

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Lucas dos Santos Braun

SISTEMA ELETRÔNICO PARA MELHORA DO SINAL
DE TV DIGITAL

Passo Fundo

2018

Lucas dos Santos Braun

SISTEMA ELETRÔNICO PARA MELHORA DO SINAL
DE TV DIGITAL

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Carlos Alberto Ramirez Behaine.

Passo Fundo

2018

Lucas dos Santos Braun

Sistema eletrônico para melhora do sinal de TV digital

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Carlos Alberto Ramirez Behaine.

Aprovado em ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Orientador Carlos Alberto Ramirez Behaine - UPF

Prof. Dr. Fernando Passold - UPF

Prof. Dra. Blanca Marquera Sosa - UPF

Este trabalho é dedicado aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter alcançado meus objetivos até aqui, pela paciência e força para seguir e superar as dificuldades encontradas no caminho.

Aos meus pais, Isvania Braun e Antonio Carlos Braun, por terem me fornecido esta oportunidade, por sempre realizarem, desejarem e fornecerem o que é melhor para mim, e pelo exemplo que são.

Ao meu orientador Professor Doutor Carlos Alberto Ramirez Behaine, por sempre ter me auxiliado quando precisei e me ajudar dedicando tempo e atenção neste projeto.

Aos professores do curso de Engenharia Elétrica por todo o conhecimento compartilhado nestes cinco anos.

Aos meus amigos por terem sempre compreendido, apoiado e dado força em todos os momentos. Aos grandes amigos que fiz no curso, Cássio, Marcos, Jordenson, Maria, Luan, Emerson, Daniel, Jordano, Bruno, Danrlei e Júlia, agradeço a amizade e união nestes anos.

E a todos que de alguma forma estiveram comigo e contribuíram para que eu chegasse até aqui, o meu sincero agradecimento.

“Tem que dar o máximo, e quanto estiver chegando no máximo, vai ver que ainda pode dar mais um pouquinho.”

Fernando Lúcio da Costa (“Fernandão”)

RESUMO

Neste ano de 2018 ocorreu o desligamento do sinal analógico de televisão e a implementação definitiva da TV digital no Rio Grande do Sul e grande parte do Brasil, o que deve acontecer em todo país até o ano de 2023. Sendo assim, muitos usuários necessitaram adaptar-se a esta nova forma de transmissão. As antenas inteligentes facilitam esse processo de adaptação pois, controladas por um motor de passo, rotacionam no próprio eixo buscando automaticamente o sinal de maior qualidade pretendido pelo usuário. Porém, ainda assim, muitos usuários têm dificuldades em receber um sinal de TV digital com qualidade, principalmente aqueles que residem em locais de baixa recepção do sinal, ou não possuem uma antena de boa capacidade. Visando isto, o presente projeto pretende aprimorar as antenas inteligentes de recepção de TV digital baseada em imagem, desde uma nova programação até a adição de novas funcionalidades, fazendo com que caso não encontre o sinal em uma primeira tentativa, a antena acione inteligentemente um amplificador e realize uma nova busca, tendo assim maior possibilidade de receber o sinal desejado. Este chaveamento para o uso do amplificador é feito através de relés acionados e desacionados por um microcontrolador, o mesmo usado para controlar o motor de passo da antena. Além disso, fez-se com que a antena saiba medir a posição angular em que se encontra, desenvolvendo um circuito de posição próprio, para que tenha um melhor direcionamento e controle na busca do canal sintonizado pelo usuário, facilitando também o momento em que se deve começar a utilizar o amplificador, reconhecendo quando a antena retornou a posição inicial, completando uma volta. Na fundamentação teórica deste projeto são apresentados conceitos sobre sinais UHF, antena inteligente, amplificadores de sinal e TV digital. O presente trabalho ainda apresenta todo o desenvolvimento para que seja feito o acionamento do amplificador e reconhecimento da posição da antena, além dos ajustes necessários feitos no sistema da antena inteligente. Os resultados com testes comprovam a eficácia do mesmo e uma importância de avançar o estudo e conhecimento na área de alta frequência no nosso país.

Palavras-Chave: antena inteligente, TV digital, sinal UHF, amplificação, booster.

ABSTRACT

In the year of 2018 the analog television has been turned off and the digital TV was finally implemented in Rio Grande do Sul and most part of Brazil, which must happen all over the country until the year of 2023. Therefore, many users must adapt to the new way of transmission. The smart antennas facilitate this adaptation because by the control of a stepper motor, it rotates on its own axis automatically searching for the highest quality signal required by the user. However, many users still have difficulties in receiving a good digital TV signal, especially those who live in regions where the signal is low, or do not own a high quality antenna. With that in mind, the present project intends to improve the reception digital TV smart antennas based on images, since a new programming code until the addition of new functionalities, by example, if it does not find the signal at the first attempting, the antenna automatically turns on an amplifier and realizes a new search, thus having greater possibility of receiving the desired signal. This switch for the use of the amplifier is done by relays controlled by the microcontroller, the same used to control the stepper motor. In addition, was made for the antenna to know its angular position for where it's pointing, having a better direction and control in the search of the channel tuned by the user, also making easier the moment in which should turn on the use of the amplifier, recognizing when the antenna returned to the start position, completing one turn. In the theoretical basis of this project are introduced concepts about UHF signals and its reception for digital TV. This present project still presents all the development of itself. The results with tests proved the efficiency and the importance in advancing the study and knowledge about high frequency in the country.

Keywords: smart antenna, Digital TV, UHF signal, amplification, booster.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ENLACE DE TELEVISÃO.....	16
FIGURA 2 - MODULAÇÃO OFDM	17
FIGURA 3 - ESPECTRO DE UM SINAL DIGITAL	18
FIGURA 4 - COMPARAÇÃO ENTRE SINAL VHF E SINAL UHF	21
FIGURA 5 - LINHA DE VISADA	22
FIGURA 6 - CENÁRIO DO MODELO DE OKUMURA-HATA	22
FIGURA 7 – RELAÇÃO ENTRE PERDAS DE PROPAGAÇÃO E DISTÂNCIA	24
FIGURA 8 - ANTENA INTELIGENTE.....	25
FIGURA 9 - SINAL DE VÍDEO COMPOSTO.....	26
FIGURA 10 - SINAL DA IMAGEM COM COR.....	27
FIGURA 11 - SINAL DA IMAGEM PRETA	27
FIGURA 12 - FLUXOGRAMA DA ANTENA INTELIGENTE.....	28
FIGURA 13 - BOOSTER UHF PQAB2640	30
FIGURA 14 - MINI BOOSTER UHF PQBT4000A.....	30
FIGURA 15 - INSTALAÇÃO DO BOOSTER.....	31
FIGURA 16 - EXEMPLO DO CIRCUITO INTERNO DO BOOSTER.....	32
FIGURA 17 - SENSOR MAGNÉTICO	33
FIGURA 18 - TABELA VERDADE DO CODIFICADOR	34
FIGURA 19 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROJETO.....	35
FIGURA 20 - ESTRUTURA MECÂNICA	36
FIGURA 21 - ANTENA DIGITAL TSU 965	37
FIGURA 22 - ESPECIFICAÇÕES DA ANTENA.....	38
FIGURA 23 - MOTOR DE PASSO.....	39
FIGURA 24 - RECEPTOR DIGITAL CD 636.....	40
FIGURA 25 - ENTRADA E SAÍDAS DO RECEPTOR.....	40
FIGURA 26 - ARM CORTEX M4F	42
FIGURA 27 - SINAL DE VÍDEO COMPOSTO DO RECEPTOR	43
FIGURA 28 - AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR.....	44
FIGURA 29 - CIRCUITO DE INTERFACE	45
FIGURA 30 - ESPECTRO DA RBS TV.....	46
FIGURA 31 - ESPECTRO DA BANDEIRANTES	49
FIGURA 32 - BOOSTER PQBT-2650A.....	50
FIGURA 33 - SPLITTER	51
FIGURA 34 - EMENDA T COAXIAL	52
FIGURA 35 - DIAGRAMA DO ACIONAMENTO DOS SINAIS	52
FIGURA 36 - CIRCUITO DE COMUTAÇÃO DO SINAL SEM AMPLIFICADOR	53
FIGURA 37 - CIRCUITO DE COMUTAÇÃO DO AMPLIFICADOR.....	54
FIGURA 38 - SENSOR SM1001	55

FIGURA 39 - TABELA VERDADE 74LS148.....	55
FIGURA 40 - DISPOSIÇÃO DOS SENSORES NA PLACA	56
FIGURA 41 - CIRCUITO DE POSIÇÃO	57
FIGURA 42 - FLUXOGRAMA DO FIRMWARE	60
FIGURA 43 - SINAL QUANDO O SINAL É CAPTADO.....	61
FIGURA 44 - SINAL QUANDO O SINAL NÃO ESTÁ SENDO CAPTADO.....	62
FIGURA 45 - SINAL DA RECORD SEM AMPLIFICADOR.....	63
FIGURA 46 - SINAL DA RECORD COM AMPLIFICADOR	64
FIGURA 47 - ESPECTRO DA RECORD	65
FIGURA 48 - SINAL DA BANDEIRANTES SEM AMPLIFICADOR	66
FIGURA 49 - SINAL DA BANDEIRANTES COM AMPLIFICADOR	67
FIGURA 50 - ESPECTRO DO CANAL BANDEIRANTES	68
FIGURA 51 - ESPECTRO DO CANAL SBT.....	72
FIGURA 52 - INFORMAÇÃO DA POSIÇÃO DA ANTENA.....	73
FIGURA 53 - PLACA COM SENSORES MAGNÉTICOS	74
FIGURA 54 - PLACA COM O CODIFICADOR.....	75
FIGURA 55 - CIRCUITO DE INTERFACE	76
FIGURA 56 - PLACA PARA O SINAL SEM AMPLIFICADOR	77
FIGURA 57 - PLACA PARA O SINAL COM AMPLIFICADOR	78
QUADRO 1 – REPRESENTAÇÃO DAS FAIXAS DE FREQUENCIA DE CADA CANAL.....	25
QUADRO 2 – CANAIS DE TV EM PASSO FUNDO.....	26

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DOS AMPLIFICADORES	29
TABELA 2 - PULSOS PARA O SENTIDO HORÁRIO	58
TABELA 3 - PULSOS PARA O SENTIDO ANTI-HORÁRIO	59
TABELA 4 - GANHOS COM O AMPLIFICADOR	71

LISTA DE ABREVIATURAS

A – Amperes

CI – Circuito integrado

COFDM – Multiplexação por divisão de frequência ortogonal codificada

dB – Decibel

dBm – Decibel mili

Hz – Hertz

MHz- Megahertz

OFDM – Multiplexação por divisão de frequência ortogonal

PBM – Pesquisa Brasileira de Mídia

TV – Televisão

UHF – Frequência ultra alta

VHF – Frequência muito alta

V – Volts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 TV DIGITAL	15
2.1.1 Sinal UHF	20
2.1.1.1 <i>Modelo de propagação Okumura-Hata</i>	22
2.2 ANTENAS INTELIGENTES.....	24
2.2.1 Antena inteligente para o sinal de TV digital	25
2.3 AMPLIFICADOR UHF	28
2.3.1 Booster UHF	29
2.4 CIRCUITO DE POSIÇÃO	32
2.4.1 Sensores Magnéticos	33
2.4.2 Codificadores	33
3 DESENVOLVIMENTO	35
3.1 ESTRUTURA MECÂNICA	35
3.2 HARDWARE	36
3.2.1 Antena	36
3.2.2 Atuador	38
3.2.3 Receptor Digital	39
3.2.4 Microcontrolador	41
3.2.5 Interface receptor / micro	42
3.2.6 Amplificador	46
3.2.7 Circuito de posição	54

3.3 FIRMWARE.....	57
4 RESULTADOS	61
4.1 CIRCUITO DE INTERFACE	61
4.2 AMPLIFICADOR.....	62
4.3 CIRCUITO DE POSIÇÃO	73
4.4 PLACAS DE CIRCUITO.....	74
5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
REFERÊNCIAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

A televisão é o principal meio de comunicação no nosso país e no mundo todo. Por ela, as pessoas se atualizam sobre as notícias do dia e passam momentos de lazer com programas de entretenimento. (PBM, 2016).

Sendo assim, as antenas inteligentes vieram com a intenção de auxiliar o usuário a receber o sinal de TV com maior qualidade, pois são capazes de encontrar o sinal pretendido de forma automática, diminuindo erros do manuseamento manual da antena e demais problemas na recepção.

Até o final de 2023, está previsto o desligamento do sinal analógico em todo o Brasil, fato que já está ocorrendo em todas as grandes cidades do país neste ano de 2018. Assim, o sinal digital será implementado totalmente, se tornando a única forma de consumo dos canais de televisão.

Apesar de o sinal digital possuir maior qualidade que o analógico, tendo melhor resolução de imagem, som e melhor sintonia por ter menos interferências, o mesmo possui mais perdas de propagação por estar em uma faixa de frequência maior (UHF) do que o sinal antigo (VHF). Além disso, é preciso lembrar que muitas pessoas residem em zonas rurais ou localidades distantes das antenas transmissoras do sinal de televisão, o que prejudica a qualidade e a recepção do mesmo.

As antenas inteligentes clássicas são direcionadas baseadas em nível de potência. Um novo conceito de antena inteligente baseada em imagem faz com que a antena busque o sinal requerido pelo usuário de forma automática através de um motor de passo, rotacionando em volta do seu próprio eixo, e um microcontrolador que identifica se a antena está ou não recebendo o sinal. Porém, ainda não é adequado para os casos citados acima em localidades onde há dificuldades para a captação do sinal, fazendo-se necessário o uso de um amplificador. (NECKEL, 2017).

Portanto, é preciso aprimorar as antenas inteligentes, que apesar de já facilitarem a vida do usuário, ainda falham nos casos onde se possui dificuldades na recepção do sinal. Assim, o presente trabalho visa fazer melhorias nas antenas inteligentes baseadas em imagem, fazendo com que a mesma acione um amplificador no caso de não encontrar o sinal pretendido após dar a primeira volta. Ainda, pretende-se fazer com que a antena tenha medição da sua posição, sabendo a posição angular a qual se encontra, além de realizar melhorias no seu código de programação, o tornando mais objetivo e com menos falhas.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho consiste em aprimorar e realizar melhorias na antena inteligente de recepção de sinal de televisão digital, fazendo com que a mesma seja capaz de acionar um amplificador quando necessário, por exemplo, quando não encontrar o sinal ao completar uma volta, buscando em todos os ângulos possíveis, e tenha controle da posição onde se encontra no momento.

Para atingir o objetivo geral proposto são apresentados dois objetivos específicos:

1. Medição da posição da rotação da antena: saber a posição a qual a antena está posicionada no momento.
2. Acionamento inteligente do amplificador: fazer a ativação do amplificador quando não encontrar o sinal desejado após buscar em todos os ângulos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Como já foi dito anteriormente, o sinal de TV digital na faixa de UHF possui mais perdas de propagação que o sinal de TV analógico na faixa de VHF, pois trabalha em uma faixa de frequência maior, além de que muitas pessoas moram em locais afastados dos centros de transmissão fazendo com que a captação do sinal se torne mais difícil e de baixa qualidade. Portanto, este é um problema que pode ser resolvido com este projeto, pois apesar de as antenas inteligentes buscarem o sinal desejado de forma automática, ainda pode ocorrer de ele não ser encontrado por conta problemas já citados, fazendo-se necessário o uso do amplificador. Como o acionamento do amplificador será feito de forma inteligente, assim como a busca do sinal pretendido, não trará maiores problemas e nem preocupações para o usuário.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho divide-se em três capítulos. O primeiro capítulo será de introdução, objetivos e justificativa a respeito do projeto. No segundo capítulo serão apresentados conceitos teóricos necessários para a compreensão e desenvolvimento do trabalho. O terceiro capítulo é sobre o desenvolvimento do protótipo, constando a sua estrutura mecânica, desenvolvimento do hardware e firmware. No quarto capítulo constam os resultados obtidos a partir dos testes realizados. Por fim, a conclusão a respeito do projeto é feita no capítulo cinco,

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

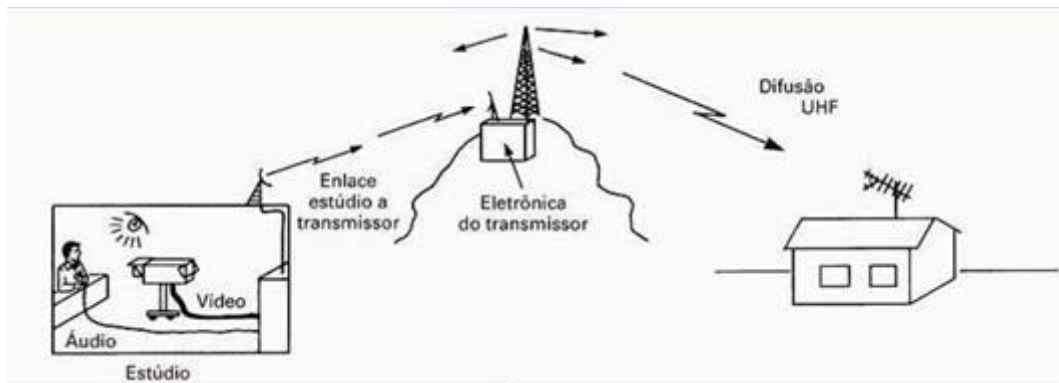
Neste capítulo serão apresentados alguns tópicos de conceitos importantes para o projeto. Será abordado sobre o funcionamento atual do sistema da antena inteligente a qual o presente trabalho visa aprimorar. Também será visto a respeito da TV digital, as principais características deste novo modelo de transmissão e sua qualidade superior a TV analógica. Ainda, serão apresentados conceitos a respeito do sinal UHF e sua propagação, como também aspectos dos amplificadores para este tipo de banda, e de acoplamentos para alta frequência.

2.1 TV DIGITAL

A TV digital é a transmissão e recepção de imagem e som através de formatos digitais, ou seja, codifica seus sinais (áudio e imagem) de forma binária. No Brasil, o padrão utilizado é o Sistema Brasileiro de Televisão Digital. Prevê-se que todas as cidades brasileiras deixem de receber o sinal analógico de televisão até o final de 2023. Em Passo Fundo, o sinal digital já foi totalmente implementado. (DTV, 2016).

O enlace de uma transmissão de televisão envolve vários estágios como pode ser visto na Figura 1. Primeiramente em um estúdio ocorre a produção, onde a imagem visível é transformada em um sinal de vídeo e os sons em sinais de áudio. Estes sinais chegam ao ponto de transmissão UHF, geralmente este ponto é situado em um local de elevada altitude para que se possa ser feita uma transmissão de alta potência aos telespectadores. Em seu último estágio, os sinais são recebidos pela antena receptora do usuário e mostrados no aparelho de televisão. (YOUNG, 2005).

Figura 1 - Enlace de televisão

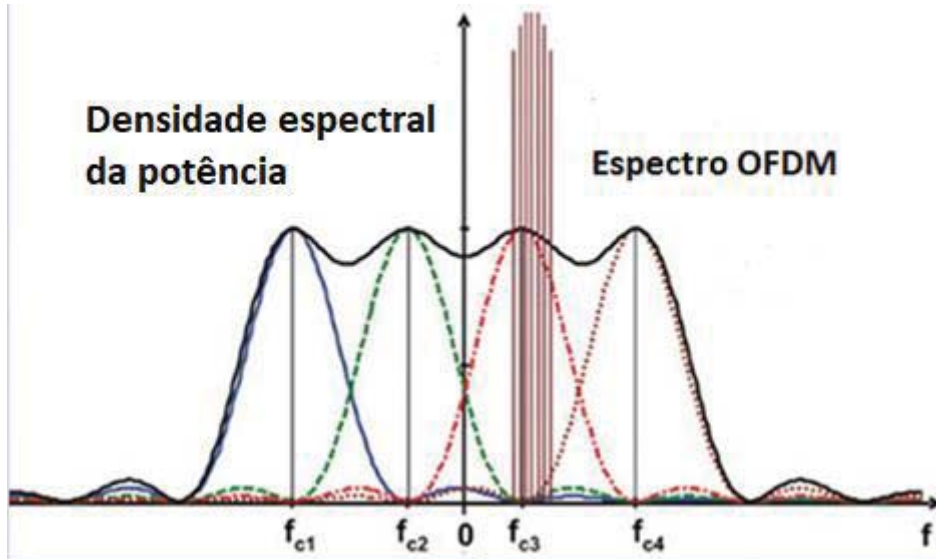


Fonte: YOUNG, 2005.

As ondas eletromagnéticas da transmissão analógica de televisão sofrem com diversos tipos de interferências que podem ser climáticas, geográficas e demais barreiras que alteram a qualidade do sinal. O sinal digital por conta da sua codificação binária não sofre com interferências. Assim, a qualidade do sinal recebido pelo consumidor é muito maior que a do analógico, além de que no sistema digital não ocorre as tradicionais imagens fantasmas, ou seja, imagens múltiplas aparecendo na tela. Por conta de a transmissão ser feita em níveis lógicos de 0 ou 1 a imagem simplesmente existe ou não. (YOUNG, 2005).

Para conseguir transmitir uma grande quantidade de bits garantindo qualidade, a televisão digital utiliza a técnica de modulação do tipo multiplexação por divisão de frequência ortogonal codificada (COFDM). Esta técnica é baseada na modulação do tipo multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM), a qual utiliza a ideia de multiplexação por divisão de frequência que consiste na utilização de múltiplas portadoras, ao contrário dos modelos convencionais onde a transmissão ocorre em uma portadora única. Dessa forma, divide-se uma transmissão em múltiplos sinais ocupando menos espectros, resultando em um sinal com muita pouca interferência. No sistema OFDM os sinais transmitidos são ortogonais e faz uso da sobreposição espectral o que torna a transmissão mais precisa na seletividade em frequência e reduz a interferência entre símbolos, como mostra a Figura 2. (YOUNG, 2005).

