



Leonardo Victor dos Santos Sá Menez

**PROJETO E ANÁLISE DE ANTENAS PARA
NANOSSATÉLITE DENTRO DO CONTEXTO DO
PROJETO ALDEBARAN**

Relatório Técnico elaborado conforme a ABNT NBR 10719:10, apresentado à Universidade Federal do Maranhão - UFMA, Campus Dom Delgado, São Luís - MA, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Aeroespacial.

Área de Concentração: Telemetria Aeroespacial

Orientador: Dr. Jose de Ribamar Braga Pinheiro Junior

Coorientador: Prof. Me. Jonas da Silva Ribeiro Junior

São Luís
2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Dos Santos Sá Menez, Leonardo Victor.

PROJETO E ANÁLISE DE ANTENAS PARA NANOSSATÉLITE DENTRO
DO CONTEXTO DO PROJETO ALDEBARAN / Leonardo Victor Dos
Santos Sá Menez. - 2023.

66 p.

Coorientador(a): Jonas Da Silva Ribeiro Junior.

Orientador(a): Jose de Ribamar Braga Pinheiro Junior.

Curso de Engenharia Aeroespacial, Universidade Federal
do Maranhão, São Luís, 2023.

1. Antena Double Cross. 2. Antena Quadrifilar Helix.
3. Satélite. I. Braga Pinheiro Junior, Jose de Ribamar.
II. Da Silva Ribeiro Junior, Jonas. III. Título.



<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - CAMPUS SÃO LUÍS</p>	<p>JANEIRO</p>	<p>2023</p>
<p>Engenharia Aeroespacial</p> <p>PROJETO E ANÁLISE DE ANTENAS PARA NANOSSATÉLITE DENTRO DO CONTEXTO DO PROJETO ALDEBARAN</p> <p>Leonardo Victor dos Santos Sá Menez, Dr. Jose de Ribamar Braga Pinheiro Junior e Prof. Me. Jonas da Silva Ribeiro Junior</p>		
<p>Modalidade de TCC: Projeto detalhado de protótipo com nível TRL 4 ou superior</p>		
<p>Palavras-chave: Antena Double Cross. Antena Quadrifilar Helix. Satélite.</p>	<p>66 páginas</p>	



**PROJETO E ANÁLISE DE ANTENAS PARA
NANOSSATÉLITE DENTRO DO CONTEXTO DO
PROJETO ALDEBARAN**

Relatório Técnico elaborado
conforme a ABNT NBR 10719:10,
apresentado à Universidade
Federal do Maranhão - UFMA,
Campus Dom Delgado, São Luís -
MA, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia
Aeroespacial.

Área de Concentração: Telemetria
Aeroespacial

APROVADO EM: 27/10/23

Prof. Dr. Jose de Ribamar Braga Pinheiro Junior
Orientador

Prof. Me. Jonas da Silva Ribeiro Junior
Coorientador

Prof. Dr. Carlos Alberto Rios Brito Junior

Prof. Me. Patryckson Marinho Santos



Dedico este trabalho a todos que me ajudaram ao longo desta caminhada, em especial, minha mãe.



AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me ajudar a concluir mais uma etapa da minha vida.

Agradeço a minha mãe Maria Lucia que é minha inspiração de vida.

Agradeço a minha namorada Carla Caroline por todo o apoio e fé.

Agradeço ao meu pai Messias Sá Menez.

Agradeço ao meu amigo Marinaldo Junior por sempre acreditar em mim.

Agradeço ao meu amigo Eduardo Junior pela ajuda.

Agradeço aos meus amigos da UFMA, em especial Josean Lima, Cássio Bruno, Emanuel Valentim, Isabel Silva, Julio Machado e todos os outros que fizeram parte deste processo.

Agradeço aos professores do curso de engenharia aeroespacial.

Agradeço aos professores do curso de engenharia da computação.

Agradeço aos professores Marcus Vinicius, Luis Claudio, Braga Junior e Jonas Junior por me incentivarem a estudar telemetria espacial e antenas.

Agradeço aos meus orientadores.

Agradeço aos amigos da missão Aldebaran.

Agradeço ao Laboratório de Eletrônica e Sistemas Embarcados Espaciais.

Agradeço a equipe Sirius Rockets.

Agradeço aos amigos da igreja e do trabalho que nunca deixaram de torcer por mim.



*“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”
(Theodore Roosevelt)*



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	11
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS	12
2.1 Fundamentos de Antenas	12
2.1.1 Parâmetros	12
2.1.2 Padrão de Radiação	12
2.1.3 Largura de Feixe	13
2.1.4 Diretividade e Ganho	13
2.1.5 Polarização	14
2.1.6 Razão Sinal-Ruído (SNR - Signal to Noise Ratio)	14
2.2 Antenas Helicoidais	15
2.3 Antena Quadrifilar Helix (QHA - Quadrifilar Helix Antenna)	16
2.4 Antena Cruz Dupla (DCA - Double Cross Antenna)	17
3. METODOLOGIA	19
3.1 Materiais	19
3.2.1 Double Cross	19
3.2.2 Quadrifilar Helix	20
3.2 Equipamentos/Ferramentas	20
3.3 Custos do projeto	22
3.4 Métodos	22
3.2.1 DCA	22
3.2.2 QHA	31
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1 Resultados	38
4.1.1 DCA	38
4.1.2 QHA	39
5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS	44
ANEXO I	46
ANEXO II	46
APÊNDICE I	46
APÊNDICE II	49
APÊNDICE III	64

RESUMO

Com a necessidade de uma antena para o sistema de rastreamento de embarcações da missão Aldebaran, é apresentado o desenvolvimento de dois modelos de antenas de polarização circular à direita, Cruz Dupla e Quadrifilar helix, sendo ambas projetadas para a recepção de sinais de satélites no intervalo de frequência entre 433 Mhz a 437 Mhz, cujo os testes foram realizados através da rede aberta *TinyGS* recebendo pacotes com altitudes maiores que 3000 km.

Palavras-chave: Satélite. Antena Cruz Dupla. Antena Quadrifilar Helix.

ABSTRACT

With the need for an antenna for the Aldebaran mission vessel tracking system, the development of two models of right circular polarization antennas, Cruz Dupla and Quadrifilar helix, is presented, both being designed for the reception of signals from satellites in the range of frequency between 433 Mhz and 437 Mhz, whose tests were carried out through the TinyGS open network receiving packages with altitudes greater than 3000 km.

Keywords: Satellite. Double Cross Antenna. Quadrifilar Helix Antenna.

1. INTRODUÇÃO

A palavra latina *antenna* significava "verga, pedaço de madeira ao qual se prende uma vela". A palavra em grego que descrevia uma verga era *keraiia*, mas esse era apenas um significado desta palavra. O significado principal era "chifre". O filósofo Aristóteles usou *keraiiai* para descrever os insetos, provavelmente por causa de sua semelhança com os chifres de alguns animais maiores. Em uma tradução em latim do trabalho de Aristóteles feito durante o Renascimento, a palavra *antennae* foi usada para o grego *keraiiai*. Em inglês, ainda usamos *antennae* para insetos. E agora também usamos *antena* para as barras de metal que captam ondas de rádio e parecem "sentir o ar" como as antenas de um inseto (WEBSTER, 2022).

O Dicionário Webster define antena como “um dispositivo geralmente metálico (como uma haste ou fio) para irradiar ou receber ondas de rádio”. Na norma IEEE Definições Padronizadas de Termos para antenas (*IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas – IEEE Std 145-1983*), uma antena é definida como “um dispositivo para a radiação ou recepção de ondas de rádio”, ou seja, uma estrutura intermediária entre o espaço livre e o dispositivo de guiamento, como mostra a Figura 1. O dispositivo de guiamento, ou linha de transmissão, pode ter a forma de um cabo coaxial ou um tubo oco (guia de onda), sendo usado para transportar a energia eletromagnética da fonte de transmissão à antena (antena transmissora) ou da antena ao receptor (antena receptora).

Antenas são dispositivos que possuem a capacidade de emitir e captar ondas eletromagnéticas, tornando possível a comunicação entre dois ou mais sistemas eletrônicos (RIOS E PERRI, 2002). Existem diversos tipos de antenas, mas, na maioria dos casos, quando queremos receber sinais de satélites, recomenda-se a utilização de antenas com a polarização circular à direita, com ganho maior ou pouco menor que o unitário, tais como Quadrifilar Helix e *Double Cross Antenna* ou Cruz dupla (ARAUJO E DIAS, 2019).

1.1 Objetivos

A seguir apresentamos os principais objetivos deste trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

Objetivo deste trabalho é a construção e teste das antenas Cruz Dupla e Quadrifilar Helix, de forma a escolher a mais adequada para a recepção de sinais de satélites na faixa de frequência de 437 Mhz, visando a sua utilização em um sistema de rastreamento de embarcações, no contexto da missão Aldebaran.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Levantamento da bibliografias adequadas sobre o tema;
- Especificar, projetar, simular e construir antenas adequadas para recepção dos sinais satelitais do satélite Aldebaran;
- Construir duas antenas escolhidas, as quais foram: uma antena quadrifilar helix (QHA) e uma antena double cross (DCA) na frequência de operação é de 433 MHz a 437 MHz;
- Constituir um material de referência para uso em outros trabalhos acadêmicos no âmbito da UFMA ou outra instituição.
- Constituir um material de referência para uso em escolas ou outra instituição de ensino como auxílio na ministração do assunto.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1 Fundamentos de Antenas

2.1.1 Parâmetros

Segundo (RIBEIRO, 2012), uma antena é uma estrutura capaz de irradiar uma onda eletromagnética em um meio ou receber essa onda em um ambiente de propagação. A antena atua assim como um elemento de transição entre a onda guiada na estrutura dada e o ambiente aberto. Com relação aos parâmetros da antena, (RIBEIRO, 2012) afirma que as seguintes informações são geralmente importantes no projeto, construção e instalação de antenas: frequência de projeto ou faixa de frequência de operação, distribuição da energia irradiada no espaço, polarização da onda irradiada.

2.1.2 Padrão de Radiação

O padrão de radiação de uma antena mostra como sua energia irradiada é distribuída no espaço. Quando o padrão de radiação da antena é conhecido, é possível derivar a quantidade de energia recebida ou emitida em uma determinada direção, com uma distância predeterminada. De acordo com (RIOS, 2002) o ganho da antena está sempre relacionado à direção em que sua radiação é máxima. O perfil de irradiação consiste em um lóbulo principal e lóbulos laterais. O lobo principal é a região de radiação máxima. Os lóbulos laterais, por outro lado, são feixes que se originam no lóbulo principal, mas em direções indesejadas.

2.1.3 Largura de Feixe

A largura de feixe, também conhecida como largura de feixe de meia potência (HPBW - Half Power Beamwidth), de acordo com Ribeiro (2012), é o ângulo formado entre os pontos nos quais a densidade de potência diminui em 3 decibéis (dB) em relação ao valor máximo no lóbulo principal. Essa medida é importante para

determinar a direcionalidade e o alcance efetivo de uma antena. Quanto menor for a largura de feixe, mais concentrada e direcionada será a radiação eletromagnética emitida pela antena, resultando em uma maior intensidade do sinal em uma direção específica. Por outro lado, uma largura de feixe maior indica uma radiação mais ampla e uma cobertura mais abrangente, mas com menor intensidade em uma direção específica. O conhecimento da largura de feixe é fundamental no projeto e na configuração adequada de antenas, garantindo uma comunicação eficiente e uma cobertura adequada para aplicações específicas.

2.1.4 Diretividade e Ganho

A diretividade de uma antena nada mais é que o maior valor alcançado pelo ganho diretivo desta. Segundo (SELVA et al., 2011) a diretividade de uma antena está intrinsecamente ligada ao ângulo de abertura de feixe de largura, pois a sua diretividade melhora à medida que o ângulo de abertura diminui.

Outra característica importante da antena é o seu ganho, que é medido em dBi, pois este valor é relativo a uma antena isotrópica. Podemos dizer também que o ganho é o quanto mais diretiva é uma antena em relação a outra antena, que neste caso é uma isotrópica. A unidade utilizada em ganho de uma antena é descrita em dB, dBi ou dBd. A letra “i” após a unidade decibel (dB), advém da comparação com uma antena do tipo isotrópica (SELVA et al., 2011).

2.1.5 Polarização

Polarização de antenas é definida de como o seu campo elétrico e magnético se propaga com referência a Terra, isto é, na polarização linear vertical, as ondas são propagadas de forma vertical, assim como a polarização linear horizontal que tem sua propagação de forma horizontal. Podemos citar também a polarização circular à direita, a esquerda e elíptica (SILVA, 2019). A polarização do tipo circular, apresenta-se como uma vantagem ao se trabalhar com comunicações via satélites, pois não é necessário ajustar a polarização das antenas, além de evitar os efeitos da rotação de Faraday em ondas que atravessam a atmosfera e/ou a ionosfera.

2.1.6 Razão Sinal-Ruído (SNR - *Signal to Noise Ratio*)

A relação sinal-ruído, também conhecida como razão sinal-ruído (S/N ou SNR), é uma medida fundamental para avaliar a qualidade de um sinal. Ela se baseia na comparação entre o nível de potência do sinal desejado e o nível de potência do sinal de ruído presente no ambiente. Esses valores são comumente expressos em decibéis (dB). Quanto maior for o valor da razão sinal-ruído, menor será o impacto do ruído no sinal desejado, tornando-o menos perceptível durante a recepção. Em termos práticos, uma alta razão sinal-ruído indica uma maior qualidade de sinal, pois o sinal desejado se destaca em relação ao ruído indesejado. Por outro lado, uma baixa razão sinal-ruído significa que o sinal de ruído é mais dominante em relação ao sinal desejado, o que pode prejudicar a recepção e a compreensão do conteúdo transmitido.

$$SNR = \frac{P_{SINAL}}{P_{RUÍDO}} \quad (1)$$

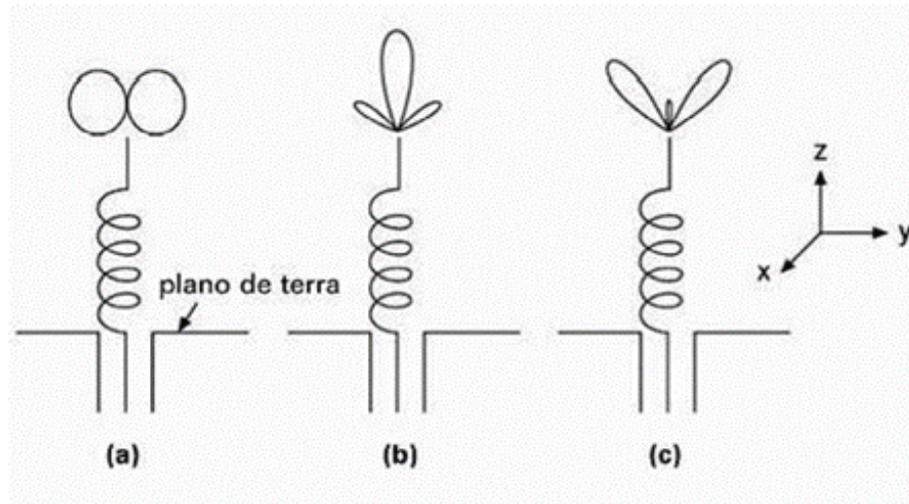
Existem diversos tipos de antenas utilizadas para a recepção de sinais de satélite, tais como a Turnstile, Ground plane, Yagi e suas variantes, além das antenas helicoidais. No presente trabalho, será abordado um tipo específico de antena helicoidal, conhecida como antena Quadrifilar helix, e um modelo mais recente, com semelhanças à Turnstile e Yagi cruzada, denominada antena Cruz dupla. Mais detalhes sobre esses tipos de antenas serão apresentados nos tópicos seguintes.

2.2 Antenas Helicoidais

As antenas helicoidais são construídas na forma espiral ou hélice a partir de um ou múltiplos condutores. Esse tipo de antena é naturalmente escolhido para produção de radiação polarizada de forma circular. Essa antena opera de forma a gerar uma onda que se desloca na forma de uma espiral. Essa classe de antena apresenta outras características operacionais úteis, tais como uma impedância de entrada quase real e uma ampla largura de banda (FUSCO, 2006).

Figura 1 – Modos de operação da antena helicoidal: (a) modo normal

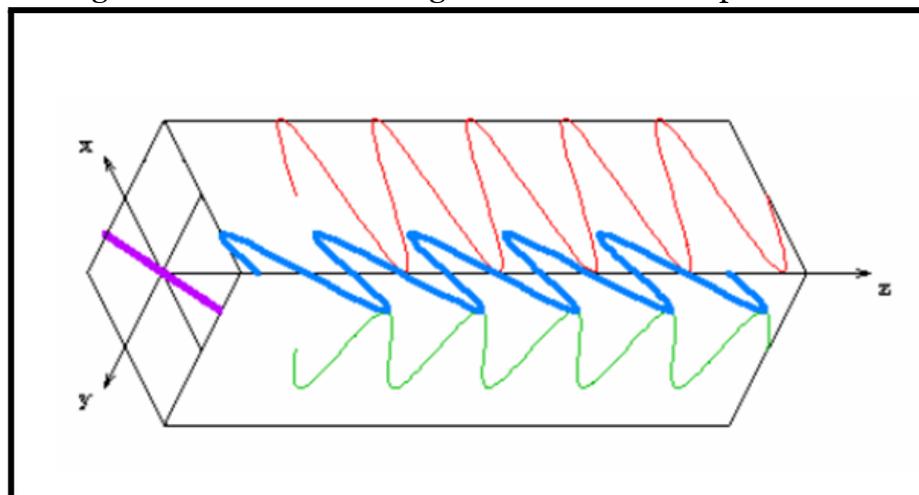
(omnidirecional); (b) modo axial; (c) modo cônico.



Fonte: Fusco (2006).

Segundo (PINTO, 2007), a passagem de uma onda eletromagnética pela atmosfera está sujeita a um efeito chamado rotação de Faraday, ou seja, se considerarmos o vetor de propagação no eixo z , o campo elétricos e magnéticos adquirem um novo ângulo em relação aos eixos x e y . A figura 2 ilustra uma onda eletromagnética linearmente polarizada, e para melhor compreensão o segmento de cor roxa representa essa rotação, e o resultado é projetado no campo magnético relativo aos eixos x e y .

Figura 2 – Onda eletromagnética linearmente polarizada.



Fonte: Pinto (2007)

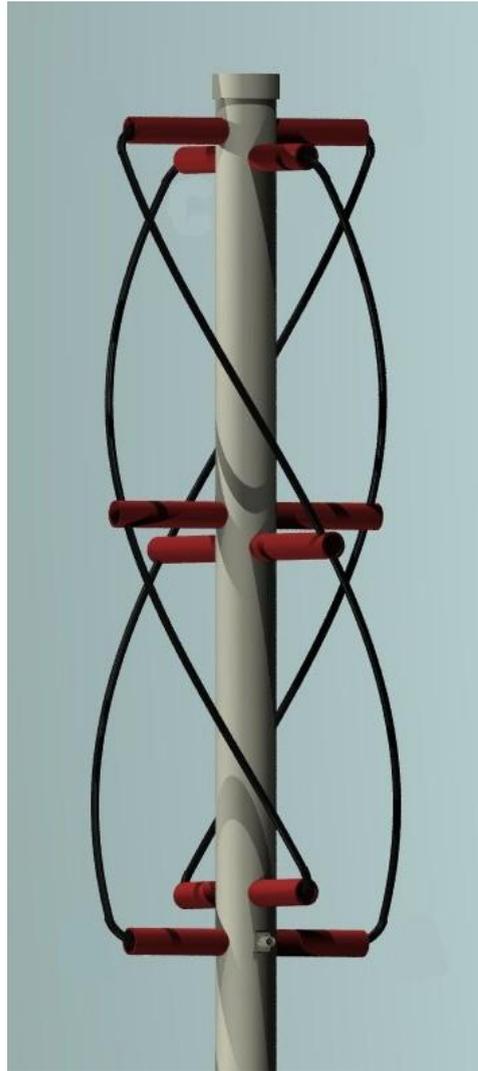
Como consequência dessa rotação, (PINTO, 2007) afirma que o sinal propagado do satélite até a estação é afetado, de forma que para uma rotação de 90° o nível de sinal será anulado e a transmissão finalizada, o que justifica a utilização de antena QHA de polarização circular, tanto nos satélites quanto na recepção do sinal terrestre como uma vantagem.

