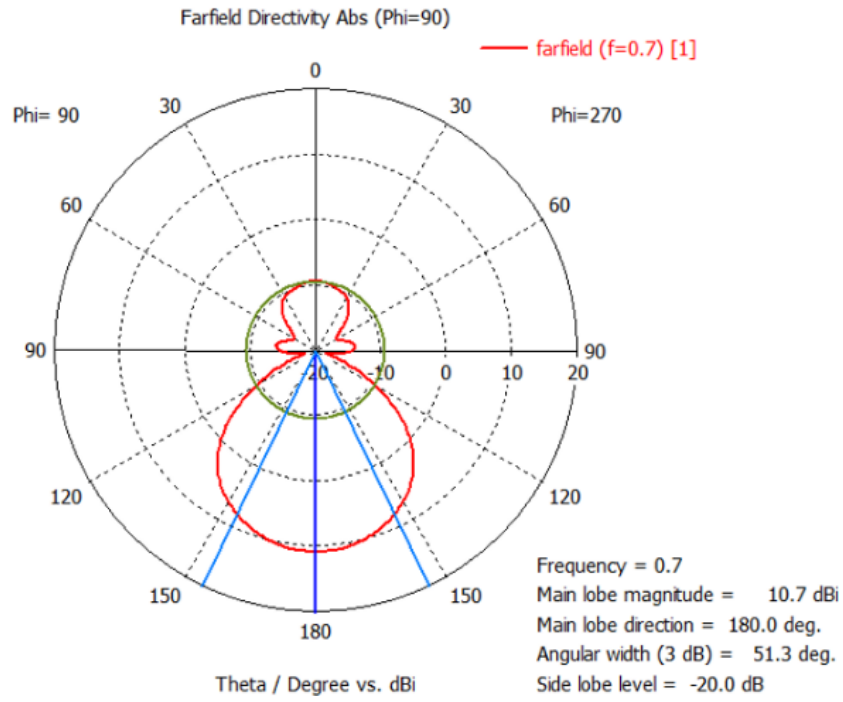
## ANEXOS

## ANEXO A - DIAGRAMAS POLARES DA DIRETIVIDADE

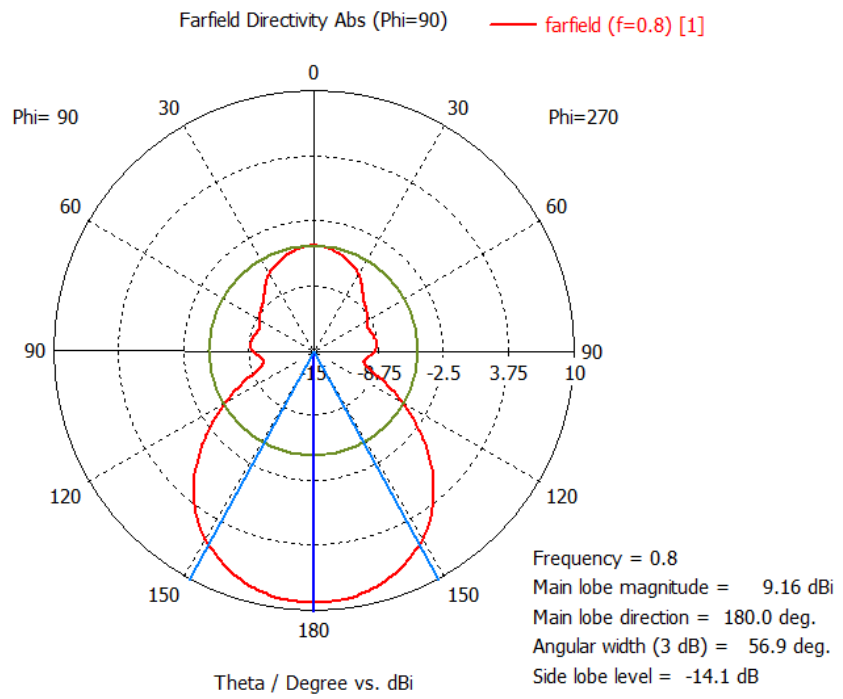
Figura 36- Diagramas polares simulados para Diretividade das frequências 600 MHz (a), 700 MHz (b) e 800 MHz (c).



