

FACULDADE DE ENGENHARIA SÃO PAULO - F E S P

Autores:

Diego Silva Viana dos Santos. RA: 21.480;

Matheus Lopes Ogata. RA: 21.512;

**Aplicação de Rádio Definido por Software para Aquisição de
Imagens do Satélite NOAA**

São Paulo

2019

FACULDADE DE ENGENHARIA SÃO PAULO - F E S P

Autores:

Diego Silva Viana dos Santos. RA: 21.480;

Matheus Lopes Ogata. RA: 21.512;

Aplicação de Rádio Definido por Software para Aquisição de Imagens do Satélite NOAA

**Orientador: Professor Doutor Plinio Francisco dos
Santos Rodrigues**

**Projeto de Pesquisa Apresentado ao Programa de
Trabalho de Conclusão de Curso – TCC
da Faculdade de Engenharia São Paulo - F E S P**

São Paulo

2019

Ficha Catalográfica:

Faculdade de Engenharia São Paulo - São Paulo, 2019.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica)
Título do Trabalho: Aplicação de Rádio Definido por Software para Aquisição de Imagens
do Satélite NOAA.

Autor: Dos Santos, Diego Silva Viana - RA: 21.480.
Demais Autores: Matheus Lopes Ogata - RA: 21.512;

São Paulo, 2019, - 90 páginas - Com Figuras Coloridas.
Orientador: Professor Doutor Plínio Francisco dos Santos Rodrigues.
Palavras Chave: SDR (1), Imagens (2) e NOAA (3).

Folha de Aprovação:

Alunos Candidatos:

Diego Silva Viana dos Santos. RA: 21.480.

Matheus Lopes Ogata. RA: 21.512.

Título do Trabalho:

Aplicação de Rádio Definido por Software para Aquisição de Imagens do Satélite NOAA.

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Faculdade de Engenharia
São Paulo, como exigência parcial para
obtenção do grau de Engenheiro
Eletricista.**

**Orientador Prof. Doutor Plinio Francisco
dos Santos Rodrigues**

A Banca Examinadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso, em sessão pública realizada em ____/____/____, considerou os candidatos, acima:

1) Examinador (a) :

2) Examinador (b) :

3) Presidente (Orient) :

Sumário:

Lista de Figuras:	I
Lista de Tabelas:	V
Lista de Siglas:	VI
Resumo.	VII
Abstract.	VIII
1. Introdução.	1
2. Princípios de Sistemas Espaciais.	6
2.1 Funcionamento Básico de Um Segmento Especial.	9
2.2 Tipos de Órbitas.	13
2.3 Estação Terrestre ou Segmento Solo.	15
3. Administração Atmosférica e Oceânica Nacional – National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).	17
3.1 Sensor AVHRR.	22
3.2 Formato APT e Modulação.	24
4. RTL-SDR Dongle.	27
4.1 Rádio Receptor Superheterodino.	29
4.2 Arquitetura do SDR.	32
4.2.1 Sintonizador Rafael Micro R820T.	37
4.2.2 Teorema da Amostragem.	39
4.2.2.1 Efeito de Aliasing.	43
4.2.2.2 Conversor A/D.	44
4.2.3 Demodulador – RTL2832U.	46
4.2.3.1 Digital Down Converter e Decimação.	47
5. Softwares Utilizados.	50

5.1 SDR Sharp.....	50
5.1.1 Instalação do Software SDR#.....	52
5.1.2 Configurações Para Aquisição de Sinais RF.....	55
5.2 WxTolmg.....	59
6. Antena Quadrifilar Helicoidal.....	60
6.1 Polarização da Onda Plana.....	60
6.2 Tipos de Antenas de Polarização Circular.....	62
6.3 Projeto e Construção.....	65
6.4 Simulação da Antena QFH.....	70
6.5 Testes em Laboratório.....	75
7. Resultados Experimentais.....	78
8. Conclusão.....	85
9. Bibliografia:	87

Lista de Figuras:

Figura 1: Equipamentos Analógicos de Radioamador.....	2
Figura 2: Equipamentos de radioamador.	2
Figura 3: Cubesat 3U.....	3
Figura 4: Cubesat 1U.	3
Figura 5: Cubesats.....	3
Figura 6: Logo Blockstream.....	4
Figura 7: API Blockstream.	4
Figura 8: Exemplo de Aplicação 1.....	6
Figura 9: Exemplo de Aplicação 2.....	7
Figura 10: Exemplo de Sensoriamento Remoto.....	7
Figura 11: Requisitos de Projeto.	8
Figura 12: Subsistemas Espaciais.	9
Figura 13: Subsistemas Segmento Espacial.	10
Figura 14: Analisador Eletrostático.....	11
Figura 15: APEX.	12
Figura 16: Layout APEX.	12
Figura 17: Payload NanoSatC.	13
Figura 18: Tipos de Órbitas.....	13
Figura 19: Órbitas Polar e Equatorial.	15
Figura 20: Segmento Solo.....	16
Figura 21: Logo NOAA.	17
Figura 22: Linha do Tempo NOAA.....	18
Figura 23: NOAA-18.	19
Figura 24: Subsistemas NOAA-15.	19

Figura 25: Subsistemas NOAA-19.	20
Figura 26: Logo do Website da NOAA.	20
Figura 27: Escritório de Operações da NOAA.	21
Figura 28: Desenho AVHRR.	23
Figura 29: Exemplo de Varredura do Radiômetro.	23
Figura 30: Decodificação APT.	25
Figura 31: Modulação APT.	26
Figura 32: Exemplo de Decodificação APT.	26
Figura 33: RTL – SDR Dongle.	27
Figura 34: Sinais Disponíveis para SDR.	28
Figura 35: Diagrama de Blocos Receptor Superheterodino.	30
Figura 36: Frequência Intermediária.	32
Figura 37: Diagrama de Blocos da Arquitetura SDR.	33
Figura 38: Rádio Digital na Década de 1990.	34
Figura 39: Arquitetura SDR na Década de 2000.	35
Figura 40: Última Versão de Arquitetura SDR.	35
Figura 41: Arquitetura do chip RTL-SDR.	36
Figura 42: Circuito Integrado R820T.	39
Figura 43: Amostragem.	40
Figura 44: Processo de Amostragem.	42
Figura 45: Efeito de Aliasing.	43
Figura 46: Blocos de um Conversor A/D.	44
Figura 47: Quantizador.	45
Figura 48: Digital Down Converter.	47
Figura 49: Translação do Sinal para Frequência Zero Hertz.	48

Figura 50: Decimação.....	49
Figura 51: Tela Principal SDR#.....	51
Figura 52: Software Zadig.....	54
Figura 53: Seleção do Dispositivo SDR.....	55
Figura 54: Guia de Rádio SDR#.....	57
Figura 55: Polarização Circular.....	61
Figura 56: Antena Turnstile.....	63
Figura 57: Antena Double Cross.....	64
Figura 58: Configuração QFH.....	64
Figura 59: QFH Satélite SCD-1.....	65
Figura 60: Dimensões das Espiras.....	66
Figura 61: Modelo 3D da Antena QFH.....	68
Figura 62: Vista 3D Inferior da Antena QFH.....	68
Figura 63: Vista Superior com Conexões.....	69
Figura 64: Modelo para Simulação.....	70
Figura 65: Modelo Geométrico para Simulação.....	71
Figura 66: Diagrama de Radiação Simulado.....	72
Figura 67: Carta de Smith Simulada.....	73
Figura 68: Gráfico de COE.....	74
Figura 69: Gráfico de Impedância.....	74
Figura 70: Vector Network Analyzer.....	75
Figura 71: Diagrama de Smith do Conjunto Cabo-Antena.....	76
Figura 72: Estação Solo de Testes.....	78
Figura 73: Lista de Passagem.....	79
Figura 74: Localização da Estação Solo.....	79

Figura 75: Espectro no SDR#.....	80
Figura 76: Imagens dos Canais APT	80
Figura 77: Imagem Composta.....	81
Figura 78: Agrupamento de Imagem 1.....	82
Figura 79: Agrupamento de Imagem 2.....	83
Figura 80: Passagem com Baixa Elevação.....	84

Lista de Tabelas:

Tabela 1: Canais do AVHRR.....	22
Tabela 2: Comparação Entre RTL – SDR e outros Dispositivos SDR.	29
Tabela 3: Parâmetros do Chip R820T.....	38
Tabela 4: Modos de Demodulação.	58

Lista de Siglas:

ADC	- Analog-Digital Conversor.
AM	- Amplitude Modulation.
APT	- Automatic Picture Transmission
AVHRR	- Advanced Very High Resolution Radiometer
COTS	- Commercial Off-The-Shelf
DAB	- Digital Audio Broadcast.
DDC	- Digital Down Converter.
DVB-T	- Digital Video Broadcast - Terrestrial.
DSB	- Double Side Band.
FI	- Frequência Intermediária .
FM	- Frequency Modulation.
GSM	- Global System For Mobile.
I2C	-Two Wire Interface.
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
QFH	- Quadrifilar Helicoidal Antenna
SDR	- Software Defined Radio.
SDR#	- Software Defined Radio Sharp.
USB	- Universal Serial Bus.
VHF	- Very High Frequency.
VCO	- Voltage Controlled Oscillator.
UHF	- Ultra High Frequency.

Resumo.

A evolução da tecnologia da informação tem sido uma constante nas últimas décadas, e uma das responsáveis para isto, além a de atender as demandas das necessidades sociais, é a de compreender seu funcionamento e otimizar as tecnologias envolvidas a fim de permitir que os veículos responsáveis pela transmissão e recepção de dados estejam cada vez mais acessíveis. O desenvolvimento de *SDR's* para investigação, estudo e aplicação em transmissão e recepção de dados foi um grande passo para simplificação, acesso e redução de custos de uma tecnologia, até então, de acesso restrito a grandes empresas e institutos de pesquisa. Como estudo base, esta pesquisa constitui uma fonte de informação para aqueles que desejarem estabelecer um link de recepção de dados em forma de imagens meteorológicas da constelação NOAA por meio de um segmento solo, empregando recursos simples e acessíveis, como antena de polarização circular, um *Dongle SDR* e *software* para decodificação dos dados. A dinâmica se dá no desenvolvimento de cada segmento, culminando na integração das partes e estabelecendo uma estação espacial solo de baixo custo e funcional, aproximando o estudante de engenharia da prática dos fundamentos de telecomunicações e o auxiliando a visualizar na prática a teoria assimilada em sala de aula também elucidando o princípio de funcionamento de um segmento espacial solo e sua importância no cenário econômico e inovação tecnológica.

Abstract.

The IT Evolution has been a constant in the last decades, one of the responsible of make it and which also comply with social needs demands, is to understand its operation and improve the involved technologies in order to allow that data reception and transmission methods and equipment get more accessible. The SDR's development for investigation, study and application for data transmission and reception was a huge step for the simplification, access and getting cheap a technology which was restricted to great companies and research institutes so far. This research can be used as a support for people who are looking for ways to get more knowledge about data reception shaped weather images, from the NOAA constellation through the simple, accessible and cheap requirements as for example a dongle SDR, a circular polarization antenna and a software for decoding data. All this is possible through the development of each step and integration of them which results in a cheap and functional solo space station. Then it allows that the student get closer to the practical telecommunication fundaments and supporting the student to visualize the theoretical concepts learned at the classroom through a practical project that shows the importance of a space segment for the economics affairs and technologic innovation.

1. Introdução.

Ainda que o acesso a informação por meios digitais, proporcionado pela rede mundial de computadores, continue aumentando em recursos e demanda, é necessário que os usuários que desejam agregar valor aos seus produtos e serviços compreendam como o acesso e fornecimento da informação, em forma de dados, circula o globo através dos dispositivos. Portanto, conceitos fundamentais de telecomunicações devem ser levados em consideração no estudo e investigação de quem se propõe a essa tarefa. O emprego de Rádio Definido por Software trouxe uma abordagem mais acessível da prática da área de radiofrequência, consolidando conceitos teóricos de propagação e modulação de ondas eletromagnéticas através do processamento de sinais. Aliando hardware e software através de plataformas facilmente configuráveis, o uso de SDR em radiofrequência descortinou um leque de possibilidades para aqueles que já estavam inseridos nas mais diversas áreas do conhecimento que demandam o uso de telecomunicações, como democratizou o acesso para os neófitos das ciências exatas no âmbito educacional e de pesquisa.

Os principais trabalhos relacionados com o tema proposto nesta pesquisa, são as aplicações de SDR em pesquisas científicas, telecomunicações, transações financeiras de criptoativos e no radioamadorismo.

Esta tecnologia foi muito bem recebida no mundo dos radioamadores, no qual, equipamentos volumosos e de sintonização fina (como ilustrados nas Figuras 1 e 2), puderam ser substituídos por um único dispositivo de hardware e softwares dedicados a decodificação de sinais.



Figura 1: Equipamentos Analógicos de Radioamador.

Fonte: GRUPO DE RÁDIO AMADORES DE JUNDIAÍ. www.grraju.blogspot.com. 10/09/2019, 20:02 Horas.



Figura 2: Equipamentos de radioamador.

Fonte: PU2LRZ RUBENS ZOLOTUJIN. www.pu2lrz.com. 10/09/2019, 20:05 Horas.

Nas pesquisas científicas, promovidas por institutos, universidades e governos, em parceria com empresas especializadas do setor espacial, tem crescido o desenvolvimento de CubeSat's, que são nano satélites, capazes de embarcar carga útil em volumes de até 10 cm³, sendo um cubo de aresta com 10 cm a menor unidade desse tipo de estrutura. Exemplos desses equipamentos são ilustrados nas Figuras de 3 a 5. São conhecidos pelo emprego de componentes de bancada, ou cots (comercial off-the-shelf), aliando valor agregado que a tecnologia proporciona, com baixo custo de desenvolvimento relacionado a categoria de hardware com os quais são desenvolvidos.



Figura 3: Cubesat 3U.

Fonte: SCITECHDAILY. www.scitechdaily.com. 10/09/2019, 20:54 Horas.



Figura 4: Cubesat 1U.

Fonte: NASA. www.nasa.gov. 10/09/2019, 21:00 Horas.



Figura 5: Cubesats.

Fonte: NASA. www.nasa.gov. 10/09/2019, 21:25 Horas.

Aliando este baixo custo de desenvolvimento do segmento espacial, o Rádio Definido por Software soma com o baixo custo de desenvolvimento do segmento

solo, proporcionando alta performance, confiabilidade e valor tecnológico no desenvolvimento de um sistema espacial.

Uma das aplicações mais atuais envolvendo link com satélite via desenvolvimento de segmento solo com emprego de SDR, trata-se da iniciativa BlockStream, que gerenciam uma rede de satélites capazes de fazer transações financeiras com tecnologia Blockchain. As Figuras 6 e 7 são exibidas no site da empresa como ilustração da missão ao que ela se propõe.



Figura 6: Logo Blockstream.

Fonte: BLOCKSTREAM. www.blockstream.com. 10/09/2019, 19:18 Horas.

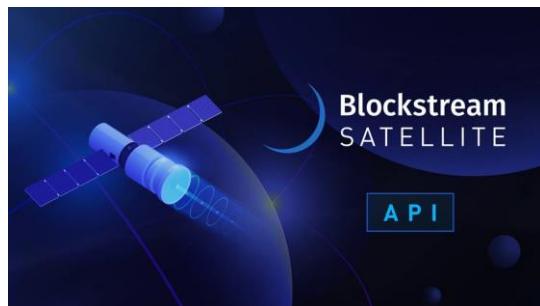


Figura 7: API Blockstream.

Fonte: BLOCKSTREAM. www.blockstream.com. 10/09/2019, 19:30 Horas.

Aproveitando a característica descentralizada das criptomoedas, mais especificamente o Bitcoin, utilizam a tecnologia d empregada nas cargas úteis desses satélites também de forma descentralizada para que qualquer pessoa com

o instrumental adequado, consiga fazer suas transações sem o intermédio de instituições financeiras, mantendo a confiabilidade que este tipo de processo exige.

2. Princípios de Sistemas Espaciais.

Um sistema espacial completo constitui o desenvolvimento e integração do que é conhecido como segmento solo, ou também conhecido como estação terrestre, segmento lançador ou foguetes e segmento espacial, também conhecido como satélites. Com as mais variadas aplicações, hoje, estes sistemas de alto valor agregado constituem um dos pilares da civilização, proporcionando a sociedade serviços de distribuição de vídeo e entretenimento, telecomunicações e observação do clima e monitoramento remoto, como exemplificam as Figuras 8, 9 e 10.

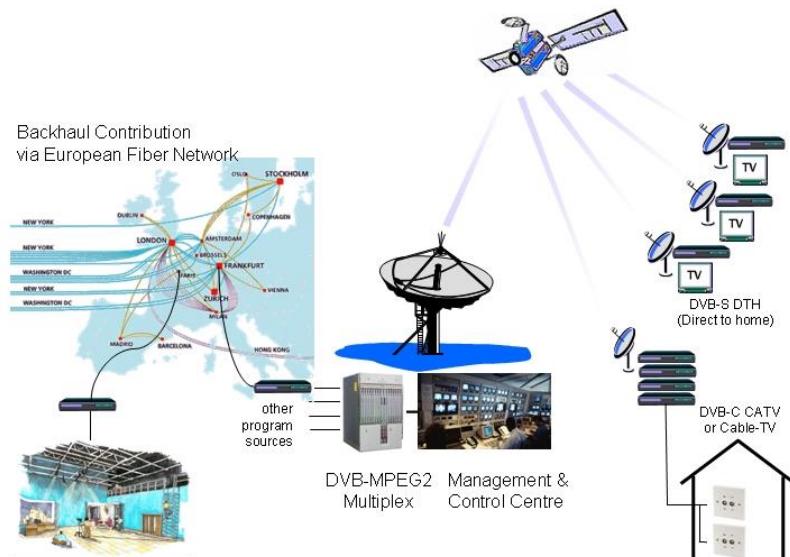


Figura 8: Exemplo de Aplicação 1.

Fonte: TV DISTRIBUTION VIA FIBRELINE.

https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Arquivo:TV-Distribution_via_fibreline.jpg. 26/08/2019, 10:11 Horas.

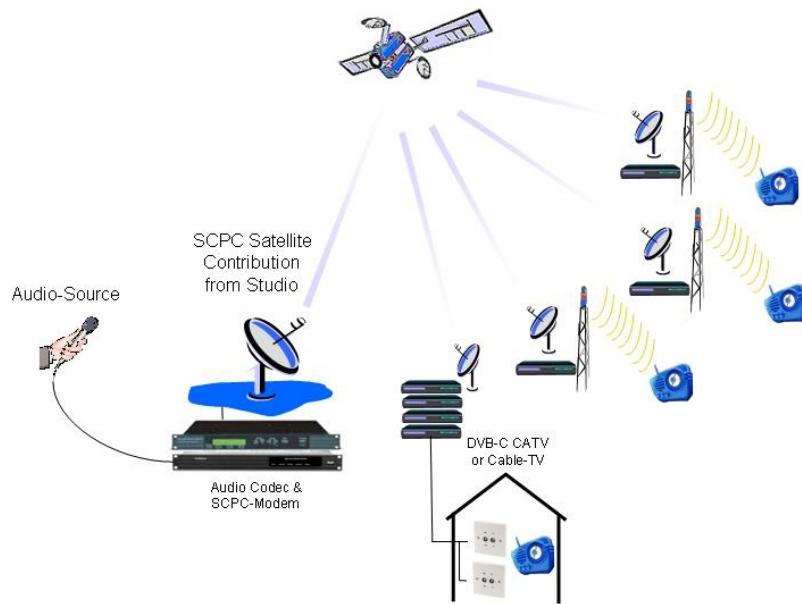


Figura 9: Exemplo de Aplicação 2.

Fonte: RÁDIO CONTRIBUTION.

www.wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Arquivo:Radio-Contribution.jpg.

26/08/2019, 09:42 Horas.

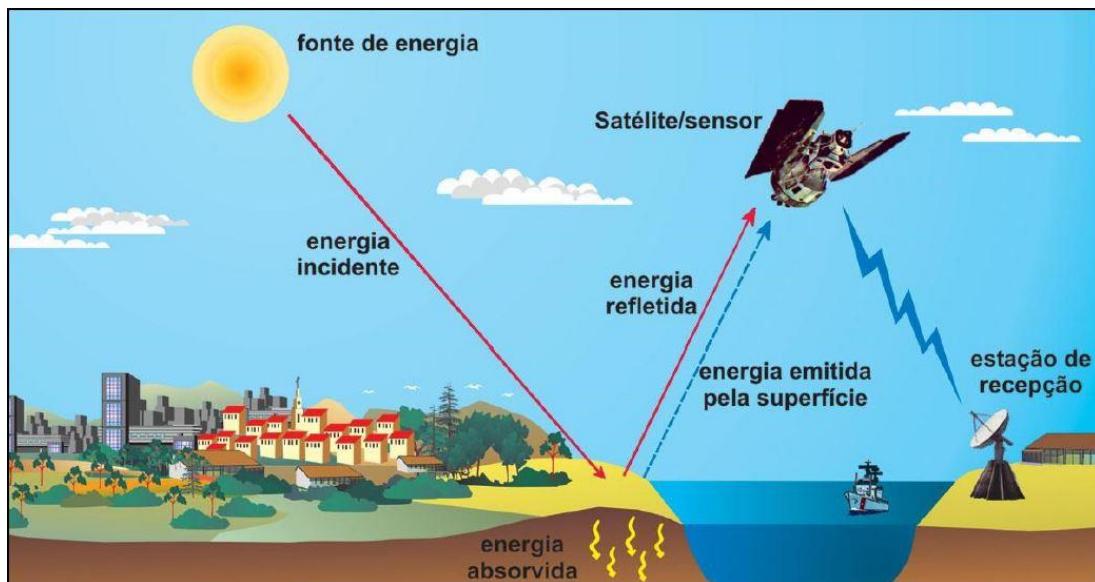


Figura 10: Exemplo de Sensoriamento Remoto.

Fonte: FLORENZANO, TERESA. G. 2011.

Todo desenvolvimento de um sistema espacial gira em torno dos requisitos do usuário, das condições ambientais as quais o satélite e sua carga útil estarão

sujeitos, do veículo lançador contratado, e do segmento solo o qual será o responsável pela aquisição de dados, envio de comandos para correção de atitude ou emprego de telecomunicações. Toda essa dinâmica entre os subsistemas envolvidos, dependerá muito da aplicação do sistema espacial como um todo, o qual, definirá os graus de relevância de cada área empregada. A Figura 11 ilustra um exemplo dessa dinâmica.