Figura 2 - Modulação OFDM



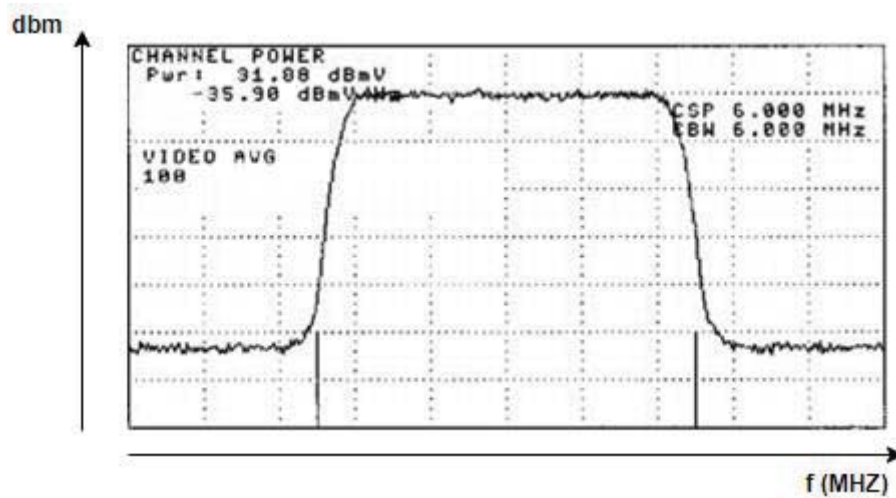
Adaptado de http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplcalt1/pagina_4.asp

Nota-se na figura acima que o espectro é separado em diversas subportadoras, onde cada uma transmite fluxo de dados independentes.

A COFDM difere-se no acréscimo da codificação, muito importante pois possui capacidade para correção de erros. Nela, o transmissor codifica o sinal utilizando código convolucional e o receptor utiliza decodificação por erro de bit de Viterbi.

Na Figura 3 pode ser observado o espectro de um canal digital de televisão onde é possível observar a informação da banda passante de 6 MHz. Percebe-se também o formato quase retangular do sinal digital, devido a modulação OFDM.

Figura 3 - Espectro de um sinal digital



Adaptado

de

https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/cable/cmts/ubr7200/ubr7225vxr/installation/guide/uBR7225VXR_HIG/ubr7225cnrf.html

Uma das maiores inovações do sinal digital é a resolução de imagem que chega a até 1080 linhas de vídeo com uma resolução de 1920x1080 pixels e uma relação wide-screen de 16:9, atingindo o padrão de alta definição que prioriza a nitidez e qualidade da imagem. A qualidade do som da TV digital também é bastante superior pois o padrão do sinal digital de áudio é estéreo e pode ser transmitido em até cinco canais, “o segredo da qualidade do som e da imagem reside nas técnicas de codificação e decodificação utilizadas.” (MEDEIROS, 2015, p. 164). Outra grande característica do sistema é a interatividade onde o usuário estabelece uma comunicação com a emissora do canal assistido.

O padrão digital da televisão brasileira é o *Sistema Brasileiro de TV Digital* (SBTVD), desenvolvido a partir do sistema japonês, que responde melhor a necessidade de mobilidade e portabilidade, além de ser um sistema altamente versátil pois pode ser empregado em outras atividades além da televisão digital. Em termos de codificação de imagem, o sistema emprega o MPEG-4, que viabiliza a reprodução de imagem em telas de menor dimensão, “uma transmissão à taxa de 128 kbits/s é suficiente para reproduzir uma imagem 320 x 240, com boa definição, compatível com o sistema de telefonia móvel celular.” (MEDEIROS, 2015, p. 165).

O sinal de TV digital trabalha em frequência ultra alta (UHF) na faixa de 470 MHz a 890 MHz dos canais 14 a 83, porém os canais 70 a 83 são utilizados para serviços terrestres móveis. Cada canal opera em uma faixa de frequência diferente com incrementos de banda passante de 6 MHz, a faixa de frequência que cada um dos canais trabalha pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 – Representação das faixas de frequência de cada canal















Canais UHF	Faixas MHz	Canais UHF	Faixas MHz	Canais UHF	Faixas MHz
14	470 MHz a 476 MHz	33	584 MHz a 590 MHz	52	698 MHz a 704 MHz
15	476 MHz a 482 MHz	34	590 MHz a 596 MHz	53	704 MHz a 710 MHz
16	482 MHz a 488 MHz	35	596 MHz a 602 MHz	54	710 MHz a 716 MHz
17	488 MHz a 494 MHz	36	602 MHz a 608 MHz	55	716 MHz a 722 MHz
18	494 MHz a 500 MHz	37	608 MHz a 614 MHz	56	722 MHz a 728 MHz
19	500 MHz a 506 MHz	38	614 MHz a 620 MHz	57	728 MHz a 734 MHz
20	506 MHz a 512 MHz	39	620 MHz a 626 MHz	58	734 MHz a 740 MHz
21	512 MHz a 518 MHz	40	626 MHz a 632 MHz	59	740 MHz a 746 MHz
22	518 MHz a 524 MHz	41	632 MHz a 638 MHz	60	746 MHz a 752 MHz
23	524 MHz a 530 MHz	42	638 MHz a 644 MHz	61	752 MHz a 758 MHz
24	530 MHz a 536 MHz	43	644 MHz a 650 MHz	62	758 MHz a 764 MHz
25	536 MHz a 542 MHz	44	650 MHz a 656 MHz	63	764 MHz a 770 MHz
26	542 MHz a 548 MHz	45	656 MHz a 662 MHz	64	770 MHz a 776 MHz
27	548 MHz a 554 MHz	46	662 MHz a 668 MHz	65	776 MHz a 782 MHz
28	554 MHz a 560 MHz	47	668 MHz a 674 MHz	66	782 MHz a 788 MHz
29	560 MHz a 566 MHz	48	674 MHz a 680 MHz	67	788 MHz a 794 MHz
30	566 MHz a 572 MHz	49	680 MHz a 686 MHz	68	794 MHz a 800 MHz
31	572 MHz a 578 MHz	50	686 MHz a 692 MHz	69	800 MHz a 806 MHz
32	578 MHz a 584 MHz	51	692 MHz a 698 MHz		

GIGASAT

Disponível em <https://www.gigasatbrasil.com.br/single-post/2015/06/18/VHF-e-UHF-qual-a-diferen%C3%A7a>

Em Passo Fundo, os canais de televisão digital operam até o canal 39 UHF, ou seja, até a frequência de 620 MHz a 626 MHz como pode ser observado no Quadro 2. Isto é, Rede Vida HD, Record TV RS HD, SBT RS HD, RBS Passo Fundo HD e Band RS HD.

Quadro 2 – Canais de televisão em Passo Fundo

CANAL RF	LOGO	EMISSORA (REDE)	VIDEO	ÁUDIO
4 VHF		UPF TV (Canal Futura)	SD	Mono
7 VHF		RBS Passo Fundo (Globo)	SD	Estéreo
11 VHF		Band RS (Band)	SD	Mono
13 VHF		TV Pampa Norte (Rede TV!)	SD	Mono
16 UHF		Rede Vida (Rede Vida)	SD	Mono
17 UHF		Rede Vida (Rede Vida)	HD	Estéreo
18 UHF		SBT RS (SBT)	SD	Mono
20 UHF		Record TV RS (Record)	HD	Estéreo
24 UHF		TV Cachoeira (TV Novo Tempo)	SD	Mono
27 UHF		SBT RS (SBT)	HD	Estéreo
28 UHF		Record TV RS (Record)	SD	Mono
30 UHF		TV Canção Nova (Rede)	SD	Mono
34 UHF		RBS Passo Fundo (Globo)	HD	Estéreo
39 UHF		Band RS (Band)	HD	Estéreo

Disponível em http://www.portalbsd.com.br/terrestres_channels.php?channels=61

2.1.1 Sinal UHF

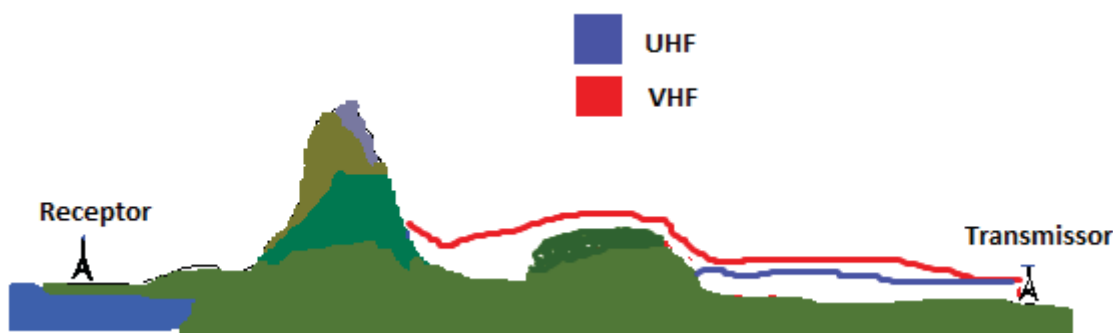
O sinal de frequência ultra alta (UHF) designa a faixa de radiofrequências entre 300 MHz e 3 GHz. O comprimento de onda deste tipo de sinal é muito pequeno, de 1 m a 100 mm, por este motivo as antenas para este tipo de banda assumem dimensões menores e são de fácil construção.

Os sinais UHF são comumente usados para a propagação de sinais de televisão em alta definição, redes wireless, bluetooth, serviço de internet móvel, radioamadorismo e comunicação de satélites como, por exemplo, o GPS.

As antenas para este tipo de sinal tornam-se mais diretivas pelo fato de os sinais UHF não atingirem grandes distancias, também por isso, necessita-se utilizar estações repetidoras para que o sinal tenha maior alcance. Por conta do seu curto comprimento de onda possuem dificuldades para propagar quando encontram dificuldades geográficas como regiões montanhosas e prédios, porém podem facilmente encontrar seu caminho no espaço, sendo recomendado para ambientes internos. Por possuir alta direcionalidade acaba se tornando muito útil para aplicações que necessitam de alta precisão. (MEDEIROS, 2015).

Através da Figura 4 pode-se observar a diferença na propagação de um sinal de frequência muito alta (VHF) com o sinal UHF. Nota-se que o sinal UHF não consegue ultrapassar a primeira região montanhosa, tendo muito mais dificuldade para propagar em ambientes com bloqueios.

Figura 4 - Comparação entre sinal VHF e sinal UHF



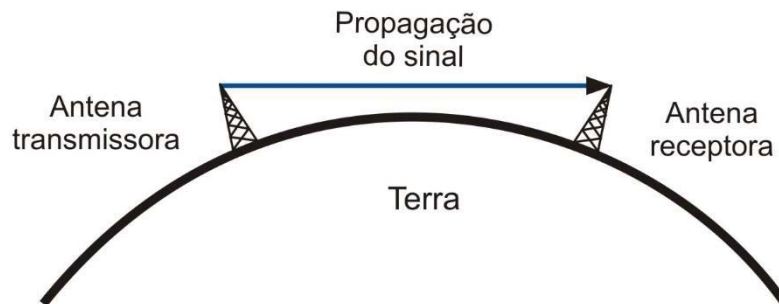
Adaptado de <https://radiojove.gsfc.nasa.gov/education/educ/radio/tran-rec/exerc/iono.htm>

A propagação das ondas UHF é feita através da propagação troposférica, muito utilizada para frequências acima de 30 MHz e que ocorre numa altitude de até 10 km no ambiente onde vivemos. Como na troposfera existem cerca de 80% dos gases de toda a atmosfera a trajetória da onda acaba sendo alterada, “quando a onda se propaga no vácuo, a trajetória é praticamente em linha reta, porém no ambiente gasoso da troposfera os feixes sofrem uma curvatura.” (MEDEIROS, 2015, p. 225). Além dos gases, condições climáticas como a chuva também alteram a propagação das ondas.

Na faixa de UHF o enlace na propagação é feito quase inteiramente por linha de visada, quando o sinal vai direto em linha reta do transmissor para o receptor como visto na Figura 5.

Este tipo de enlace é um dos mais importantes para sistemas de comunicação sem fio, “contudo, elevações no terreno configuram obstáculos que podem dificultar ou até mesmo inviabilizar o enlace.” (MEDEIROS, 2015, p. 211).

Figura 5 - Linha de visada



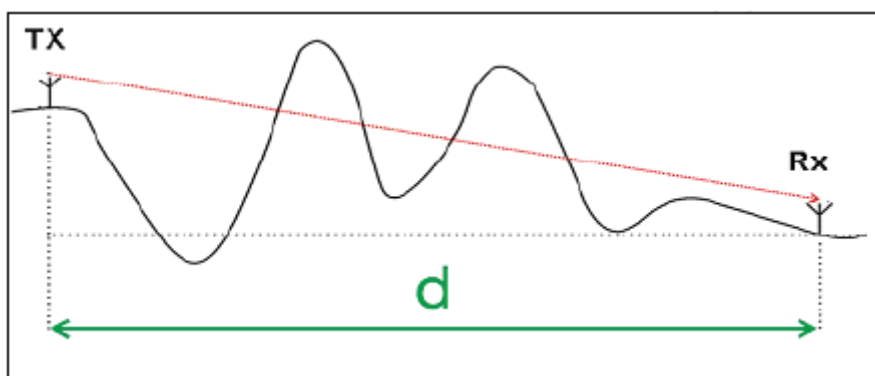
Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAafeXMAJ/meios-transmissao?part=2>

2.1.1.1 Modelo de propagação Okumura-Hata

O modelo de propagação de sinais de Okumura-Hata é uma formulação que analisa perdas na propagação formulado por Yoshihisa Okumura e válido para frequências de 150 MHz à 1500 MHz. O modelo apresenta a equação para a perda de propagação em meio urbano como o equacionamento principal, porém, com adição de fatores de correção é possível aplicar o método para diferentes situações como o meio suburbano. (ARMOOGUN; SOYJAUDAH; MOHAMUDALLY; FOGARTY, 2010).

O modelo de Okumura-Hata negligência condições terrenas entre o transmissor e o receptor pois assume que ambos os pontos estão normalmente localizados em colinas ou montanhas. O cenário admitido pelo modelo é demonstrado na Figura 6. (ARMOOGUN; SOYJAUDAH; MOHAMUDALLY; FOGARTY, 2010).

Figura 6 - Cenário do modelo de Okumura-Hata



Fonte: ARMOOGUN; SOYJAUDAH; MOHAMUDALLY; FOGARTY, 2010.

Portanto, a fórmula para uma perda média de propagação em meio urbano é dada conforme a Equação (1).

$$\begin{aligned}
 L(\textit{urbano})(dB) & \\
 &= 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_{tx}) - a(h_{rx}) + (44.9 \\
 &\quad - 6.55 \log(h_{tx})) \log(d) \qquad (1)
 \end{aligned}$$

Onde:

f_c é a frequência de 150 MHz à 1500 MHz,

h_{tx} é a altura (em metros) da antena de transmissão de 30m à 200m,

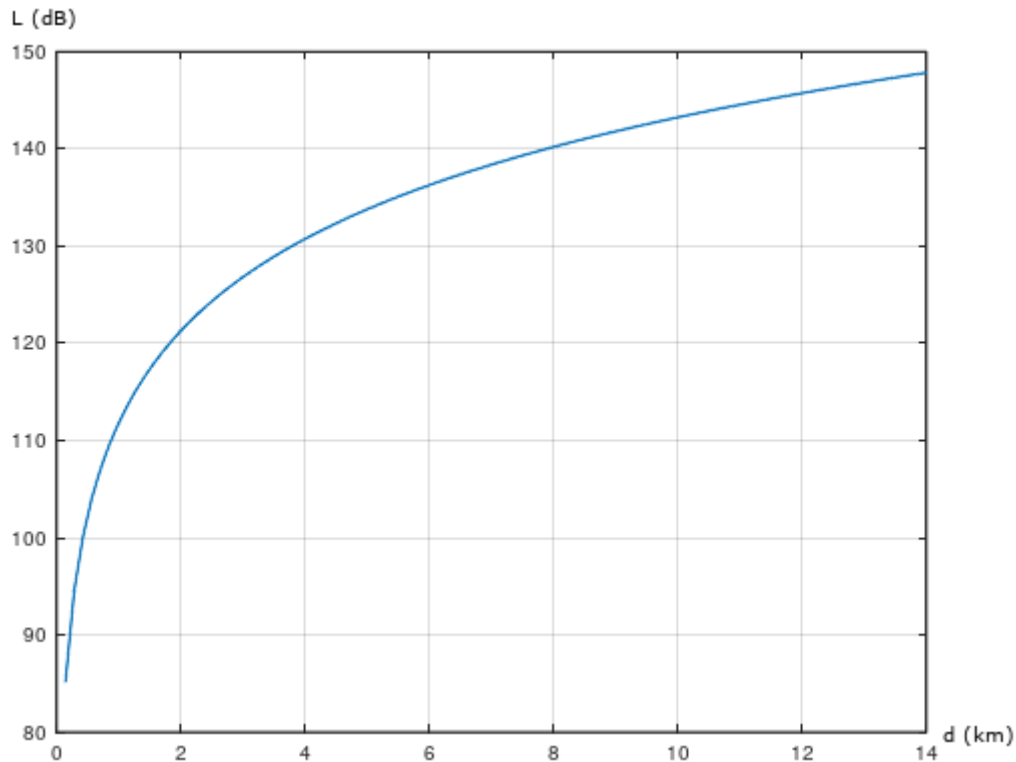
h_{rx} é a altura (em metros) da antena de recepção,

d é a distância que separa transmissor e receptor (em km),

$a(h_{rx})$ é o fator de correção a antena de recepção.

Através do gráfico da Figura 7 é possível observar que o o aumento das perdas de propagação conforme o aumento da distância através do modelo possui comportamento logarítmico.

Figura 7 – Relação entre perdas de propagação e distância



Fonte: Próprio autor

Para obter a perda de propagação em uma área suburbana a fórmula é modificada conforme a Equação (2).

$$L(\text{dB}) = L(\text{urbano}) - 2 \left[\log\left(\frac{f_c}{28}\right) \right]^2 - 5.4 \text{ dB} \quad (2)$$

Ainda, o fator de correção da antena de recepção é dado pela Equação (3).

$$a(h_{rx}) = (1.1 \log(f_c) - 0.7)h_{rx} - (1.56 \log(f_c) - 0.8) \text{ dB} \quad (3)$$

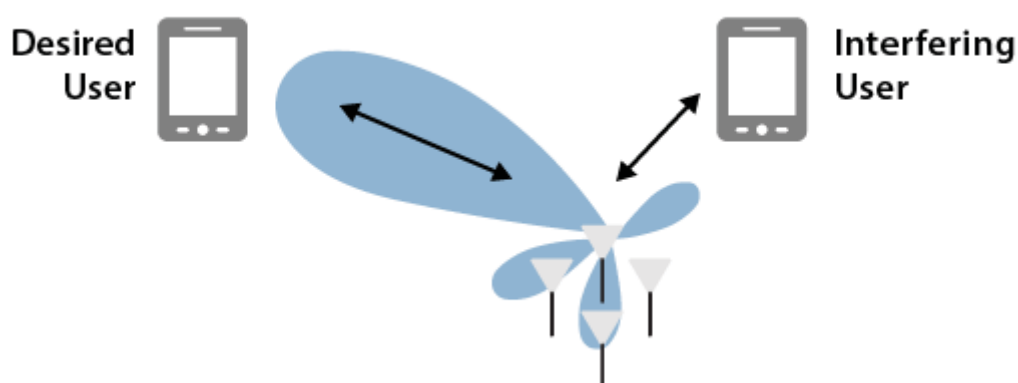
2.2 ANTENAS INTELIGENTES

A forma como é distribuído o sinal pelos modelos convencionais de antena resulta em grande desperdício de potência, pois a antena irradia o sinal para todas as direções, ou seja, maior parte do sinal irradiado não coincide com a posição a qual o usuário está posicionado, além de causar interferências para usuários que não estão utilizando determinado sinal. Para

solucionar este problema surgiram as antenas inteligentes, que direcionam o sinal enviado a quem necessita e reagem as mudanças dos ambientes fornecendo um sinal de maior qualidade ao usuário, evitando desperdícios e aproveitando melhor as faixas de frequência. (FERREIRA, 2008).

Na Figura 8 tem-se uma antena inteligente enviando sinais para os usuários. Observa-se com clareza o sinal sendo irradiado com maior potência para o usuário desejado que está necessitando do sinal, enquanto o usuário que não utiliza este sinal não está recebendo interferência do mesmo.

Figura 8 - Antena Inteligente



Disponível em <https://www.hindawi.com/journals/ijap/2012/467492/fig2/>

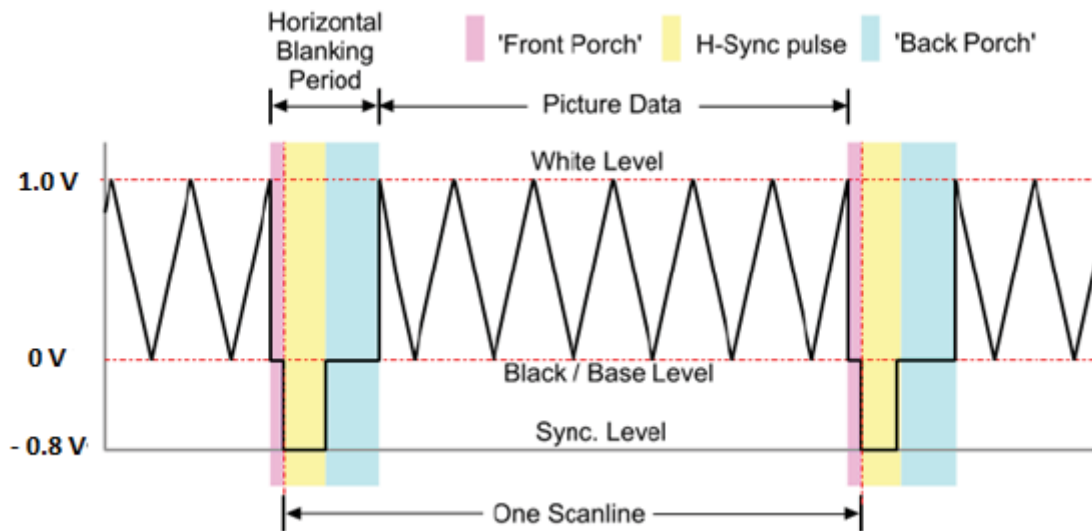
2.2.1 Antena inteligente para o sinal de TV digital

A antena inteligente para recepção do sinal de TV digital é capaz de captar o sinal desejado de forma automática, sem ser necessário o ajuste manual por parte do usuário. A antena possui um motor de passo acoplado na base que é responsável pela sua rotação no plano horizontal, sendo posicionada de acordo com o sinal requerido. (NECKEL, 2017).