2.3 Antena Quadrifilar Helix (QHA - *Quadrifilar Helix Antenna*)

O modelo de antena helicoidal QHA, de acordo com (FLORES et al, 2017), é uma antena omnidirecional de meio comprimento de onda de quatro fios. Consiste em quatro elementos, dois elementos bifilares ortogonais em quadratura de fase, onde o bifilar é uma espiral de dois elementos. A alimentação das duas hélices bifilares na fase de quadratura cria um padrão de radiação em forma de cardióide que elimina a necessidade de um plano de terra polarizado circularmente sobre o hemisfério anterior. Os loops bifilares individuais são dispositivos de entrada simétricos, uma forma de balun (*infinite balun* e *Coax choke balun* ou *four turn balun*) é necessária para fornecer correntes simétricas ao terminal de cada bifilar. Os dois bifilares requerem excitação separada com uma diferença de fase relativa de 90 graus para obter a função quadrifilar.

Em outras palavras, é uma antena que consiste em dois loops verticais em ângulos retos entre si, ressonando em frequências ligeiramente diferentes, torcidas em uma hélice de meia volta, que fornece cobertura completa com polarização circular de todos os ângulos.

Figura 3 – Antena Quadrifilar helix



Fonte: Adaptado de Coppens (2010)

2.4 Antena Cruz Dupla (DCA - *Double Cross Antenna*)

Um modelo amplamente reconhecido entre os radioamadores é uma antena composta por quatro dipolos de meia onda, que são dispostos em dois pares ortogonais. Cada par forma uma configuração em forma de cruz quando observada a projeção no plano perpendicular ao eixo que os une (MARTES, 2008).

A distância entre os dipolos da antena é geralmente um quarto do comprimento de onda associado à frequência de operação. É importante que o ângulo da cruz formada por cada par de dipolos seja aproximadamente 30° , e o conjunto deve ser alinhado com o Norte da Terra. Para obter radiação com polarização circular nesse tipo de antena, é necessário aplicar correntes de mesma amplitude nos quatro dipolos, porém com diferenças de fase entre elas.

Para encontrar as dimensões da antenas, inicialmente calcula-se o comprimento de onda para a frequência de projeto:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

onde:

λ é o comprimento de onda dado em metros (m);

c é a velocidade da luz dada em metros por s (m/s);

f é a frequência do sinal recebido dada em Hertz (Hz).

Pode-se deduzir o comprimento do dipolo e a distância entre os dipolos calculando respectivamente meio comprimento de onda $\frac{\lambda}{2}$ e um quarto de comprimento de onda $\frac{\lambda}{4}$.

Sabendo que, os dois cabos conectados no dipolo Norte e no dipolo Sul devem ter o mesmo comprimento e os do dipolo Oeste e do dipolo Leste devem ser um quarto mais longos, para calcular o comprimento dos cabos para os dipolos da antena, utilizam-se as seguintes equações:

$$L_{NS} = \frac{c \cdot v \cdot n}{f} \quad (3)$$

$$L_{WE} = L_{NS} + \frac{c \cdot v}{4 \cdot f} \quad (4)$$

onde:

c é a velocidade da luz dada em metros por s (m/s);

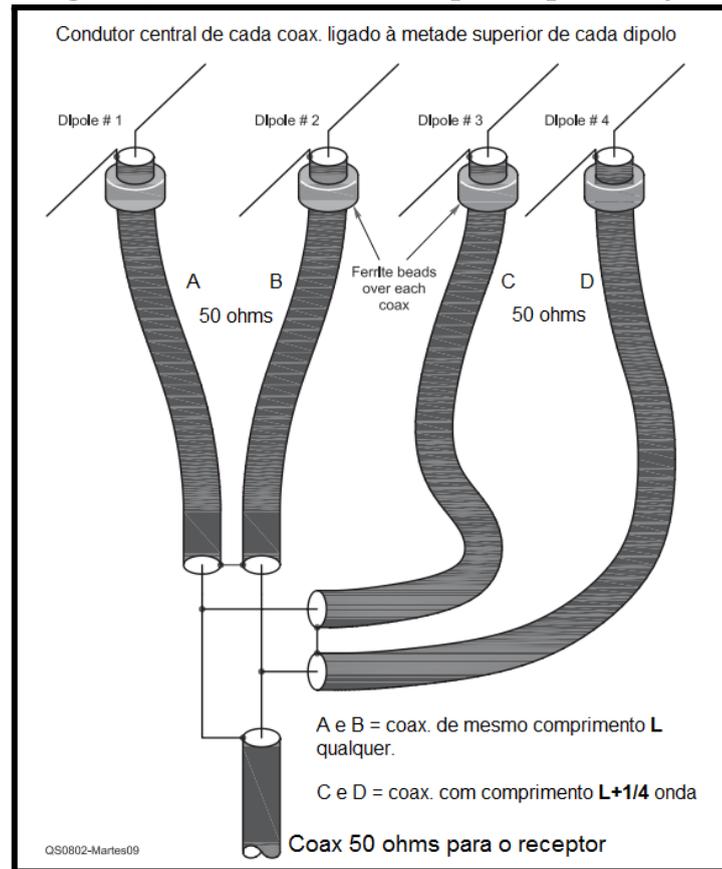
f é a frequência do sinal recebido dada em Hertz (Hz);

v é o fator de velocidade do cabo coaxial;

n é o fator de multiplicação para quantidade de elementos de cabo (sempre ímpar).

A ligação dos cabos de cada dipolo deve ser feita de tal forma que, estes sejam ligados em série dois a dois (o que equivale a dois conjuntos com 100 ohms cada) e esses dois conjuntos em série são ligados em paralelo, perfazendo novamente 50 ohms, sendo assim ligados ao cabo do receptor como na figura 4 (MARTES, 2008).

Figura 4 – Conexões de cabo para a polarização



Fonte: Martes (2008)

3. METODOLOGIA

Para cada tipo de antena desenvolvida, utilizou-se materiais, métodos e equipamentos específicos.

3.1 Materiais

3.2.1 Double Cross

- 2,5 m de Tubo pvc 40 mm
- 1 m de Tubo pvc 15 mm
- 1,5 m de Tubo de cobre de 1/4"
- 1 m de Cabo coaxial RG-58
- 8 Terminais pré isolado tipo plano
- 1 Caixa de passagem ICE 305
- Cola Epóxi massa
- Cola PVC
- Fita isolante
- 4 T de 15 mm
- 3 T de 40 mm
- 8 Cap de 15 mm
- 1 Luva de 42 mm
- 1 Bucha de Redução 42 mm - 22 mm
- 4 Luva L/R de 20 mm
- 1 Luva L/R de 40 mm
- 1 Lixa

3.2.2 Quadrifilar Helix

- Tubo pvc 40 mm
- Tubo pvc 15 mm
- Tubo de cobre de 3/8"
- Cabo coaxial RG-58
- Terminais pré isolado tipo olhal
- Fita isolante

3.2 Equipamentos/Ferramentas

- Furadeira
- Arco de serra
- Torno Morsa para furadeira
- Paquímetro
- Retificadeira
- VNA antenna analyzer
- Estação de solda
- Alicates de corte diagonal
- Impressora 3d Ender 3

3.3 Custos do projeto

A seguir, apresenta-se os custos com os materiais usados para a construção das duas antenas aqui apresentadas.

Tabela 1 - Orçamento

Item	Quantidade	Custo	Observação
Tubo PVC 40 mm	2,40 m	R\$ 0,00	Já tinha disponível
Tubo PVC 15 mm	1 m	R\$ 0,00	Já tinha disponível
Tubo de cobre 1/4"	2 m	R\$ 28,00	
Tubo de cobre 3/8"	3 m	R\$ 48,00	
Curva de 90° cobre	8	R\$ 48,00	
T de 40 mm	3	R\$ 15,00	
Luva L/R de 40 mm	1	R\$ 5,00	
Cap de 15 mm	8	R\$ 24,00	
T de 15 mm	4	R\$ 12,00	
Luva de 42 mm	1	R\$ 15,00	
Caixa de instalação externa	1	R\$ 14,00	
Luva L/R de 20 mm	4	R\$ 10,00	
Lixa	1	R\$ 3,00	
TOTAL		R\$ 222,00	

Fonte: Elaborada pelo autor

3.4 Métodos

3.2.1 DCA

Foi construído um protótipo, calculando todas as dimensões de distância e comprimento segundo as recomendações de (MARTES, 2008). Escolheu-se trabalhar com o tubo de cobre de 1/4" nos elementos dos dipolos, a parte estrutural da antena foi confeccionada com o uso de canos PVC e em algumas partes, peças criadas através de manufatura aditiva.

O tipo de cabo utilizado foi o RG-58 de 50 ohms, que para cada par de dipolo foram cortados em partes segundo as equações (3) e (4) figura 5. Na etapa de construção dos dipolos, optei por utilizar terminais pré-isolados do tipo plano para facilitar a fixação do cabo nos tubos de cobre como na figura 6.

Figura 5 – Cabos dos dipolos



Fonte: Elaborada pelo autor

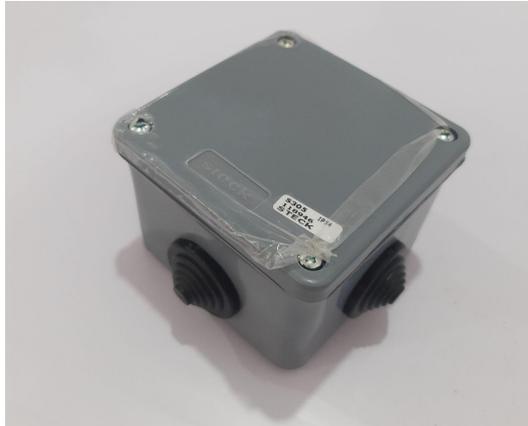
Figura 6 – Fixação do cabo no tubo de cobre



Fonte: Elaborada pelo autor

Para o corpo de centro da antena, foi utilizado uma Caixa de passagem ICE 305 (figura 7), tendo em vista a utilização em ambientes externos sujeitos a fenômenos como a chuva. Está já dispõe de quatro furos laterais que possibilitam a disposição dos dipolos em forma de cruz, com auxílio de luvas L/R de 20 mm PVC soldável e anéis feitos através de impressão 3d (figura 8), foi possível tornar mais firme os canos utilizados para separar os dipolos como na figura 9. As 3 peças criadas através de manufatura aditiva para adaptar o diâmetro interno das luvas L/R de 20 mm para 15 mm, foram inseridas e coladas nas luvas, que em seguida foram fixadas na caixa de passagem.

Figura 7 – Caixa de Passagem ICE 305



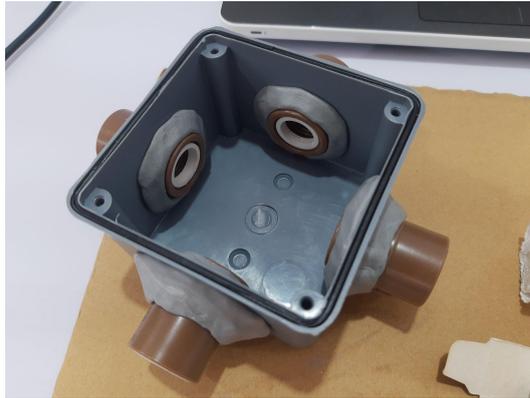
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 8 – Anéis de para adaptação



Fonte: Elaborada pelo autor

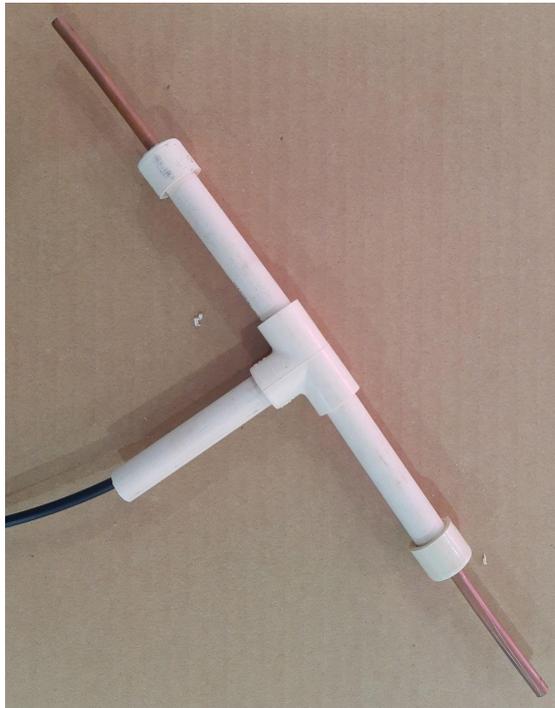
Figura 9 – Fixação das luvas na caixa de passagem



Fonte: Elaborada pelo autor

Para a construção de cada dipolo, foram utilizados as conexões PVC do tipo T e Cap, duas peças de tubo de cobre e 3 peças de cano PVC, um pedaço de cabo RG-58 e terminais pré-isolados do tipo plano (figura 10). Para tentar manter centralizado e retilíneo os elementos dos dipolos, foram utilizados caps de PVC, nos quais foram feitos furos centralizados com o auxílio de uma morsa e uma furadeira, onde também foram utilizados anéis confeccionados através de impressão 3d (figura 11).

Figura 10 – Dipolo



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 11 – Caps PVC com anel

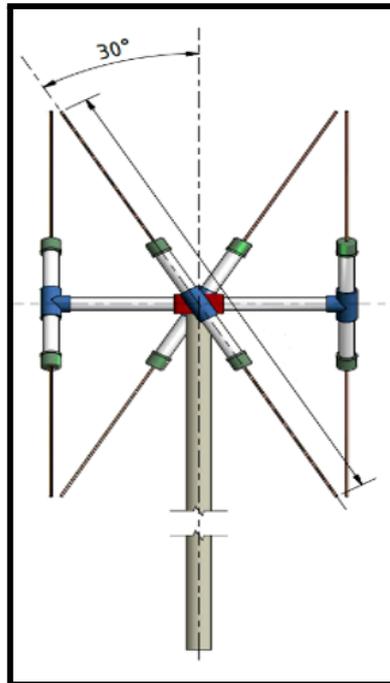


Fonte: Elaborada pelo autor

Para alcançar a polarização circular da mão direita, os pares de dipolos são alimentados em fase, mas um dos pares é alimentado fora de fase em relação ao outro par em 90° . Neste projeto específico, o par de dipolos Norte-Sul é alimentado 90° antes do par Oeste-Leste. Os cabos coaxiais são utilizados para a alimentação de cada dipolo, assumindo um fator de velocidade de 0,659, que é comum nos cabos RG-58, embora o tipo de cabo coaxial possa variar dependendo da disponibilidade no mercado.

Os comprimentos dos cabos conectados aos dipolos Norte e Sul devem ter o mesmo tamanho, enquanto os cabos dos dipolos Oeste e Leste devem ser um quarto mais longos do que os cabos dos dipolos Norte e Sul. Isso resulta em um deslocamento de fase de 90° necessário para a polarização, conforme ilustrado na Figura 12.

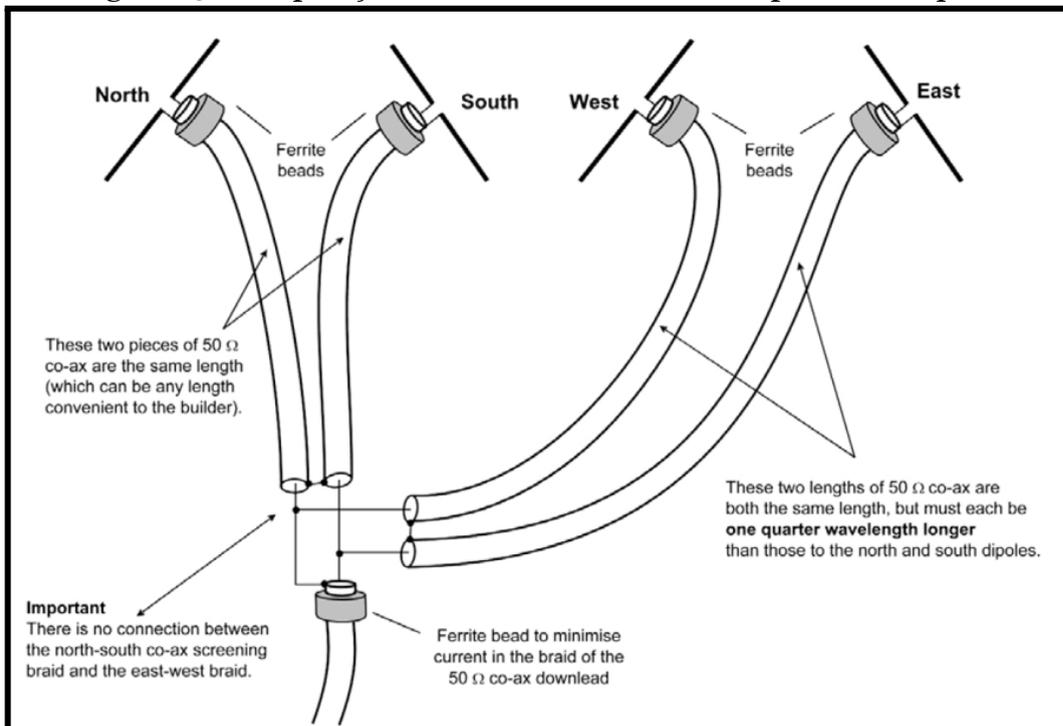
Figura 12 – Design da Antena



Fonte: Adaptado de Sourceforge, 2016

Como orientação de (MARTES, 2008), foram utilizados anéis de ferrite nas pontas dos cabos de cada dipolo e do cabo do receptor para que a corrente no coaxial seja adequada (figura 13, 14 e 15).

Figura 13 – Disposição dos anéis de ferrite nos dipolos e receptor



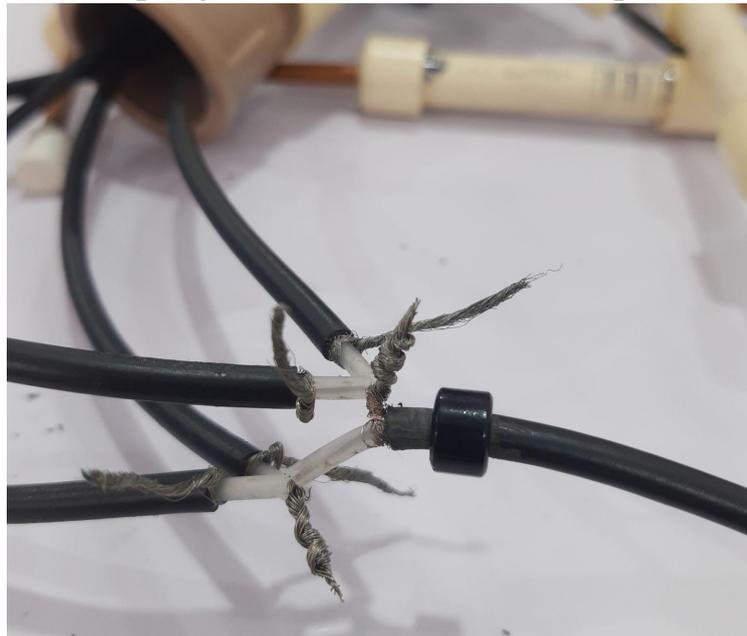
Fonte: <https://sourceforge.isae.frattachments/download/2389/Polarization2.PNG>

Figura 14 – Disposição dos anéis de ferrite nos dipolos e receptor



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 15 – Disposição dos anéis de ferrite nos dipolos e receptor

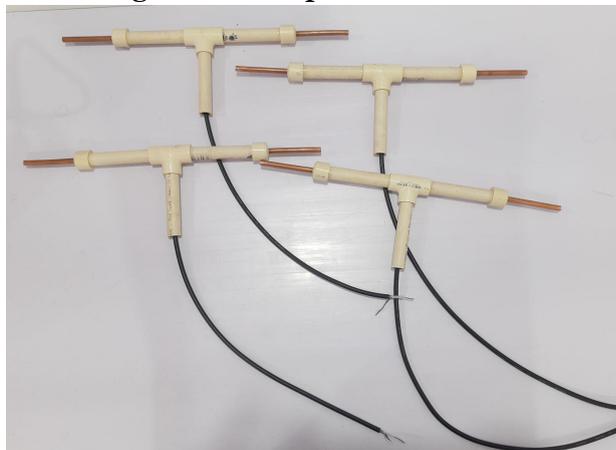


Fonte: Elaborada pelo autor

Após serem montados todos os dipolos (figura 16), realiza-se um furo na parte inferior da caixa de passagem (figura 17), por onde os cabos dos dipolos são passados. Após a passagem dos cabos, estes são conectados de acordo com o esquema da figura 13 e ligados ao cabo do receptor (figuras 18 e 19). Em seguida, são feitos alguns rebaixos na Bucha de Redução 42 mm - 22 mm com o auxílio da retificadeira,

para que esta seja fixada na caixa de passagem, conforme ilustrado nas figuras 20 e 21.