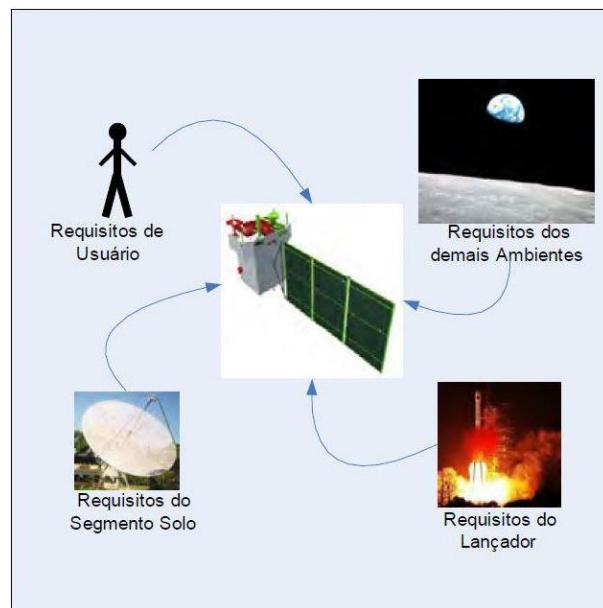


Figura 11: Requisitos de Projeto.

Fonte: DA SILVA, Hadler E. Palestra INPE. 2018.

Este presente trabalho de pesquisa tem o objetivo de tratar sobre o desenvolvimento de uma estação terrestre de baixo custo para recepção de imagens de um satélite em específico, portanto, será abordado com mais especificidade os subsistemas mais comuns que constituem um satélite que será usado para aquisição das imagens e como estes dados são adquiridos e tratados dentro de um segmento solo.

2.1 Funcionamento Básico de Um Segmento Especial.

Antes de entrar especificamente nos detalhes do funcionamento da série de satélites que será abordada neste trabalho, é necessário mostrar a generalização dos componentes que integram estes sistemas os quais lhes definirão a vida útil e consequentemente validarão o investimento pessoal e financeiro empregado em seu desenvolvimento. A variação nos projetos e integração dos subsistemas de um satélite é definida de acordo com sua aplicação, portanto, o agrupamento e gerenciamento de profissionais específicos de cada área a ser trabalhada fica no âmbito da engenharia de sistemas. As Figuras 12 e 13 ilustram as variáveis que comumente são consideradas no projeto de um satélite e seus subsistemas, os quais envolvem o desenvolvimento do que é definido como plataforma e carga útil.

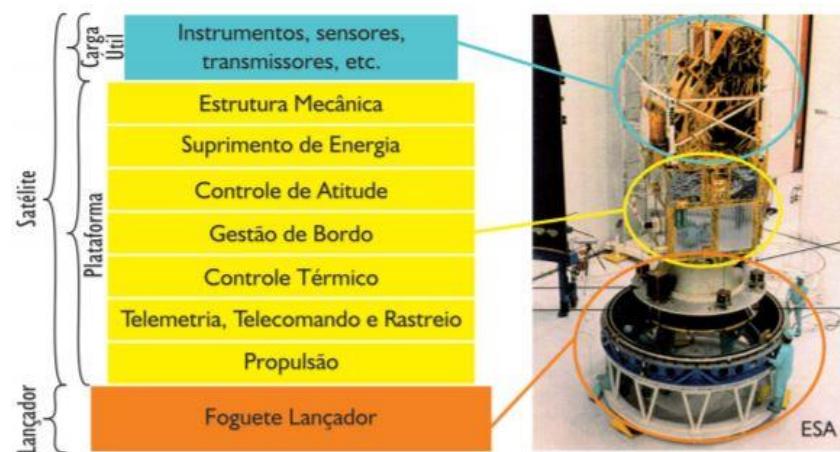


Figura 12: Subsistemas Espaciais.

Fonte: SOUZA, P.N. Palestra INPE. 2003.

Subsistemas de Plataforma se dividem em Subsistema de estrutura, geração e distribuição de energia, propulsão, computador de bordo, controle de altitude, telemetria e telecomando e controle térmico.

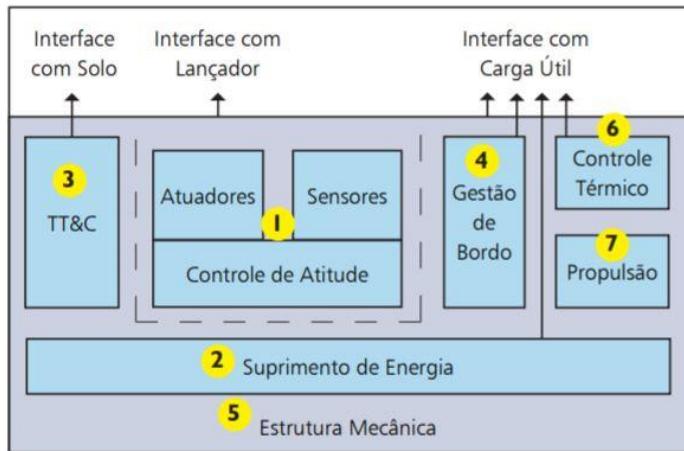


Figura 13: Subsistemas Segmento Espacial.

Fonte: SOUZA, P.N. Palestra INPE. 2003.

A carga útil é o que define a missão do satélite, e ela pode ser de caráter científico, tecnológico ou operacional. As missões científicas envolvem estudos da atmosfera, clima e geofísica espacial, aplicações para astronomia e astrofísica. As missões tecnológicas envolvem o uso de microgravidade, validação e homologação de novos equipamentos e inovações para aplicações espaciais e desenvolvimento de “spins-offs”. As aplicações operacionais são as mais amplas pois envolvem diretamente o uso da população por intermédio de países, blocos econômicos ou empresas do ramo espacial. Envolve os setores de observação da Terra, coleta de dados, comunicações, meteorologia, navegação, alarme, busca e localização e defesa militar.

O projeto de sensores para cargas úteis dentro da aplicação no segmento espacial também obedece a missão a que o satélite é destinado e comumente se tratam de sensores remotos óptico-eletrônicos, os quais, são capazes de detectar e registrar dentro de um faixa de radiação espectral, sob a forma de imagens ou não, o fluxo de energia radiante refletido ou emitido por objetos distantes. Nas Figuras 14 a 17

ilustram alguns exemplos de sensores embarcados em satélites que servem para pesquisas da magnetosfera terrestre.

Sensor “Electrostatic Analyser - ELISA”, mede o espectro de energias de elétrons que precipitam na anomalia magnética do atlântico sul.



Figura 14: Analisador Eletrostático.

Fonte: TAN, H. Ing. Palestra INPE. 2018.

Sensor “Alpha Proton and Electron Monitoring Experiment - APEX” que monitora o fluxo de partículas alfa, próton e elétron para formar uma base de dados para a modelagem do ambiente de partículas na magnetosfera interna.

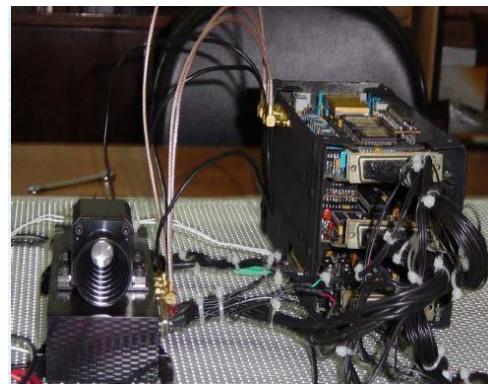


Figura 15: APEX.

Fonte: TAN, H. Ing. Palestra INPE. 2018.

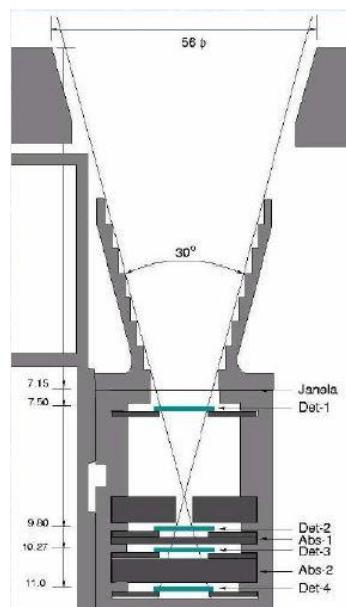


Figura 16: Layout APEX.

Fonte: TAN, H. Ing. Palestra INPE. 2018.

Magnetômetro embarcado no NanoSatC-Br1, responsável por medir o campo magnético na região da anomalia magnética do atlântico sul.

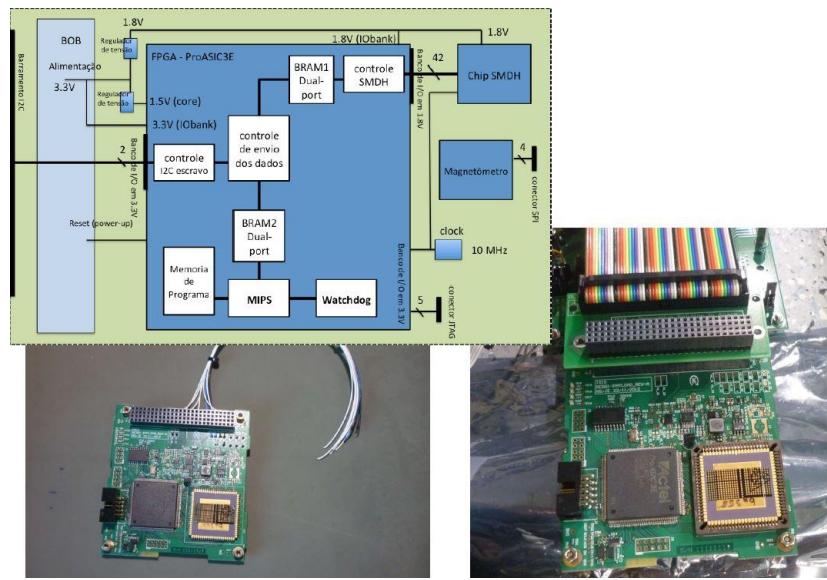


Figura 17: Payload NanoSatC.

Fonte: DE ALMEIDA, Danilo P. Palestra INPE. 2018.

2.2 Tipos de Órbitas.

A característica orbital a qual os satélites são submetidos, também é definida de acordo com sua missão. Assim, há os seguintes tipos de órbitas possíveis ilustradas nas Figuras 18 e 19 para lançamento e operação do segmento espacial:

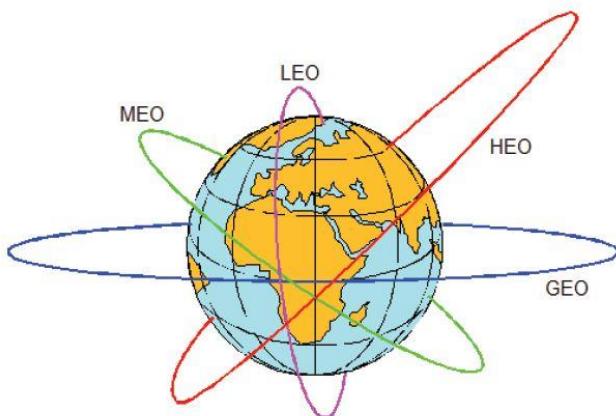


Figura 18: Tipos de Órbitas.

Fonte: TUTORIALPOINT. www.tutorialspoint.com. 01/09/2019, 16:17 Horas.

Órbita baixa (“Low Earth Orbit” – LEO): É executada na faixa dos 300 km até 1500km de altitude, aproximadamente, com período orbital entre 90 minutos até 2 horas. As principais vantagens desse tipo de órbita são as baixas latências para altas taxas de transmissão nos equipamentos embarcados.

Órbita média (“Medium Earth Orbit” – MEO): é executada para satélites em 10.000 m até 20.000 m de altitude, com período orbital de 6 horas. É mais comum para segmentos espaciais de GPS (“Global Positioning Systems”).

Órbita geoestacionária (“Geostacionary Earth Orbit” – GEO): é um tipo de órbita executada a 36.000 km de altitude e seu período orbital é de 24 h, portanto, mantém o apontamento do satélite fixo numa região do globo terrestre. É utilizada para aplicações de satélites de telecomunicações e banda X, para sistemas de defesa.

Órbita de alta excentricidade (“High Earth Orbit” – HEO): também conhecida como órbita Molnya, pode chegar a distâncias de 41.000 km até 50.000 km em seu apogeu e perigeu, respectivamente. Originariamente, foi concebida com fins militares e de espionagem, onde o satélite passa por determinada região do planeta com velocidades diferentes para fazer aquisição de imagens e downlink com seu segmento solo.

Há ainda as Órbitas polares, as quais orbitam o planeta na perpendicular ao seu sentido de rotação, geralmente em órbita baixa numa velocidade de 35000 km/h, de tal forma que possa ser obtido um imageamento total da Terra para uma série de órbitas completas. São geralmente usadas para satélites de mapeamento geográfico, observação, sensoriamento remoto e meteorologia. Os satélites de órbita equatorial, orbitam também em órbita baixa na mesma direção da linha do equador, desta forma, poderiam fazer o imageamento de uma região em específico,

como a Amazônia, por exemplo ou estudos detalhados da atividade da magnetosfera terrestre ou do monitoramento do cinturão de Van Allen.

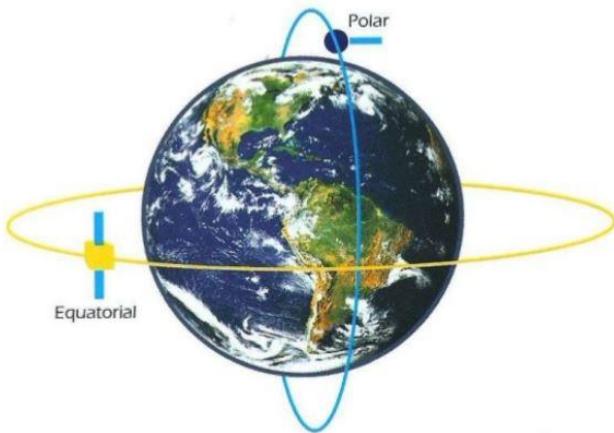


Figura 19: Órbitas Polar e Equatorial.

Fonte: PROGRAMAS ESPACIAIS. www.pt.slideshare.net. 01/09/2019, 15:17 Horas.

2.3 Estação Terrestre ou Segmento Solo.

Os componentes genéricos de um segmento terrestre conforme ilustrado na Figura 20 são compostos basicamente por, antena, transceptor e sistema de decodificação. Também constitui a base “administrativa” da missão pelo qual o sistema espacial foi desenvolvido. É aqui que decisões de controle de órbita, tratamento de dados e imageamento, telecomando e telemetrias são avaliados e atualizam o status da missão em andamento. Além disso, podem ser estabelecidas várias estações terrestres em diferentes pontos do globo, ou ainda, manter a

recepção de telemetrias de forma aberta para que qualquer pessoa possa sintonizar o segmento espacial e fazer suas experiências ou testes.

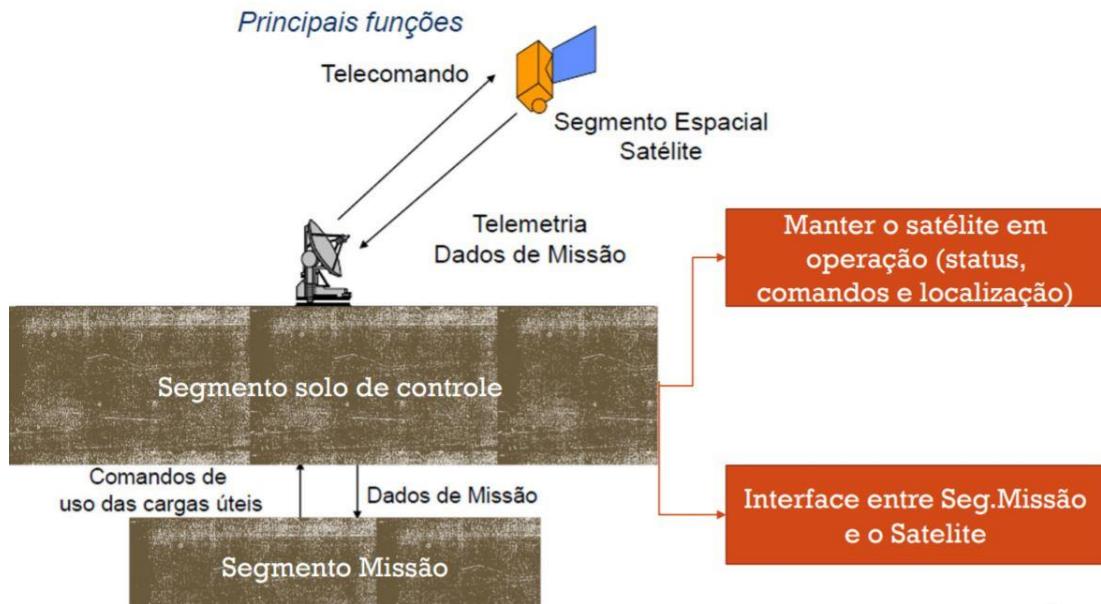


Figura 20: Segmento Solo.

Fonte: CERQUEIRA, Christopher S. Palestra INPE. 2018.

Após planejamento da missão, integração e testes e lançamento, o segmento solo é o último elo no qual a missão espacial se estabelece a fim de produzir os resultados pelo qual foi projetado, seja por uma investigação científica ou para integrar a rede de telecomunicações.

3. Administração Atmosférica e Oceânica Nacional – National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).



Figura 21: Logo NOAA.

Fonte: NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION.
www.noaa.gov. 26/08/2019, 15:28.

A Figura 21 ilustra o selo da NOAA, agência responsável pela administração e desenvolvimento dos satélites meteorológicos de órbita polar e geoestacionária. Os Estados Unidos da América mantém três programas de imageamento meteorológico via satélite, os quais, dois são de administração civil e o terceiro subordinado ao Departamento de Defesa deste país devido ao seu caráter militar. A NESDIS - National Environmental Satellite, Data, and Information Service – é uma unidade da NOAA responsável pela operação, distribuição de dados, armazenamento dos dados e planejamento de sistemas futuros das constelações de satélites meteorológicos civis. O GOES, geostationary operational environment satellites é uma constelação geoestacionária que mantém vigilância às condições atmosféricas que sinalizam distúrbios extremos como, furacões, tornados, tempestades e nevadas. Também são equipados com sensores que monitoram correntes marítimas, tamanho de geleiras e lagos congelados. O POES, Polar Operational Environmental Satellites, é a constelação de órbita polar, atualmente,

identificada pela sigla NOAA-N, onde “N” é a numeração de série do satélite, conforme ilustra Figura 22.

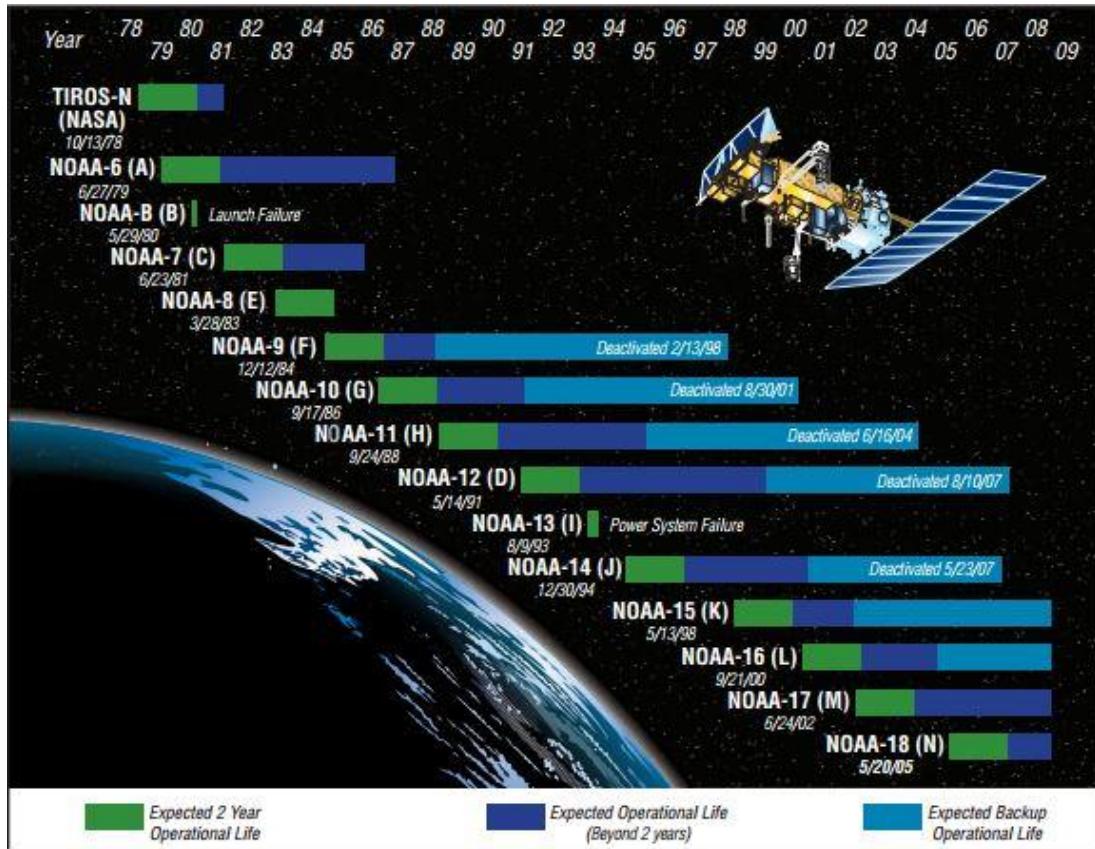


Figura 22: Linha do Tempo NOAA.

Fonte: WEATHERNATION. www.weathernationtv.com. 26/08/2019, 20:18 Horas.

Os satélites NOAA que estão operacionais, possuem em média 21 subsistemas, e podem ser monitorados pelo site da OSPO - Office of Satellite and Product Operations (<https://www.ospo.noaa.gov>). Possuem sempre o mesmo lay-out, como ilustrado na Figura 23, variando apenas o acréscimo de subsistemas atualizados ou retirada daqueles que já demonstram ser obsoletos para aplicações atuais.



Figura 23: NOAA-18.

Fonte: GUNTER'S SPACE PAGE. www.space.skyrocket.de. 26/08/2019, 02:03 Horas.

Nas Figuras 24 e 25, há a listagem dos subsistemas e o estado operacional do NOAA-15 e NOAA-19, sendo a cor verde indicando plena operacionalidade, amarelo operando com limitações, laranja operando, porém degradado e vermelho, não operacional.

Subsystem	Description	Status
ADACS	Attitude Determination and Control System	Orange
AMSU-A1	Advanced Microwave Sounding Unit -A1	Yellow
AMSU-A2	Advanced Microwave Sounding Unit -A2	Green
AMSU-B	Advanced Microwave Sounding Unit -B	Red
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer	Yellow
CCS	Command and Control System	Green
COMM	Communications System	Yellow
DCS	Data Collection System	Green
DHS	Data Handling System	Green
DPLY	Deployment Subsystem	Green
EPS	Electrical Power System	Green
FSW	Flight Software	Green
GROUND	Polar Acquisition and Command System (PACS)	Green
HIRS	High Resolution Infrared Radiation Sounder	Yellow
RCS	Reaction Control Subsystem	Green
RFS		Green
SAR	Search and Rescue	Green
SARP	Search and Rescue Processor	Green
SARR	Search and Rescue Repeater	Yellow
SEM	Space Environment Monitor	Green
THERM	Thermal Control System	Yellow

Figura 24: Subsistemas NOAA-15.