Isto é possível através de um receptor digital, por onde o usuário escolhe o canal que deseja assistir. O aparelho transmite a saída de vídeo analógica para um microcontrolador. Através desse sinal é possível perceber se a antena está ou não recebendo o sinal do canal desejado, e a partir desta informação realiza o controle da rotação da antena através de um atuador, usualmente um motor de passo. (NECKEL, 2017).

Este sinal enviado pelo receptor é chamado de sinal de vídeo composto, onde há um período chamado de “*Horizontal Blanking Period*”, quando um feixe de elétrons é apagado para que se possa transmitir a imagem, como mostra a Figura 9. (DANJOVIC, 2015).

Figura 9 - Sinal de vídeo composto

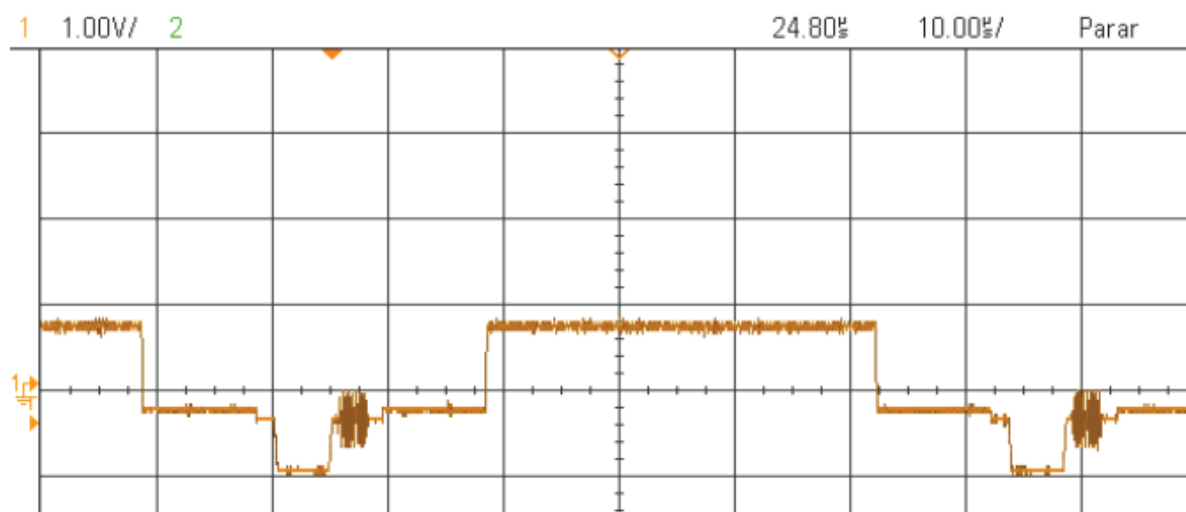


Adaptado de danjovic.blogspot.com.br/2015/02/sinais-de-sincronismo-da-tv-analogica-e.html

Neste período existem três etapas. A “*front porch*” garante que a imagem esteja no nível preto quando o pulso de sincronismo horizontal começar. Após, ocorre a “*black porch*”, garantindo o nível de referência da imagem e fazem com que as cores sejam amostradas no contraste correto. (DANJOVIC, 2015).

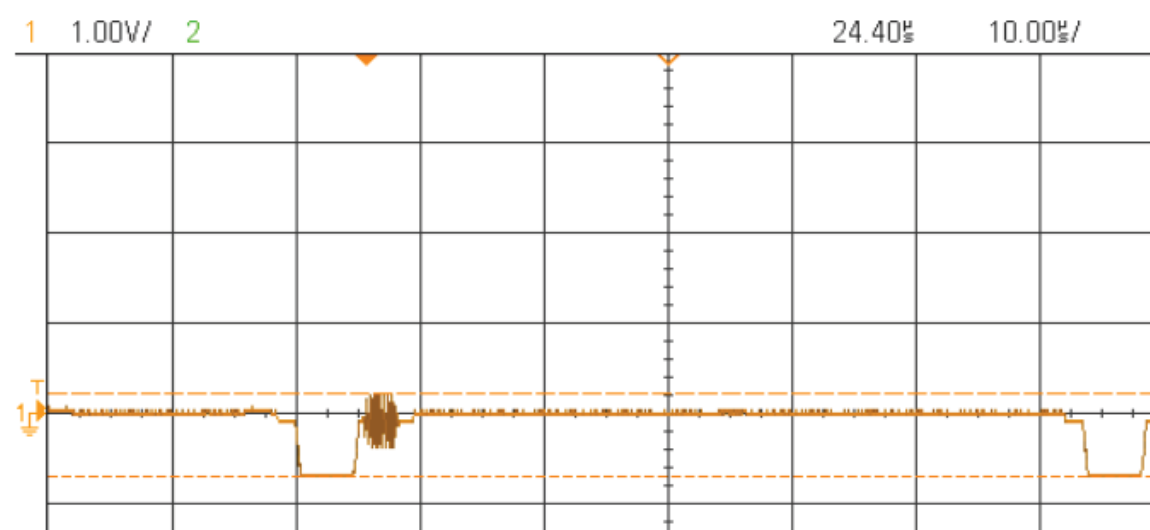
Assim, é possível observar a diferença do sinal de imagem com cor ilustrado na Figura 10 e de uma imagem preta na Figura 11. Nota-se que quando há somente a cor preta na imagem o nível do sinal é mínimo, enquanto quando há cores o nível do sinal é elevado, assumindo o nível das cores captadas. “É por meio desta diferença que o microcontrolador irá saber se o sinal do canal desejado está sendo captado. Pois é assumido que quando não existe cor na imagem a antena não está captando o sinal desejado.” (NECKEL, 2017, p. 42).

Figura 10 - Sinal da imagem com cor



Fonte: NECKEL, 2017

Figura 11 - Sinal da imagem preta



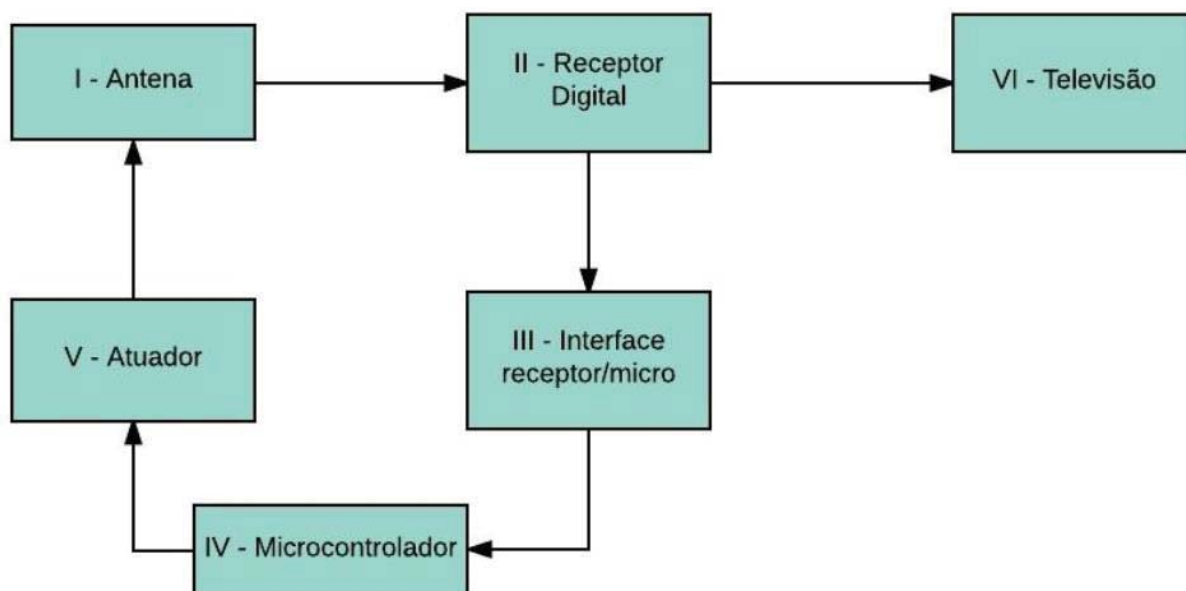
Fonte: NECKEL, 2017

Este sinal portanto precisa passar por um circuito de interface contendo um detector de envoltória e um diodo adequado para ser filtrado e fácil de ser interpretado pelo microcontrolador. Após o sinal ser filtrado ele é recebido no conversor A/D do microcontrolador, e através do valor digital que o micro fará a identificação se a antena está ou não captando o sinal desejado. (NECKEL, 2017).

O circuito de interface ainda conta com o circuito de potência, contendo transistores Darlington para que se possa ter ganho de corrente, garantindo a correta atuação do motor de passo que necessita de 1.2 A. O circuito de potência é isolado das saídas do micro via

optoacopladores. No fluxograma demonstrado na Figura 12, pode ser visto o sistema da antena inteligente de recepção do sinal de TV digital.

Figura 12 - Fluxograma da antena inteligente



Fonte: NECKEL, 2017

2.3 AMPLIFICADOR UHF

Por vezes a antena de televisão digital não consegue captar o sinal do canal ou ocorre de a imagem travar seguidamente, o que geralmente acontece caso o usuário resida distante da torre de transmissão ou em um local onde o sinal encontre bloqueios no caminho. Quando isto ocorre faz-se necessário o uso de um amplificador para o sinal recebido pela antena.

Existem dois tipos de amplificadores para um sistema de recepção UHF. O primeiro é o amplificador de linha, que é utilizado quando tem-se muitos metros de cabo coaxial ou muitos divisores de sinal, ou seja, usado quando o sinal chega forte na antena mas acaba sendo enfraquecido no caminho até a TV. Outro tipo de amplificador é o *booster*, utilizado para quando o sinal já chega enfraquecido na antena, ou seja, quando a antena é situada em locais distantes dos pontos de transmissão ou fora da linha de alcance de onde provém o sinal. Sendo assim, o *booster* será o equipamento utilizado neste projeto.

2.3.1 Booster UHF

Para escolher o amplificador mais adequado a ser usado é necessário levar alguns aspectos em consideração para que o modelo seja a melhor opção na situação requisitada.

Primeiramente, o *booster* deve ser capaz de amplificar na faixa de frequência requerida, por exemplo, como o presente projeto lida com o sinal de TV digital no Brasil, o *booster* deve amplificar na faixa de frequência de 470 MHz a 890 MHz. Além disso, o equipamento deve ser coerente com a antena onde será usado, se é para sinal analógico ou digital, além de possuir um acoplamento de impedância, geralmente 75 ohms, com o receptor.

Ainda, é preciso ter cuidado com o ganho do amplificador. Nem sempre o *booster* com o maior ganho pode ser a melhor opção de compra, pois em caso de amplificação exagerada acima da potência tolerada pelo receptor o sinal na recepção pode saturar, fazendo-se necessário o uso de um atenuador adequado para a recuperação do sinal. Na Tabela 1, como exemplo, pode-se observar as especificações técnicas dos modelos PQAB2640 e PQAB3640 da ProEletronic. Percebe-se que ambos os modelos condizem com os critérios desejados, sendo que o segundo possui maior ganho.

Tabela 1 - Especificação técnica dos amplificadores

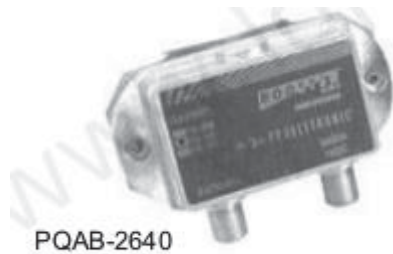
CÓDIGO	PQAB2640	PQAB3640		CODE
ESPECIFICAÇÕES				ELECTRICAL
Elétricas			UNID. UNIT.	SPECIFICATIONS
Faixa de frequência	470 - 890	470 - 890		Frequency Range
Ganho	(451-890MHz) 21±2,5	(451-632MHz) 38±2,5 (633-890MHz) 35±2,5	dB	Gain
figura de ruído	< 12	< 12		Noise figure
impedância de entrada / saída	75	75	Ohms	Input / Output impedance
Sinal máximo de saída	90	90	dBuV	Output Level
Mecânicas				Mechanical
Dimensões	75,0x37,0x19,0	75,0x37,0x19,0	mm	Dimensions
Conectores entrada / saída	"F"	"F"		Connectors

Fonte: ProEletronic

O modelo PQAB 2640 demonstrado na tabela acima pode ser visto na Figura 13. Existem ainda as versões menores chamadas de mini boosters, como pode ser visto na Figura 14 o

modelo PQBT4000A, também da ProEletronic. Apesar do tamanho diminuído, os mini boosters possuem as mesmas especificações e características dos amplificadores de tamanho normal.

Figura 13 - Booster UHF PQAB2640



Fonte: ProEletronic

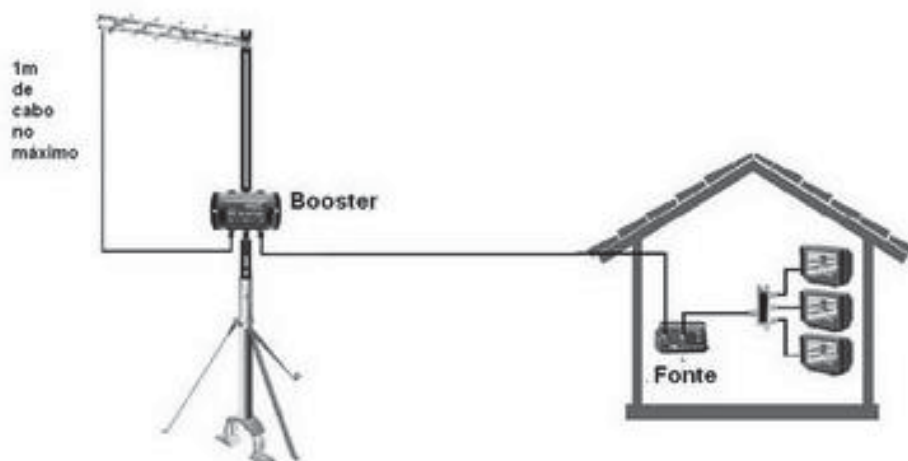
Figura 14 - Mini Booster UHF PQBT4000A



Fonte: ProEletronic

A instalação do *booster* é feita conectando uma parte do equipamento a antena e a outra a sua fonte, como é visto na Figura 15. É recomendado instalar o aparelho o mais próximo possível da antena para evitar maiores perdas de sinal no caminho.

Figura 15 - Instalação do Booster



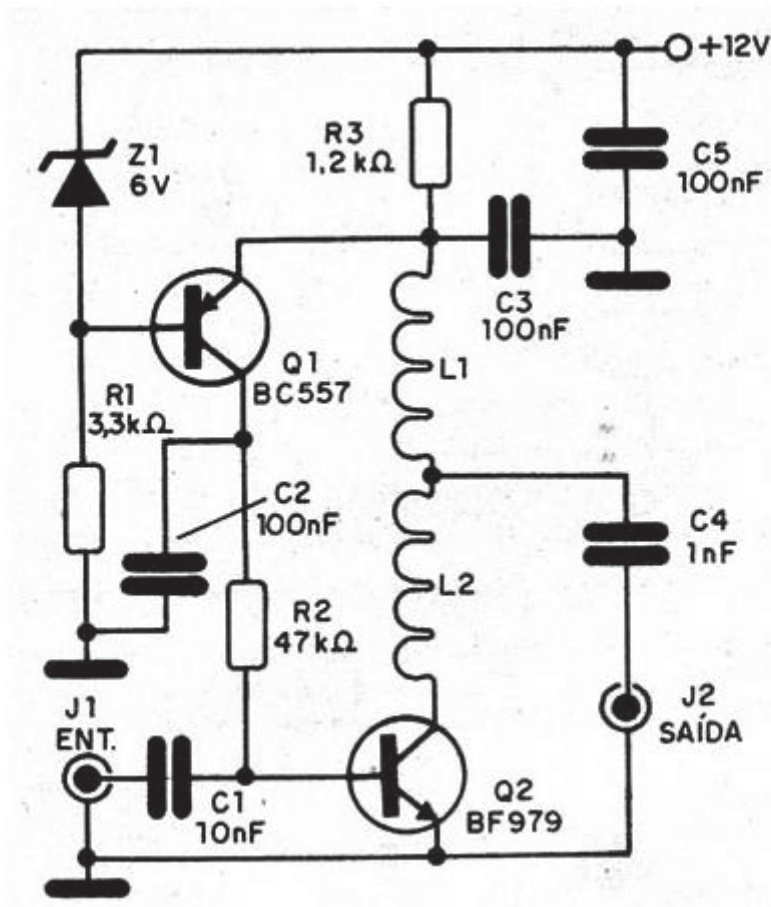
Disponível em <http://www.melhorantena.com.br/amplificador-de-linha-ou-booster-quando-usar-e-qual-diferenca/>

No mercado é possível encontrar diversos modelos de booster. O booster VHF pode ser utilizado somente para antenas que recebam este tipo de sinal e são encontrados com dois tipos de ganhos diferentes, sendo eles nas faixas de 20 dB ou 42 dB. Já o booster UHF, para antenas que trabalham nesta banda, também possui somente dois modelos de ganho, porém estes podem ser na volta de 26 dB ou 40 dB.

Além dos citados, ainda existem modelos para ambos os tipos de sinal. Estes podem ser de uma entrada, quando a antena utilizada pelo usuário é dual band, ou seja, recebe tanto sinais VHF quanto UHF, ou duas entradas, quando o utilizador possui uma antena para cada tipo de banda.

Por trabalharem com frequências elevadas é preciso muito cuidado na hora da sua fabricação, o transistor, por exemplo, deve ser soldado na parte cobreada da placa para que não se crie capacitâncias parasitas nos seus terminais. O transistor utilizado deve ser adequado para trabalhar e amplificar em altas faixas de frequências, como são por exemplos os modelos BF. Um exemplo do circuito interno de um booster para sinais UHF pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 - Exemplo do circuito interno do booster



Disponível em <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/telecomunicacoes/10141-booster-de-uhf-tel138>

No circuito ilustrado na Figura 15 o transistor Q1 funciona somente como um estabilizador da polarização de base. O sinal aplicado em C1 é amplificado pelo transistor Q2 e entregue para o receptor em C4. Os modelos de transistores, no exemplo o BF979, devem ser aptos a trabalhar com frequências altas, no caso de 800 MHz, o que torna difícil a confecção do circuito por serem componentes não usuais de serem encontrados.

2.4 CIRCUITO DE POSIÇÃO

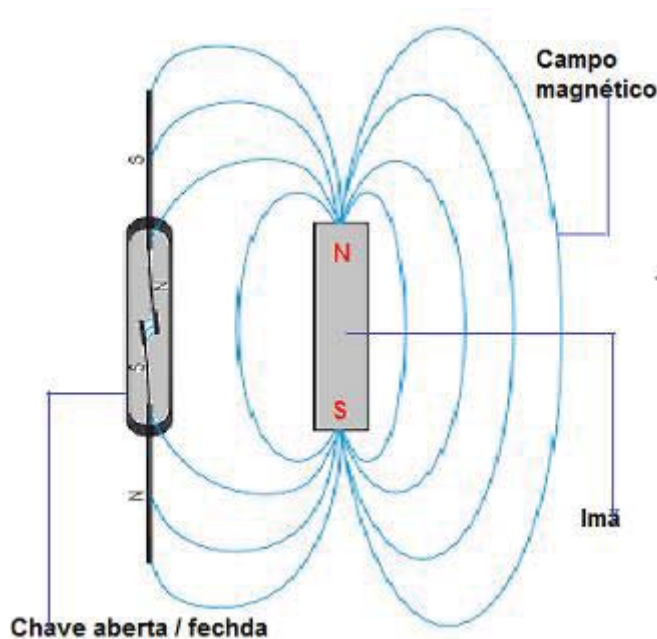
É possível confeccionar um circuito de posição utilizando sensores magnéticos e um CI codificador. Cada sensor é ligado a uma das entradas do codificador, assim, cada vez que um sensor é ativado, a entrada do codificador referente aquele switch é ativada alterando a saída do

CI. Um microcontrolador faz a leitura do nível lógico enviado das saídas do codificador sendo possível assim saber a posição onde a antena se encontra.

2.4.1 Sensores Magnéticos

Sensores magnéticos também são conhecidos como chaves de *reed switch*. Estes sensores possuem duas lamina flexiveis que ficam separadas em condições normais. Estas lamina são feitas de material ferromagnético de modo que se manifestem na presença de um campo magnético externo. Portanto, ao aproximar um imã no sensor as lamina se atraem, fazendo com o que o circuito se feche e o interruptor seja ativado, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Sensor magnético



Disponível em <http://www.portaleletricista.com.br/sensores-magneticos/>

2.4.2 Codificadores

Circuitos codificadores são capazes de converter um sinal de entrada lógico em um sinal digital ou BCD. Conforme a entrada que está ativa, altera-se o nível lógico da saída do codificador. Na Figura 18, como exemplo, pode ser visto a tabela verdade de um codificador qualquer com 16 entradas e quatro saídas. Nota-se que no caso S1 é o bit menos significativo (LSB) e S4 o bit mais significativo (MSB) e seus níveis são correspondentes a entrada ativa.