Figura 16 – Dipolos montados



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 17 – Furo na caixa de passagem



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 18 – Ligação dos cabos



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 19 – Ligação no cabo do receptor



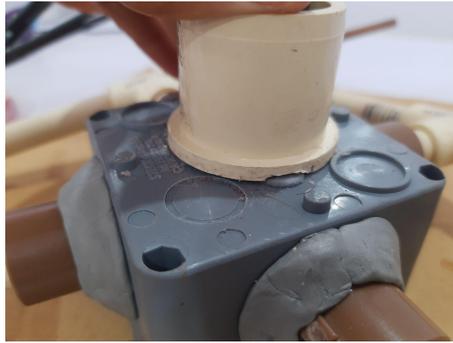
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 20 – Bucha de redução com rebaixamento



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 21 – Bucha de redução na caixa de passagem



Fonte: Elaborada pelo autor

Após essa etapa, a luva L/R de 40 mm é encaixada na luva de 42 mm (Figura 22), e o cabo é passado através dessa peça única até que a luva seja fixada na bucha de redução (Figura 23). Para ajustar os ângulos de cada dipolo, utilizou-se um gabarito em cada saída da caixa de passagem (Figura 24). Por fim, uma estrutura de sustentação para a antena foi montada utilizando partes do cano de 40 mm (Figuras 25 e 26).

Figura 22 – Peça única (luva+bucha)



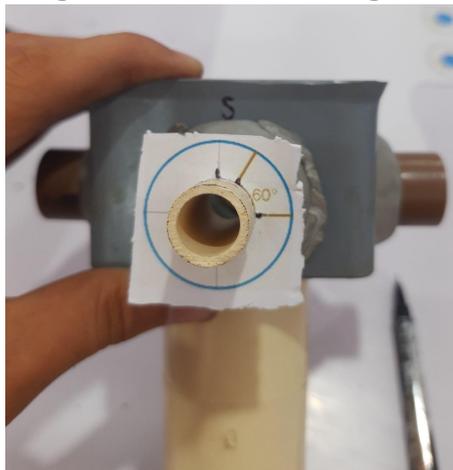
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 23 – Fixação da peça única na bucha de redução



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 24 – Gabarito ângulos



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 25 – Estrutura de sustentação da antena



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 26 – Antena montada

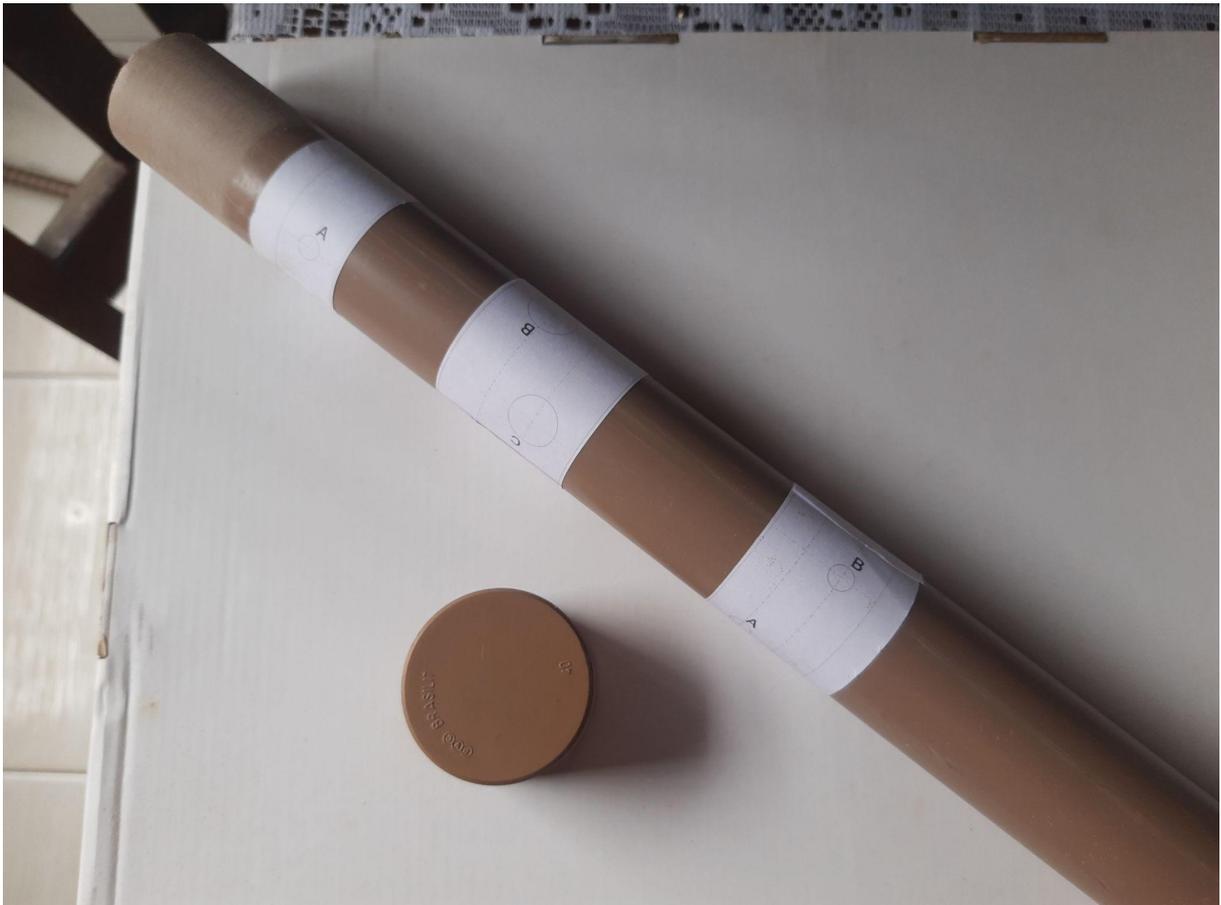


Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.2 QHA

Foi desenvolvido um protótipo que utiliza tubo de cobre de $\frac{3}{8}$ " e tubo PVC de 40 mm. As medidas e o posicionamento dos elementos foram obtidos utilizando a calculadora de antenas de (COPPENS, 2010), considerando a frequência de 437 MHz. Para marcar os furos necessários, foi utilizado um gabarito gerado pela ferramenta (Anexo I), conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27 – Gabarito de furos



Fonte: Elaborada pelo autor

As tabelas 2 e 3 abaixo, mostram as dimensões inseridas na calculadora, os resultados dos parâmetros calculados, além das dimensões utilizadas na construção da antena.

Tabela 2 – Parâmetros para cálculo das dimensões da antena.

Parâmetro	Valor
Frequência	437 Mhz
Número de voltas	0,5
Comprimento de uma volta	1 onda
Raio de flexão	15 mm
Diâmetro do condutor	9 mm
Relação largura altura	0,44

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 3 - Dimensões da antena

	Loop Maior	Loop Menor
Descrição	Valor (mm)	Valor (mm)
Comprimento total	753,6	716,1
Tubo vertical	286,1	272,3
Comprimento total compensado	779,4	741,9
Tubo vertical compensado	256,1	242,3
Altura da antena	235,3	224
Diâmetro interno	94,5	89,5
Separador horizontal	103,5	98,5
Separador horizontal compensado	73,5	68,5

Fonte: Elaborada pelo autor

Depois de feitos os furos, prossegue-se com a confecção das "hélices", ou seja, a estrutura de cobre da antena, que é dividida em loop maior e loop menor, consistindo em elementos verticais e horizontais (figura 28). Não foi encontrada nenhuma técnica comum de construção, mas recomenda-se realizar as dobras com cuidado até alcançar a curvatura correta.

Figura 28 – Construção dos loops



Fonte: Elaborada pelo autor

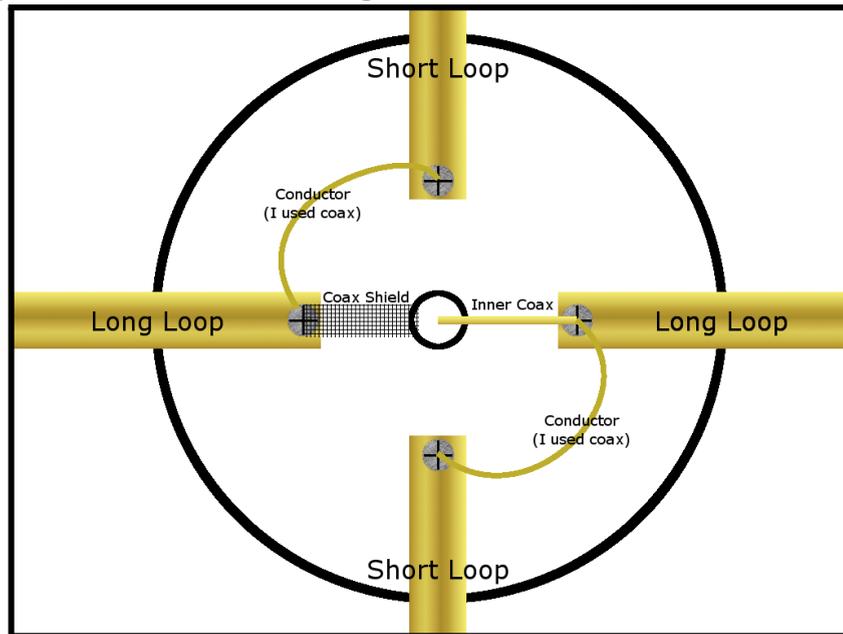
Depois de construir os loops, são feitos furos nos separadores horizontais superiores (figura 29), para fixar as malhas externa e interna do cabo coaxial nos loops da antena, utilizando parafusos conforme o esquema da figura 30. Foi escolhido utilizar terminais pré-isolados tipo olhal para melhorar a fixação e a condução.

Figura 29 – Separadores horizontais superiores



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 30 – Balun de estrangulamento coaxial (*Coax choke balun*)



Fonte: https://www.gregorystrike.com/assets/legacy/QHA_Wiring.png

No projeto, foi escolhido o modelo de balun de estrangulamento de coaxial devido à sua simplicidade. Ele envolve dois furos no mastro central da antena para a passagem do cabo (figura 31). A passagem ocorre de dentro para fora, iniciando pelo furo superior e, após algumas voltas no mastro, pelo furo inferior. É importante ressaltar que as pernas do cabo devem ficar bem ajustadas entre si e com o mastro.

Figura 31 – Furos para o balun



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 32 – Balun



Fonte: Elaborada pelo autor

Por fim, é necessário apenas inserir os separadores horizontais inferiores, encaixar as curvas de cobre e montar um loop de cada vez, para que a antena fique completamente montada.

Figura 33 – Loop maior e balun



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 34 – Antena montada



Fonte: Elaborada pelo autor

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Resultados

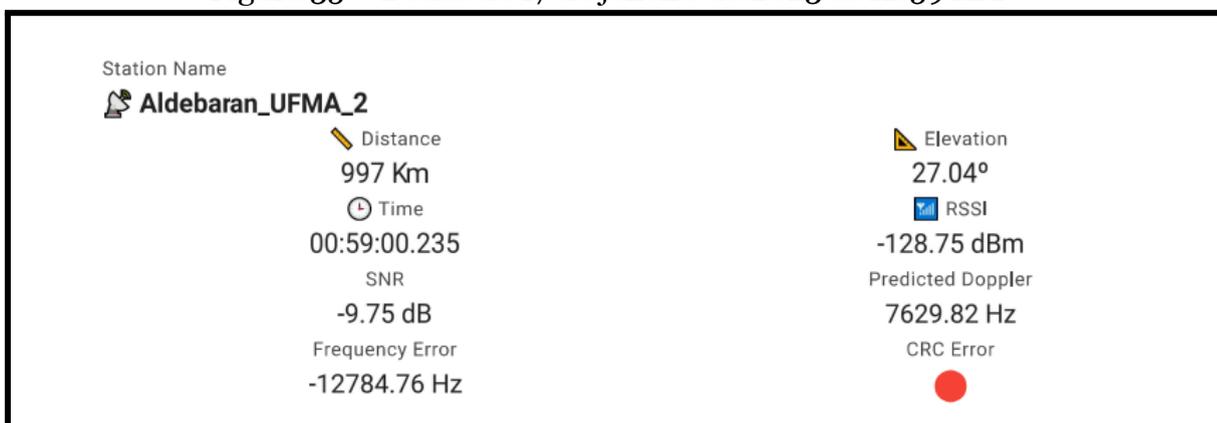
Para testar os protótipos, foi utilizada a rede global de satélites de código aberto chamada TinyGS, juntamente com suas estações terrestres. Essa rede foi criada para receber e operar satélites LoRa, sonda meteorológicas e outros objetos.

Durante um período de seis dias, sendo três dias com a DCA e três dias com a QHA, foi possível receber pacotes dos seguintes satélites em cada uma das antenas:

4.1.1 DCA

❖ FossaSat-2E12 (LoRa 401.7 MHz)

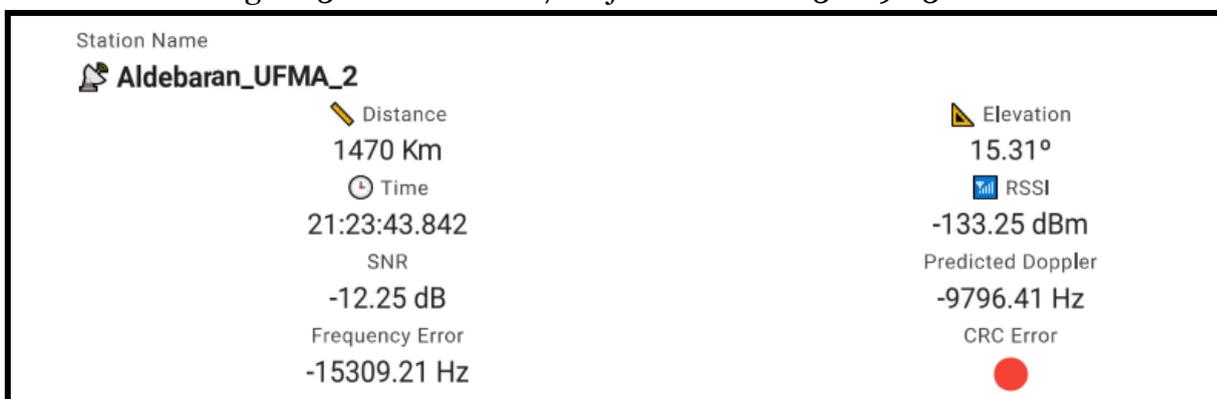
Figura 35 – Dados de 17 de janeiro de 2023 às 12:59 AM



Fonte: TinyGS

❖ Sapling (LoRa 437.4 MHz)

Figura 36 – Dados de 17 de janeiro de 2023 às 9:23 PM

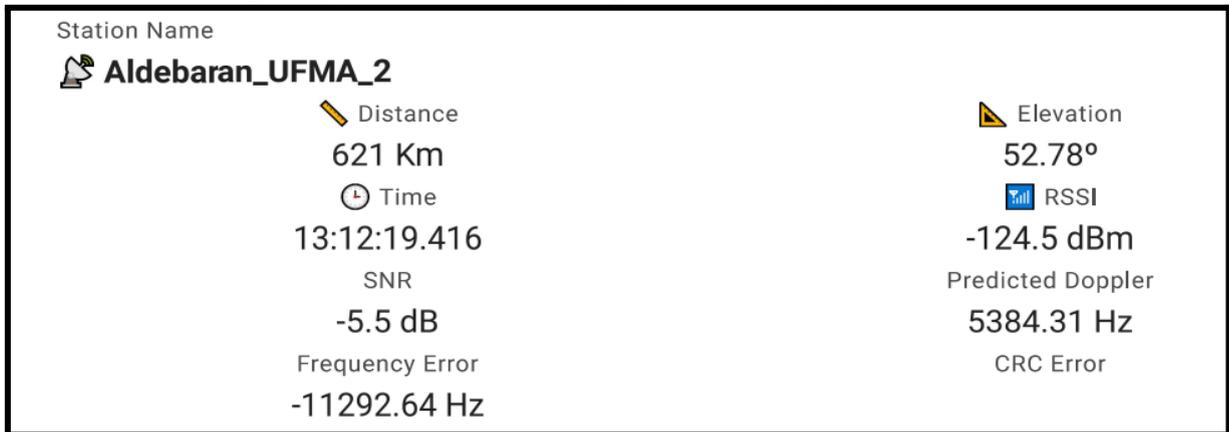


Fonte: TinyGS

4.1.2 QHA

❖ FossaSat-2E8 (LoRa 401.7 MHz)

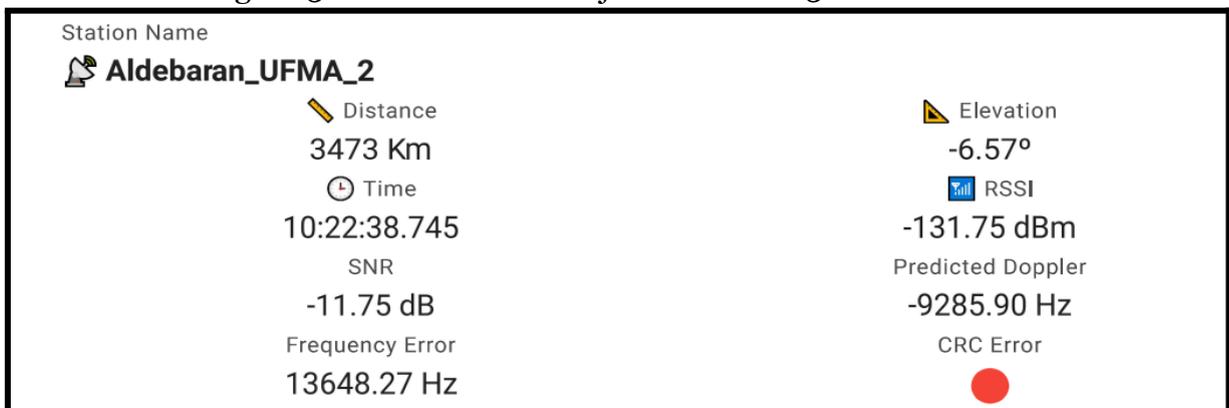
Figura 37 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 1:12 PM



Fonte: TinyGS

❖ Sapling (LoRa 437.4 MHz)

Figura 38 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 10:22 AM



Fonte: TinyGS

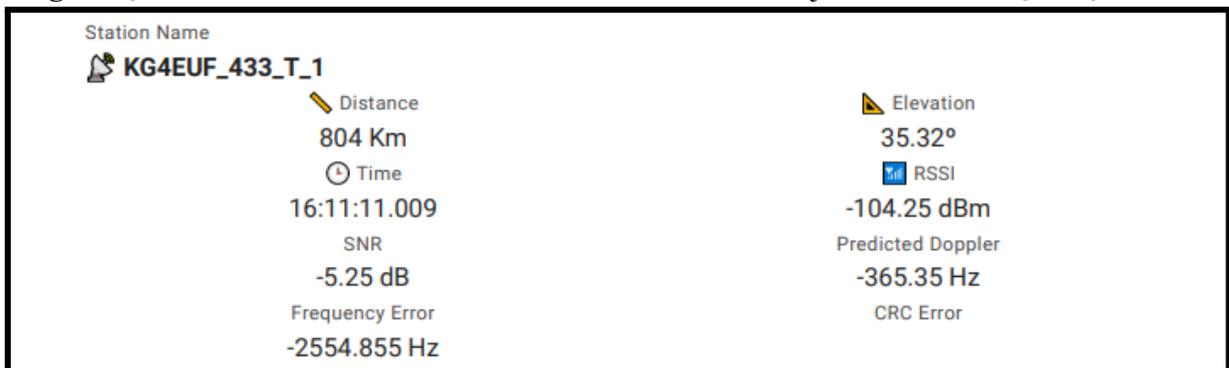
É possível perceber que as antenas demonstraram desempenho semelhante às antenas comerciais, como pode ser observado nas estações qml_3, ArgusNavis e KG4EUF_433_T_1. Essas estações utilizam as antenas Ground plane de ¼ de onda, Turnstile e QFH (ou QHA), respectivamente. Nota-se que os últimos pacotes recebidos por essas estações, com o uso das antenas comerciais mencionadas, são comparáveis aos pacotes recebidos com as antenas construídas neste trabalho.