Fonte: OSPO. www.ospo.noaa.gov. 03/09/2019, 00:15 Horas.

Subsystem	Description	Status
A-DCS	Advanced Data Collection System	Yellow
ADACS	Attitude Determination and Control System	Green
AMSU-A1	Advanced Microwave Sounding Unit -A1	Green
AMSU-A2	Advanced Microwave Sounding Unit -A2	Green
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer	Green
CCS	Command and Control System	Green
COMM	Communications	Green
DHS	Data Handling System	Green
DPLY	Deployment Subsystem	Green
EPS	Electrical Power System	Green
FSW	Flight Software	Green
GROUND	Polar Acquisition and Command System (PACS)	Green
HIRS	High Resolution Infrared Radiation Sounder	Orange
MHS	Microwave Humidity Sounder	Green
RCS	Reaction Control Subsystem	Green
SAR	Search and Rescue	Green
SARP-3	Search and Rescue Processor - 3	Green
SARR	Search and Rescue Repeater	Green
SBUV	Solar Backscatter Ultraviolet Radiometer	Green
SEM	Space Environment Monitor	Green
THERM	Thermal Control System	Green

Figura 25: Subsistemas NOAA-19.

Fonte: OSPO. www.ospo.noaa.gov. 03/09/2019, 00:18 Horas.

Orbitando em órbita baixa, na faixa entre 800km até 850km, há quatro satélites operacionais, NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19 e NOAA-20. A instrumentação embarcada da constelação NOAA-N provem um gama vasta de monitoramento ambiental e meteorológico, incluindo dados para previsão climática, medição de temperatura de massas de ar e dos oceanos, previsão de precipitação de chuvas e erupção vulcânicas, monitoramento da vegetação nativa e procura e resgate. A

Figura 26 ilustra o logo do website da NOAA.



Figura 26: Logo do Website da NOAA.

Fonte: NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. www.noaa.gov. 26/08/2019, 14:32 Horas.

O que tornou este programa espacial popular foi a possibilidade de poder fazer a aquisição das imagens fornecidas por estes satélites por qualquer pessoa com uma estação solo de baixíssimo custo através das imagens fornecidas no formato APT – Automatic Picture Transmission moduladas em VHF. Assim, desde grandes empresas privadas, órgãos governamentais, militares e radio amadores, podem, com uma antena de polarização circular e um decodificador adequado, ter acesso a informação provida pela constelação NOAA, democratizando o acesso à pesquisa e ciência, proporcionando inovação no aprendizado de tecnologias espaciais para diversos ramos do conhecimento. A Figura 27 mostra a sede de operações da NOAA.



Figura 27: Escritório de Operações da NOAA.

Fonte: OSPO. www.ospo.noaa.gov. 02/09/2019, 15:34.

3.1 Sensor AVHRR.

Este é o principal sensor de bordo que proporciona a coleta de imagens para análises meteorológicas em solo, denominado Advanced Very High Resolution Radiometer. É capaz de detectar radiações próximas ao infra-vermelho, luz visível e radiações térmicas terrestres, subdivididos em seis bandas, conforme mostra a Tabela 1 e as Figuras 28 e 29.

Canal	Espectro	Comprimento de onda (μm)	Objetivo
1	Visível	0,58 - 0,68	mapeamento diurno de nuvens e superfícies
2	Infravermelho próximo	0,725 - 1	limite de terra e água
3a	Infravermelho médio	1,58 - 1,64	detecção de gelo e neve
3b	Infravermelho térmico	3,55 - 3,93	mapeamento noturno de nuvens, temperatura superfície e detecao de fogo
4	Infravermelho térmico	10,3 - 11,3	mapeamento noturno de nuvens, temperatura superficial do mar e humidade do solo
5	Infravermelho térmico	11,5 - 12,5	mapeamento noturno de nuvens, temperatura superficial do mar

Tabela 1: Canais do AVHRR.

Fonte: NAVIDES, V. Bruce. 2012.

O radiômetro de varredura é constituído por um jogo de lentes e espelhos, acoplados ao sistema rotativo de um motor que direciona os feixes coletados a uma matriz de sensores do tipo fotodiodo.

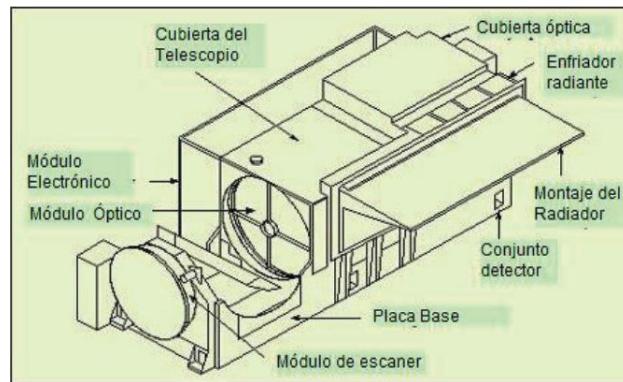


Figura 28: Desenho AVHRR.

Fonte: EESA. www.m.esa.int. 26/08/2019, 10:00 Horas.

Conforme o satélite se movimenta ao longo do polo, o registro da imagem da região perpendicular ao sentido de seu movimento é feito com uma resolução espacial de aproximadamente 1,1km. Durante a passagem do satélite, a imagem resultante depois de recebida pela estação solo apresenta uma distância longitudinal de aproximadamente 5500km e 3000km de largura

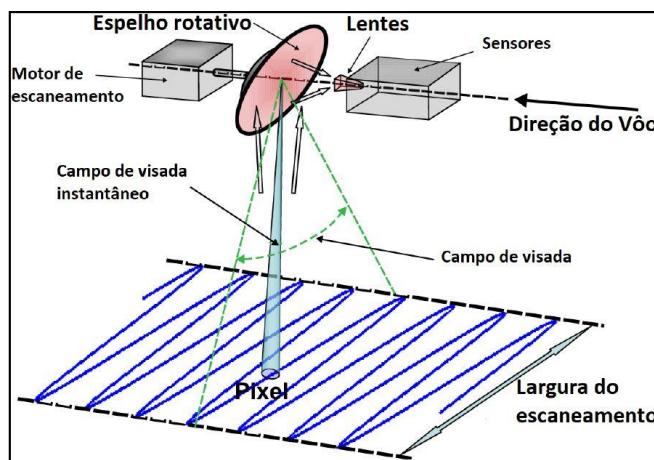


Figura 29: Exemplo de Varredura do Radiômetro.

Fonte: KLOSE, Christina. Marine Polution. www.seos-project.eu. 03/09/2019, 16:41 Horas.

Após sucessivos escaneamentos lineares, o sensor, juntamente com seu digitalizador integrado compõe uma informação digital que comprehende a imagem em alta resolução e suas telemetrias associadas. Essa informação é processada e enviada ao solo como HRPT - High Resolution Picture Transmission, telemetrias de geolocalização global e local e APT - Automatic Picture Transmission, que é um formato analógico da imagem em baixa resolução modulada em VHF, específica para estações solo de baixo custo.

3.2 Formato APT e Modulação.

O sistema APT – Automatic Picture Transfer ilustrado na Figura 30 é um sistema de transmissão de baixa resolução de dados obtidos do sensor AVHRR. Esse sistema utiliza os canais do radiômetro de varredura, multiplexando dois dos seis canais do sensor, denominando esses canais de saída como canal A e canal B. Eles transmitem, durante o dia, os canais de captação de luz visível e de infravermelho, a noite, transmitem os canais de infravermelho próximo e térmico.

O sistema transmite 120 linhas de imagens captadas por minuto, e cada linha contém a informação dos dois canais, transmitindo de forma síncrona os canais A e B, assim, o formato APT transmite uma linha de cada canal em 0,25 segundo para o sistema de RF do satélite. Cada linha também contém informações úteis para a decodificação em solo e demais telemetrias que dizem respeito a geolocalização do satélite.

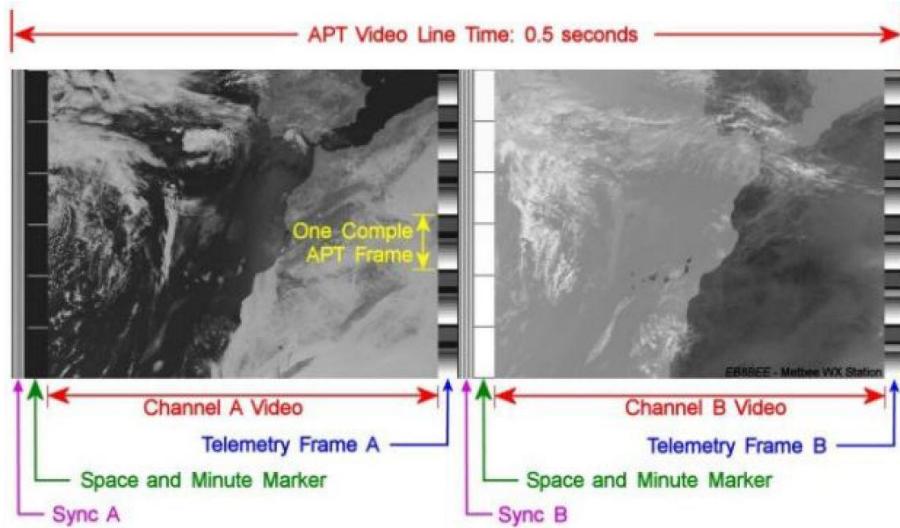


Figura 30: Decodificação APT.

Fonte: NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. 2009.

A sincronização entre os canais é feita em 7 pulsos de 1024Hz para o canal A e 7 pulsos de 832Hz para canal B. Estes pulsos aparecem como franjas verticais de variações extremas do branco ao preto e tons de cinza.

A modulação analógica do APT fornece imagens em baixa resolução, de aproximadamente 5 km, na faixa de VHF para estações solo independentes de baixo custo. Para a formato APT o radiômetro também tem a função de converter as variações de brilho e contraste do sistema óptico em sinais elétricos. Estes são modulados em amplitude por uma subportadora de 2400 Hz e em seguida, o sinal resultante é modulado em frequência com uma portadora 137,5 MHz com banda de 34 kHz, sendo irradiada ao solo. Um esquema que ilustra o sistema de modulação é apresentado na Figura 31.

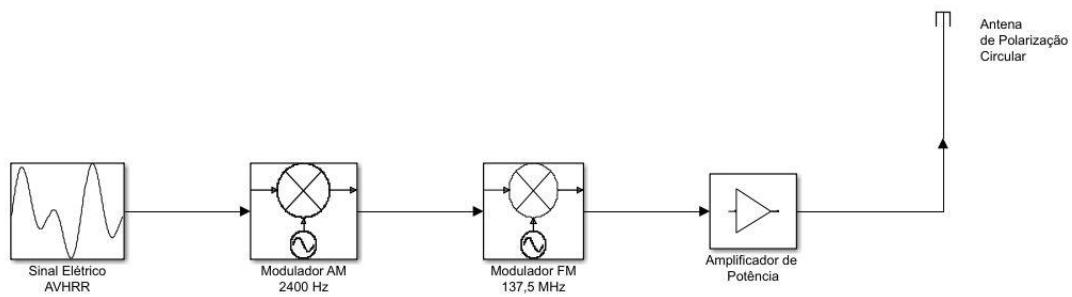


Figura 31: Modulação APT.

Fonte: GRUPO TCC.

Após a recepção e demodulação pela estação solo, o software de decodificação APT compõe uma única imagem com as informações meteorológicas locais, como é ilustrado na Figura 32.

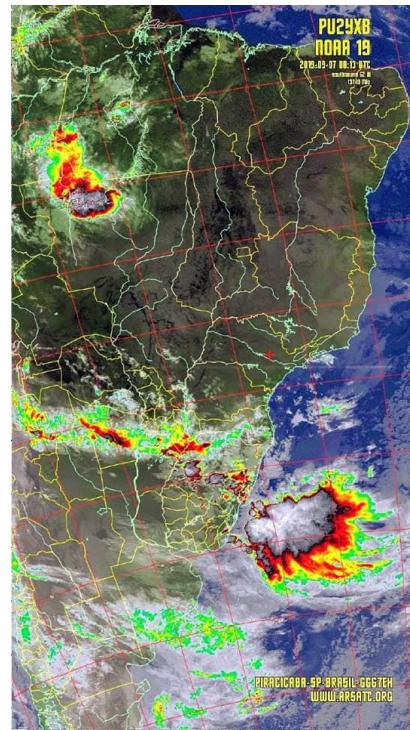


Figura 32: Exemplo de Decodificação APT.

Fonte:FACEBOOK.

<https://www.facebook.com/groups/AmateurRadioSatelliteService>. 18/09/2019, 10:13 Horas.

4. RTL-SDR Dongle.

O RTL-SDR mostrado na Figura 33 é um modelo de dispositivo USB Dongle, baseado nos conceitos de rádio definido por software e de baixo custo que é responsável por receber sinais de rádio frequência. O seu preço atualmente está em torno de \$25 e existem dispositivos RTL - SDR que podem receber frequências no range 500 kHz a 1,75 GHz.

O RTL-SDR foi originado dos dispositivos de recepção DVB-T, sigla para Digital Vídeo Broadcasting – Terrestrial. Onde o DVB é um consórcio de empresas, originados na Europa que desenvolvem padrões para prestação de serviços e transmissão de televisão digital, multimidia e dados.



Figura 33: RTL – SDR Dongle.

Fonte: RTL-SDR. [www.rtl-sdr.com](http://www rtl-sdr com). 31/08/2019, 20:23 Horas.

Inicialmente o RTL-SDR foi projetado para ser um receptor de DVB-T de televisão digital, quando em um determinado momento foi notado que o dispositivo poderia ser usado de maneira genérica, não apenas para a recepção de sinais de televisão digital, mas também para receber diversos espectros de frequências dentro do range do sintonizador utilizado nele. Uma gama de sinais pode ser obtida a partir do Dongle. Sinais FM, UHF/DTV, Digital Áudio Broadcast (DAB), 2G, 3G, 4G, sinais de

dispositivos industriais, aeroespaciais e outros. Assim como é mostrado na Figura 34.

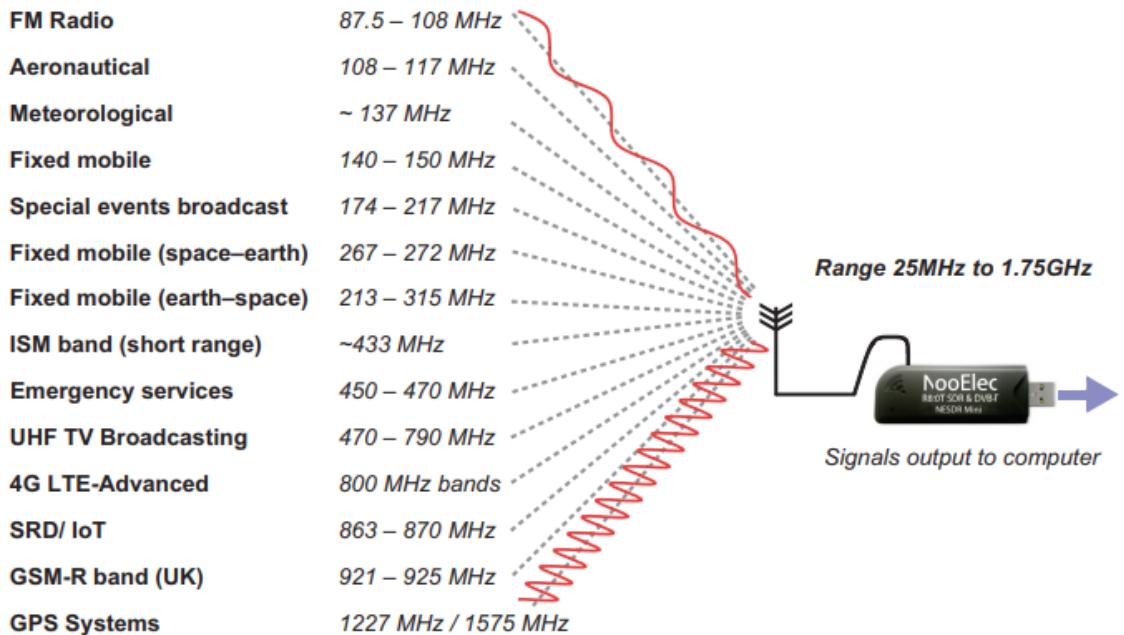


Figura 34: Sinais Disponíveis para SDR.

Fonte: STEWART, Robert W.; ATKINSON, Dale S. W.; BARLEE, Kenneth W. e CROCKETT, Luise H. 2015.

A tecnologia de rádio definido por software tem ganhado grande popularidade ao longo do tempo e tem deixado o rádio amadorismo mais acessível e desmistificado, sem a necessidade da utilização de diversos e custosos hardwares, tornando a prática mais barata e acessível comparado a alguns anos atrás. Além de possibilitar aplicações para uso industrial e militar nas áreas de comunicações, sistemas de localização e etc. E assim a tecnologia também tem avançado e atualmente pode-se encontrar no mercado, dispositivos como por exemplo USRP 1, BladeRF e HackRF que executam as funções de recepção e transmissão de rádio frequência em um único dispositivo e que apesar de terem um preço mais elevado são

extremamente tecnológicos, e dependendo do modelo com um range de frequências mais amplo comparado ao RTL-SDR. Assim como mostra a Tabela 2.

SDR	Tune Low (MHz)	Tune Max (MHz)	RX Bandwidth (MHz)	ADC Resolution (Bits)	Transmit? (Yes/No)	Price (\$USD)
RTL-SDR (R820T)	24	1766	3.2 / 2.56 Stable	8	No	~20
Funcube Pro+	0.15 410	260 2050	0.192	16	No	~200
Airspy	24	1800	10	12	No	199
SDRPlay	0.1	2000	8	12	No	149
HackRF	30	6000	20	8	Yes	299
BladeRF	300	3800	40	12	Yes	400 & 650
USRP 1	DC	6000	64	12	Yes	700

Tabela 2: Comparação Entre RTL – SDR e outros Dispositivos SDR.

Fonte: RTL-SDR. [www.rtl-sdr.com](http://www rtl-sdr.com). 31/08/2019, 21:58 Horas.

4.1 Rádio Receptor Superheterodino.

O modelo de receptor de rádio frequência super-heteródino mostrado na Figura 35 foi inventado por Edwin Howard Armstrong durante a primeira guerra mundial a fim de substituir o modelo receptor de rádio frequência sintonizado e tornou-se um modelo muito utilizado nos sistemas de comunicação.

As suas características funcionais são baseadas em sua totalidade em recursos analógicos, mas são convenientes para realizar uma comparação em relação a

arquitetura que o rádio definido por software utiliza. O estágio de sintonização é semelhante ao usado no SDR e por isso serão abordadas as suas características funcionais a fim de obter alguns conceitos que servirão de base para a compreensão da arquitetura do SDR.

Na Figura 35 está um modelo convencional de rádio receptor superheterodino, onde é descrito o seu funcionamento básico em um diagrama de blocos que demonstra as etapas de pelas quais um sinal modulado em AM-DSB passa até chegar à reprodução da mensagem. Sendo que os blocos definem as seguintes etapas:

- 1. Rádio Frequênciा.
- 2. Misturador.
- 3. Oscilador local.
- 4. Filtro FI (Frequência Intermediária).
- 5. Demodulador.

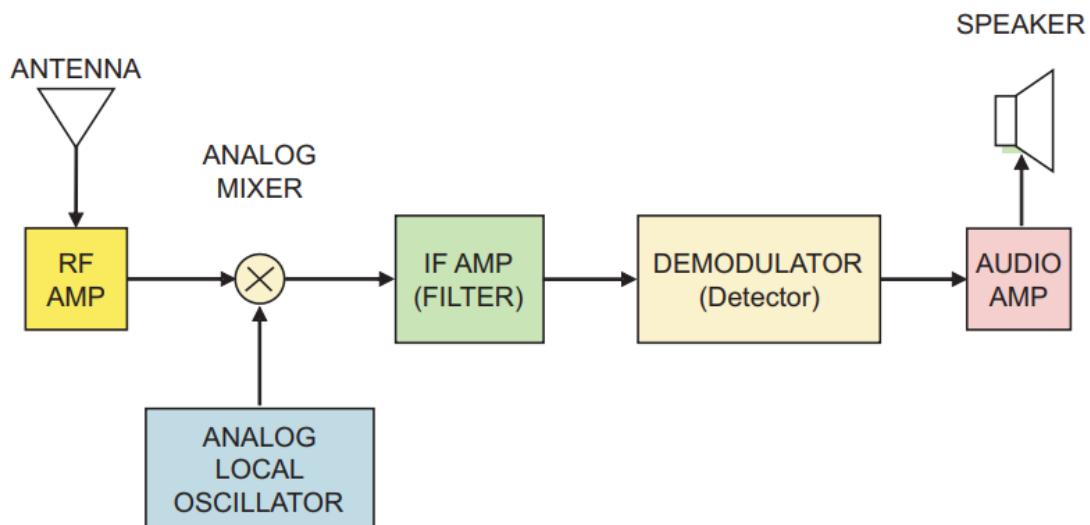


Figura 35: Diagrama de Blocos Receptor Superheterodino.

Fonte: HOSKING, Rodger H. 2011.

Estágio de Rádio Frequência:

É o primeiro estágio pelo qual o sinal passa é o estágio de amplificação e seletividade do sinal. Neste estágio o sinal passa por um filtro passa-banda, com uma largura de faixa fixada e que varia de acordo com a sintonização da portadora. Após eliminar as frequências que estão fora da faixa desejada o sinal é amplificado e passa para o segundo estágio.

Misturador e Oscilador Local:

O misturador é alimentado pelo sinal de rádio frequência e por um oscilador local que é ajustado por um acoplamento mecânico de sintonia, ligado ao primeiro estágio. Quando o Knob de sintonia é movimentado a frequência do oscilador varia juntamente com o filtro passa-banda que está no estágio de rádio frequência. Então o sinal é transladado para uma frequência fixa denominada frequência intermediária FI assim como mostra a equação 1. No caso da modulação em amplitude a frequência intermediária é geralmente de 455 kHz.

$$F_I = |F_{OL} - F_M| \quad (1)$$

Uma faixa do sinal é selecionada pela ação conjunta entre o oscilador local e o estágio de rádio frequência e deslocada até a frequência intermediária assim como mostra a Figura 36.

Filtro FI:

No estágio de FI a frequência intermediaria passa por um filtro passa-banda e pela amplificação do sinal desejado. Nesta etapa apenas o sinal desejado passar, aumentando a seletividade do sinal.

Demodulador e Amplificação da Mensagem:

Por fim o sinal é demodulado e desta forma a mensagem é amplificada. No caso da modulação em amplitude, o demodulador é apenas um detetor de envoltória que seleciona apenas a mensagem.

