



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações

YÚLIEN FERRAZ ALVES

COMBINADORES PARA ESTAÇÕES DE RADIODIFUSÃO

Uberlândia

2022

YÚLIEN FERRAZ ALVES

COMBINADORES PARA ESTAÇÕES DE RADIODIFUSÃO

Trabalho apresentado na Universidade Federal de Uberlândia como requisito para conclusão do curso de Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Éderson Rosa da Silva

Assinatura do Orientador

Uberlândia
2022

Dedico este trabalho a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para ele além da minha família pela paciência.

Agradecimento

Muitas foram às pessoas que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste. Desde aqueles que compartilharam da alegria de poder estar bem e festejando com aquela cervejinha gelada, até aqueles que infelizmente pelo momento vivenciado, tiveram suas vidas ceifadas. A cada um deles, meu muito obrigado.

Diretamente, agradeço ao Senhor Paulo Fernando Santos de Azevedo e ao técnico em radiodifusão Elly Costa Borges, por toda a paciência, disposição e ensinamento compartilhados para que este fosse escrito. Ao professor doutor e orientador deste, Éderson Rosa da Silva, que com compreensão inigualável além de grandes conhecimentos me orientou desde o início, sempre fornecendo uma opinião ou dica de boas práticas para a escrita deste.

A minha família por toda a paciência e compreensão dos dias sem dormir, ou das noites em claro com luz acesa e atrapalhando o sono de cada um deles. A família Elétrica motores pelo apoio e força. A tia Ana Paula da Natação e do Pilates, Helen Moreira, Natália Gomes de Souza, Camila (RJ) por lerem e ajudar a encontrar erros.

Aos demais não citados, muito obrigado.

Resumo

A rádio difusão brasileira tem significativa relevância no cotidiano das pessoas e evoluiu com o passar do tempo, acompanhando as inovações tecnológicas. Prova disso é a migração das rádios AM para a faixa de frequência das rádios em FM. Embora com muito potencial, o mercado de rádio difusão brasileiro faz pouco uso de sistemas mais complexos para a solução de problemas. Assim, abordam-se os sistemas combinadores como elemento importante que simplifica e traz economia sobre determinados aspectos, além de possuir inúmeros benefícios para a operação entre rádios. Neste contexto, é apresentado o funcionamento detalhado de dispositivos combinadores, além de aspectos práticos da elaboração de projetos para a rádio difusão. Ao mesmo tempo, abordam-se os procedimentos realizados para medições de um *combiner Star point*, referenciando com a teoria de aplicação, além de monitoramento e avaliação do sistema em funcionamento para duas emissoras, com referência para as normas vigentes. Os resultados obtidos reafirmam a teoria, mas o conhecimento a cerca da operação do sistema para o correto ajuste e conseguinte funcionamento é de grande importância. Para realizar as medições, é necessária a utilização de instrumentação específica, capaz de fornecer resultados precisos. Os equipamentos utilizados neste fornecem as medições necessárias, exigindo do profissional, o discernimento e compreensão das métricas desejadas, para que assim, realize corretamente todos os procedimentos e ateste fielmente, que todas as métricas condizem com as exigências normativas vigentes.

Palavras Chave: Radiodifusão, Combinadores, Filtros RF, Rádio AM e Rádio FM.

Abstract

Brazilian radio broadcasting has significant relevance in people's daily lives and evolves over time, following technological innovations. Proof of this is the migration of AM radios to the frequency band of FM radios. Although with a lot of potential, the Brazilian radio broadcasting market makes little use of more complex systems to solve problems. Thus, combining systems are approached as an important element that simplifies and brings savings on certain aspects, in addition to bringing numerous benefits to the operation between radios. The detailed operation of combining devices is presented, as well as practical aspects of the elaboration of projects for radio broadcasting. At the same time, the procedures performed for measurements of a combiner are discussed, referring to the application theory, as well as monitoring and evaluation of the system in operation for two stations, with reference to the current regulations. The obtained results reaffirm the theory, but the knowledge about the system operation for the correct adjustment and subsequent functioning is of great importance. To carry out the measurements, it is necessary to use specific instrumentation, capable of providing accurate results. The equipment used in this provides the necessary measurements, requiring the professional to discern and understand the desired metrics, so that he can correctly perform all procedures and faithfully certify that all metrics comply with current regulatory requirements.

Keywords: Broadcasting, Combiners, RF Filters, AM Radio and FM Radio.

Lista de Figuras

Figura 1 – Sinal da portadora, Sinal do modulador, onda gerada Modulada em Amplitude. ..	21
Figura 2 – Sinal da portadora, Sinal do modulador, onda gerada modulada em frequência.	24
Figura 3 - Definindo frequência instantânea	24
Figura 4 - Relação entre a amplitude da portadora e o índice de modulação.....	26
Figura 5 - Efeito produzido no FM para modulação de uma portadora, dado um índice de modulação de 2.405 e uma frequência modulante de 200Hz e portadora em 2000Hz	27
Figura 6 - Esquema Junção T -	34
Figura 7 – Curva de Resposta para os efeitos observados nos filtros.....	35
Figura 8 - Esquema de filtro de cavidade passa banda.....	36
Figura 9 – a) Resposta de frequência para filtro ideal. b) filtro real para uma cavidade passa-banda única.....	37
Figura 10 – Curva real do atraso de grupo para uma portadora em uma frequência f_0 . Através de um filtro passa-banda.....	38
Figura 11 - Resultado obtido com a inserção de módulo de equalização para combater o atraso de grupo de um combinador.	38
Figura 12 - Carta de Smith - Encontrando suas definições	40
Figura 13 - Carta de Smith para um filtro de cavidade única passa banda.....	41
Figura 14 - a) Curva A, curva B e Curva C mostradas na carta de Smith para a combinação de filtros de cavidade de passa-banda única b) Curva A, curva B e Curva C no gráfico comparando os efeitos para a combinação de filtros de cavidade passa-banda única com 2,3 e 4 cavidades acopladas respectivamente.....	41
Figura 15 - Maneiras de construir um filtro rejeita banda.....	42
Figura 16 – Curva obtida para um filtro de cavidade rejeita banda. Em ‘a’ temos um filtro somente. Em ‘b’ temos o acoplamento de dois filtros na mesma frequência.....	43
Figura 17 - Filtro rejeita banda com acoplamento de filtros em frequências próximas	43
Figura 18 - Dispositivo Híbrido operando em 'a' como divisor de potencia e em 'b' como combinador de sinais	44
Figura 19 – Dispositivo Híbrido em quadratura operando como refletor de sinal	45
Figura 20 - Dispositivos Híbridos arrançados no formato de um anel.	45
Figura 21 – Representação de um combinador <i>Star Point</i> para combinação de duas emissoras na frequência F_1 e F_2	46
Figura 22 - Topologia para um combinador balanceado de rejeição de banda	47
Figura 23 - Combinador balanceado de rejeição de banda para 5 emissoras	48
Figura 24 - Módulo para combinador Passa-banda	49
Figura 25 - Combinador Balanceado Passa-Banda para duas estações.....	50
Figura 26 – <i>Vector Network Analyzer VNA2180</i>	55
Figura 27 - Vista noturna do abrigo das rádios utilizadas no projeto.....	57
Figura 28 - Transmissores das rádios - MGE FM2500 para a Rádio 1 e o MGE FM3000 para a Rádio 2.....	59
Figura 29 - Exemplo de Linha de Transmissão.....	60
Figura 30 – Antena FM Omnidirecional 4 Dipolos modelo: AFO44U 237/255.....	61

Figura 31 - Topologia de uma torre Estaiada em ‘a’ e Torre Construída em ‘b’ para instalação da Antena e Linha de Transmissão das Emissoras.....	62
Figura 32 – Torre Autoportante. Em “a”, nomenclatura das barras. Em “b” exemplo de torre autoportante já com antenas e linhas de transmissão, prontos para operação.	62
Figura 33 - <i>Combiner Star Point</i> configurado para realizar a união das emissoras sobre o mesmo sistema final de radiação.	64
Figura 34 – Junção T desenvolvida para o projeto.....	65
Figura 35 – Vista ampliada dos pontos de ajuste para os filtros utilizados no combinador.....	65
Figura 36 – Identificação dos elementos presentes nos Filtros Utilizados no Combinador.....	66
Figura 37 - Procedimento para medições do sistema combinado	68
Figura 38 - Gráfico com as informações lidas para a rádio 1 na frequência de 95,3MHz	69
Figura 39 - Gráfico com as informações lidas para a rádio 2 na frequência de 98,9MHz	69
Figura 40 – SWR E Perda por Retorno Rádio 95,3MHz	71
Figura 41 – SWR E Perda por Retorno Rádio 98,9MHz	71
Figura 42 – Carta de Smith para o comportamento da magnitude do SWR e da fase do parâmetro S11.....	72
Figura 43 - ZMag e Zfase Rádio 1 na frequência de 95,3MHz.....	73
Figura 44 - ZMag e Zfase Rádio 2 na Frequência de 98,9MHz.....	74
Figura 45 – Atraso de Grupo e S21_Mag rádio 95,3MHz e 98,9MHz	76
Figura 46 – Hardware Analisador de Espectro USB-SA44B.....	77
Figura 47 – Espectro para a faixa de frequência de 79MHz a 115MHz lida na região das emissoras.	78
Figura 48 - Avaliação Espectro de frequências rádio 1.....	79
Figura 49 - Avaliação Espectro de frequências rádio2.....	80
Figura 50 – Análise Espectro para Produto Intermodulação entre rádios do projeto.....	82
Figura 51- Análise espectral para rádio 1 e uma rádio vizinha em 96,1MHz.....	83
Figura 52 - Análise espectral para rádio 2 e uma rádio vizinha em 96,1MHz.....	84
Figura 53 - Análise espectral entre rádios 1 e 2 e uma rádio vizinha em 107,3MHz.....	85
Figura 54 - Análise espectral entre rádio 1 e uma Emissora de TV analógica, canal 6.	86
Figura 55 - Análise espectral entre rádio 2 e uma Emissora de TV analógica local, canal 6...	87
Figura 56 – Análise do espectro conforme dados Tabela 5, para espectro comparando emissoras do projeto com emissoras de rádio existentes no local.....	89
Figura 57 - Análise do espectro conforme dados Tabela 5, para espectro comparando emissoras com o sinal da repetidora de TV canal 6.	90

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Índice de modulação e sua influência nas bandas laterais.....	27
Tabela 2 - Tabela contendo as classes de estações transmissoras de FM com suas respectivas potências ERP máximas, distâncias ao contorno protegido e Altura de referência sobre o nível médio da radial.	58
Tabela 3 – Referência para os Marcadores da Figura 48.	79
Tabela 4 - Referência para os Marcadores da Figura 49	80
Tabela 5 – Posição dos Mkr's para análise do espectro de frequências fornecido na Figura 56, comparando 3 Sinais entre as rádios locais presentes.	88
Tabela 6 - Posição dos Mkr's para análise do espectro de frequências fornecido na Figura 57, comparando 3 Sinais para a repetidora de TV no canal 6.	89

Lista de Abreviaturas e Siglas

Δ_{em} = Variação de tensão

ω_c - Frequência da Portadora

$\omega_c(t)$ – Frequência Central da Portadora no Tempo

A_L – Atenuação da Linha de Transmissão, em dB/100 metros

E_{max} - Tensão Máxima

E_{min} - Tensão Mínima

$G_{tMáx}$ – Ganho Máximo do Sistema Irradiante ($G_{tMáx} = 10^{\frac{G_{tMáx}(dB)}{10}}$)

I_{max} - Corrente Máxima

I_{min} – Corrente Mínima

K_f = é a constante de fase

P_D – Perdas em Conectores e Demais estruturas.

P_s – Perda Total do Sistema de Transmissão, em vezes ($P_s = 10^{\frac{P_s(dB)}{10}}$)

P_t – Potência do transmissor

$e_m(t)$ = é a tensão do sinal banda base no instante t.

θ_0 - Ângulo da Fase da Portadora

Δt – Variação Temporal

Δf – Desvio de frequência

ABERT – Associação Brasileira de Emissoras Rádio e Televisão

AM – Amplitude Modulada

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

Bw = largura de banda do sinal FM

DTF – Distância para falha

ERP – Potência Efetiva Radiada

f_c – frequência central da portadora

FCC – Comissão Federal das Comunicações (*Federal Communication Commission*)

FM – Frequência Modulada

f_p – Sinal modulado

f_{pc} – frequência de pico da portadora modulada

f_s – Sinal modulante

ITU - União Internacional das Telecomunicações

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MEC AM – Rádio Nacional do Brasil

mf – Índice de modulação

Mkr – Marcadores

n = número de pares de bandas laterais

RF – Rádio Frequência

S11 – Coeficiente de Reflexão na Entrada

S21 – Coeficiente de transmissão direta

SWR – Standing-Wave Ratio (Onda Estacionária de Rádio)

t – tempo

TX1 – Transmissor 1

TX2 – Transmissor 2

TX3 – Transmissor 3

TX4 – Transmissor 4

TX5 – Transmissor 5

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

Sumário

1 – Introdução	15
1.1 – <i>Motivação</i>	16
1.2 – Objetivos	16
1.2.1 – Objetivo Geral	16
1.2.2 – Objetivos Específicos	16
1.3 – Estrutura do Trabalho	17
2 – Rádio AM, FM e a migração	18
2.1 - Rádio AM no Brasil.....	18
2.1.1 - AM – Amplitude Modulada.....	20
2.2 - Rádio FM no Brasil	22
2.2.1 - FM - Frequência Modulada	23
2.3 – Migração do AM para o FM	29
2.3.1 – Vantagens da Migração	30
2.3.2 – Desvantagens da Migração.....	30
2.4 – Considerações Finais	31
3 - Sistemas Combinadores	32
3.1 – Introdução	32
3.2 - Isolação.....	32
3.3 - História dos Sistemas Combinadores	33
3.4 – Conceitos Importantes	33
3.4.1 – Junção T	33
3.4.2 – Carga Resistiva.....	34
3.4.3 – Filtros	34
3.4.3.1 – Filtros de Cavidade de Banda Única	36
3.4.3.2 – Resposta em Frequência.....	36
3.4.3.3 – Perda por Inserção	37
3.4.3.4 – Atraso de Grupo	37
3.4.3.5 – Impedância	39
3.4.3.6 – Efeitos do Acoplamento de Filtros.....	41
3.4.3.7 – Filtro Rejeita Banda	42
3.4.4 – Dispositivo Híbrido em quadratura	44
3.5 – Tipos de Combinadores	45

3.5.1 – Combinador <i>Star Point</i> ou <i>Branched</i> ou Ramificado	45
3.5.2 – Combinadores Balanceados de Impedância Constante	46
3.5.2.1 – Combinador Balanceado de Filtro de Rejeição	47
3.5.2.2 – Combinador Balanceado de filtro passa-banda	49
3.5.3 – Considerações Finais	51
4 – Projeto Prático	52
4.1 – Legislação Vigente	52
4.2 – <i>Vector Network Analyzer(VNA2180)</i>	54
4.3 – Dados do projeto	55
4.3.1 – Projeto de Aprovação de Local	56
4.3.1.1 – Abrigo.....	56
4.3.1.2 – Transmissores FM.....	57
4.3.1.3 – Filtros RF	59
4.3.1.4 – Linha de Transmissão.....	59
4.3.1.5 – Antena	60
4.3.1.6 – Torre de Transmissão	61
4.3.1.7 – Fonte de Energia.....	63
4.3.2 – Combinador.....	63
4.3.2.1 – SWR e Perda por Inserção	70
4.3.2.2 – ZMag e Zfase	72
4.3.2.3 – Atraso de Grupo e S21_Mag.....	74
4.3.2.4 – Análise do Espectro de Frequências.....	76
4.3.2.4.1 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 1 e 2	81
4.3.2.4.2 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 1 e Emissora presente na frequência 96,1MHz.....	82
4.3.2.4.3 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 2 e Emissora presente na frequência 96,1MHz.....	83
4.3.2.4.4 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 1 e 2 e Emissora presente na frequência 107,3MHz.....	84
4.3.2.4.5 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 1 e a repetidora de TV analógica canal 6.....	85
4.3.2.4.6 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 2 e a repetidora de TV analógica canal 6.....	87
4.3.2.4.7 – Análise do Espectro de Frequências Entre rádios 1 e 2 e demais Frequências, considerando 3 sinais.	88

4.4 – Considerações finais para os resultados do projeto	90
5 – Conclusão	91
6 - Bibliografia	95
Anexos.....	99
Anexo A – Carta de Smith.....	100
Anexo B – Folha de dados Linha de Transmissão utilizada no projeto	101
Anexo C – Folha de dados da Antena de Transmissão utilizada no projeto	103
Anexo D – Folha de dados Combinador <i>Star Point</i> utilizado no projeto	105

1 – Introdução

A história das rádios no Brasil vem de longa data. Desde os primórdios das emissões de ondas o Brasil acompanha sua evolução. Muitos são os componentes necessários para que seja realizada a transmissão de sons de um ponto para uma área. Muitos desafios foram superados e continuam sendo estudados como forma de fornecer o melhor desempenho para as transmissões.

Um equipamento desenvolvido para que seja melhorado o desempenho das emissoras são os combinadores. Combinar mais de uma estação sobre o mesmo sistema final de transmissão é um conceito antigo e que para muitas localidades tornou-se obrigatório, seja pela falta de espaço para construção das estações transmissoras, seja pelo desejo de melhoria do sistema como um todo ou até mesmo como forma de se reduzir custos operacionais de instalação dos sistemas de radiodifusão.

Uma mudança na legislação brasileira promoveu grandes reboiços nas transmissões broadcast nacionais: proposta de finalização das operações das rádios em Amplitude Modulada (AM), ofertando a possibilidade das rádios migrarem para as ondas na faixa de frequência das rádios em Frequência Modulada (FM). Esse foi um importante passo para a revitalização e continuidade das operações das rádios AM que já vinham minguando audiência pelo simples fato da evolução tecnológica, além do aumento da exigência de maior qualidade audível por parte dos expectadores.

Toda essa mudança trouxe inúmeras oportunidades para o mercado *Broadcast* brasileiro, tanto para radialistas, como para prestadores de serviço e empresas que operam com a venda, instalação e montagem dos equipamentos transmissores. Como muitos radialistas operavam com rádios em FM e AM, uma forma de sintetizar os custos operacionais bem como os custos de projeto em si, foi realizar a utilização de combinadores para transmitir as emissoras compartilhando o mesmo sistema final de transmissão.

Assim, propõem-se a realização de um estudo sobre o funcionamento dos dispositivos combinadores de forma a esclarecer como operam na prática, quais as vantagens, tipos e modos de operação. Para isso, realiza-se um estudo prático das principais características necessárias para a idealização de um projeto, bem como se faz observações dos processos de medições e principais características levadas em consideração para o ajuste e correto alinhamento de um combinador e operação de uma emissora perante a legislação vigente.

1.1 – Motivação

A motivação se encontra na necessidade de estar preparado para os desafios do mercado *Broadcast* atual, já que via de regra, a preparação dos engenheiros sucede de infinitas horas de estudo, bem como das possibilidades de constatação prática daquilo que foi visto em teoria. A importância histórica das modificações na legislação brasileira, bem como o conhecimento observado no mundo atual são requisitos relevantes para formação.

É imprescindível que na atual competição de mercado entre as estações transmissoras de rádios com até mesmo outros tipos de meios de comunicação como a internet, exige-se cada vez mais melhorias dos meios de transmissão de forma a garantir a entrega de excelentes resultados com a maior redução de custo possível. Os combinadores possuem essas características sendo adotados em muitos lugares no mundo, como regra para convivência geral.

Por fim, desenvolver e aperfeiçoar os conhecimentos a respeito de projetos bem como do funcionamento inerente aos dispositivos combinadores é de grande valia.

1.2 – Objetivos

1.2.1 – Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar de forma sucinta informações e questões de projeto relacionando o conhecimento teórico com a prática a cerca do comportamento de um combinador, mostrando a operação de um sistema combinado com análises de seu funcionamento.

1.2.2 – Objetivos Específicos

Com relação aos objetivos específicos, destaca-se a necessidade de abordar a teoria sobre os dispositivos combinadores, detalhar a prática de instalação e operação destes dispositivos, descrever os efeitos práticos observados, comparando com a teoria vista e analisar os procedimentos adotados para colocar em operação um sistema combinador. Além disso, objetiva-se demonstrar vantagens e desvantagens, dificuldades de implementação,

procedimentos de medições para o sistema combinador e para a operação das emissoras junto a estações vizinhas assegurando e checando se a norma vigente está sendo cumprida.

1.3 – Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado conforme descrito a seguir.

No Capítulo 2 é apresentado um breve histórico sobre os fatos a cerca das rádios AM e FM, partilhando momentos vivenciados inicialmente na estrutura do rádio AM pelo Brasil. Em seguida, relata-se uma teoria superficial a cerca dos detalhes técnicos envolvendo as transmissões tanto para o AM quanto para o FM. Posteriormente, apresentam-se os fatos marcantes da mudança na legislação brasileira, acerca dos motivos que levaram a migração das rádios, sendo realizado um descritivo de suas vantagens e desvantagens.

No Capítulo 3 é abordado a teoria sobre os combinadores sendo apresentado um breve histórico destes dispositivos, além de conceitos para se fortalecer os conteúdos necessários ao estudo destes sendo apresentado o funcionamento, e tipos de *combiners* adotados atualmente.

No Capítulo 4 é apresentado os desafios a cerca das principais características para escolha e operação de uma emissora em FM, além de ser realizado um levantamento dos desafios de ordem prática da instalação de um sistema combinador. Neste capítulo é realizada análise a cerca do comportamento do combinador bem como das rádios em relação às emissoras vizinhas, levando em consideração a legislação vigente.

2 – Rádio AM, FM e a migração

2.1 - Rádio AM no Brasil

O surgimento oficial da rádio AM no Brasil segundo Castro (2021) é datado de 07 de setembro de 1922, quando no Rio de Janeiro o então presidente Epitácio Pessoa realizou durante as comemorações da independência do país, a primeira transmissão à distância sem a utilização de cabos, para um grupo seletivo de pessoas. Na ocasião, um transmissor foi instalado no alto do corcovado e 80 receptores foram importados.

A rádio AM teve significativa importância histórica no Brasil, pois foi o primeiro sistema de comunicação utilizado para transmitir informações desejadas para a população. Inicialmente, o caráter da transmissão era fundamentalmente dedicado à educação, cultura, entretenimento e informação, conforme relata Tatiana Alves (2021), ao contar a história dos 98 anos de existência da Rádio Nacional do Brasil (MEC AM).

Ouvir rádio era, antigamente, algo disponível somente para pessoas com poder aquisitivo superior já que o valor despendido para a aquisição de um dispositivo de recepção era elevado. Com o passar do tempo e os avanços tecnológicos além de incentivos comerciais por parte do governo, houve uma crescente aquisição de dispositivos receptores no mercado brasileiro por outras classes.

Não existiam inicialmente fortes regulamentações sobre o setor até o então presidente Getúlio Vargas já na década de 30, criar o departamento de propaganda e difusão cultural que tinha como objetivo aprender sobre as formas de influência com que o rádio poderia ser usado, para a disseminação de ideias sobre a sociedade. Embora houvesse sido criado este órgão, as rádios ainda vinham de um período no qual tinham liberdade para fazerem toda a sua programação, o que fez o rádio ser fortemente influenciado pela opinião de diversos atores como os radialistas, empresários, artistas como afirma Haussen (2004). Oficializava-se também uma nova modalidade para as rádios, a publicidade.

Antes da regulamentação, as rádios deveriam reservar sua programação ao entretenimento, educação e ao governo sendo que os custos operacionais de manutenção das rádios ficavam somente a cargo de seus donos. Com a abertura da comercialização as emissoras passam a poder realizar faturamento externo através da prestação de serviço e assim possibilita a realização da manutenção e melhoria de acordo com as novas tecnologias. Ainda, houve nesse período um aumento do número de rádios, haja vista a particularidade de o Governo Vargas

querer promover a nacionalização do estado brasileiro, e para isso, desejava-se que a maior parcela da população brasileira soubesse o que estava acontecendo ou recebesse influência sobre seus pensamentos de alguma forma.

Do fim da década de 30 para o início da década de 40 o lado comercial do rádio estava se consolidando, e segundo Mousquer (2009) a rádio AM sofria forte influência do estilo de rádio já consolidado norte americano. Durante esse período diversos tipos de programas de entretenimento foram apreciados pelos espectadores brasileiros já que a geração de conteúdo passou a ter produções radiofônicas de forma a dar aos ouvintes uma sensação de imersão na história. Como exemplo dessas produções, pode ser citada a rádio novela, os shows de improvisação ao vivo, a contratação de bandas e orquestras.

Outro influenciador para as rádios e que permanece presente até na forma como o jornalismo brasileiro sintetiza e noticia os fatos atualmente, segundo Haussen (2004), foi o jornalista Esso. Influenciado pela forma de noticiar norte americano, pela necessidade gerada pela segunda guerra mundial de trazer em tempo hábil seus acontecimentos, e com o apoio do governo na estruturação do formato de como as mensagens deveriam ser entregues, este jornalista conseguia informar de forma imparcial e pontual.

A melhoria do jornalismo em comparação àquele realizado pelo Sr. Roquette Pinto considerado pai do rádio jornalismo brasileiro, e sua genialidade em ler e recortar o jornal marcando os trechos de maior importância, depois indo para o rádio, para que assim, fossem noticiados os fatos ocorridos naqueles tempos mostram o quanto era precário as condições iniciais do rádio. Era comum inclusive a leitura, por exemplo, "...na figura ao lado temos...", o que para os ouvintes não teria muito sentido, já que não estavam acompanhando a leitura com o jornal em mãos. Com Esso, toda uma particularidade de apuração era desenvolvida, para que assim fosse entregue um jornalismo refinado.

Meneguel & Oliveira (s.d.) relatam que corroborando com os fatos apresentados, existiu ainda o incentivo para que a população no final da década de 30 produzisse seu próprio receptor, já que para a tecnologia do AM, poucos eram os dispositivos necessários para a sua construção. Relatam ainda que os primeiros dispositivos receptores eram fixos, ou seja, não era possível caminhar com eles pelas ruas ouvindo a sua emissora preferida. Isso somente foi possível na década de 60 com a invenção dos rádios a pilha. Em sua essência, os rádios reuniam as famílias no aconchego de seus lares e em horários bem definidos já que não havia programação durante todos os horários do dia, para que assim fatos e entretenimentos fossem proferidos. Era comum o emprestar discos de vinil para que as emissoras reproduzissem.

Fatos marcantes muito bem explorados pelo rádio foram, por exemplo, jogos da copa do mundo de 1938, os acontecimentos da segunda guerra Mundial, as questões políticas e sua evolução desde o Presidente Epitácio Pessoa até os dias atuais. Ao longo de sua existência, a rádio AM enfrentou outros concorrentes, sendo eles as emissoras de TV que surgiram em meados da década de 50, o rádio FM que veio para o Brasil na década de 70 e atualmente, a internet.

2.1.1 - AM – Amplitude Modulada

O termo AM vem da simplificação do nome Amplitude Modulada (*Amplitude Modulation*), sendo essa uma nomenclatura dada a um dos tipos de modulação existentes. Modulação é “o processo de variar alguma das características de uma onda senoidal de alta frequência, de acordo com o valor instantâneo do sinal a ser transmitido” (Nascimento, 1992, p. 17). Já para Kathrein Mobilcom Brasil (2005, p. 74), modulação “é o processo de empacotamento da informação, garantindo a máxima qualidade na reconstrução da informação após a transmissão”.

Dentro da modulação há dois agentes principais, sendo eles:

- 1- O sinal modulante ou modulador ou banda base (fs);
- 2- O sinal modulado, ou como é mais conhecido, a portadora (fp).

O sinal modulador em sua essência é o sinal que contém a mensagem que se deseja transmitir. Em se tratando de rádio, o sinal modulante pode ser identificado como a voz do interlocutor, a música, ou seja, é todo sinal que é captado através de um transdutor (microfone) ou disco durante os momentos em que se tem um programa qualquer para ser transmitido. Já o sinal modulado ou a portadora refere-se à alta frequência gerada no transmissor e que identifica à emissora propagada pelo ar através da antena, tendo como característica fundamental, ser uma frequência muito maior do que a frequência do sinal modulador (Lathi B. P., 1998).

Tal exigência da frequência ser maior se deve ao importante fato de que em se tratando de sinais eletromagnéticos, o comprimento de onda determina fisicamente o tamanho necessário da antena para realizar a transmissão. O comprimento de onda pode ser calculado através da fórmula

$$\gamma = \frac{c}{f} \quad 1.1$$

Onde:

γ = comprimento de onda

c = velocidade da luz

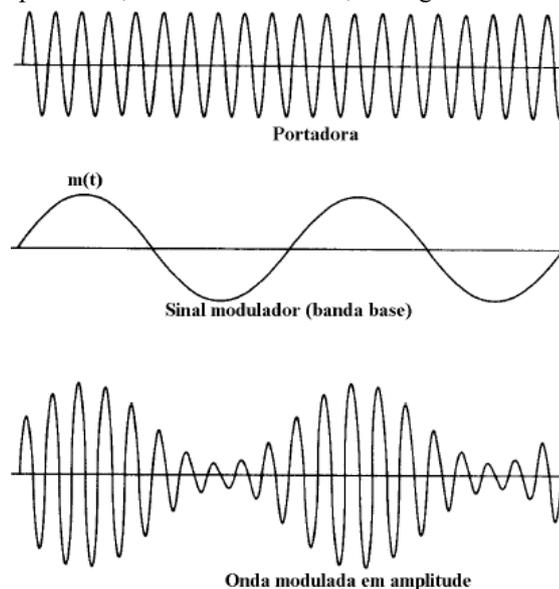
f = frequência do sinal

Usando a aproximação da velocidade da luz para 3×10^8 m/s, estimando que a frequência do transmissor seja de 3kHz, calculando diretamente pela Equação 1.1, tem-se $\gamma = 100000$ m, o que tornaria a antena muito grande para que pudesse ser realizado na prática. As frequências para voz humana situam-se entre 50Hz e 15kHz, ou seja, inviáveis de serem construídas antenas para transmitir sinais nestas frequências.

Atualmente, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) em seu ato 6557 de 29 de outubro de 2020 prevê a utilização para o AM em ondas médias, frequências da ordem de 535 a 1605 kHz. Realizando o cálculo para essas frequências, temos que o comprimento de onda passa a ser de $\gamma = 571,43$ m e $\gamma = 175,95$ m, o que torna o sistema palpável em termos físicos.

Ao se estudar os efeitos que os sinais eletromagnéticos possuem, quando se refere ao comprimento de onda, Laport (2005) afirma que o comprimento efetivo da antena necessita ser de somente $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda total, haja vista que ocorre um efeito de espelhamento e ressonância fazendo com que a antena possua quase que total eficiência de transmissão ou recepção que teria se estivesse operando no comprimento de onda para determinada frequência. A perda do ganho efetivo não justifica o custo e dificuldade para que ocorra a idealização de uma antena no comprimento de onda efetivo, salvo aqueles em que o projeto seja praticável.

Figura 1 – Sinal da portadora, Sinal do modulador, onda gerada Modulada em Amplitude.



fonte: Adaptado de B.P. Lathi, 3ª edição

A modulação em amplitude, que é a utilizada em rádios AM, é um tipo de modulação, onde a onda portadora tem a sua amplitude modulada de acordo com o sinal da mensagem. Em

termos elétricos, a modulação em amplitude é uma variação na “tensão de saída de uma fonte de radiofrequência de acordo com a tensão instantânea do sinal modulador” (Nascimento, 1992, p. 18). Kathrein Mobilcom Brasil (2005, p. 74) complementa que a “Modulação em amplitude é um sistema de modulação em que a envoltória da onda portadora tem a forma do sinal a ser transmitido.” Na Figura 1 se observa o sinal da onda portadora, da banda base e da onda modulada gerada.

Nos sinais das rádios AM, existem maiores chances de ocorrer interferências ao longo do caminho percorrido pelo sinal propagado, já que qualquer alteração nesse valor de amplitude da portadora representa um ruído. Como exemplo, pode-se citar o ruído observado no som, típico pipoco, oriundo de descargas atmosféricas, ou do acender de luzes fluorescentes.

Devido à faixa de frequência em que o AM está situado, as ondas propagadas são consideradas de superfície, viajando junto ao solo e por muitos quilômetros, a depender da potência do transmissor. Estas características foram favoráveis no início da rádio AM, uma vez que a densidade populacional das cidades era pequena. Com a densificação populacional, aumentaram-se os problemas de recepção dentro das cidades devido às tecnologias emitindo ondas espúrias na mesma frequência do AM.

2.2 - Rádio FM no Brasil

O rádio FM surgiu no mundo segundo Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão (ABERT) (2012) em meados da década de 30 quando na busca por melhoria no ruído existente no AM, Edwin Armstrong desenvolveu a Frequência Modulada. A primeira emissora no Brasil a utilizar as frequências do FM para realizar o link entre estúdio e o transmissor da rádio segundo Guerreiro (2015), foi a Rádio Imprensa no ano de 1955. Já em 1968 e 69, surgiram as primeiras rádios a transmitirem sua programação em FM. À explosão das rádios FM no Brasil viria a ocorrer durante a década de 70.