(a)



(b)

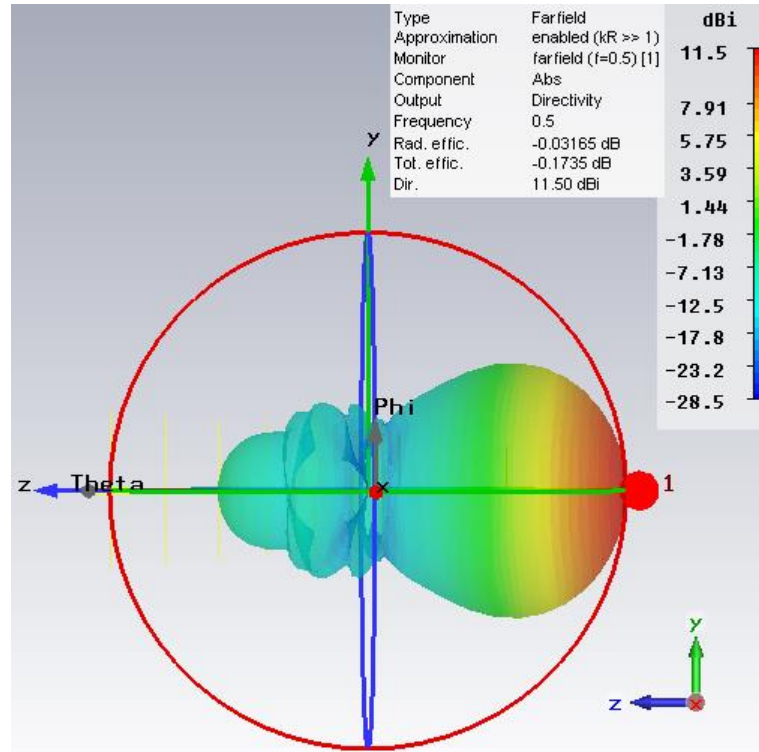


(c)

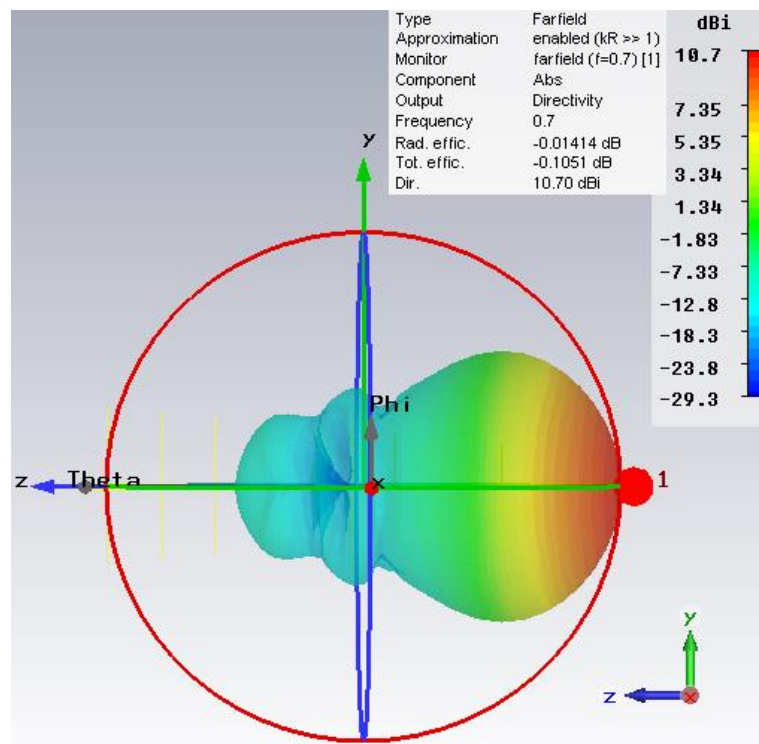
Fonte: Autor.