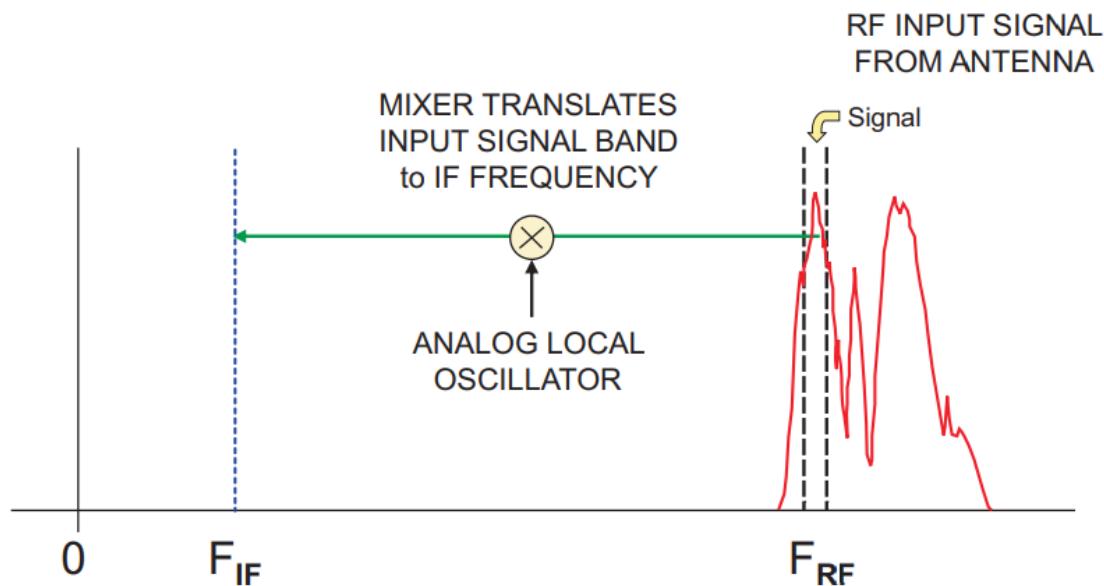


Figura 36: Frequência Intermediária.

Fonte: HOSKING, Rodger H. 2011.

4.2 Arquitetura do SDR

Diferente do rádio receptor superheterodino demonstrado no sub-item 4.1, onde é possível a recepção de sinais modulados em amplitude ou frequência, a arquitetura do rádio definido por software permite que qualquer sinal de rádio frequência que esteja no range do sintonizador, seja recebido e processado pelo dongle. Sejam sinais modulados em amplitude ou frequência, VHF, UHF, GSM e até mesmo a recepção e processamento de imagens de satélite.

Assim como foram explorados o diagrama de blocos do rádio superheterodino, o mesmo será feito para a arquitetura do SDR.

A arquitetura do SDR está descrita na Figura 37, onde são apresentadas as partes que integram o chip SDR e são responsáveis por seu funcionamento. Pode-se dividir seu funcionamento em três blocos principais e que são definidos como:

- 1. Sintonizador de Rádio Frequênciа.
- 2. Conversor Analógico/Digital.
- 3. DDC – Digital Downconverter

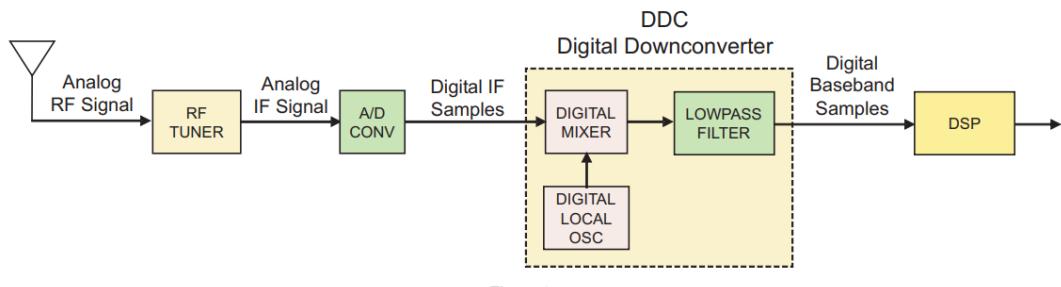


Figure 9

Figura 37: Diagrama de Blocos da Arquitetura SDR.

Fonte: HOSKING, Rodger H. 2011.

Os blocos da Figura 37 demonstram as etapas pelas quais o sinal passa até ser entregue ao processador digital de sinais. Na primeira etapa, os sinais de rádio frequência entram no sintonizador e são deslocados para uma frequência intermediaria, onde no próximo passo, são amostrados por um conversor A/D de alta velocidade de amostragem e por fim o sinal é convertido para a banda base.

A arquitetura demonstrada na Figura 37 é aplicada no chip RTL-SDR, objeto do nosso estudo neste trabalho. Porém existem outras arquiteturas que evoluíram ao longo do tempo. E ao estudar esta evolução é possível ver que o progresso dos chips SDR estão fortemente atrelados aos conversores A/D e ao Digital Downconverter que utiliza modulação por amplitude de quadradura.

Uma primeira geração de rádios digitais surgiu na década de noventa. Nessa época os conversores analógicos digitais trabalhavam na ordem de apenas algumas dezenas de Quilohertz e por isso não eram capazes de realizar amostragens velozes. Onde o sinal amostrado era a própria banda básica. Assim como demonstra a Figura 38.

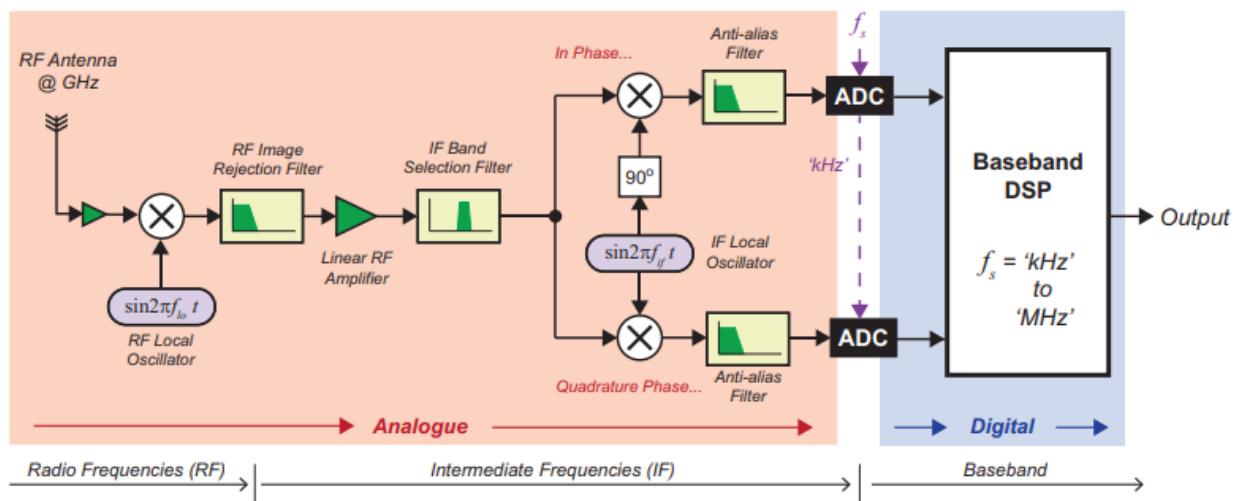


Figura 38: Rádio Digital na Década de 1990.

Fonte: STEWART, Robert W.; ATKINSON, Dale S. W.; BARLEE, Kenneth W. e CROCKETT, Luise H. 2015.

A evolução dos conversores A/D, permitiu que os dispositivos atingissem uma taxa de amostragem da ordem de centenas de mega-hertz e isso possibilitou a utilização de frequências intermediárias, assim como o modelo do receptor superheterodino. Bem como, a utilização de técnicas de decimação. Assim foi possível, no início dos anos 2000 o surgimento de uma nova arquitetura de SDR. Assim como é apresentado na Figura 39.

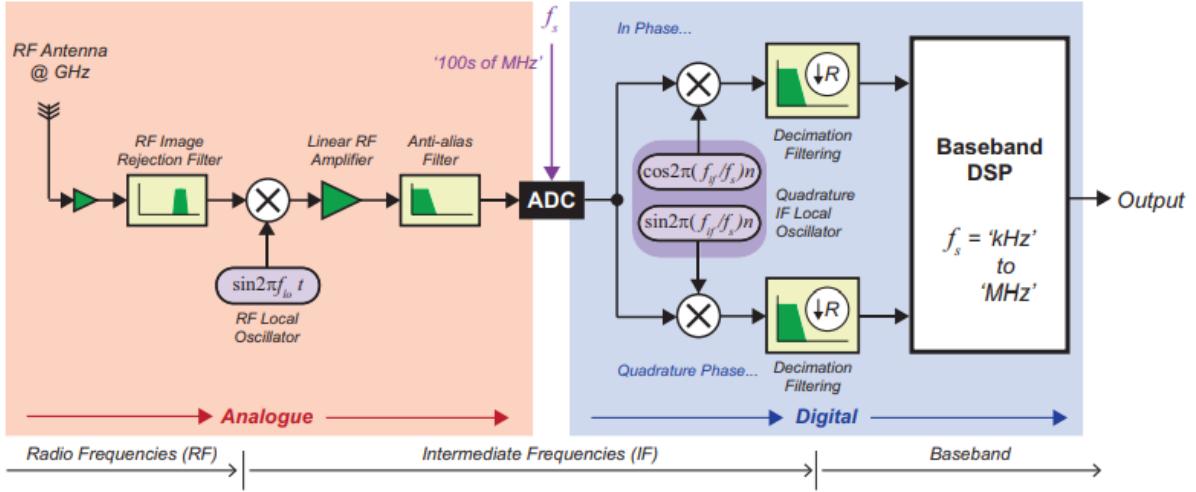


Figura 39: Arquitetura SDR na Década de 2000.

Fonte: STEWART, Robert W.; ATKINSON, Dale S. W.; BARLEE, Kenneth W. e CROCKETT, Luise H. 2015.

Por fim pode-se citar uma versão mais atual de arquitetura de SDR que utiliza conversores A/D que operam na ordem de Giga-hertz, o que possibilita transladar o sinal de rádio frequência diretamente para a banda básica em um único passo. Sem a necessidade de utilizar frequências intermediárias. Assim como mostra a Figura 40.

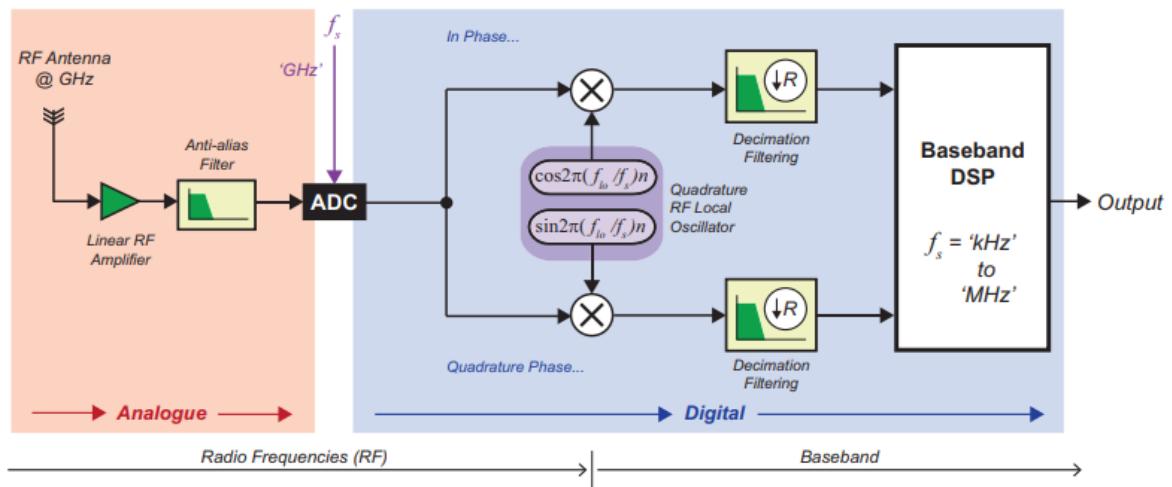


Figura 40: Última Versão de Arquitetura SDR.

Fonte: STEWART, Robert W.; ATKINSON, Dale S. W.; BARLEE, Kenneth W. e CROCKETT, Luise H. 2015.

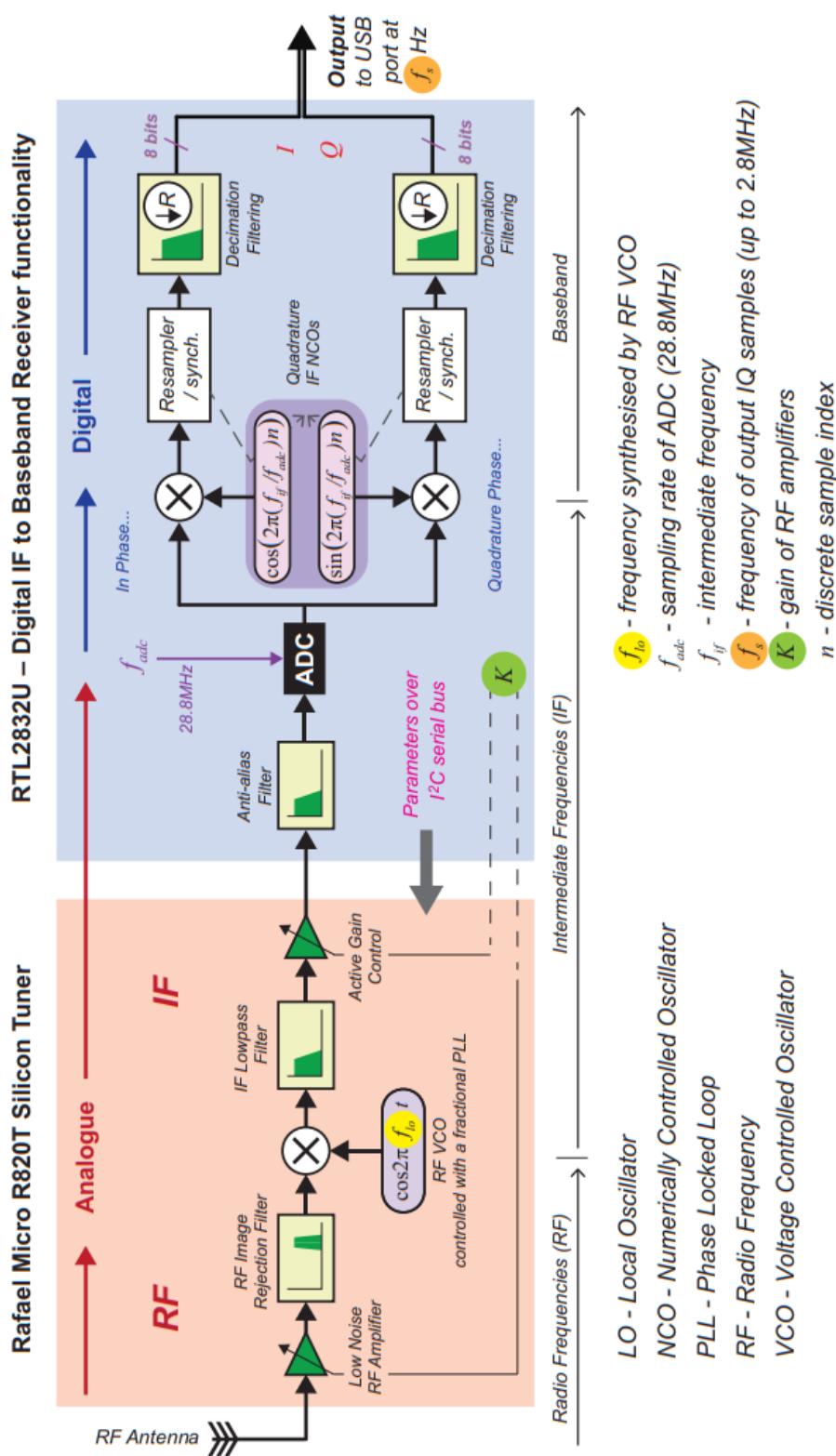


Figura 41: Arquitetura do chip RTL-SDR.

Fonte: STEWART, Robert W.; ATKINSON, Dale S. W.; BARLEE, Kenneth W. e CROCKETT, Luise H. 2015.

O objeto do deste estudo é o chip RTL-SDR. Portanto serão abordados os três principais elementos deste chip, que são o sintonizador Rafael micro R820T, a conversão A/D e o demodulador Realtek RTL 2832U e as suas funções, respectivamente. As partes que compõem o chip e sua arquitetura estão descritas na Figura 41.

4.2.1 Sintonizador Rafael Micro R820T.

O sintonizador utilizado nos Dongles RTL-SDR é o circuito integrado de modelo R820T da Rafael Micro. Empresa que desenvolve e fabrica circuitos integrados de recepção de rádio frequência em alta performance. O circuito integrado, R820T, foi inicialmente criado para ser utilizado na recepção de sinais DVB-T, porém passou a ter utilidade em diversas aplicações, sendo uma delas o SDR. O circuito possui algumas características que descrevem sua alta performance. Bem como, o baixo consumo de potência, a interface I2C para a sintonização das frequências e outros atributos que são descritos na Tabela 3.

Parâmetro	Valor	Unidade
Tensão de Entrada	3,3	V
Consumo de corrente	< 178	mA
Temperatura de Operação	25	°C
Range de Frequência	42 - 1002	MHz
Figura de Ruído	3,5	dB
Potência Máxima de Entrada	10	dBm
Rejeição de Imagem	65	dBc

Tabela 3: Parâmetros do Chip R820T.

Fonte: RTL-SDR. [www.rtl-sdr.com](http://www rtl-sdr com). 02/09/2019, 20:26 Horas.

A função do sintonizador na arquitetura do SDR pode ser comparada com os três primeiros estágios do rádio superheterodino, citado no sub-item 4.1. O sinal de rádio frequência é recebido pela antena e passa por um filtro e um amplificador, que trabalham somente nas frequências de interesse, ou seja, no range de frequência sintonizado naquele momento. Onde após filtrado e amplificado, o sinal alimenta um misturador juntamente com uma frequência de um oscilador local com o objetivo de deslocar o sinal até uma frequência intermediária. Processo similar a técnica utilizada no rádio superheterodino. O que diferencia um sistema do outro, é a tecnologia empregada nos filtros e amplificadores e a forma com que a sintonização é feita. No rádio receptor superheterodino a sintonização é elaborada de forma mecânica, através de um knob ligado ao filtro que realiza a seleção do sinal de entrada. Já o sistema de controle da sintonização na arquitetura do SDR é feito de

outra maneira. Onde o oscilador local é um VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) que por sua vez é programável e controlado pelo demodulador, através de uma interface I2C (*Inter-Integrated circuit*), onde enfim é realizada a sintonização do sinal de entrada. Assim como demonstrado na Figura 41 e na Figura 42 é possível ver o circuito integrado R820T.

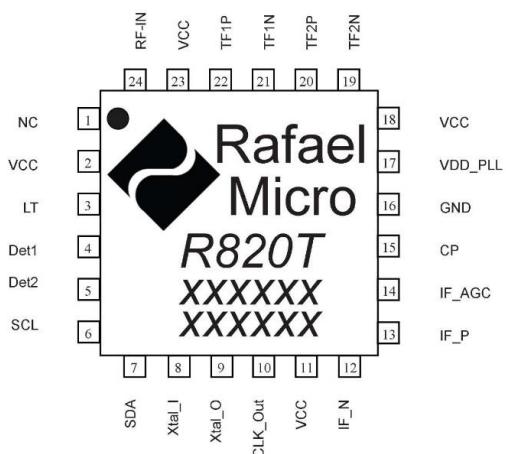


Figura 42: Circuito Integrado R820T.

Fonte: RTL-SDR. www.radioaficion.com. 02/09/2019, 21:34 Horas.

4.2.2 Teorema da Amostragem.

A amostragem é uma técnica utilizada para representar um sinal contínuo, por exemplo um sinal analógico de uma transmissão em rádio frequência, em um conjunto discreto de números. Estes números que podem ser denominados amostras, são o valor do sinal no instante da amostragem, ou seja, no momento em que a amostra foi realizada. O teorema da amostragem também é conhecido como teorema de Nyquist- Shannon, pois Harry Nyquist e Claude Shannon foram dois estudiosos que utilizaram de seus esforços para contribuir com conceitos importantes para teorema da amostragem.

É possível classificar a amostragem como sendo de topo plano, natural ou instantânea. O objeto do nosso estudo nesta seção serão os conceitos básicos da amostragem instantânea ou também conhecida como amostragem ideal.

Na amostragem instantânea podemos imaginar um sinal contínuo genérico $X_c(t)$ sendo multiplicado por uma série de impulsos instantâneos $X_s(t)$ que se repetem no período T . Este trem de impulsos é descrito pela Equação 1 e são chamados de impulsos de Dirac que por definição são impulsos unitários e recebem o valor do sinal contínuo no instante da amostragem, ou seja, a multiplicação do sinal contínuo pelo impulso gera um trem de impulsos com amplitudes diferentes e que respeitam a amplitude do sinal contínuo no instante da amostragem. Assim como descreve a Equação 2. O sinal contínuo e o resultado da multiplicação pelo trem de impulsos podem ser vistos na Figura 43.

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT). \quad (1)$$

$$x_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_c(nT) \delta(t - nT) \quad (2)$$

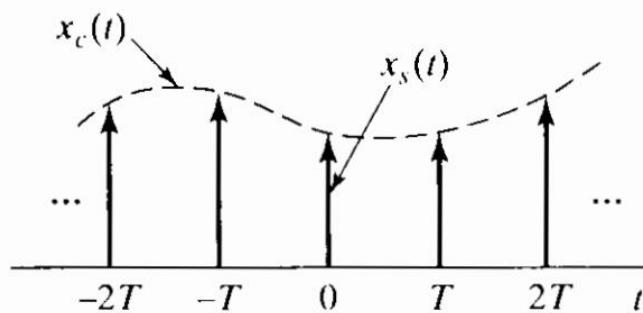


Figura 43: Amostragem.

Fonte: BUCK, Jhon R.; OPPENHEIM, Allan V. e SCHAFER, Ronald W. 1998.

A abordagem feita anteriormente foi baseada em uma análise no domínio do tempo. Entretanto, para observar com maior clareza os efeitos gerados pela alteração de parâmetros na amostragem, como por exemplo o período entre os impulsos, é interessante analisar o sinal no domínio da frequência. Para tal análise deve-se ter conhecimento de dois requisitos fundamentais para o estudo da teoria da amostragem, são eles:

- A amostragem é uniforme, sendo assim o período entre amostras deve ser constante.
- A transformada de Fourier no sinal continuo deve ser zero para todo valor acima de uma frequência máxima. Sendo um sinal de banda limitada.