Figura 39 – Dados de FossaSat-2E12 recebido em 21 de janeiro de 2023 às 4:09 PM



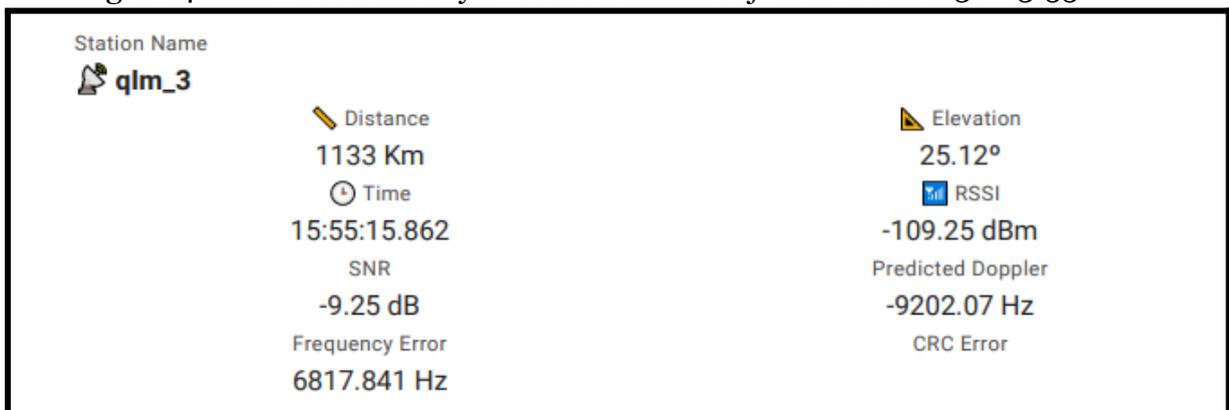
Fonte: TinyGS

Figura 40 – Dados de FossaSat-2E11 recebido em 22 de janeiro de 2023 às 4:11 PM



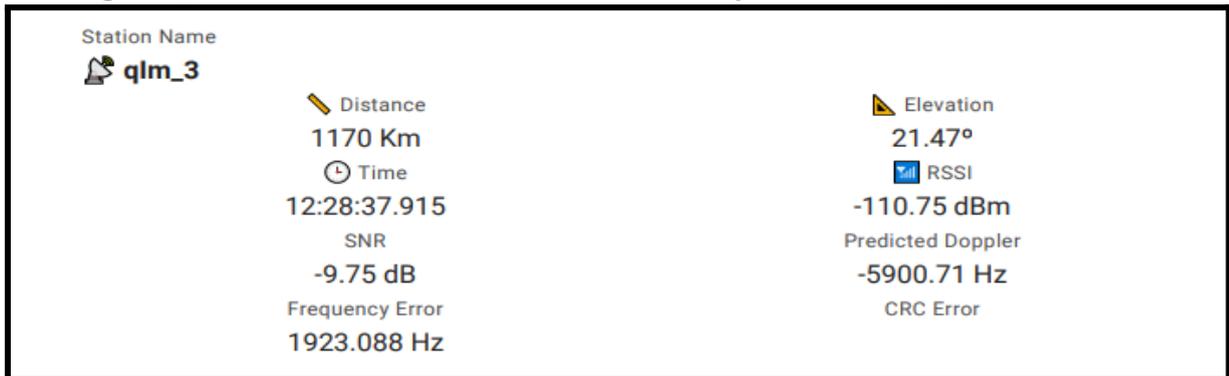
Fonte: TinyGS

Figura 41 – Dados de Norby recebido em 22 de janeiro de 2023 às 3:55 PM



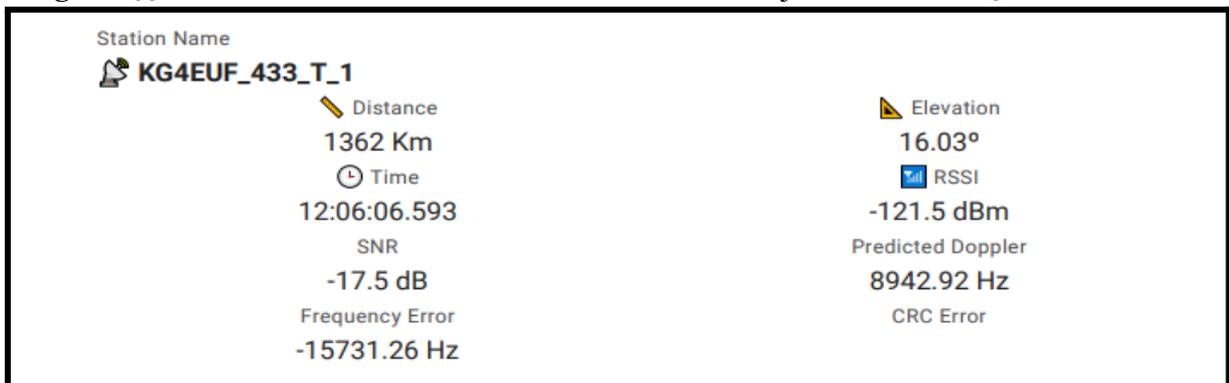
Fonte: TinyGS

Figura 42 – Dados de FEES recebido em 22 de janeiro de 2023 às 12:28 PM



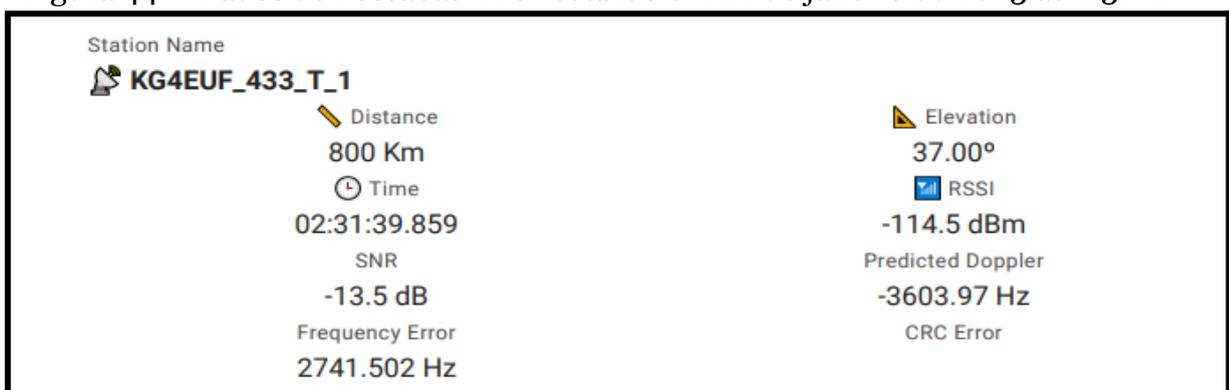
Fonte: TinyGS

Figura 43 – Dados de SATLLA-2B recebido em 22 de janeiro de 2023 às 12:06 PM



Fonte: TinyGS

Figura 44 – Dados de FossaSat-2E8 recebido em 22 de janeiro de 2023 às 2:31 AM



Fonte: TinyGS

Através dos pacotes recebidos, é possível observar que as antenas são capazes de receber sinais de distâncias que variam de 510 km a 3473 km, o que não difere muito das distâncias observadas nas antenas utilizadas pelas estações qml_3,

ArgusNavis e KG4EUF_433_T_1. Para essas estações, encontramos dados de distâncias entre 711 km a 1362 km, correspondentes aos satélites em questão. No capítulo 5 do trabalho, são apresentadas algumas discussões sobre os resultados obtidos.

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os resultados do trabalho de conclusão de curso aqui apresentado, por meio deste relatório técnico, demonstraram-se satisfatórios, uma vez que corroboram a consecução dos principais objetivos do trabalho proposto. Ao levantar a bibliografia, obteve-se o necessário subsídio técnico para a escolha adequada das duas antenas construídas. A descrição passo a passo da construção dessas antenas neste escrito servirá como material de referência para sua replicação e comparação em outros trabalhos acadêmicos. Por se mostrarem adequadas, as antenas serão utilizadas para compor o sistema de transmissão do localizador do projeto Aldebaran.

É importante ressaltar que um resultado significativo alcançado ao construir as antenas apresentadas foi o baixo custo relativo em comparação com outras opções comercialmente disponíveis. No total, foram gastos pouco menos de R\$ 250,00 para a construção das duas antenas, excluindo o tempo necessário, o que resultaria em um valor médio de R\$ 125,00 por antena. Por outro lado, ao considerar equipamentos de qualidade equivalente, os custos poderiam ultrapassar os R\$ 650,00 por antena.

Por meio dos testes realizados utilizando a plataforma TinyGS, ambas as antenas demonstraram-se adequadas para a recepção de sinais de satélites. Os resultados obtidos mostraram que o nível de potência recebido, embora apresentasse valores baixos (RSSI < 135 dBm), foi suficiente para a decodificação de vários pacotes de dados, mesmo considerando a relação sinal-ruído causada por algumas fontes de interferência local. É válido destacar que os sinais de alguns satélites recebidos foram transmitidos a distâncias superiores a 1300 km, comprovando uma boa capacidade de recepção. Ao comparar as duas antenas, chegou-se à conclusão de que a antena Quadrifilar Helix seria a mais adequada para a recepção de sinais satelitais, levando em consideração seu uso em um sistema portátil de rastreamento de embarcações no contexto da missão Aldebaran.

Sugere-se que em trabalhos futuros sejam realizados testes das antenas em embarcações em alto mar, a fim de obter resultados mais próximos das condições reais de uso, além de avaliar as duas antenas em relação à resistência aos movimentos gerados pelo transporte marítimo e à exposição à maresia. Dentro desse mesmo contexto, seria pertinente também a execução de testes de transmissão para satélites em órbita, uma vez que, para o contexto da missão Aldebaran, a antena ideal será aquela que apresentar os melhores resultados em termos de recepção e transmissão. Com os testes no modo de recepção já realizados e a QHA mostrando-se a mais adequada, os testes de transmissão permitirão selecionar de forma mais definitiva a antena ideal para o sistema da missão.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, I. A.; DIAS, M. H. C. Análise da antena cruz dupla para recepção de imagens meteorológicas via satélite em VHF. **XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS**, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.sbrrt.org.br/articlefile/1891.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022.

BALANIS, A. Constantine. **Teoria de Antenas: Análise e Síntese**. 3. ed. [S. l.]: LTC, 2008. 336 p. v. 2. ISBN 8521616546.

BALANIS, A. Constantine. **Teoria de Antenas: Análise e Síntese**. 3. ed. [S. l.]: LTC, 2008. 370 p. v. 1. ISBN 8521616538.

COPPENS, J. **QHF CALCULATOR**. [s.n.], 2010. Disponível em: <http://jcoppens.com/ant/qfh/calc.en.php>. Acesso em: 20 out. 2022.

DANESFAHANI, R.; KATEB, P. **Doppler Shift in Medium-Earth and Low-Earth Equatorial Satellites**. 2008 3rd International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications, 2008. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4530156/authors#authors>. Acesso em: 13 out. 2022.

ESCOBEDO, Frederickv Paulov Albornoz et al. **Low cost optimization method of a double cross antenna satellite reception system for the processing and improvement of meteorological satellite signals and images NOAA 15-18-19**. IEEE, Arequipa, Perú, 2019. 6 p.

ESTEVEZ, L. C. **Antenas: Teoria básica e aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980. 708 p.

FLORES, R. D. *et al.* Protótipo de uma estação receptora de imagens meteorológicas utilizando GNU Radio e RTL-SDR. **XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS**, São Pedro - SP, 2017. Disponível em: <https://www.sbrrt.org.br/sbrrt2017/anais/1570361535.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022.

FUSCO, Vincent F. **Teoria e técnicas de antenas: Princípios e prática**. Porto Alegre: Bookman, 2006. 248 p. ISBN 978-85-363-0690-2.

LYTEL, Allan. **Abc das antenas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Antenna, 1977. 115 p.

MARTES, G. **Double Cross: A NOAA Satellite Downlink Antenna**. [S. l.]: QST, 2008. Disponível em: <https://www.qsl.net/py4zbb/DCA.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2022.

PINTO, R. H. C. **Projeto de uma antena quadrifilar de meia espira e meio comprimento de onda**. [S.l.]: Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2007.

Receiving antenna design - 2016 NOAA: receiving weather images. [S. l.]: Sourceforge, 2016. Disponível em: <https://sourceforge.isae.fr/projects/noaa-receiving-weather-images/wiki/Receivi>

ng_antenna_design#. Acesso em: 2 ago. 2022.

RIBEIRO, J. A. J. **Engenharia de Antenas: Fundamentos, Projetos e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.

RIOS, L. G; PERRI, E. B. **Engenharia de Antenas**. [S.l.]: São Paulo, Edgard Blücher, 2. ed., 2002.

SELVA, A. F. B. et al. **Uma Introdução a SDR com GNU Radio**. Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), 2011. Disponível em: http://www.sps.fee.unicamp.br/sps2011/proceedings_sps2011/Andre_Radio_SPS2011.pdf. Acesso em: 18 dez. 2022.

SILVA, A. L. V.. **Estudo do sistema de aquisição de imagens de satélites NOAA utilizando SDR**. Orientador: Ramon Mayor Martins. 2019. 62 f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações) - Instituto Federal de Santa Catarina, São José - SC, 2019.

TINYGS. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://tinygs.com/>. Acesso em: 17 jan. 2023.

WEBSTER, Noah. **Webster's Dictionary**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.merriam-webster.com/>. Acesso em: 13 out. 2022.

ANEXO I

Gabarito para os furos

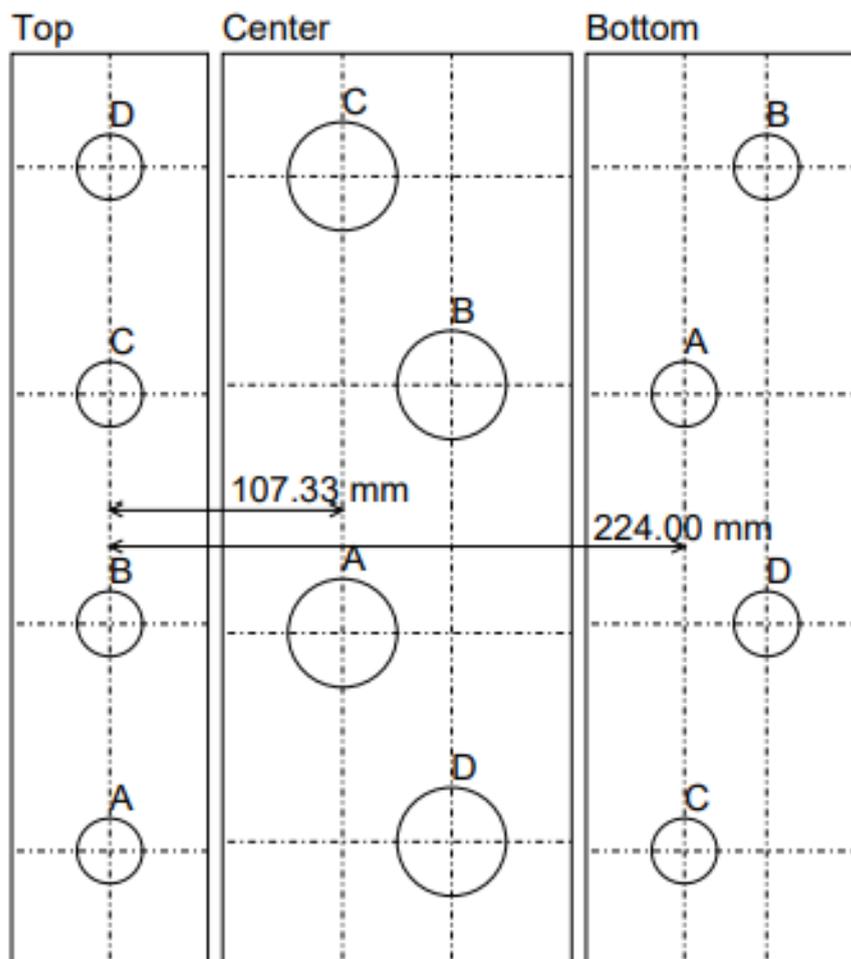
ON6JC/LW3HAZ QFH antenna design tool

<http://www.jcoppens.com/ant/qfh>

Frequency: 437.000 MHz

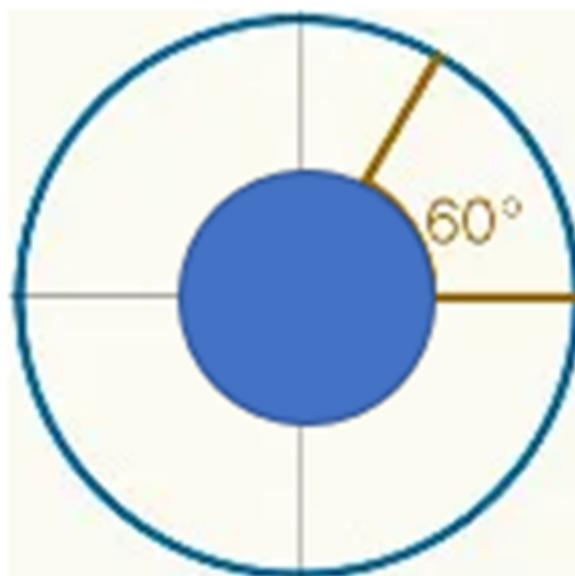
Vertical support diam: 40.0 mm

Horizontal support diam: 15.0 mm



ANEXO II

Gabarito para os ângulos

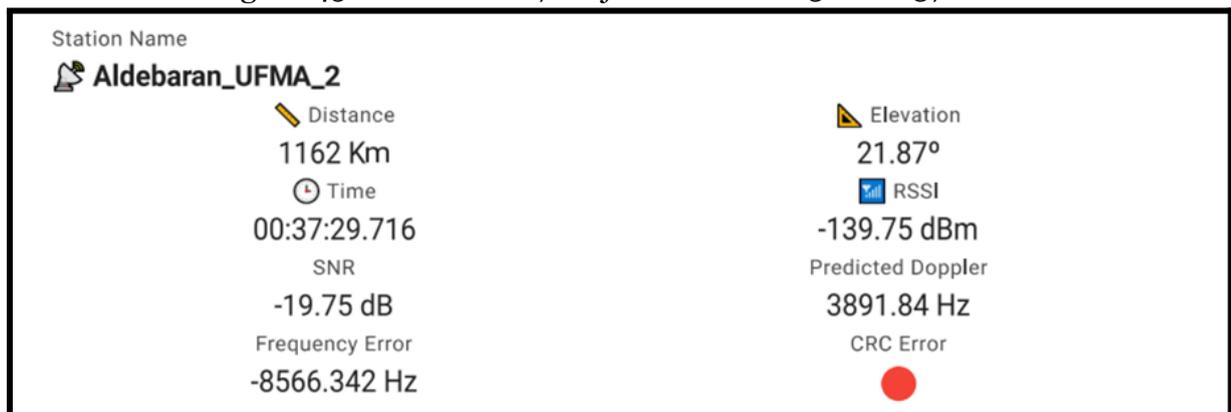


APÊNDICE I

Pacotes Recebidos pela antena DCA

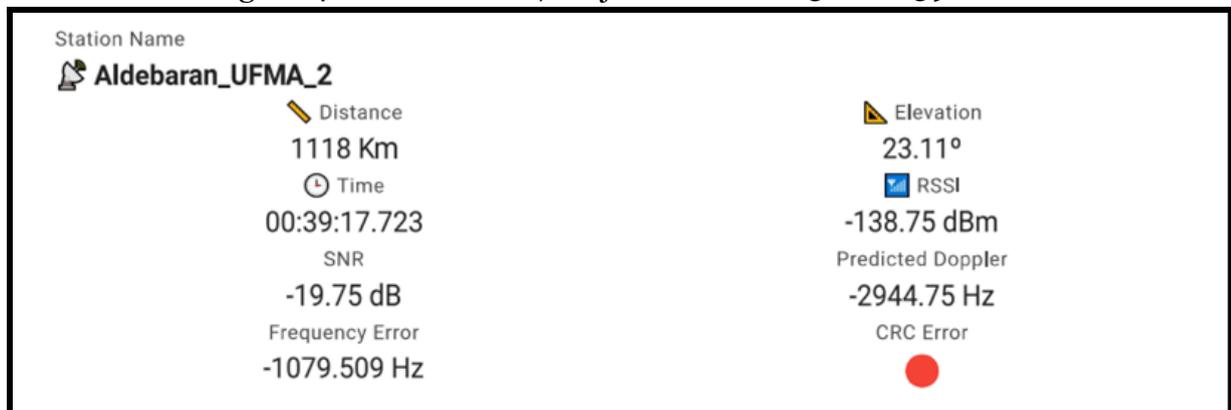
❖ FossaSat-2E8 (LoRa 401.7 MHz)