A melhoria proporcionada pelo FM é audível até nos dias atuais. Como a característica alterada no FM é a frequência, os sinais interferentes presentes na atmosfera diminuem drasticamente, o que possibilita que a informação a ser transmitida chegue ao ouvinte com maior clareza e qualidade.

Guerreiro (2015) afirma que as rádios FM em seu início realizavam a transmissão somente de músicas, mas que conforme o tempo foi passando, toda aquela estrutura de notícias adquiridos pela experiência do AM, foi mudando e transformando a forma do entretenimento com que o

FM era produzido, deixando de ser somente para músicas e passando a ter notícias, transmissões de partida de futebol, entre outras atrações. Durante a década de 80 as rádios FM se tornaram mais ouvidas fazendo com isso, a popularidade das rádios AM diminuir bastante. Atualmente o rádio FM é um importante meio de comunicação utilizado para o entretenimento social, além do uso comercial por parte dos radialistas. É um expressivo meio de comunicação muito bem difundido pelo Brasil todo, contando com milhares de conteúdos transmitidos e produzidos de maneira local e nacional, e outros milhões de dispositivos receptores. É no Brasil regulamentado pelo Ministério das Comunicações e pela ANATEL. Com relação ao AM, o FM significou a mudança de toda uma cadeia de tecnologia, já que para a realização prática da implementação da tecnologia, todos os equipamentos passaram por mudanças de elaboração. Pensando do lado das emissoras, aquelas que possuíam rádio AM e quisessem também possuir uma rádio FM, ou até como esta acontecendo atualmente com a migração do AM para o FM, deveriam realizar a construção de uma emissora do zero, ao menos da parte final das estações, considerando parte final, o conjunto de equipamentos instalados junto aos transmissores.

2.2.1 - FM - Frequência Modulada

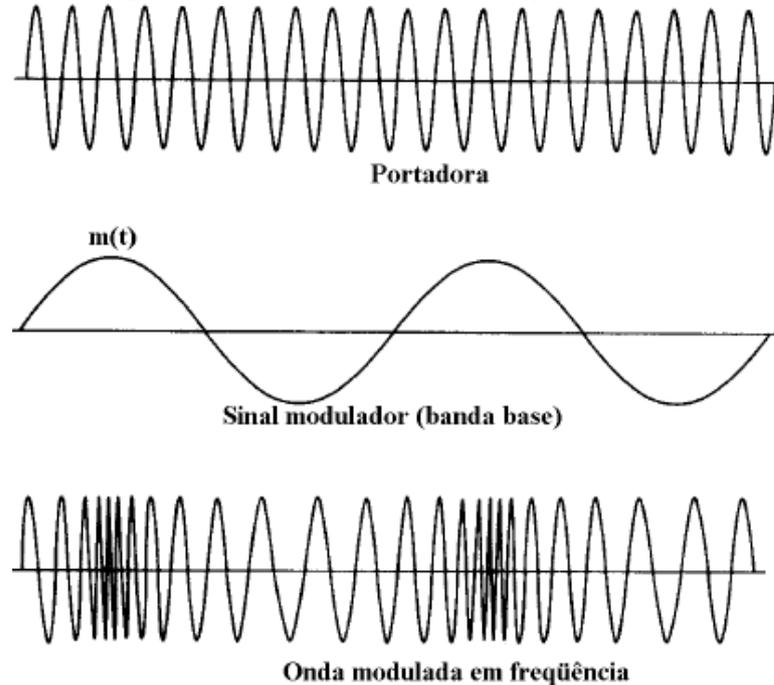
Para este tipo de modulação existem ainda os mesmos componentes oriundos da amplitude modulada, no entanto, o processo agora está ligado à modificação na frequência da portadora do sinal, conforme a amplitude do sinal modulador. A Figura 2 ilustra o processo.

Como pode ser observado na Figura 2 em comparação com a Figura 1, o sinal gerado pelo processo de modulação em frequência é totalmente diferente. A frequência Modulada é “o processo de modulação no qual a frequência da portadora varia proporcionalmente à amplitude do sinal modulante. A frequência instantânea independe da frequência do sinal modulante” (Kathrein Mobilcom Brasil , 2005, p. 74). A modulação em frequência é um tipo de modulação em ângulo que altera a frequência do sinal da portadora (Lathi & Ding, 2012)

Lathi & Ding (2012), definem frequência instantânea como a variação do ângulo da portadora de acordo com o sinal banda base, sendo esta variação contínua a cada instante. A Figura 3 mostra a essência do princípio da modulação em ângulo. Nesta figura $\theta(t)$ representa a variação angular de um sinal senoidal qualquer, e a reta $\omega_c(t) + \theta_0$ é uma reta com certa inclinação angular que representa o sinal de uma senóide convencional qualquer. No intervalo Δt , observa-se que a reta torna-se a tangente do sinal $\theta(t)$. Haverá assim um instante de tempo

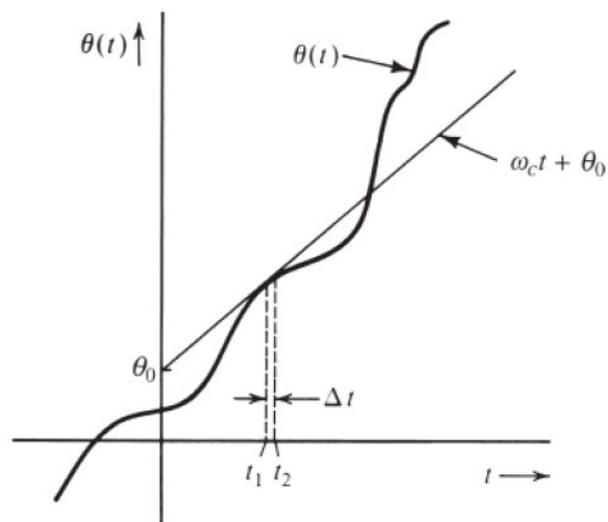
't' (entre t_1 e t_2) onde se pode afirmar que os sinais que contêm esse ângulo são iguais. E pode ser afirmado ainda que ω_c corresponderá à frequência da portadora, e o ângulo formado entre a curva de $\theta(t)$ e a reta é o que produz o sinal em onda modulada visto na Figura 2.

Figura 2 – Sinal da portadora, Sinal do modulador, onda gerada modulada em frequência.



Fonte: Adaptado de B.P. Lathi, 3º edição

Figura 3 - Definindo frequência instantânea



Fonte: B.P. Lathi, 3º edição, p. 218

Inicialmente o FM era visto como um sistema de comunicação inviável. Segundo Stone (2009) este fato se devia a largura de banda que na época foi provada ser infinita. No entanto,

o engenheiro Edwin Armstrong conseguiu provar na prática que era possível limitar a largura de banda. Baseado em seus estudos, a FCC (*Federal Communication Commission*) regulamentou e definiu alguns valores para que pudesse assim haver a convivência entre as inúmeras emissoras. (Stone, 2009)

Como as normas brasileiras são adaptadas dos diversos órgãos reguladores das telecomunicações internacionais, o que colabora assim para que haja uma padronização para que os diversos serviços convivam em equilíbrio, as normas e orientações brasileiras sofrem forte influência da legislação norte americana, seguindo a tendência de manter também grande parte das definições adotadas por eles.

Para o FM, não é diferente. Em sua essência a modulação deve levar em consideração o índice de modulação calculado pela Equação 2.1, que Seymour (2012) define como sendo a taxa entre o desvio de frequência e a frequência do sinal modulador. O índice de modulação ajuda a entender como é calculada a largura de banda de um sinal FM.

$$mf = \frac{\Delta f}{f_s} \quad 2.1$$

Onde: mf – Índice de modulação

Δf - Desvio de Frequência

f_s – frequência do sinal modulador

O desvio de frequência informa o quanto à frequência da portadora pode ser deslocado, dado o sinal modulador. Seymour (2012) afirma que o desvio de frequência é dado pela diferença entre a frequência da portadora não modulada, Equação 2.2, com a frequência da portadora modulada em FM. Stone (2009) afirma que o desvio de frequência é constante e independe da frequência do sinal modulador, dependendo apenas da sua amplitude. A FCC determina que o desvio de frequência máximo de uma rádio FM seja de 75kHz.

$$\Delta f = f_{pc} - f_c \quad 2.2$$

Onde: Δf – Desvio de frequência

f_{pc} – frequência pico da portadora modulada

f_c – frequência central da portadora

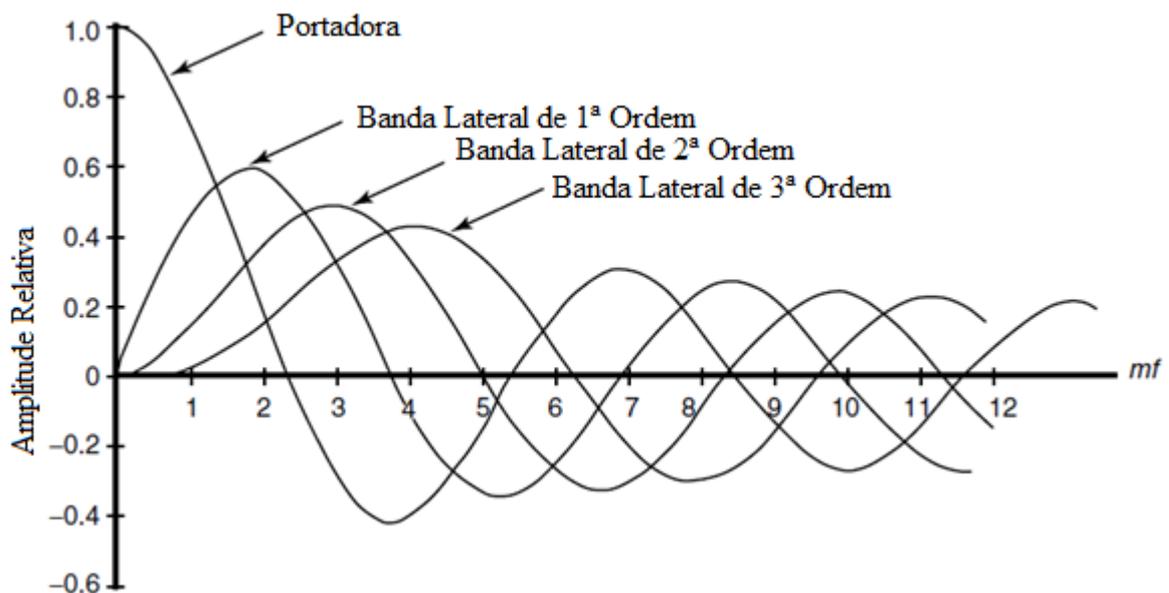
A largura de banda de um canal em FM, segundo a FCC é de 200kHz. Dessa forma, há espaço suficiente para que o desvio de frequência da portadora seja comportado. Com um desvio de frequência de 75kHz, a largura de banda total é de 150kHz, porção essa corresponde a somente o áudio modulado. (Stone, 2009)

O ato 4174, de 10 de junho de 2021, disponibilizado no site da ANATEL impõem que a frequência do sinal modulador deve estar dentro de um range de 50 a 15000Hz. Afirma ainda

que a modulação não deve conter valores percentuais maiores que 100%, garantindo assim que o desvio máximo de frequência fique em 75kHz. Ou seja, na norma brasileira, 100% de modulação corresponde a 75kHz de desvio de frequência. Uma modulação maior que 100% impacta na geração de ondas espúrias em frequências que podem interferir nos canais vizinhos, embora o tamanho do canal de FM seja maior que 150kHz.

Segundo Seymour (2012) o índice de modulação afeta diretamente a largura de banda de um sinal. Seu parâmetro recebe atenção especial de todos os órgãos reguladores para este meio de comunicação. Para entender o motivo disso, são utilizadas as soluções da equação de Bessel. Os resultados mais conhecidos e vastamente utilizados são apresentados na Figura 4 e Tabela 1.

Figura 4 - Relação entre a amplitude da portadora e o índice de modulação.



Fonte: Adaptado de Seymour (2012)

Como pode ser observado na Figura 4 e Tabela 1, conforme o índice de modulação é elevado, bandas laterais nas múltiplas frequências do sinal modulante vão surgindo. As bandas laterais em teoria possuem valores infinitos. Os resultados apresentados pela função de Bessel reforçam o quanto de potência é dissipado em bandas laterais, conforme o índice de modulação é aumentado (Stone, 2009).

Uma forma de melhor avaliar o impacto do índice de modulação, pode ser analisando o espectro de frequências para um sinal de uma portadora modulada por um sinal banda base de tom único com 200Hz de frequência, sendo ajustado de forma a obter o índice de modulação de 2.405. A Figura 5 mostra o efeito encontrado.

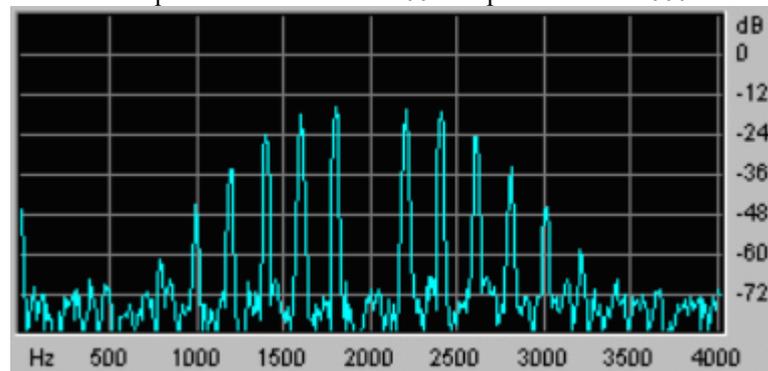
Tabela 1 - Índice de modulação e sua influência nas bandas laterais.

Índice modulação mf	Amplitude Portadora fc	Amplitude das Bandas Laterais											
		$f1$	$f2$	$f3$	$f4$	$f5$	$f6$	$f7$	$f8$	$f9$	$f10$	$f11$	$f12$
0.00	1.00	—	—										
0.25	0.98	0.12	0.01										
0.50	0.94	0.24	0.03	—									
1.00	0.77	0.44	0.11	0.02	—								
1.50	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	—							
2.00	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	0.01							
2.50	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	—						
3.00	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	—					
4.00	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	—	—			
5.00	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	0.01	—		
6.00	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	0.01	—	
7.00	0.30	0.00	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	0.01	—
8.00	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	0.01

Fonte: Adaptado de Seymour (2012)

A Figura 5 mostra o quanto a portadora de um sinal possui sua potência espectral diminuída, neste exemplo praticamente suprimido, sendo maior parte da potência dissipada nas bandas laterais. Esse efeito de espalhamento espectral é mais observado em frequência banda base menor.

Figura 5 - Efeito produzido no FM para modulação de uma portadora, dado um índice de modulação de 2.405 e uma frequência modulante de 200Hz e portadora em 2000Hz



Fonte: Adaptado de <https://www.qsl.net/py4zbz/teoria/fmpm.htm>

O índice de modulação é inversamente proporcional à frequência do sinal modulador, conforme revela a Equação 2.1. A Figura 5 tem utilização para efeitos de estudo, por mostrar o comportamento teórico dos efeitos do índice de modulação e as bandas laterais. Em sinais práticos, as frequências do sinal banda base oscilam muito rapidamente, sendo o espectro para este caso, algo muito complexo de ser analisado precisamente. (Lathi & Ding, 2012)

É importante salientar, que embora o número de bandas laterais seja infinito conforme o índice de modulação, a maior parte da energia é concentrada em uma largura de banda finita e por esta razão convém limitar a largura de banda de um sinal para a sua transmissão utilizando a modulação. (Lathi & Ding, 2012)

Em circuitos práticos de transmissores FM, o modulador de frequências deve manter a relação frequência versus tensão o mais linear possível. Dessa forma, Nascimento (1992) afirma que essa característica é conhecida como constante de fase e que essa relação é dada por:

$$K_f = \frac{\Delta f}{\Delta e_m} \quad 2.3$$

Onde: K_f = é a constante de fase

Δf = Desvio de frequência

Δe_m = Variação de tensão

Desta Equação 2.3, pode-se chegar a uma maneira usual utilizada para se determinar o desvio de frequência segundo a tensão do sinal modulador fazendo,

$$\Delta f = K_f * e_m(t) \quad 2.4$$

Onde: $e_m(t)$ = é a tensão do sinal banda base no instante t.

Desta relação dada pela Equação 2.4, fica claro que o índice de modulação é alterado tanto pela tensão de amplitude quanto pela frequência do sinal modulador. Assim para se determinar a largura de faixa de um sinal FM, Nascimento (1992) afirma que se for limitada as bandas laterais para aquelas em que sua amplitude não tenha menos que 10% da amplitude da portadora, pode-se encontrar o número total de bandas laterais fazendo,

$$n = mf + 1 \quad 2.5$$

Onde: n = número de pares de bandas laterais

A largura de banda é dada por,

$$Bw = 2 * n * fs \quad 2.6$$

Onde, Bw = largura de banda do sinal FM

Trabalhando as Equações 2.4, 2.5 e 2.6 têm se que:

$$Bw = 2 * (\Delta f + fs) \quad 2.7$$

Logo a largura de banda para um sinal FM é dado pela Equação 2.7.

Portanto, a partir do que foi demonstrado, fica claro a necessidade de imposição de um limite de índice de modulação para que seja evitada a interferência em canais adjacentes e aos sistemas de comunicação existentes. Em geral, esse limite nos circuitos eletrônicos está associado ao uso de limitadores de tensão e filtros de forma a atender a norma prevista no ato 4174, encontrado no site da ANATEL.

Os efeitos destas limitações se manifestarão segundo Stone (2009) na forma de produtos de intermodulação. Estes não são desejados, o que se faz necessário à utilização de filtros de forma a suprimir estes produtos, de maneira a não permitir interferências nos canais adjacentes bem como em outros serviços de telecomunicações.

2.3 – Migração do AM para o FM

Segundo ABERT (s.d.) o processo de migração no Brasil iniciou suas discussões em meados do ano de 2010, com a publicação de um estudo realizado pela ANATEL sobre a viabilidade da migração do AM para o FM, fazendo também a utilização dos canais 5 e 6 de televisão ou como é mais conhecido, a banda estendida, haja vista que a digitalização do sinal de Televisão (TV) brasileiro estava em andamento e que esses dois canais seriam desocupados. Depois de mais discussões e consultas públicas dentro do setor de radio difusão, Dilma Rousseff então presidente do Brasil assinou um decreto em 7 de novembro de 2013 para a migração das rádios de carácter local do AM para o FM.

Para Queiroz (2017) o sinal FM não tem o mesmo alcance que o AM, porém a qualidade audível é muito melhor e continua sendo mais bem aceita pelos ouvintes. Segundo a Agência Câmara Notícias (2016), existiam 1781 emissoras transmitindo em AM e a migração ajudaria essas rádios a terem uma sobrevida, haja vista que, por exemplo, os dispositivos celulares difundidos no mercado atualmente, não comportam internamente uma antena para a recepção dos sinais em AM, somente em FM.

Outra inevitável observação é que os sinais em AM estão susceptíveis a maiores interferências. A utilização dos canais 5 e 6 por parte das novas emissoras de FM, tem como objetivo disponibilizar espaço para todas as emissoras. Outras medidas adotadas para que a migração fosse possível foi uma flexibilização da legislação. (ANATEL, 2019)

Segundo Queiroz (2017), a utilização da banda estendida por rádios em FM tem uma grande desvantagem pelo fato de grande parte dos receptores difundidos atualmente pelo Brasil, não possuírem recepção para esta faixa de frequência, dado que a FCC tenha definido a banda de FM sendo de 88 a 108 MHz, e a faixa dos canais 5 e 6 estarem fora dessa frequência. Mesmo assim, ainda é muito mais vantajoso realizar a migração, pois é uma questão de tempo até que os dispositivos já tenham essas modificações em sua base.

A Agência Câmara Notícias (2016) afirma existirem custos para que a migração possa ocorrer, já que a legislação sobre a outorga muda. Os custos e sua forma de cálculo estão definidos na portaria nº 6467 de 24 de novembro de 2015. A portaria 6467 informa que é levado em consideração potência da rádio, população e a classificação do município. ABERT (s.d.) afirma que os valores recolhidos pelo estado são da ordem de R\$30000,00 a R\$4500000,00.

Nota-se assim, que a mudança tem um custo relativamente alto, a depender dos critérios e avaliações disponibilizados pela portaria nº 6467, e para pequenas rádios que com o AM já

não viam faturamento expressivo, poderia significar o fim das suas transmissões. No entanto, ao observar o cenário como um todo, atualmente, ainda está faltando poucas rádios para realizarem a modificação no formato de suas transmissões, pois o final do processo para digitalização e liberação dos canais 5 e 6 da TV estão previstos para 2023.

2.3.1 – Vantagens da Migração

O processo de migração das rádios AM para FM possui como vantagens:

- Melhoria da qualidade do sinal – Como já bem explorado ao longo dos tópicos 2.1 e 2.2, a transmissão em frequência modulada é muito mais imune aos ruídos inerentes da atmosfera, bem como dos ruídos causados pelos diversos equipamentos encontrados nas grandes cidades atualmente.
- Melhora na qualidade do áudio – Devido à modulação em frequência conter maior largura de banda, é possível que o canal de FM suporte áudio muito mais próximo àquele compreendido pelo ouvido humano. Assim a qualidade de áudio é superior no FM.
- Aumento do número de estações – Devido a grande quantidade de emissoras, todas elas sendo alocadas e produzindo conteúdos, dará mais opção de entretenimento para os expectadores.

2.3.2 – Desvantagens da Migração

Embora tenha vantagens, o processo de migração também possui desvantagens:

- O alcance menor para rádio FM – Devido às características das ondas eletromagnéticas do FM estarem em uma frequência relativamente alta, a propagação destes sinais não são como no AM, e passam a ser de visada direta, ou seja, para que possa receber um sinal em FM é necessário instalar a antena receptora de forma que ela “possa ver” a antena transmissora. Por esse fator, o FM não consegue se propagar a grandes distâncias como no AM.
- Outra desvantagem está na inutilização de milhões de equipamentos receptores espalhados ao longo de todo o país, já que com a mudança da frequência dos sinais emitidos, bem como na modulação, existe a necessidade da substituição dos receptores.

2.4 – Considerações Finais

Atualmente, o setor *Broadcast* busca se firmar e consolidar em meio a disputas entre as mídias de telecomunicações existentes. Devido à exclusão dos serviços oferecidos pela frequência das rádios AM no Brasil e a oportunidade de estes serviços serem migradas para o FM, novas emissoras serão montadas do zero. Para aqueles que possuíam uma outorga no FM e no AM, passaram a possuir duas outorgas em FM, se assim o desejarem.

Como forma de reduzir custos e aperfeiçoar as novas estações, já buscando adequação as normas vigentes os sistemas combinados podem ser adotados.

3 - Sistemas Combinadores

3.1 – Introdução

Os sistemas combinadores ou *combiners* são responsáveis por realizar a “mistura” de vários sinais *broadcast*, para que possam ser transmitidos por uma única antena.

Segundo Surette & Labs (1999) o *combiner* aperfeiçoa os sistemas finais *broadcast* trazendo significativa melhoria, além de benefícios financeiros. Devido à proposta dos sistemas combinadores, a necessidade de se realizar a instalação física dos componentes sofre grande redução dos custos envolvidos já que a instalação dos equipamentos passa a ser compartilhada na saída do *combiner*. Sendo assim, existe a necessidade de que seja realizada a instalação de somente uma torre abrigando o sistema final de *broadcast*, sendo este composto por, em muitos casos, dois cabos e duas antenas, sendo uma principal e outra reserva. Outro benefício existente ocorre na significativa redução dos produtos de intermodulação devido à isolação requerida na instalação do *combiner*.

3.2 - Isolação

Como é conhecido pelo setor *broadcast*, o problema da intermodulação é grave e gera interferências entre as estações. Por ser assim, não basta simplesmente juntar dois sinais em uma “caixa” para combiná-los e transmitir em uma antena *broadcast*, pois os sinais acabariam por retornar aos amplificadores de potência final dos transmissores, recombinar de maneira aleatória, gerando espúrios indesejados.

Além disso, tais sinais poderiam ser ainda amplificados e enviados pela antena ao ar livre, em frequências que não aquelas permitidas pela concessão de rádio, podendo causar interferências até mesmo em outros sistemas de comunicação, como por exemplo, o sistema de comunicação de aeronaves, ou os sistemas de transmissão de TV. Este tipo de interferência é até previsto em norma e pode inclusive gerar sanções e penalidades como multa. (Surette & Labs, 1999)

Com a finalidade de combater os sinais indesejados e proteger os radio difusores, a FCC em sua norma reguladora 73317, normatiza os níveis de isolação requeridos para garantir a segurança dos sistemas de transmissão, incluindo os sistemas que fazem uso do *combiner*. A norma prevê que para sinais com frequência superiores a 600kHz, os sinais fora da portadora,

devem ser atenuados em $43 + 10\log_{10}(\text{potencia Watts})\text{dB}$, ou 80dB, consoante a que for a menor atenuação. (Surette & Labs, 1999)

3.3 - História dos Sistemas Combinadores

O desenvolvimento de sistemas combinadores vem de longa data, a exemplo, tem-se o sistema instalado no *Empire State Building* em meados da década de 50. Este sistema usava pares híbridos de quadratura com atraso de fase na cavidade, o qual ficou conhecido e será visto mais a frente como sistema de filtro passa-banda balanceado. Outro sistema como esse foi instalado em 1960 no *John Hancock Building* em Chicago, onde eram combinadas 10 estações sobre a mesma antena *Broadband*. (Surette & Labs, 1999)

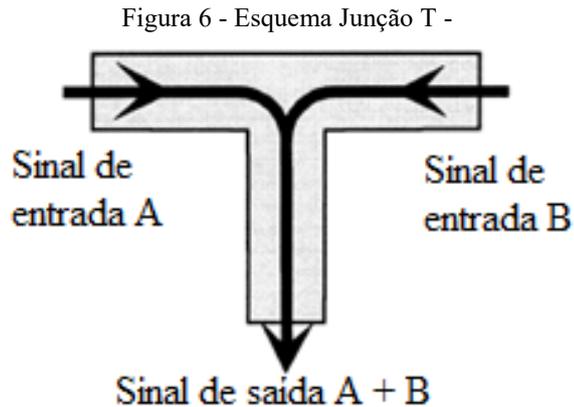
A instalação dos sistemas combinadores, deve-se em grande parte, à concentração das pessoas nos grandes centros urbanos graças à migração das pessoas do campo para as cidades. A falta de espaço e carência de otimização fizeram com que houvesse a necessidade dos sistemas de transmissão ser agrupados, unindo a maior quantidade de emissores em um espaço reduzido e com a melhor localização para prover a melhor capacidade de cobertura em determinada localidade (Surette & Labs, 1999).

3.4 – Conceitos Importantes

A fim de deixar mais claro o entendimento acerca do funcionamento dos combinadores, outros conceitos serão desmistificados e lembrados a seguir.

3.4.1 – Junção T

A Junção “T” ou *Star-point junction* é uma maneira simples de unir vários sinais na entrada para obter uma única saída. O esquema apresentado na Figura 6 mostra seu princípio de funcionamento. Neste esquema tem-se a construção básica da junção T, que poderia ser feita através do uso de cabos coaxiais (Surette & Labs, 1999). Na prática, a construção deste tipo de disposição requer precisão mecânica, para que o arranjo possa funcionar de maneira eficiente.



Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

3.4.2 – Carga Resistiva

Carga resistiva também conhecida como carga fantasma é usada na radiodifusão com a finalidade de dissipação de energia na forma de calor. São utilizadas normalmente em terminações para manter o casamento de impedância estável ou na realização de testes. Sua construção é realizada conforme exigência dos projetos e para a maioria dos projetos *broadcast*, possui impedância característica de 50Ω ou 75Ω , e potências variadas. Quanto melhor a dissipação de calor, maior quantidade de potência pode ser suportada pela resistência, observado os parâmetros do *datasheet* (Surette & Labs, 1999).

3.4.3 – Filtros

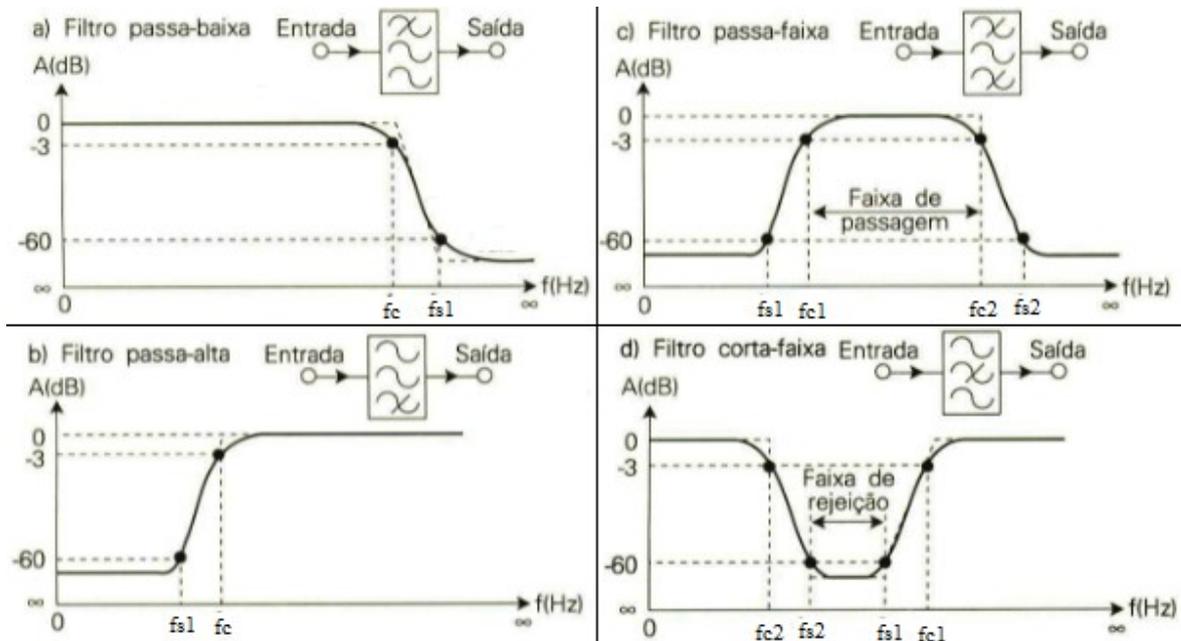
Dispositivos com a finalidade de restringir ou permitir determinadas características desejadas são conhecidos como filtros. Para Nascimento (1992) os filtros são projetados para fornecer sinais com pequena ou nenhuma variação da sua amplitude na saída, quando algum sinal é aplicado na entrada.

A curva de resposta dos filtros é uma forma simples de verificar qual o efeito do filtro, ou ainda como um filtro pode ser classificado. Existem quatro modos principais que são amplamente adotados nas mais diversas aplicações conforme visto na Figura 7 sendo:

- Filtro Passa-Baixa: Filtro que permite a passagem abaixo de uma frequência conhecida como frequência de corte (f_c) (refere-se à frequência onde a potência do sinal está diferente 3db ou metade da potência do sinal desejado);
- Filtro Passa-Alta: Filtro que permite a passagem das frequências acima de f_c ;

- Filtro Passa-faixa: Filtro que permite a passagem das frequências dentro de uma faixa de frequências selecionadas;
- Filtro Corta-faixa: Filtro que tem a característica de rejeitar uma faixa de frequências desejadas, permitindo a passagem das demais.

Figura 7 – Curva de Resposta para os efeitos observados nos filtros.



Fonte: Adaptado de Nascimento (1992)

Os filtros adotados em radiodifusão são construídos a partir do uso de componentes passivos como os resistores, indutores e capacitores ou ainda em determinadas ocasiões a partir de linhas de transmissão (Nascimento, 1992). Para KATHREIN (2001) uma importante característica dos filtros está atrelada a qualidade de seletividade do mesmo. Assim os elementos ressonadores adotados necessitam possuir um fator Q alto. O fator Q mede a qualidade dos elementos ressonadores em termos da quantidade de energia que estes conseguem armazenar, ou seja, revelam o quão bom é o dispositivo utilizado (Nascimento, 1992).

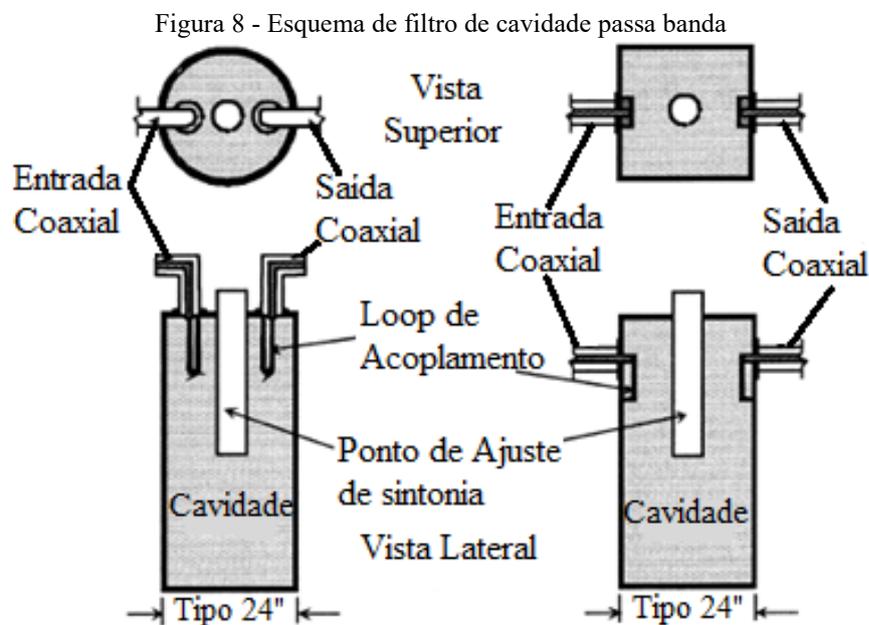
Para filtros em Radiodifusão existe a necessidade de suportarem alta potência mantendo suas características imutáveis. Para que isso possa ocorrer, durante a elaboração dos dispositivos filtrantes, a seleção de materiais com alta qualidade bem como o correto dimensionamento dos filtros fazem enorme diferença na qualidade final de um filtro (KATHREIN, 2001).