Obtendo a transformada de Fourier de um sinal continuo genérico de banda limitada e do trem de impulsos descrito na Equação 3, chegaremos nos espectros dos sinais que estão demostrados na Figura 44 (a) e (b), respectivamente. Onde Ω representa a frequência angular e Ω_s é a frequência de amostragem que é igual a $2\pi/T$.

$$S(j\Omega) = \frac{2\pi}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(\Omega - k\Omega_s). \quad (3)$$

Para obter o resultado da multiplicação entre o sinal continuo e o trem de impulsos no domínio da frequência, será necessário utilizar uma propriedade da transformada de Fourier denominada convolução. A convolução mostrada na Equação 4 é dual ao produto no domínio do tempo. Assim, utilizando esta propriedade chega-se na Figura 44(c) que representa o espectro do sinal amostrado.

$$X_s(j\Omega) = \frac{1}{2\pi} X_c(j\Omega) * S(j\Omega), \quad (4)$$

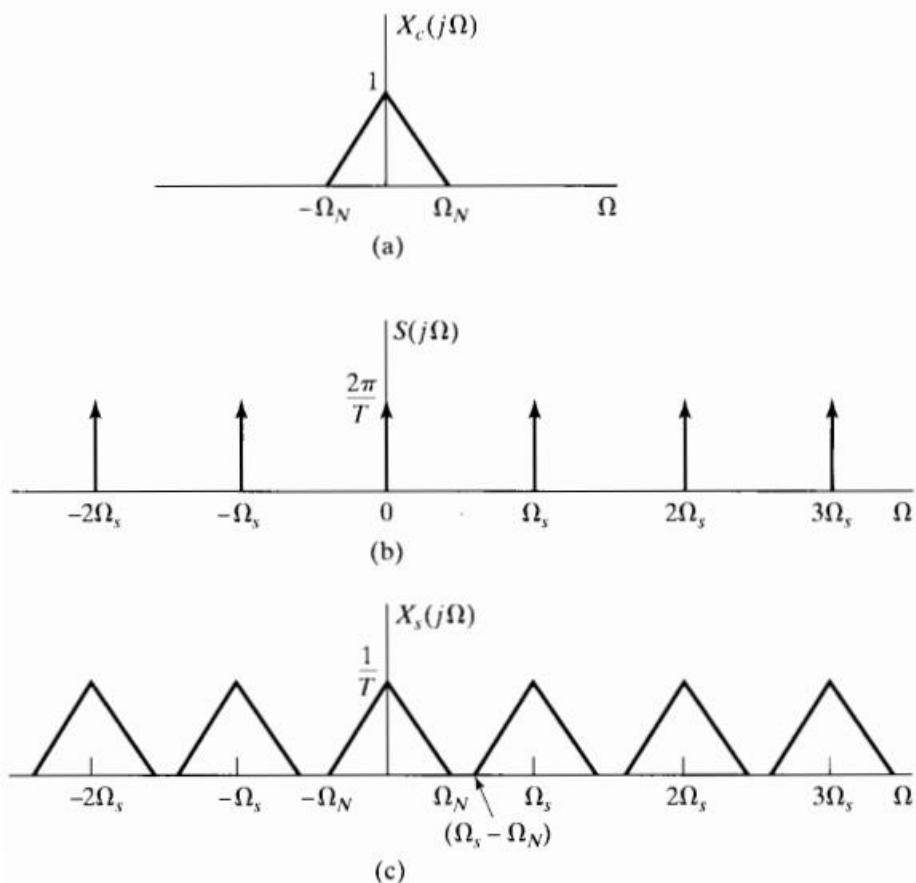


Figura 44: Processo de Amostragem.

Fonte: BUCK, Jhon R.; OPPENHEIM, Allan V. e SCHAFER, Ronald W. 1998.

O espectro do sinal amostrado consiste em uma repetição periódica do espectro do sinal contínuo $X(j\Omega)$ como indica o princípio da superposição. E a repetição destes impulsos são descoladas a partir de múltiplos inteiros da frequência de amostragem Ω_s . Assim se as réplicas de $X(j\Omega)$ não se sobreponem o sinal pode ser recuperado com um filtro ideal. Portanto, para que isso seja possível o teorema da amostragem define que a frequência de amostragem deve ser pelo menos duas vezes maior que a maior frequência Ω_N do sinal amostrado. Conceito que também é conhecido como frequência de Nyquist, conforme ilustra a Equação 5.

$$\Omega_s - \Omega_N > \Omega_N \text{ ou } \Omega_s > 2\Omega_N \quad (5)$$

4.2.2.1 Efeito de Aliasing.

O efeito de aliasing acontece quando o teorema da amostragem não é respeitado na amostragem de um sinal, ou seja, a frequência de amostragem é menor que duas vezes a maior frequência do sinal amostrado, $\Omega_s < 2\Omega_N$. Este fenômeno pode ser visto através de espectro mostrado na Figura 45.

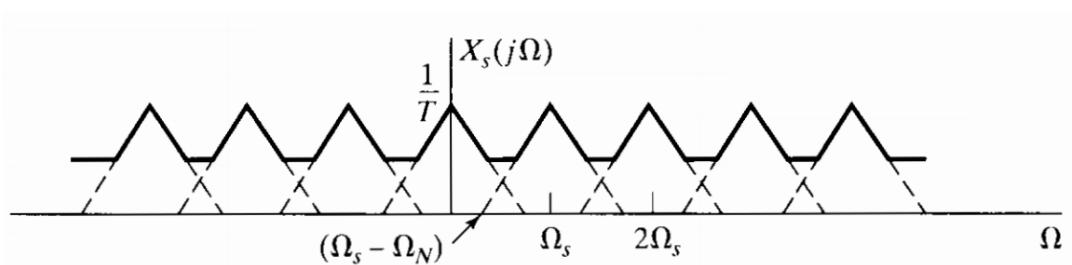


Figura 45: Efeito de Aliasing.

Fonte: BUCK, Jhon R.; OPPENHEIM, Allan V. e SCHAFER, Ronald W. 1998.

Quando este efeito ocorre não é possível recuperar o sinal novamente por meio de amostragem. Assim a informação é perdida.

Para evitar esse efeito pode-se utilizar dois métodos práticos:

- Aumentar a taxa de amostragem para que esta seja maior que a frequência de Nyquist.
- Utilizar um filtro passa-baixa para anti-aliasing antes da amostragem a fim de eliminar frequências que não são essências a mensagem.

Na Figura 41 é possível ver um filtro anti-aliasing antes do conversor A/D, onde o mesmo tem por objetivo restringir a banda de frequências a apenas as frequências desejadas para que não ocorra o fenômeno do aliasing.

4.2.2.2 Conversor A/D.

Um conversor analógico-digital é um dispositivo responsável por converter um sinal analógico em um sinal digital descrito por um valor binário. De forma resumida, é possível descrever o funcionamento do conversor A/D através de três blocos. Assim como é mostrado na Figura 46.

Inicialmente o sinal analógico $X_a(t)$, caracterizado por ser continuo e possuir infinitos valores no tempo, é amostrado e passa por uma conversão C/D (continuo para discreto) gerando amostras periódicas $X[n]$, assim como foi descrito anteriormente no sub-item 4.2.2. E após essa etapa as amostras são quantizadas $\hat{X}[n]$ e codificadas para formarem os valores binários $\hat{X}_B[n]$.

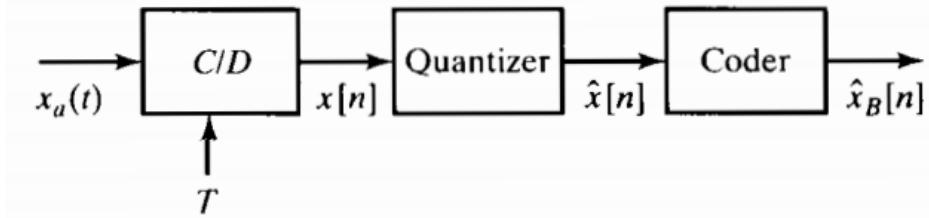


Figura 46: Blocos de um Conversor A/D.

Fonte: BUCK, Jhon R.; OPPENHEIM, Allan V. e SCHAFER, Ronald W. 1998.

A etapa de quantização é responsável por restringir o valor amostrado a uma configuração níveis finitos e pré-determinados. A quantidade níveis é definida pela resolução do conversor A/D e geralmente em potência de dois, por exemplo “ 2^B ” no qual B é o número de bits. Deste modo cada combinação binária representa um nível diferente o que define também o estágio de codificação do sinal.

Na Figura 47 observando os valores da coluna “*Two’s complement code*” pode-se ver um quantizador de 8 níveis que é adequado para sinais positivos e negativos. É

possível ver que os níveis são espaçados uniformemente por um valor Δ (Delta) e quando algum valor a ser quantificado está entre dois níveis, o valor é aproximado para o nível mais próximo. A distância entre níveis Δ é definida pela Equação 6 que é resultado do quociente de X_m definido como nível de fundo de escala por 2^B que é a quantidade de níveis.

$$\Delta = \frac{X_m}{2^B}. \quad (6)$$

Desta forma a cada período de amostragem o sinal é quantizado e codificado para um valor binário que é posto na saída do conversor A/D.

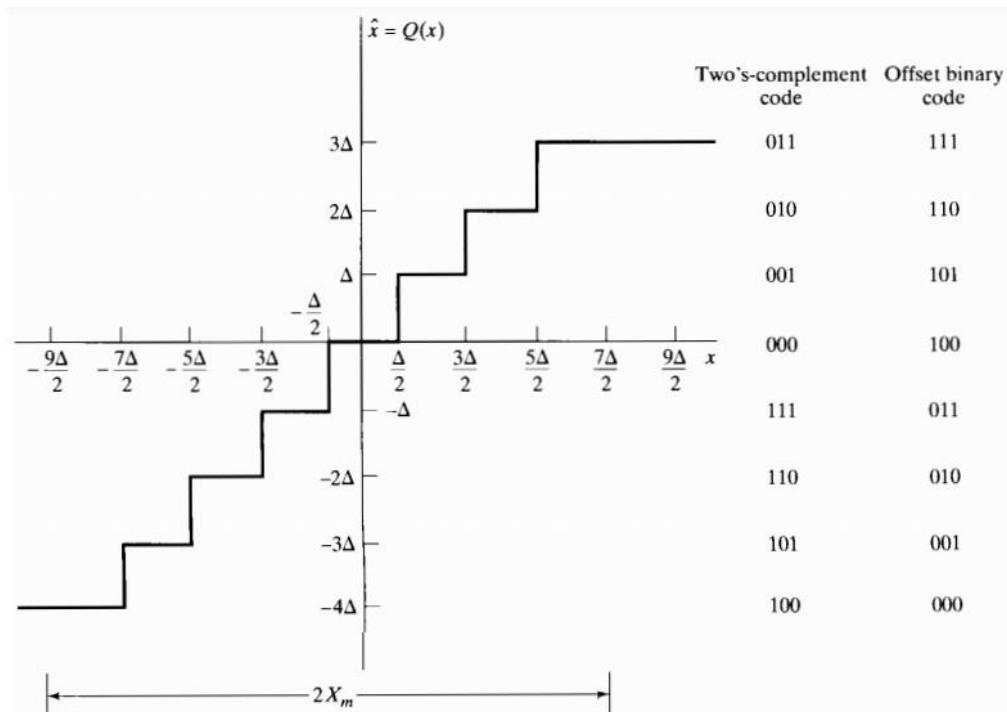


Figura 47: Quantizador.

Fonte: BUCK, Jhon R.; OPPENHEIM, Allan V. e SCHAFER, Ronald W. 1998.

4.2.3 Demodulador – RTL2832U.

O circuito integrado RTL2832U da Realtek é um demodulador COFDM (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*) que foi inicialmente utilizado em dispositivos receptores de sinais de televisão digital DVB-T. O chip foi desenvolvido originalmente para gerar em sua saída um sinal com formato MPEG2-TS, utilizado nas televisões com recepção de sinais digitais. Entretanto, o circuito possui um modo de teste que ao invés de gerar o formato MPEG2-TS, permite desviar a sua saída de 8 bits de amostras de dados IQ da banda básica diretamente para saída USB do dispositivo, possibilitando que a demodulação do sinal possa ser feita por software. O circuito integrado possui características como:

- Interface USB 2.0.
- Suporta Múltiplas frequências intermediárias.
- Rádio Suporte (FM/DAB/DAB+)
- Conversor A/D de 8 bits (Não assinalado)
- Clock de 28.8 MHz

O circuito integrado RTL2835U é empregado no chip RTL-SDR e realiza as funções descritas na Figura 9. Funções como a conversão analógico-digital a uma taxa de 28.8 MHz, a demodulação em quadratura a fim de transladar o sinal para banda básica e executa a decimação do sinal para que sejam enviadas apenas a quantidade necessária de amostras, respeitando o teorema da amostragem. Sendo o DDC (Digital Down Converter) o principal responsável por realizar o deslocamento e a decimação do sinal para a banda básica, assim como é mostrado na Figura 48.

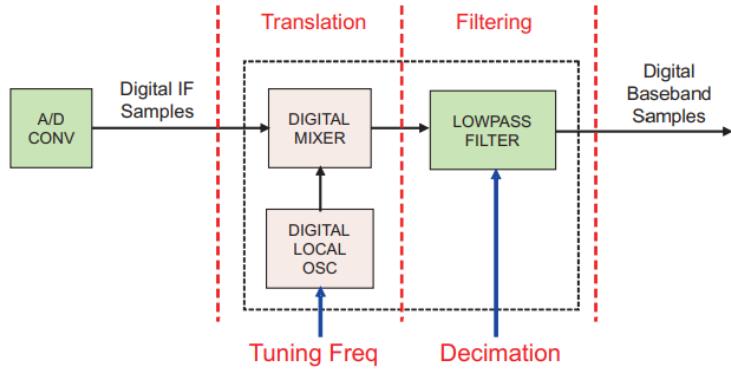


Figura 48: Digital Down Converter.

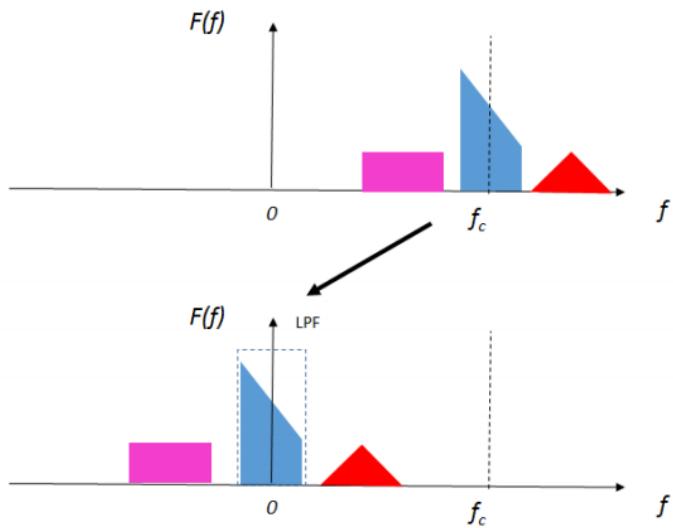
Fonte: HOSKING, Rodger H. 2011.

4.2.3.1 Digital Down Converter e Decimação.

O DDC translada o sinal amostrado do conversor A/D de frequência intermediária, para um sinal de banda básica complexo centrado na frequência de zero hertz. Este processo é baseado na propriedade de deslocamento da frequência, na qual descreve que se um sinal arbitrário for multiplicado por uma exponencial complexa, assim como descrita na Equação 7, o espectro de frequência do sinal será deslocado F_c hertz em direção a frequência de zero hertz, assim como é mostrado na Figura 49. A propriedade de deslocamento é definida via transformada de Fourier.

$$e^{-i2\pi f_c t} = \cos(2\pi f_c t) - i \cdot \sin(2\pi f_c t) \quad (7)$$

É possível ver na Figura 48 o sinal originado do conversor A/D sendo multiplicado por um cosseno e por um seno. Este processo é a translação do sinal para a frequência de zero hertz. Produzindo um sinal I em fase e um sinal Q em quadratura que definem o sinal complexo que é mostrado na Figura 49. Esse sinal agora centrado em zero hertz são amostras em fase e em quadratura que possuem todas as informações contidas na frequência intermediária.



$$\text{Frequency Translation: } F(f - f_c) = \mathcal{F}\{s(t) e^{-i2\pi f_c t}\}.$$

Figura 49: Translação do Sinal para Frequência Zero Hertz.

Fonte: SEREBRYANSKIY, Valeriy; STEIN, Anatoli; TARATORIN, Alexander e VITAS, Lauri. 2019.

Antes de ser enviado para o processamento, o sinal de amostras IQ passa por um filtro passa-baixa digital que realiza o processo de decimação. No qual a técnica de decimação é manter uma amostra do sinal a cada n amostras como é demonstrado na Figura 50. Este processo deve respeitar o teorema da amostragem a fim de não perder a informação contida no sinal. A finalidade deste procedimento é diminuir a quantidade de dados enviados para o processador de sinais digitais ou terminal responsável por tratar as informações.

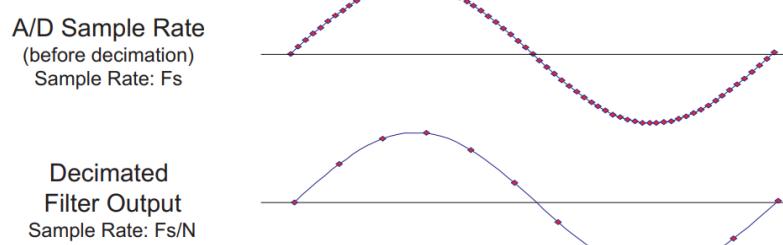


Figura 50: Decimação.

Fonte: HOSKING, Rodger H. 2011.

5. Softwares Utilizados.

Para realizar o tratamento dos sinais condicionados pelo Dongle SDR é necessário a utilização de um software que execute funções como a configuração da frequência de recepção do sinal, o modo de demodulação e outras parametrizações que são importantes para que a aquisição dos sinais de rádio frequência seja realizável. O software mais indicado para essa finalidade é o SDR#, no qual a curva de aprendizagem é de alta velocidade, é de fácil configuração e possui plug-ins dedicados para o Dongle RTL-SDR. O software WxTolmg é indicado para realizar a função de decodificação do sinal proveniente do satélite.

5.1 SDR Sharp.

O SDR Sharp é um software baseado em processamento digital de sinais destinado para aplicação e utilização de dispositivos SDR que é intuitivo, simples de ser configurado e muito empregado em aplicações para SDR atualmente. Desenvolvido em C# e disponibilizado gratuitamente no site da Airspy é amplamente utilizado e conhecido como o software SDR gratuito mais popular compatível com Dongle RTL-SDR.

Através do SDR# é possível configurar parâmetros do Dongle SDR, tais como, frequência de entrada, modo de demodulação, volume de saída de sinais de rádio, plug-ins, início e parada de recepção do sinal. Além de apresentar o espectro de frequência do sinal captado pelo dispositivo Dongle SDR, por meio de um display ajustável, que mostra um range de frequência determinado pelo zoom aplicado. Assim como é demonstrado na Figura 51.

A seguir estão alguns dispositivos com front-end SDR que são suportados pelo SDR#:

- AIRSpy
- SoftRock
- FiFiSDR
- FUNcube Dongle
- FUNcube Dongle Pro+
- I/Q wav files
- SDR-4
- LazyDog's LD-1
- SDR-IQ
- SDR-14
- RTL2832U / RTLSDR

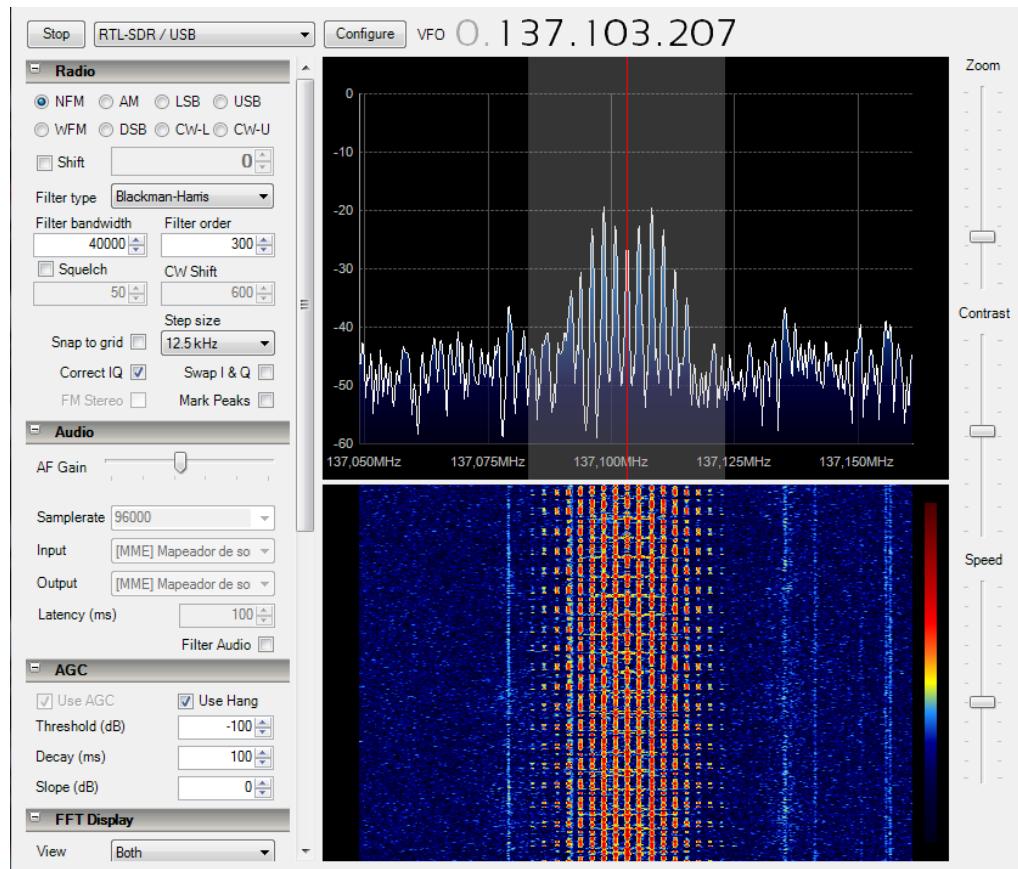


Figura 51: Tela Principal SDR#.

Fonte: QSL. www.admin.qsl.net. 10/09/2019, 21:34 Horas.

5.1.1 Instalação do Software SDR#.

O processo de instalação do SDR# é simples e intuitivo. Basta apenas seguir os passos do processo de instalação e ter um computador que atenda aos requisitos necessários para o correto funcionamento do software. Tendo em vista que o SDR# é muito utilizado em máquinas com sistemas operacionais Microsoft Windows e o procedimento de instalação e configuração neste sistema é bastante simples, o processo de instalação será baseado em computadores que possuem este mesmo sistema operacional, nas versões 10/8/7 de 32/64 bits. É importante salientar que o software não é compatível com as versões Vista, XP e anteriores.