Figura 45 – Dados de 17 de janeiro de 2023 às 12:37 AM



Fonte: TinyGS

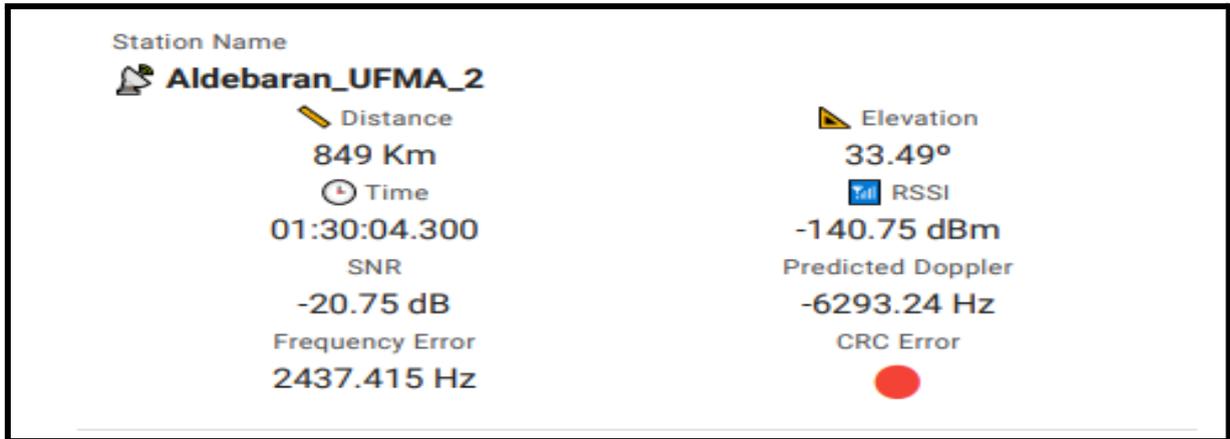
Figura 46 – Dados de 17 de janeiro de 2023 às 12:39 AM



Fonte: TinyGS

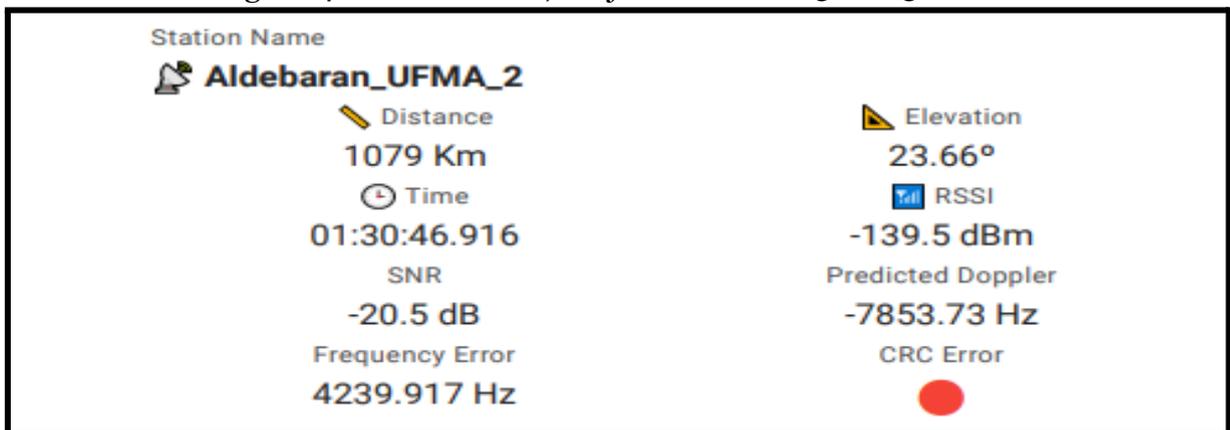
❖ FossaSat-2E11 (LoRa 401.7 MHz)

Figura 47 – Dados de 17 de janeiro de 2023 às 1:30 AM



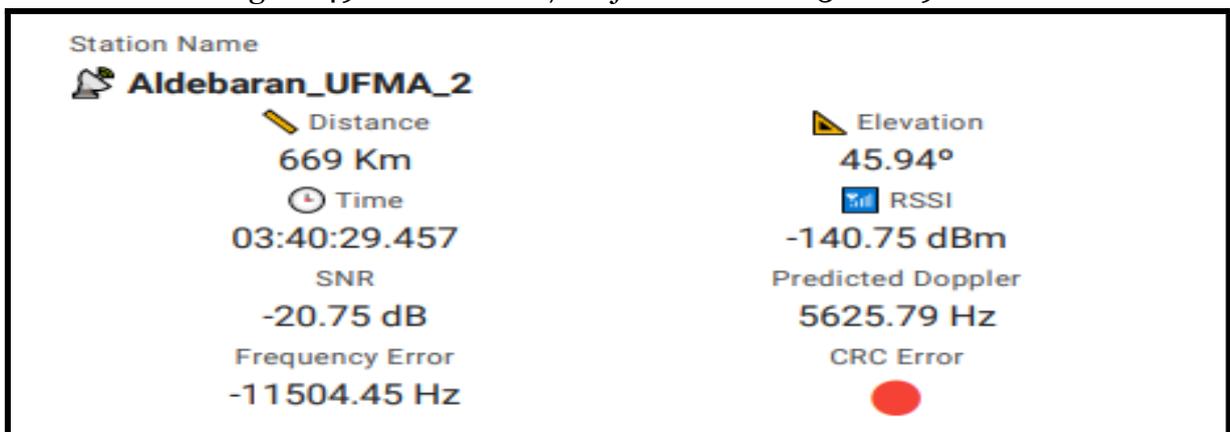
Fonte: TinyGS

Figura 48 – Dados de 17 de janeiro de 2023 às 1:30 AM



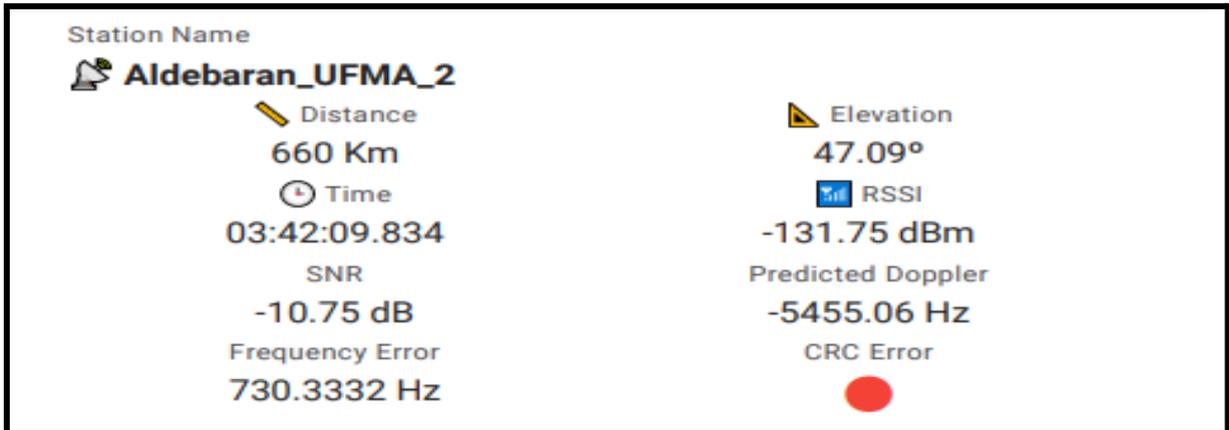
Fonte: TinyGS

Figura 49 – Dados de 17 de janeiro de 2023 às 1:19 PM



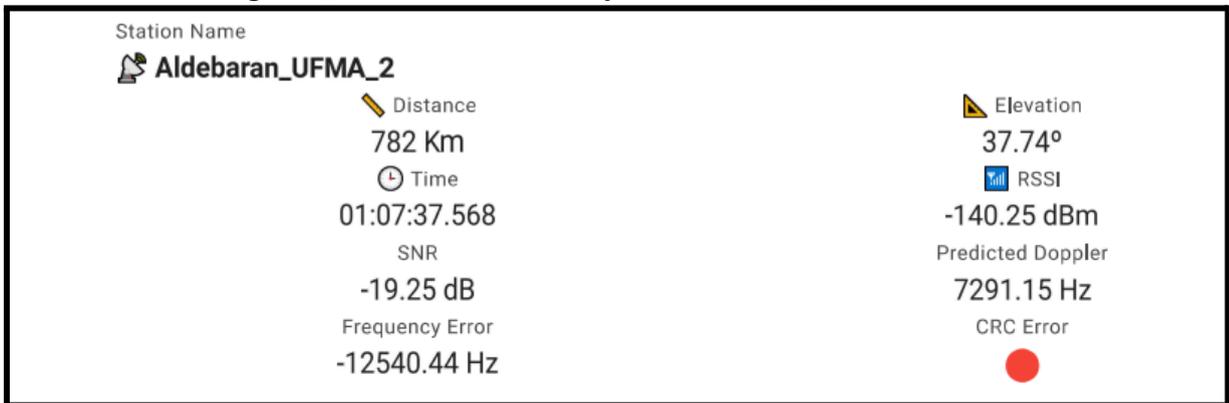
Fonte: TinyGS

Figura 50 – Dados de 17 de janeiro de 2023 às 1:20 PM



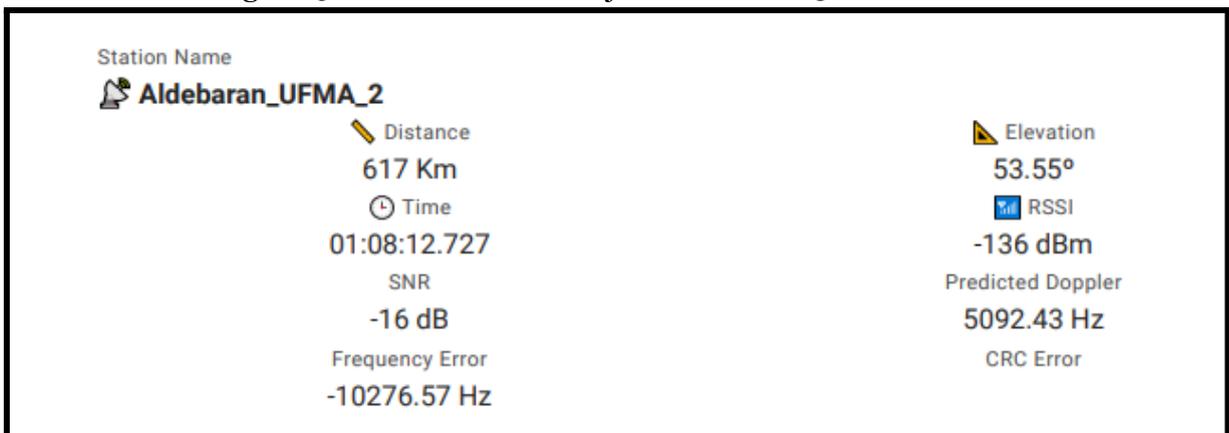
Fonte: TinyGS

Figura 51 – Dados de 18 de janeiro de 2023 às 1:07 AM



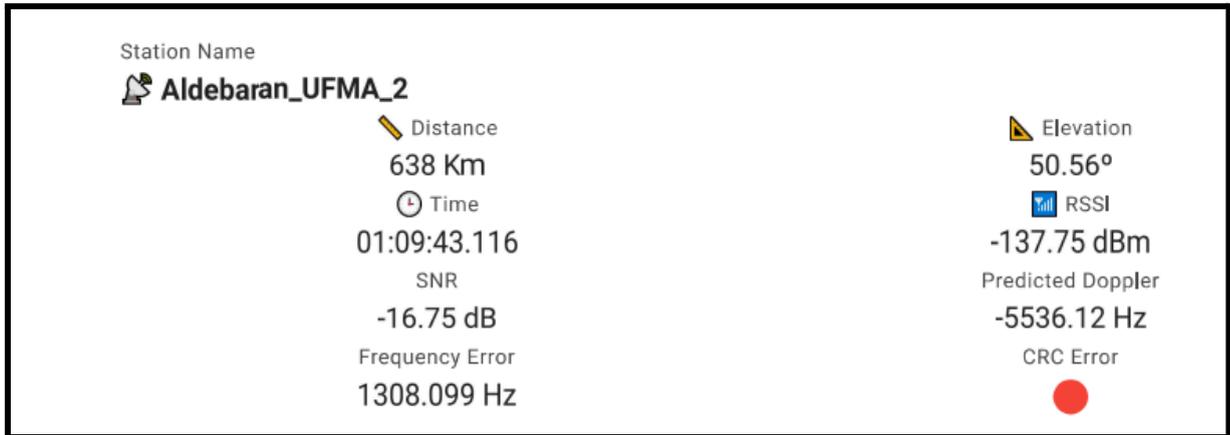
Fonte: TinyGS

Figura 52 – Dados de 18 de janeiro de 2023 às 1:08 AM



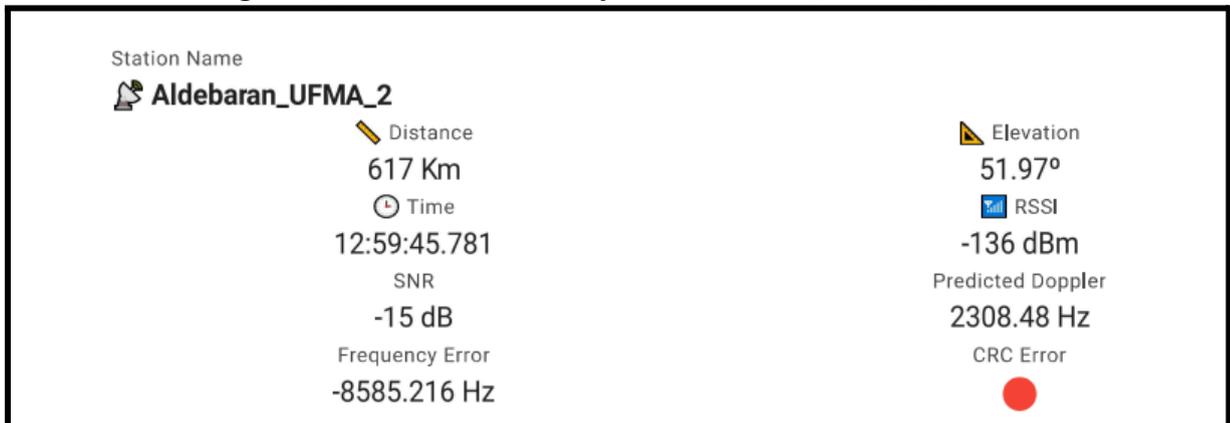
Fonte: TinyGS

Figura 53 – Dados de 18 de janeiro de 2023 às 1:09 AM



Fonte: TinyGS

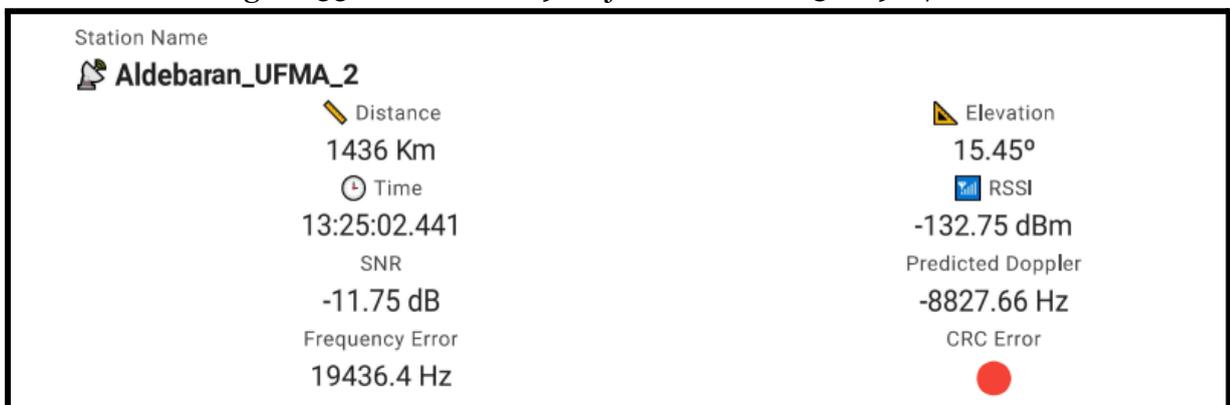
Figura 54 – Dados de 18 de janeiro de 2023 às 12:59 PM



Fonte: TinyGS

❖ Sapling (LoRa 437.4 MHz)

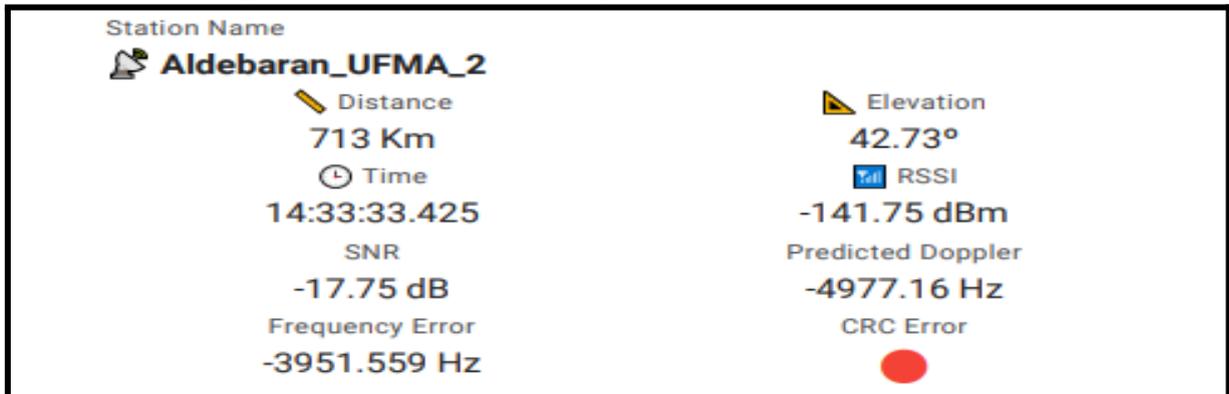
Figura 55 – Dados de 19 de janeiro de 2023 às 9:07 AM