Figura 18 - Tabela verdade do codificador

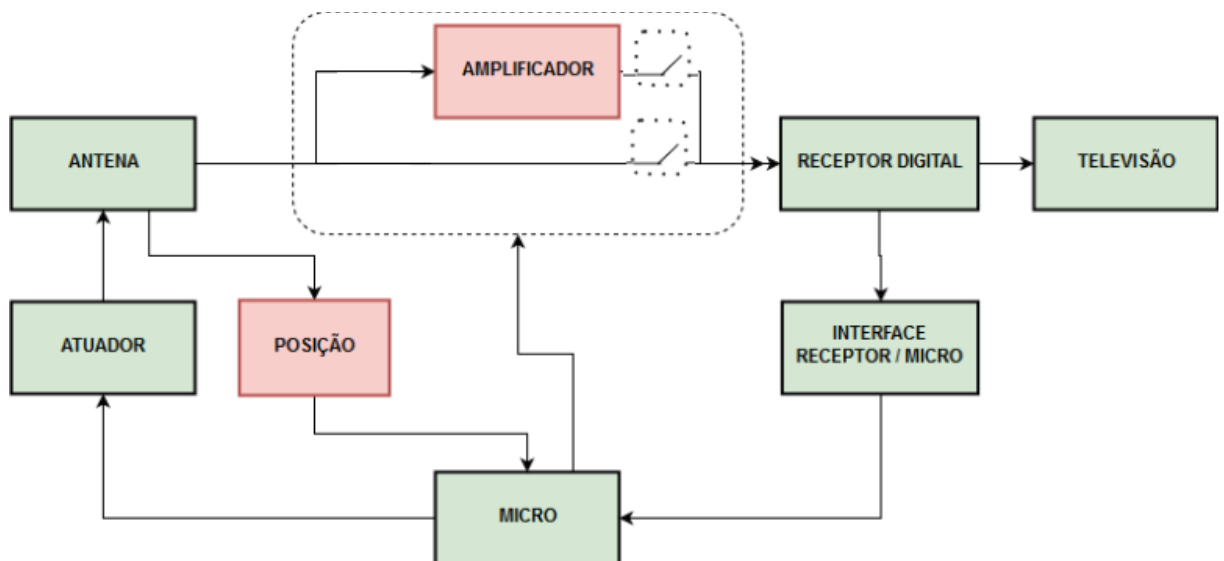
Entrada (ativada)	Saídas			
	S1	S2	S3	S4
E0	0	0	0	0
E1	1	0	0	0
E2	0	1	0	0
E3	1	1	0	0
E4	0	0	1	0
E5	1	0	1	0
E6	0	1	1	0
E7	1	1	1	0
E8	0	0	0	1
E9	1	0	0	1
E10	0	1	0	1
E11	1	1	0	1
E12	0	0	1	1
E13	1	0	1	1
E14	0	1	1	1
E15	1	1	1	1

Disponível em <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/1196-art160>

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será mostrado todo o desenvolvimento do projeto a fim de fazer com que a antena inteligente seja capaz de acionar inteligentemente um amplificador quando necessário, além de possuir conhecimento da sua atual posição. Será descrito como foi feito o desenvolvimento da estrutura mecânica do protótipo, o hardware e por fim, o firmware. Na Figura 19 é demonstrado o diagrama de blocos do projeto.

Figura 19 - Diagrama de blocos do projeto



Fonte: Próprio autor

3.1 ESTRUTURA MECÂNICA

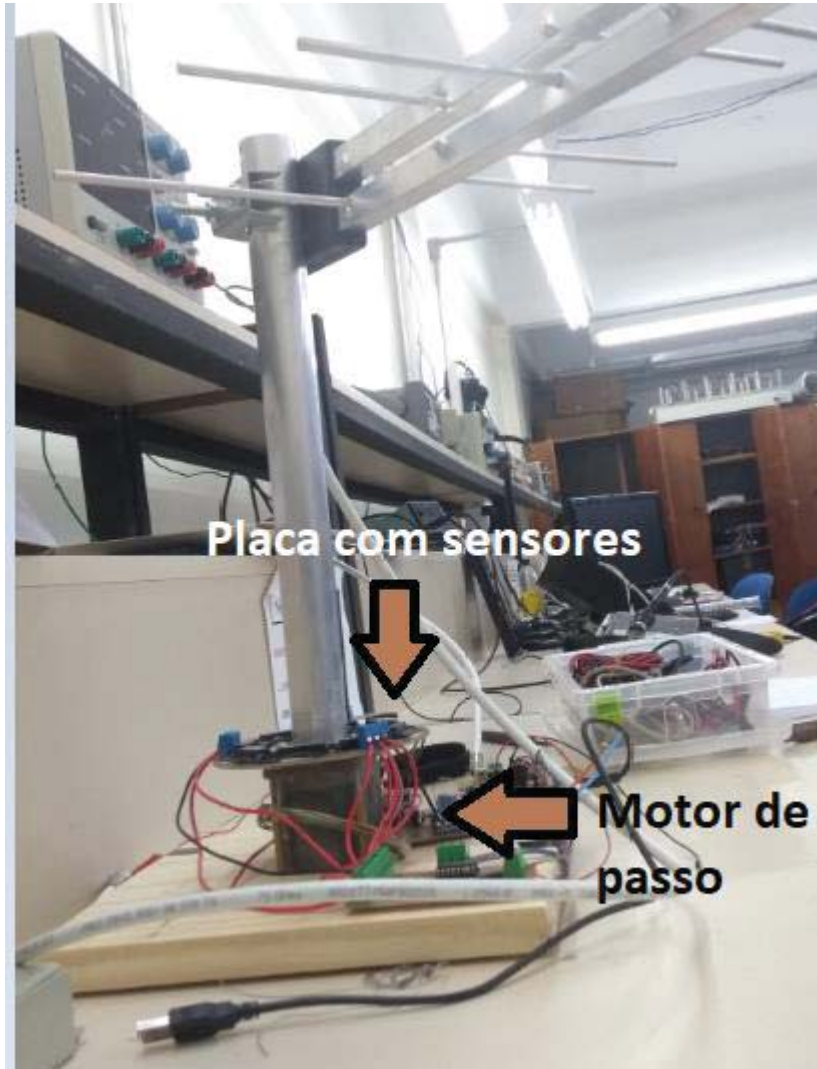
A estrutura mecânica do projeto foi inicialmente desenvolvida acoplando o motor de passo na antena. Para isto, foi necessário ser confeccionada uma polia própria para que fosse possível adaptar o eixo do motor ao suporte da antena. Assim, o eixo foi preso ao suporte da antena através de um prego, sendo possível que o motor pudesse rotacionar a antena.

A placa contendo os sensores magnéticos do circuito de posição foi colocada diretamente ao redor da antena de forma fixa, em formato circular. Na própria antena foi fixado um ímã que acompanha a sua rotação, usado para acionar os sensores.

O motor foi fixado em uma base de madeira para que a antena se mantenha firme e não fique desequilibrada. O espaço desta base foi aproveitado para que se colocasse as demais

placas de circuito feitas no projeto, sendo montado o protótipo final. Na Figura 20 é mostrada a estrutura.

Figura 20 - Estrutura mecânica



Fonte: Próprio autor

3.2 HARDWARE

Nesta seção será explicado detalhadamente o diagrama de blocos que foi demonstrado na Figura 19.

3.2.1 Antena

A antena utilizada foi uma antena log periódica comercial modelo TSU 965 da marca Telesonic, mostrada na Figura 21. A escolha se da pelo fato de que esta é uma antena direcional própria para TV digital, pois recebe com facilidade todos os canais da banda UHF disponíveis para TV, além de ser uma antena leve de 400g. As características técnicas do modelo pode ser visto na Figura 22.

Figura 21 - Antena digital TSU 965



Fonte : Telesonic

Figura 22 - Especificações da antena

CÓDIGO	TSU 965
FREQUÊNCIA	470 A 806 MHZ
GANHO	10 DBI
ALCANCE	MÉDIO
IMPEDÂNCIA	75 OHMS
INSTALAÇÃO	EXTERNA
MATERIAL	ALUMÍNIO
TAMANHO	640MM

Fonte: Telesonic

3.2.2 Atuador

O elemento escolhido para o atuador foi um motor de passo por este ser recomendado para aplicações onde é necessário grande precisão no posicionamento e controle nos fatores de ângulo de rotação e velocidade, além de possuir fácil acionamento na hora da programação.

O modelo utilizado, semelhante ao da Figura 23, possui tensão nominal de 6 V e corrente de 1.2 A, além de um torque de 19kgf o qual se mostrou suficiente para suportar e rotacionar a antena que possui um peso de 400g. Além disso, este motor possui uma precisão de 1.8° por passo, o que resulta em 200 passos, ou seja, 200 posições diferentes em que o motor pode posicionar a antena para buscar o sinal.

Figura 23 - Motor de passo



Fonte: www.newhskstore.com.br/motor-de-passo-nema-23-19kgf.html

3.2.3 Receptor Digital

O receptor é o responsável por enviar os sinais ao microcontrolador para que se possa identificar se a antena está captando o sinal desejado pelo usuário. Para isto foi utilizado o conversor digital de TV Intelbras CD 636 ilustrado na Figura 24. Este receptor possui uma saída de vídeo analógica, de onde são enviados os sinais ao micro, e uma saída HDMI, utilizada para reproduzir o sinal na televisão. Cada uma das saídas são demonstradas na Figura 25.

Figura 24 - Receptor digital CD 636



Fonte: Intelbras

Figura 25 - Entrada e saídas do receptor



Fonte: Próprio autor

A escolha deste receptor se da pelo fato de possuir um sinal na sua saída analógica simples de ser analisado pelo conversor A/D do microcontrolador. O seu sinal de vídeo composto possui somente uma dimensão, o que facilita a interpretação de quando a antena está captando o sinal ou está captando somente uma imagem preta.

Assim, assume-se que quando a antena está captando uma imagem preta ou sem cor o sinal não está sendo captado, e através desta diferença o microcontrolador consegue perceber se o sinal do canal desejado está ou não sendo captado.

3.2.4 Microcontrolador

O microcontrolador é parte fundamental no projeto pois é ele o responsável por controlar o motor de passo, identificar se o canal desejado está sendo captado através do sinal vindo do receptor, além de conhecer a posição onde a antena se encontra e assim fazer o acionamento do amplificador quando necessário.

Para isto foi necessário um conversor A/D e pinos de entrada e saída o suficiente para que fosse possível receber e enviar todas as informações e comandos necessários. Por estes motivos foi utilizado o ARM Cortex M4F, visto na Figura 26. Além de possuir um clock de 80 MHz, a placa possui 36 pinos de I/O sendo o suficiente para o projeto, além de um conversor A/D de 12 bits.

Figura 26 - ARM Cortex M4F

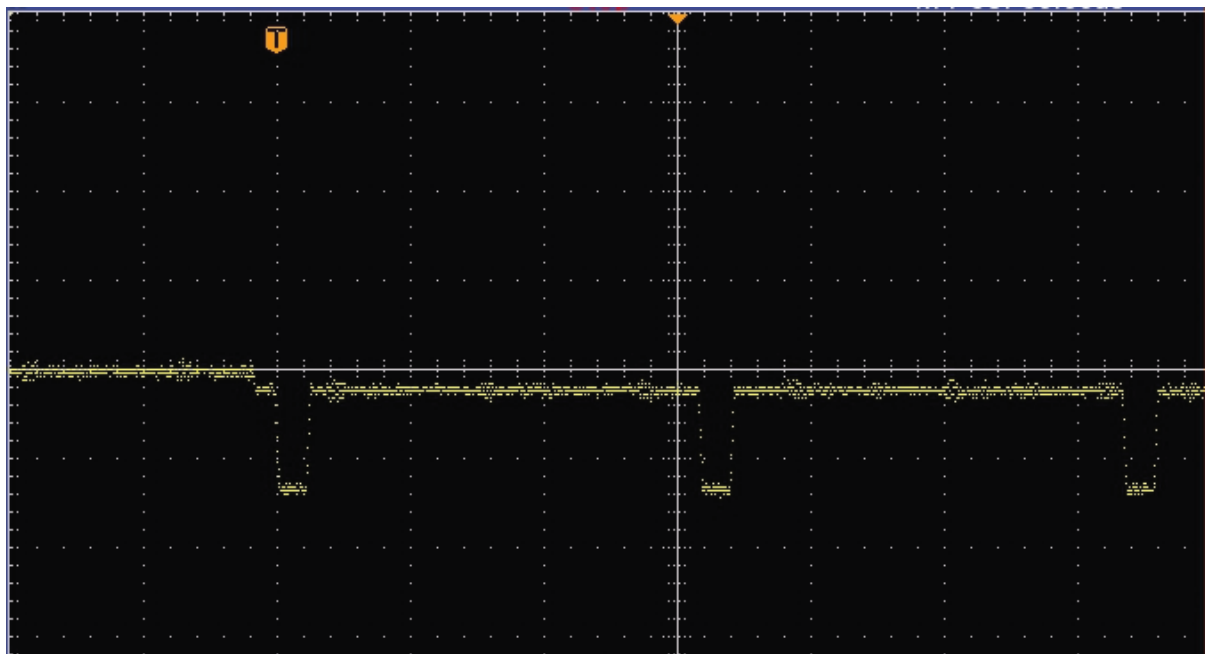


Fonte: Texas Instrument

3.2.5 Interface receptor / micro

Para adequar o projeto anterior da antena inteligente para as condições atuais foram necessárias alterações no circuito de interface. Como pode ser observado na Figura 27, o sinal que o receptor digital envia para o micro possui uma parcela negativa.

Figura 27 - Sinal de vídeo composto do receptor



Fonte: Próprio autor

Para que esta parcela do sinal seja eliminada se fez necessário o uso de um diodo. Como o sinal de vídeo composto enviado pelo receptor possui um nível de tensão baixo, é importante que o diodo possua a menor queda de tensão possível, por isto o componente escolhido foi o 1n5819 que possui uma queda de somente 0.3 V, significando uma melhora ao utilizado no projeto de NECKEL, 2017.

Ainda, para que o micro interprete o sinal mais facilmente tem-se um detector de envoltória para que seja possível aproximar o sinal de uma parcela DC. Como o presente projeto conta com um sistema de detecção da posição da antena, permite que o capacitor deste circuito possua uma descarga mais rápida de aproximadamente 2 segundos, um tempo mais adequado que os 6 segundos do projeto anterior. Logo, a partir da Equação (4) a qual representa o tempo de descarga de um capacitor é possível reprojeter o circuito.

$$\ln(Vc) = -\frac{t}{R.C} \quad (4)$$

Como Vc é a diferença de sinal quando a antena capta ou não a imagem, valor este que vai de 300 mV a 1 V, t é o tempo de descarregamento, R o valor do resistor e C do capacitor; Portanto:

$$\ln(0.7) = -\frac{2}{R \cdot C}$$

$$R \cdot C = 5.607$$

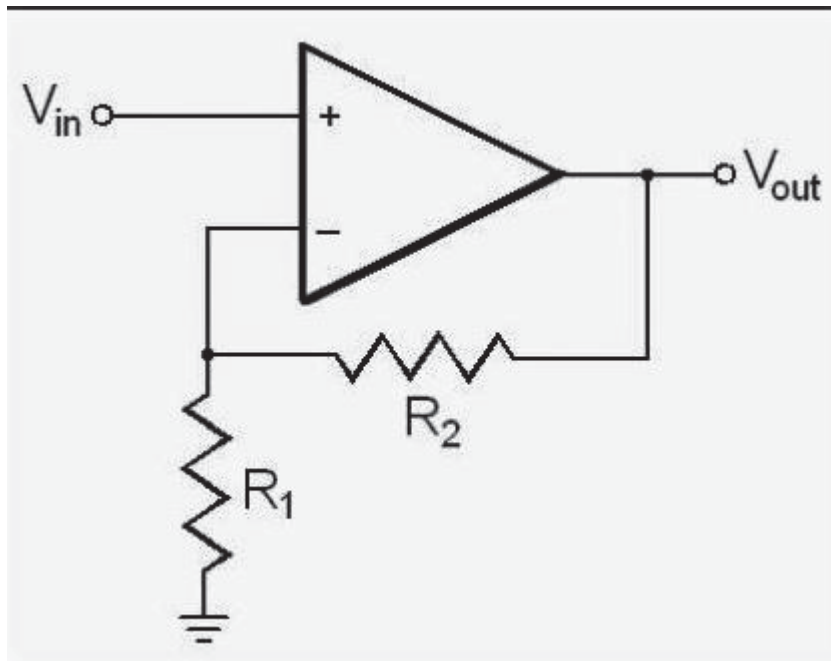
Como o capacitor adotado é de 100 uF, o resistor calculado fica por 56 kΩ.

$$R = \frac{5.607}{100 \text{ uF}} = 56 \text{ k}\Omega$$

Ainda como o nível de tensão do sinal do receptor é de baixa amplitude, é necessário um amplificador para que o conversor A/D do microcontrolador possa analisar o sinal com maior facilidade. Porém é necessário cuidado para não ultrapassar os 3.3 V suportados pelo pino do micro.

Como o nível de tensão do sinal quando a imagem começa a ser captada é de 300 mV e a tensão máxima do sinal é de 3 V o amplificador foi projetado para um ganho de 3 na configuração não inversor demonstrado na Figura 28.

Figura 28 - Amplificador não inversor



Fonte: Baú da Eletrônica

Para o projeto, portanto, é utilizada a Equação (5), onde G é o ganho e $R1$ e $R2$ os resistores.

$$G = 1 + \frac{R2}{R1} \quad (5)$$

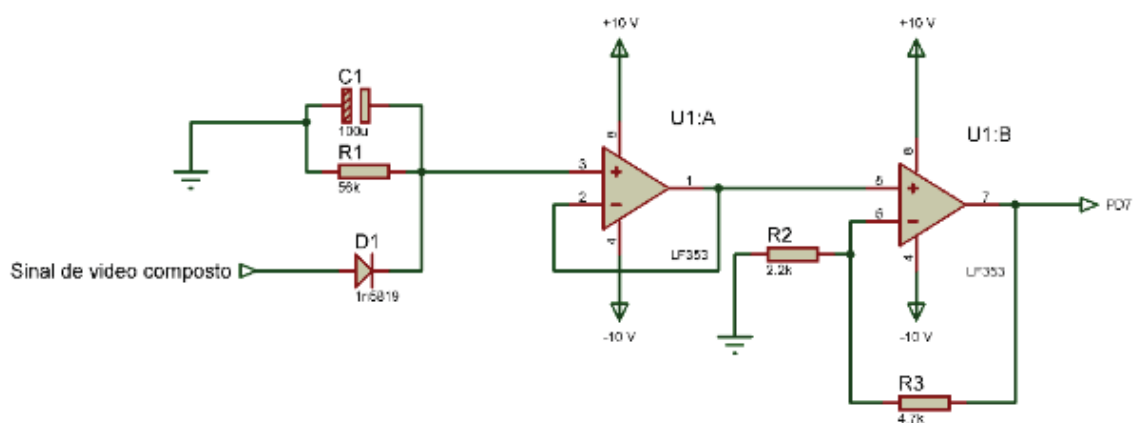
Como $R1$ adotado é igual a $2.2 \text{ k}\Omega$, tem-se $R2$ igual $4.4 \text{ k}\Omega$ sendo utilizado um resistor de $4.7 \text{ k}\Omega$ por ser o valor comercial mais próximo.

$$3 = 1 + \frac{R2}{2.2 \text{ k}\Omega}$$

$$R2 = 4.4 \text{ k}\Omega$$

O amplificador operacional utilizado foi um LF353, para aproveitar os dois amplificadores que contem no chip, um deles foi utilizado como buffer para uma melhor isolamento do amplificador para o detector de envoltória. Isto é necessário e seguro pois o sinal vindo do receptor possui um referencial terra diferente do conversor A/D. O circuito final é demonstrado na Figura 29.

Figura 29 - Circuito de interface



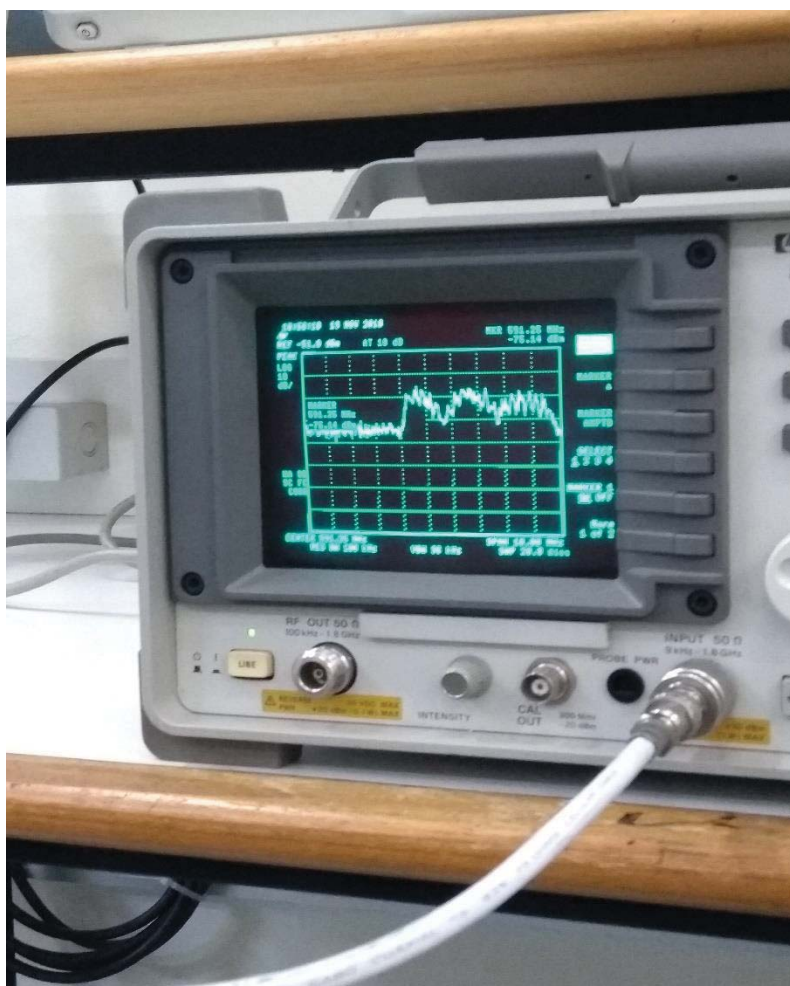
Fonte: Próprio autor

3.2.6 Amplificador

A escolha do booster requereu alguns cuidados devido ao receptor utilizado tolerar uma potência de no máximo 33 dBm na sua entrada, para isto foi necessário analisar as possibilidades.