Para instalar o software SDR# no ambiente Windows é necessário seguir o roteiro descrito a seguir:

1. O primeiro passo é obter um Dongle SDR, no caso deste trabalho o RTL-SDR e um computador com o programa Microsoft .NET 4.6 ou mais recente instalado. Máquinas com sistema operacional Windows 10 já possuem o programa instalado por padrão. Já computadores com Windows XP não suportam o programa Microsoft .NET 4.6 e superiores.
2. Para realizar o download do programa SDR#, basta acessar o site da AIRSPY, <http://www.airspy.com>, e acessar a aba downloads. Após realizar o download é fundamental extrair o arquivo sdrsharp-x86.zip para alguma pasta no computador. Vale salientar que o processo de instalação certamente irá falhar se o arquivo de instalação for executado dentro da pasta compactada.
3. O arquivo install-rtlsdr.bat fica localizado dentro da pasta que contém os arquivos extraídos. Desta forma para iniciar o processo de instalação basta dar duplo clique neste arquivo. Nesta etapa será aberta automaticamente, uma

janela do prompt de comando que irá baixar todos os arquivos necessários para que o Dongle RTL-SDR funcione com o software SDR#. Para verificar se o download ocorreu corretamente basta verificar se os arquivos rtlSdr.dll e zadig.exe estão no diretório SDR Sharp e se o arquivo zadig.exe é maior que 5MB. Caso contrário estes arquivos deverão ser baixados manualmente.

4. Ao plugar o Dongle não deve haver nenhum outro software que possua drivers que comuniquem com o Dongle. Caso exista algum software com drivers DVB-T instalado, este dever ser removido antes de plugar o Dongle.
5. Na pasta em que foi extraído o arquivo SDR# com o botão direito do mouse deve-se executar, como administrador, a aplicação Zadig. Esta aplicação é responsável por instalar drivers USB genéricos.

No programa Zadig na aba opções, a função “List All Devices” dever estar selecionada e no caso do Windows 10 a opção “Ignore Hubs or Composite Parents” não deve ser selecionada.

Ainda no software Zadig, deve ser selecionada a opção "**Bulk-In, Interface (Interface 0)**" no campo de seleção. Em alguns computadores irão aparecer as opções RTL2832UHIDIR ou RTL2832U ao invés de "**Bulk-In, Interface**", ambas opções são validas.

6. O driver WinUSB deve ser instalado também. Através do campo “Replace Driver” o driver descrito a esquerda da flecha verde é substituído pelo driver a direita da flecha. Assim como é descrito na Figura 52. Sendo assim, para instalar o driver WinUSB, o mesmo deve estar no campo a direita da flecha. É importante observar que se não houver nenhum item a esquerda da flecha, significa que não há nenhum driver DVB-T instalado ainda.

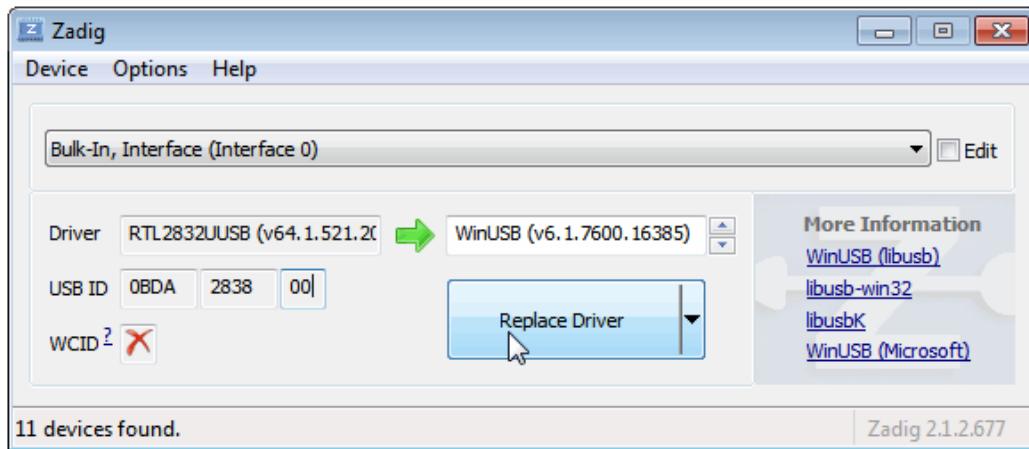


Figura 52: Software Zadig.

Fonte: RTL-SDR. [www.rtl-sdr.com](http://www rtl-sdr com). 14/09/2019, 19:03 Horas.

Ao clicar na seleção “Replace Driver”, possivelmente aparecerá uma notificação do Windows dizendo que a fonte destes arquivos não pode ser verificada. Caso isso ocorra, basta apenas prosseguir com o processo de instalação. Nesta etapa serão instalados os drivers para que o Dongle funcione como rádio definido por software ao invés de receptor de DVB-T.

7. Neste estágio já é possível abrir o software SDR#. Através do arquivo executável SDRSharp.exe é possível iniciar aplicação. Embora, antes de iniciar a recepção dos sinais também é necessário selecionar o dispositivo que será utilizado. Neste caso o Dongle RTL-SDR. Este procedimento é executado através do botão “Source”, onde dever ser selecionada a opção “RTL-SDR(USB)”. Assim como demonstrado na Figura 53.



Figura 53: Seleção do Dispositivo SDR.

Fonte: RTL-SDR. [www.rtl-sdr.com](http://www rtl-sdr com). 15/09/2019, 10:38 Horas.

8. Pressionando o botão “Play” demonstrado na Figura 53 ou “Start” representado na Figura 51, fator que depende da versão do software SDR#, já é possível sintonizar frequências de recepção.

Por fim é necessário ajustar algumas configurações de ganho de RF. Ao iniciar o software pela primeira vez o ganho de rádio frequência é ajustado por padrão em zero decibéis. Sendo assim, não será possível receber o sinal RF. Para aumentar o ganho, basta clicar no botão de configuração, localizado ao lado do botão “play” e representado pela engrenagem e aumentar o ganho RF.

5.1.2 Configurações Para Aquisição de Sinais RF.

Para ajustar corretamente a recepção do sinal é necessário conhecer alguns controles e configurações disponíveis no software SDR#. Sendo assim, após instalar o software é necessário ter ciência de como e onde ajustar configurações básicas para a recepção dos sinais RF, como por exemplo o modo de demodulação

do sinal, ajuste da frequência em que o sinal será demodulado, localizar o espectro de frequência captado e outras funções essenciais a serem configuradas. Com o intuito de localizar e definir as principais funções do software, a seguir serão descritas as configurações e janelas mais relevantes disponíveis no software.

1. O botão de “Play/Stop”, localizado no canto superior esquerdo da tela principal, é responsável por iniciar e parar a recepção do sinal RF.
2. Na aba “Source” é possível escolher o dispositivo SDR que será usado para a recepção do sinal.
3. O ícone de engrenagem é a representação do menu de configurações, onde é possível alterar a taxa de amostragem e o ganho de rádio frequência.
4. A frequência de entrada é a o valor da portadora utilizada na recepção do sinal RF. No software a frequência é definida em quatro seções de três dígitos. Da esquerda para direita representam Giga-Hertz, Mega-Hertz, Kilo-Hertz e Hertz, respectivamente.
5. O volume define o nível de saída dos alto falantes.
6. O espectro de rádio frequência ou FFT display é uma porção da tela inicial, localizada na parte central e superior, que mostra o espectro RF em tempo real na forma de gráfico.
7. A linha vertical vermelha indica em qual frequência o dispositivo está sintonizado.

Na guia de rádio é possível definir o modo de demodulação que será executado na frequência de entrada. A Figura 54 representa a guia de rádio e a Tabela 3 descreve cada tipo de demodulação disponível no software SDR#.

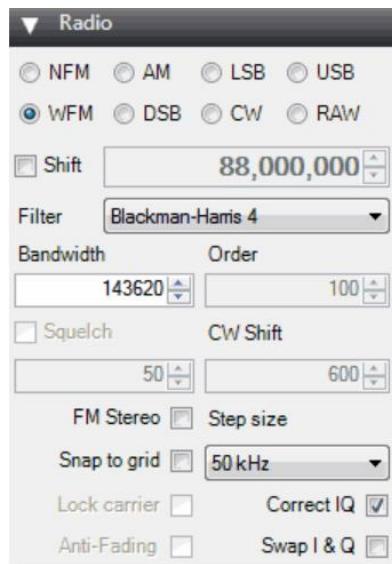


Figura 54: Guia de Rádio SDR#.

Fonte: RTL-SDR. [www.rtl-sdr.com](http://www rtl-sdr com). 15/09/2019, 13:16 Horas.

Mode	Acronym Expansion	Explanation
NFM	Narrowband Frequency Modulation	Commonly used mode used by walkie talkie radios, weather radio and most VHF/UHF digital signals.
WFM	Wideband Frequency Modulation	This is the mode that broadcast FM stations use (e.g. radio music stations).
AM	Amplitude Modulation	Used by broadcast AM stations that are receivable by normal shortwave radios and also used by air band voice frequencies used by aircraft and air traffic control. Some digital signals also use AM.
LSB/USB	Lower Side Band / Upper Sideband	Used in the HF band by ham radio users to transmit voice and data efficiently with small bandwidths.
CW	Continuous Wave	Used for listening to Morse code.
DSB	Double Side Band	Similar use to AM, but requires centered tuning.
RAW	Raw IQ signal	Used for listening or recording RAW IQ data

Tabela 4: Modos de Demodulação.Fonte: RTL-SDR. [www.rtl-sdr.com](http://www rtl-sdr com). 15/09/2019, 13:22 Horas.

5.2 WxToImg.

O WxToImg é um software que realiza funções de decodificação, gravação, edição e visualização de imagens de satélites climáticos. O programa suporta transmissões APT (Automatic Picture Transmission) de satélites de órbita polar e transmissões WEFAX (Weather Facsimile) de satélites geoestacionários que é uma derivação das transmissões APT. Além de gerar imagens em diversos formatos como por exemplo JPEG, PNG, BMP, PBM (PGN/PPM/PNM) ou formato AVI.

6. Antena Quadrifilar Helicoidal.

Para recepção de dados meteorológicos como a da constelação NOAA-N, é necessário, além do aparato eletrônico e de software, uma antena adequadamente dimensionada para este fim em específico, que possua uma grande área de cobertura e que dispense a necessidade de apontar para o satélite no momento da passagem pela região na qual a estação solo se encontra, ou seja, que tenha propriedades omnidirecionais. Devido ao tipo de modulação em RF que será captada pela antena, esta deverá adequar suas dimensões construtivas para banda de VHF e possuir o mesmo tipo de polarização circular de onda plana, a qual, também é da antena de transmissão do sinal a ser recebido.

6.1 Polarização da Onda Plana.

A Rotação de Faraday é considerada no dimensionamento das antenas de transmissão do satélite e recepção no segmento solo, pois com a passagem da onda eletromagnética na atmosfera terrestre a onda plana sofre rotação na direção do eixo de propagação. Para solucionar este problema a polarização da onda plana propagada deverá ser do tipo circular, contornando os efeitos da Rotação de Faraday. De acordo com Balanis (2011), a polarização de uma antena é definida pela polarização das ondas radiadas por ela. A polarização da onda plana varia com a direção das componentes da radiação eletromagnética tendo como origem o centro da antena, logo, diferentes partes do diagrama de radiação pode apresentar diferentes polarizações. A polarização de uma onda é definida pela trajetória que a extremidade do vetor campo elétrico descreve em um ponto fixo no espaço, além do sentido em que ela é traçada observando-se diante da direção de propagação

(HAYT; BUCK, 2013). Um exemplo de representação de polarização de onda plana é ilustrado na Figura 55.

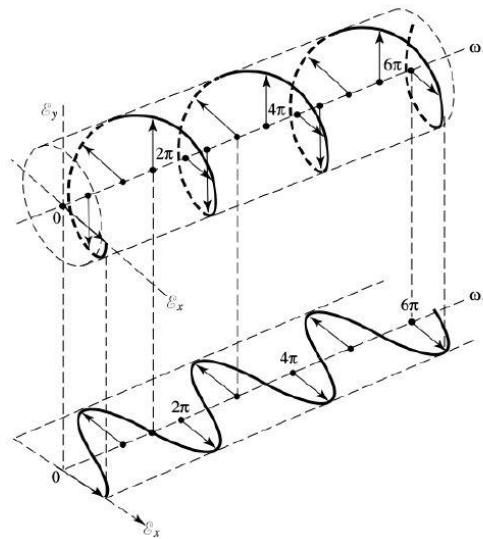


Figura 55: Polarização Circular.

Fonte: BALANIS, Constantine A. 2008.

Ondas eletromagnéticas podem ter polarização linear, circular ou elíptica, sendo as duas primeiras, casos particulares da polarização elíptica (SHAKEEB, 2011). A caracterização do tipo de polarização é feita considerando-se que uma onda plana que se propaga na direção z tem seu campo elétrico representado da seguinte forma:

$$\vec{E}(z,t) = E_x(x,t)\hat{a}_x + E_y(y,t)\hat{a}_y$$

As componentes que se propagam nas direções \hat{a}_x e \hat{a}_y podem ser decompostas em função de suas amplitudes máxima em cada direção, da frequência ω , constante de propagação β e fase ϕ .

$$\vec{E}_x(z,t) = E_x \cos(\omega t + \beta z + \phi_x)$$

$$\vec{E}_y(z,t) = E_y \cos(\omega t + \beta z + \phi_y)$$

A polarização da onda será definida pela diferença entre as fases das componentes vetoriais \hat{a}_x e \hat{a}_y . Para uma onda ser linearmente polarizada considera-se que:

$$\phi_y - \phi_x = n\pi$$

Onde, n é um número inteiro positivo. Já para a polarização circular a magnitude das componentes \hat{a}_x e \hat{a}_y , devem ser iguais e a diferença de fase obrigatoriamente

é um múltiplo ímpar de $\frac{\pi}{2}$. Uma característica da polarização circular é que a

resultante do campo elétrico pode assumir dois sentidos de rotação, à direita ou à esquerda. Se a fase de \hat{a}_y estiver adiantada em relação à fase de \hat{a}_x , a resultante

tem sentido à direita e diz que a onda tem polarização circular à direita (RHCP – *Right Hand Circularly Polarized*). Entretanto, se a fase de \hat{a}_x , estiver adiantada à

\hat{a}_y , a resultante tem sentido à esquerda e diz que a onda é polarizada à esquerda

(LHCP – *Left Hand Circularly Polarized*). Se a onda possuir magnitudes diferentes em \hat{a}_x e \hat{a}_y , então diz que a mesma possui polarização elíptica.

6.2 Tipos de Antenas de Polarização Circular.

Antenas de polarização circular são modelos muito usados para aquisição de imagens de satélites meteorológicos, variando apenas as geometrias

correspondentes à frequência nas quais irão sintonizar. Alguns modelos de antenas de polarização circular são mostrados nas Figuras 56 a 59.

Antena Turnstile

Uma antena mais simples, com dois dipolos de meia onda defasados em 90º. Devido ao seu baixo ganho, muitas vezes se faz necessário adicionar um refletor como mostra a Figura 56.



Figura 56: Antena Turnstile.

**Fonte: SATÉLITES NOAA COMO TRABALHÁ-LOS.
www.arsatc.org/noaa2.html. 08/09/2019, 17:00 Horas.**

A antena DCA (Double Cross Antena)

A antena de “cruz dupla” possui quatro dipolos cruzados defasados em 90º, orientados em seu eixo a 30º como mostra a Figura 57.



Figura 57: Antena Double Cross.

Fonte: SATÉLITES NOAA COMO TRABALHÁ-LOS.
www.arsatc.org/noaa2.html. 08/09/2019, 17:03 Horas.

Antena Quadrifilar Helicoidal (QFH)

A mais utilizada para aplicações de aquisição de imagens no formato APT. Possui um diagrama de radiação muito bom e ganho adequado. Por possuir uma geometria mais elaborada necessita de cuidados com relação a observação de sua resistência mecânica e observar um possível ajuste no casamento de impedância com a linha de transmissão. A seguir, há alguns exemplos de antenas do tipo QFH como é ilustrado nas Figuras 58 e 59.

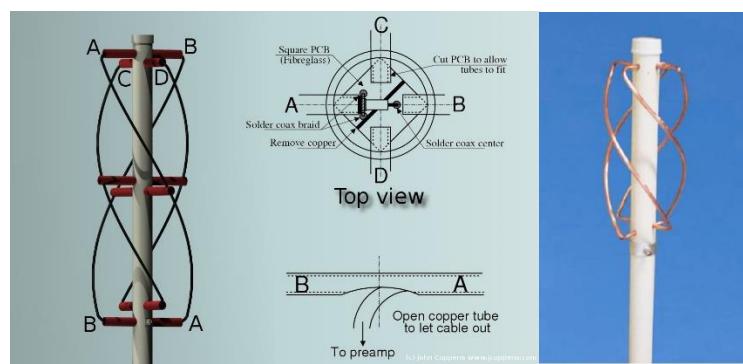


Figura 58: Configuração QFH.

Fonte: SATÉLITES NOAA COMO TRABALHÁ-LOS.
www.arsatc.org/noaa2.html. 08/09/2019, 17:23 Horas.



Figura 59: QFH Satélite SCD-1.

Fonte: INPE. www.inpe.br/scd1/site_scd/scd1/osatelite.htm. 08/09/2019, 18:15 Horas.

6.3 Projeto e Construção.

A antena escolhida para o presente projeto foi a antena quadrifilar helicoidal. Como é demonstrado por Dascal (2015), a QFH possui o melhor desempenho para aquisição de sinais analógicos com relação ao ganho e altas elevações e diagrama de radiação com maior alcance de azimute. Serão destacados os parâmetros fundamentais para sua construção e testados em laboratório, tais como, ganho, impedância de entrada e comprovação das características omnidirecionais por meio dos diagramas de radiação.

Para uma sintonia em frequência central de 137,5 MHz necessária para recepção do sinal transmitido pela constelação NOAA, a antena QFH deve ser construída de acordo com as dimensões especificadas na Figura 60.

L = comprimento de metade de um loop da hélice

L_{ax} = comprimento axial do cilindro

r = raio do cilindro

n = número de voltas de uma hélice

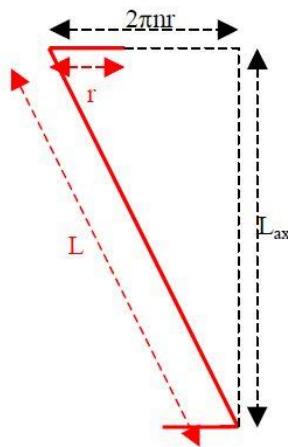


Figura 60: Dimensões das Espiras.

Fonte: HOLLANDER, R.W. 1999.

Segundo o trabalho de R.W. Hollander, ele aplica o fator de alongamento f_a e R

que é a razão do diâmetro da antena e sua altura. Assim, pode-se determinar os parâmetros fundamentais como é mostrado a seguir:

$$L + 2r = \frac{f_a \cdot \lambda}{2}$$

O fator de alongamento f_a é obtido experimentalmente de acordo com a frequência

de ressonância da antena. Hollander recomenda fator f_a de aproximadamente

$$f_a = 1,075.$$

$$L_{ax} = \frac{f_a \lambda}{2 \cdot (\sqrt{(n\pi R)^2 + 1} + R)}$$

$$L = \frac{f_a \lambda}{2} - RL_{ax}$$

$$r = \frac{RL_{ax}}{2}$$

O fator R é a razão do diâmetro da espira com sua altura, e determina o padrão de radiação da antena. Quanto menor R, maior será seu ganho na elevação em detrimento do azimute. Assim, quanto maior for R, o ganho no azimute é maior em relação a elevação. Recomenda-se R = 0,44 para obter um diagrama de radiação homogêneo.

$$n = 0,5$$

$$R = 0,44$$

$$\lambda = \frac{c}{f_0} = 2,18 \text{ m}$$

$$f_a = 1,063$$

Assim, pode-se obter $L_{ax} = 0,700 \text{ m}$, $L = 0,851 \text{ m}$, $r = 0,154 \text{ m}$, para a espira longa.

Para a espira curta basta estabelecer uma altura em 95% de L_{ax} , e calcular as

demais medidas aplicando os mesmos fatores aplicados para a espira longa.

Portanto, $L_{ax} = 0,665 \text{ m}$, $L = 0,808 \text{ m}$, $r = 0,140 \text{ m}$, para a espira curta.

As Figuras 61 e 62 mostram diferentes perspectivas da antena e sua construção básica.

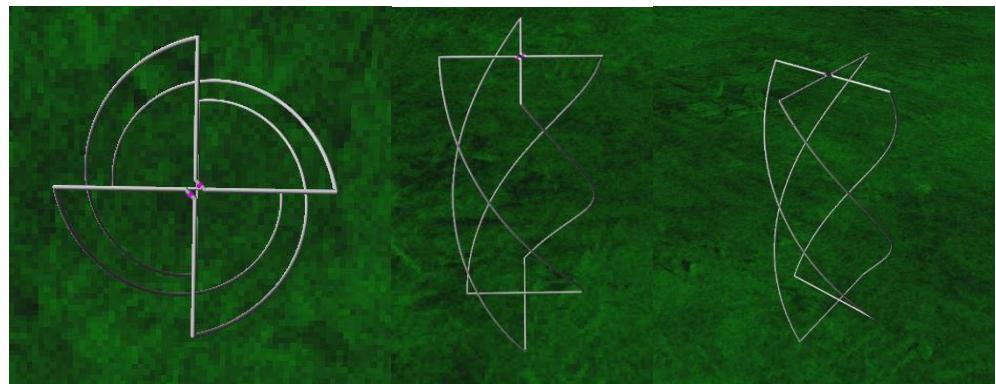


Figura 61: Modelo 3D da Antena QFH.

Fonte: GRUPO TCC.

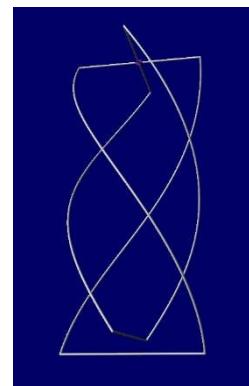


Figura 62: Vista 3D Inferior da Antena QFH.

Fonte: GRUPO TCC.

A Figura 63 mostra a vista superior da antena, com as conexões que deverão estar disponíveis ao cabo coaxial.

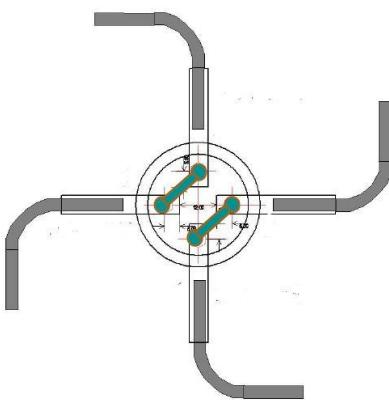


Figura 63: Vista Superior com Conexões.

Fonte: AMSAT. www.amsat-ea.org. 02/09/2019, 13:12 Horas.

O cabo coaxial de saída da antena será dimensionado de acordo com o comprimento de onda de propagação neste meio, assim, a menor distância da antena até a extremidade do cabo onde se encontra o conector para que a impedância da antena coincida com a impedância do conjunto, deverá ser de pelo menos, a metade do comprimento de onda da propagação no cabo para que a impedância normalizada da antena no gráfico de Smith não sofra grandes alterações. As equações a seguir serão aplicadas neste intuito.

$$\text{Impedância do cabo } Z_0 = 50 \Omega$$

$$\text{fator de propagação do cabo } \beta = 0,66$$

$$\text{frequência de propagação } f_0 = 137,5 \text{ MHz}$$

$$\text{velocidade de propagação no cabo } v_b = c \cdot \beta$$

$$\text{comprimento mínimo do cabo } l_c = \frac{2 \cdot v_b}{f_0} = 0,72 \text{ m}$$

6.4 Simulação da Antena QFH.

Ao alimentar o software “4NEC2” com as dimensões construtivas da antena, a simulação da impedância característica, gráfico de Smith, diagrama de radiação e gráfico de coeficientes de onda estacionária são gerados a fim de verificar se as dimensões e comportamento da antena submetida ao espectro de RF desejado, condizem com o esperado no projeto. Assim, pode-se ter uma ideia do que esperar dos resultados em laboratório. Nas Figuras 64 e 65 estão especificados os parâmetros numéricos necessários para a simulação da antena QFH RHCP.