Fonte: TinyGS

❖ **SATLLA-2B (LoRa 437.25 MHz)**

Figura 56 – Dados de 19 de janeiro de 2023 às 10:15 AM



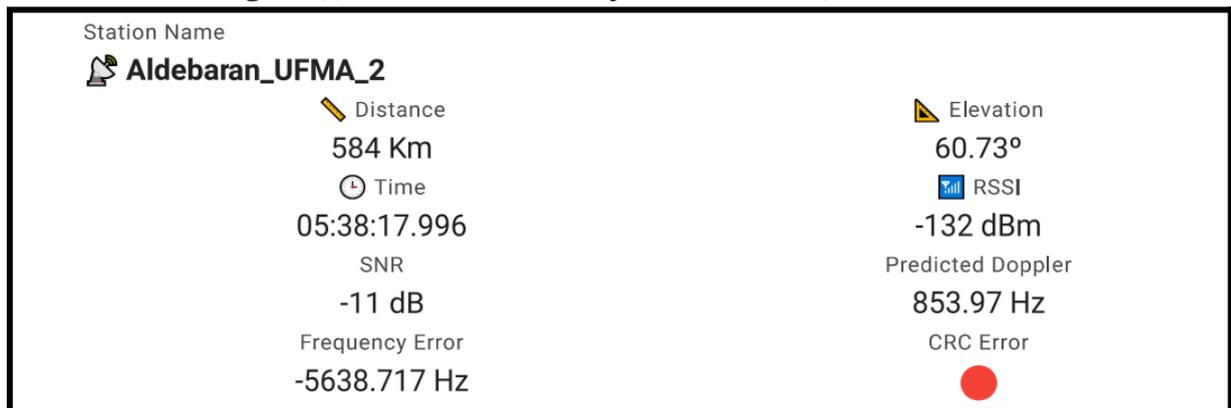
Fonte: TinyGS

APÊNDICE II

Pacotes Recebidos pela antena QHA

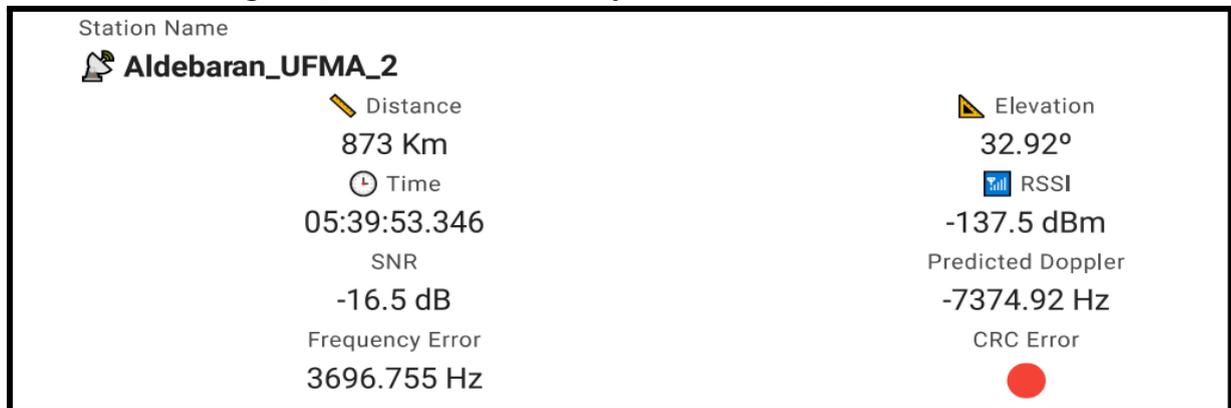
❖ FossaSat-2E8 (LoRa 401.7 MHz)

Figura 57 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 1:20 AM



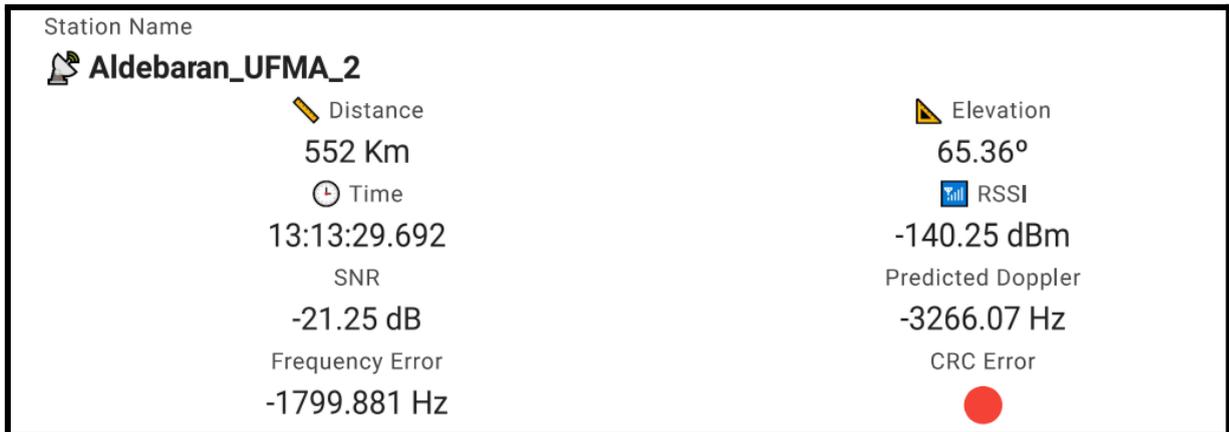
Fonte: TinyGS

Figura 58 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 1:22 AM



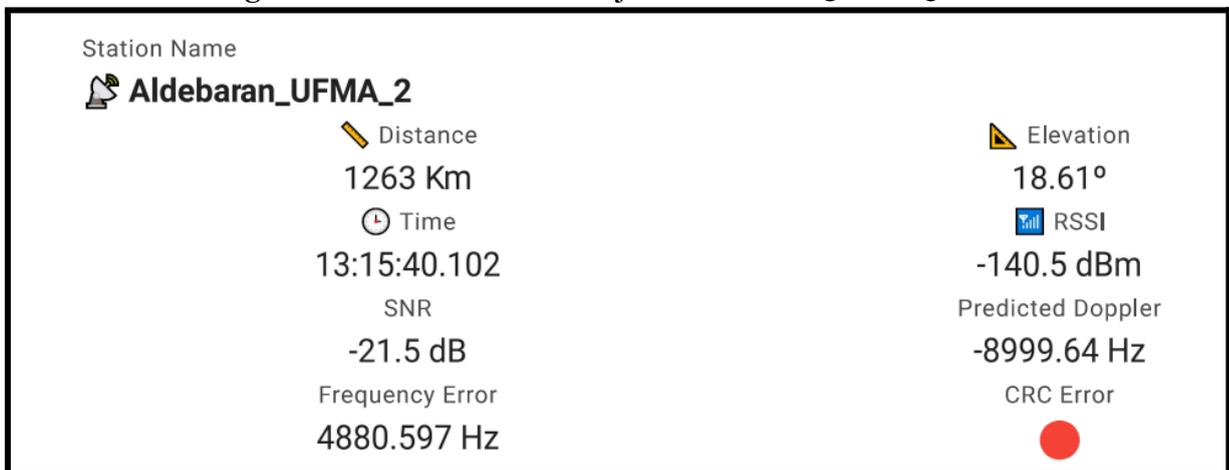
Fonte: TinyGS

Figura 59 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 1:13 PM



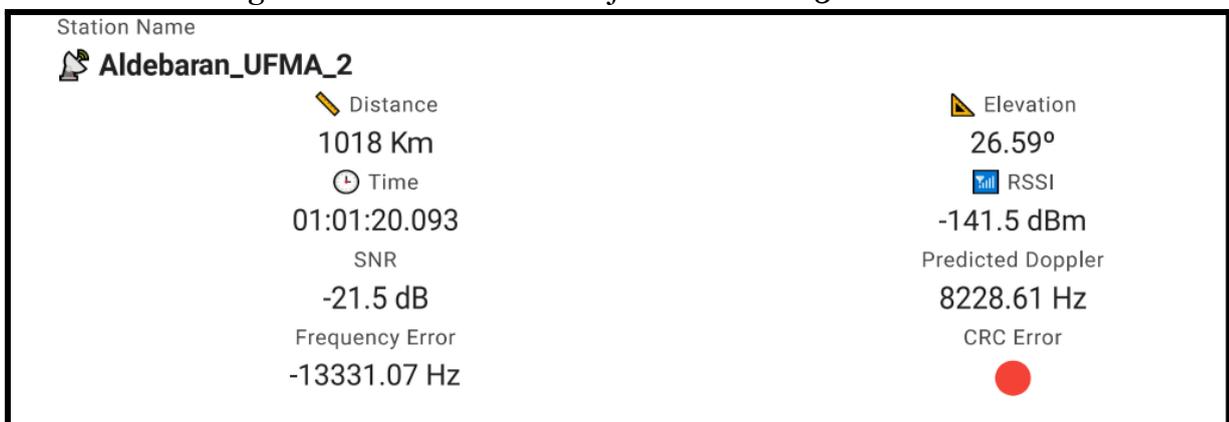
Fonte: TinyGS

Figura 60 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 1:15 PM



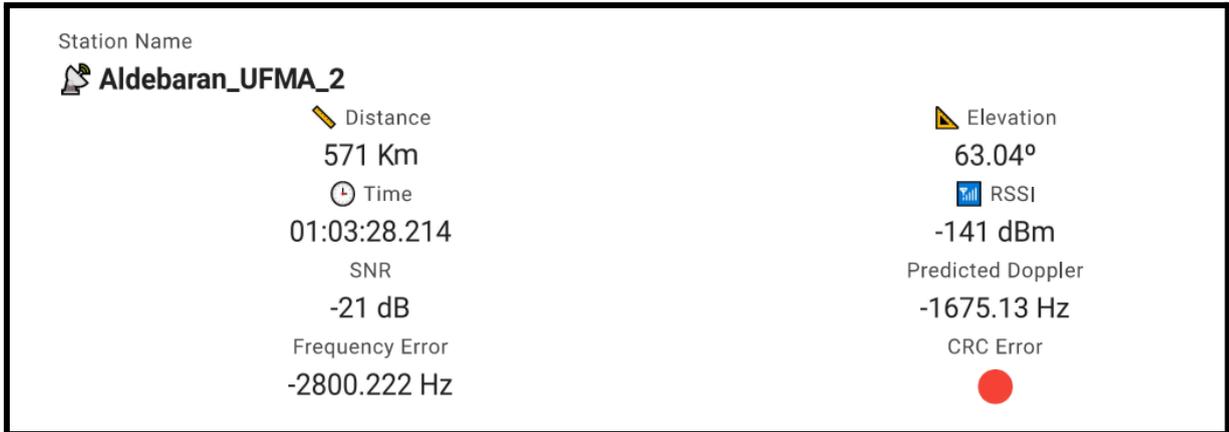
Fonte: TinyGS

Figura 61 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 1:01 AM



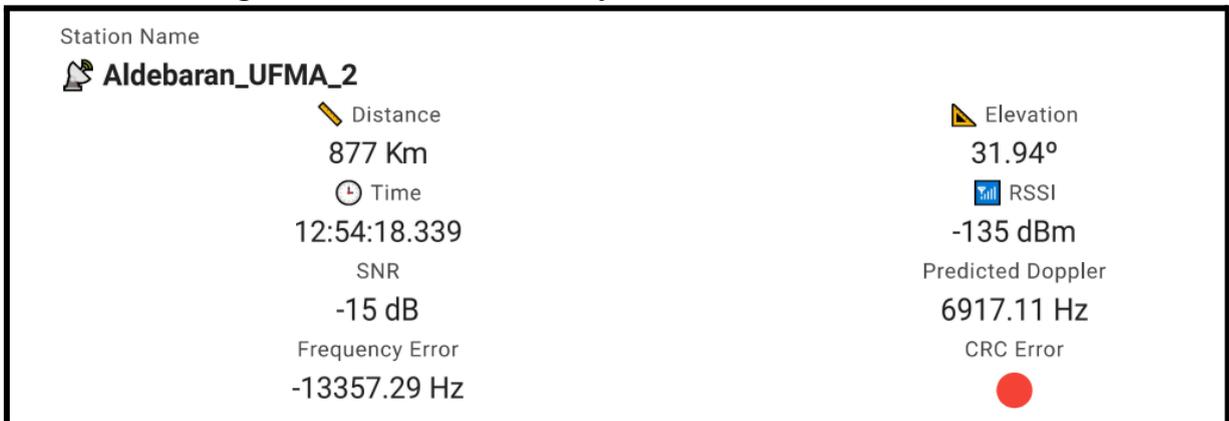
Fonte: TinyGS

Figura 62 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 1:03 AM



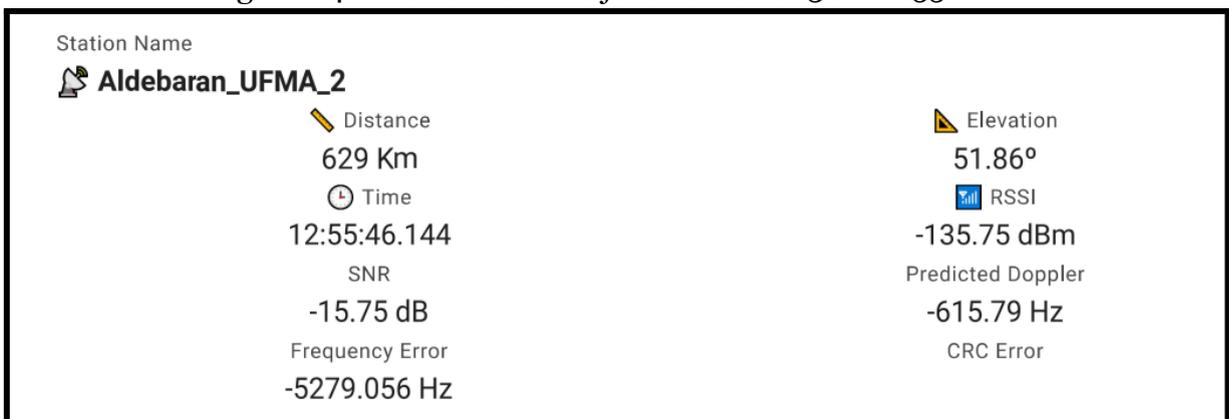
Fonte: TinyGS

Figura 63 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 12:54 PM



Fonte: TinyGS

Figura 64 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 12:55 PM



Fonte: TinyGS

Figura 65 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 12:56 PM

Station Name	
 Aldebaran_UFMA_2	
 Distance	 Elevation
659 Km	48.25°
 Time	 RSSI
12:56:08.755	-136 dBm
SNR	Predicted Doppler
-16 dB	-3036.56 Hz
Frequency Error	CRC Error
-2498.232 Hz	

Fonte: TinyGS

Figura 66 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 12:57 PM

Station Name	
 Aldebaran_UFMA_2	
 Distance	 Elevation
864 Km	32.82°
 Time	 RSSI
12:57:01.452	-136.5 dBm
SNR	Predicted Doppler
-16.5 dB	-6810.54 Hz
Frequency Error	CRC Error
1805.124 Hz	

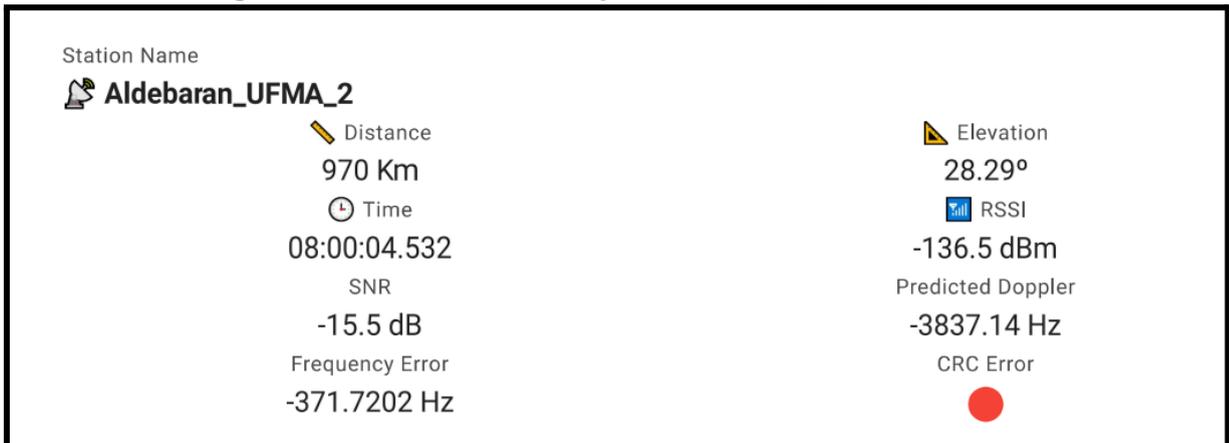
Fonte: TinyGS

Figura 67 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:44 AM

Station Name	
 Aldebaran_UFMA_2	
 Distance	 Elevation
1000 Km	27.20°
 Time	 RSSI
07:58:12.803	-139 dBm
SNR	Predicted Doppler
-17 dB	4426.14 Hz
Frequency Error	CRC Error
-9304.539 Hz	

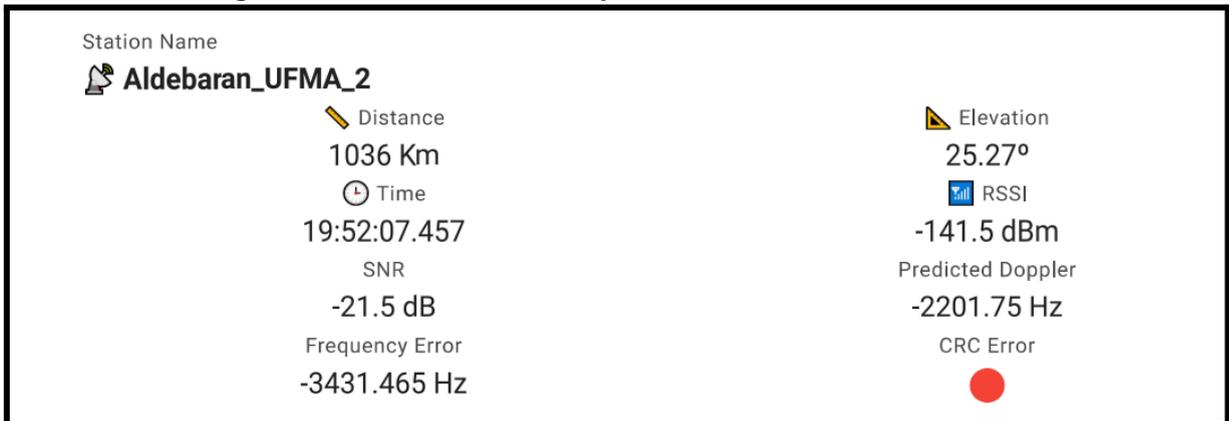
Fonte: TinyGS

Figura 68 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:46 AM



Fonte: TinyGS

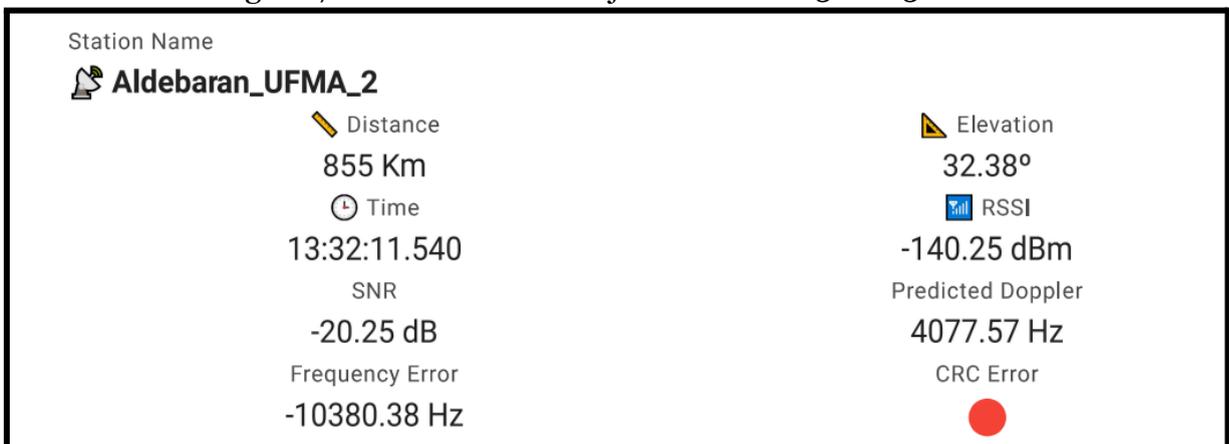
Figura 69 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:38 PM