KATHREIN (2001) afirma ainda que a seletividade do filtro usado em combinadores tem impacto decisivo na relação entre a distância de separação entre duas emissoras para serem transmitidas sobre o mesmo sistema final (cabo e antena). A dificuldade está no fato de haver

aumento da perda de inserção caso o espaçamento entre as frequências das emissoras seja muito estreita, exigindo assim, um ajuste fino restrito no filtro.

3.4.3.1 – Filtros de Cavidade de Banda Única

Filtro de cavidade de banda única, conforme visto na Figura 8, é um tipo de filtro para o qual o acoplamento da entrada para a saída é realizado através da cavidade, por um processo de acoplamento por indução. Este filtro possui ajuste de sintonia para que seja selecionada a frequência desejada, sendo as demais frequências atenuadas (Surette & Labs, 1999).



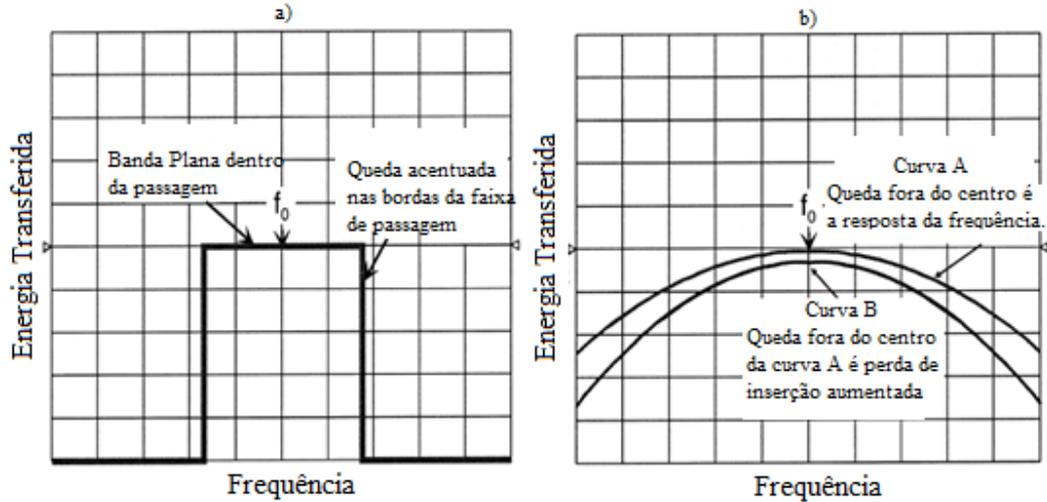
Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

3.4.3.2 – Resposta em Frequência

Resposta em frequência é um importante parâmetro observado para os filtros, corresponde à frequência de casamento em que o filtro irá operar. Para um filtro ideal, teríamos curvas ideais conforme mostrada na Figura 9a, em que só se permite a largura de banda ideal do canal passar e todas as demais frequências serem atenuadas a níveis baixíssimos. No entanto para filtros reais, conforme mostrado na Figura 9b, essa prática se torna impossível, e o que é feito é obter curvas em que os níveis praticados sejam aceitos. A Figura 9 compara a curva de um filtro ideal com a curva que pode ser obtida de um filtro de cavidade passa-banda única (Surette & Labs, 1999).

Na Figura 9, tem-se que para a frequência de casamento do filtro, a maior quantidade de energia é passada adiante, enquanto que fora, as frequências sofrem atenuação. Na prática, essa atenuação obedece a interesses normativos, para que não cause interferências nas demais estações e haja um comum uso do espectro de frequências.

Figura 9 – a) Resposta de frequência para filtro ideal. b) filtro real para uma cavidade passa-banda única



Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

3.4.3.3 – Perda por Inserção

Perda por inserção refere-se às perdas envolvidas na inserção de filtros. Como o acoplamento não consegue transferir totalmente a energia entre os meios, ocorre que parte da energia inserida no filtro de cavidade passa banda única, é perdida em forma de calor nas paredes metálicas da cavidade. Esta perda de energia está correlacionada à perda de transferência ocasionada na frequência de ressonância do filtro. A Figura 9b mostra os efeitos dessa perda (curva B) comparada com a inserção do filtro passa-banda ideal sem a perda (curva A) (Surette & Labs, 1999).

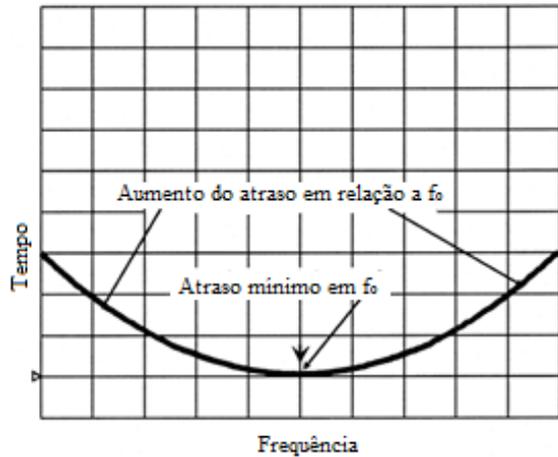
3.4.3.4 – Atraso de Grupo

O atraso de grupo é outro parâmetro que deve ser observado para que ocorra uma operação correta do sistema. Ele ocorre pela passagem do sinal de interesse através de algum dispositivo de filtro. Idealmente, espera-se que ao passar a portadora da frequência de interesse, toda informação passe “ao mesmo tempo” sem que sofra nenhum atraso em alguma parcela, ou seja, espera-se que a curva de atraso de grupo de um filtro seja idealmente plana.

No entanto, para os filtros reais, isso não acontece, conforme pode ser observado na Figura 10 (Surette & Labs, 1999).

O atraso de grupo para as estações de frequência modulada (FM) impacta reduzindo a separação do estéreo que segundo Stone (2009) a separação deve ser de 350ns para a largura de banda de referência da portadora +/-200kHz, garantindo 30dB de separação do estéreo.

Figura 10 – Curva real do atraso de grupo para uma portadora em uma frequência f_0 . Através de um filtro passa-banda.

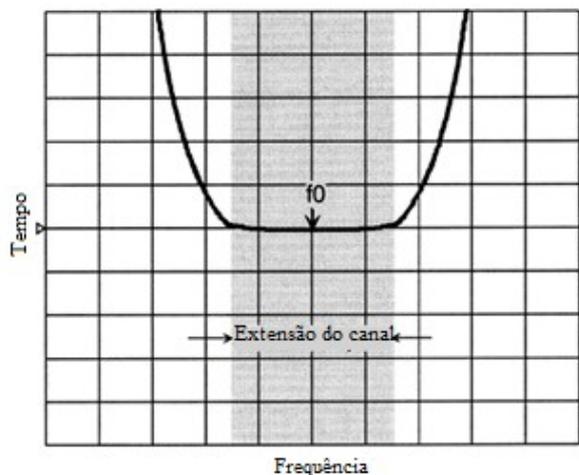


Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

É previsto que haja correção para contornar os problemas gerados pelo atraso de grupo. Esta correção pode ser instalada de maneira externa usualmente antes da entrada do combinador, ou ainda antes do amplificador de potência final, criando uma curva de oposição ao atraso de grupo de forma a eliminar o atraso proporcionado pelo *combiner*.

A Figura 11 mostra os efeitos obtidos com a inserção de um módulo equalizador para combater os efeitos de atraso de grupo do combinador.

Figura 11 - Resultado obtido com a inserção de módulo de equalização para combater o atraso de grupo de um combinador.



Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

Como se espera, com a inserção do módulo de correção do atraso de grupo, na largura de banda do canal de interesse, tem-se um filtro com característica plana para a questão envolvendo o atraso de grupo.

3.4.3.5 – Impedância

Impedância é um parâmetro levado em consideração em todos os estágios de elaboração de qualquer projeto envolvendo radiodifusão. Impedância é a “razão de voltagem/corrente em termos de carga eficaz para quantidades variando sinusoidalmente” (M. G. SAY, p2-4). Uma impedância pode ter caráter resistivo quando a relação de fase entre tensão e corrente sobre determinado circuito não sofre atraso ou adiantamento. Pode ainda ter caráter capacitivo ou indutivo se esta mesma relação sofrer atraso ou adiantamento em 90 graus respectivamente (Boylestad, 2008).

Surette & Labs (1999) afirma que a impedância é obtida através da soma vetorial da parcela resistiva, capacitiva e indutiva. Esta soma retorna um valor complexo, e de forma a facilitar o cálculo, com a finalidade de realizar os estudos dos efeitos observados em campo na área de rádio frequência, “Phillip H. Smith desenvolveu e publicou na ELECTRONICS, em janeiro de 1939, a sua famosa carta, que originalmente se intitulou *Transmission Line Calculator*” (Sartori, 1999, p. 55).

Devido a grande utilização da carta, o nome foi modificado para Carta de Smith (Sartori, 1999).

A carta de Smith é, portanto, uma ferramenta, de projeto que facilita o entendimento da transformação de impedâncias não só em linhas de transmissão como também em circuitos passivos de maneira geral. Atualmente, com os recursos computacionais disponíveis, seu potencial é reconhecido muito mais pela facilidade de visualização dos fenômenos do que do ponto de vista da precisão de cálculos. (Stone, 2009, p. 55)

Todo valor de impedância é representado por duas parcelas, sendo um valor puramente resistivo ou real e um valor imaginário correspondente à reatância indutiva ou capacitiva (Boylestad, 2008). Logo, a carta de Smith permite a representação normalizada deste valor no formato gráfico. O anexo A traz a carta de Smith em sua íntegra.

A Figura 12 contém a interpretação simplificada dos resultados gráficos que podem ser obtidos a partir da observação da região em que se encontram as impedâncias. A linha tracejada demarcada como “A” é a linha de valores puramente resistivos, e representa o cancelamento das partes capacitivas e indutivas do circuito. No centro desta linha encontra-se a resistência típica de trabalho sendo esse valor de 50Ω ou 75Ω . Caminhando ao longo desta

linha no sentido à esquerda, o circuito tende ao curto conforme se aproxima da borda, em contra partida, caminhando-se no sentido oposto, o circuito apresenta características de circuito aberto (resistência tende ao infinito) (Surette & Labs, 1999).

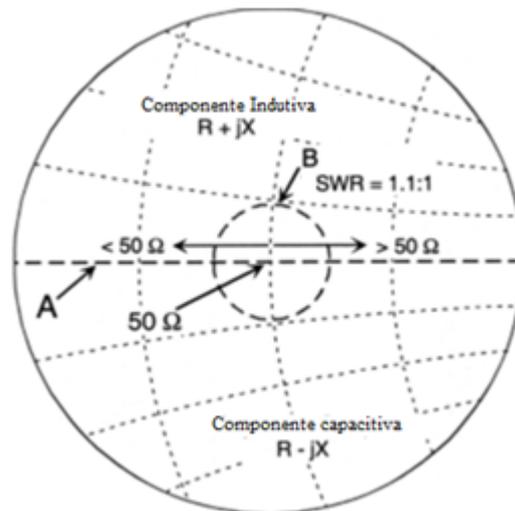
A região acima da linha tracejada na Figura 12 representa uma impedância com característica indutiva, enquanto que abaixo se tem a região com a parcela capacitiva. Qualquer ponto da carta é representado como $R \pm jX$, onde o R corresponde a parte puramente resistiva, e o X corresponde a parcela indutiva ou capacitiva, sendo o “j” utilizado para indicar que é um número complexo (Sartori, 1999).

A curva B na Figura 12 indica a relação de onda estacionária, a SWR (*Standing-Wave Ratio*). A SWR mede a razão entre a máxima tensão, incidente e refletida ao longo da linha de transmissão, para a mínima tensão: (Zennaro & Fonda, 2004).

$$SWR = \frac{E_{max}}{E_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}} \quad 3.1$$

Caminhar sobre a curva B na Figura 12, corresponde a caminhar sobre um círculo com SWR constante (Sartori, 1999).

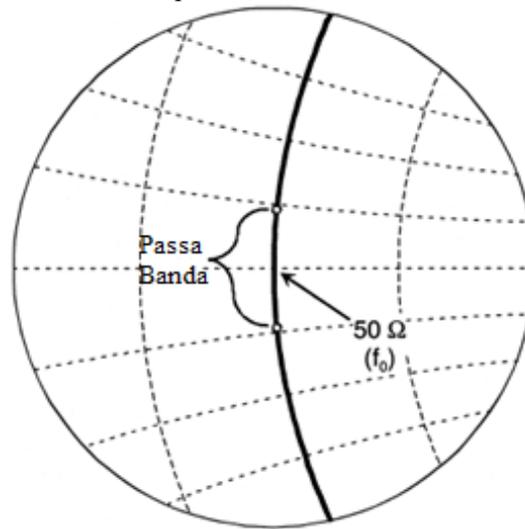
Figura 12 - Carta de Smith - Encontrando suas definições



Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

Surette & Labs (1999) afirma que se a frequência sintonizada em um filtro de cavidade passa banda única for à frequência de ressonância do filtro, idealmente a representação na carta de Smith desta configuração será uma reta vertical. Como se nota na Figura 13, o centro da reta está centrado em uma resistência pura, por exemplo, impedância de 50Ω , e a diferença correspondente à largura de banda do filtro são referentes à parte indutiva e capacitiva da impedância.

Figura 13 - Carta de Smith para um filtro de cavidade única passa banda.



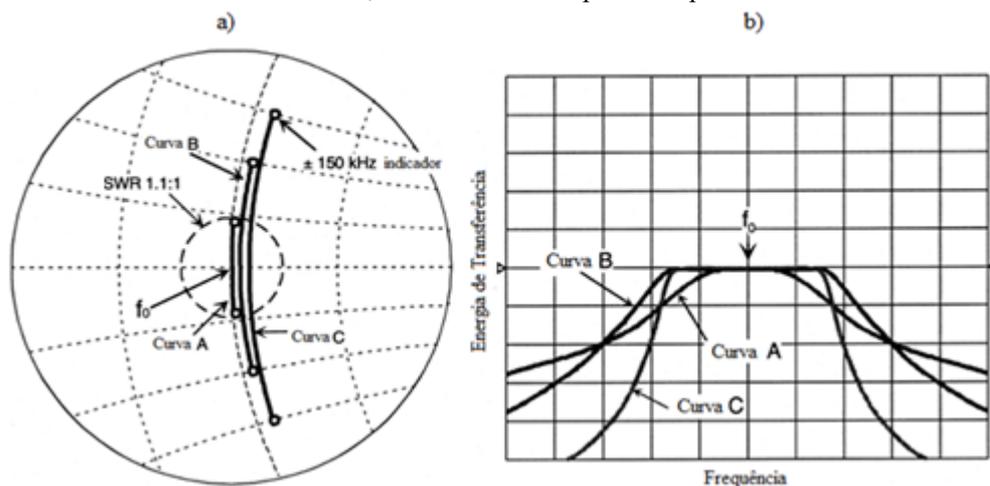
Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

3.4.3.6 – Efeitos do Acoplamento de Filtros

Para que o combinador possa operar corretamente e atender a normatização vigente, é necessário que combinações de filtros de cavidade passa-banda única sejam realizadas. Tal combinação gera efeitos positivos e negativos dentro do sistema. Os efeitos são apresentados na Figura 14.

Figura 14 - a) Curva A, curva B e Curva C mostradas na carta de Smith para a combinação de filtros de cavidade de passa-banda única

b) Curva A, curva B e Curva C no gráfico comparando os efeitos para a combinação de filtros de cavidade passa-banda única com 2,3 e 4 cavidades acopladas respectivamente.



Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

Da Figura 14 'a', pode-se observar que conforme se realiza o acoplamento de mais cavidades, ocorre o deslocamento na impedância do filtro no sentido de aumentar seu valor. Um segundo efeito observado ocorre na eficiência da banda de passagem do filtro, conforme mostra a

Figura 14 'b', onde ao elevar o número de cavidades, a curva de passagem do filtro é aprimorada e tende a se aproximar da curva de um filtro ideal.

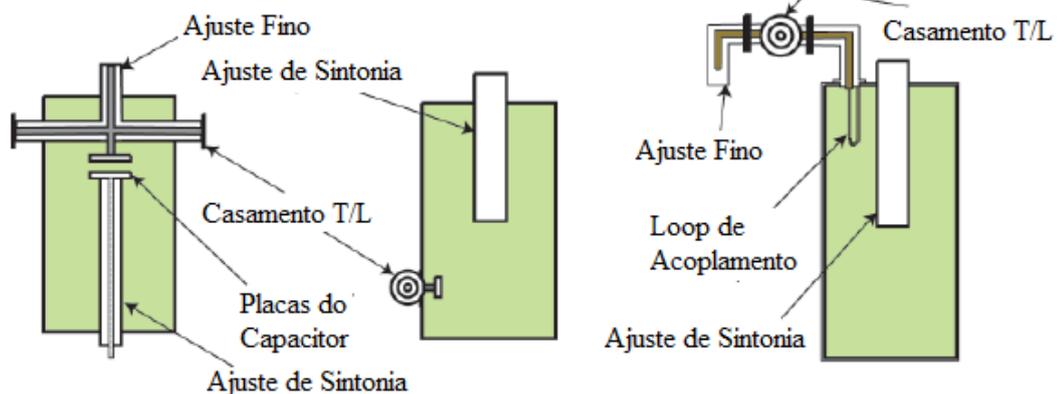
Segundo Willian F. Lieske e o Sr. Founder da corporação EMR (2019), é necessário que cuidados sejam adotados para que possa ser implementado o acoplamento de filtros de cavidade. Embora a curva C na Figura 14 'b' possa estar próxima à curva de um filtro ideal, o filtro apresenta grande atraso de grupo devido à alta perda por inserção fornecida pela disposição deste filtro. Assim, sempre deve ser levada em consideração que o arranjo final seja uma combinação de equilíbrios entre os diversos fatores já citados que compõem os desafios para a elaboração final do combinador.

Conforme já visto, existem maneiras de se contornar o atraso de grupo gerado pela inserção de filtros. Através dessa correção o filtro com quatro cavidades pode ser implementado, sendo que seu uso estaria ligado à necessidade de forte atenuação fora da banda de passagem.

3.4.3.7 – Filtro Rejeita Banda

Da mesma forma que o filtro passa-banda, o filtro rejeita banda pode ser construído de diversas maneiras. A Figura 15 apresenta alguma dessas maneiras.

Figura 15 - Maneiras de construir um filtro rejeita banda.

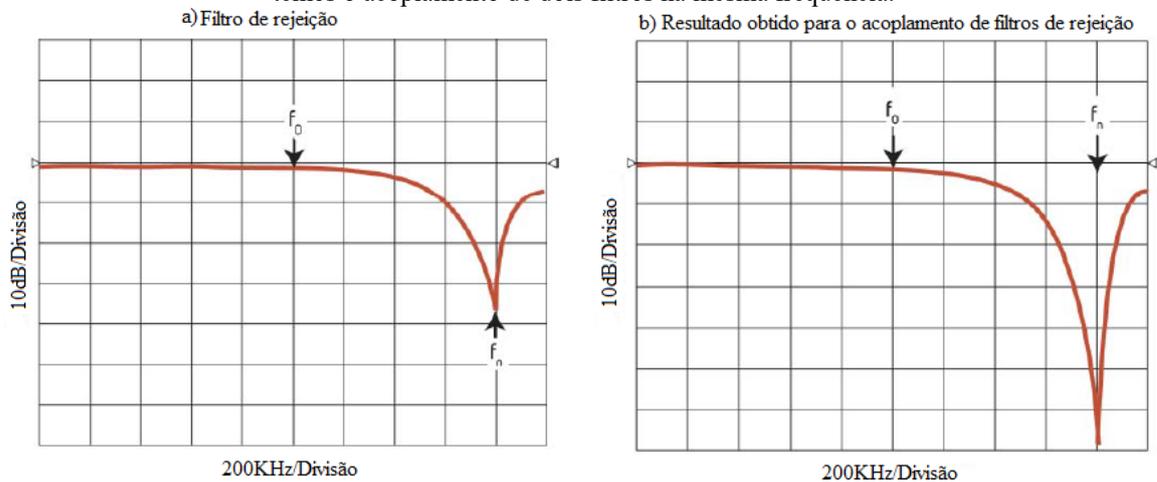


Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 11th Edição

Segundo Surette & Labs (1999) para este tipo de filtro haverá rejeição de determinada banda de frequência desejada, permitindo ao restante das frequências fora da banda de rejeição do filtro, passarem sofrendo uma mínima atenuação. A Figura 16 traz um gráfico mostrando como a rejeição afeta o sinal em frequência. Na Figura 16 'a', temos a curva observada para somente 1 filtro de rejeição. Na Figura 16 'b' temos a curva observada para quando filtros de rejeição são acoplados, sendo uma das possibilidades de resultado obtido, uma forte atenuação em uma frequência específica. A Figura 17 traz a curva de rejeição para quando

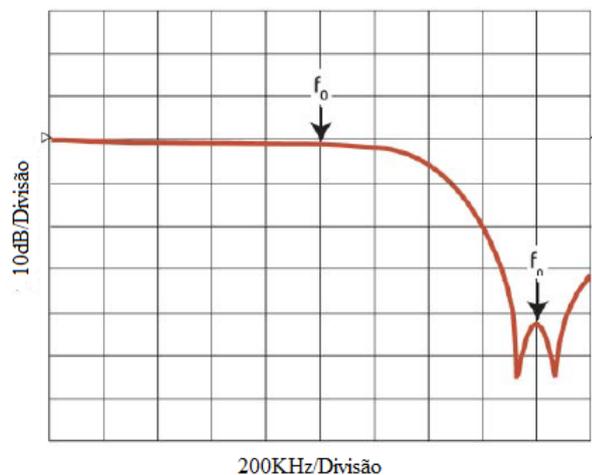
dois filtros são acoplados em frequências distintas, porém próximas, se observa neste caso a rejeição de uma largura de banda considerada.

Figura 16 – Curva obtida para um filtro de cavidade rejeita banda. Em ‘a’ temos um filtro somente. Em ‘b’ temos o acoplamento de dois filtros na mesma frequência.



Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 11th Edição

Figura 17 - Filtro rejeita banda com acoplamento de filtros em frequências próximas



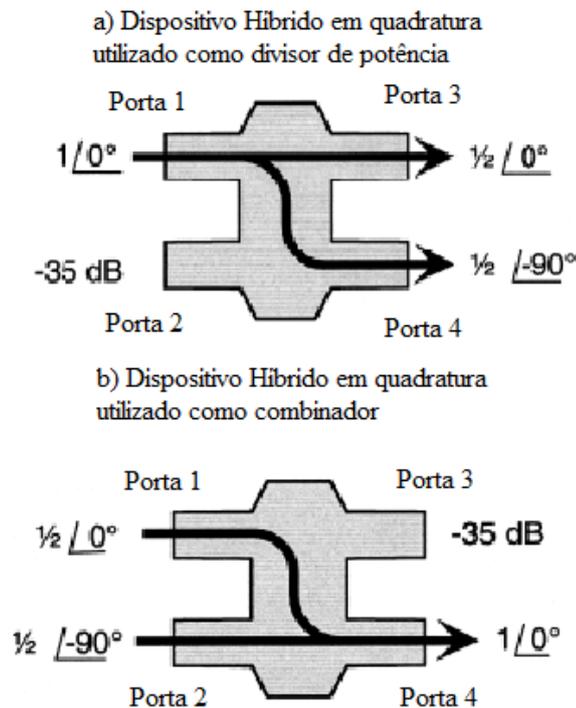
Fonte: Adaptado de NAB *Broadcasters* 11th Edição

O filtro rejeita banda remove a frequência de desinteresse do sistema. O filtro de rejeição também insere no sistema as mesmas dificuldades vistas para os filtros passa-banda de cavidade única. Surette & Labs (1999), afirma que em circuitos modernos, os filtros de rejeição não estão sendo utilizados, devido ao formato de atraso de grupo de difícil remoção já que não foram produzidos dispositivos de remoção de atraso de grupo para este tipo de filtro.

3.4.4 – Dispositivo Híbrido em quadratura

Os dispositivos híbridos segundo Silva (2015), possuem a capacidade de acoplar, dividir ou somar o sinal de potência de sua entrada com relação à saída. Em geral, este dispositivo é construído utilizando elementos passivos. Como o foco principal deste trabalho está na análise dos combinadores, os dispositivos híbridos de quadratura terão seus estudos direcionados para estes.

Figura 18 - Dispositivo Híbrido operando em 'a' como divisor de potencia e em 'b' como combinador de sinais

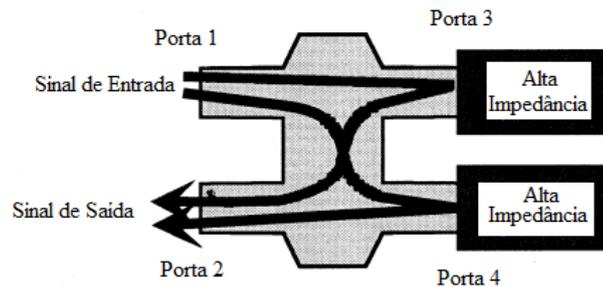


Fonte: Adaptado de Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

A Figura 18 traz o princípio de funcionamento de um dispositivo híbrido em quadratura operando em “a” como divisor de potência e em “b” como somador de sinais. Como pode ser observado, quando como divisor de potência, a porta 1 recebe o sinal de entrada, isola a porta 2 com -35dB e divide o sinal de entrada pela metade sendo que a saída na porta 3 está em fase com o sinal de entrada e a saída na porta 4 está com o sinal defasado de 90° da porta 3. Quando operando em modo de somador, a Porta 1 e a porta 2 se comportam como entradas, sendo que na porta 2 o sinal deve estar defasado de 90° com relação a porta 1. A porta 3 se comporta como isolada em -35dB e o sinal combinado vai para a saída na porta 4. É importante ressaltar que o sinal de entrada quando operando como combinador de sinais deve estar corretamente defasado ou caso contrário o sinal pode ser invertido entre as saídas, ou seja, porta 4 se tornar a porta isolada e porta 3 a porta com os sinais combinados.

Outra forma de operação de um dispositivo híbrido em quadratura é visto na Figura 19.

Figura 19 – Dispositivo Híbrido em quadratura operando como refletor de sinal



Fonte: Adaptado de Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

Neste modo de operação, observa-se que nas portas 3 e 4 há a presença de dois elementos de alta impedância. Estes elementos podem ser filtros passa banda sintonizada em frequências diferentes ou um filtro de rejeição sintonizado na frequência do sinal de entrada. Neste modo de operação, vê-se que o sinal de entrada é refletido para a porta 2.

Combinações das operações dos dispositivos híbridos são realizadas para atingir aos objetivos de projetos, atendendo dessa forma demandas de rejeições ou combinações entre outros fatores. Uma destas combinações segundo Surette & Labs (1999) é utilizada para formar uma espécie de anel, onde temos um conjunto de características favoráveis aos projetos de combinadores. A Figura 20 apresenta a configurações de dispositivos híbridos no formato de anel.

Figura 20 - Dispositivos Híbridos arranjados no formato de um anel.



Fonte: Adaptado de Adaptado de NAB *Broadcasters* 9th Edição

3.5 – Tipos de Combinadores

Existem três tipos de combinadores usuais e que atendem as demandas práticas atualmente, sendo que cada um possui suas características positivas e negativas. Nesta etapa são abordados os tipos de combinadores, suas principais especificações, vantagens e desvantagens para os sistemas.

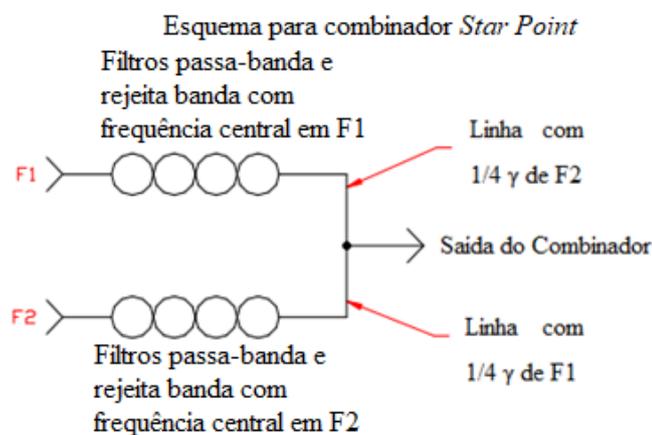
3.5.1 – Combinador *Star Point* ou *Branched* ou Ramificado

Para Whitaker (2002) um combinador *Star Point* é de fácil construção e opera combinando diferentes frequências e potências sobre a mesma saída. É amplamente empregado em situações em que a distância entre as frequências é de 0,8MHz ou maior. Segundo McCabe (2019) este modelo de combinador é utilizado para combinações mais simples e o número de estações na entrada é para Surette & Labs (1999) de no máximo 4 estações.

Essa limitação segundo McCabe (2019) se deve ao tamanho físico necessário para instalação do combinador por este ser composto em sua essência de filtros passa-banda e rejeita banda ajustados para a frequência de interesse, sendo as saídas destes filtros unidas por uma junção T. Surrette & Labs (1999) afirmam que para combinadores *Branched* com mais que 4 canais de entrada, se torna muito complexo realizar casamento, devido ao fato do comprimento da junção T levar em consideração a frequência dos canais acoplados. Afirma ainda que uma vez construído um sistema combinado Ramificado, ele não pode ser ampliado facilmente, a não ser com a utilização de módulos de combinadores balanceados.

A Figura 21 apresenta uma topologia da ideia por trás dos combinadores *Star Point*. Como é visto sua topologia é simples, no entanto, ela faz uso dos conceitos vistos acerca dos filtros de cavidade e suas curvas de resposta tanto à frequência como ao atraso de grupo. Como exemplo de aplicação, considerando que as frequências F1 e F2 estejam separadas a pelo menos 0,8MHz, a quantidade de isolamento obtida para cada entrada é dada pela quantidade de filtros (representados pelos círculos) adicionados ao sistema até a junção T na Figura 21. O comprimento da junção T corresponde ao comprimento da linha cortada em um tamanho correspondente a $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda para a frequência oposta à entrada.

Figura 21 – Representação de um combinador *Star Point* para combinação de duas emissoras na frequência F1 e F2



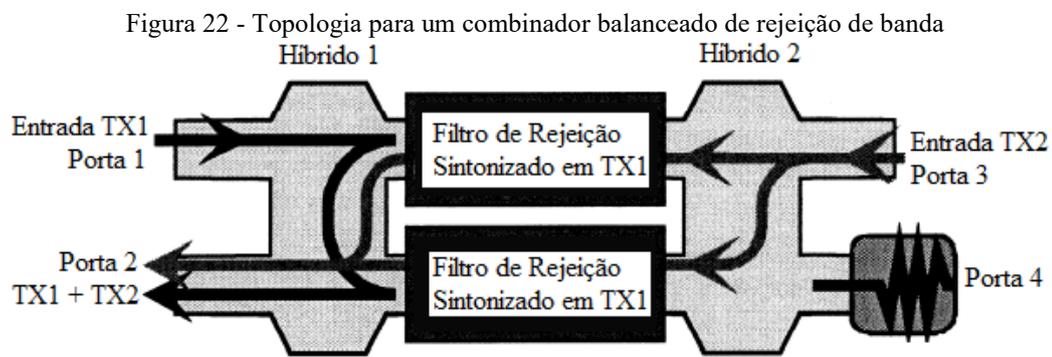
Fonte: Adaptado de McCabe (2019)

3.5.2 – Combinadores Balanceados de Impedância Constante

É um tipo de combinador baseado na utilização dos dispositivos híbridos associados com os filtros passa-banda e rejeita banda. São facilmente expansivos e apresentam melhor desempenho quando comparado com os *combiner Branched*. Os combinadores balanceados podem ser agrupados em dois grupos com diferentes características de operação, sendo o combinador balanceado de filtro de rejeição e o combinador balanceado de filtro passa-banda. (Whitaker, 2002)

3.5.2.1 – Combinador Balanceado de Filtro de Rejeição

A Figura 22 apresenta a topologia deste combinador.