File Cell Rows Selection Options					
Symbols		Geometry	Source/Load	Freq./Ground	Others
Symbols					
Nr	Symbols and equations				comment
1	$raio=0.0025$				raio do fio
2	$HL=.70$				altura da espira maior
3	$HS=0.95*HL$				altura da espira menor
4	$conec=0.01$				espacamento central para os conectores
5	$RL=HL*0.44/2$				raio da espira maior
6	$RS=HS*0.44/2$				raio da espira menor
7	$\delta_{espiras}=HL-HS$				espacamento inferior das espiras
8	$heliceH=HL/0.5$				relação da helicóptero maior com meia volta
9	$heliceS=HS/0.5$				relação da helicóptero menor com meia volta
10	$altura_antena=2$				altura da antena a partir do solo

Figura 64: Modelo para Simulação.

Fonte: GRUPO TCC, Software “4NEC2”.

File Cell Rows Selection Options										
Symbols			Geometry		Source/Load		Freq./Ground		Others	
Geometry (Scaling=Meters)										
Nr	Type	Tag	Segs	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Radius
1	Wire	1	8	conec	0	HL	RL	0	HL	raio
2	Wire	2	8	-RL	0	HL	-conec	0	HL	raio
3	Wire	3	8	0	RS	HL	0	conec	HL	raio
4	Wire	4	8	0	-conec	HL	0	-RS	HL	raio
5	Wire	5	8	0	-RS	delta_espiras	0	RS	delta_espiras	raio
6	Wire	6	8	-RL	0	0	RL	0	0	raio
7	Wire	7	1	-conec	0	HL	0	conec	HL	raio
8	Wire	8	1	conec	0	HL	0	-conec	HL	raio
9	Helix	9	50	-heliceH	HL	RL	RL	RL	RL	raio
10	Copy/move	9	1	0	0	180	0	0	0	9
11	Helix	10	50	heliceS	-HS	RS	RS	RS	RS	raio
12	Copy/move	10	0	0	0	0	0	0	0	10
13	Helix	11	50	heliceS	-HS	-RS	-RS	-RS	-RS	raio
14	Copy/move	11	0	0	0	0	0	0	0	delta_espiras 11
15	Copy/move	0	0	0	0	0	0	0	0	altura_antena

Figura 65: Modelo Geométrico para Simulação.

Fonte: GRUPO TCC, Software “4NEC2”.

Para uma faixa de frequência de 133 MHz até 139MHz, acoplada com gerador com impedância interna de 50Ω , submetida a ensaio de campo distante. Com estas configurações, o programa “4NEC2” forneceu os resultados a seguir:

Diagramas de radiação:

O diagrama de radiação foi composto para uma faixa de 133 MHz até 139 MHz com resolução de 1° de elevação. A Figura 66 mostra o diagrama de radiação simulado.

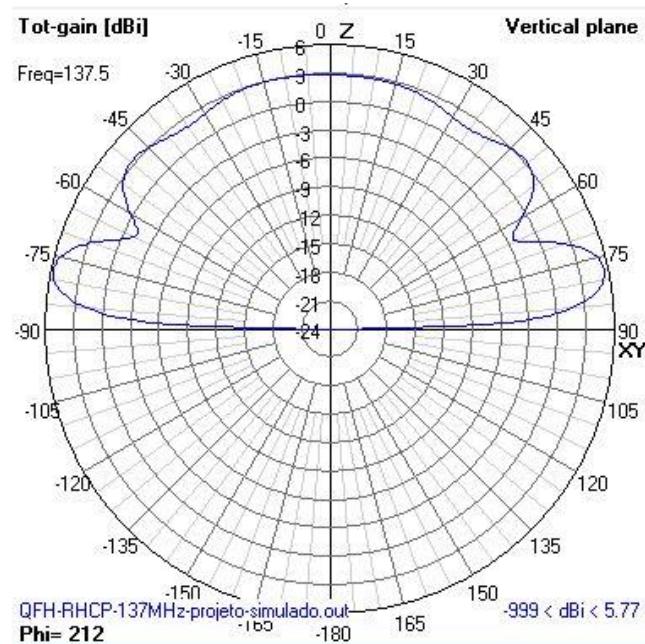


Figura 66: Diagrama de Radiação Simulado.

Fonte: GRUPO TCC, Software “4NEC2”.

Diagrama de Smith:

O diagrama representado na Figura 67 identifica a impedância normalizada da antena de acordo com as faixas de frequências selecionadas no intervalo de 133 MHz até 139 MHz com resolução de 0,1 MHz.

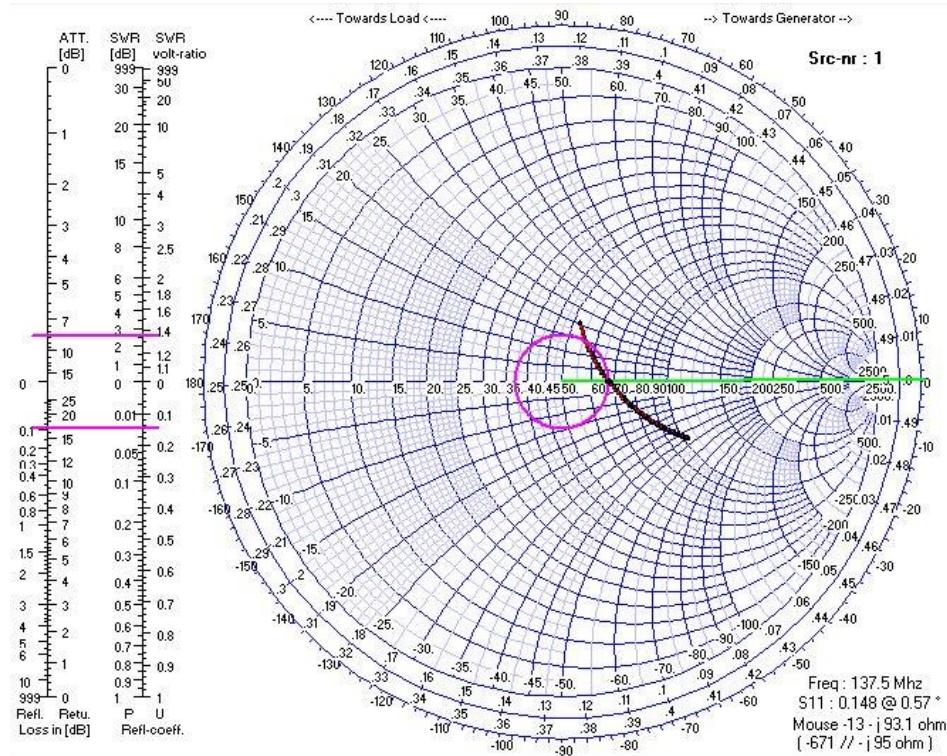


Figura 67: Carta de Smith Simulada.

Fonte: GRUPO TCC, Software “4NEC2”.

Gráfico de Coeficiente de Onda Estacionária e Coeficiente de Reflexão:

Os valores ideais para o COE e Γ_l , seriam para a mínima variação de acordo com o intervalo de frequência desejado em torno da central de 137,5 MHz, conforme ilustrado na Figura 68.

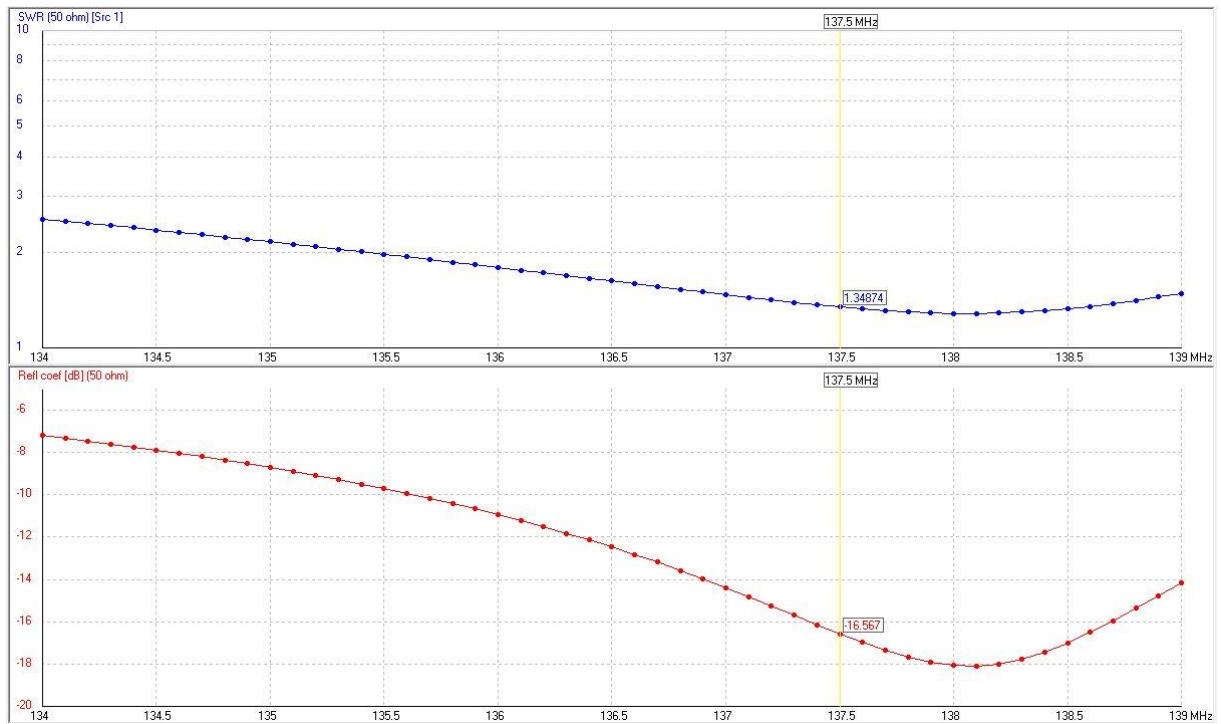


Figura 68: Gráfico de COE.

Fonte: GRUPO TCC, Software “4NEC2”.

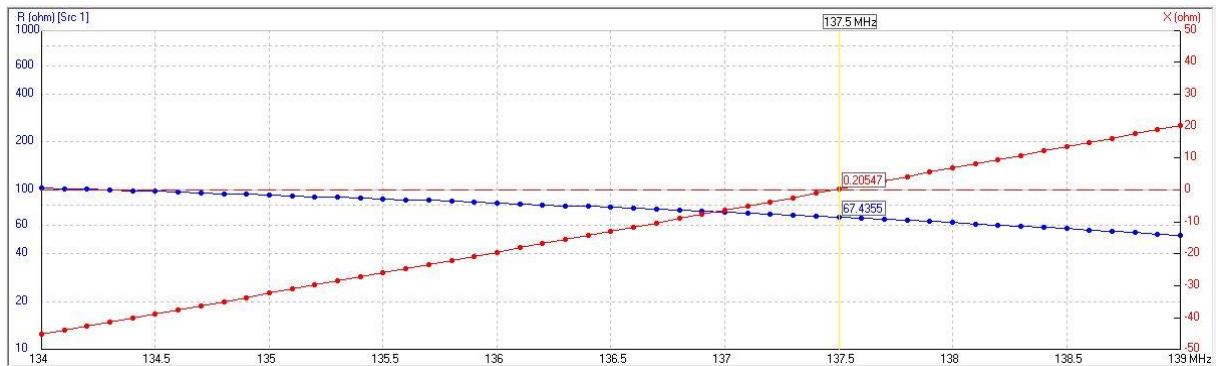


Figura 69: Gráfico de Impedância.

Fonte: GRUPO TCC, Software “4NEC2”.

Como indicado no gráfico da Figura 69, ainda que a reatância da linha esteja próximo de zero, o casamento de impedância da antena com a linha do cabo coaxial de 50Ω deve ser colocado como uma alternativa a ser considerada caso os

dados a serem aquisitados não correspondam ao esperado, já que a sua parte real apresenta valor superior à impedância da linha.

6.5 Testes em Laboratório.

Com a antena confeccionada, os testes de impedância característica e ganho foram feitos no Laboratório de Metrologia Elétrica do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, com auxílio do Pesquisador Fabrício Torres.

Os testes foram realizados em duas etapas. Primeiro, foi realizado o teste de atenuação no cabo coaxial separado da antena. Na segunda etapa, o cabo foi acoplado a antena e verificado a atenuação, perda de retorno e impedância do conjunto.

Com o Vector Network Analyzer, mostrado na Figura 70 foi medido 0,7 dB de atenuação no cabo coaxial RG58 de 3,1m de comprimento.

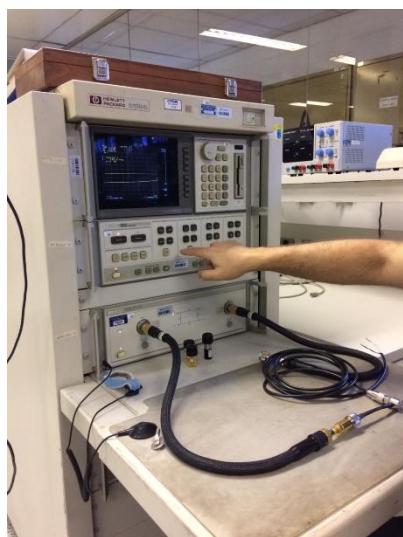


Figura 70: Vector Network Analyzer.

Fonte: GRUPO TCC.

Acoplando o cabo a antena, e com o VNA configurado para gerar um sinal na faixa de 130 MHz até 140 MHz, a Figura 71 apresenta o diagrama de Smith do conjunto cabo-antena, fornecendo sua impedância e perda de retorno.



Figura 71: Diagrama de Smith do Conjunto Cabo-Antena.

Fonte: GRUPO TCC.

Nele, com a frequência posicionada em 137,5 MHz, apresentou perda de retorno de -4,5 dB e coeficiente de onda estacionária em aproximadamente 4. A impedância do conjunto apresentou característica capacitiva no valor de $Z = (43 - j68) \Omega$.

Para perda de retorno de -4,5 dB, a porcentagem equivalente da potência refletida equivale a aproximadamente 36%, o que significa 64% de eficiência do conjunto.

Recomenda-se, para uma boa antena o mínimo de -10 dB de perda de retorno, ou um COE com no máximo 2:1, assim, pode-se ter uma eficiência de, no mínimo, 90% da potência irradiada.

Levando em consideração de que a antena aqui estudada foi confeccionada de maneira artesanal e com materiais improvisados, pode-se considerar que seu

desempenho frente aos resultados obtidos em laboratório e nas aquisição de imagens, como razoável. Os dados simulados da antena via software permitiram uma maior facilidade na obtenção das dimensões construtivas para que ela pudesse ser sintonizada na frequência de trabalho. No entanto, variáveis como material usado, ambiente de testes, relevo e desbalanceamento do cabo de acoplamento colaboraram para atenuar a eficiência do protótipo idealizado na ferramenta computacional. A utilização de um balun, a fim de diminuir o COE e aumentar sua eficiência, pode garantir maior confiabilidade nos resultados onde ela for aplicada.

7. Resultados Experimentais.

Após a completa confecção da antena e sua integração com o Dongle SDR e demais softwares necessários para a estação solo de aquisição de dados, iniciou-se a coleta de informações sobre as passagens dos satélites sob o local onde foi estabelecida estação. Um exemplo de estação solo para testes é ilustrado na Figura 72.

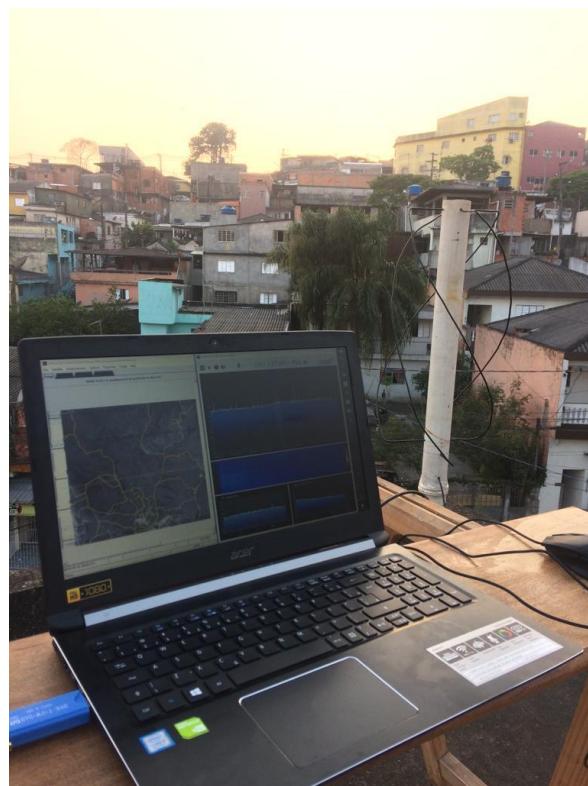


Figura 72: Estação Solo de Testes.

Fonte: GRUPO TCC.

Inserindo as coordenadas geográficas no WXtoIMG, conforme mostram as Figuras 73 e 74, ele fornece a lista de passagens conforme localização e grau de elevação desejada.

Satellite passes for sao paulo, brasil (23°36'S 46°47'W) while above 13.0 degrees with a maximum elevation (MEL) over 14.0 degrees from 2019-09-15 17:31:44 Hora oficial do Brasil (2019-09-15 20:31:44 UTC).								
2019-09-15 UTC								
Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq	
NOAA 19	N	49W	53W	09-15 17:54:22	20:54:22	9:32	137.9125	
NOAA 15	N	53W	52W	09-15 19:40:37	22:40:37	9:05	137.6200	
NOAA 18	N	15E	29W	09-15 19:59:40	22:59:40	3:50	137.1000	
2019-09-16 UTC								
Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq	
NOAA 18	N	45W	54W	09-15 21:37:40	00:37:40	9:12	137.1000	
NOAA 17	S	24E	34W	09-16 01:48:46	04:48:46	6:56	137.5000	
NOAA 17	S	28W	58W	09-16 03:27:58	06:27:58	7:41	137.5000	
NOAA 19	S	65W	50W	09-16 05:10:58	08:10:58	9:49	137.9125	
NOAA 15	S	86W	47W	09-16 06:50:47	09:50:47	9:36	137.6200	
NOAA 18	S	60W	51W	09-16 08:54:12	11:54:12	9:45	137.1000	
NOAA 17	N	20E	33W	09-16 14:13:33	17:13:33	5:59	137.5000	
NOAA 17	N	32W	57W	09-16 15:52:17	18:52:17	7:56	137.5000	
NOAA 19	N	66W	50W	09-16 17:42:34	20:42:34	9:53	137.9125	
NOAA 15	N	82E	46W	09-16 19:15:26	22:15:26	9:26	137.6200	
2019-09-17 UTC								
Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq	

Figura 73: Lista de Passagem.**Fonte: GRUPO TCC.**

WXtoImg: Ground Station Location								
City:	sao paulo							
Country:	brasil							
<input type="button" value="Lookup Lat/Lon"/>								
Enter City and Country and click Lookup Lat/Lon or enter latitude and longitude in degrees and fractions of degrees. North and east should be entered as positive numbers, south and west as negative numbers (example: enter 45 degrees 30 minutes west as -45.500).								
Latitude:	-23.6							
Longitude:	-46.8							
Altitude (meters):	600							
<input type="checkbox"/> Use GPS on	COM2:		at		4800	baud		
<input type="checkbox"/> Set PC clock from GPS (if use GPS enabled)								
<input type="button" value="OK"/>				<input type="button" value="Cancel"/>				

Figura 74: Localização da Estação Solo.**Fonte: GRUPO TCC.**

No momento da passagem, e com todo equipamento a postos, o WXtoIMG começa a decodificar a imagem através da recepção do SDR#. Um espectro como a da Figura 75 deve surgir no programa.

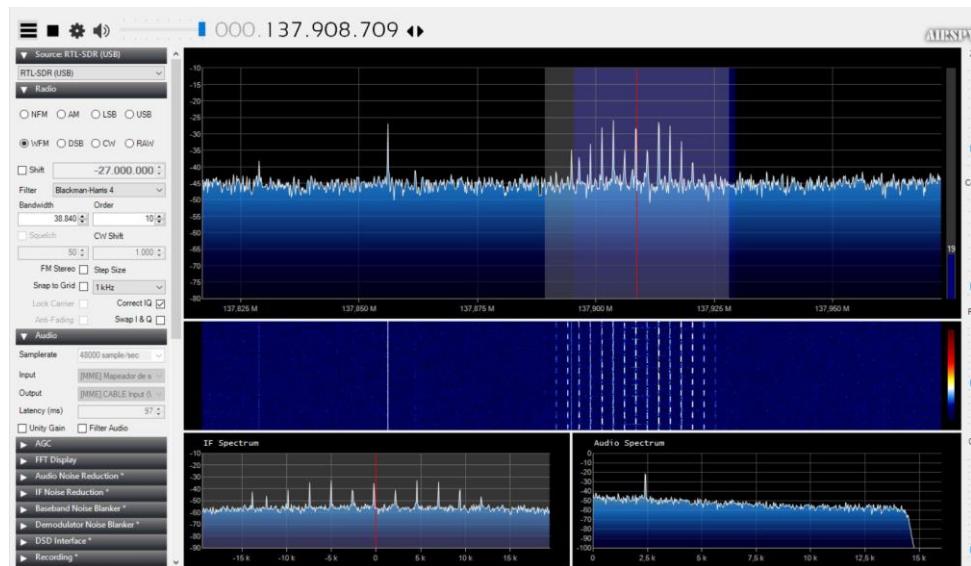


Figura 75: Espectro no SDR#.

Fonte: GRUPO TCC.

Ao final da passagem do satélite, o WXtoIMG decodifica a informação automaticamente, gerando uma imagem semelhante à Figura 76.

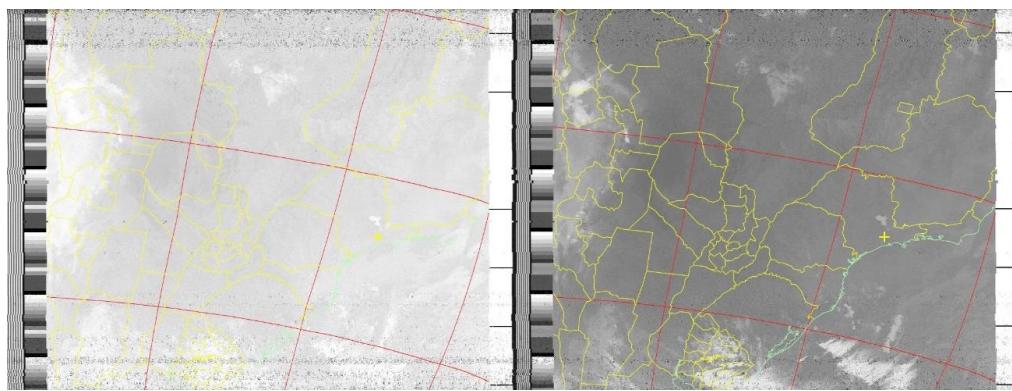


Figura 76: Imagens dos Canais APT.