Sendo assim, foi analisado o espectro da RBS TV por ser o canal de melhor sinal e consequentemente maior potência. Para isto, foi utilizado o analisador de espectro disponível com a antena posicionada onde o sinal chega com melhor qualidade. Como é visto na Figura 30, o espectro analisado ilustra uma potência de -75.14 dBm na frequência portadora do canal de 591.25 MHz.

Figura 30 - Espectro da RBS TV



Fonte: Próprio autor

Porém como o analisador possui uma impedância de 50Ω e a antena de 75Ω a potência mostrada no analisador possui uma perda de inserção (IL) que pode ser calculada através da Equação (6).

$$IL = 20 \log(T) \quad (6)$$

Onde T é o coeficiente de transmissão e pode ser calculado através da Equação (7).

$$T = 1 + \Gamma \quad (7)$$

Portanto, para calcularmos T precisamos calcular primeiro o coeficiente de reflexão (Γ), através da Equação (8).

$$\Gamma = \frac{Z_i - Z_o}{Z_i + Z_o} \quad (8)$$

Sendo Z_i a impedância de entrada e Z_o a impedância de saída têm-se que:

$$\Gamma = \frac{75 - 50}{75 + 50} = 0.2$$

Sendo agora possível calcular T:

$$T = 1 + 0.2 = 1.2$$

Assim, finalmente, é possível calcular as perdas:

$$IL = 20 \log(1.2) = 1.5836 \text{ dB}$$

Portanto, para descobrir a real potência do espectro do sinal sendo captado é necessário fazer uso da Equação (9).

$$\begin{aligned} \text{Potência ilustrada no analisador} + IL &= \text{Potência real do espectro} \quad (9) \\ -75.14 \text{ dB} + 1.5836 \text{ dB} &= -73.5564 \text{ dB} \end{aligned}$$

O modelo de *booster* com maior ganho disponível no mercado estudado é de 38 dBm, portanto, através da Equação (10) percebe-se que com sua utilização o sinal alcançaria uma potência de -35.5564 dB sendo perfeitamente compatível com o receptor utilizado.

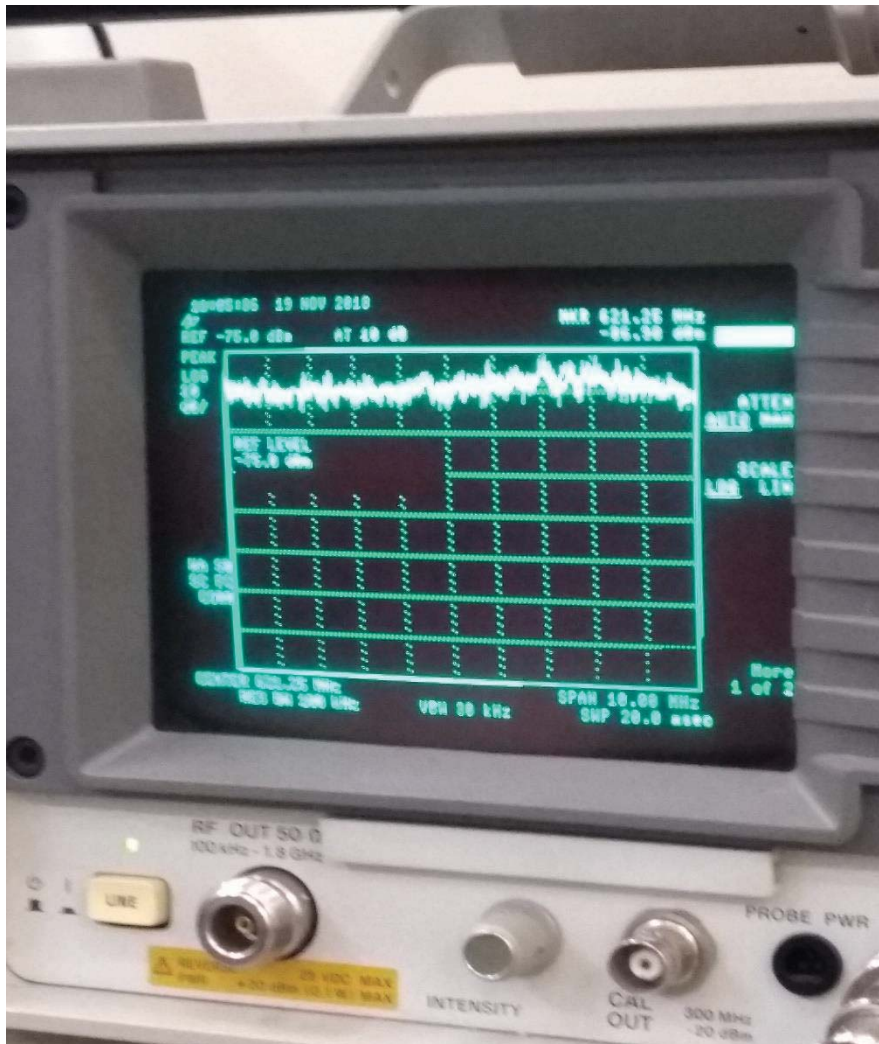
$$\text{Potência real do espectro} + \text{Ganho do amplificador} \leq 33 \text{ dBm} \quad (10)$$

$$-73.5564 \text{ dBm} + 38 \text{ dBm} \leq 33 \text{ dBm}$$

$$-35.5564 \text{ dBm} \leq 33 \text{ dBm}$$

Ainda foi preciso analisar o sinal de menor potência no local sendo este do canal Bandeirantes onde a imagem do sinal não é captada. É visto na Figura 31, que a potência deste sinal é de -86.90 dBm na sua frequência portadora de 621.25 MHz.

Figura 31 - Espectro da Bandeirantes



Fonte: Próprio autor

Mais uma vez é preciso calcular a potência real deste espectro seguindo a Equação (6), portanto:

$$-86.90 \text{ dBm} + 1.5836 \text{ dBm} = -85.3164 \text{ dBm}$$

O modelo de amplificador com menor ganho disponível é de 22 dBm. Como o sinal de maior potência, da RBS TV, possui -73.55 dBm, assume-se que esta é a potência necessária para que a imagem apareça na tela. Portanto, para saber se um modelo de menor ganho é o suficiente utiliza-se a Equação (11).

$$\text{Potência real do espectro} + \text{Ganho do amplificador} \geq -73.55 \text{ dBm} \quad (11)$$

Assim, é constatado que utilizando o *booster* de menor amplificação, no caso 22 dBm, o sinal consegue alcançar uma potência de -63.3164 dBm, ou seja, o suficiente para que o canal seja visto na televisão.

$$-85.3164 \text{ dBm} + 22 \text{ dBm} \geq -73.55 \text{ dBm}$$

$$-63.3164 \text{ dBm} \geq -73.55 \text{ dBm}$$

Portanto, qualquer um dos dois modelos de ganho diferentes podem ser utilizados perfeitamente nas condições do projeto. Com isto, o modelo escolhido foi o PQBT-2650A da Pro Eletronic que possui ganho de 22 dB e é mostrado na Figura 32. A escolha deste modelo se deu pelo fato de o mesmo possuir filtro LTE que impede interferências do sinal 4G e trabalha isoladamente na frequência da TV digital. Além disso o modelo escolhido possui uma impedância de 75Ω , compatível tanto com a antena utilizada como com o receptor, evitando maiores perdas de sinal.

Figura 32 - Booster PQBT-2650A



Fonte: ProEletronic

Verificou-se que o amplificador sem alimentação funciona como um circuito aberto ao invés de possuir somente ganho unitário, então é necessário fazer com que o sinal recebido pela antena siga dois caminhos, um sem amplificação e outro com o amplificador. Ainda é necessário fazer o chaveamento de ambas as partes para que seja possível escolher qual dos dois sinais chegará ao receptor.

Primeiramente, então, é necessário o uso de um *splitter* demonstrado na Figura 33. Este equipamento funciona como um divisor de sinais onde um sinal de entrada, no caso o sinal provindo da antena, é dividido nas duas saídas.

Figura 33 - Splitter



Fonte: All Tech

Uma das saídas é para o sinal original sem amplificação, ou seja, o mesmo sinal que é recebido na antena. A outra saída é ligada ao amplificador. Como o receptor digital só possui uma entrada é necessário uma emenda T coaxial identificado na Figura 34 para conectar os sinais ao equipamento.

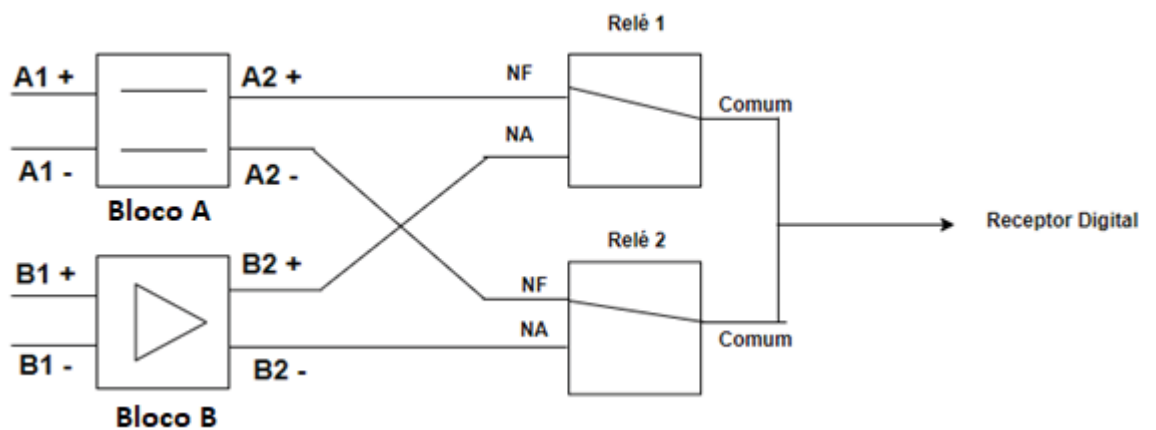
Figura 34 - Emenda T coaxial



Fonte: All Tech

Para que seja feito o chaveamento para a escolha dos sinais é projetado um circuito com relé para cada uma das saídas do splitter, assim, aciona-se o relé para o sinal que vai ser utilizado e desaciona-se para o sinal que não será usado. A lógica do funcionamento do é mostrada na Figura 35, onde o bloco A representa o sinal sem amplificador e o bloco B o sinal com o uso do equipamento.

Figura 35 - Diagrama do acionamento dos sinais



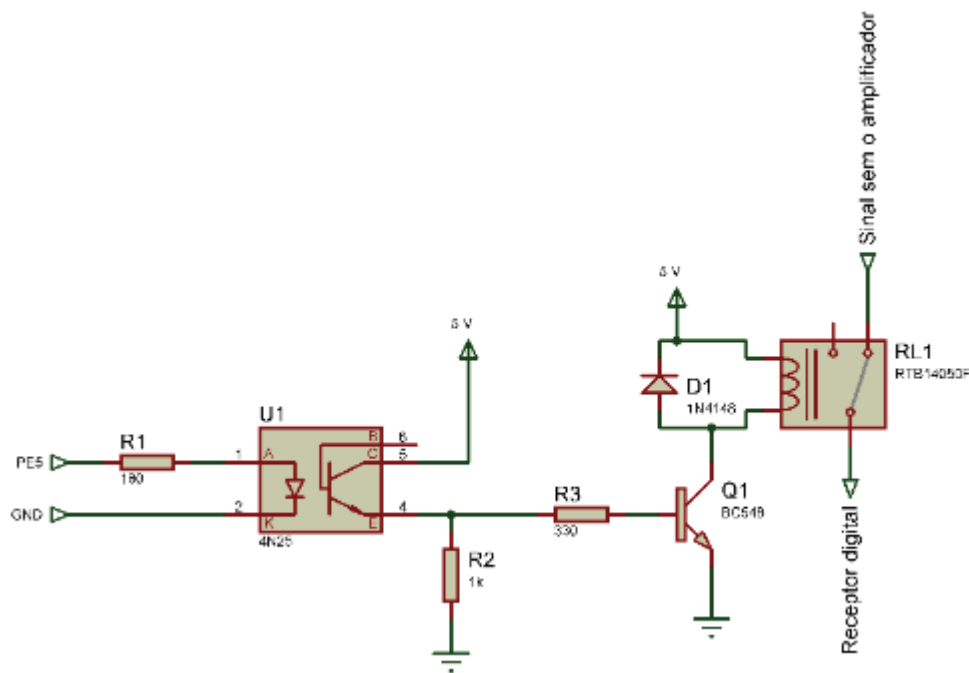
Fonte: Próprio autor

A lógica demonstra que é necessário isolar completamente os dois sinais, tendo seus positivos e negativos separados para que não haja nenhuma interferência, permitindo assim que o amplificador permaneça ligado em sua alimentação. Caso contrário ocorre conflito entre os negativos dos sinais fazendo com que o sinal sem amplificação não chegue ao receptor enquanto o amplificador permanece ligado. Além disso, da maneira colocada o circuito funciona como se cada um dos sinais estivesse diretamente ligada ao receptor, pois quando uma parte está

ativada a outra está totalmente desligada. Isto também evita perda do sinal no splitter, pois ao invés de o sinal ser dividido ele passa somente pela saída acionada. Por isso a importância de usar dois relés, um para cada um dos sinais e que devem ser comutados ambos ao mesmo tempo.

O circuito para que comuta o sinal original sem o uso do amplificador é visto na Figura 36.

Figura 36 - Circuito de comutação do sinal sem amplificador



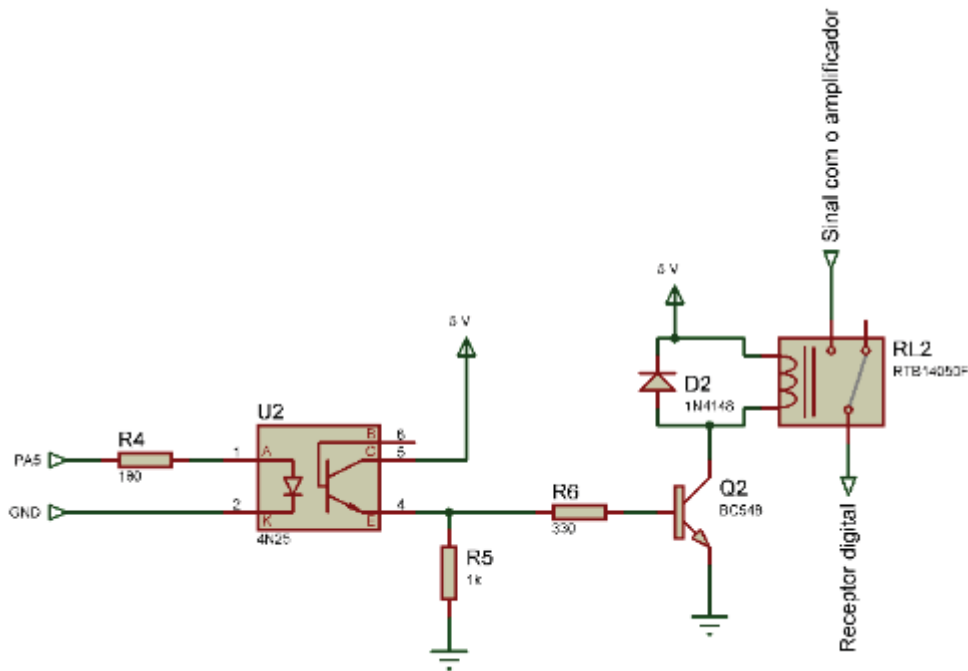
Fonte: Próprio autor

O optoacoplador 4n25 é utilizado para isolar o microcontrolador do restante do circuito, evitando problemas. O relé, de tensão de 5 V para que se possa utilizar a mesma fonte dos demais circuitos, tem seu contato normalmente fechado ligado a saída do splitter correspondente ao sinal sem amplificação enquanto seu comum vai para a entrada do receptor digital, isto porque inicialmente não é necessário o uso do amplificador e é utilizado o sinal original vindo da antena. Assim, quando microcontrolador detecta que a antena retornou a posição inicial de busca sem ter encontrado o sinal desejado o pino PE4 é acionado fazendo com que o relé feche com o conato normalmente aberto, desativando o sinal.

Para o acionamento do amplificador circuito desenvolvido é semelhante e mostrado na Figura 37. A diferença é que o sinal vindo do amplificador está no contato normalmente aberto do relé para que o amplificador esteja inicialmente desativado. Da mesma forma que no circuito anterior, quando o microcontrolador perceber que a antena retornou a posição inicial sem

encontrar sinal, o pino PA5 é acionado fechando o contato e fazendo com que o sinal amplificado seja recebido.

Figura 37 - Circuito de comutação do amplificador



Fonte: Próprio autor

Ambos os circuitos necessitam ser soldados em placas universais do tipo wire wrap. Pelos sinais serem de alta frequência, é preciso que os componentes permaneçam o mais próximos possíveis evitando fios e longos caminhos para que não se tenha maiores perdas ou ruídos.

3.2.7 Circuito de posição

Saber a posição em que a antena se encontra é essencial para saber o momento em que a antena completou uma volta inteira, ou seja, retornou a sua posição inicial para que então seja acionado o amplificador.

Para isto foi desenvolvido um circuito de posição próprio utilizando sensores magnéticos e um circuito codificador.

O modelo de sensor escolhido foi o SM1001 da Metaltex, mostrado na Figura 38. A escolha se deu pelo fato de este modelo ser muito mais resistente e confiável do que os tradicionais *reed switches* em ampola, além de necessitar de uma tensão mínima de comutação

de 1 V e suportar uma corrente de até 1.2 A, sendo mais do que o suficiente para o circuito proposto.

Figura 38 - Sensor SM1001



Fonte: Metaltex

O codificador utilizado para o circuito foi o 74LS148 que possui oito entradas, uma para cada sensor utilizado. Sendo assim o CI possui três saídas onde o nível lógico de cada uma delas varia dependente de qual entrada está ativada como demonstra a tabela verdade do componente mostrada na Figura 39.

Figura 39 - Tabela verdade 74LS148

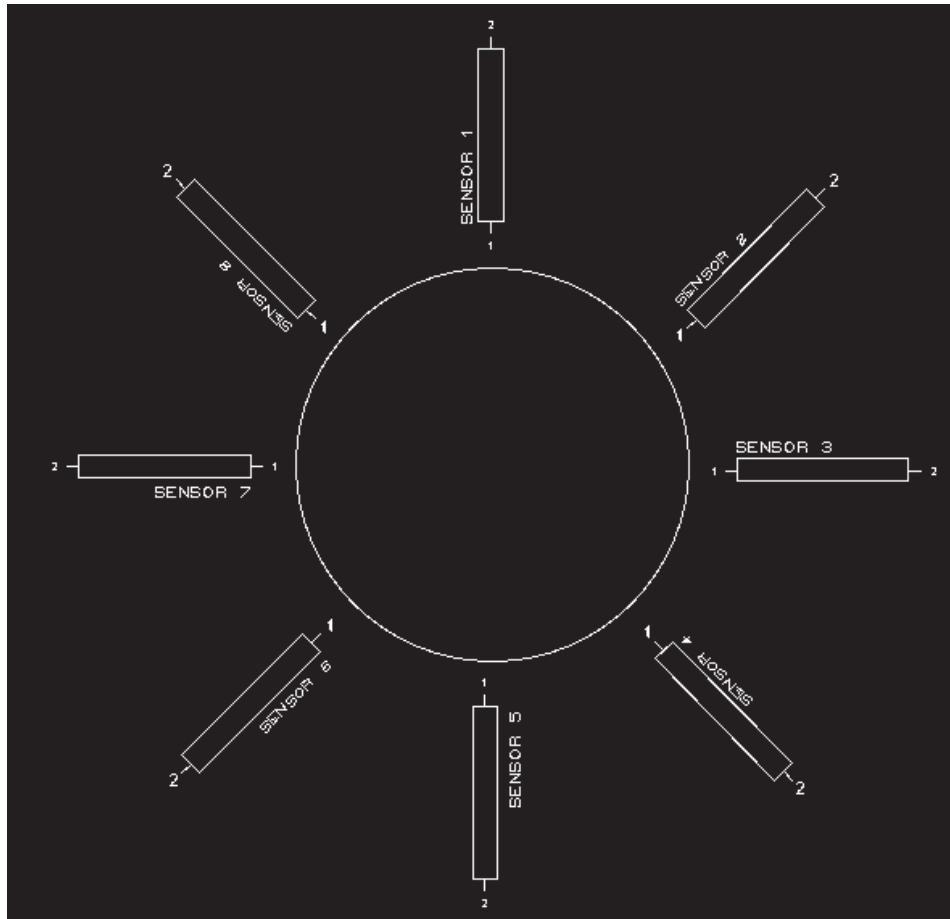
INPUTS									OUTPUTS				
EI	0	1	2	3	4	5	6	7	A2	A1	A0	GS	EO
H	X	X	X	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H
L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L
L	X	X	X	X	X	X	X	L	L	L	L	L	H
L	X	X	X	X	X	X	L	H	L	L	H	L	H
L	X	X	X	X	X	L	H	H	L	H	L	L	H
L	X	X	X	L	H	H	H	H	L	H	H	L	H
L	X	X	L	H	H	H	H	H	H	L	H	L	H
L	X	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H

Fonte: Datasheet do componente

Foram utilizados oito sensores magnéticos colocados entre ângulos de 45°, como mostra a Figura 40, tendo assim oito posições angulares diferentes. Nas entradas do codificador são colocados resistores de pull up para que se mantenham em nível lógico alto, assim cada um dos

sensores liga uma entrada ao terra. Portanto, quando o sensor é acionado pelo ímã da antena sua respectiva entrada fica em nível lógico baixo alterando os estados das saídas do codificador.