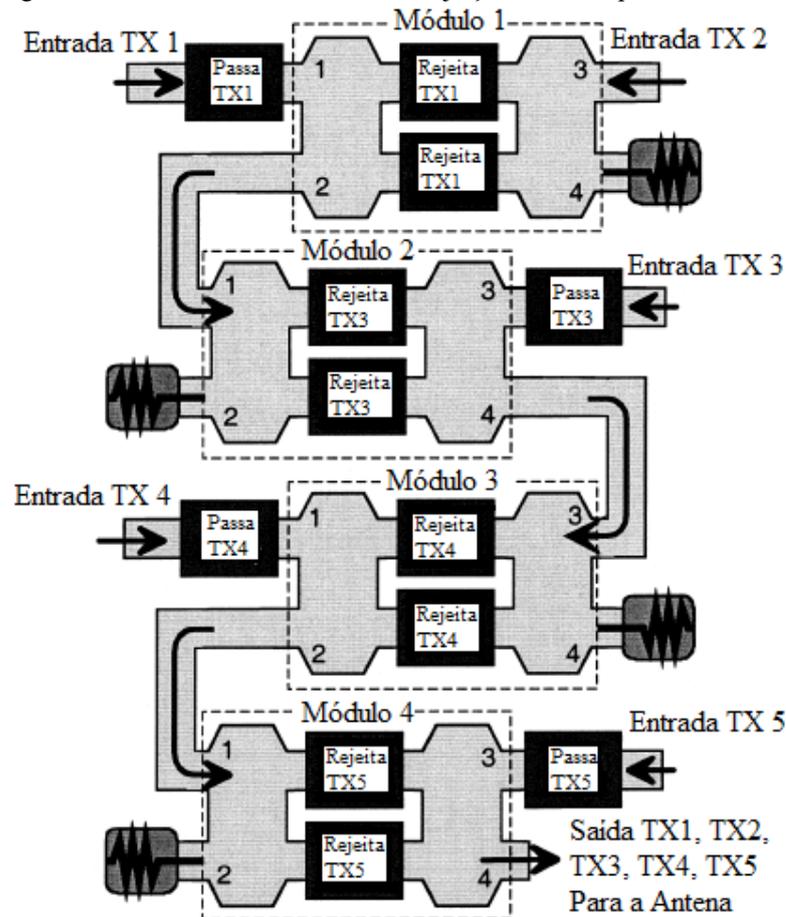
Fonte: Adaptado de Adaptado de NAB Broadcasters 9th Edição

Como visto na Figura 22 o combinador balanceado de rejeição de banda é constituído por filtros de rejeição sintonizados na frequência apenas da entrada TX1, além de dois dispositivos híbridos configurados no modo anel e uma carga geralmente de 50Ω . Para esta configuração, os filtros refletirão a entrada contendo os sinais TX1 para a porta 2, enquanto a entrada TX2 sofrerá um giro de fase conforme apresentado na Figura 18 'b', e também irá sair na porta 2. Logo, para este dispositivo, a porta 2 contém os sinais combinados de TX1 e TX2. Whitaker (2002) afirma que esta configuração exige que os filtros de rejeição possuam alto 'Q', para que dessa forma consigam suportar a potência do sistema. Esta configuração permite que sejam combinadas 'n' emissoras distintas, no entanto os dispositivos precisarão suportar toda a potência do sistema. Outra dificuldade deste tipo de combinador segundo Surrete & Labs (1999) é a de que não existe nenhum dispositivo de atenuação para a entrada de TX1 referente à TX2 o que pode levar a geração de ondas espúrias incidindo sobre o transmissor de TX1.

Como forma de aumentar a isolação, é instalado entre o transmissor e a entrada da Porta 1, um filtro de rejeição na frequência de TX2. Essa prática embora traga benefícios, torna-se onerosa conforme se aumenta o número de emissoras combinadas, pelo fato de haver a necessidade de

instalação de um filtro de rejeição sintonizado na frequência de cada uma das emissoras a serem combinadas. Com a finalidade de tornar o sistema menos oneroso, uma forma de contornar essa questão é realizar a instalação de um filtro passa banda na frequência de entrada da porta 1, fazendo assim com que seja evitada a emissão de ondas espúrias. A Figura 23 ilustra um combinador para 5 emissoras.

Figura 23 - Combinador balanceado de rejeição de banda para 5 emissoras



Fonte: Adaptado de Adaptado de NAB Broadcasters 9th Edição

Embora seja chamado de combinador balanceado rejeita banda, Whitaker (2002) afirma que inserir um filtro entre o transmissor e a entrada como mostra a Figura 23 faz com que a impedância vista pelo transmissor seja a do filtro, e não a impedância constante do dispositivo híbrido, e para aplicações em que seja necessário ter a impedância de fato constante, isso pode ser um problema.

Segundo Tennaplex Systems LTD (1985), o módulo final deverá ser capaz de suportar a potência de todas as estações juntas, além da exigência de que os filtros presentes em cada módulo sejam construídos de materiais com boas propriedades condutoras e tamanhos físicos correspondentes para atender a demanda de potência. Sendo assim, o sistema final pode ter tamanhos físicos relativamente grandes.

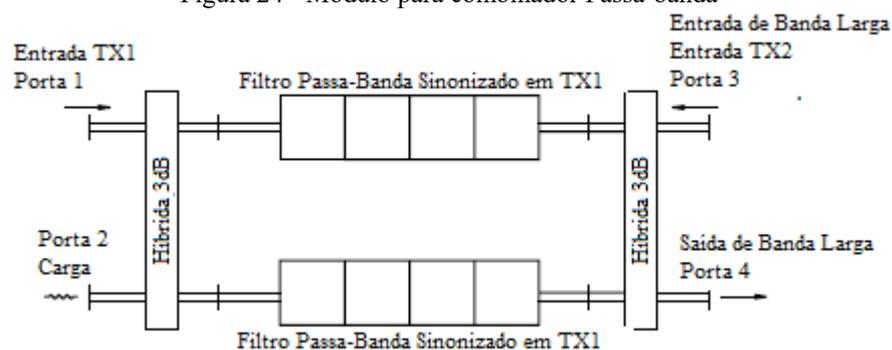
De acordo com Surrete & Labs (1999), existe a necessidade do ajuste com precisão para a frequência de operação dos filtros de rejeição dentro dos anéis híbridos. Isso porque durante a operação, qualquer descasamento entre os filtros pode gerar ondas espúrias que podem ser combinadas dentro dos transmissores e serem potencializadas. Devido ao tipo de filtro, as ondas espúrias não seriam filtradas dependendo da frequência, ocasionando assim interferência para outras estações e até serviços. Um último fator que limita e faz com que os combinadores híbridos de rejeição não sejam utilizados atualmente, decorre do fato da largura de banda necessária para um canal de FM.

Como dito, a largura de banda de um canal FM é de 200kHz. Como os combinadores são limitados em banda pela natureza dos filtros de rejeição, Surrete & Labs (1999) afirmam que o combinador de impedância constante com filtros de rejeição é impraticável para combinar as estações de radiodifusão existentes atualmente.

3.5.2.2 – Combinador Balanceado de filtro passa-banda

Este combinador possui topologia semelhante ao combinador balanceado de filtro rejeita-banda, no entanto, a montagem interna do anel híbrido faz uso de filtros passa-faixa, sendo esta a principal diferença encontrada para o combinador visto anteriormente. Neste combinador, o filtro interno é do tipo passa-banda sintonizado na frequência de entrada para Porta 1. Na Figura 24 é possível visualizar um módulo com a mudança realizada.

Figura 24 - Módulo para combinador Passa-banda

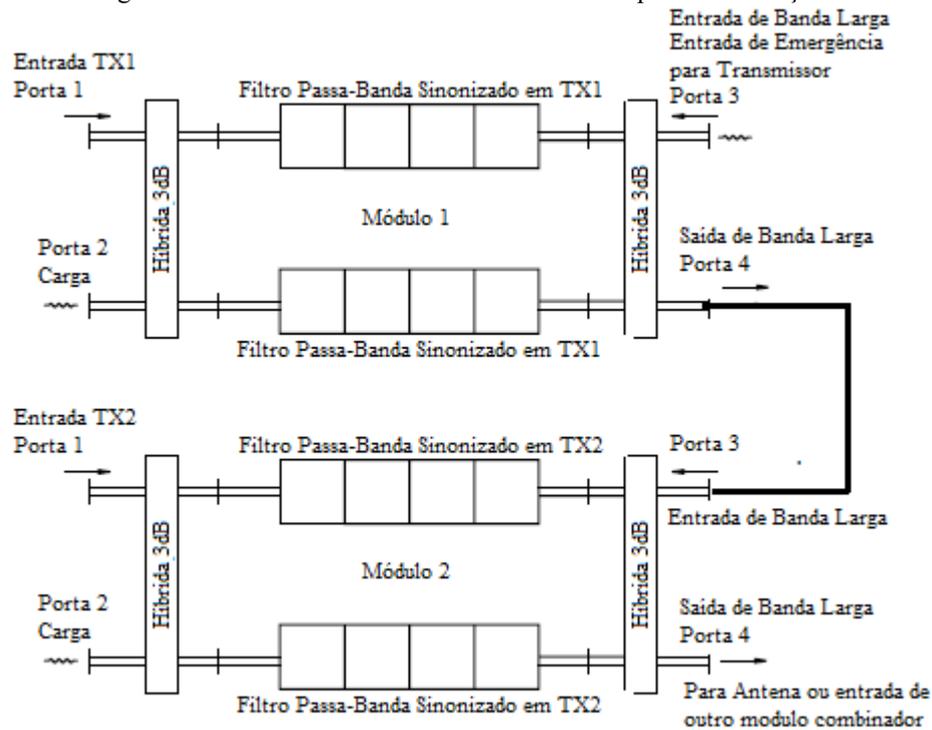


Fonte: Adaptado de Whitaker (2002)

A topologia vista na Figura 24 demanda um filtro na entrada da porta 3, sendo um passa-banda sintonizado em TX2 ou um rejeita-banda sintonizado em TX1, de forma há aumentar e garantir melhor isolamento, protegendo o transmissor TX2 de gerar algum espúrio. (Whitaker, 2002)

Uma configuração muito adotada para este tipo de combinador, segundo Surrete & Labs (1999) é apresentada na Figura 25.

Figura 25 - Combinador Balanceado Passa-Banda para duas estações.



Fonte: Adaptado de Whitaker (2002)

Na Figura 25 as Entradas TX1 e TX2 correspondem a duas emissoras. Para este tipo de combinador, o fluxo dos sinais vai da esquerda para a direita. Temos que a entrada TX1 irá ser acoplada e dividida pela híbrida de 3dB da esquerda, passando pelos filtros superior e inferior recombinado pela híbrida de 3dB do lado direito e sair pela porta 4. A porta 3 do módulo 1 não possui sinal de entrada, tendo presente uma carga geralmente de 50Ω , sendo essa uma correção ao problema de isolamento visto na Figura 24, além de também poder ser utilizada no caso de uma eventual emergência decorrente da falha de algum dos módulos. (Surette & Labs, 1999)

Na porta 1 do módulo 2 tem-se TX2 sendo acoplado na híbrida e passando pelo mesmo processo visto para a entrada TX1 no módulo 1. A diferença crucial é que no módulo 2, a porta 3 recebe agora, a saída do módulo 1. O sinal vindo desta porta é então acoplado pela híbrida, refletido nos filtros superior e inferior, combinando TX1 e TX2 na saída 4 do módulo 2. Na Porta 2 de cada módulo está presente um carga de terminação geralmente de 50Ω cuja finalidade é absorver a potência de sinais indesejados. Conforme apresentado na Figura 25 nota-se que o combinador balanceado com filtro passa-banda é facilmente expandido.

Segundo Whitaker (2002) a isolamento vista entre portas de entrada do combinador é dado pelas soma da isolamento de cada elemento que compõe o combinador. Logo, como visto, os dispositivos híbridos conseguem fornecer 35dB de isolamento, que quando somado a isolamento do

filtro, em média se obtém acima de 55dB de isolamento entre estações, e saída. Esta isolamento aumenta conforme os ajustes realizados nos filtros passa-banda.

Para Tennaplex Systems LTD (1985) os combinadores balanceados passa-banda possuem a melhor isolamento entre portas, e tem como vantagem manter o fluxo de alta potência somente de um lado da estrutura híbrida, favorecendo assim, a redução no custo de produção do equipamento, já que a potência que irá circular no módulo está ligada a potência da estação de entrada, na Figura 25, porta 1 dos módulos 1 e 2.

De acordo com Whitaker (2002) espera-se que a SWR seja próximo de 1:1 na portadora, alterando para cima conforme se está próximo aos extremos da banda de passagem do filtro. A SWR do sistema está intimamente ligada com o ajuste dos filtros passa-banda superior e inferior, assim quanto mais alinhado é o ajuste dos filtros e devido às características de operação da híbrida, melhor será a SWR do combinador.

A perda de inserção de acordo com a entrada na porta 1 é dada pela perda de inserção dos filtros superior e inferior, sendo valores típicos na ordem de 0,28dB. Whitaker (2002) afirma também que a perda de inserção e o atraso de grupo estão correlacionados aos ajustes de largura de banda dos filtros. Para este ajuste sempre há de se considerar o meio termo entre as qualidades desejadas para o projeto haja vista que conforme apresentado anteriormente, alterar a largura de banda de um filtro tem impacto direto sobre o atraso de grupo, perda por inserção e na banda de rejeição do filtro.

3.5.3 – Considerações Finais

Neste capítulo, apresentou-se combinadores que podem ser boas ferramentas na busca da solução e otimização de projetos de rádio difusão. Na sequência é abordada uma aplicação prática sobre o uso de combinadores como solução para um sistema final de duas estações transmissoras de FM.

4 – Projeto Prático

4.1 – Legislação Vigente

No Brasil, as normas para as telecomunicações são regidas por dois órgãos principais, sendo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTIC), e a Agência Nacional das Telecomunicações (ANATEL).

As principais competências do MCTIC incluem realizar a “política nacional de telecomunicações, política nacional de radiodifusão, serviços postais, telecomunicações e radiodifusão, além de outras fora do escopo deste”. (MCTIC, 2021)

Segundo Bosque (2014) a ANATEL é o órgão regulador e fiscalizador, controlando o regime de concessão através do estabelecimento de normas reguladoras para o convívio harmônico entre os diversos serviços de radiodifusão ofertados pelas diversas concessionárias no Brasil.

Como as telecomunicações não tem sua origem somente no Brasil, órgãos externos também contribuem para o estabelecimento das regulamentações no Brasil sendo, o *Federal Communication Commission* (FCC – Comissão Federal das Comunicações) e a *International Telecommunication Union* (ITU - União Internacional das Telecomunicações).

O FCC segundo, USAGov (2022), tem a missão de regular as relações internas nos Estados Unidos, bem como internacionais, atuando sobre todos os meios de telecomunicações atualmente disponíveis. Seu objetivo é promover conectividade e competitividade no mercado das telecomunicações.

Já a ITU é uma organização que tem por finalidade criar e gerar regulações para a convivência harmônica do espectro de frequência dos diversos serviços referentes às telecomunicações (ITU, 2022).

Devido ao tamanho das regulamentações, torna-se inviável anexá-los como parte deste trabalho. Sendo assim, são abordadas especificações das normas vigentes. A seguir é apresentado um panorama geral das normas vigentes adotadas para elaboração dos projetos.

As principais normas utilizadas, reguladas pela ANATEL são:

I. Resolução nº721

Esta resolução dispõe sobre a canalização das faixas de frequências dos serviços inerentes a radiodifusão, sendo eles a rádio AM, rádio FM e a Televisão.

II. Ato 4174

Este ato refere-se aos “requisitos técnicos de condições de uso de radiofrequências para os serviços de radiodifusão sonora em frequência modulada, de retransmissão de rádio na Amazônia legal e radiodifusão comunitária.” (ANATEL, 2021)

III. Ato 458

Normatiza e define os limites da exposição ocupacional e populacional, bem como descreve os procedimentos para medição e avaliação da exposição humana pelos sinais da emissora, além de informar as diretrizes para geração de relatório de conformidade das estações. (ANATEL, 2019)

IV. Canais de Radiodifusão

È uma plataforma disponibilizada no site <http://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/srd.php> cuja finalidade é a de consulta pública fornecendo a localização bem como dados públicos de cada um dos serviços de radiodifusão (Rádio AM, Rádio FM e Televisão).

V. Procedimento para solicitar inclusão de canal no plano básico

É um guia que fornece o passo a passo necessário para que seja realizado o cadastro de uma nova emissora no plano básico da ANATEL. Este processo passou a ser automatizado e coordenado por um sistema chamado MOSAICO.

VI. MOSAICO

Sistema interativo adotado pela ANATEL que permite aos engenheiros, cadastrar, bem como acompanhar a situação dos diversos processos referentes às emissoras, por exemplo, a outorga de rádio, ou ainda, solicitação e acompanhamento do processo de licenciamento de uma emissora FM, pedido de cadastro de novo canal, e etc. O MOSAICO é o sistema intermediador entre engenheiros e ANATEL visando diminuir a burocracia e acelerar os procedimentos internos para os diversos processos incumbidos à ANATEL.

Arquivos disponibilizados pelo Governo Federal.

I. Obter Outorga para exercer serviço de radiodifusão comercial

Como forma de auxiliar engenheiros e radialistas, o Governo do Brasil desenvolveu um arquivo para ajudar aos interessados em realizar pedido para obtenção de outorga. Os procedimentos se encontram no link <https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-outorga-para-exercer-servicos-de-radiodifusao-comercial> (Governo do Brasil, 2021).

Arquivos disponibilizados pelo FCC

I. 47CFR § 73317 – FM *Transmission system requirements*

Fornece os parâmetros de atenuação entre estações. Está disponível no site *Legal Information Institute* encontrado em <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/73.317>.

Arquivos disponibilizados pela ITU

I. ITU – R P. 1546-6

Descreve um método de predição de cobertura ponto-área. Este método é adotado como base para predições pela ANATEL, sendo fornecidos os gráficos utilizados em formato de anexo no ato 4174.

4.2 – *Vector Network Analyzer(VNA2180)*

Como evidenciado na teoria vista sobre os combinadores, diversas são as medidas necessárias para a obtenção das curvas do projeto final, bem como a realização de ajustes ao longo da montagem. Para realizar estas medidas é necessária a utilização de um equipamento com *hardware* e *software* compatíveis para a correta leitura das grandezas envolvidas.

Dessa forma, o equipamento utilizado para realização das aferições e alinhamento dos componentes envolvidos no projeto foi o VNA2180. Este equipamento é capaz de realizar no range de frequência de 5kHz a 180MHz, medições como:

- Medições de perda por retorno;
- Parâmetros S11 e S21;
- Medições de resistência e reatância de Antenas e componentes discretos;
- Medições de impedância através de filtros ou redes;
- Medições de comprimento de cabo, impedância, perda, fator de velocidade e DTF (Distância para falha);
- Plotagem na carta de Smith dos parâmetros;
- Salvar arquivos das medições.

Para aplicações envolvendo as frequências do FM no Brasil, o VNA2180 tem um range propício, além de apresentar boa precisão para as medições necessárias para a aplicação do combinador neste projeto.

Para utilizar o VNA2180 é necessário que um computador seja conectado ao dispositivo via cabo USB e onde através de software dedicado, sejam realizadas as leituras e medições dos sistemas. O equipamento apresentado na Figura 26 é fornecido e distribuído pela *Array*

Solution através do site <https://www.arrayolutions.com/antenna-analyzers> com software encontrado no site <https://w5big.com/vna2180.htm>.

Figura 26 – *Vector Network Analyzer VNA2180*



Fonte: Encontrado em <https://www.keysight.com/br/pt/product/N9912A/fieldfox-a-handheld-rf-analyzer-4-ghz-6-ghz.html>

4.3 – Dados do projeto

De forma a exemplificar a aplicação dos combinadores, selecionou-se uma estação transmissora que está operando atualmente na região de Patrocínio. A escolha se deve a praticidade e distância com que a rádio está operando de Uberlândia. De forma a resguardar as rádios e seus dados, será apresentado o projeto de aprovação de características técnicas com a omissão de dados que julgar-se serem privados e de competição mercadológica.

O sistema instalado faz uso de um combinador *Star Point* e une duas rádios sobre o mesmo sistema final de transmissão.

➤ Radio 1

Endereço Sede: Não disponível.

Endereço do Transmissor: Não disponível.

Parâmetros técnicos: canal: 237 / Frequência: 95.3MHz / Classe: B1 / ERP Máxima: 2,999kW / HCI: 56.50m

➤ Rádio 2

Endereço Sede: Não disponível.

Endereço do Transmissor: Não disponível.

Parâmetros técnicos: canal: 255 / Frequência: 98.9MHz / Classe: A3 / ERP Máxima: 3,8749kW / HCI: 56.50m

4.3.1 – Projeto de Aprovação de Local

Em se tratando de estações de radiodifusão os equipamentos e estruturas que compõem um site de transmissão FM são:

- Abrigo
- Transmissor FM
- Filtros Rádio Frequência (RF)
- Linha de Transmissão
- Antena RF
- Torre de Transmissão
- Fonte de Energia

Cada elemento dentro do site deve ser apresentado a ANATEL de maneira a atender a todas as normas vigentes. O projeto em sua forma integral contempla todos os dados da estação de transmissão. Como o foco deste trabalho está centrado em apresentar o combinador e a sua utilidade bem como uma descrição dos desafios a cerca da instalação do mesmo, será apresentado apenas uma breve introdução aos elementos que compõem o site junto à normatização.

4.3.1.1 – Abrigo

O abrigo do site de transmissão das rádios é apresentado na Figura 27. O abrigo da instalação é mantido organizado, sendo construído em alvenaria, com espaço suficiente para armazenar e manter protegido os transmissores, o combinador, equipamento de link de dados de rádio entre outros.

Figura 27 - Vista noturna do abrigo das rádios utilizadas no projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.1.2 – Transmissores FM

Os transmissores são responsáveis por realizar a amplificação do sinal proveniente dos programas da emissora. Todo transmissor antes de entrar em operação necessita estar homologado junto a ANATEL para que possa emitir os sinais de qualquer emissora.

Dado as opções de mercado disponíveis são buscadas sempre por marcas e modelos que sejam compatíveis com as aplicações de cada projeto sendo de responsabilidade do engenheiro indicar o valor de potência mínima necessária para o correto atendimento e enquadramento da estação transmissora na norma.

Assim, o valor final da potência de transmissão depende de um conjunto de fatores envolvendo ganhos de antena e atenuações sofridas nos conectores, cabo e demais perdas sofridas, por exemplo, como as perdas pela inserção do combinador.

O ato 4174 da ANATEL prevê na Seção 3.3 que existe uma divisão em classes para as estações transmissoras de FM, sendo fornecidos os valores máximos de potência ERP (Potência Efetiva Radiada) de acordo com cada classe. A Tabela 2 traz os valores disponibilizados pela norma.

Tabela 2 - Tabela contendo as classes de estações transmissoras de FM com suas respectivas potências ERP máximas, distâncias ao contorno protegido e Altura de referência sobre o nível médio da radial.

CLASSES	REQUISITOS MÁXIMOS			
	POTÊNCIA (ERP)		DISTÂNCIA MÁXIMA AO CONTOURO PROTEGIDO (66dBµV/m) (km)	ALTURA DE REFERÊNCIA SOBRE O NÍVEL MÉDIO DA RADIAL (m)
	kW	dBk		
E1	100	20,0	78,5	600
E2	75	18,8	67,5	450
E3	60	17,8	54,5	300
A1	50	17,0	38,5	150
A2	30	14,8	35,0	150
A3	15	11,8	30,0	150
A4	5	7,0	24,0	150
B1	3	4,8	16,5	90
B2	1	0	12,5	90
C	0,3	-5,2	7,5	60

Fonte: Adaptado do Ato 4174 ANATEL

A ERP refere-se à potência que é radiada pela antena. O Ato 4174, na Seção 2.6 fornece a Equação 4.1 para o cálculo da ERP.

$$ERP_{Max} = \frac{P_t * G_{tMáx}}{P_s} \quad 4.1$$

Onde: P_t é a Potência do transmissor

$G_{tMáx}$ - corresponde ao ganho máximo do sistema irradiante ($G_{tMáx} = 10^{\frac{G_{tMáx}(dB)}{10}}$)

P_s - relaciona-se com a perda total do sistema de transmissão, em vezes ($P_s = 10^{\frac{P_s(dB)}{10}}$)

A perda total do sistema também está definida no Ato 4174, Seção 2.7 através da Equação 4.2.

$$P_s(dB) = \frac{L * A_L}{100} + P_D \quad 4.2$$

Onde: L está associado com o comprimento da linha de transmissão

A_L - é a atenuação da linha de transmissão, em dB/100 metros

P_D - Perdas em Conectores e Demais estruturas.

Conforme informado, a rádio 1 opera na classe B1 sendo que para esta classe, pela Tabela 2, tem se a ERP máxima de 3kW. Já a rádio 2 opera em classe A3, que deve possuir ERP máxima de 15kW.

A Figura 28 apresenta os transmissores em operação.

Figura 28 - Transmissores das rádios - MGE FM2500 para a Rádio 1 e o MGE FM3000 para a Rádio 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1.3 – Filtros RF

Os filtros de RF presentes dentro do abrigo possuem a função principal de evitar com que possíveis produtos de intermodulação, ou ondas espúrias geradas nos transmissores sejam transmitidos, prejudicando e gerando interferências indesejáveis no espectro de frequências.

O princípio de funcionamento dos filtros é abordado em maior detalhe na Seção 3.4.3 deste trabalho. Devido à natureza deste projeto, a utilização do filtro está concentrada na figura do combinador.

4.3.1.4 – Linha de Transmissão

A linha de transmissão tem a finalidade de realizar a conexão entre o transmissor de potência e a antena. Em radiodifusão, a linha a ser escolhida pelo engenheiro necessita possuir características especiais, como impedância constante, potência compatível, baixa atenuação, blindagem contra interferências eletromagnéticas.

Um tipo de linha de transmissão amplamente adotado em radiodifusão é o cabo coaxial. Este fornece, devido a suas características físicas de construção, boa blindagem contra interferências eletromagnéticas, impedância com características constante, atenuação variando de fabricante para fabricante e com o comprimento, além da potência do cabo associada com a dimensão da sua seção transversal. A Figura 29 apresenta um tipo de linha de transmissão compatível com aquelas utilizadas nas transmissões de radiodifusão.

Figura 29 - Exemplo de Linha de Transmissão.



Marca: RFS KMP

Modelo: CELLFLEX 1.5/8

fonte: Adaptado de Ponto Eletrônico <https://www.pontoeletronic.com.br/produto-interno/cabo-coaxial-1-5-8-cellflex-rfs-kmpnico> (pontoeletronic.com.br)

A escolha da linha de transmissão deve levar em conta principalmente o fator de atenuação que o cabo irá possuir na frequência de operação da emissora, já que, esse é um dos parâmetros levados em consideração nas Equações 4.1 e 4.2. Todas as informações a cerca do cabo são fornecidas pelo fabricante da linha, no *datasheet* do equipamento.

Um estudo completo sobre os efeitos observados para as linhas de transmissão operando em frequências altas pode ser encontrado no livro “Linhas de Transmissão e Carta de Smith: Projeto Assistido por Computador” do autor José Carlos Sartori com publicação da EESC-USP de São Carlos, São Paulo. Por não ser o foco deste trabalho, não será dado ênfase ao estudo aprofundado de linhas de transmissão.

O anexo B fornece a ficha técnica da linha de transmissão.

4.3.1.5 – Antena

Parte fundamental do sistema de transmissão, a antena de radiodifusão entrega para a atmosfera as ondas de rádio com a mensagem da emissora. Atualmente, muitos livros tratam

do assunto com grande exatidão e aptidão, devido a isto e pelo foco do trabalho não estar concentrado no assunto antenas, dar-se-á ênfase em somente demonstrar a antena utilizada e realizar comentários pertinentes.

O anexo C fornece a ficha técnica da Antena utilizada. É uma antena de 4 níveis, com potência de até 10kW por nível, possui impedância de 50Ω , oferece polarização circular e possui resistência a ventos de 180Km/h. A antena está preparada para operar nas frequências das rádios, 95,3MHz e 98,9MHz. A Figura 30 apresenta uma foto da antena utilizada.

Figura 30 – Antena FM Omnidirecional 4 Dipolos modelo: AFO44U 237/255



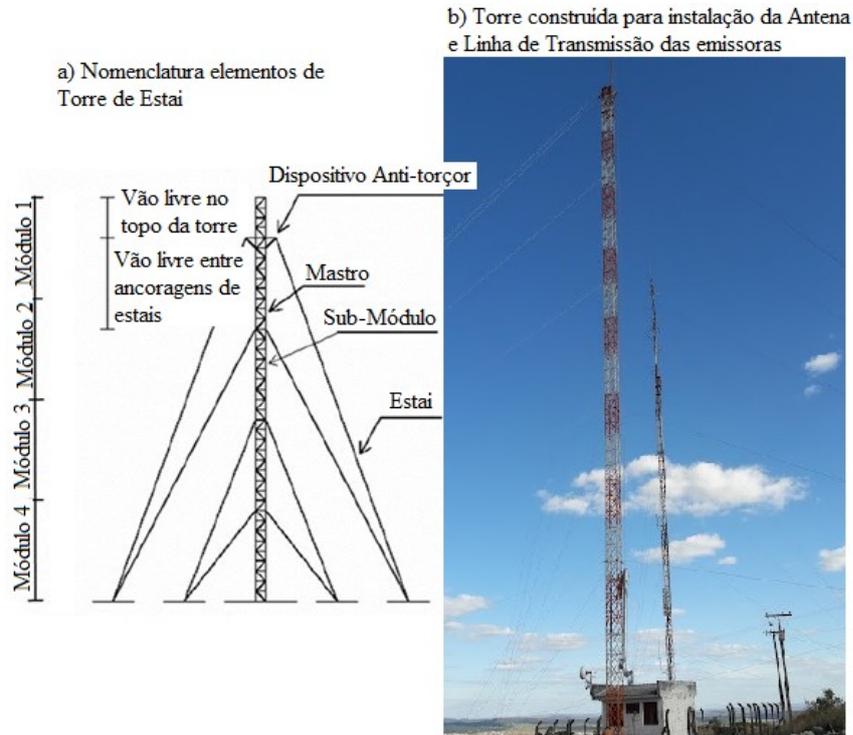
Fonte: Adaptado de https://idealantenas.com.br/produtosport/fm/FM_Omnidirecional_4_Dipolos.pdf com acesso em 24 de janeiro de 2022.

4.3.1.6 – Torre de Transmissão

A torre de transmissão é uma estrutura física que tem por finalidade elevar a altura do elemento radiante de forma a livrar e permitir que o alcance da emissora seja maior. Existem dois tipos básicos de estruturas de torre de transmissão adotados em grande maioria dos projetos:

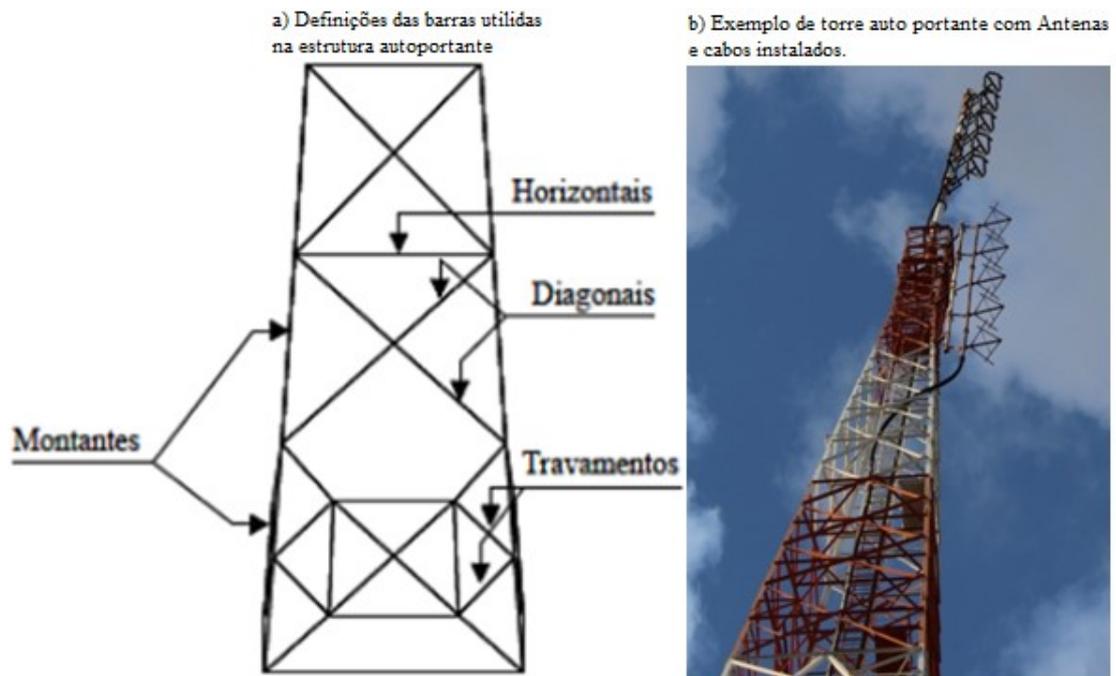
- Torre Estaiada: neste tipo de torre, a sustentação está baseada nos estais que prendem a torre ao solo em pontos precisos, Figura 31.
- Torre Autoportante: Neste tipo de torre, a estrutura tem sua base reforçada de forma que nenhum elemento é adicionado para segurar a torre, Figura 32.

Figura 31 - Topologia de uma torre Estaiada em ‘a’ e Torre Construída em ‘b’ para instalação da Antena e Linha de Transmissão das Emissoras.



fonte: “a” encontrado em: <https://under-linux.org/attachment.php?attachmentid=4422&d=1243358109> com acesso em 22 de janeiro de 2022, “b” elaborado pelo autor.