Fonte: GRUPO TCC, Software WxToIMG.

Na aba “Enhancement” do WXtoIMG, é possível mudar a decodificação da imagem dos dois canais do APT a fim de poder compor uma única imagem com informações diferentes, como imagem de luz visível, infravermelho, de temperatura superficial ou de precipitação. As imagens das Figura 77 foram coletadas do NOAA-18, dia 15 de Setembro de 2019, às 21h30.

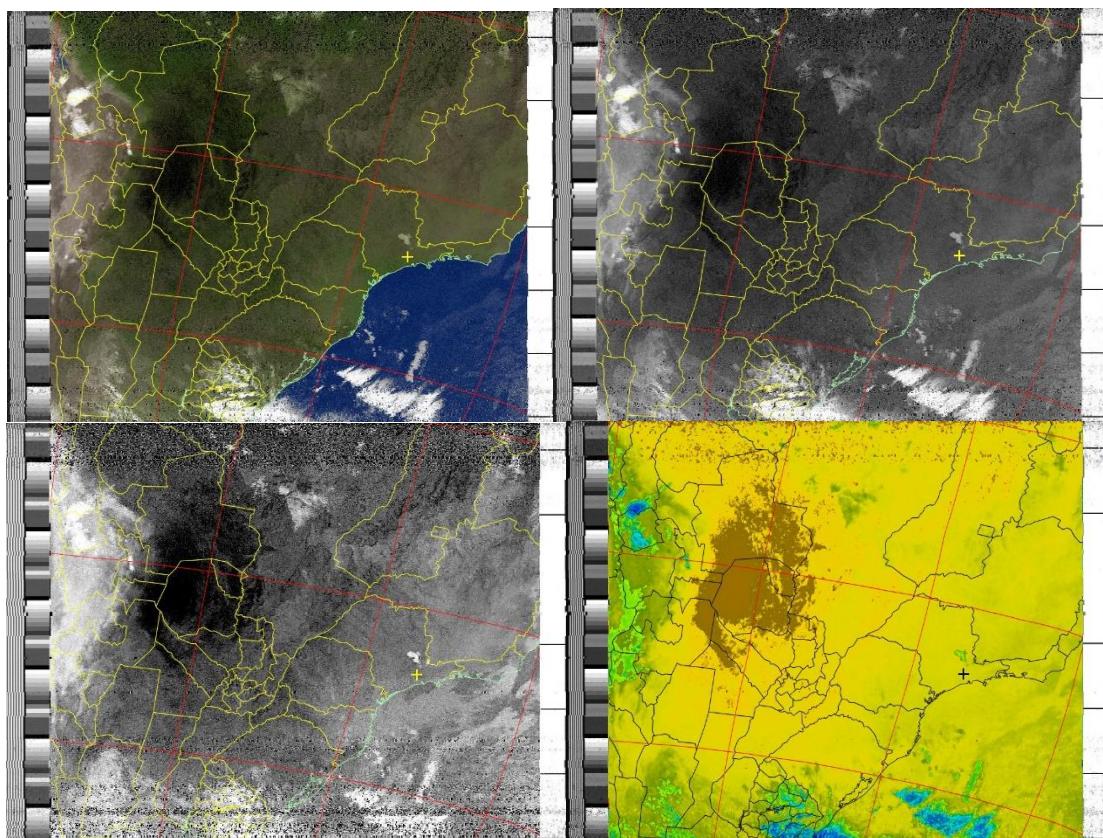


Figura 77: Imagem Composta.

Fonte: GRUPO TCC.

As imagens das Figuras 78 e 79 foram coletadas do NOAA-19, dia 17 de Setembro de 2019, às 4h58.

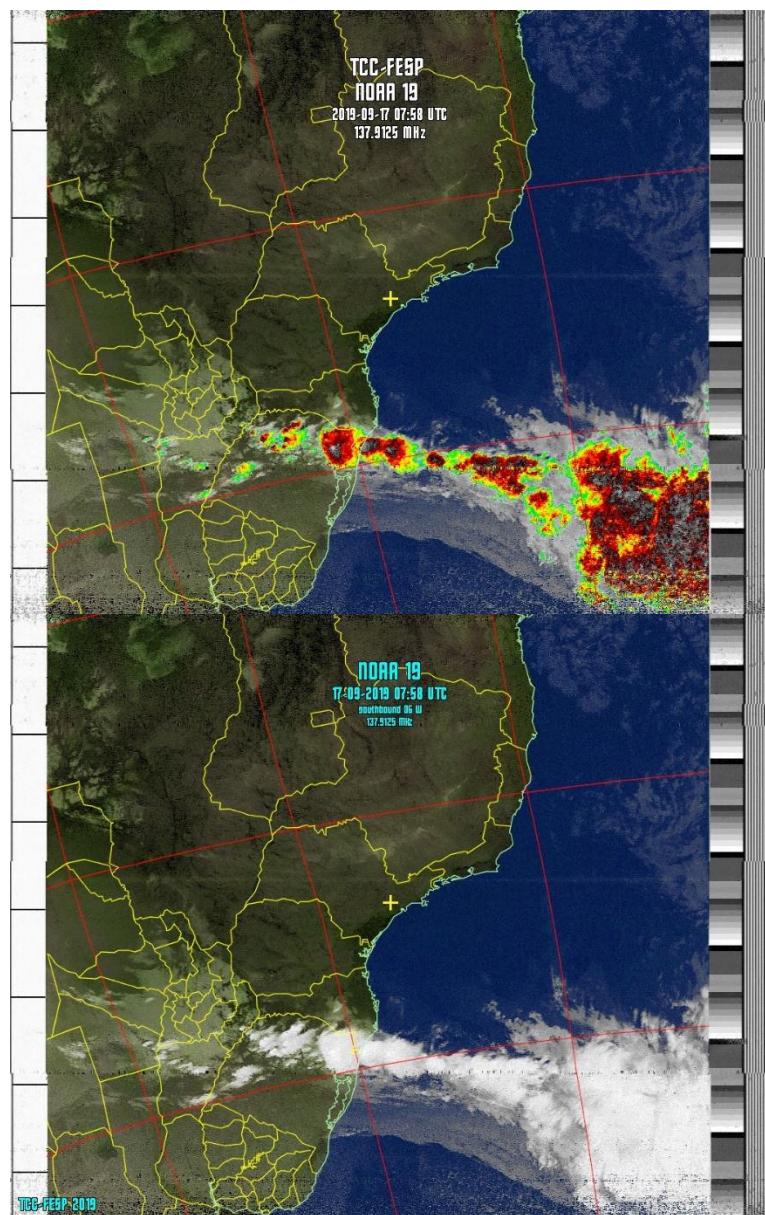


Figura 78: Agrupamento de Imagem 1.

Fonte: GRUPO TCC.

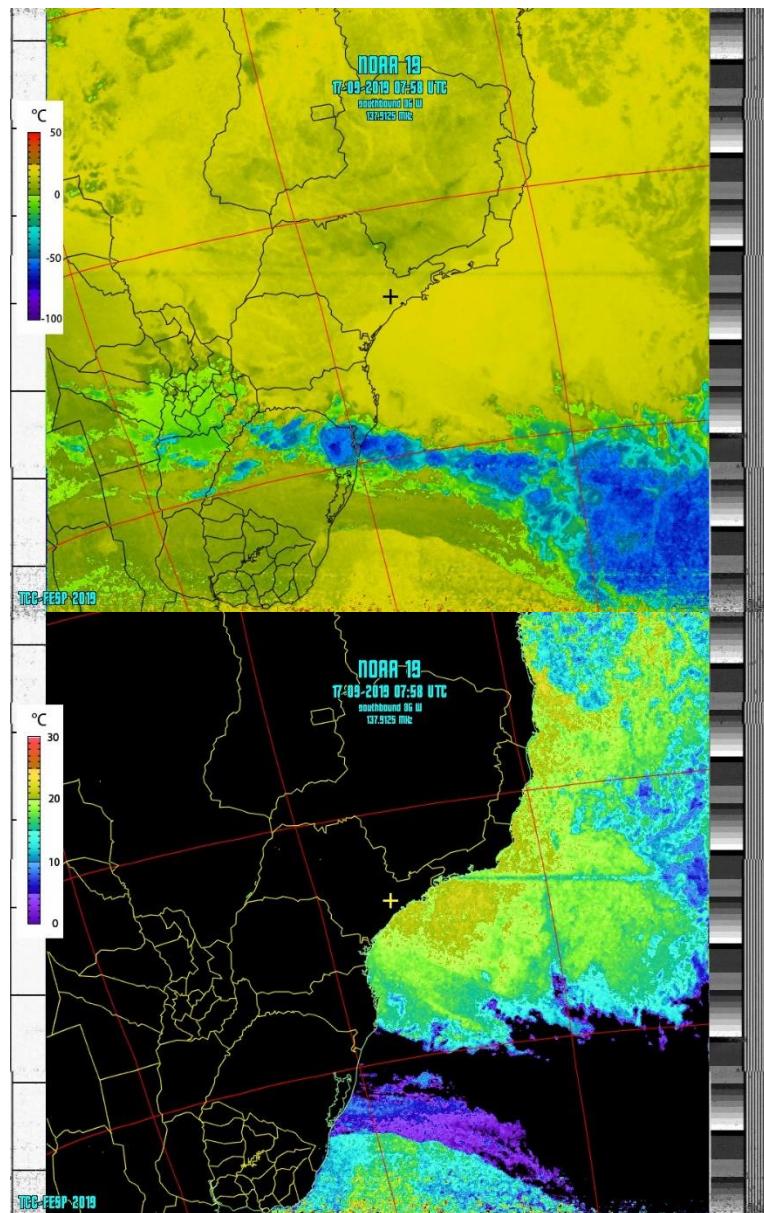


Figura 79: Agrupamento de Imagem 2.

Fonte: GRUPO TCC.

A região encontra-se com boa visibilidade para baixas elevações até 6° a Norte e Sul, o que favorece a coleta de dados caso os satélites passem no local com elevações superiores a 20° de Leste ou a Oeste. Porém, não foi possível obter boas imagens em baixas elevações mais próximas ao Leste devido ao relevo da região impedir visibilidade inferior a 15° nessas direções. Na Figura 80 há um exemplo no qual o satélite passou com elevação máxima de 15° na direção Leste.

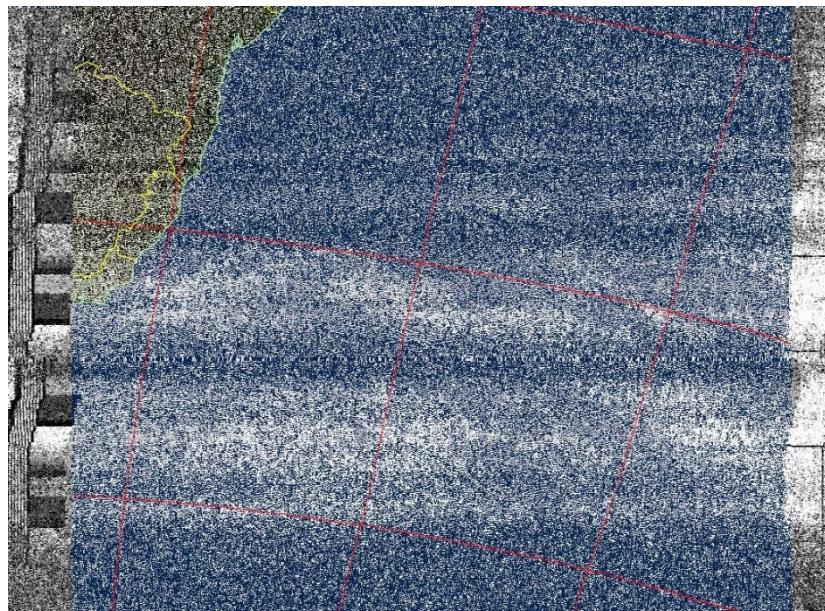


Figura 80: Passagem com Baixa Elevação.

Fonte: GRUPO TCC.

NOAA-18, dia 15 de Setembro de 2019, às 19h50.

Há ainda interferências decorrentes de aeronaves, já que a estação fica logo abaixo da passagem de linhas aéreas, e foi perfeitamente possível ver a atenuação do sinal no momento da aquisição da imagem enquanto uma aeronave de linha aérea passava acima da estação solo. Como não há tráfego aéreo na região até 6h da manhã, as melhores imagens são coletadas após 1h.

8. Conclusão.

O trabalho aqui proposto demonstrou plena aplicação dos conceitos assimilados em sala de aula. Temas como propagação de onda eletromagnética, modulação e demodulação de sinais, materiais elétricos, casamento de impedâncias e integração de hardware e software.

A estação solo estabelecida, a princípio, projetada para aquisição de imagens da constelação NOAA, pode ser adaptada para outros satélites meteorológicos já que a frequência de sintonização entre eles é próxima. A única parte a ser adaptada seria o software que decodificaria o sinal de áudio transmitido pelo satélite, mantendo a antena QFH já que a maioria também utiliza a mesma polarização circular da onda de radiofrequência.

A prática de aquisição de imagens diretamente do satélite exigiu também conhecimentos relacionados a posicionamento geográfico, como, saber como se posicionar no solo afim de obter a melhor elevação e azimute para aferir onde o satélite passaria para aí sim, definir se valeria a tentativa de sintonizar o satélite ou não, já que em baixas elevações a imagem é decodificada com perda de visibilidade e sujeição ao relevo local, o que prejudica a plena recepção do sinal.

Comparou-se e trocou-se informações com outros praticantes de meteorologia amadora, afim de verificar se as informações e imagens aquisitadas estariam de acordo com o que é normalmente feito. O trabalho também serviu de contribuição a essa comunidade durante seu desenvolvimento, graças aos recursos técnicos disponíveis para sua realização e também aos especialistas na área de radiofrequência que de bom grado cederam seu conhecimento para assessoria técnica para o bom transcorrer das atividades e solucionar de dúvidas.

O projeto aqui exposto pode ser otimizado, empregando recursos de automação para aquisição e sintonização automática da frequência do satélite, utilizando softwares que monitoram em tempo real a passagem da constelação desejada, de tal forma que estes programas sejam integrados a fim de proporcionar maior comodidade ao operador da estação solo, podendo inclusive, colher imagens de madrugada e construir uma sequência delas no intuito de poder tirar conclusões mais acertadas a respeito do clima local.

9. Bibliografia:

A) Livros e Revistas:

BALANIS, Constantine A. **Antenna Theory Analysis and Design**. Ohio: Wiley-Interscience, Edição 3. ISBN 978.04.7166.782.7 2005.

BALANIS, Constantine A. **Modern Antenna Handbook**. Ohio: Wiley-Interscience. ISBN 978.04.7003.634.1 2008.

BUCK, Jhon A. e HAYT, Jr. Willian H. **Eletromagnetismo**. Porto Alegre: Amgh LTDA, Edição 8. ISBN 978.85.8055.154.9 2013.

BUCK, Jhon R.; OPPENHEIM, Allan V. e SCHAFER, Ronald W. **Discrete – Time Signal Processing**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. ISBN 0.13.754920.2. 1998.

CERQUEIRA, Christopher. S. **Programa de Capacitação Tecnológica em Engenharia Espacial do curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais do INPE**. São Paulo: INPE. Palestra. 2018.

CRISTEA, Octavian; DASCAL, Paul V.; DOLEA, Paul e PALADE, Tudor. **LRPT Weather Satellite Image Acquisition Using a SDR-Based Reception System**. 2015.

DA SILVA, Hadler. E. **Noções Básicas Sobre Garantia do Produto em Programas Espaciais, sua Missão e Atuação**. São Paulo: INPE. Palestra. 2018.

DE ALMEIDA, Danilo P. **Missão NanoSatC-BR**. São Paulo: INPE. Palestra. 2018.

EDMINISTER, Joseph A. e NAHVI, Mahmood. **Eletromagnetismo**. Porto Alegre: Bookman, Edição 3. ISBN 978.85.6583.714.9 2012.

FERNÁNDEZ, José Raúl Machado. **Software Defined Radio: Basic Principles and Applications**. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría. 2015.

FIRMANSYAH, Teguh; KHOIRUSSOLIH, Muhammed; MUTTAKIN, Imamul; ROHANA, Neneng e WIRYADINATA, Romi. **Image Data Acquisition for NOAA 18 and NOAA 19 Weather Satellites Using QFH Antenna and RLT-SDR**. Cilegon, Indonesia: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. 2018.

FLORENZANO, Teresa G. **Os Satélites e Suas Aplicações**. São José dos Campos: SindCT. ISBN 978.85.62042.00.3 2008.

FLORENZANO, Teresa G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. Oficina de textos, São Paulo, Brasil. ISBN 978.85.7975.064.9 2011.

HAYKIN, Simon e VEEN, Barry Van. **Sinais e Sistemas**. Porto Alegre: Bookman. ISBN: 978.85.7307.741.4. 2003.

HOLLANDER, R. W. **Resonant Quadrafilar Helical Antenna.** Working Group Satellites, 1999.

HOSKING, Rodger H. **Software Defined Radio Handbook.** New Jersey: Pentek, Inc. Edição 9. 2011.

HUNT ENGINEERING. **The Theory of Digital Down Conversion.** United Kingdom: HUNT Engineering. 2003.

LATHI,B.P. **Sinais e Sistemas Lineares.** Porto Alegre: Bookman, Edição 2. ISBN 978.85.6003.113.9 2006.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **User's Guide for Building and Operating Environmental Satellite Receiving Stations.** 2009.

NAVIDES, V. Bruce. **Diseño y Construcción de una Antena Cuadrifilar Helicoidal para Recepción de Imágenes Transmitidas por Satélites de Órbita Polar.** Perú: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. 2012.

SAUNDERS, Simon R. e ZAVALA, Alejandro Aragón. **Antennas and Propagation for Wireless Communication System.** West Sussex: Wiley, Edição 2. ISBN 978.04.7084.879.1 2007.

SEREBRYANSKIY, Valeriy; STEIN, Anatoli; TARATORIN, Alexander e V IITAS, Lauri. **Real – Time Digital Down – Conversion With Equalization.** 2019.

SHAKEEB, Marwa. **Circularly Polarized Microstrip Antenna.** Canada: Concordia University. 2010.

SOUZA, P.N. **Curso Introdutório em Tecnologia de Satélites (CITS).** São Paulo: INPE. Palestra. 2003.

STEWART, Robert W.; ATKINSON, Dale S. W.; BARLEE, Kenneth W. e CROCKETT, Luise H. **Software Defined Radio Using Matlab & Simulink and the RTL-SDR.** Scotland, UK: University of Strathclyde Glasgow. Edição 1. ISBN 978.09.9297.871.6 2015.

TAN, H. Ing. **Aspectos Científicos e Instrumentação Embarcada.** São Paulo: INPE. Palestra. 2018.

YOUNGBLOOD, Gerald. **A Software-Defined Radio for The Masses, part 1, 2, 3 and 4.** Texas: A Forum for Communications Experimenters, 2002.

B) Sites de Internet:

AIRSPY. www.airspy.com. 05/09/2019, 13:01 Horas.

AMSAT. www.amsat-ea. 02/09/2019, 13:12 Horas.

ARRL THE NATIONAL ASSOCIATION FOR AMATEUR RADIO.
<http://www.arrl.org/>. 13/05/2019, 20:07.

BELUCCI, Marcio. Publicação de Imagem no Grupo "AmateurRadioSatelliteService" no Facebook. www.facebook.com/groups/AmateurRadioSatelliteService. 09/09/2019, 21:02 Horas.

BLOCKSTREAM. www.blockstream.com. 10/09/2019, 19:18 Horas.

CALIFORNIA STATE UNIVERSITY NORTHRIDGE. www.csun.edu. 30/04/2019, 15:07 Horas.

COPPENS, J. <http://jcoppens.com/index.php>. 15/05/2019, 18:57.

DE ALMEIDA, P. Danilo. Missão Nanosatc-BR. [http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/01.03.17.06/doc/Danilo%20Pallamin%20de%20Almeida%20\(PIBITI\).pdf](http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/01.03.17.06/doc/Danilo%20Pallamin%20de%20Almeida%20(PIBITI).pdf). 14/06/2018, 09:30 Horas.

DODGE M37. www.dodgem37.com 15/09/2019, 19:00 Horas.

EESA. www.m.esa.int. 26/08/2019, 23:11 Horas.

ELDTEC. www.eldtec.com.br. 08/09/2019, 14:00 Horas.

GRUPO DE RÁDIO AMADORES DE JUNDIAÍ. www.grraju.blogspot.com. 10/09/2019, 20:02 Horas.

GUNTER'S SPACE PAGE. www.space.skyrocket.de. 26/08/2019, 12:21 Horas.

INPE. www.inpe.br. 08/09/2019, 18:00 Horas.

KLOSE, Christina. Marine Polution. www.seos-project.eu/marinepollution/marinepollution-c01-ws02-s.html. 03/09/2019, 02:45 Horas.

NASA. www.nasa.gov. 10/09/2019, 21:00.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. www.nesdis.noaa.gov. 13/05/2019, 20:46.

OSPO. www.ospo.noaa.gov. 03/09/2019, 23:11 Horas.

PROGRAMAS ESPACIAIS. www.pt.slideshare.net/maigon/aula-2-programas-espaciais. 01/09/2019, 00:12 Horas.

PU2LRZ RUBENS ZOLOTUJIN. www.pu2lrz.com. 10/09/2019, 20:05 Horas.

PY2BBS. www.py2bbs.qsl.br. 08/09/2019, 12:23 Horas.

QSL. www.admin.qsl.net. 12/09/2019, 22:03 Horas.

RADIO AFICION. www.radioaficion.com. 03/09/2019, 14:54 Horas.

RADIO-CONTRIBUTION. www.wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Arquivo:Radio-
Contribution.jpg. 26/08/2019, 14:00 Horas.

RTL-SDR. www rtl-sdr.com. 13/05/2019, 19:46 Horas.

SATÉLITES NOAA COMO TRABALHÁ-LOS. www.arsatc.org/noaa2.html.
08/09/2019, 17:00 Horas.

SCITECHDAILY. www.scitechdaily.com. 10/09/2019, 20:54 Horas.

TUTORIALSPOINT. www.tutorialspoint.com. 01/09/2019, 03:23 Horas.

TV-DISTRIBUTION VIA
FIBRELINE. www.wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Arquivo:TV-
Distribution_via_fibreline.jpg. 26/08/2019, 18:33 Horas.

WHEATHERNATION. www.wheaternationtv.com. 26/08/2019, 17:34 Horas.