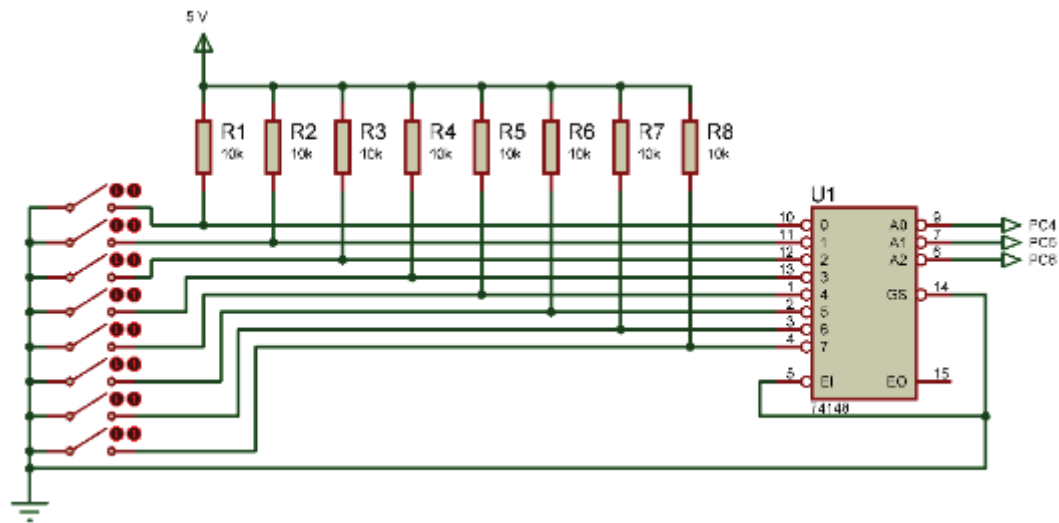
Figura 40 - Disposição dos sensores na placa



Fonte: Próprio autor

Cada pino de saída é ligado diretamente a uma IO do microcontrolador que recebe a informação. Assim, é possível que o micro saiba em qual das oito posições conhecidas a antena se encontra no momento através do nível lógico das saídas do codificador. O esquema do circuito completo é mostrado na Figura 41, onde PC4, PC5 e PC6 são os pinos em que o microcontrolador recebe a informação.

Figura 41 - Circuito de posição



Fonte: Próprio autor

O circuito de posição foi dividido em duas placas separando os sensores do resto do circuito para que ficasse mais firme próximo a antena. A placa contendo apenas os sensores magnéticos foi colocada de forma fixa diretamente no suporte da antena. A outra placa contendo o codificador e resistores é colocada na base do protótipo.

3.3 FIRMWARE

O A/D interno do ARM é o responsável por analisar o sinal de vídeo composto vindo do receptor. O conversor possui uma resolução de 12 bits (4096), e uma tensão máxima de 3.3 V, o que gera uma resolução de 0.81 mV por bit como mostra a Equação (12).

$$\frac{3.3 V}{4096} = 0,81 \frac{mV}{bit} \quad (12)$$

O sinal da imagem preta chega no A/D com o valor de 0.880 V, convertendo para o valor digital pela Equação (13) tem-se o valor de 1086.

$$\frac{0.880 V}{0.81 mV} = 1086 \quad (13)$$

Ou seja, quando o A/D receber um valor inferior a 1086 o microcontrolador assume que o sinal não está sendo captado e acionará o motor de passo, fazendo o motor girar lentamente e dando pausas a cada passo para aguardar o tempo de descarregamento do capacitor do detector de envoltória e verificar se a antena captou o sinal, totalizando 400 segundos para dar uma volta completa. Quando o sinal for captado e a imagem aparecer na TV o motor é desacionado e a antena permanece posicionada da forma correta.

O micro monitora os níveis lógicos das portas PC4, PC5 e PC6 e os armazena em vetores para conhecer a posição da antena. Ao usuário escolher ou trocar de canal, o micro armazena o valor presente no vetor de posição inicial. Conforme a antena rotaciona e chega em uma nova posição conhecida o valor da nova posição é armazenado em um outro vetor da posição atual. Cada vez que uma nova posição é detectada ambos os vetores são comparados, quando os vetores forem iguais o micro identifica então que a antena retornou a posição inicial, ou seja, completou uma volta de busca sem encontrar o sinal. Ao perceber isso, as portas PE4 e PA5 são acionadas para que o sinal original seja desativado e o amplificador seja então ativado e o motor volta a girar para buscar o sinal fazendo uso do amplificador. Porém, ao completar o giro de 360° o micro rotaciona o motor no sentido contrário para evitar que o cabo da antena se enrole no protótipo.

Para fazer o motor girar corretamente cada bobina é conectada a um pino do microcontrolador que envia uma sequência de pulsos fazendo o seu acionamento. As Tabelas 2 e 3 mostram como é feita a sequência de pulsos tanto para o sentido horário como para o sentido anti-horário.

Tabela 2 - Pulsos para o sentido horário

Passos	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3	Bobina 4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1
5	1	0	0	0
6	0	1	0	0
7	0	0	1	0

Fonte: Próprio autor

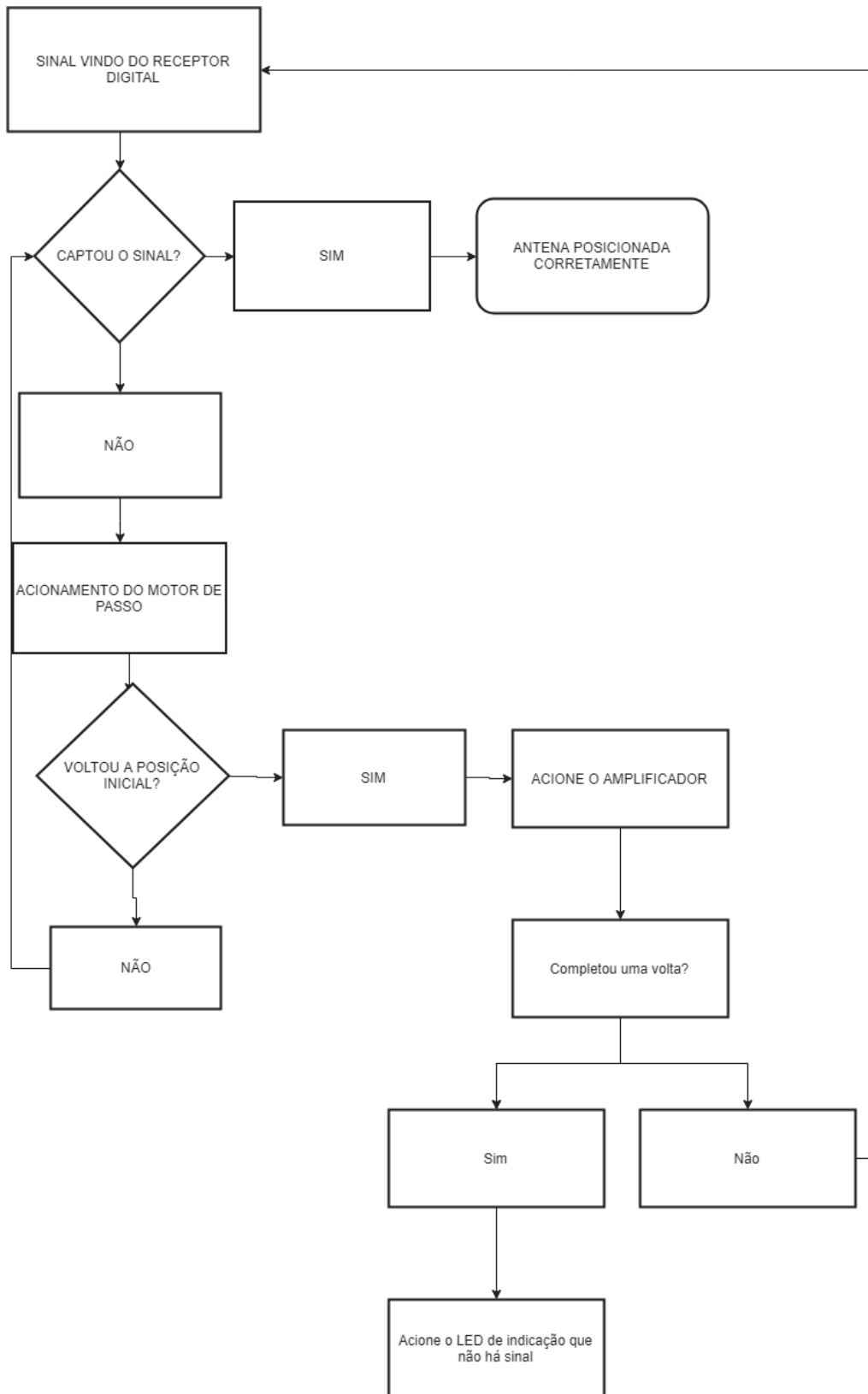
Tabela 3 - Pulsos para o sentido anti-horário

Passos	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3	Bobina 4
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	1	0	0	0
5	0	0	0	1
6	0	0	1	0
7	0	1	0	0

Fonte: Próprio autor

O fluxograma do firmware pode ser observado na Figura 42. Portanto o microcontrolador identifica através do sinal de vídeo composto vindo do receptor se aparece imagem na tela. Caso o sinal ainda não tenha sido captado faz o acionamento do motor de passo até que se ache o sinal desejado. Caso o micro identifique que o motor retornou a posição inicial é feito o acionamento do amplificador. Quando a antena completa mais uma volta, dessa vez com o uso do amplificador, e mesmo assim não encontra sinal, é acionado um LED para indicar que não há sinal no local.

Figura 42 - Fluxograma do firmware



Fonte: Próprio autor

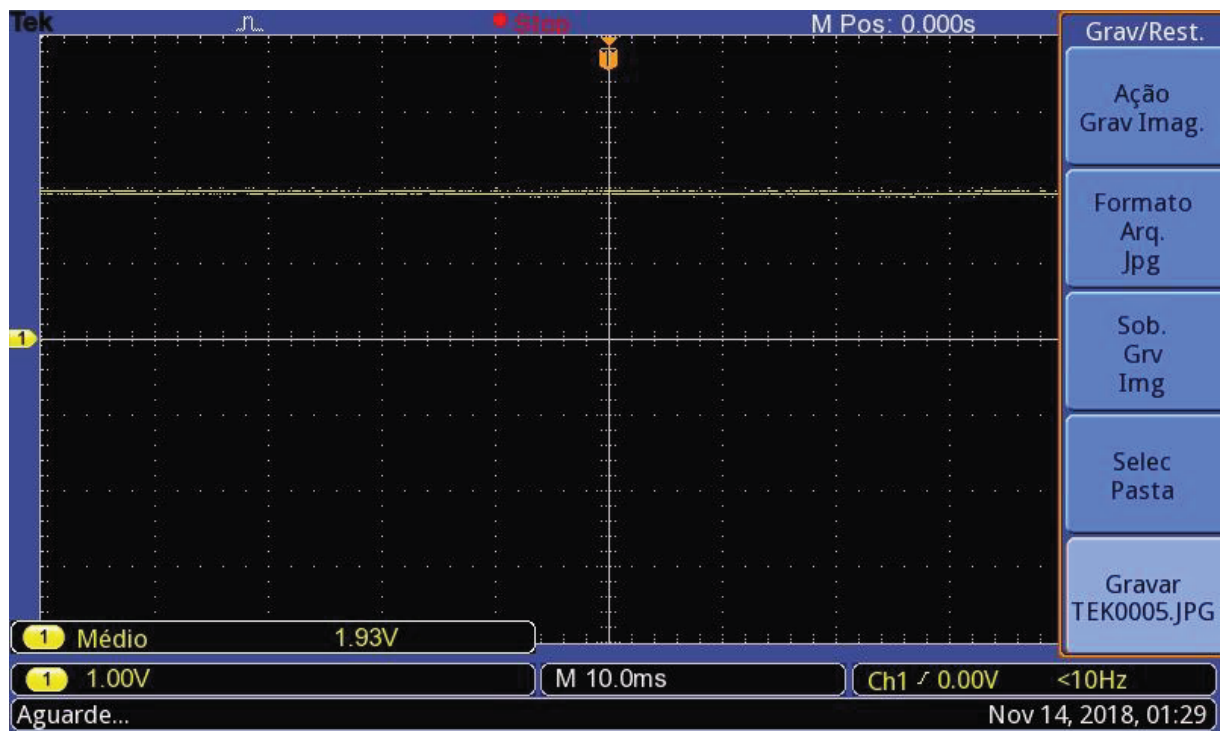
4 RESULTADOS

A fim de verificar o funcionamento das partes e componentes do projeto, foram realizados testes, e a partir destes, foi possível analisar o comportamento dos circuitos.

4.1 CIRCUITO DE INTERFACE

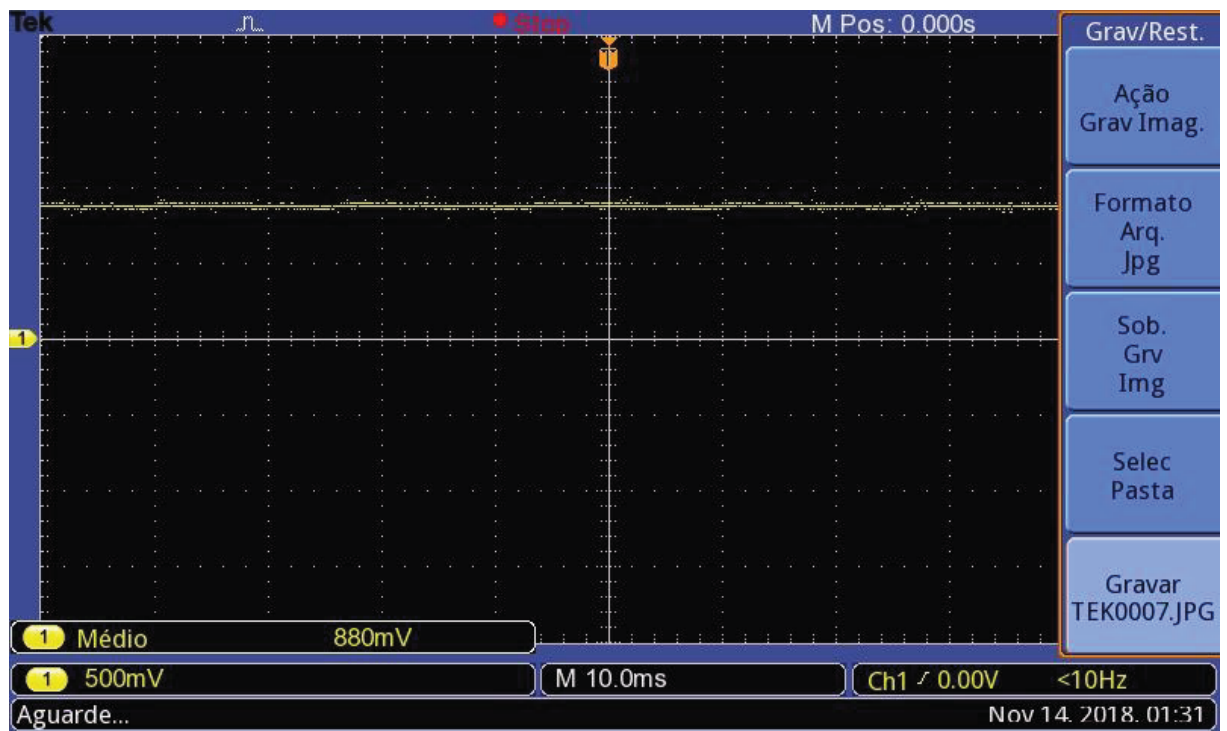
Os testes no circuito de interface foi necessário para encontrar os reais valores de DC do circuito para quando antena está captando o sinal e quando não há imagem na televisão. Na Figura 43 é observado o sinal enviado ao micro quando a antena está captando imagem com uma tensão de referência de 1.93 V. Na Figura 44, é visto o sinal de quando nenhum canal está sendo captado, possuindo uma referência de 0.88 V.

Figura 43 - Sinal quando o sinal é captado



Fonte: Próprio autor

Figura 44 - Sinal quando o sinal não está sendo captado



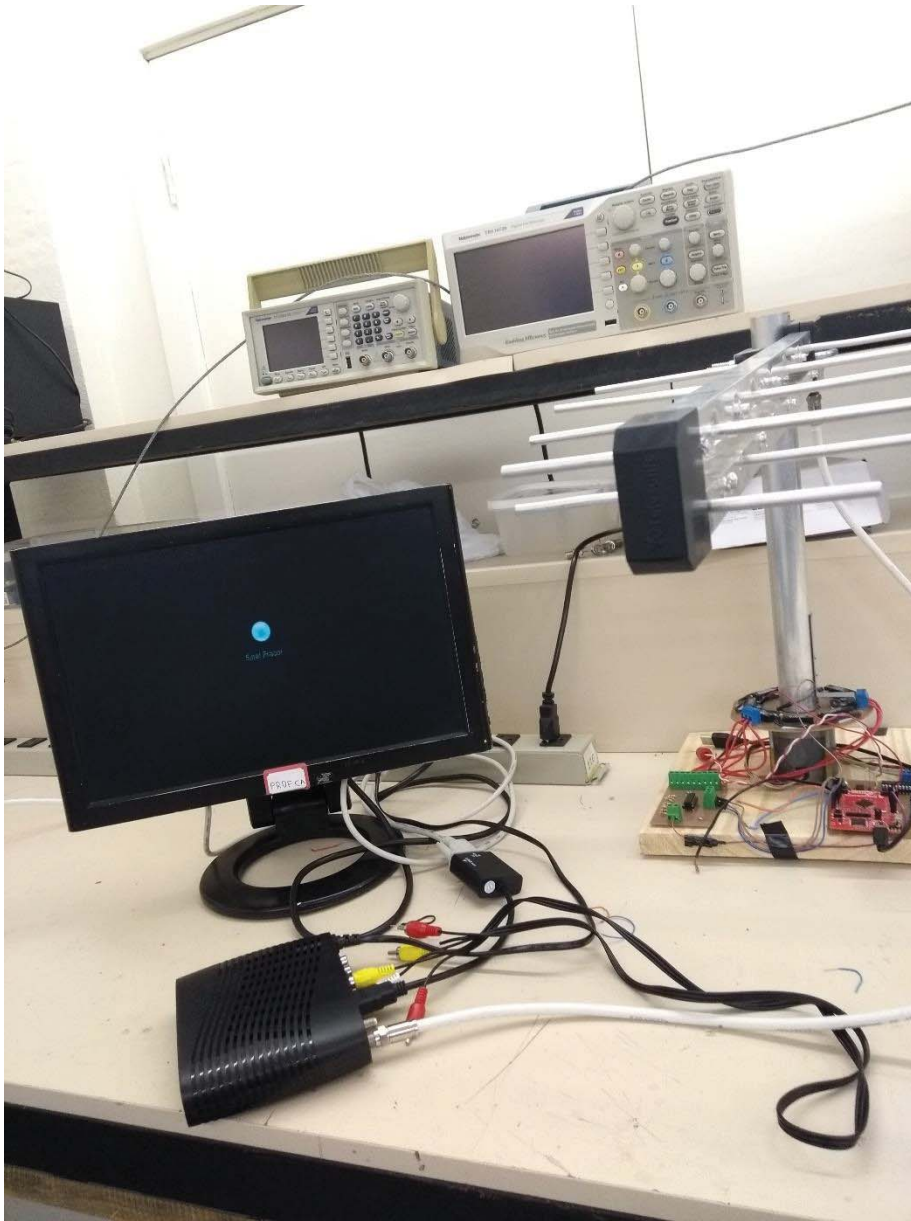
Fonte: Próprio autor

4.2 AMPLIFICADOR

Os testes para o amplificador verificando seu funcionamento e correto acionamento foram feitos verificando pontos onde os sinais de determinados canais eram fracos ou não captados adequadamente sem o amplificador e depois verificado com o uso do equipamento.