Figura 32 – Torre Autoportante. Em “a”, nomenclatura das barras. Em “b” exemplo de torre autoportante já com antenas e linhas de transmissão, prontos para operação.



Fonte: “a” adaptado de http://www.abpervista.com.br/imagens/volume20_01/cap04.pdf com acesso em 22 de janeiro de 2022. “b” elaborada pelo autor

Ao se realizar o projeto de uma torre, prevê-se o quanto de peso pode ser colocado na mesma, sem prejuízos ou perigos de tombamento. Outra característica esta relacionada à carga de vento que a torre pode suportar.

Cabe aos engenheiros de Telecomunicações fornecerem a altura mínima de instalação da Antena para o projetista da torre realizar o projeto partindo do zero. Quando a estrutura está pronta, o engenheiro de Telecomunicações precisa conhecer e entender os impactos que ela irá causar na mancha de cobertura da rádio, pois a depender da altura com que a antena será instalada, pode haver deformações na mancha de cobertura minimizando e impactando diretamente na área coberta pela emissora. Ainda é importante que seja feita análise do quanto de carga ainda pode ser instalado em torres já prontas.

Neste projeto, foi realizada a construção de uma torre Estaiada. A estrutura possui 50 metros de altura mais 12 metros de Tubulão, sendo que a antena principal foi instalada no topo da torre, e uma antena reserva foi instalada de lado. A Figura 31 parte “b” mostra a torre construída.

4.3.1.7 – Fonte de Energia

A fonte de energia em projetos de radiodifusão pode ser algo complexo de lidar, a depender da localidade em que se encontram as instalações do abrigo. Isso se deve por não haver constância do fornecimento de energia a todos os locais, principalmente em zonas rurais, onde a incidência de falhas é alta.

Dessa forma, medidas precisam ser adotadas para garantir que o sistema opere de maneira continua e satisfatória. Uma forma de realizar esta adequação está na instalação de filtros de energia para melhorar o fator de potência da alimentação além de manter constante a frequência de rede (60Hz para o Brasil).

Outra medida está na instalação de sistemas de nobreak para evitar que picos na energia, ou até mesmo a falta dela (a depender do período), sejam supridos pelo sistema reserva. Na instalação desse projeto foi realizada a adoção de um sistema de nobreaks atrelado à redução de potência dos transmissores para garantir cobertura ao menos para a cidade de Patrocínio.

4.3.2 – Combinador

Como já definido, o combinador tem como principal função realizar a união de várias emissoras sobre o mesmo sistema final de radiação. O combinador utilizado no projeto é apresentado na Figura 33. A escolha deste combinador decorreu do estudo realizado para as emissoras, das vantagens observadas, do atendimento a norma e custos envolvidos.

O *combiner Star Point* como já definido possui arquitetura simplificada, demandando pouco espaço de estrutura física. Opta-se por sua utilização neste projeto devido à potência das emissoras não ser alta, não haver previsão de expansão futura, e pelo combinador atender a necessidade integral do rádio difusor em possuir um sistema eficiente centrado em um único local para as suas emissoras. A folha de dados do combinador é apresentada no anexo D.

Figura 33 - *Combiner Star Point* configurado para realizar a união das emissoras sobre o mesmo sistema final de radiação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este combinador é formado por dois filtros de cavidade passa-baixa, sendo um para cada entrada, e dois filtros de cavidade passa-banda. A saída de ambos os filtros de cavidade passa-faixa são unidas pela junção T, local em que os sinais são levados para a antena. A Figura 34 mostra a junção T em maior detalhe. A junção T em um combinador *Branched* é um ponto sensível e necessita possuir uma alta precisão mecânica para evitar aquecimentos, além de

casar corretamente os sinais para que sejam levados até a antena e fazendo, assim, com que o sinal seja radiado aos telespectadores.

Figura 34 – Junção T desenvolvida para o projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os filtros presentes fazem com que a atenuação tenha níveis precisos e adequados para que não ocorram produtos de intermodulação, ou até mesmo a geração de ondas espúrias.

Na parte dos filtros, têm-se diversos pontos de intervenção para que sejam realizados os ajustes para sintonia dos filtros. As Figura 35 e 36 trazem uma melhor visualização dos pontos de ajustes.

Figura 35 – Vista ampliada dos pontos de ajuste para os filtros utilizados no combinador.

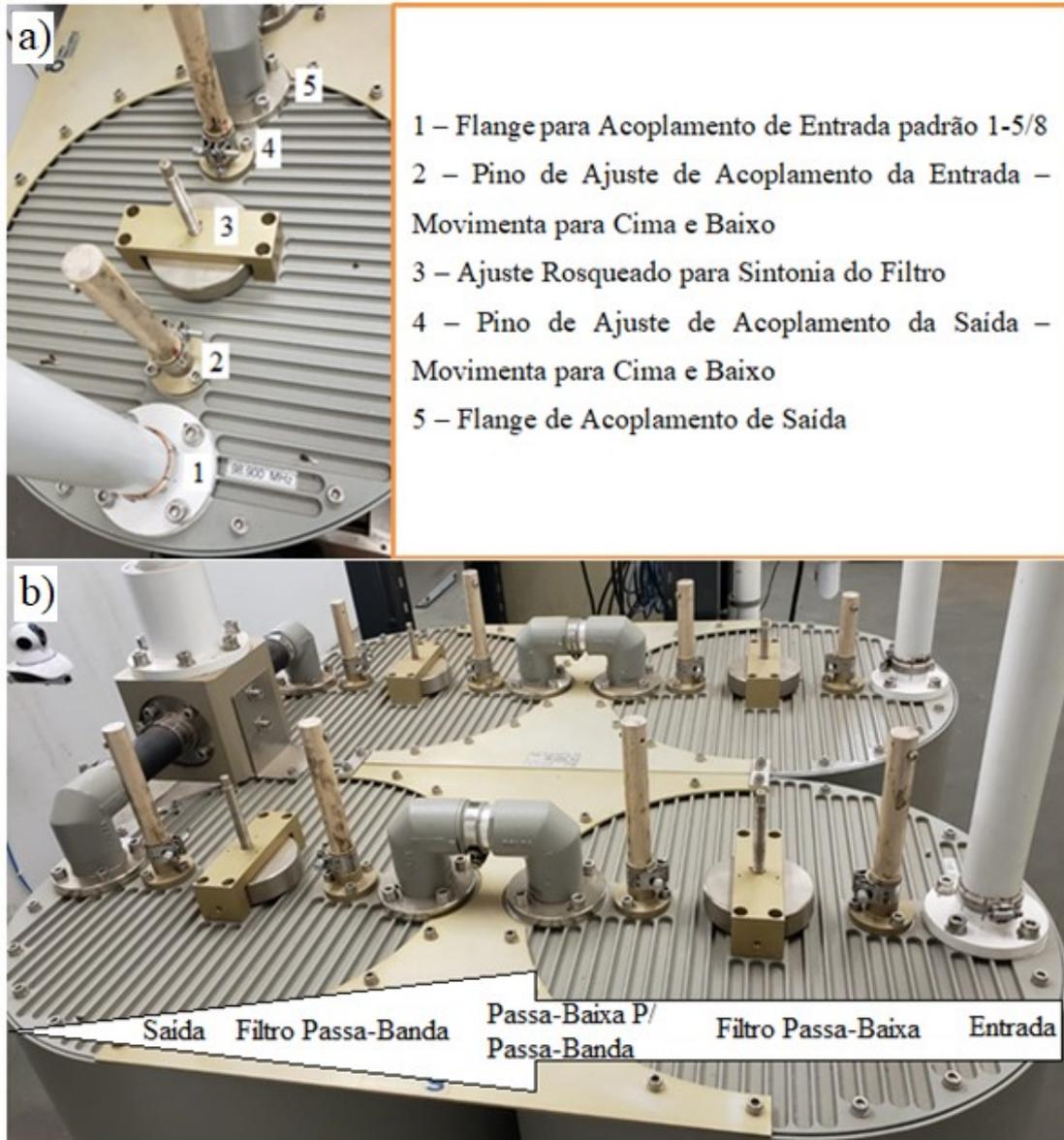


Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado na Seção 3.4.3.1, a Figura 8 ilustrou os pontos de ajustes de um filtro de cavidade. A Figura 36 'a' traz uma imagem dos pontos de ajuste para o combinador instalado, e na parte 'b' um fluxograma do sentido do sinal, desde a entrada do combinador

até a junção T, local em que o sinal é conectado a linha de transmissão que o direciona para a antena.

Figura 36 – Identificação dos elementos presentes nos Filtros Utilizados no Combinador



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como cada filtro contém um ajuste de acoplamento de entrada, um ajuste de sintonia e um ajuste de acoplamento de saída, no total, pode-se dizer que no combinador há 12 pontos de ajustes, conforme Figura 36 'b'. A partir destes pontos, trabalha-se de maneira a alcançar um ponto ótimo para os níveis das variáveis discutidas na Seção 3.4 como, por exemplo, SWR, perda de retorno, atenuação, ajuste de sintonia dos filtros e atraso de Grupo.

Na prática, realizar o ajuste é uma tarefa árdua e complexa exigindo certa experiência e um bom conhecimento do engenheiro. Cada ponto de ajuste possui alta sensibilidade, o que faz

pequenos deslocamentos nos pontos 2,3 e 4 da Figura 36 'a', provocarem grandes deslocamentos nas curvas de interesse. Os ajustes de acoplamento de entrada do combinador realizam o casamento das impedâncias dos filtros de entrada, com a saída do transmissor. Uma entrada descasada pode refletir em perda de potência, além do retorno da mesma ao transmissor, podendo ocasionar danos aos seus módulos.

Já o descasamento entre filtros pode gerar sobre aquecimentos entre eles, o que corresponde a uma degradação do sinal a ser transmitido, além de poder danificar componentes internos do combinador por excesso de aquecimento. Os ajustes de acoplamento de saída interferem no acoplamento de saída dos filtros, ou seja, influencia fortemente na potência que o filtro entrega para o elemento seguinte.

Os ajustes de sintonia observados na Figura 36 realizam o deslocamento de frequência de sintonia dos filtros. Porém esse deslocamento necessita do ajuste de ambos os acoplamentos (entrada e saída) para que as curvas observadas e vistas na teoria e apresentadas na Seção 3.4 possam ser alcançadas.

O ajuste final do combinador necessita do alinhamento dos 12 pontos de ajustes, para que assim, seja garantida que a largura de banda seja suficiente, a perda por retorno assim como a SWR sejam aceitáveis e o atraso de grupo não cause distorções.

Devido à praticidade, não foi possível mostrar o ajuste passo-a-passo do combinador já que, somente para as medições realizadas, as emissoras ficaram um bom tempo fora do ar. No entanto, são apresentadas as medições obtidas para o *combiner*, sendo a partir delas, realizado avaliações a cerca dos desafios e resultados obtidos.

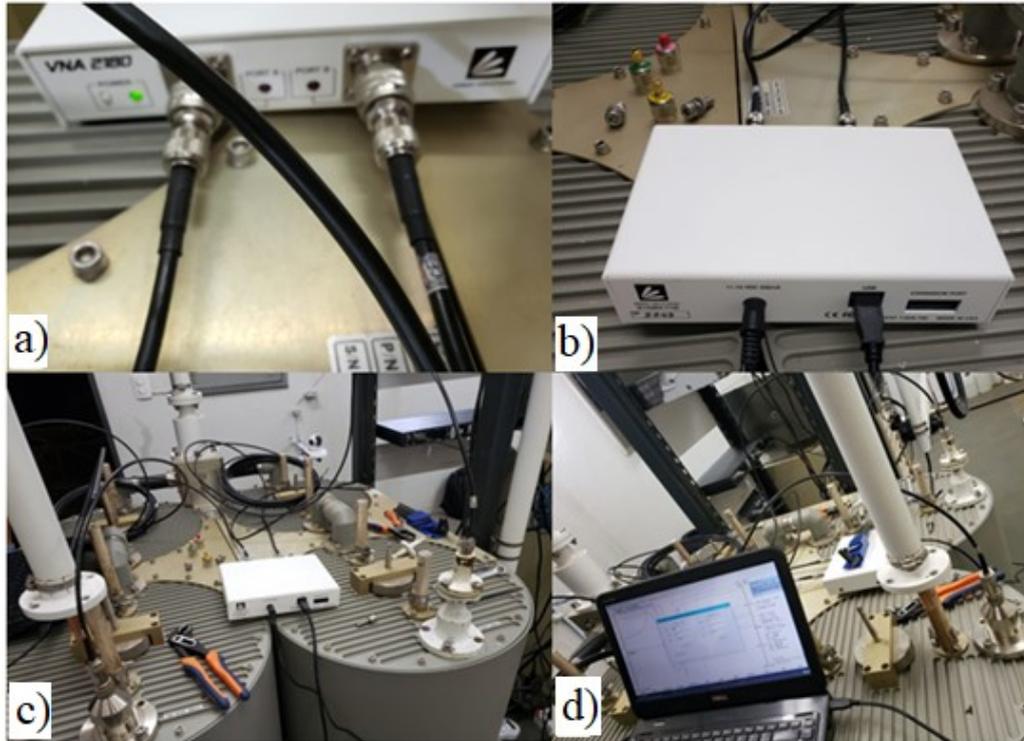
Outro interessante ponto a ser lembrado é que, durante os ajustes se busca altos níveis de atenuação entre as frequências das emissoras. Atuar sobre qualquer um dos elementos de ajuste além de gerar perdas, pode levar a retornos indesejados entre as emissoras, ocasionando dessa forma, na geração de ondas espúrias e produtos de intermodulação, que como apresentado, pode levar a sanções e penalidades.

Assim, para que seja realizado o ajuste dos níveis, ou até mesmo as medições, se faz necessária à utilização de equipamentos apropriados. Como forma de realizar a visualização dos resultados alcançados utiliza-se do VNA2180.

A Figura 37 ilustra os processos realizados para as medições no combinador. Na Figura 37 'a' se vê as conexões de entrada para medições no instrumento VNA2180, sendo chamadas de Porta A e Porta B. O primeiro-passo para realizar medições em qualquer sistema é realizar a calibração do instrumento de medição. Para realizar esse procedimento, usa-se das cargas

padrão visualizadas na Figura 37 ‘b’, sendo que uma carga está em curto, à outra representa um circuito aberto e a terceira é uma carga com impedância conhecida, no caso 50Ω .

Figura 37 - Procedimento para medições do sistema combinado



Fonte: Elaborado pelo Autor

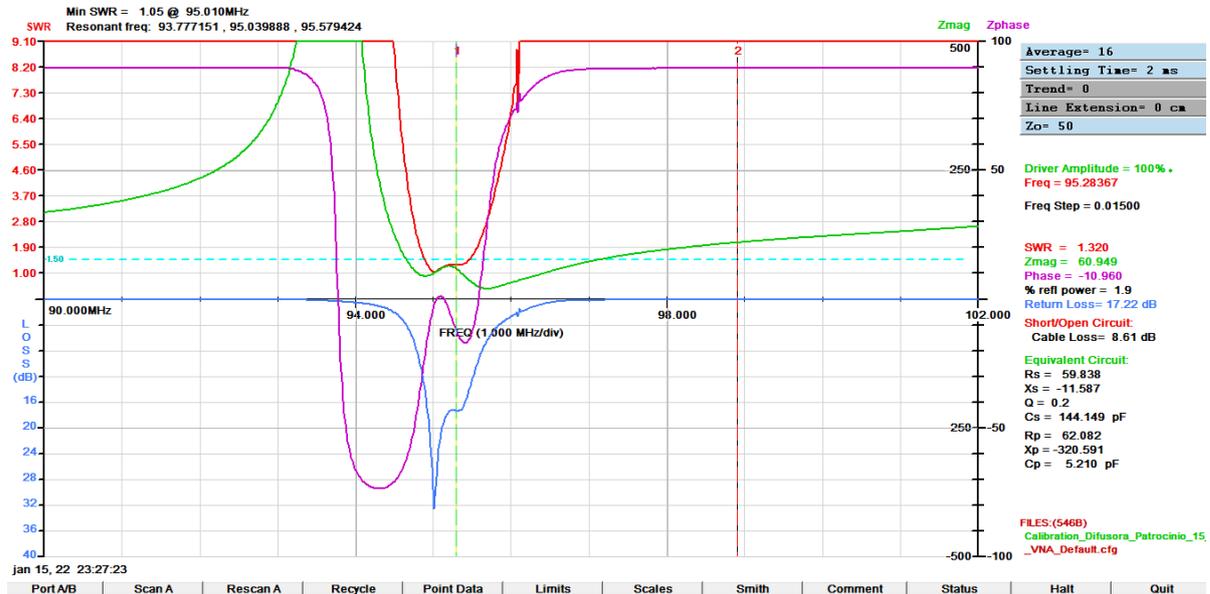
Uma vez realizada a calibração do equipamento, o dispositivo está pronto para realizar as medições do sistema. Para a medição do combinador ilustrado é necessário realizar a inserção do instrumento nas entradas do combinador, havendo para esse fim, a necessidade de retirar as emisoras do ar. Para realizar as medições, idealmente, seria necessário conectar uma carga conhecida, no valor de 50Ω na saída do combinador (no lugar da antena), porém, por questões estruturais e tempo, não foi possível realizar este procedimento, sendo realizadas as medições considerando a própria antena instalada.

A Figura 37 ‘c’ mostra a substituição do flange de entrada do combinador para um flange com conector adaptável àquele utilizado pelo cabo do VNA2180 (conexão tipo ‘n’). A Figura 37 ‘d’ apresenta a preparação das medições, já com o VNA2180 conectado, calibrado, e pronto para aferir o sistema.

Para realizar a aferição do sistema, é necessário informar qual o range de frequências que se deseja trabalhar. No caso das medições desejadas para este sistema, se escolheu o range de 90MHz até 102MHz.

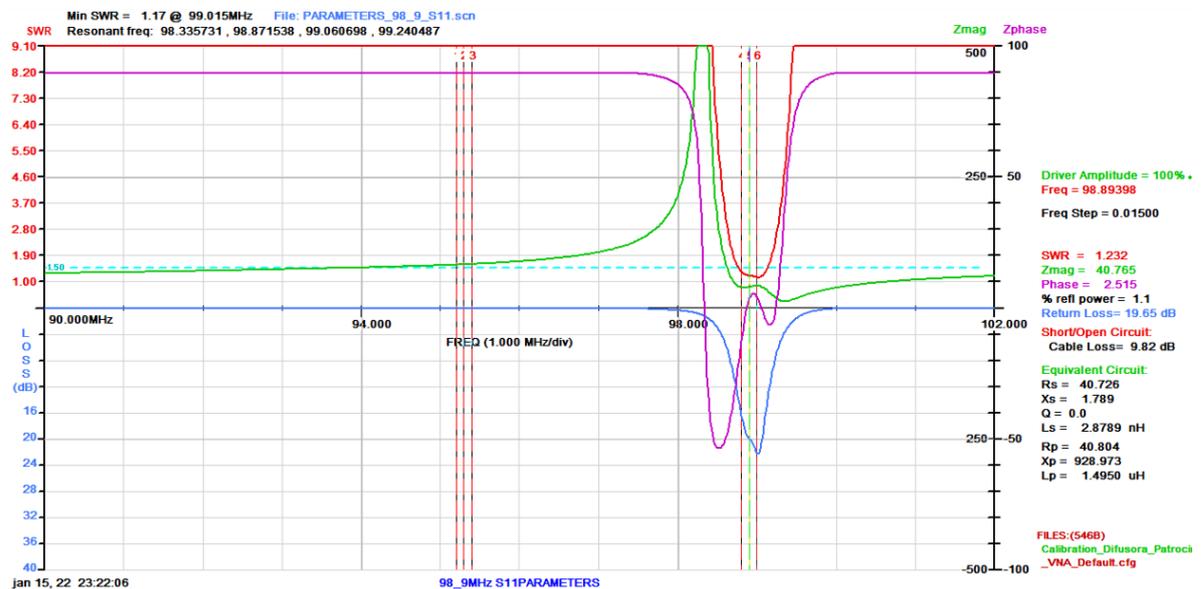
Informado o range, inicia-se o processo de leitura do *combiner*. Para a rádio 1, operando na frequência de 95,3MHz e para a rádio 2 operando na frequência de 98,9MHz tem-se os seguintes gráficos mostrados respectivamente nas Figura 38 e 39.

Figura 38 - Gráfico com as informações lidas para a rádio 1 na frequência de 95,3MHz



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 39 - Gráfico com as informações lidas para a rádio 2 na frequência de 98,9MHz



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na sequência é apresentado o gráfico para cada informação de interesse de forma separada, com os respectivos comentários pertinentes.

4.3.2.1 – SWR e Perda por Inserção

A SWR e a Perda de Retorno são dois parâmetros de alta relevância nos sistemas de transmissão de rádio difusão. A SWR informa o quanto determinado sinal está casado em relação a sua saída. Quanto mais próximo de 1 melhor casado está o sistema. Valores maiores de SWR indicam um casamento inadequado.

Já a perda por retorno caracteriza o quanto da potência do sinal está retornando ao sistema. A SWR e a Perda de Retorno se apresentam como dois opostos onde cada um deles decresce com o aumento do outro.

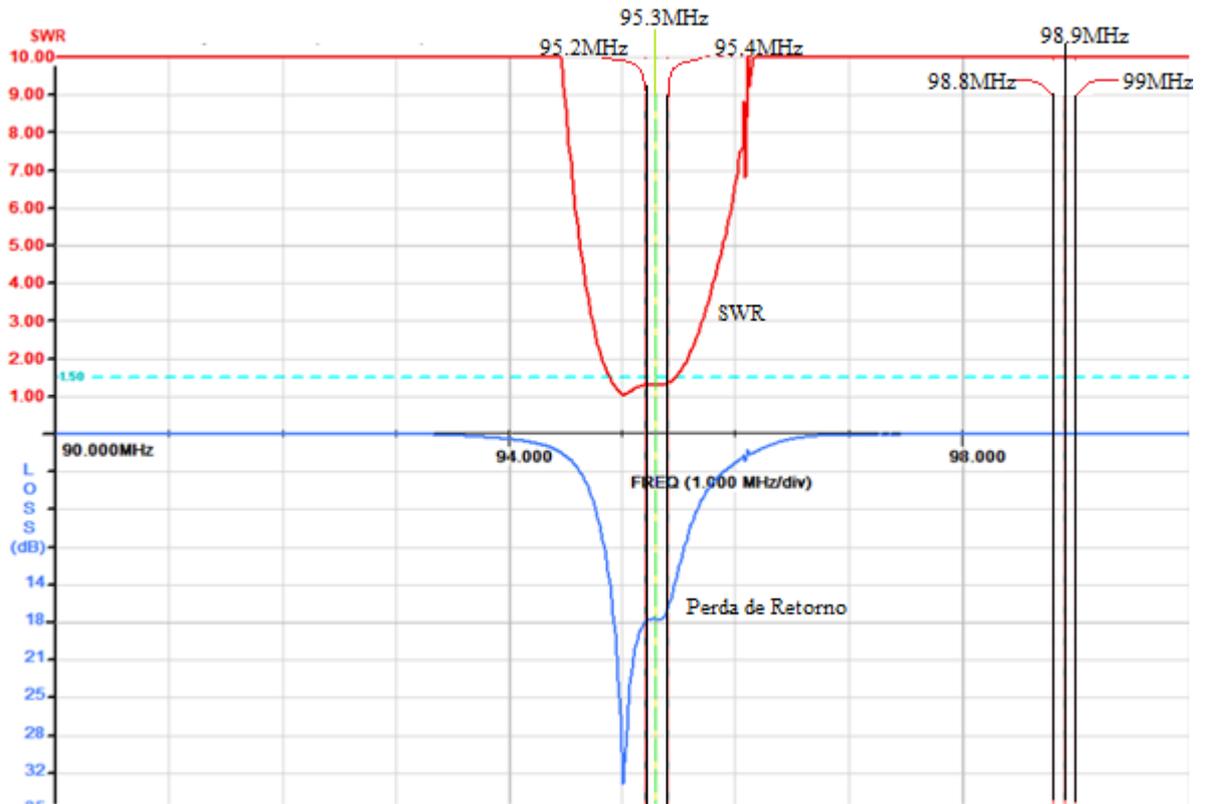
Para o combinador deste projeto, o valor de SWR sofre variações pequenas dentro do canal das rádios FM, resultando em um valor médio de 1,3. Em projetos práticos, este valor representa um ajuste com muita eficiência para o sistema. Na prática, qualquer acoplamento, ou junção irá apresentar alguma perda no resultado final, por menores que sejam. Tais perdas refletem em um pequeno descasamento de impedâncias, fazendo com que a SWR tenda a ser um valor próximo de 1, e não exatamente 1 para bons casamentos de impedância.

Nas Figura 40 e 41, tem-se o gráfico contendo os valores de SWR e Perda de Retorno alcançada no projeto. Para a faixa do canal na frequência de 95,3MHz visto na Figura 40 e para a frequência 98,9MHz na Figura 41, o valor de SWR está próximo de 1 (escala vermelha do eixo vertical).

Nas mesmas figuras (40 e 41) é também visível o comportamento da perda de retorno para o combinador nas respectivas frequências das rádios (escala azul do eixo vertical), bem como ao longo de uma parte do espectro de frequências. Conforme esperado, dentro dos canais das emissoras, a SWR atinge valores médios de 1,320 ao longo dos canais, sendo que a perda de retorno para a mesma faixa é atenuada para níveis médios de 17dB.

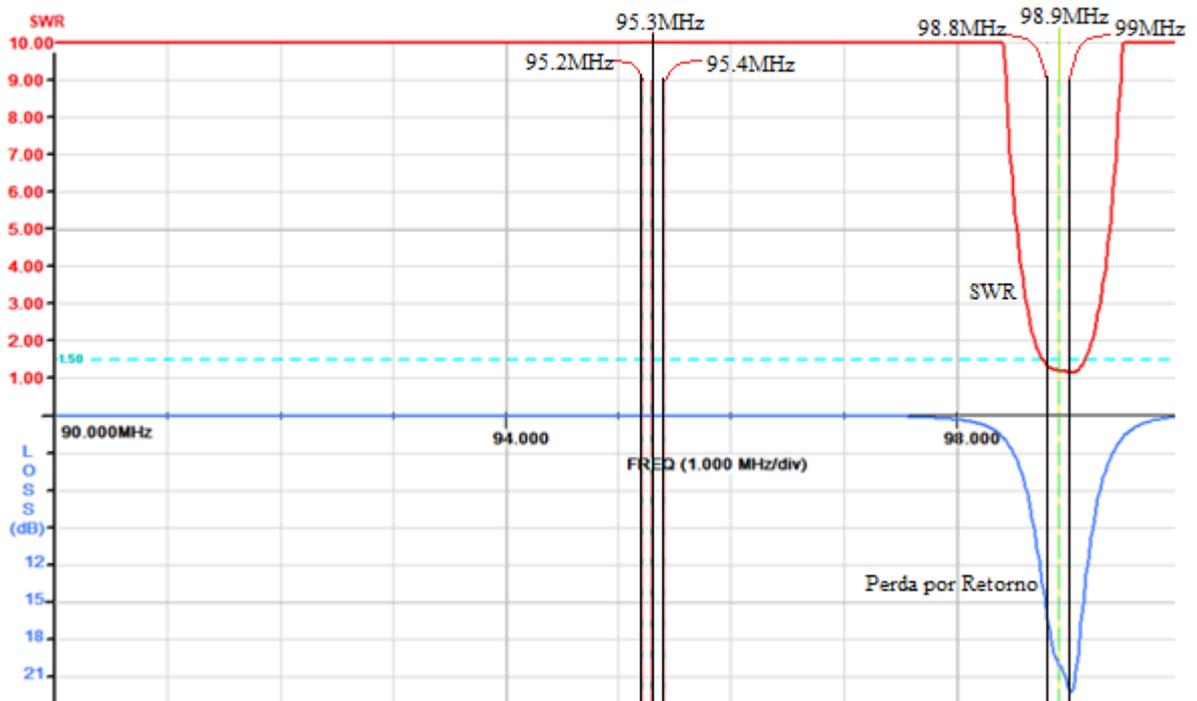
Ao longo dos canais das emissoras, os valores de SWR correspondem a um ótimo casamento, com baixa perda de retorno. Conforme se afasta da frequência central das emissoras, observa-se que o *combiner* mostra-se descasado, possuindo alto valor de SWR e grande perda por retorno. A perda de retorno vista nas figuras, mostra que para frequências afastadas daquela central das rádios, os sinais sofrem forte atenuação.

Figura 40 – SWR E Perda por Retorno Rádio 95,3MHz



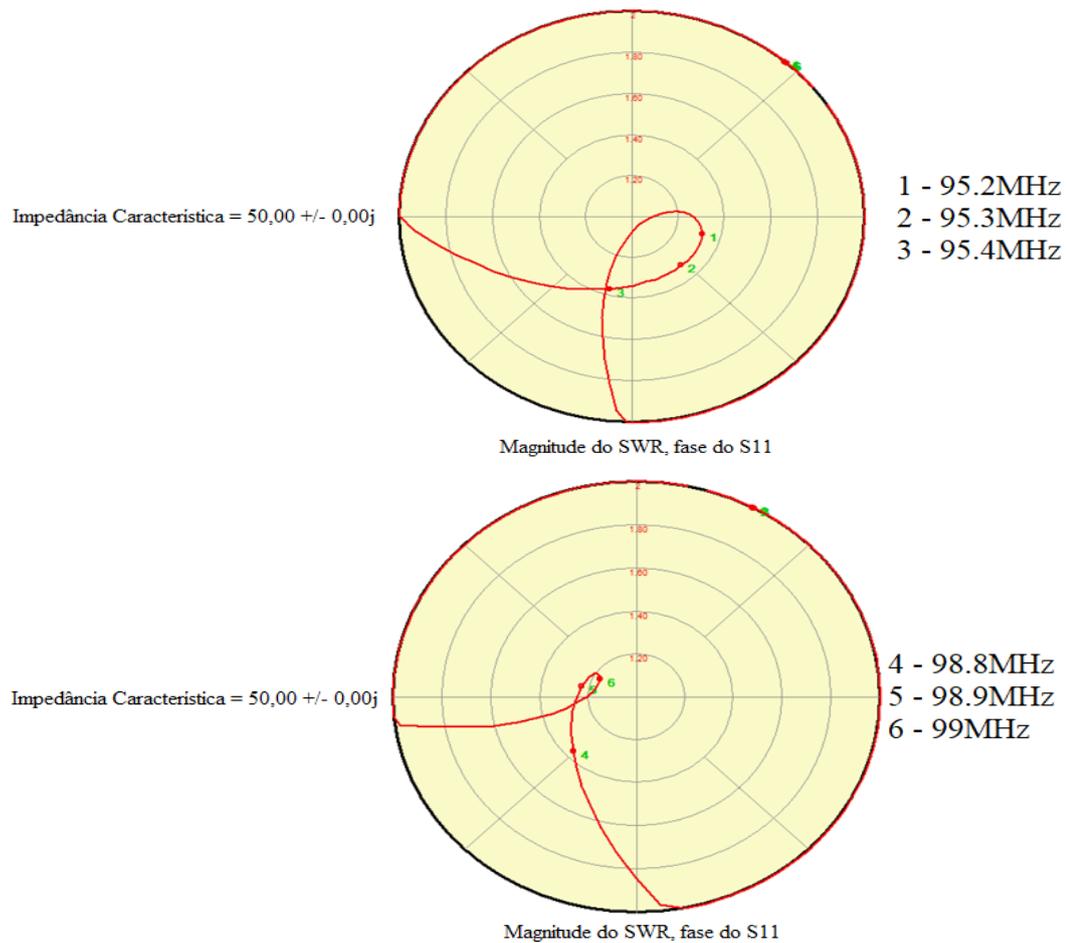
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 41 – SWR E Perda por Retorno Rádio 98,9MHz



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 42 – Carta de Smith para o comportamento da magnitude do SWR e da fase do parâmetro S11



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Figura 42 traz uma visualização dos resultados apresentados nas Figura 40 e 41, através do gráfico a partir da carta de Smith. O centro da carta corresponde à impedância característica. Como pode ser observado, devido aos efeitos dos ajustes de acoplamentos, bem como sintonia dos filtros do combinador, o resultado está deslocado do centro, afastando-se ainda mais conforme se distancia das frequências centrais das emissoras.

A visualização pela carta de Smith, conforme abordado, traz visualização prática da variação das variáveis e serve como direcionamento para o alinhamento durante o ajuste por indicar mais facilmente, onde o ajuste está interferindo diretamente (capacitância, indutância). Ainda, o objetivo de alinhamento pela carta, é trazer o circulo visto na Figura 42, o mais próximo do centro. Para o combinador em questão, os pontos ótimos de ajustes, conforme apresentados pelas Figura 40 e 41 é também apresentado na Figura 42.

4.3.2.2 – ZMag e Zfase

Os parâmetros Z_{Mag} e Z_{fase} mostram quais são os valores da impedância dos filtros de acordo com a frequência. Como dito, impedância é um valor referente à oposição oferecida por um dispositivo quanto à tensão e corrente, adiantando um ou outro. Ela varia de acordo com a frequência, e para valores de transferência máxima de potência, se tornam mais favoráveis de acordo com o equilíbrio do sistema como um todo. Cada ponto de junção, bem como comprimento do caminho percorrido por um sinal de rádio frequência fornece um valor de impedância.