## ANEXO B - DIAGRAMAS POLARES DA DIRETIVIDADE 3D

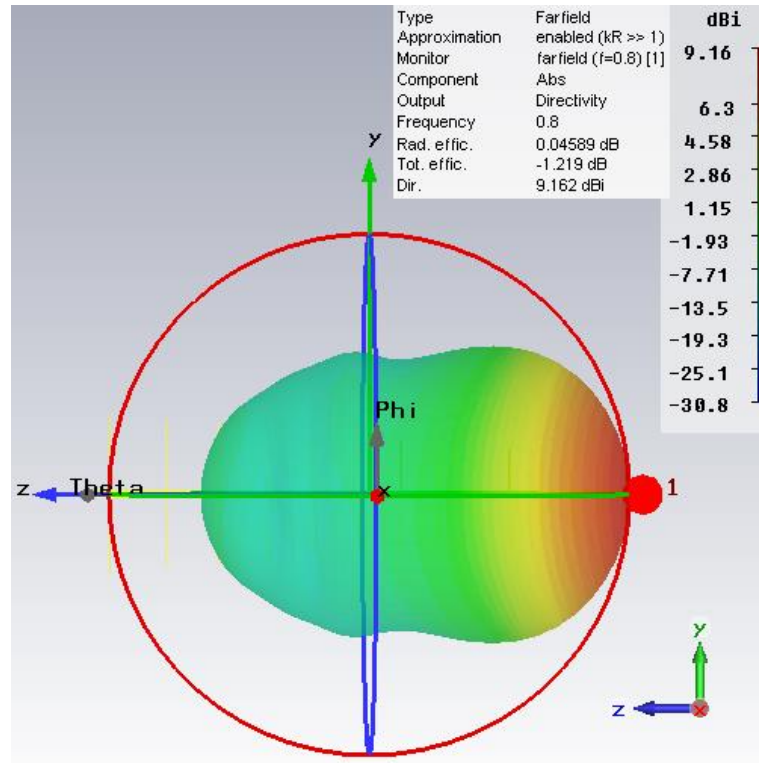
Figura 37- Diagramas simulados para Diretividade em 3D das frequências 500 MHz, 700 MHz e 800 MHz.



(a)



(b)

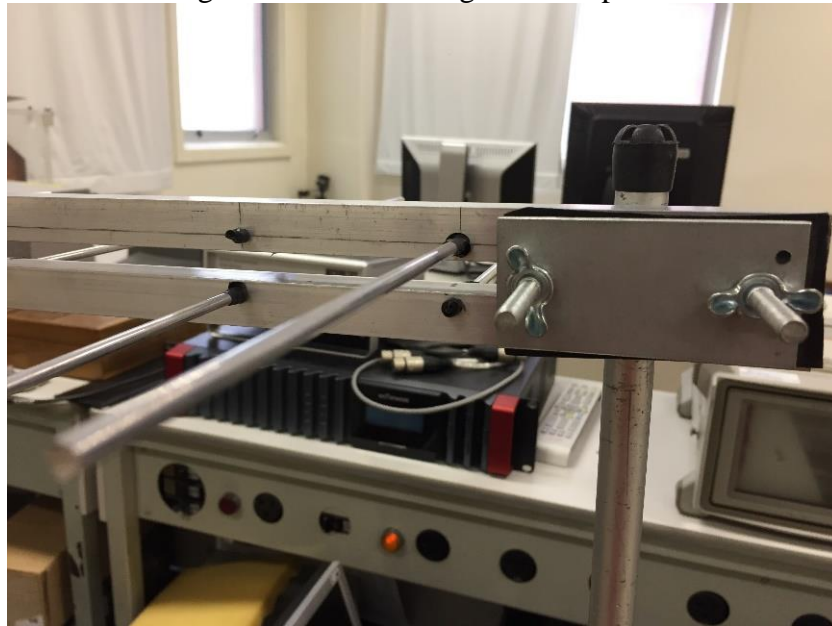


Fonte: Autor.

(c)

## ANEXO C - PERSPECTIVAS DA ANTENA MONTADA

Figura 38- Detalhe da garra no suporte.



Fonte: Autor.

Figura 39- Perspectiva de trás.



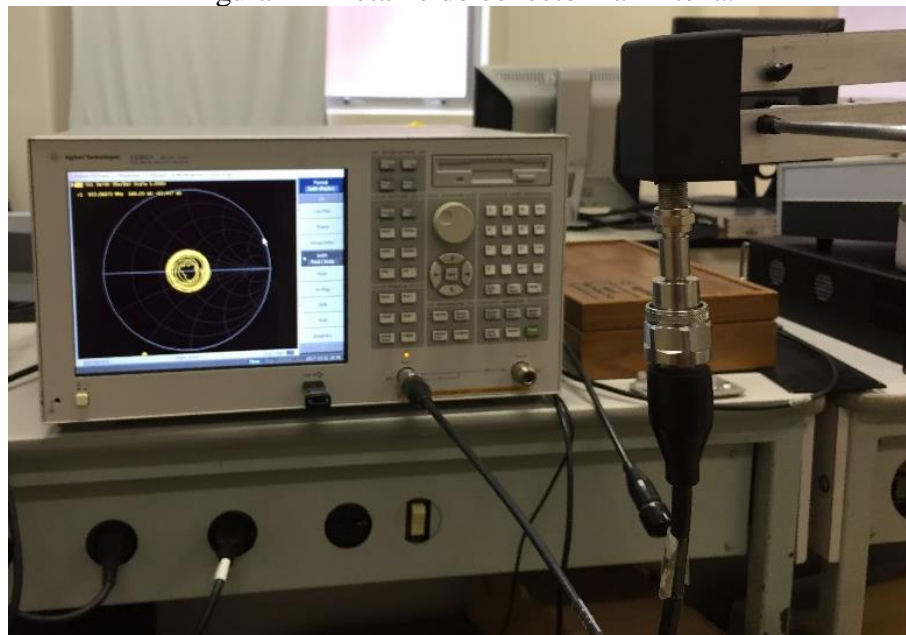
Fonte: Autor.