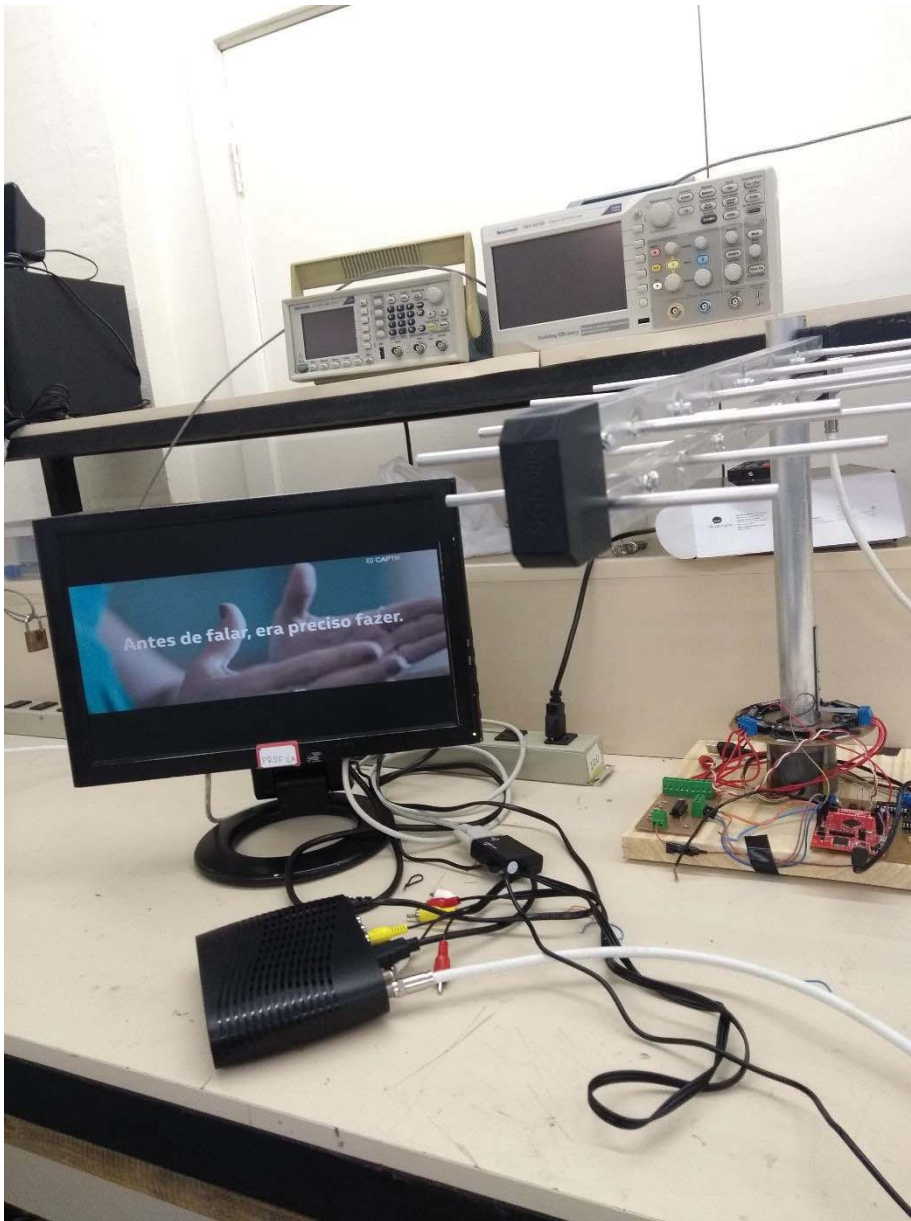
Na Figura 45 é visto o sinal da Record sem o uso do amplificador, é observado no monitor que o sinal não é captado dando a mensagem de sinal fraco. Já a Figura 46 mostra o sinal com o amplificador acionado. Percebe-se que a antena está posicionada da mesma forma da primeira Figura, tendo agora a imagem na tela, mostrando o funcionamento do amplificador.

Figura 45 - Sinal da Record sem amplificador



Fonte: Próprio autor

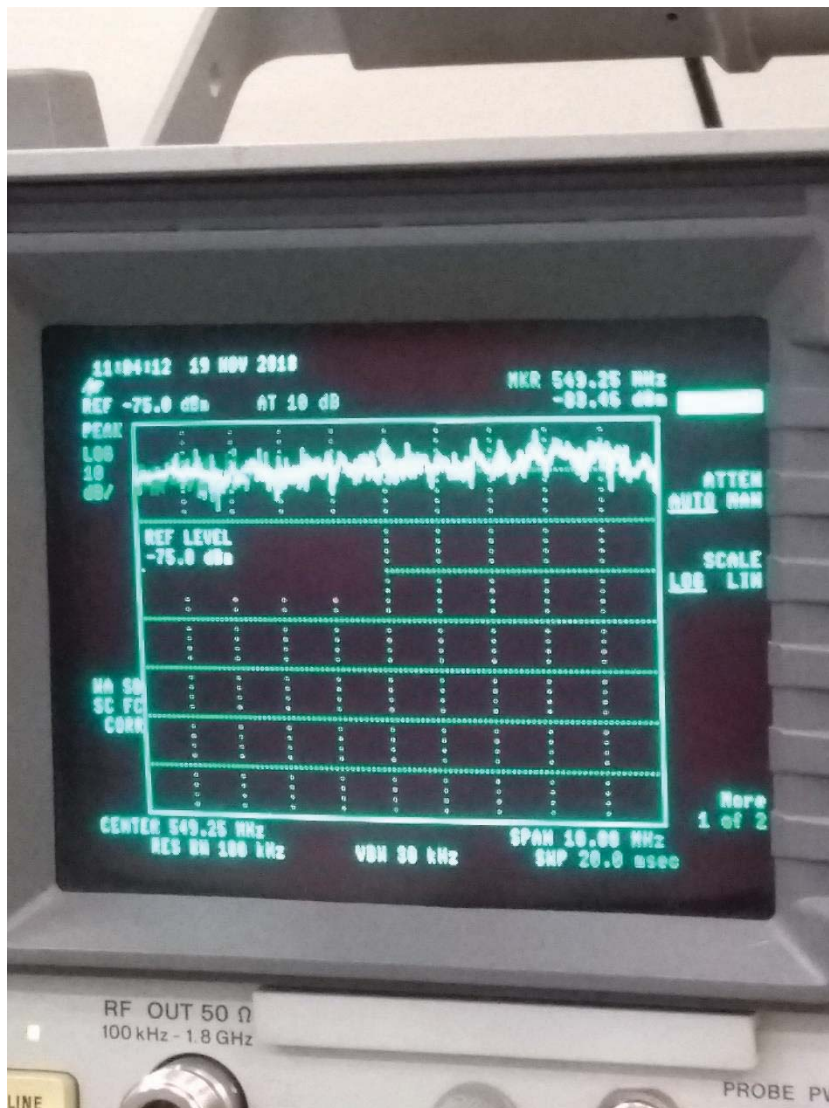
Figura 46 - Sinal da Record com amplificador



Fonte: Próprio autor

Para comprovar que realmente houve a amplificação do sinal foi analisado o espectro do canal sem amplificação através do analisador de espectro disponível na faculdade, como mostra a Figura 47. O espectro do sinal amplificado não foi visto para proteger o equipamento, impedindo que uma tensão contínua entre no analisador por conta da alimentação do amplificador. Porém, é possível comprovar o funcionamento através de cálculos.

Figura 47 - Espectro da Record



Fonte: Próprio autor

Fazendo uso da Equação (9) para calcular a potência real do espectro da Record têm-se que:

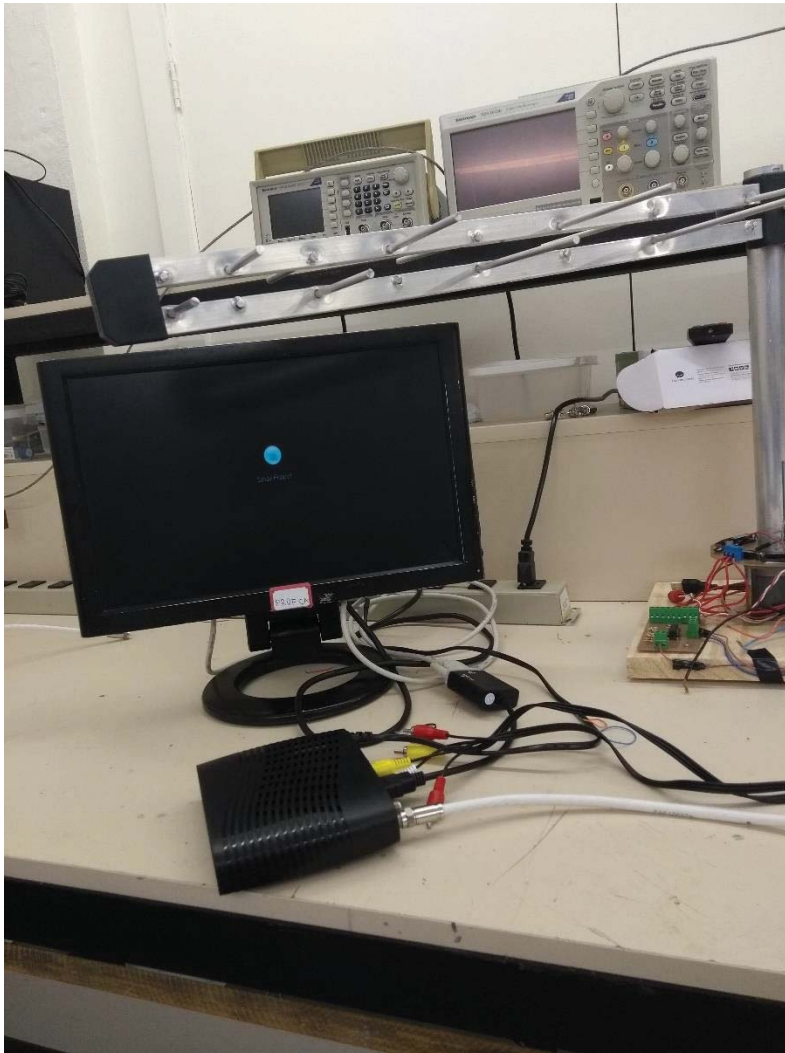
$$-83.46 \text{ dBm} + 1.5836 \text{ dBm} = -81.8764 \text{ dBm}$$

O ganho do amplificador é de 22 dBm, e ainda é preciso considerar as perdas dos conectores coaxiais, cerca de 1 dBm por conector, como são 6 conectores a perda por este fato é de 6 dBm. Portanto, fazendo uso da Equação (14), percebe-se que o sinal chega ao receptor com uma potência de -65.8764 dBm que como visto no espectro do sinal da RBS TV anteriormente, é o suficiente para que a imagem seja mostrada na tela.

$$\begin{aligned} \text{Potência real do espectro} + \text{Ganho do amplificador} - \text{Perdas} &\geq -73.55 \text{ dB} & (14) \\ -81.8764 \text{ dBm} + 22 \text{ dBm} - 6 \text{ dBm} &\geq -73.55 \text{ dBm} \\ -65.8764 \text{ dBm} &\geq -73.55 \text{ dBm} \end{aligned}$$

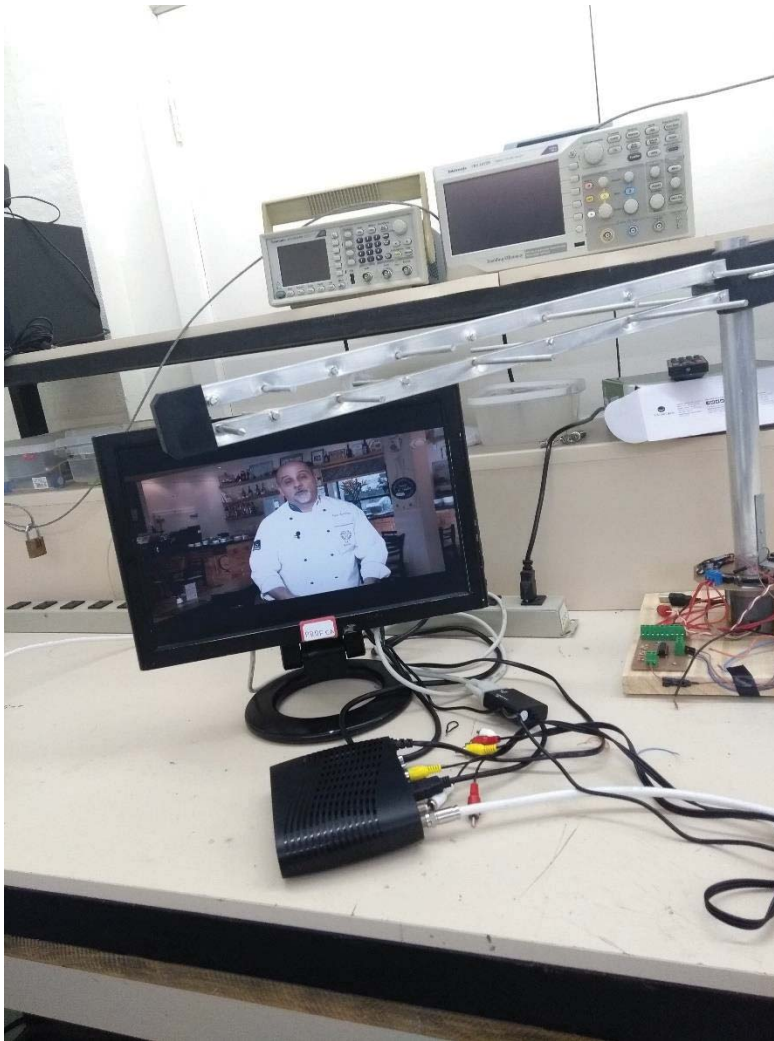
O mesmo teste foi feito para outro canal onde o sinal não era bem captado, no caso a TV Bandeirantes. A Figura 48 mostra o sinal sem o uso do amplificador com a mensagem de sinal fraco. Já a Figura 49 mostra a antena apontando para o mesma posição, desta vez com o sinal captado.

Figura 48 - Sinal da Bandeirantes sem amplificador



Fonte: Próprio autor

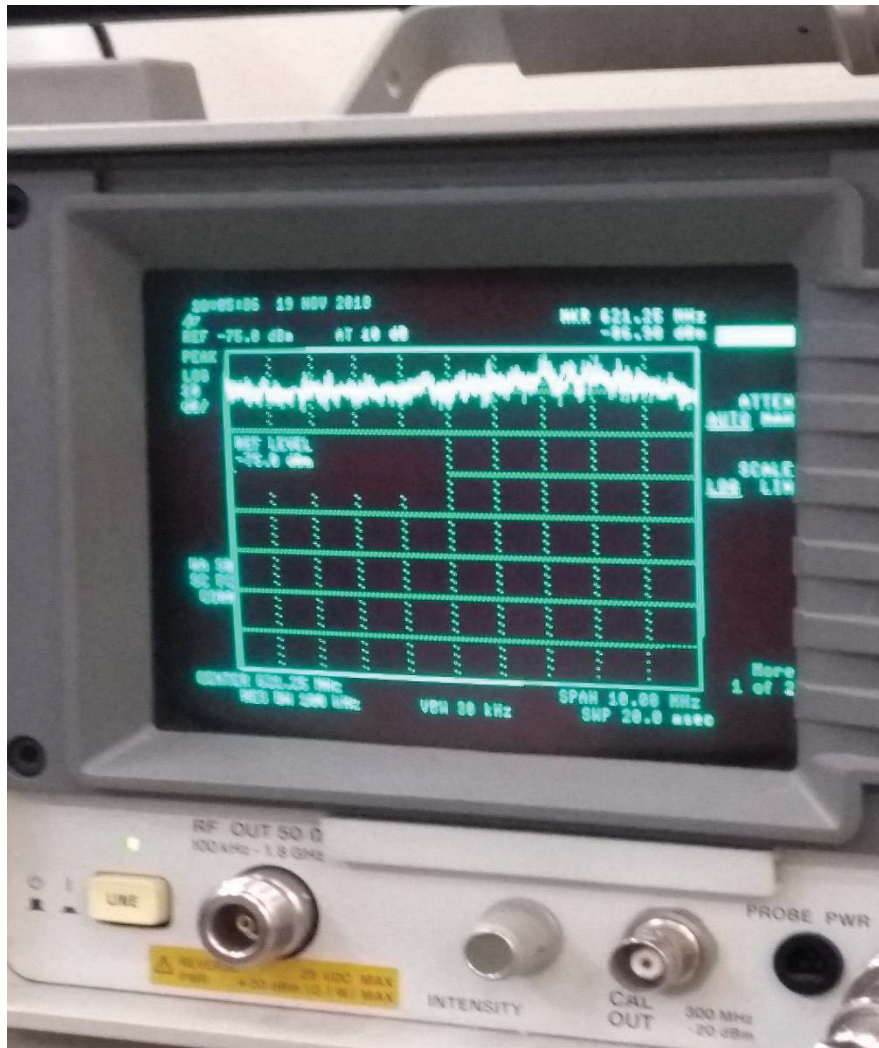
Figura 49 - Sinal da Bandeirantes com amplificador



Fonte: Próprio autor

Assim como foi feito para o canal anterior, o espectro da Bandeirantes ilustrado na Figura 50 também foi analisado, e o funcionamento do equipamento pode ser comprovado através dos cálculos.

Figura 50 - Espectro do canal Bandeirantes



Fonte: Próprio autor

A potência real do espectro da Bandeirantes, como já foi visto, é de -85.31 dBm , portanto, mais uma vez se faz uso da Equação (14) para confirmar o funcionamento do amplificador e percebe-se que o espectro atinge uma potência de -69.31 dBm .

$$\begin{aligned} -85.31 \text{ dBm} + 22 \text{ dBm} - 6 \text{ dBm} &\geq -73.55 \text{ dBm} \\ -69.31 \text{ dBm} &\geq -73.55 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Através do modelo Okumura-Hata é possível estimar a distância da antena de transmissão para a antena receptora. Se fizermos o cálculo da distância para o sinal original e para o sinal com o uso do amplificador é possível realizar uma estimativa de ganho de alcance no sinal. Para isto, primeiro, é necessário readequar a Equação (1) para a Equação (15)

$$d = 10^{\frac{L-69.55-26.16 \log(fc)+13.82 \log(h_{tx})+a(h_{rx})}{44.9-6.55 \log(h_{tx})}} \quad (15)$$

Para verificar esta estimativa no uso do amplificador é preciso calcular a distância para o sinal sem amplificação e com o uso do equipamento. Como não se sabe a altura da antena transmissora (h_{tx}) será usado para o cálculo o valor médio de 115 m. A altura da antena receptora (h_{rx}) é medida em 1.5 m. Para o valor de L, que significa as perdas de propagação que ocorrem entre o transmissor e o receptor será feito uso da Equação (16), sendo considerada a potência do transmissor como o valor padrão de 50 dBm, aproximadamente 100 watts.

$$L = \text{Potência do transmissor} - \text{Potência real do receptor} \quad (16)$$

Começando pelo canal Record que possui uma frequência de portadora (fc) de 507.25 MHz, é preciso calcular o fator de correção da antena de recepção através da Equação (3).

$$a(h_{rx}) = (1.1 \log(507.25) - 0.7)1.5 \text{ m} - (1.56 \log(507.25) - 0.8) \text{ dB}$$

$$a(h_{rx}) = -0.0065300 \text{ dB}$$

Para as perdas na frequência portadora do canal tem-se:

$$L = 50 \text{ dBm} - (-81.87 \text{ dBm}) = 131.87 \text{ dBm}$$

Agora é possível calcular a distância entre os pontos de transmissão e recepção do sinal do canal sem amplificação através da Equação (15).

$$d = 10^{\frac{131.87-69.55-26.16 \log(507.25)+13.82 \log(115 \text{ m})+0.0013948 \text{ dB}}{44.9-6.55 \log(115 \text{ m})}}$$

$$d = 4.3416 \text{ km}$$

Para verificar a distância com o uso do amplificador, é preciso calcular novamente as perdas, visto que elas são menores com o uso do equipamento.

$$L = 50 \text{ dBm} - (-65.87 \text{ dBm}) = 115.87 \text{ dBm}$$

Portanto, a distância quando se faz o uso do amplificador é reduzida como é visto no cálculo a seguir:

$$d = 10^{\frac{115.87 - 69.55 - 26.16 \log(507.25) + 13.82 \log(115 \text{ m}) + 0.0013948 \text{ dB}}{44.9 - 6.55 \log(115 \text{ m})}}$$

$$d = 1.3432 \text{ km}$$

Assim, através da Equação (17) percebe-se que o sinal da Record teria um ganho de alcance estimado de 2.9984 km.

Ganho de alcance estimado

$$= \text{distância com amplificador} - \text{distância sem amplificador} \quad (17)$$

$$\text{Ganho de alcance estimado} = 4.3416 \text{ km} - 1.3432 \text{ km} = 2.9984 \text{ km}$$

Ou seja, o uso do amplificador dá ao usuário um ganho de 2.99 km para estar longe da antena de transmissão e ainda captar o sinal em relação a quando não usa o equipamento.

Realizando o mesmo processo para o canal Bandeirantes que possui uma frequência de portadora de 621.25 MHz, calcula-se o fator de correção para a antena receptora.

$$a(h_{rx}) = (1.1 \log(621.25) - 0.7)1.5 \text{ m} - (1.56 \log(621.25) - 0.8) \text{ dB}$$

$$a(h_{rx}) = 0.0013948 \text{ dB}$$

Calculando as perdas que ocorrem na frequência portadora do canal sem o uso do amplificador:

$$L = 50 \text{ dBm} - (-85.31 \text{ dBm}) = 135.31 \text{ dBm}$$

Verifica-se, portanto, a distância para o sinal original.

$$d = 10^{\frac{135.31 - 69.55 - 26.16 \log(621.25) + 13.82 \log(115 \text{ m}) - 0.00653 \text{ dB}}{44.9 - 6.55 \log(115 \text{ m})}}$$

$$d = 4.7217 \text{ km}$$

Mais uma vez, é feito o cálculo das perdas de propagação quando se faz o uso do amplificador.

$$L = 50 \text{ dBm} - (-69.31 \text{ dBm}) = 119.31 \text{ dBm}$$

Portanto, com o uso do amplificador tem-se a distância reduzida para 1.4608 km, conforme mostra o cálculo abaixo.

$$d = 10^{\frac{L - 69.55 - 26.16 \log(621.25) + 13.82 \log(115 \text{ m}) - 0.00653 \text{ dB}}{44.9 - 6.55 \log(115 \text{ m})}}$$

$$d = 1.4608 \text{ km}$$

Assim, para o canal Bandeirantes o usuário tem um ganho de 3.2609 km na distância para o transmissor.

$$\text{anho de alcance estimado} = 4.7217 \text{ km} - 1.4608 \text{ km} = 3.2609 \text{ km}$$

Os resultados obtidos com os cálculos acima são demonstrados com mais clareza na Tabela 4.