As Figura 43 e 44 apresentam o comportamento da magnitude bem como da fase com que o combinador está respondendo, de acordo com a leitura de cada porta. Como dito, a impedância é formada por uma parte real e uma parte imaginária que correspondem respectivamente a Z_{mag} e Z_{fase} nas figuras.

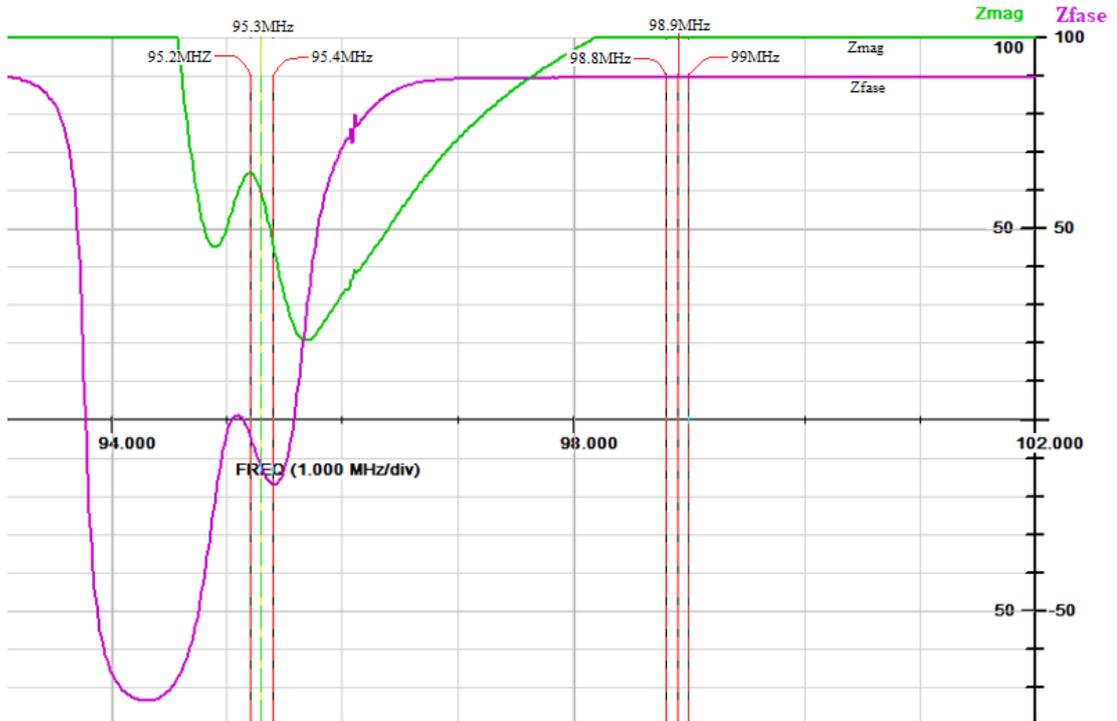
Como informado, cada elemento possui uma característica de impedância descrita em manual. Quando todos os elementos (antena, linha de transmissão, combinador, saída do transmissor) são postos em operação, necessitam ser conectados. Destas conexões, desequilíbrios surgem modificando a impedância dos elementos. Para contornar esses descasamentos, são realizados ajustes nos equipamentos, geralmente transmissor e para este caso, no combinador, de forma a casar o sistema como um todo.

Cada ponto de ajuste do combinador modifica a magnitude da impedância, assim como sua fase. Depois de atingido o valor ótimo de SWR, os gráficos vistos nas Figura 43 e 44, apresentam as variações finais para os valores de impedância do *combiner*.

Como dito a impedância característica da linha de transmissão e da antena, são de $50 \pm j0 \Omega$. Espera-se que a impedância do combinador seja esta também, porém como pode ser observado existe certa variação dentro dos canais. Esta variação é decorrente puramente do ajuste para obtenção do correto casamento.

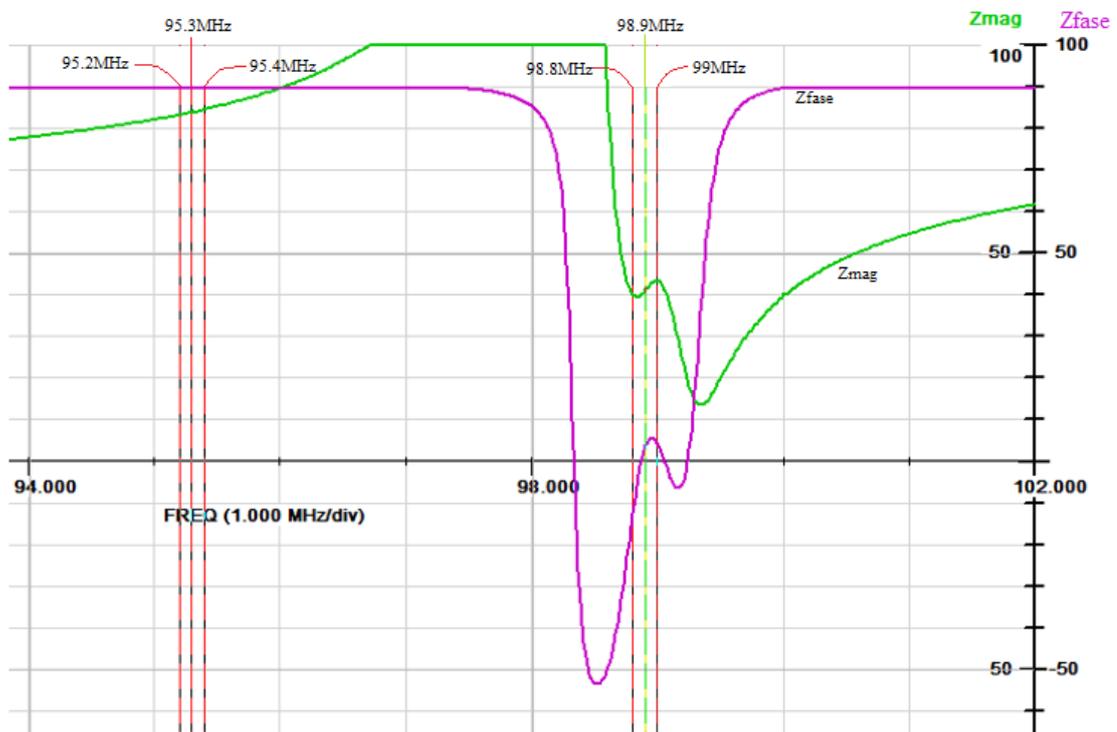
Para o canal corresponde à frequência de 95,3MHz tem-se uma variação contínua dentro do canal com valores variando entre $Z_{mag} = 64,851$ a $47,997$ e $Z_{fase} = -3,231^\circ$ a $-16,688^\circ$. Para a frequência de 98,9MHz, $Z_{mag} = 40,804$ a $43,549$ e $Z_{fase} = -15,367^\circ$ a $5,123^\circ$. Como observado os valores divergem da impedância característica da linha de transmissão e antena ($50 \pm j0 \Omega$), quando um casamento de impedâncias ótimo é atingido.

Figura 43 - Z_{Mag} e Z_{fase} Rádio 1 na frequência de 95,3MHz



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 44 - ZMag e Zfase Rádio 2 na Frequência de 98,9MHz



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.3.2.3 – Atraso de Grupo e S21_Mag

O parâmetro atraso de grupo tem impacto direto sobre o sistema combinado. Como visto, ao passar um sinal por um limitador de largura de banda, deseja-se que o tempo gasto pela mensagem seja igual por toda a faixa de frequência. No entanto, na prática, nem sempre é possível obter um tempo igual. Dessa forma, trabalha-se de maneira a obter a melhor linearidade possível.

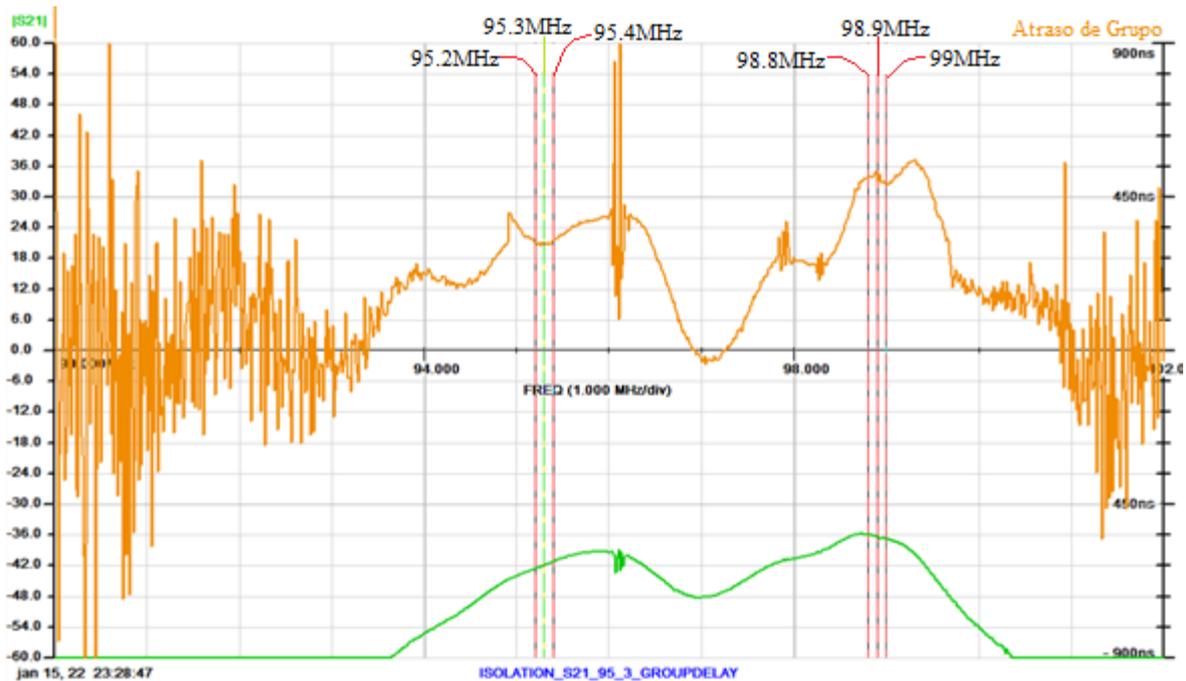
A Figura 45 traz o comportamento do atraso de grupo para o *Star Point* utilizado neste projeto. Como pode ser observado, dentro dos canais das emissoras ocorrem variações para o atraso de grupo. Ainda sim, para este projeto, não houve a necessidade de instalação de dispositivo externo para correção do atraso de grupo das emissoras. Um importante aspecto sobre o atraso de grupo é que não existe ajuste para correção ou intervenção, diretamente no combinador.

Da análise do atraso de grupo, para a rádio 1, o valor médio é praticamente plano em toda a faixa do canal, ficando em torno de 317ns. Já para a rádio 2, graficamente temos uma pequena variação que ainda sim pode ser desconsiderada por não interferir fortemente no resultado final, não exigindo correção externa. O valor médio do atraso de grupo para a rádio 2 está em torno de 500ns.

O parâmetro S21_Mag refere-se à isolação entre portas do combinador, ou seja, quanto à porta de entrada rádio 1 está isolada da porta de entrada da rádio 2 e vice versa. Para uma operação segura, esta isolação depende diretamente da quantidade de filtros necessários na entrada, para garantir que não haja riscos de retornos entre rádios. Os valores dependem de projeto para projeto, sendo um valor ótimo para este tipo de combinador, isolações da ordem de 30dB.

A Figura 45 fornece também, o comportamento da magnitude da isolação entre as portas do combinador. Pode ser observado que nas frequências da rádio 1, 95,3MHz, a isolação decai para um valor de aproximadamente -42dB (escala da esquerda). Já para a rádio 2, 98,9MHz, a isolação atinge aproximadamente -36dB. Para estes níveis de isolação entre portas, é garantido que a quantidade de potência que uma entrada recebe da outra, devido à potência dos transmissores, seja suficientemente pequena, garantindo a total isolação entre portas do sistema.

Figura 45 – Atraso de Grupo e S21_Mag rádio 95,3MHz e 98,9MHz



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.3.2.4 – Análise do Espectro de Frequências

Com a finalidade de realizar testes quanto ao comportamento da emissora e sua convivência com as demais, faz-se necessário realizar a visualização do espectro de frequências. Para este procedimento, necessita-se de um equipamento analisador de espectro. O equipamento utilizado com essa finalidade foi o USB-SA44B.

Este analisador de espectro contempla range de 1Hz a 4GHz, alta sensibilidade de recepção (-125dBm, de 150kHz até 1GHz e -115dBm, de 1GHz até 4GHz). Não necessita de fonte externa, sendo alimentado pela própria conexão USB do computador. É um dispositivo móvel de fácil operação, desenvolvido e distribuído pela *Signal Hound*. Para realizar a operação do Hardware, o software utilizado também é distribuído pela *Signal Hound* e pode ser baixado gratuitamente em <https://signalhound.com/spike/>.

O software *Spike* permite a visualização e o devido tratamento das leituras realizadas pelo hardware USB-SA44B. O conjunto *Spike* e USB-SA44B resulta em um poderoso analisador de espectro que fornece leituras precisas e de tempo real. Além disso, permite o armazenamento e gravação de leituras para tratamento posterior com o auxílio de um computador. A Figura 46 apresenta imagem do analisador de espectro utilizado.

Figura 46 – Hardware Analisador de Espectro USB-SA44B



Fonte: Adaptado de <https://signalhound.com/sigdownloads/SA44B/SA44B-User-Manual.pdf>

Para realizar a utilização do equipamento, conforme possível ver na Figura 46, basta inserir a antena na entrada (input 50Ω), conectar a entrada USB através de um cabo ao PC, e abrir o software *Spike* no computador. Posterior a isso, realiza-se as definições da faixa de frequência que se deseja realizar a leitura, e assim o equipamento fornece em tempo real as medições do espectro. Ressalta-se que cuidados devem ser tomados para as medições já que, trata-se de um equipamento altamente sensível, sendo necessário tomar cuidado com o nível de potência inserido em sua entrada.

De forma a prevenir danos ao equipamento, às medições foram realizadas a uma distância de 100 metros das torres, fazendo com que a potência percebida pelo equipamento não fosse suficientemente alta para danificar sua entrada e nem baixa para afetar as leituras sobre o sistema radiante para as rádios do projeto.

Realizando o procedimento mencionado, e configurando o range de frequências para iniciar em 79MHz e terminar em 115MHz, a Figura 47 fornece o espectro de frequência lido pelo equipamento para a localidade das emissoras do projeto.

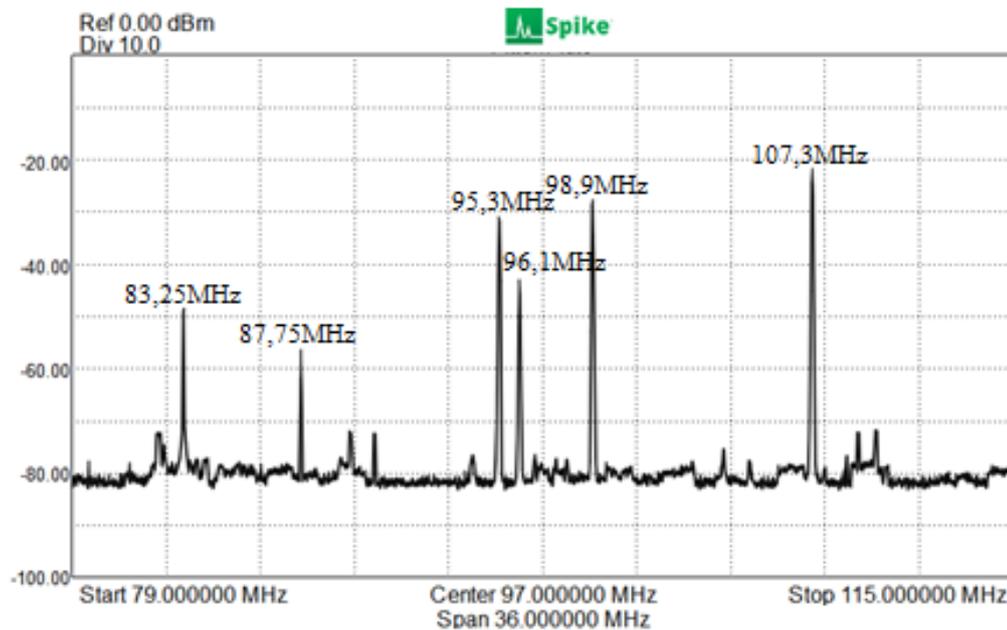
Na Figura 47, *Start* + ‘valor’ representa o início do intervalo de medição. *Center* + ‘valor’ é a frequência central mostrada no gráfico. *Stop* + ‘valor’ é a frequência final do intervalo medido. *Span* + ‘valor’ representa o range total ($Span = Stop - Start$). A escala vertical indica o valor em dBm do sinal presente, sendo que cada divisão possui 10dBm.

De acordo com o Ato 4174 da ANATEL, a Seção 1.1.6 é muito clara quanto a espúrios em RF. Na íntegra ela informa que:

“Qualquer emissão presente em frequências afastadas de 120 a 240 kHz, inclusive, da frequência da portadora, deverá estar pelo menos 25 dB abaixo do nível da portadora sem modulação; as emissões em frequências afastadas da frequência da

portadora de mais de 240 kHz até 600 kHz, inclusive, deverão estar pelo menos 35 dB abaixo do nível da portadora sem modulação. As emissões em frequências afastadas de mais de 600 kHz da frequência da portadora deverão estar $(73+P)$ dB (P = potência de operação do transmissor, em dBk) abaixo do nível da portadora sem modulação, sendo 80 dB a maior atenuação exigida.” (ANATEL, 2021)

Figura 47 – Espectro para a faixa de frequência de 79MHz a 115MHz lida na região das emissoras.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Depois de conferido o combinador já ajustado e encontrado valores aceitáveis e compreendidos como corretos para uma operação segura, a avaliação passa para o comportamento externo das rádios. Assim, a luz da norma é elaborada as medições apresentadas a seguir, de forma a identificar se de fato as análises realizadas para o combinador não estão causando nenhuma interferência.

Para isso, a leitura realizada pelo analisador de espectro mostrada na Figura 47 e salva no computador é manipulada de forma a mostrar particularidades do comportamento do sistema.

Conforme previsto no Ato 4174, a análise inicial será sobre as frequências afastadas de 120kHz, 240kHz e 600kHz da frequência central das emissoras. O espectro de frequências é mostrado nas Figura 48 e 49.

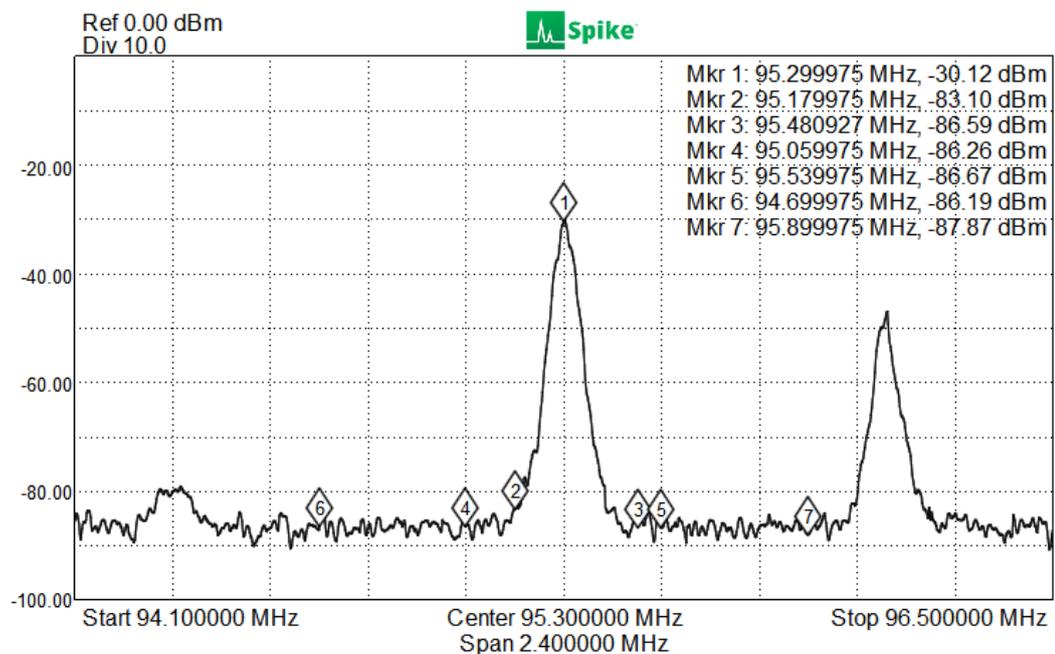
Mkr nas figuras corresponde à abreviação de *Markers* (Marcadores) que nada mais são que, pontos inseridos para visualização e análise. O software permite a inserção de 9 Mkrs em diferentes frequências a escolha do usuário, sendo uma ferramenta muito útil para auxiliar na exibição dos resultados como será apresentado. As Figura 48 e 49 contém cada uma 7 Mkr's, sendo cada um inserido em uma frequência de interesse, conforme a necessidade apontada pelo Ato 4174. As Tabela 3 e 4 apresentam a organização dos Mkr's.

Tabela 3 – Referência para os Marcadores da Figura 48.

Mkr 1	Frequência da Portadora da emissora	95,3MHz
Mkr 2	Frequência +/- 120KHz distante da portadora	95,18MHz
Mkr 3		95,42MHz
Mkr 4	Frequência +/- 240KHz distante da portadora	95,06MHz
Mkr 5		95,54MHz
Mkr 6	Frequência +/- 600KHz distante da portadora	94,7MHz
Mkr 7		95,9MHz

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 48 - Avaliação Espectro de frequências rádio 1.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Devido a cálculos internos do software e hardware do analisador de espectro, o valor dos marcadores sempre é ajustado para a frequência mais próxima da selecionada. Esta pequena variação na frequência ocorre devido às medições incluírem um *span* diferente daquele usado, o que faz com que a precisão da marcação seja afetada, porém, sem causar distorções no resultado final.

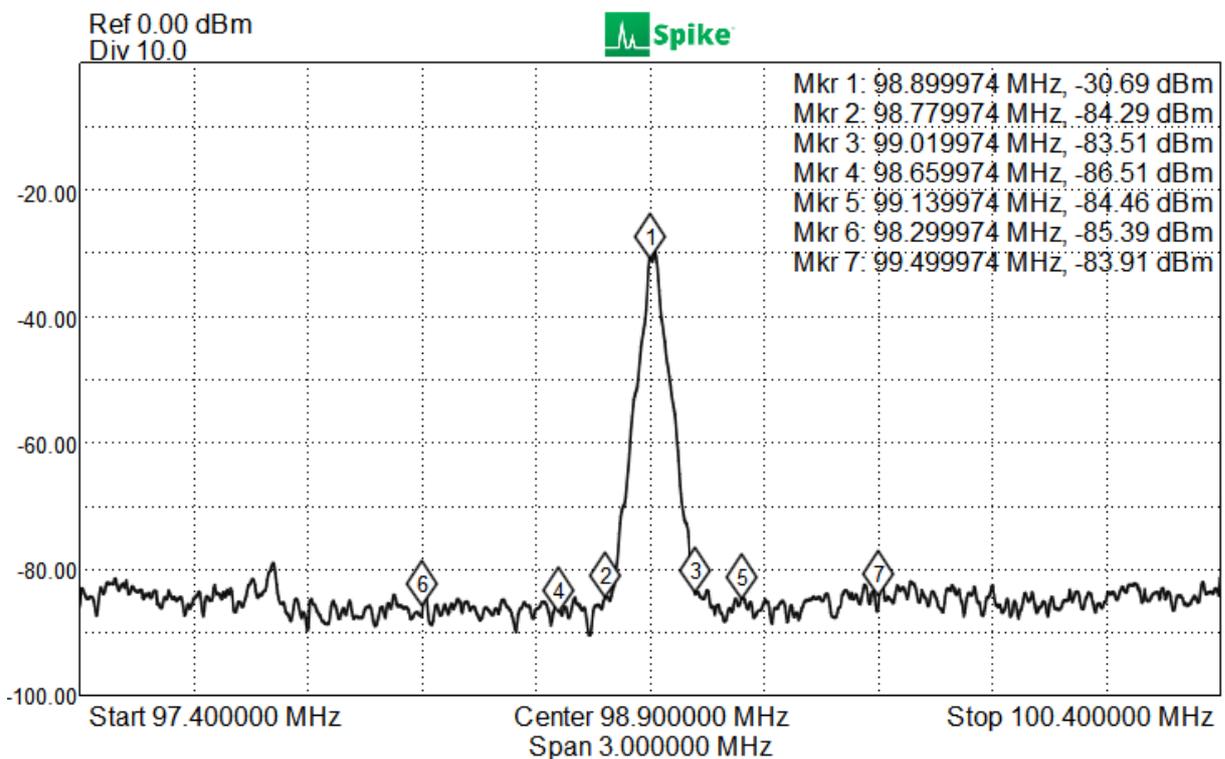
Conforme visto nas figuras 48 e 49, para todos os marcadores, a diferença de potência é maior que a exigida pelo Ato 4174 da ANATEL, concluindo assim, que não há interferências ou emissões espúrias para ambas as rádios do projeto até as frequências distantes de 600kHz da portadora das emissoras.

Tabela 4 - Referência para os Marcadores da Figura 49

Mkr 1	Frequência da Portadora da emissora	98,9MHz
Mkr 2	Frequência +/- 120KHz distante da portadora	98,78MHz
Mkr 3		99,02MHz
Mkr 4	Frequência +/- 240KHz distante da portadora	98,66MHz
Mkr 5		99,14MHz
Mkr 6	Frequência +/- 600KHz distante da portadora	98,3MHz
Mkr 7		99,5MHz

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 49 - Avaliação Espectro de frequências rádio2.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para ambas as Figura 48 e 49, a frequência central do gráfico foi ajustada para ser igual a das emissoras. Como a norma exige que o nível de ondas espúrias para frequências maiores que 600kHz da portadora seja menor que $-73\text{dB} + P$ (P = Potência de operação do transmissor em dBk) ou -80dB (limite máximo exigido) e existem outras emissoras operando no mesmo espectro, existe a necessidade de realizar a busca por pontos de relevância para o estudo.

Dessa forma, a Portaria nº133, de 26 de abril de 1995 “estabelece os critérios que devem ser assegurados nas áreas de cobertura de estações de radiodifusão sonora em FM...” (ANATEL,

1995). Esta portaria define sobre o termo produto de intermodulação e na Seção 3.5.3 aponta as Equações 4.3 e 4.4 para o cálculo:

$$F_{inter\ Mod} = 2 * F1 - F2 \quad 4.3$$

$$F_{inter\ Mod} = F1 + F2 - F3 \quad 4.4$$

Onde: $F_{interMod}$ = frequência de produto de intermodulação

F1 – Frequência de interesse 1

F2 – Frequência de interesse 2

F3 – Frequência de interesse 3

O termo frequência de produto de intermodulação refere-se aquelas em que podem surgir espúrios devido ao batimento das frequências, gerando interferências. A Portaria 130 prevê o cálculo considerando 2 ou 3 sinais presentes. De forma a realizar uma boa análise do espectro para as questões envolvendo os produtos de intermodulação, é apresentada na sequência uma série de medições realizadas.

4.3.2.4.1 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 1 e 2

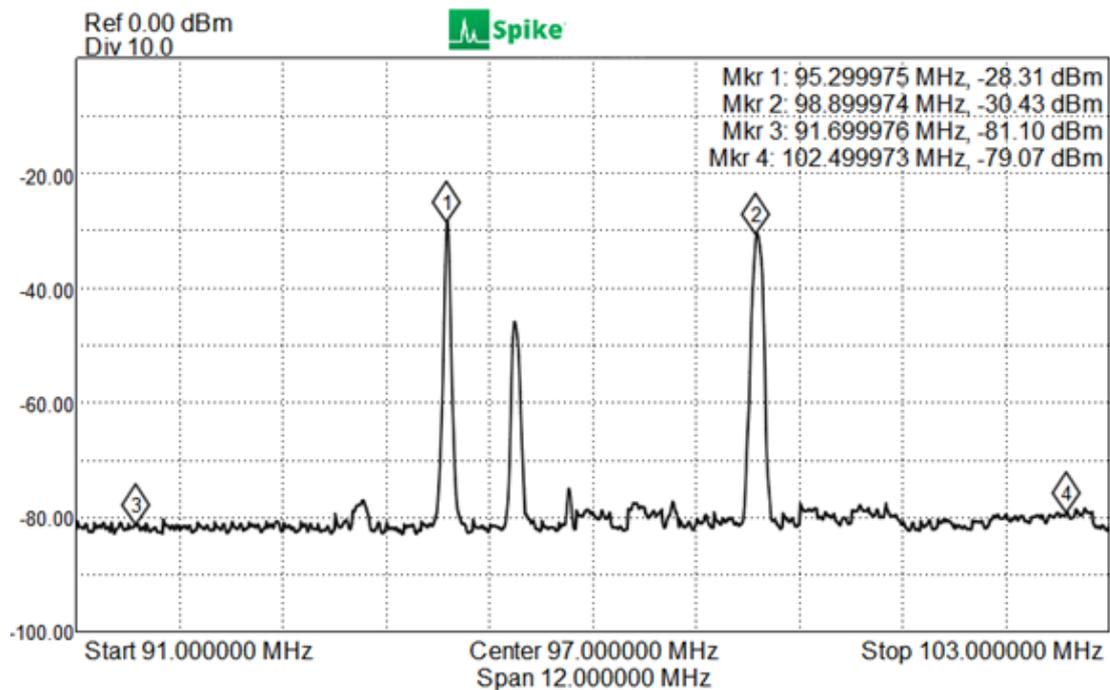
A partir da utilização da Equação 4.3, identificou-se as posições onde era necessário realizar o levantamento dos pontos de medição. Dessa forma, a Figura 50 traz o gráfico com resultados obtidos para geração de onda espúria entre a rádio 1 e 2.

Na Figura 50 Mkr 1 e Mkr 2 estão ajustados para as frequências das rádios 1 e 2 respectivamente. Mkr 3 e 4 estão nas frequências calculadas a partir da Equação 4.3.

Para encontrá-las considerou-se $F1 = \text{Mkr } 1 = 95,3\text{MHz}$ e $F2 = \text{Mkr } 2 = 98,9\text{MHz}$. Aplicando a Equação 4.3 resulta em, $\text{Mkr } 3 = 2 * F1 - F2 = 91,7\text{MHz}$. Para Mkr 4, as frequências F1 e F2 devem ser invertidas, logo, $\text{Mkr } 4 = 2 * F2 - F1 = 102,5\text{MHz}$.

Como observado na Figura 50, os marcadores 3 e 4 apresentam potência próxima a -80dBm indicando assim que não há produto de intermodulação sendo emitido pelo conjunto das emissoras combinadas.

Figura 50 – Análise Espectro para Produto Intermodulação entre rádios do projeto.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3.2.4.2 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 1 e Emissora presente na frequência 96,1MHz

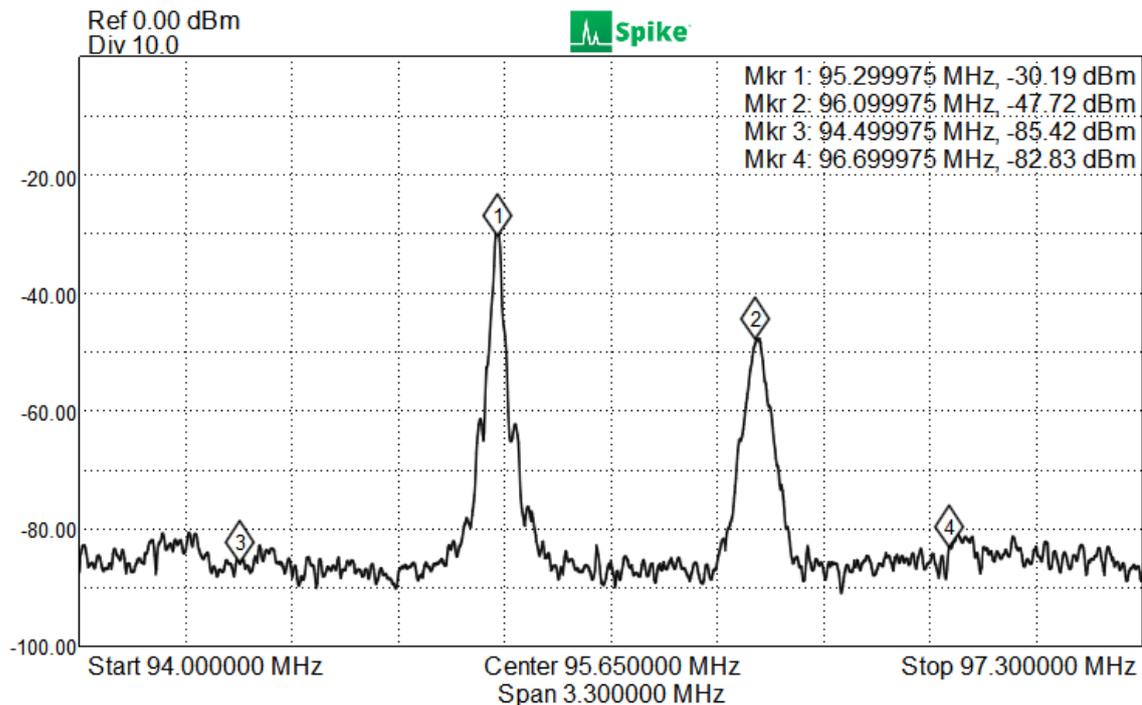
A partir da utilização da Equação 4.3, identificou-se as posições onde era necessário realizar o levantamento dos pontos de medição. Dessa forma, a Figura 51 traz o gráfico com resultados obtidos para geração de onda espúria entre a rádio 1 e a emissora presente na frequência 96,1MHz.