Fonte: TinyGS

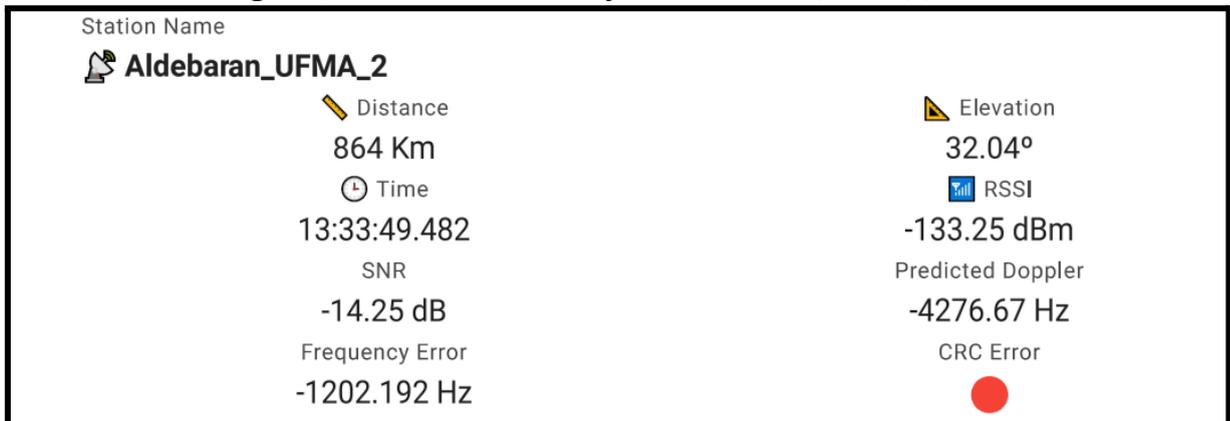
❖ **FossaSat-2E11 (LoRa 401.7 MHz)**

Figura 70 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 1:32 PM



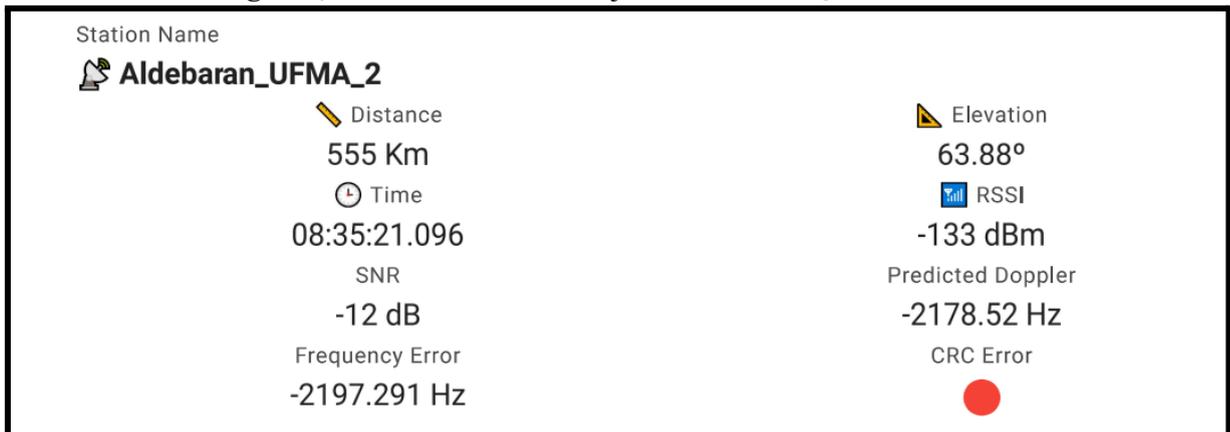
Fonte: TinyGS

Figura 71 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 1:33 PM



Fonte: TinyGS

Figura 72 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 1:21 AM



Fonte: TinyGS

Figura 73 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 1:11 PM



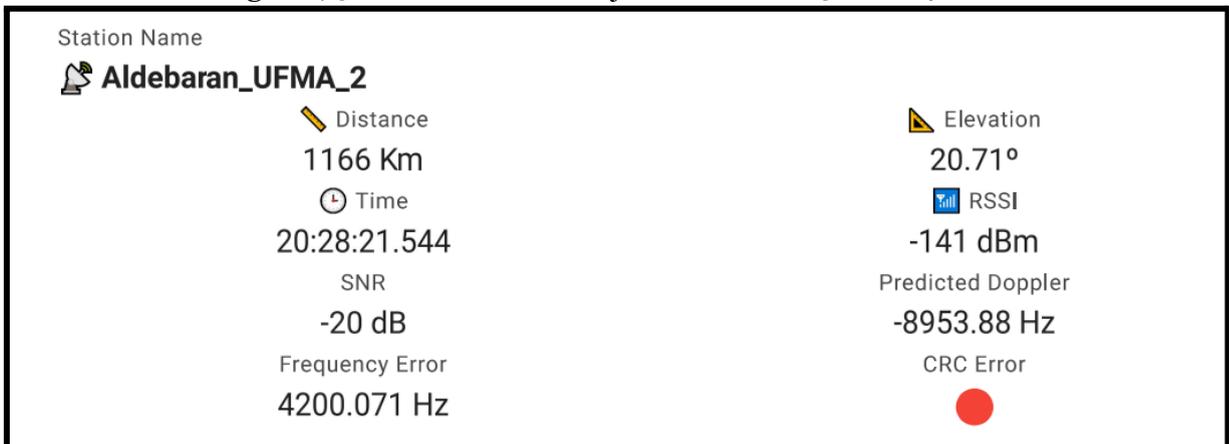
Fonte: TinyGS

Figura 74 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 1:12 PM



Fonte: TinyGS

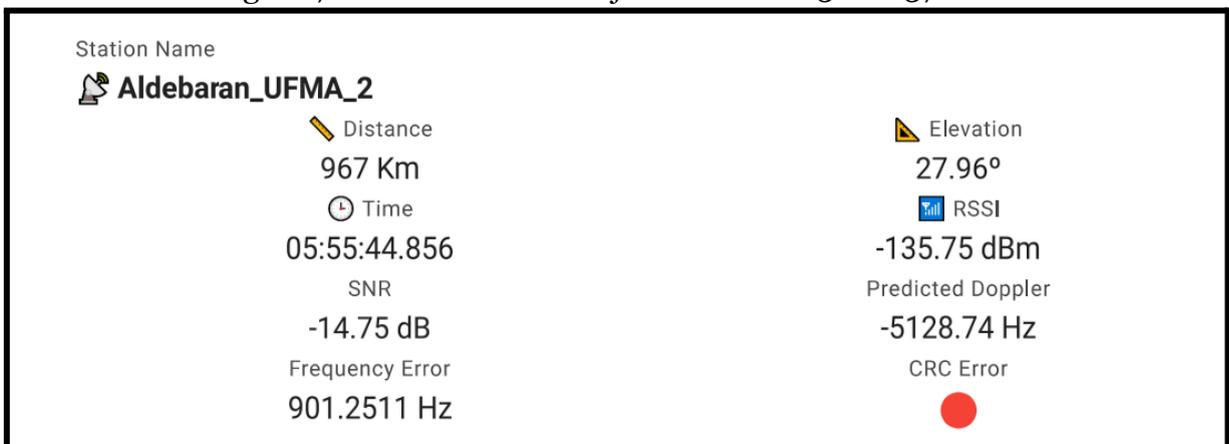
Figura 75 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 1:14 PM