Figura 40- Perspectiva da Frente da Antena.



Fonte: Autor.

Figura 41- Detalhe do conector na Antena.



Fonte: Autor.

## ANEXO D - LISTANDO CANAIS DE SÃO PAULO – SP

Tabela 3- Listando canais de São Paulo – SP

<b>CANAL</b>	<b>CANAL</b>	<b>EMISSORA (REDE)</b>
<b>VIRTUAL</b>	<b>RF</b>	
<b>1.1</b>	10	TV ABC (Rede Brasil de TV)
<b>58.1</b>	12	TV Feliz SP (TV Feliz)
<b>14.1</b>	14	RBI TV (TV Plenitude)
<b>16.1</b>	15	Mega TV (Mega TV)
<b>48.1</b>	16	NGT (NGT)
<b>11.1</b>	17	TV Gazeta (Rede Gazeta)
<b>5.1</b>	18	Globo SP (Rede Globo)
<b>7.1</b>	20	Record TV (Rede)
<b>49.1</b>	21	Terra Viva (Terra Viva)
<b>21.1</b>	22	Rede 21 (TV Universal/Rede 21)
<b>13.1</b>	23	Band (Rede)
<b>2.1</b>	24	TV Cultura (TV Cultura)
<b>2.2</b>	24	Univesp (Univesp)
<b>2.3</b>	24	Multicultura Educação (TV Cultura)
<b>25.1</b>	25	RCI (TV Mundial)
<b>27.1</b>	26	CNT Americana (CNT)
<b>53.1</b>	27	Rede Gospel (Rede Gospel)
<b>4.1</b>	28	SBT SP (Rede SBT)
<b>9.1</b>	29	Rede TV! (Rede)
<b>30.1</b>	30	Canal Um Europa (RIT)
<b>32.1</b>	31	Ideal TV (Ideal TV/TV Universal)
<b>10.1</b>	32	Rede Brasil de Televisão (Rede)
<b>33.1</b>	33	Top TV (Top TV)
<b>33.2</b>	33	Kiss TV (Kiss TV)
<b>33.3</b>	33	MCI TV (MCI TV)
<b>35.1</b>	35	TVC São Paulo (Local)
<b>36.1</b>	36	TV Eldorado (TV Esporte Interativo)
<b>34.1</b>	39	Rede Vida (Rede Vida)
<b>40.1</b>	40	TV Sul Bahia (RIT)
<b>41.1</b>	41	TV Aparecida (Rede)
<b>42.1</b>	43	Record News (Record News)
<b>44.1</b>	44	TVT (TV Brasil)
<b>45.1</b>	45	Boa Vontade TV (Boa Vontade TV)
<b>46.1</b>	46	TV Cachoeira (TV Novo Tempo)
<b>55.1</b>	48	TV8 (TV Século 21)
<b>50.1</b>	50	TV Canção Nova (Rede)
<b>51.1</b>	51	Boas Novas (Rede)
<b>61.1</b>	61	TV Câmara (TV Câmara)
<b>61.2</b>	61	TV ALESP (TV ALESP)

<b>61.3</b>	61	TV Senado (TV Senado)
<b>61.4</b>	61	TV Câmara Municipal SP (Local)
<b>62.1</b>	63	TV Brasil (TV Pública)
<b>62.2</b>	63	NBR (TV Pública)
<b>62.3</b>	63	TV Escola (TV Escola)
<b>62.4</b>	63	Canal Saúde (Canal Saúde)
<b>64.1</b>	64	TV Justiça (TV Justiça)
<b>64.2</b>	64	Ponto Jus (Ponto Jus)

Fonte: Portal BSD