Na Figura 51 Mkr 1 e Mkr 2 estão ajustados para as frequências da rádio 1 e emissora na frequência 96,1MHz respectivamente. Mkr 3 e 4 estão nas frequências calculadas a partir da Equação 4.3.

Para encontrá-las considerou-se $F1 = \text{Mkr 1} = 95,3\text{MHz}$ e $F2 = \text{Mkr 2} = 96,1\text{MHz}$. Aplicando a Equação 4.3, resulta em $\text{Mkr 3} = 2 * F1 - F2 = 94,5\text{MHz}$. Para Mkr 4, as frequências $F1$ e $F2$ devem ser invertidas, logo, $\text{Mkr 4} = 2 * F2 - F1 = 96,7\text{MHz}$.

Para este caso, o resultado também é semelhante àquele para as rádios 1 e 2, ou seja, o produto de intermodulação está com nível conforme estabelecido pelo Ato 4174, isto é, menor do que 80dBm para frequências distantes mais que 600kHz das portadora.

Figura 51- Análise espectral para rádio 1 e uma rádio vizinha em 96,1MHz



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.3.2.4.3 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 2 e Emissora presente na frequência 96,1MHz

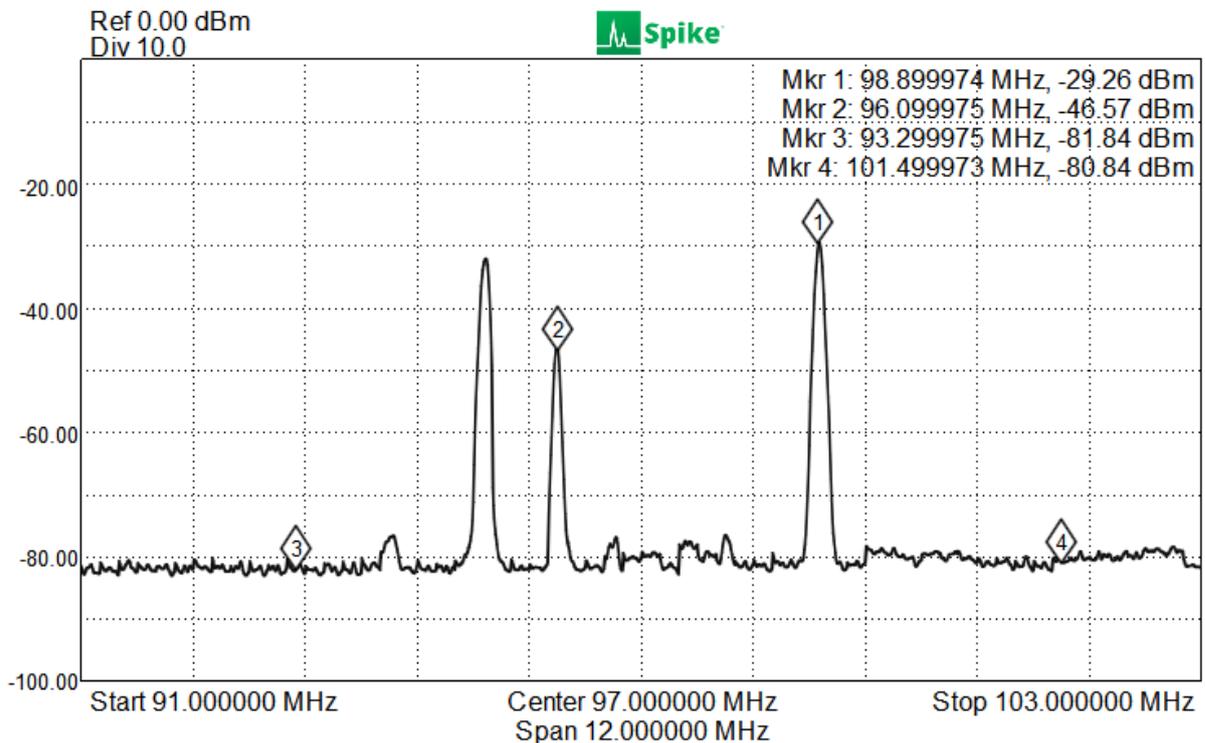
A partir da utilização da Equação 4.3, identificou-se as posições onde era necessário realizar o levantamento dos pontos de medição. Dessa forma, a Figura 52 traz o gráfico com resultados obtidos para geração de onda espúria entre a rádio 2 e a emissora presente na frequência 96,1MHz.

Na Figura 52 Mkr 1 e Mkr 2 estão ajustados para as frequências da rádio 2 e emissora na frequência 96,1MHz, respectivamente. Mkr 3 e 4 estão nas frequências calculadas a partir da Equação 4.3.

Para encontrá-las considerou-se $F1 = \text{Mkr 1} = 98,9\text{MHz}$ e $F2 = \text{Mkr 2} = 96,1\text{MHz}$. Aplicando a Equação 3.4, resulta em $\text{Mkr 3} = 2 * F1 - F2 = 93,3\text{MHz}$. Para Mkr 4, as frequências $F1$ e $F2$ devem ser invertidas, logo, $\text{Mkr 4} = 2 * F2 - F1 = 101,5\text{MHz}$.

O nível de potência para as frequências do produto de intermodulação para este caso, também estão dentro do que a norma estabelece ($-73\text{dB} + P$ ($P = \text{Potência de operação do transmissor em dBk}$) ou -80dB (limite máximo exigido)).

Figura 52 - Análise espectral para rádio 2 e uma rádio vizinha em 96,1MHz



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3.2.4.4 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 1 e 2 e Emissora presente na frequência 107,3MHz

A partir da utilização da Equação 4.3, identificou-se as posições onde era necessário realizar o levantamento dos pontos de medição. Dessa forma, a Figura 53 traz o gráfico com resultados obtidos para geração de onda espúria entre a rádio 1 e 2 de maneira individual com a emissora presente na frequência 103,7MHz.

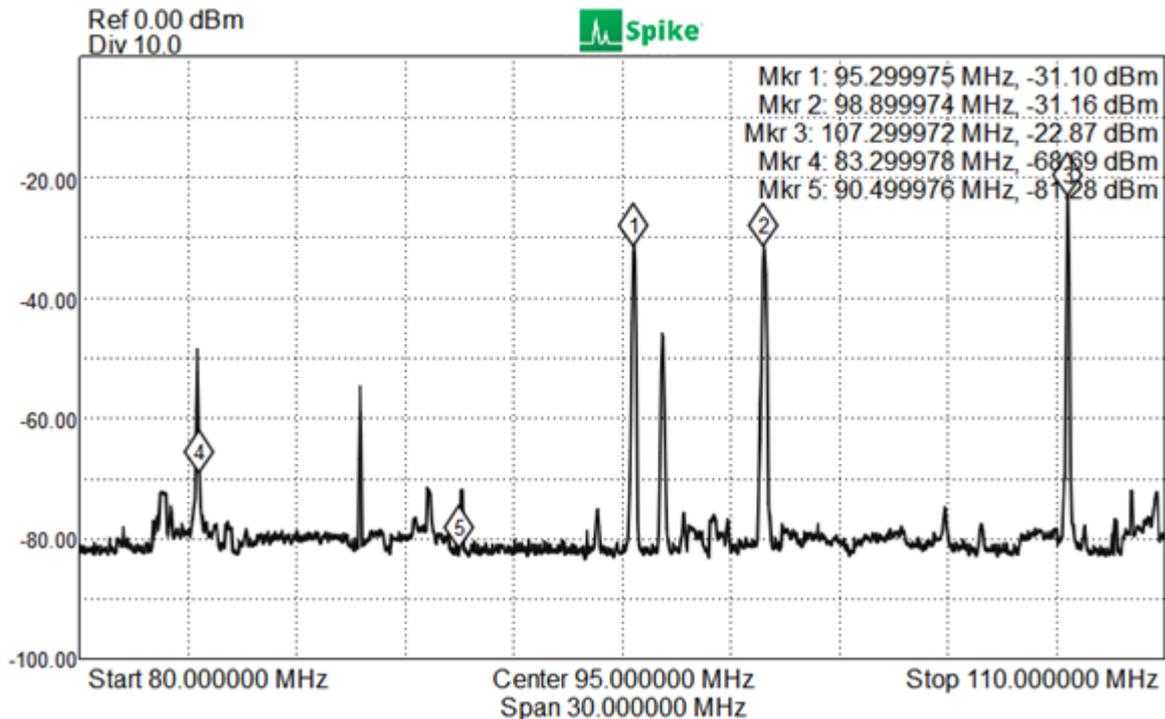
Na Figura 53 Mkr 1 e Mkr 2 estão ajustados para as frequências das rádios 1 e 2 respectivamente. O Mkr 3 está ajustado para a emissora na frequência 107,3MHz. Mkr 4 e 5 estão nas frequências calculadas a partir da Equação 4.3.

Para encontrá-las considerou-se $F1 = \text{Mkr 1} = 95,3\text{MHz}$ e $F2 = \text{Mkr 2} = 98,9\text{MHz}$ e $\text{Mkr 3} = 107,3\text{MHz}$. Aplicando a Equação 4.3 temos que, $\text{Mkr 4} = 2 * F1 - F3 = 83,3\text{MHz}$. Para Mkr 5, deve ser substituída a frequência F1 pela F2 na equação, logo, $\text{Mkr 5} = 2 * F2 - F3 = 90,5\text{MHz}$.

Nesta situação Mkr 5 ficou dentro da atenuação esperada, ou seja, não apresentou produto de intermodulação significativo. No entanto, para o Mkr 4, a frequência está muito próxima a frequência de um serviço disponibilizado para a região das emissoras, se tratando do canal 6

de televisão analógica. Somente analisando as medidas fornecidas pelo analisador de espectro, não é possível afirmar em um primeiro momento que, a potência presente na frequência do Mkr 4 = 83,3MHz é fruto de produto de intermodulação ou se é somente a potência fruto da portadora de vídeo do canal 6.

Figura 53 - Análise espectral entre rádios 1 e 2 e uma rádio vizinha em 107,3MHz



Fonte: Elaborado pelo Autor.

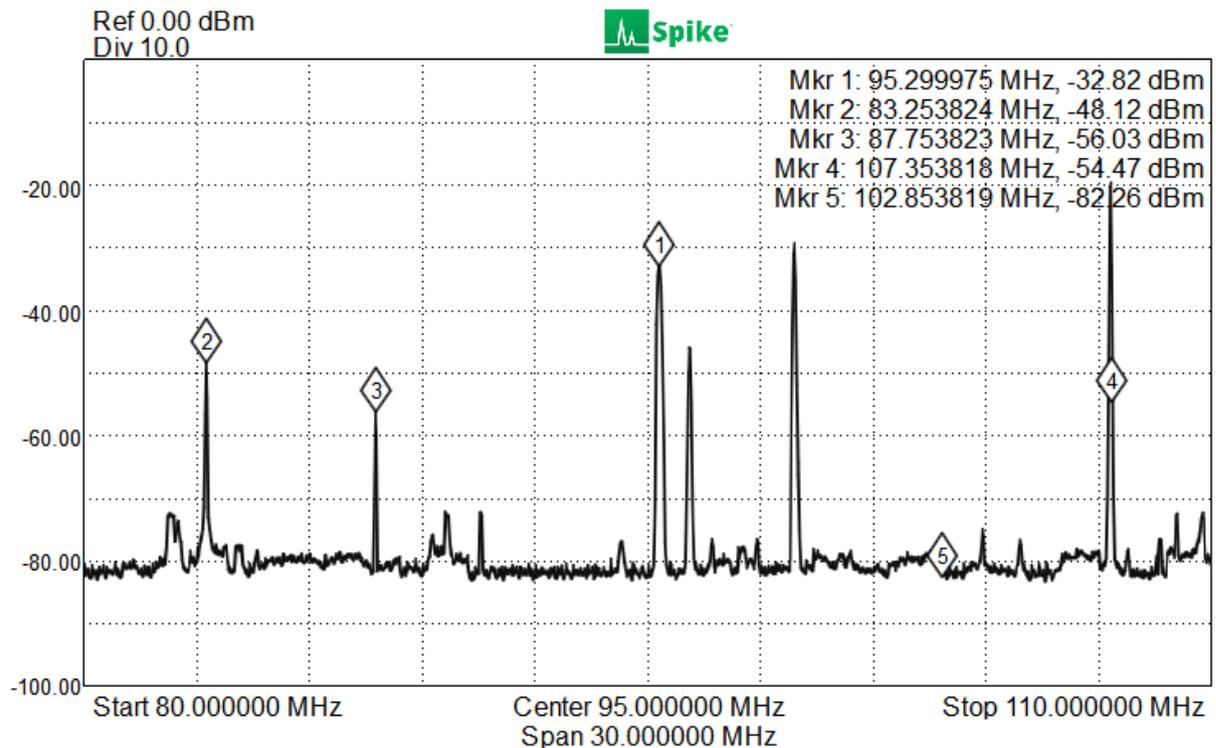
Uma forma de contornar essa dificuldade seria realizar o desligamento da emissora de TV, e assim conferir o espectro novamente para checar se pode haver espúrio sendo gerado nesta frequência.

Por se tratar de uma rádio que já está em operação há algum tempo no local, e levando em conta que não houve reclamações junto aos órgãos fiscalizadores, pode ser afirmado que, não existe onda espúria sendo gerada na frequência do Mkr 4, sendo a leitura visualizada através da Figura 53, correspondente ao nível de potência (-68,69dBm) para a largura de faixa da portadora de vídeo do canal 6 presente na localidade.

4.3.2.4.5 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 1 e a repetidora de TV analógica canal 6

A partir da utilização da Equação 4.3, identificou-se as posições onde era necessário realizar o levantamento dos pontos de medição. Dessa forma, a Figura 54 traz o gráfico com resultados obtidos para geração de onda espúria entre a rádio 1 e a repetidora do canal 6 de TV.

Figura 54 - Análise espectral entre rádio 1 e uma Emissora de TV analógica, canal 6.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 54 Mkr 1 está ajustado para as frequências da rádio 1 e Mkr 2 e 3 para a portadora de vídeo e áudio da emissora repetidora de TV canal 6, respectivamente. Mkr 4 e 5 estão nas frequências calculadas a partir da Equação 4.3.

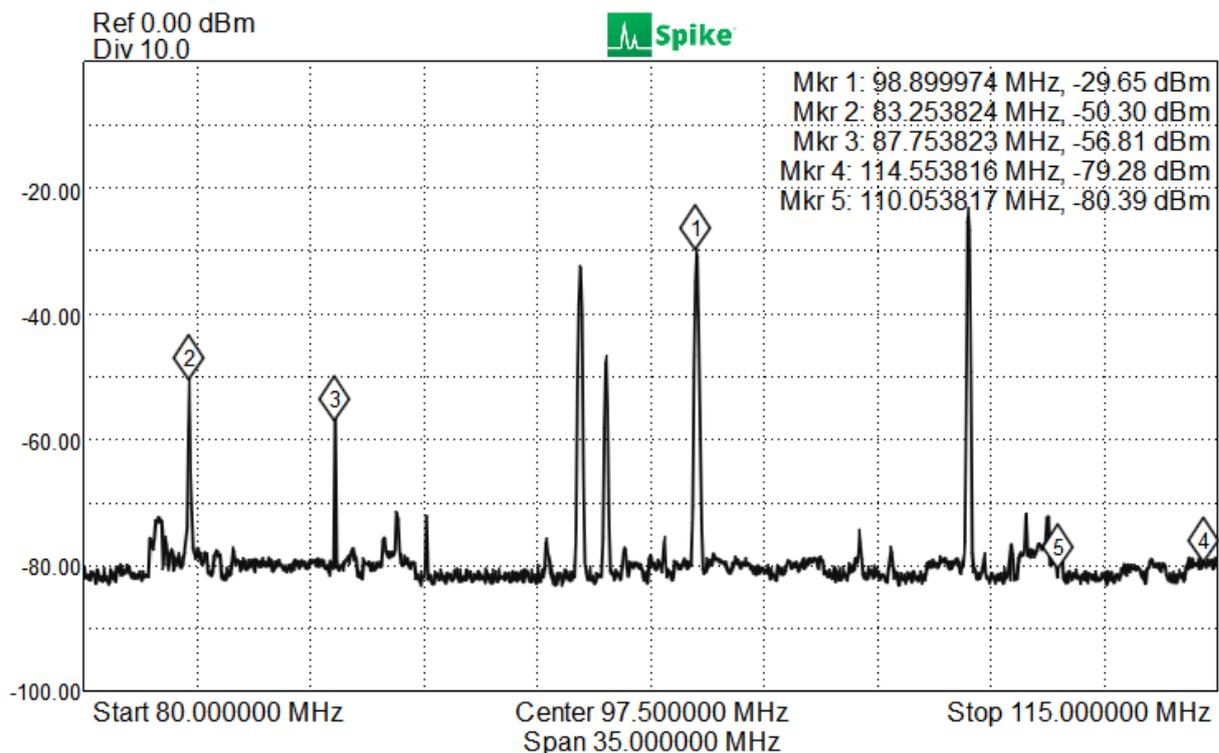
Para encontrá-las considerou-se $F1 = \text{Mkr 1} = 95,3\text{MHz}$ e $F2 = \text{Mkr 2} = 83,25\text{MHz}$ e $\text{Mkr 3} = 87,75\text{MHz}$. Aplicando a Equação 4.3, resulta em $\text{Mkr 4} = 2 * F1 - F2 = 107,35\text{MHz}$. Para Mkr 5, deve-se substituir a frequência $F2$ pela $F3$ na equação 4.3, logo, $\text{Mkr 5} = 2 * F1 - F3 = 102,85\text{MHz}$.

Nesta situação Mkr 5 ficou próximo de -80dBm . Porém a leitura de Mkr 4 retornou um valor alto de leitura. Como a frequência de Mkr 4 está dentro da frequência da rádio na frequência $107,3\text{MHz}$ e não havendo reclamações junto a ANATEL, considera-se que não há produto de intermodulação em MKr 4.

4.3.2.4.6 – Análise do Espectro de Frequências Entre Emissoras rádio 2 e a repetidora de TV analógica canal 6

A partir da utilização da Equação 4.3, identificou-se as posições onde era necessário realizar o levantamento dos pontos de medição. Dessa forma, a Figura 55 traz o gráfico com resultados obtidos para geração de onda espúria entre a rádio 2 e a repetidora do canal 6 de TV.

Figura 55 - Análise espectral entre rádio 2 e uma Emissora de TV analógica local, canal 6.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 55 Mkr 1 está ajustado para as frequências da rádio 2 e Mkr 2 e 3 para a portadora de vídeo e áudio da emissora repetidora de TV canal 6, respectivamente. Mkr 4 e 5 estão nas frequências calculadas a partir da Equação 4.3.

Para encontrá-las considerou-se $F1 = \text{Mkr 1} = 98,9\text{MHz}$ e $F2 = \text{Mkr 2} = 83,25\text{MHz}$ e $\text{Mkr 3} = 87,75\text{MHz}$. Aplicando a Equação 4.3, resulta em $\text{Mkr 4} = 2*F1 - F2 = 114,55\text{ MHz}$. Para Mkr 5, deve-se substituir a frequência $F2$ pela $F3$ na Equação 4.3, logo, $\text{Mkr 5} = 2*F1 - F3 = 110,05\text{MHz}$.

Pela análise do gráfico na Figura 55, para as frequências dos produtos de intermodulação apontados pelos Mkr's 4 e 5, a potência resultante está dentro dos limites previsto no Ato 4174 da ANATEL, isto é, próxima de -80dBm .

4.3.2.4.7 – Análise do Espectro de Frequências Entre rádios 1 e 2 e demais Frequências, considerando 3 sinais.

A partir da utilização da Equação 4.4, identificou-se as posições onde era necessário realizar o levantamento dos pontos de medição. Dessa forma, as Figura 56 e 57 trazem os gráficos com resultados obtidos para geração de onda espúria de acordo com os dados fornecidos nas Tabela 5 e 6 respectivamente.

A Tabela 5 fornece os resultados dos cálculos efetuados com uso da Equação 4.4, levando em conta as possibilidades para os produtos de intermodulação, a partir da combinação das duas emissoras do projeto, com as outras duas emissoras de rádio presentes no espectro de frequências da localidade medida mostrada na Figura 47.

A Tabela 6 fornece os resultados dos cálculos efetuados através da Equação 4.4, levando em conta a emissora de TV presente no canal 6 analógico, mostrada no espectro da Figura 47, através das portadoras de vídeo e áudio nas frequências 83,25MHz e 87,75MHz, respectivamente. É efetuada a combinação das duas emissoras do projeto, com as frequências do canal 6 de TV analógica.

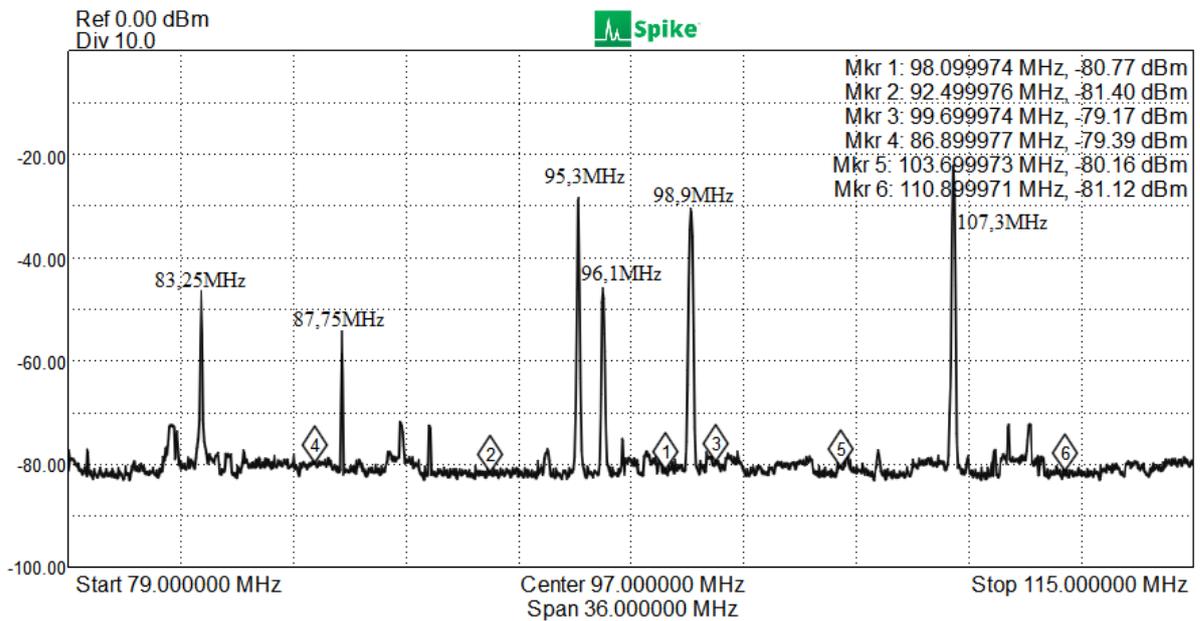
Tabela 5 – Posição dos Mkr's para análise do espectro de frequências fornecido na Figura 56, comparando 3 Sinais entre as rádios locais presentes.

F1(MHz)	F2(MHz)	F3(MHz)	Mkr (x) = F1+F2-F3 (MHz)
95,3	98,9	96,1	Mkr 1 = 98,1
95,3	96,1	98,9	Mkr 2 = 92,5
96,1	98,9	95,3	Mkr 3 = 99,7
95,3	98,9	107,3	Mkr 4 = 86,9
95,3	107,3	98,9	Mkr 5 = 103,7
107,3	98,9	95,3	Mkr 6 = 110,9

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Conforme pode ser observado nas Figura 56 e 57, todas as leituras nas posições dos marcadores selecionados estão com potências próximas de -80dBm, estando para os casos relacionados pela Equação 4.4, dentro do exigido pelo Ato 4174 da ANATEL.

Figura 56 – Análise do espectro conforme dados Tabela 5, para espectro comparando emissoras do projeto com emissoras de rádio existentes no local.



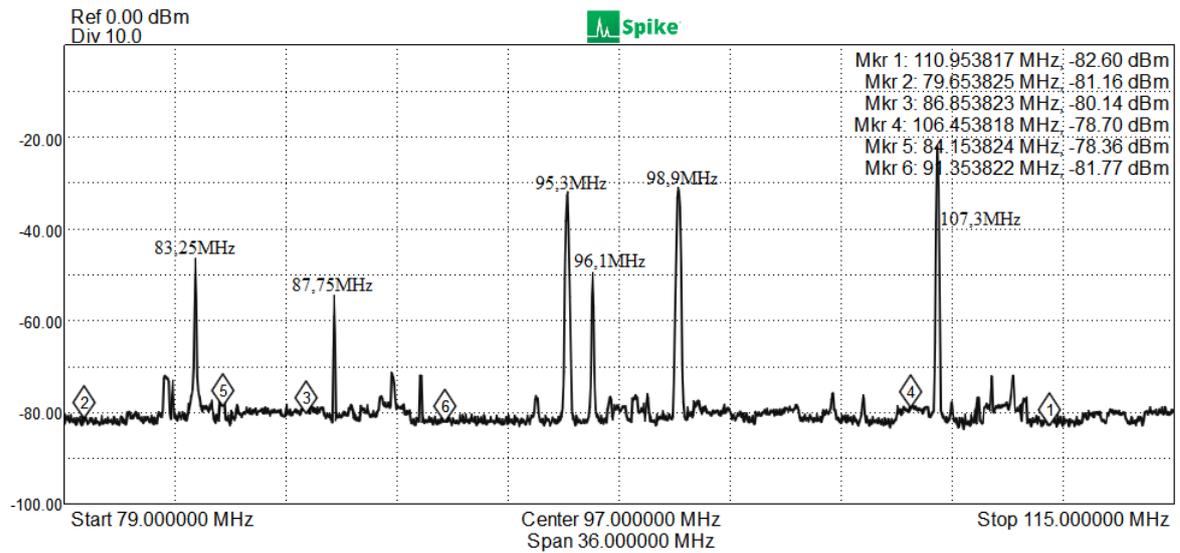
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 6 - Posição dos Mkr's para análise do espectro de frequências fornecido na Figura 57, comparando 3 Sinais para a repetidora de TV no canal 6.

F1(MHz)	F2(MHz)	F3(MHz)	Mkr (x) = F1+F2-F3 (MHz)
95,3	98,9	83,25	Mkr 1 = 110,95
95,3	83,25	98,9	Mkr 2 = 79,65
83,25	98,9	95,3	Mkr 3 = 86,85
95,3	98,9	87,75	Mkr 4 = 106,45
95,3	87,75	98,9	Mkr 5 = 84,15
87,75	98,9	95,3	Mkr 6 = 91,35

Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 57 - Análise do espectro conforme dados Tabela 6, para espectro comparando emissoras com o sinal da repetidora de TV canal 6.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.4 – Considerações finais para os resultados do projeto

Assim, como foi acompanhado nos resultados apresentados, pode-se afirmar que as estações operando com o combinador *Star Point* estão dentro da regulamentação prevista. Por fim, comentários adicionais acerca dos resultados são realizados no capítulo seguinte.

5 – Conclusão

O desligamento do rádio AM do espectro brasileiro trouxe uma nova perspectiva e sobrevida ao rádio para a nação. Indiscutivelmente o rádio AM representou importância inestimável à cultura brasileira. Foi com ele que se começou a organização das mídias no cenário brasileiro. A forma de noticiar ainda presente em outros meios de comunicação como a TV, por exemplo, mostram que o rádio AM está ainda enraizado e continuará a existir, porém não mais com ondas emitidas.

A amplitude modulada, ainda tem forte impacto sobre as telecomunicações, e por esse motivo, ainda está presente e continuará, como base de ensino para cursos técnicos e cursos de graduação de ensino superior como o ofertado pela Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações ofertado pela UFU (Universidade Federal de Uberlândia). A amplitude modulada representa o início dos estudos a cerca dos processos de modulação amplamente adotados em todos os meios de comunicação presentes no mundo atualmente.

Embora a TV, o Rádio FM, e a internet representem evolução para as comunicações, em alguma parcela ou parte intrínseca do processo utilizado para produzi-los, a modulação em amplitude estará presente, mesmo que conceitualmente.

A rádio FM como apresentado, mesmo com menor alcance em termos de cobertura que as Rádios AM, chega a um público maior devido oferecer um áudio de qualidade superior em relação ao seu antecessor. Este fato faz com que seja comum entre as pessoas, acompanhar a programação enquanto se lava a casa em um domingo, ouvindo aquela estação que toca suas músicas favoritas, ou fornece aquele entretenimento divertido ou ainda que traga aquela promoção para ingressos de cinema ou outras premiações. Neste sentido, sem dúvida ainda estará presente no costume dos brasileiros por muito tempo.

A migração do rádio AM para o FM foi um importante passo, que como apresentado, forneceu sobrevida a muitas rádios no Brasil. Todo o projeto abordado neste trabalho foi resultado dos efeitos da migração, o que comprova o aquecimento do setor no Brasil. A migração representou uma melhoria significativa para os telespectadores em se tratando da melhor qualidade audível do FM sobre o AM, além da facilidade de recepção, já que grande parte dos dispositivos móveis (celulares) estão aptos para receber sinais em FM.

Embora com muitas vantagens, milhões de dispositivos simplesmente perderam sua função, além de a migração não ser tão barata já que, significou realizar todos os procedimentos para construção das instalações bem como da regularização junto ao governo e seus órgãos

fiscalizadores. Apesar de tudo, ainda sim, representou grande avanço para as telecomunicações no Brasil.

Como dito, é devido à migração que o sistema combinado analisado neste trabalho foi projetado e instalado, com a proposta de realizar a otimização além de garantir a operação eficiente das rádios. As duas rádios utilizadas e citadas ao longo do trabalho, pertence ao mesmo radialista, um entusiasta do setor, apaixonado pelo mundo da rádio difusão e que buscava inovar em seu sistema.

Como abordado, os combinadores são dispositivos que reúnem sobre o sistema final de radiação, 'n' emisoras com potências e características diferentes. Sua base está fundamentalmente enraizada no uso de filtros e dispositivos de junção capazes de fornecer isolamento adequada aos sistemas, garantindo além dos efeitos já citados, economia sobre determinados aspectos.

Sua aplicação exige experiência e grande entendimento dos engenheiros e técnicos, acerca dos diversos efeitos que compõem as características do dispositivo. Há diferentes tipos de combinadores e cada um deles tem sua aplicação. Neste projeto, o combinador utilizado foi o descrito como o mais simples entre os *combiners*. Trata-se do *Star Point*, um combinador que utiliza filtros e uma junção T para realizar a união das emisoras sobre o mesmo sistema final. Outro tipo de combinador também discutido foi o combinador balanceado. Este combinador tem aplicações onde às potências dos transmissores de entrada possuem grande diferença, ou ainda, onde existe a necessidade de unir uma maior quantidade de emisoras. Embora o projeto seja um tanto mais complexo, é um combinador que tem como principal característica, fornecer maior isolamento entre as entradas, e ser facilmente expandido.

Conforme foi apresentado, o projeto prático contempla inúmeras definições e teorias que foram abordadas superficialmente neste. Dados técnicos a cerca de cada equipamento escolhido possuem diferentes características que necessitam de compreensão teórica e prática. O projeto teve sua fase inicial no contato que surgiu da necessidade do radialista, com a capacidade técnica do engenheiro em propor a solução a esta necessidade. A solução apresentada neste trabalho contemplou horas de estudos em sua fase inicial, do próprio espectro de frequências, de forma a identificar aquela em que o projeto teria resultados adequados, seguindo todos os aspectos normativos.

Escolhida esta particularidade da frequência das emisoras, passou-se para a fase em que o engenheiro aponta, quando possível, o tipo de estrutura propício a ser usada no projeto, a posição dos elementos entre outros. Quando a estrutura já está pronta, cabe ao engenheiro avaliar se ela está adequada para manter tudo operando conforme a necessidade. Após estes

levantamentos, avançou-se para a instalação dos equipamentos dentro do abrigo, bem como na torre.

O objetivo principal deste trabalho concentrou-se em apresentar os combinadores como ferramenta de melhoria de performance e otimização dos sistemas de radiodifusão. Assim, realizou-se o estudo sobre a instalação desse dispositivo, bem como seu comportamento e operação.

Quanto ao processo de instalação, embora não tenha sido apresentado, pode-se afirmar que é um passo minucioso que demanda uma boa instrumentação para que seja garantido um desempenho adequado de acordo com os parâmetros do fornecedor do equipamento. O ajuste realizado no combinador para se chegar ao ponto em que as medições foram realizadas são bastante minuciosos.

Realizar a intervenção nos 12 pontos de ajustes apresentados na Figura 36 'b' é uma tarefa um tanto complicada, já que, modificar qualquer ponto pode afetar os demais em termos de casamento de impedâncias, modificando assim o ponto em que está concentrada a largura de banda do combinador, podendo até mesmo resultar em interferências entre as entradas causando produtos de intermodulação.