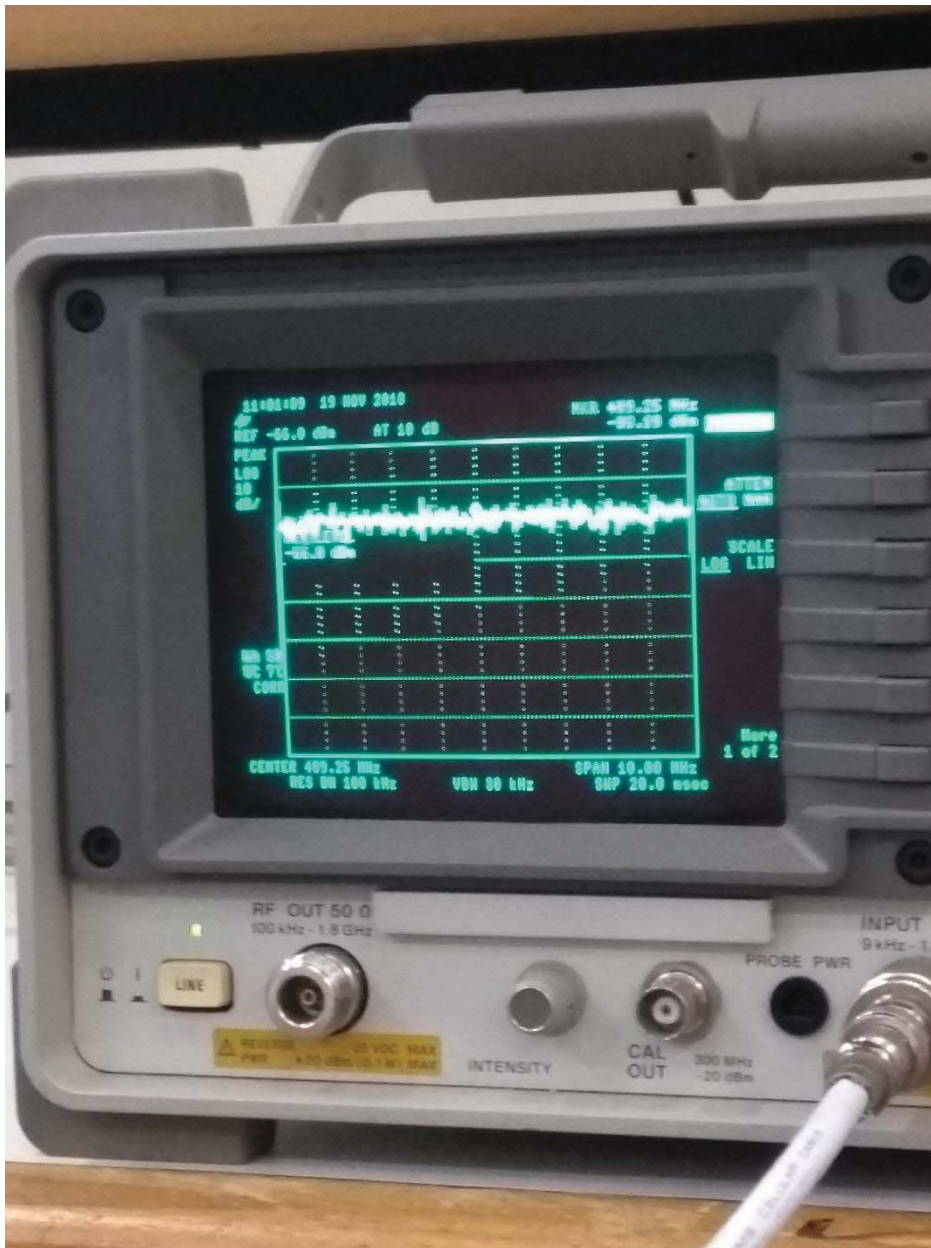
Tabela 4 – Estimativas do ganho de alcance com o amplificador

Canal	fc (MHz)	Distância estimada sem amplificação (km)	Distância estimada com amplificador (km)	Ganho estimado de distância (km)
Record	507.25	4.3416	1.3432	2.9984
Bnadeirantes	621.25	4.7217	1.4608	3.2609

Fonte: Próprio autor

O canal SBT não foi considerado pelo fato de ter nível de recepção baixo (somente o nível de ruído), sendo assim nem com o uso do amplificador seria possível captar o sinal no local dos testes, como ilustra a Figura 51.

Figura 51 - Espectro do canal SBT



Fonte: Próprio autor

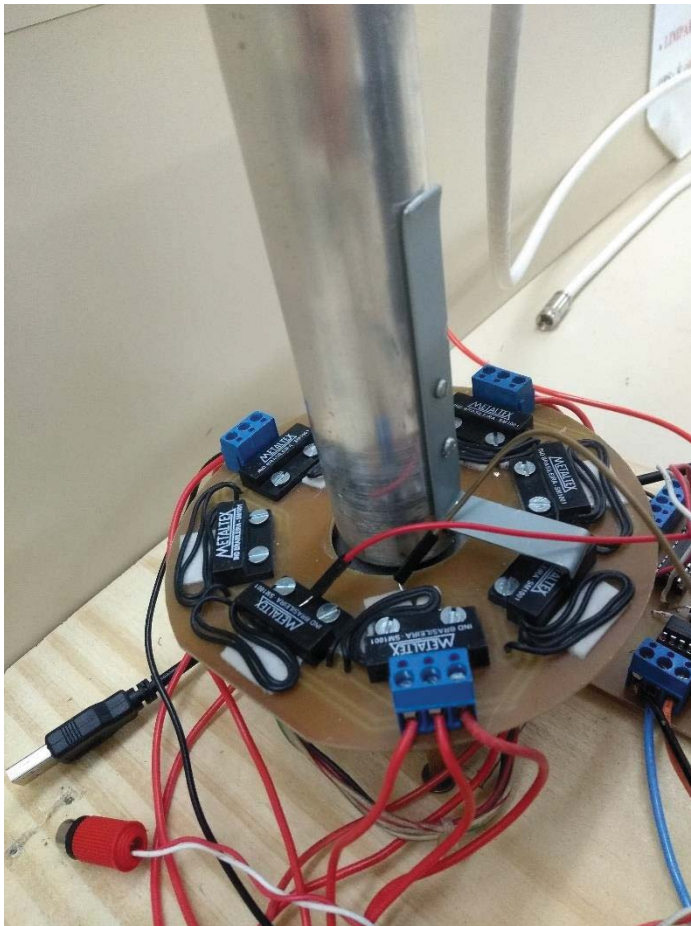
Portanto, foi possível observar nos resultados e com os cálculos feitos o funcionamento do amplificador e seu acionamento, além de sua eficiência na maioria dos casos tendo sucesso em captar o sinal e diminuir a distância necessária para o ponto de transmissão.

4.4 PLACAS DE CIRCUITO

Após os testes feitos foram confeccionados e soldados os circuitos finais.

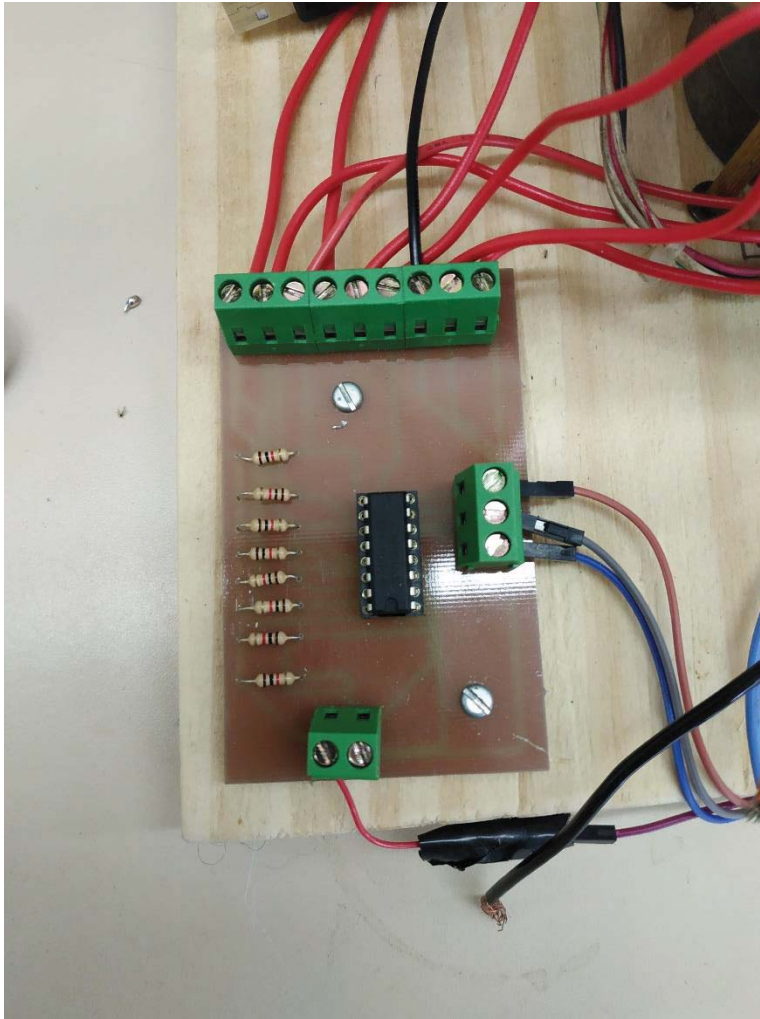
O circuito de posição foi dividido em duas placas. A placa contendo somente os sensores foi colocada diretamente ao redor da antena, como mostra a Figura 53, para que os sensores sejam ativados através do ímã colocado na antena. A outra placa, contendo o codificador, é colocada na base do protótipo, mostrado na Figura 54. O circuito todo contém apenas uma alimentação de 5 V.

Figura 53 - Placa com sensores magnéticos



Fonte: Próprio autor

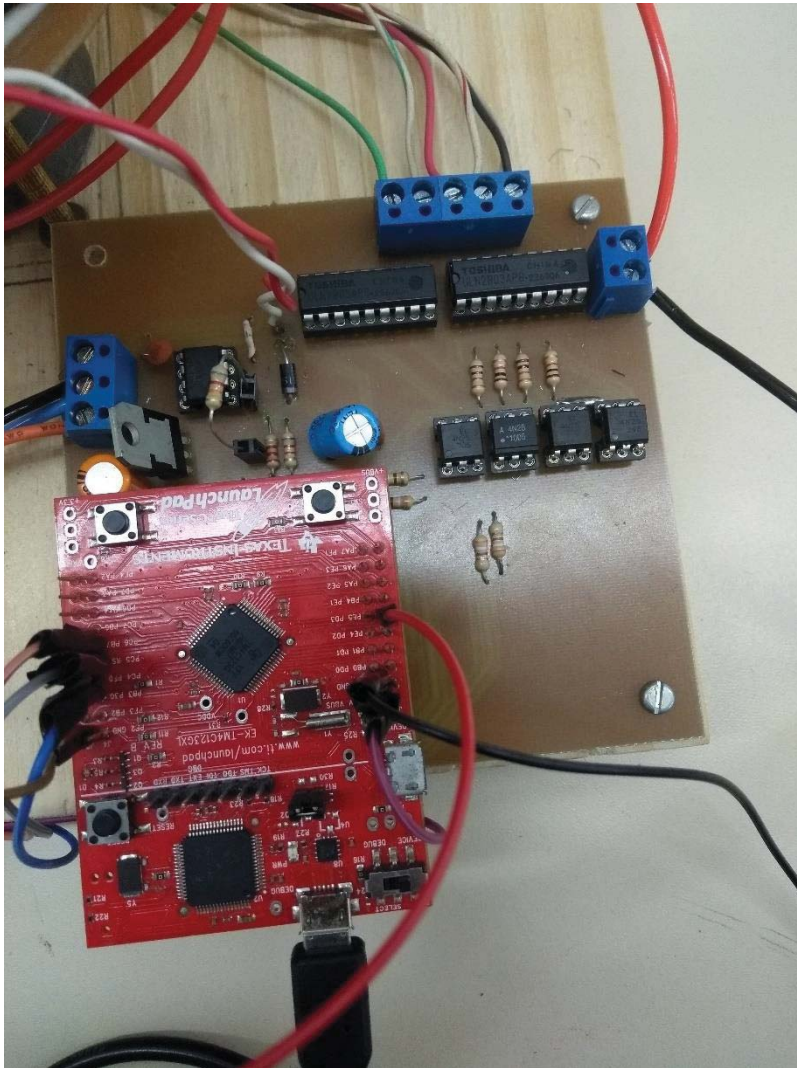
Figura 54 - Placa com o codificador



Fonte: Próprio autor

A placa para o circuito de interface foi utilizada também para o microcontrolador, como mostra a Figura 55. A alimentação geral da placa é de +10 V e -10 V por ser a alimentação requerida no LF353 segundo o datasheet do componente. A placa ainda conta com um regulador de tensão LM7805 uma vez que a tensão de alimentação necessária do ARM é de 5 V.

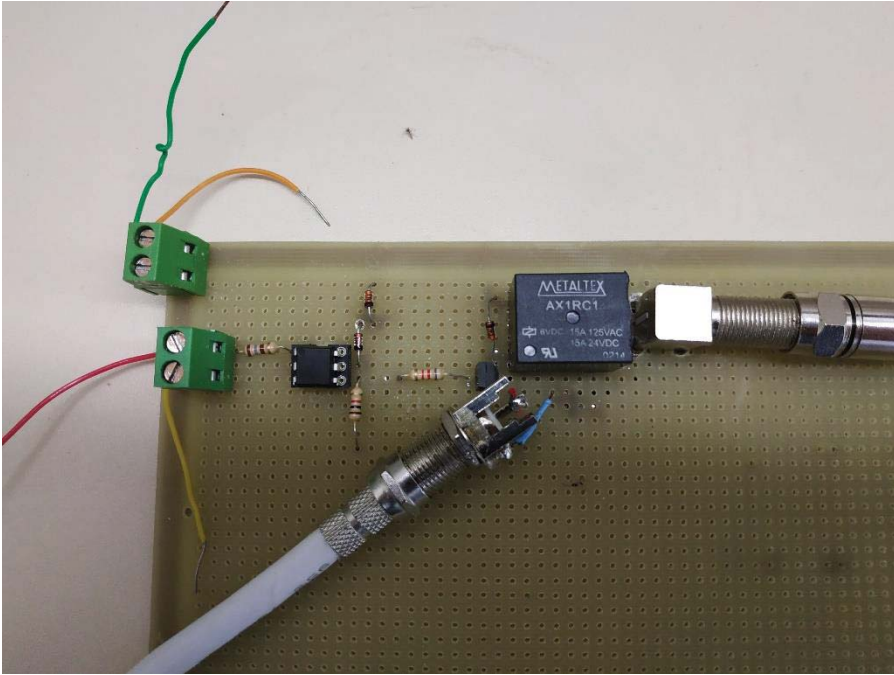
Figura 55 - Circuito de interface



Fonte: Próprio autor

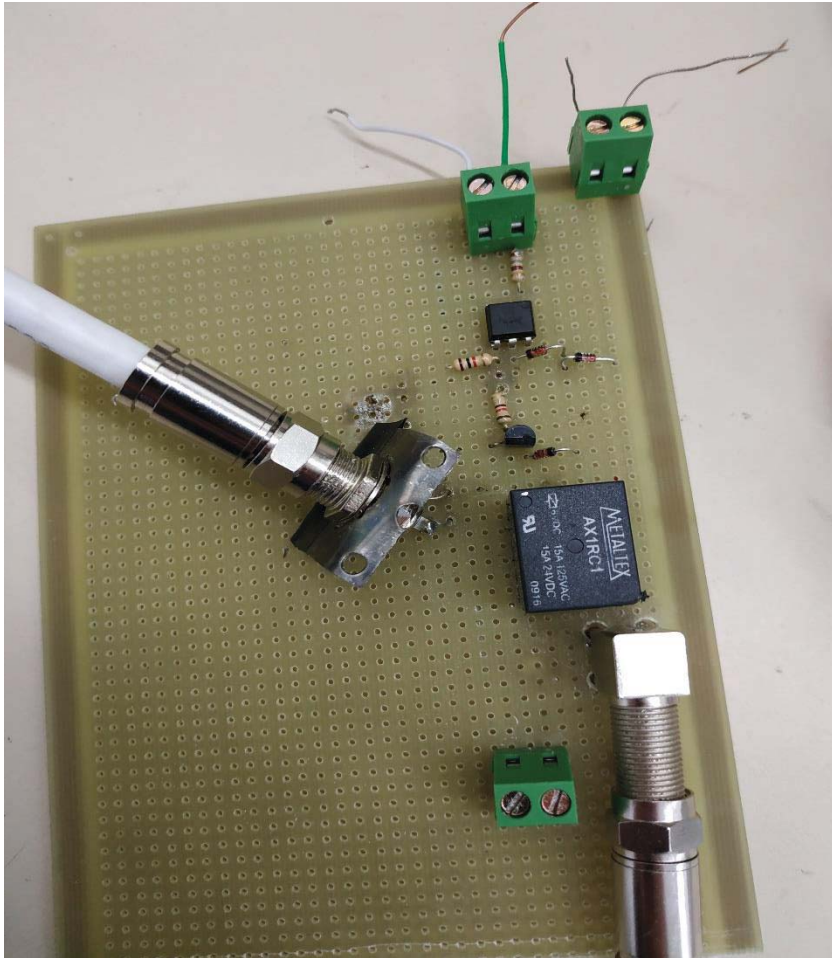
As placas para o chaveamento dos sinais sem amplificação e com o uso do amplificador foram feitas em wire wrap por conta da alta frequência, são mostradas nas Figuras 56 e 57. As placas possuem alimentação de 5 V necessária para os relés e entradas para a IO do microcontrolador fazer o acionamento ou desacionamento dos sinais.

Figura 56 - Placa para o sinal sem amplificador



Fonte: Próprio autor

Figura 57 - Placa para o sinal com amplificador



Fonte: Próprio autor

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após todos os estudos e testes realizados em ambiente interno ficou clara a necessidade do uso de um amplificador para o sinal da TV digital. Isto porque sem o amplificador em ambientes internos há muitos pontos de sombreamentos onde o sinal não é captado ou possui muitos travamentos na imagem e com o uso de um amplificador de sinal esse problema pode muitas vezes ser resolvido e até melhorar a qualidade do sinal.

É clara que ainda é muito baixa a abrangência do sinal de TV digital principalmente em zonas não urbanas e o fato de que a TV digital será o único sinal disponível dentro de alguns anos evidencia a importância deste projeto.

O presente trabalho apresenta um sistema eletrônico que melhora a antena inteligente para TV digital fazendo o que se possa detectar a sua posição e acionar um amplificador quando necessário propondo uma solução mais adequada a realidade brasileira, dentro do que é disponível no país para lidar com frequências altas na faixa UHF.

Ainda, durante o desenvolvimento do trabalho foi possível perceber a grande dificuldade existente em trabalhar com sinais de alta frequência, uma área pouco conhecida e estudada no Brasil e no mundo.

O produto deste projeto provou sua funcionalidade dentro do que foi proposto, fazendo com que a antena detectasse sua posição e acionasse o amplificador. Algumas melhoras podem ser feitas para o aperfeiçoamento do projeto, como, por exemplo, a utilização de diodos e relés específicos para alta frequência, além do uso de micro chips para o chaveamento de sinais na banda UHF de baixo consumo de potência. Porém, equipamentos específicos para esta faixa de frequência não são encontrados no Brasil e possuem alto preço de importação.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, Marcelo Sampaio de; QUEIROZ, Wamberto José Lira de. **Ondas Eletromagnéticas e Teoria de Antenas**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2010.

ARMOOGUN V.; SOYJAUDAH K.M.S; MOHAMUDALLY N.; FOGARTY T. **Propagation Models and Their Applications in Digital Television Broadcast Network Design and Implementation**. 1. ed. : Christos J Bouras, 2010.

BRAGA, Newton. **Amplificador de Antena para VHF e UHF**. [S.l.]: Instituto NCB. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/telecomunicacoes/11580-amplificador-de-antena-para-vhf-e-uhf-tel151>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

BRAGA, Newton. **Booster UHF**. [S.l.]: Instituto NCB. Disponível em: <www.newtonbraga.com.br/index.php/telecomunicacoes/10141-booster-de-uhf-tel138>. Acesso em: 22 abr. 2018.

BRAGA, Newton. **Codificadores e decodificadores**. [S.l.]: Instituto NCB. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/1196-art160>>. Acesso em: 11 mai. 2018.

BRAGA, Newton. **Como usar micro-switches e chaves fim de curso como sensores**. [S.l.]: Instituto NCB. Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/automacao-industrial/3906-mec097>>. Acesso em: 11 mai. 2018.

DANJOVIC. **Sinais de sincronismo da TV analógica e micros antigos**. [2015]. Disponível em: <<http://danjovic.blogspot.com.br/2015/02/sinais-de-sincronismo-da-tv-ana-logica-e.html>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

FERREIRA, João Luiz Reis. **Smart Antennas**. [S.l.]: Grupo de Teleinformática UFRJ. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/grad/08_1/antena/index.html>. Acesso em: 16 de maio de 2018.

GUSELLA JR., Edson. **Antena Coletiva: Projetos e Cuidados para Receber a TV Digital**. [S.l.]:Teleco, 2017. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialanttdv/pagina_1.asp>. Acesso em: 10 abr. 2018.

MEDEIROS, Julio Cesar de O.. **Princípios de Telecomunicações: Teoria e Prática**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2016.

NECKEL, Bernardo. **Antena de recepção para TV digital com rotação automática**. 2017. 72 f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

ONSLOW, David. **How Far Can two-way Radio Communicate?**. [S.l.]: Intercoms Online. Disponível em: <<https://www.intercomsonline.com/2-Way-Radio-Range-How-Far-Can-Two-Way-Radios-Communicate-s/136.htm>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

SITE OFICIAL DA TV DIGITAL BRASILEIRA. Disponível em: <www.dtv.org.br>.
Acesso em: 21 abr. 2018

YOUNG, Paul H.. **Técnicas de Comunicação Eletrônica.** 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