Todas as medições internas para o combinador, apresentadas nas Seções 4.3.2.1 à 4.3.2.3 foram realizadas com as emisoras fora do ar. Isto se deve ao modo como a leitura das variáveis é realizada pelo VNA2180. Como visto, é necessário realizar a calibração do instrumento através de cargas padronizadas, garantindo que as leituras sejam as mais precisas possíveis.

Os resultados encontrados para as leituras estão dentro do esperado. É imprescindível lembrar que não foi utilizada uma carga padrão na saída do combinador, sendo utilizada a própria antena. Devido a isso, algumas distorções eram esperadas, já que, como apresentado, deve ser realizado casamento entre o combinador, a linha de transmissão e a própria antena, não resultando em um valor de carga como a padrão ($50 \pm j0\Omega$).

Os resultados vistos nas figuras 38 a 45 são os resultados práticos para o combinador que opera dentro dos parâmetros prometidos pelo fornecedor. A avaliação restante e apresentada refere-se à particularidade da operação das rádios com suas vizinhas. Como mostrado, para todas as análises sobre as medições realizadas no local durante o fim de semana do dia 15 de janeiro de 2022 entre o horário das 22hrs e 02hrs do dia 16 de janeiro de 2022, estavam em conformidade com a legislação da ANATEL.

Portanto, conforme tudo o que foi apresentado, conclui-se que os sistemas combinados trazem grandes benefícios ao sistema de rádio difusão promovendo economia, e garantindo o

funcionamento das rádios. Foi perceptivo também que a instalação dos combinadores requer conhecimento do profissional, além de exigir que, para qualquer intervenção, seja necessária a utilização de equipamentos que contenham boa precisão.

Assim, para tudo o que foi mostrado e discutido, considera-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, engrandecendo ainda mais o conhecimento do autor.

6 - Bibliografia

- ABERT. (27 de Dezembro de 2012). *Rádio FM comemorou 80 anos em dezembro*. Acesso em 10 de Novembro de 2021, disponível em ABERT.ORG: <https://www.abert.org.br/web/notmenu/radio-fm-comemorou-80-anos-em-dezembro.html>
- Agência Câmara Notícias. (15 de Fevereiro de 2016). *Especialistas explicam migração de emissoras de rádio de AM para FM no final deste mês*. Acesso em 16 de Novembro de 2021, disponível em camara.leg: <https://www.camara.leg.br/noticias/480726-especialistas-explicam-migracao-de-emissoras-de-radio-de-am-para-fm-no-final-deste-mes/>
- ANATEL. (27 de Abril de 1995). *Portaria 133, de 26 de abril de 1995*. Acesso em 2 de Fevereiro de 2022, disponível em ANATEL: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/index.php/component/content/article?id=948>
- ANATEL. (24 de Janeiro de 2019). *Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019*. Acesso em 5 de Janeiro de 2022, disponível em Agência Nacional de Telecomunicações: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2019/1237-ato-458#art5>
- ANATEL. (08 de Agosto de 2019). *Comitê de Espectro da Anatel estuda ampliação do número de canais de FM*. Acesso em 17 de Novembro de 2021, disponível em gov.br: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/comite-de-espectro-da-anatel-estuda-ampliacao-do-numero-de-canais-de-fm>
- ANATEL. (11 de Fevereiro de 2020). *Resolução nº 721, de 11 de fevereiro de 2020*. Acesso em 5 de Janeiro de 2022, disponível em Agência Nacional de Telecomunicações: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2020/1383-resolucao-721>
- ANATEL. (10 de Junho de 2021). *Ato nº 4174, de 10 de junho de 2021*. Acesso em 5 de Janeiro de 2022, disponível em ANATEL: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2021/1569-ato-4174>
- Bosque, M. T. (11 de Outubro de 2014). *A responsabilidade civil da ANATEL e das concessionárias prestadoras de serviços de telefonia*. Acesso em 5 de Janeiro de 2022, disponível em Juridico Certo: <https://juridicocerto.com/p/marcotbosque/artigos/a-responsabilidade-civil-da-anatel-e-das-concessionarias-prestadoras-de-servicos-de-telefonia-852>
- Boylestad, R. L. (2008). *Introdução a Análise de Circuitos* (10 ed.). (J. L. Nascimento, Trad.) São Paulo, São Paulo, Brasil: Pearson.

- Brasil. (8 de Novembro de 2013). *DECRETO N° 8.139, DE 7 DE NOVEMBRO DE 2013*. Acesso em 16 de Novembro de 2021, disponível em [camara.leg](https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2013/decreto-8139-7-novembro-2013-777380-norma-pe.html):
<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2013/decreto-8139-7-novembro-2013-777380-norma-pe.html>
- Castro, J. d. (2021). *História do Rádio no Brasil*. Acesso em 15 de Outubro de 2021, disponível em [abert.org.br](https://www.abert.org.br):
<https://www.abert.org.br/web/index.php/notmenu/item/23526-historia-do-radio-no-brasil>
- Governo do Brasil. (20 de Julho de 2021). *Obter outorga para exercer serviços de radiodifusão comercial*. Acesso em 5 de Janeiro de 2022, disponível em Governo do Brasil: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-outorga-para-exercer-servicos-de-radiodifusao-comercial>
- Guerreiro, A. (11 de Junho de 2015). *O surgimento e a evolução da Rádio FM*. Acesso em 10 de Novembro de 2021, disponível em [RadioBrasilagf.wordpress](https://radiobrasilagf.wordpress.com):
<https://radiobrasilagf.wordpress.com/2015/06/11/o-surgimento-e-a-evolucao-da-radio-fm-3/>
- Hausen, D. F. (2004). *files.recantoacademico.webnode*. Acesso em 15 de outubro de 2021, disponível em Rádio brasileiro: uma história de cultura, política e integração:
http://files.recantoacademico.webnode.com.br/200000033-c9b9ccab3c/radio_brasileiro.pdf
- ITU. (2022). *About International Telecommunication Union (ITU)*. Acesso em 5 de Janeiro de 2022, disponível em ITU: <https://www.itu.int/en/about/Pages/default.aspx>
- KATHREIN. (junho de 2001). *Combiners and filters for FM Broadcast and TV systems*. Rosenheim, Alemanha.
- KATHREIN MOBILCOM BRASIL. (2005). *Sistemas Avançados em Radiodifusão Terrestre*. In: E. E. Huemer, E. R. Faller, & E. R. Castanheira, *Sistemas Avançados em Radiodifusão Terrestre* (pp. 31-78). São Paulo: Dinâmica Gráfica e Editora Ltda.
- Laplante, E. P. (2000). *Electrical Engineering Dictionary*. Boca Raton, Florida, Estado Unidos.
- Laport, E. A. (2005). *Radio Antenna Engineering*. In: E. A. Laport, *Radio Antenna Engineering* (pp. 18-21). Nova York, Chicago, Toronto: MCGraw-Hill Book Company, Inc.
- Lathi, B. P. (1998). *Modern Digital and Analog Communication Systems*. In: B. P. Lathi, *Modern Digital and Analog Communication Systems* (pp. 1-12;151-245;). New York: Oxford University Press.

- Lathi, B., & Ding, Z. (2012). Sistemas de Comunicações Analógicos e Digitais Modernos. In: J. Souza, *Sistemas de Comunicações Analógicos e Digitais Modernos* (J. Souza, Trad., 4ª ed., pp. 217-258). Rio de Janeiro: LTC - Livros Tecnicos e Científicos Editora Ltda.
- Legal Information Institute. (2022). *47 CFR § 73.317 - FM transmission system requirements*. Acesso em 6 de Janeiro de 2022, disponível em Legal Information Institute: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/47/73.317>
- M. G. SAY. (s.d.). *Manual do engenheiro eletricitista* (13 ed.). (M. S. Almeida, & L. D. Mendonça, Trans.) São Paulo, São Paulo, Brasil: Hemus.
- McCabe, D. (27 de Julho de 2019). *Bandpass Combiner Principles and Theory of Operation*. Acesso em 3 de Dezembro de 2021, disponível em Jampro: <https://www.jampro.com/bandpass-combiner-principles-and-theory-of-operation/>
- MCTIC. (2021). *Competências*. Acesso em 05 de Janeiro de 2022, disponível em Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/institucional/paginas/Competencias.html>
- Meneguel, Y. P., & Oliveira, P. D. (s.d.). *O rádio no Brasil: Do surgimento à década de 1940 e a primeira emissora de rádio em Guarapuava*. Acesso em 19 de Outubro de 2021, disponível em diaadiaeducacao.pr: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/713-4.pdf>
- Mousquer, V. R. (Agosto de 2009). *ufrgs.br*. Acesso em 18 de Outubro de 2021, disponível em As influências históricas da fase ouro do rádio comercial brasileiro nas emissoras do campo público: uma estação estatal comanda o espetáculo: <http://www.ufrgs.br/alcar/encontros-nacionais-1/encontros-nacionais/7o-encontro-2009-1/As%20influencias%20historicas%20da%20fase%20ouro%20do%20radio%20comercial%20brasileiro%20nas.pdf>
- Nascimento, J. d. (1992). Telecomunicações. In: J. d. Nascimento, *Telecomunicações* (pp. 1-210). São Paulo, São Paulo, Brasil : McGraw-Hill Ltda.
- Queiroz, A. (28 de Julho de 2017). *Mudando a sintonia do seu Rádio*. Acesso em 15 de 11 de 2021, disponível em Jornal UFG: <https://www.jornal.ufg.br/n/99064-mudando-a-sintonia-do-seu-radio>
- Sartori, J. C. (1999). *Linhas de Trasmissão e carta de Smith: Projeto assistido por computador* (1 ed.). São Paulo, São Paulo, Brasil: São Carlos : EESC/USP.
- seymour, K. (2002). The RF Transmission Systems - handbook. In: J. C. Whitaker, *The RF Transmission Systems - handbook* (pp. 70-84). Boca Raton, London, New York, Washington DC: CRC PRESS.
- Silva, L. M. (22 de Janeiro de 2015). *Projeto de Acopladores Híbridos em Quadratura Compactos por meio de Linhas de Transmissão Artificiais*. Acesso em 05 de 12 de

2021, disponível em ufpe.br:

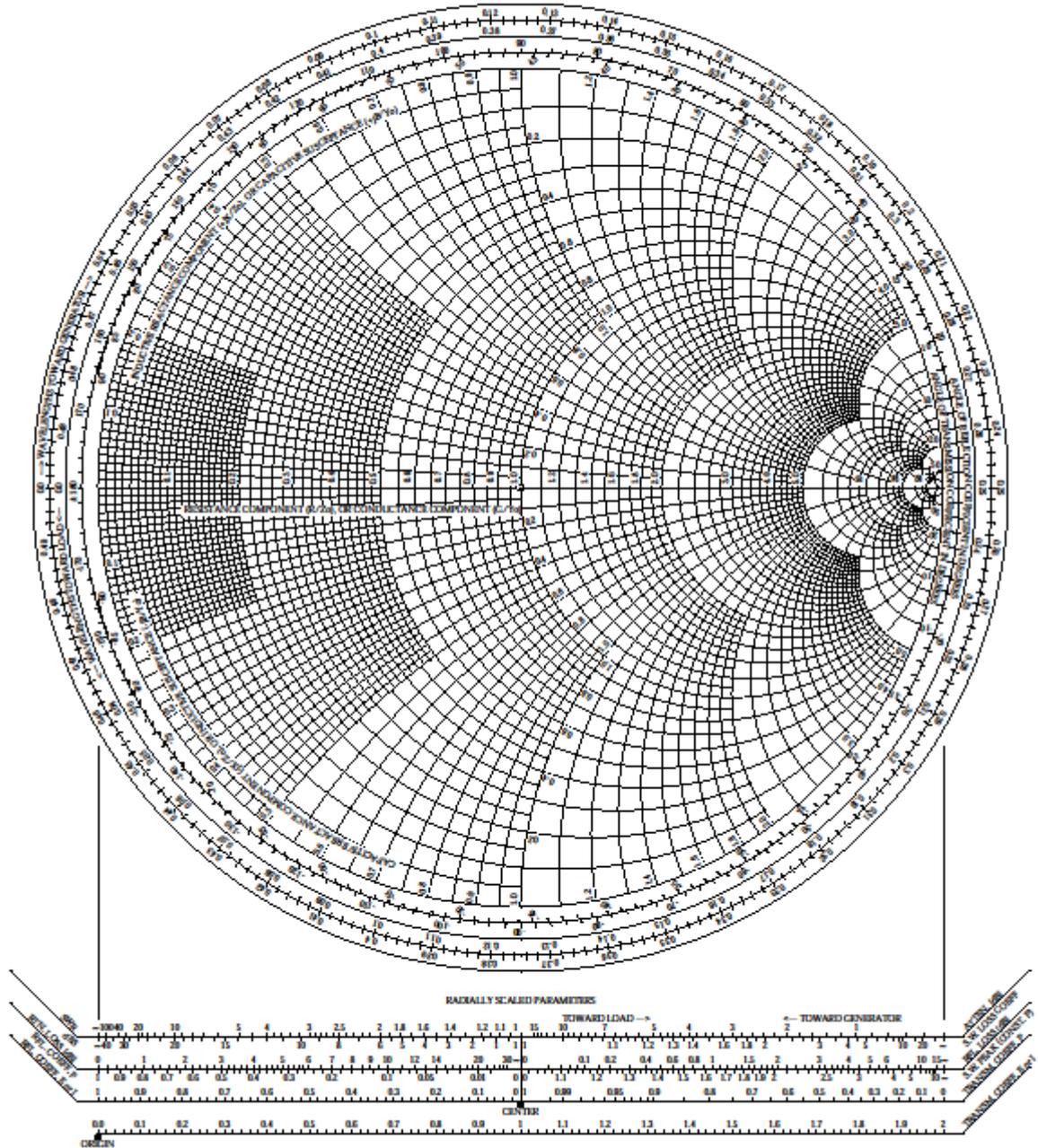
https://www.ufpe.br/documents/39830/1359036/257_LeonardoSilva/1049bfb5-1e7e-4321-99db-752f62b3bda1

- Stone, W. (abril de 2009). *FM Constant impedance combiners. Theory and tuning*. Halifax, Nova Scotia , Canadá.
- Surette, R. A., & Labs, S. (1999). *FM Combining Systems*. In: J. E. Jerry Whitaker, & C. S. Brown, *National Association of Broadcasters engineering handbook 9TH Edition* (9ª ed., pp. 773 - 788). Washington, DC, Estados Unidos: NAB BROADCASTERS.
- Surette, R. A., & Labs, S. (2018). *FM Combining and Filter System Design*. In: R. A. Surette, & S. Labs, *National Association of Broadcasters Engineering Handbook* (pp. 1399-1421). Nova York: ROUTLEDGE.
- Tennaplex systems LTD. (Outubro de 1985). *RF COMBINER* . Acesso em 10 de Dezembro de 2021, disponível em members.renlist:
<https://members.renlist.com/warren/RFCombiningSystems.pdf>
- USAGov. (2022). *Federal Communications Commission*. Acesso em 05 de Janeiro de 2022, disponível em USAGov: <https://www.usa.gov/federal-agencies/federal-communications-commission>
- Whitaker, J. C. (2002). *RF Combiner and Diplexer Systems*. In: J. C. Whitaker, *The RF Transmission Systems Handbook* (pp. 262 - 282). Boca Raton, London, New Yourk, Washington DC: CRC PRESS.
- William F. Lieske, Sr.Founder, EMR Corporation. (2 de Setembro de 2019). *EMR CORP*. Acesso em 30 de Outubro de 2021, disponível em Methods of Tuning Cavity Resonators:
[https://www.emrcorp.com/uploads/b70c836b28e06d89a909eb2a93ec0605cavity_resonators\(54-67\).pdf](https://www.emrcorp.com/uploads/b70c836b28e06d89a909eb2a93ec0605cavity_resonators(54-67).pdf)
- Zennaro, M., & Fonda, C. (Fevereiro de 2004). *Radio Laboratory Handbook. 1*. ICTP.

Anexos

Anexo A – Carta de Smith

The Complete Smith Chart Black Magic Design



Anexo B – Folha de dados Linha de Transmissão utilizada no projeto

PRODUCT DATASHEET
LCF158-50JA-A0

RADIO FREQUENCY SYSTEMS
The Clear Choice™



1-5/8" CELLFLEX® Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

CELLFLEX® 1-5/8" premium attenuation low loss flexible cable

FEATURES / BENEFITS

- ⊕ **Ultra Low Attenuation**
The further reduced attenuation of CELLFLEX® premium attenuation coaxial cable results in extremely efficient signal transfer in your RF system, especially at high frequencies.
- ⊕ **Complete Shielding**
The solid outer conductor of CELLFLEX® coaxial cable creates a continuous RFVEM shield that minimizes system interference.
- ⊕ **Low VSWR**
Special low VSWR versions of CELLFLEX® coaxial cables contribute to low system noise.
- ⊕ **Outstanding Intermodulation Performance**
CELLFLEX® coaxial cables' solid inner and outer conductors virtually eliminate intermods. Intermodulation performance is also confirmed with state-of-the-art equipment at the RFS factory.
- ⊕ **High Power Rating**
Due to their low attenuation, outstanding heat transfer properties and temperature stabilized dielectric materials, CELLFLEX® cable provides safe long term operating life at high transmit power levels.
- ⊕ **Wide Range of Application**
Typical areas of application are: feedlines for broadcast and terrestrial microwave antennas, wireless cellular, PCS and ESMR base stations, cabling of antenna arrays, and radio equipment interconnects.



1-5/8" CELLFLEX® Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable

Technical Features

APPLICATIONS

Applications	Main feed line
--------------	----------------

STRUCTURE

Cable Type	Foam-Dielectric, Corrugated
Size	1-5/8"
Jackel Option	Black
Inner Conductor	17.6 (0.69) Corrugated Copper Tube
Dielectric	42.4 (1.67) Foam Polyethylene
Outer Conductor	46.4 (1.83) Corrugated Copper
Jackel	50.2 (1.98) Polyethylene, PE

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Impedance	Ω	50 +/- 1
Maximum Frequency	GHz	2.75
Velocity	%	90.0
Capacitance	pF/m (pF/ft)	74 (22.5)
Inductance	μ H/m (μ H/ft)	0.185 (0.056)
Peak Power Rating	kW	310.0
RF Peak Voltage	Volts	5600.0
Jackel Spark	Volt RMS	10000.0
Inner Conductor dc Resistance	Ω /1000 m (Ω /1000 ft)	1.3 (0.4)
Outer Conductor dc Resistance	Ω /1000 m (Ω /1000 ft)	0.47 (0.14)
Return Loss (VSWR) Performance		Standard
Maximum Return Loss	dB (VSWR)	18 (1.288)
Phase Stabilized		Phase stabilized and phase matched cables and assemblies are available upon request.
Temperature & Power		Standard

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Cable Weight	kg/m (lb/ft)	1.07 (0.72)
Minimum Bending Radius	mm (in)	200 (8)
Minimum Bending Radius	mm (in)	500 (20)
Bending Moment	Nm (lb-ft)	42
Tensile Strength	N (lb)	2500 (562)
Recommended / Maximum Clamp Spacing	m (ft)	1.2 / 1.5 (4 / 5)

LCF158-50JA-A0

REV: F

REV DATE: 12 July 2017

www.rfsworld.com

All values nominal unless tolerances provided, information contained in the present datasheet is subject to confirmation at time of ordering

Page 1 of 2

PRODUCT DATASHEET
LCF158-50JA-A0

RADIO FREQUENCY SYSTEMS
The Clear Choice®



1-5/8" CELLFLEX® Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable

ATTENUATION AND POWER RATING

Frequency MHz	Attenuation		Power kW
	dB/100m	dB/100ft	
0.5	0.04	0.013	258.00
1	0.06	0.019	182.00
1.5	0.08	0.023	148.00
2	0.09	0.027	128.00
10	0.20	0.06	56.90
20	0.28	0.086	39.90
30	0.34	0.105	32.50
50	0.45	0.137	25.00
88	0.60	0.184	18.60
100	0.64	0.196	17.40
108	0.67	0.205	16.70
150	0.80	0.243	14.00
174	0.86	0.263	13.00
200	0.93	0.283	12.10
300	1.16	0.352	9.66
400	1.35	0.412	8.30
450	1.44	0.439	7.78
500	1.53	0.465	7.33
512	1.55	0.471	7.23
600	1.69	0.515	6.63
700	1.84	0.561	6.09
750	1.91	0.583	5.87
800	1.98	0.604	5.66
824	2.02	0.615	5.55
894	2.11	0.644	5.31
900	2.12	0.646	5.29
925	2.15	0.656	5.21
960	2.20	0.67	5.10
1000	2.25	0.686	4.98
1250	2.56	0.779	4.38
1400	2.73	0.832	4.11
1500	2.84	0.866	3.95
1700	3.06	0.932	3.66
1800	3.16	0.963	3.55
2000	3.36	1.03	3.34
2100	3.46	1.06	3.24
2200	3.56	1.08	3.15
2400	3.75	1.14	2.99
2500	3.84	1.17	2.92
2600	3.93	1.20	2.85
2700	4.02	1.23	2.79
2750	4.07	1.24	2.75

Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature;
tolerance +/- 5% max.; Mean power rating at
40°C (104°F) ambient temperature

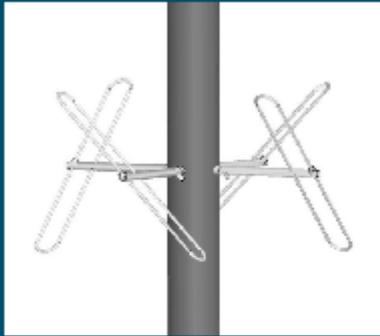
TESTING AND ENVIRONMENTAL

Fire Performance	Halogene Free
Installation Temperature	-40 to 60 (-40 to 140) °C(°F)
Storage Temperature	-70 to 85 (-94 to 185) °C(°F)
Operation Temperature	-50 to 85 (-58 to 185) °C(°F)

[External Document Links](#)

[Notes](#)

Anexo C – Folha de dados da Antena de Transmissão utilizada no projeto



IDEAL
Antenas Profissionais

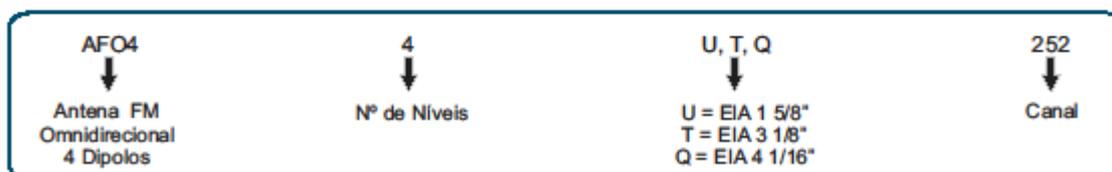
Eletrônicos BRASIL
O Vale da Eletrônica

Empresa Certificada ISO 9001
Membro da Federação CIBR
RINA
RECONHECIDA
Membro do Sindicato Brasileiro

FM Omnidirecional 4 Dipolos

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Frequência	95,3 MHz e 98,9 MHz
Polarização	Circular
Impedância	50 ohms
Ganho	3,34 dBd (2,16 vezes)
Potência Máxima por Nível	10000 Watts (EIA 1 5/8")
Ângulo de ½ pot. vertical	13°
Preenchimento de nulo	10%
Circularidade	< 2,0 dB's
Relação Axial	< 1,2 dB's
VSWR	<1.15:1 (Contate a Fábrica para mais Detalhes)
Conexão de entrada do sistema	EIA 1 5/8", EIA 3 1/8", EIA 4 1/16"
Resistência a ventos	180 Km/h
Proteção elétrica	Por intermédio da estrutura da antena

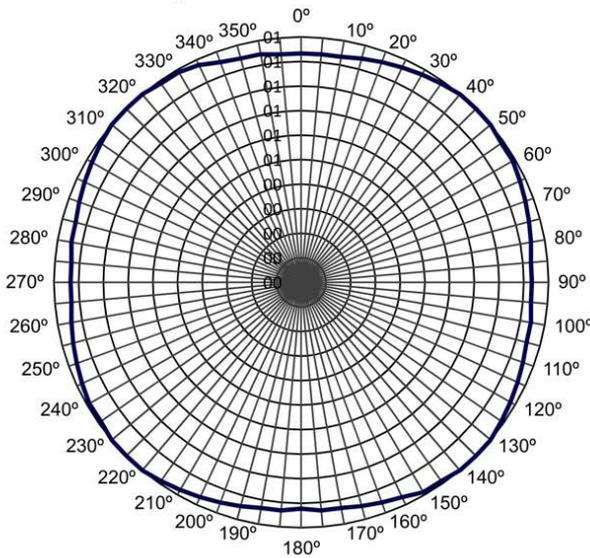
MODELO **AFO44U 237/255**

Rev. 00 Pág. 1/3

FM Omnidirecional - 4 Dipolos



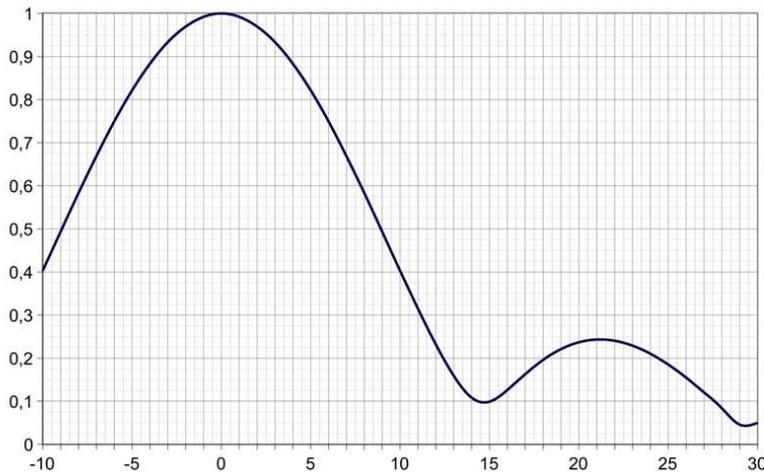
Diagrama de Azimute
Polarização Circular



Graus	E/E _{max}	(dB)	(%)	Graus	E/E _{max}	(dB)	(%)
0°	0,93	-0,6	87,1%	90°	0,93	-0,6	87,1%
5°	0,93	-0,6	87,1%	95°	0,93	-0,6	87,1%
10°	0,93	-0,6	87,1%	100°	0,94	-0,5	89,1%
15°	0,94	-0,5	89,1%	105°	0,94	-0,5	89,1%
20°	0,95	-0,4	91,2%	110°	0,95	-0,4	91,2%
25°	0,97	-0,3	93,3%	115°	0,97	-0,3	93,3%
30°	0,98	-0,2	95,5%	120°	0,98	-0,2	95,5%
35°	0,99	-0,1	97,7%	125°	0,99	-0,1	97,7%
40°	1,00	0,0	100,0%	130°	1,00	0,0	100,0%
45°	1,00	0,0	100,0%	135°	1,00	0,0	100,0%
50°	1,00	0,0	100,0%	140°	1,00	0,0	100,0%
55°	0,99	-0,1	97,7%	145°	0,99	-0,1	97,7%
60°	0,99	-0,1	97,7%	150°	0,99	-0,1	97,7%
65°	0,98	-0,2	95,5%	155°	0,97	-0,3	93,3%
70°	0,97	-0,3	93,3%	160°	0,95	-0,4	91,2%
75°	0,95	-0,4	91,2%	165°	0,94	-0,5	89,1%
80°	0,94	-0,5	89,1%	170°	0,93	-0,6	87,1%
85°	0,93	-0,6	87,1%	175°	0,93	-0,6	87,1%

Graus	E/E _{max}	(dB)	(%)	Graus	E/E _{max}	(dB)	(%)
180°	0,92	-0,7	85,1%	270°	0,93	-0,6	87,1%
185°	0,93	-0,6	87,1%	275°	0,93	-0,6	87,1%
190°	0,93	-0,6	87,1%	280°	0,94	-0,5	89,1%
195°	0,94	-0,5	89,1%	285°	0,94	-0,5	89,1%
200°	0,95	-0,4	91,2%	290°	0,95	-0,4	91,2%
205°	0,97	-0,3	93,3%	295°	0,97	-0,3	93,3%
210°	0,98	-0,2	95,5%	300°	0,98	-0,2	95,5%
215°	0,99	-0,1	97,72%	305°	0,99	-0,1	97,7%
220°	1,00	0,0	100,0%	310°	1,00	0,0	100,0%
225°	1,00	0,0	100,0%	315°	1,00	0,0	100,0%
230°	1,00	0,0	100,0%	320°	1,00	0,0	100,0%
235°	0,99	-0,1	97,7%	325°	0,99	-0,1	97,7%
240°	0,99	-0,1	97,7%	330°	0,99	-0,1	97,7%
245°	0,98	-0,2	95,5%	335°	0,98	-0,2	95,5%
250°	0,97	-0,3	93,3%	340°	0,95	-0,4	91,2%
255°	0,95	-0,4	91,2%	345°	0,94	-0,5	89,1%
260°	0,94	-0,5	89,1%	350°	0,94	-0,5	89,1%
265°	0,93	-0,6	87,1%	355°	0,93	-0,6	87,1%

Diagrama de Elevação



Graus	dB	E/E _{max}	Graus	dB	E/E _{max}
-10°	-7,9	0,40	11°	-10,0	0,31
-9°	-6,1	0,49	12°	-12,7	0,23
-8°	-4,7	0,58	13°	-16,0	0,16
-7°	-3,5	0,67	14°	-19,3	0,11
-6°	-2,5	0,75	15°	-20,1	0,10
-5°	-1,7	0,82	16°	-18,0	0,13
-4°	-1,1	0,88	17°	-15,8	0,16
-3°	-0,6	0,93	18°	-14,2	0,20
-2°	-0,3	0,97	19°	-13,1	0,22
-1°	-0,1	0,99	20°	-12,5	0,24
0°	0,0	1,00	21°	-12,3	0,24
1°	-0,1	0,99	22°	-12,4	0,24
2°	-0,3	0,97	23°	-12,8	0,23
3°	-0,6	0,93	24°	-13,5	0,21
4°	-1,1	0,88	25°	-14,7	0,19
5°	-1,7	0,82	26°	-16,2	0,15
6°	-2,5	0,75	27°	-18,4	0,12
7°	-3,5	0,67	28°	-21,5	0,08
8°	-4,7	0,58	29°	-26,8	0,05
9°	-6,1	0,49	30°	-26,0	0,05
10°	-7,9	0,40			

Anexo D – Folha de dados Combinador *Star Point* utilizado no projeto



Empresa Certificada ISO 9001



Combinador FM Star-Point

2.0 ou 1.2 MHz de Espaçamento entre Canais



O Combinador de FM - Star-Point, foi desenvolvido para permitir que qualquer número de estações sejam combinadas em uma única antena. De acordo com a configuração empregada, é possível realizar combinação com espaçamento de até 1,2 MHz e com quantos canais forem necessários. O desenho construtivo utilizado na confecção do Combinador, faz com que seja possível inserir novas emisoras em sistemas já existentes com isso, facilitando expansões futuras. Por padrão, o seu funcionamento é através de duas entradas Banda Estreita, sendo cada entrada com frequência definida pelos filtros utilizados.

O combinador de FM - Star-Point, é composto por dois Filtros Passa-Faixa e um "T" para a interligação. Todos estes itens são otimizados em softwares de simulação elétrico/mecânico proporcionando assim, baixa perda por inserção e alta isolamento entre portas (de acordo com o número de cavidades).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Faixa de Operação 87.9 Mhz - 108.1 MHz
- Impedância 50 Ohms
- Temperatura de Operação -10 - +50°C
- Dimensões e Peso Entrar em Contato

2 CAVIDADES				
Dilâmetro da Cavidade	150 mm	260 mm	380 mm	440 mm
Potência Máxima por Entrada (Z _{in})	300 Watts	3 Kwatts	5 Kwatts	10 Kwatts
Conexão de Entrada	N-Fêmea	EIA 7/8"	EIA 1 5/8"	EIA 1 5/8"
Conexão de Saída	EIA 7/8"	EIA 1 5/8"	EIA 1 5/8"	EIA 3 1/8"
Perda por Inserção (Banda Estreita)	< 0,5 dB	< 0,4 dB	< 0,3 dB	< 0,25 dB
Mínima Distância entre Canais	2,0 MHz	2,0 MHz	2,0 MHz	2,0 MHz
Isolação entre Portas	> 30 dB's	> 30 dB's	> 30 dB's	> 30 dB's

3 CAVIDADES				
Dilâmetro da Cavidade	150 mm	260 mm	380 mm	440 mm
Potência Máxima por Entrada (Z _{in})	300 Watts	3 Kwatts	5 Kwatts	10 Kwatts
Conexão de Entrada	N-Fêmea	EIA 7/8"	EIA 1 5/8"	EIA 1 5/8"
Conexão de Saída	EIA 7/8"	EIA 1 5/8"	EIA 1 5/8"	EIA 3 1/8"
Perda por Inserção (Banda Estreita)	< 0,75 dB	< 0,6 dB	< 0,5 dB	< 0,4 dB
Mínima Distância entre Canais	1,2 MHz	1,2 MHz	1,2 MHz	1,2 MHz
Isolação entre Portas	> 30 dB's	> 30 dB's	> 30 dB's	> 30 dB's

De acordo com a potência de operação, poderá ser utilizado refrigerado forçado além das dissipações de calor.

MODELO