Fonte: TinyGS

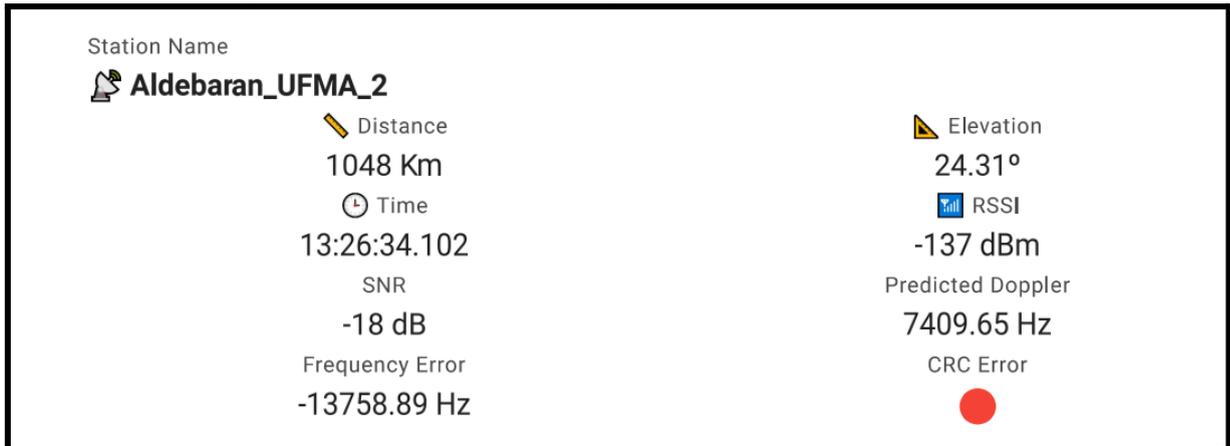
❖ **FossaSat-2E12 (LoRa 401.7 MHz)**

Figura 76 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 1:37 AM



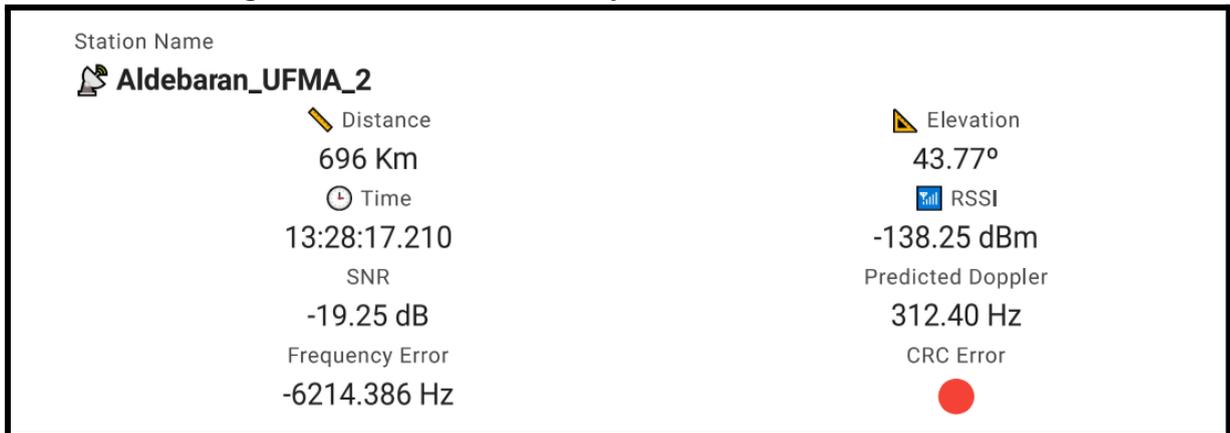
Fonte: TinyGS

Figura 77 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 1:26 PM



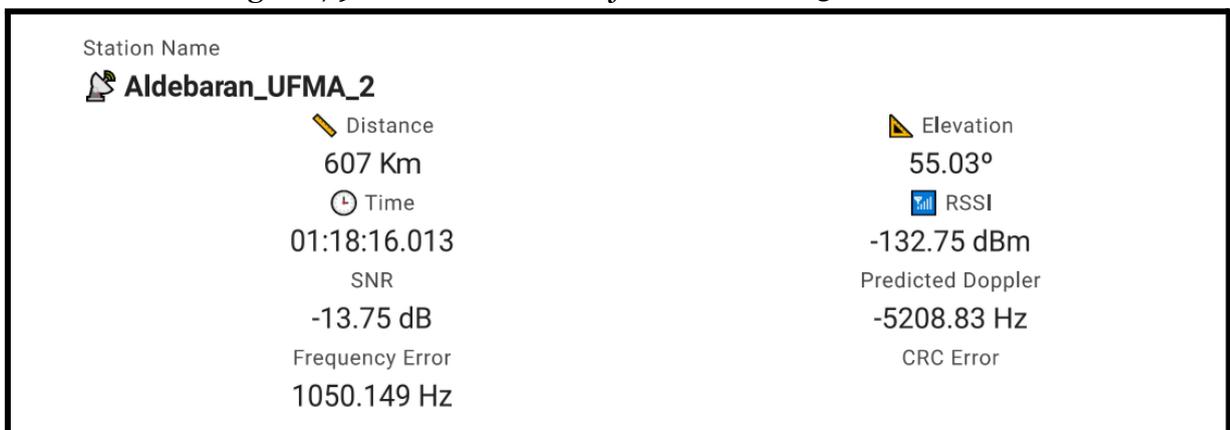
Fonte: TinyGS

Figura 78 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 1:28 PM



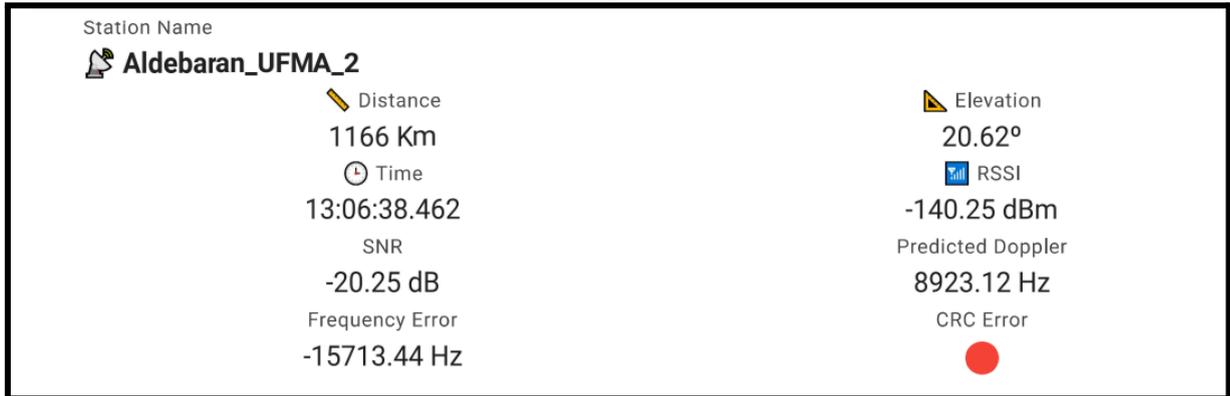
Fonte: TinyGS

Figura 79 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 1:18 AM



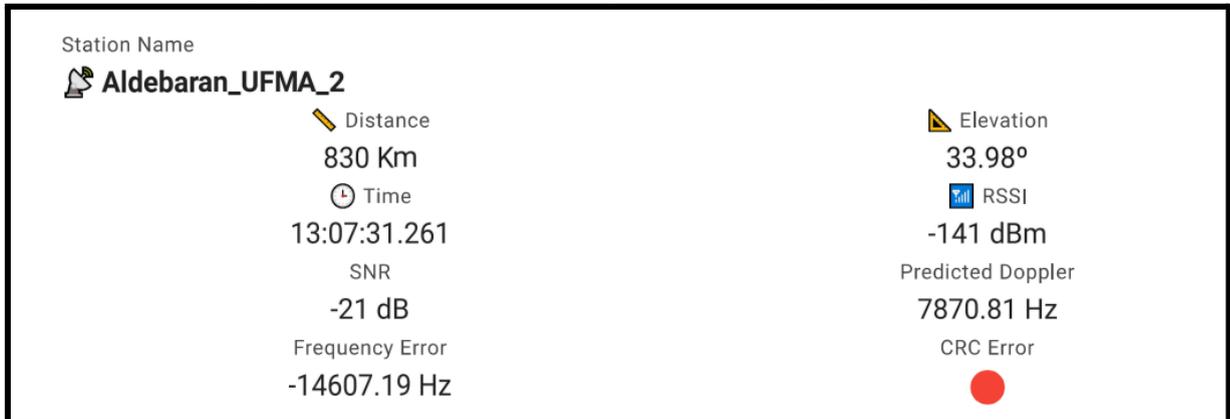
Fonte: TinyGS

Figura 80 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 1:06 PM



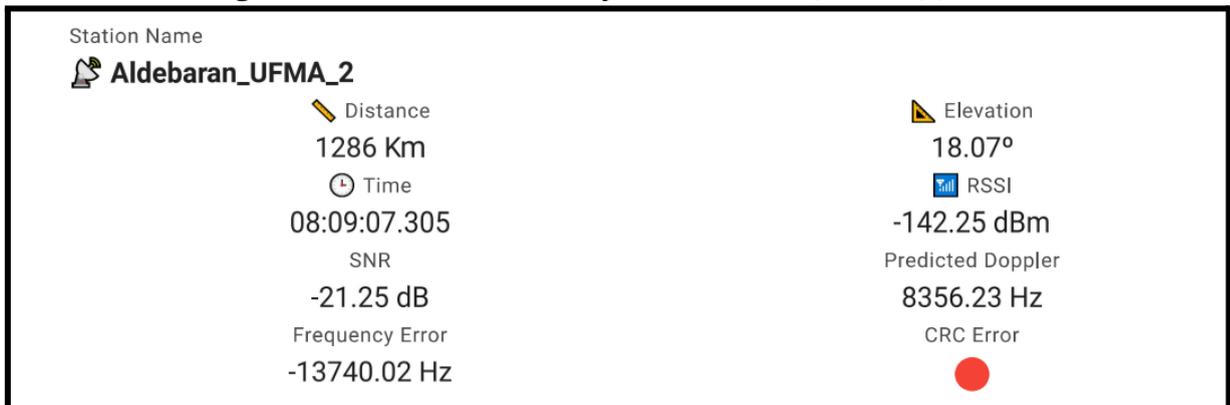
Fonte: TinyGS

Figura 81 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 1:07 PM



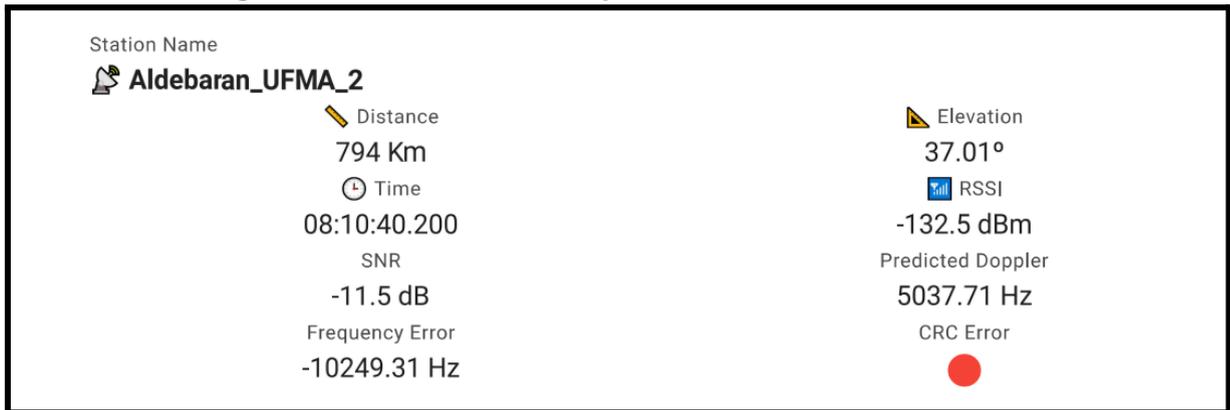
Fonte: TinyGS

Figura 82 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:55 AM



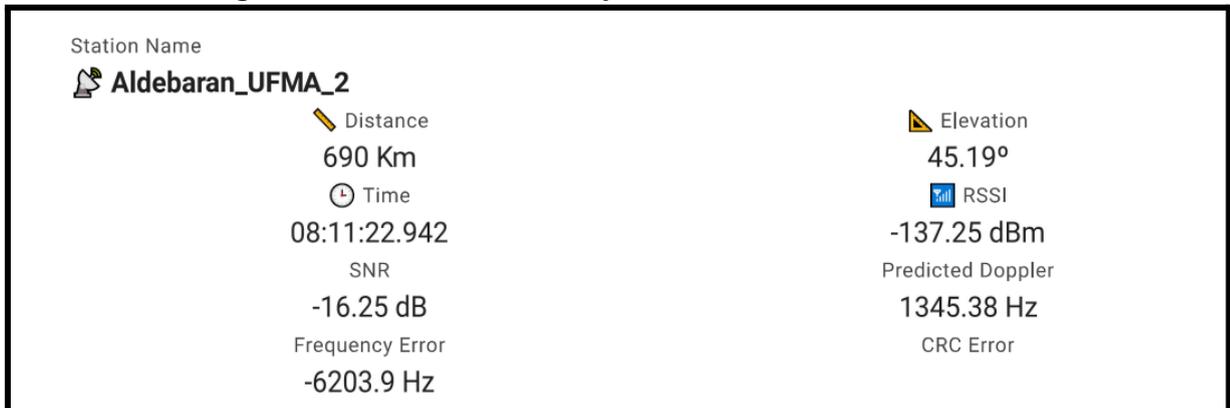
Fonte: TinyGS

Figura 83 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:57 AM



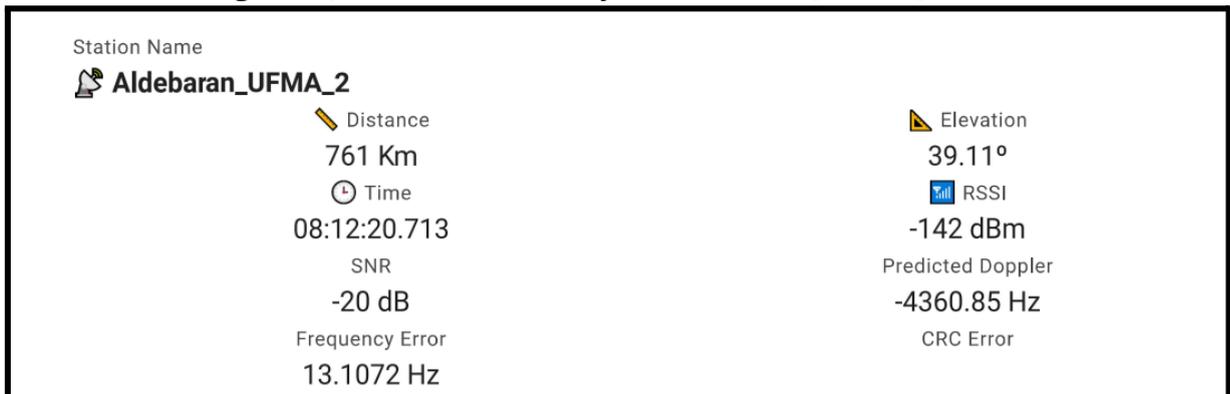
Fonte: TinyGS

Figura 84 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:57 AM



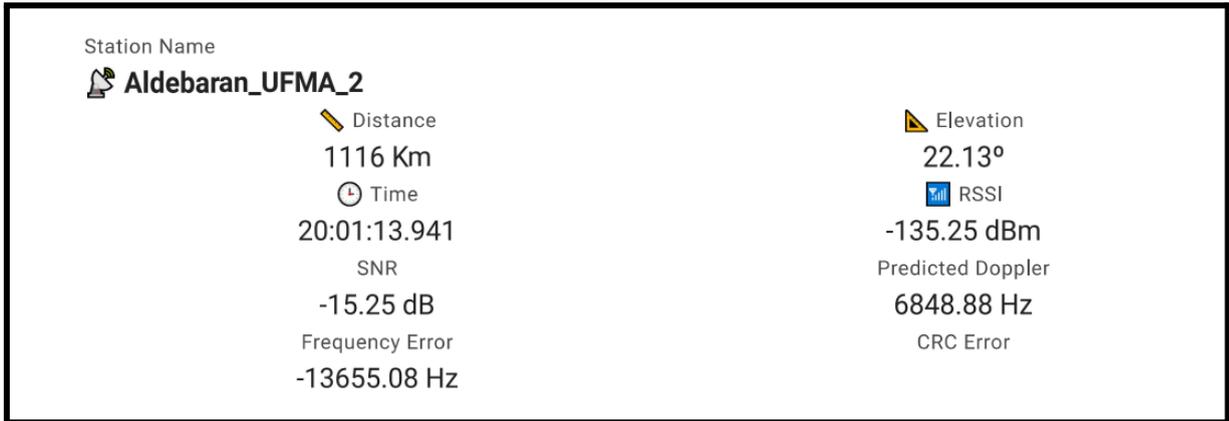
Fonte: TinyGS

Figura 85 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:58 AM



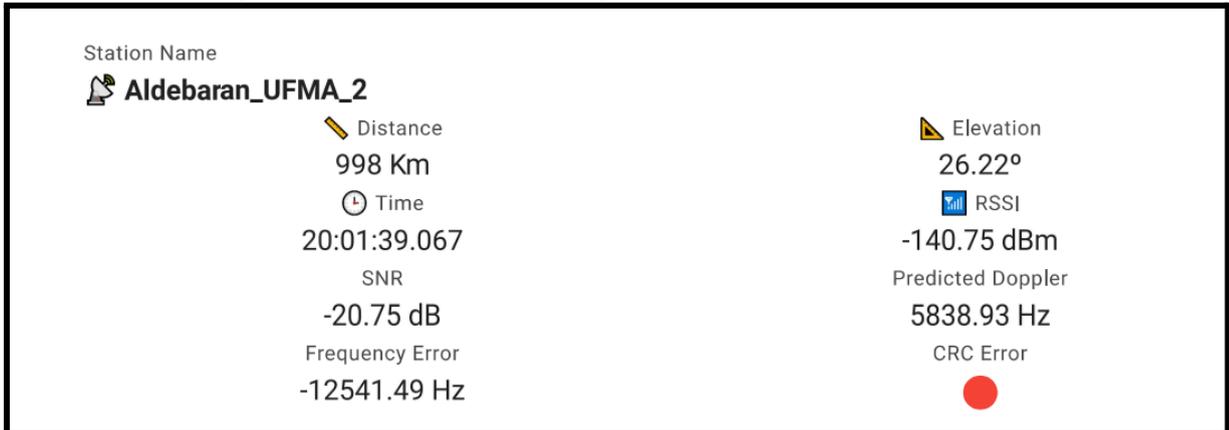
Fonte: TinyGS

Figura 86 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:47 PM



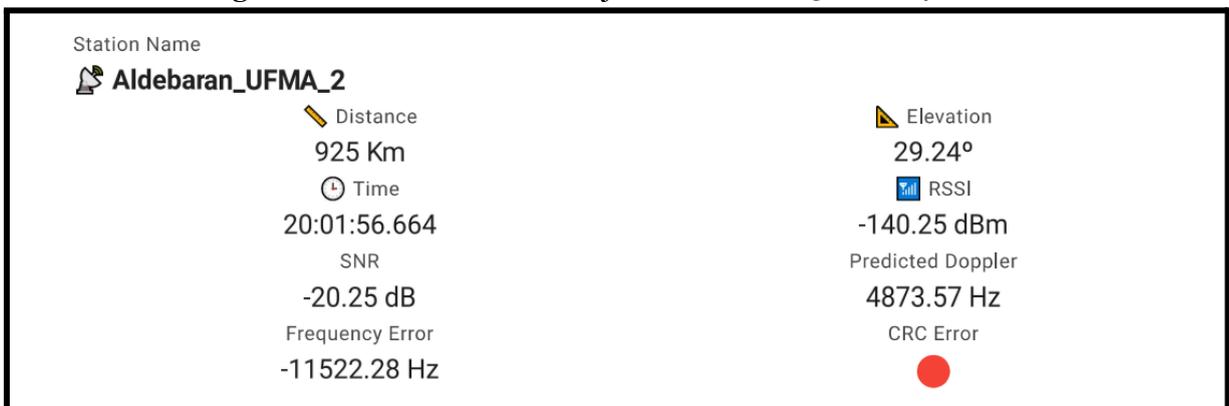
Fonte: TinyGS

Figura 87 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:48 PM



Fonte: TinyGS

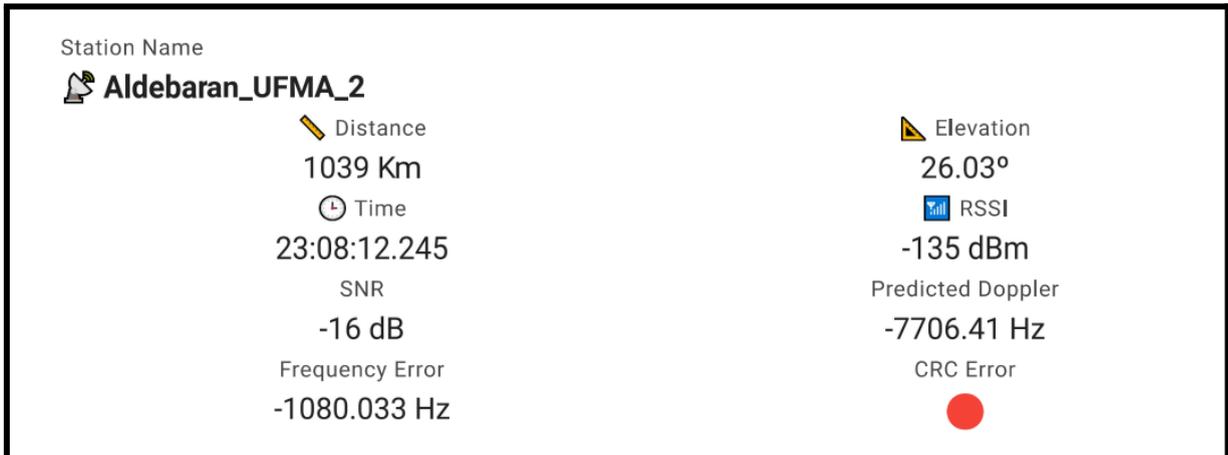
Figura 88 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 12:48 PM



Fonte: TinyGS

❖ **FEES (LoRa 437.2 MHz)**

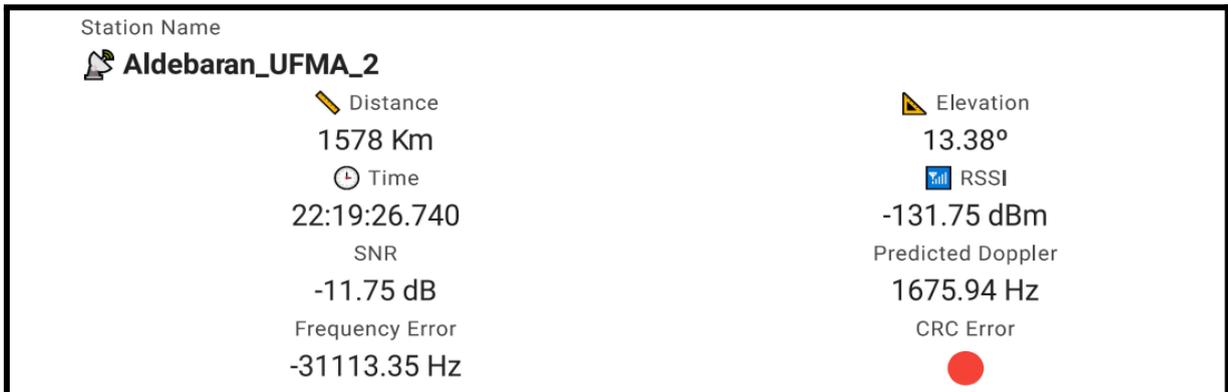
Figura 89 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 11:08 PM



Fonte: TinyGS

❖ **Sapling (LoRa 437.4 MHz)**

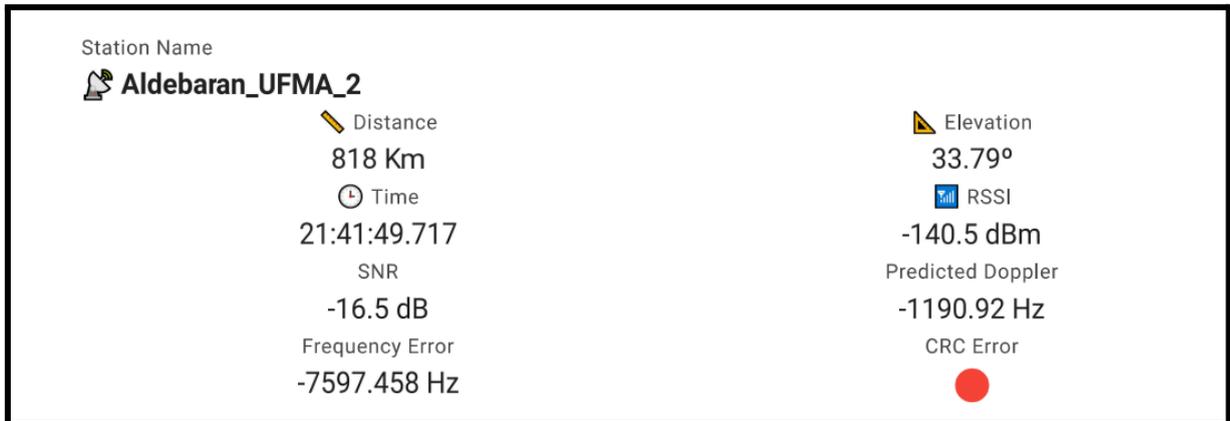
Figura 90 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 10:19 PM



Fonte: TinyGS

❖ **SATLLA-2B (LoRa 437.25 MHz)**

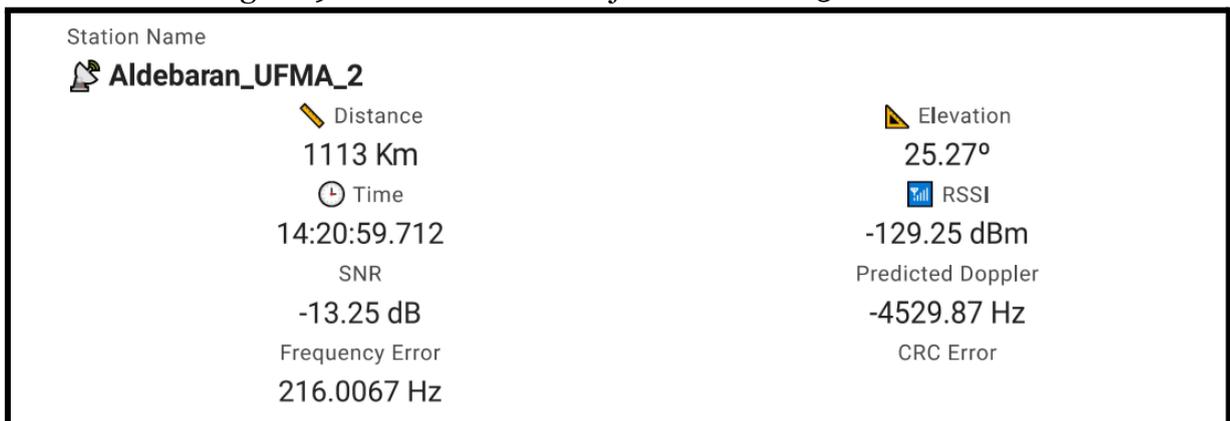
Figura 91 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 9:41 PM



Fonte: TinyGS

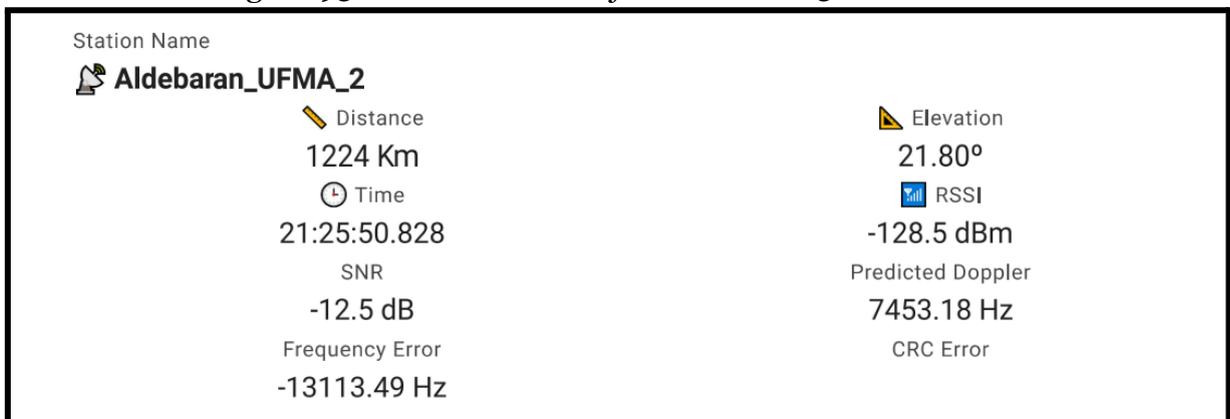
❖ Norby (LoRa 436.703 MHz)

Figura 92 – Dados de 20 de janeiro de 2023 às 2:20 PM



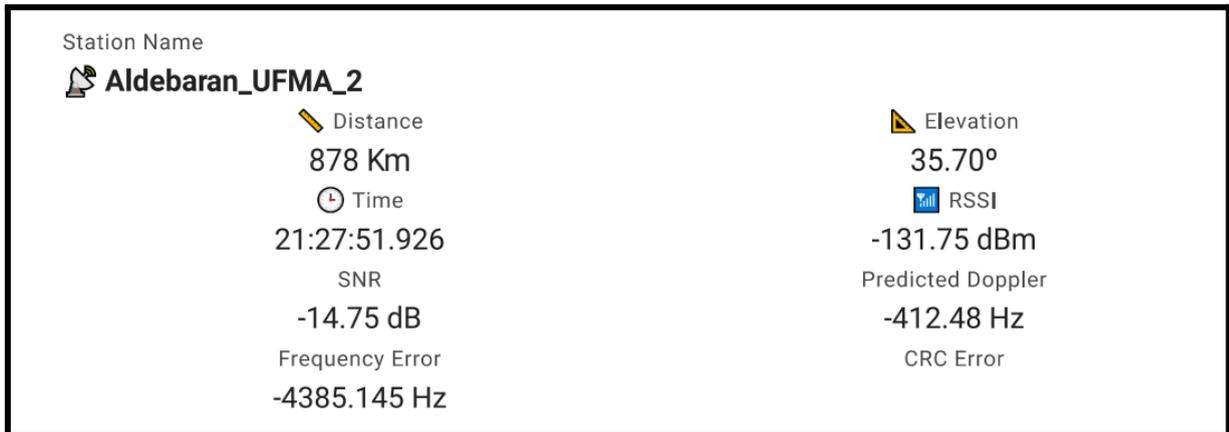
Fonte: TinyGS

Figura 93 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 2:12 PM



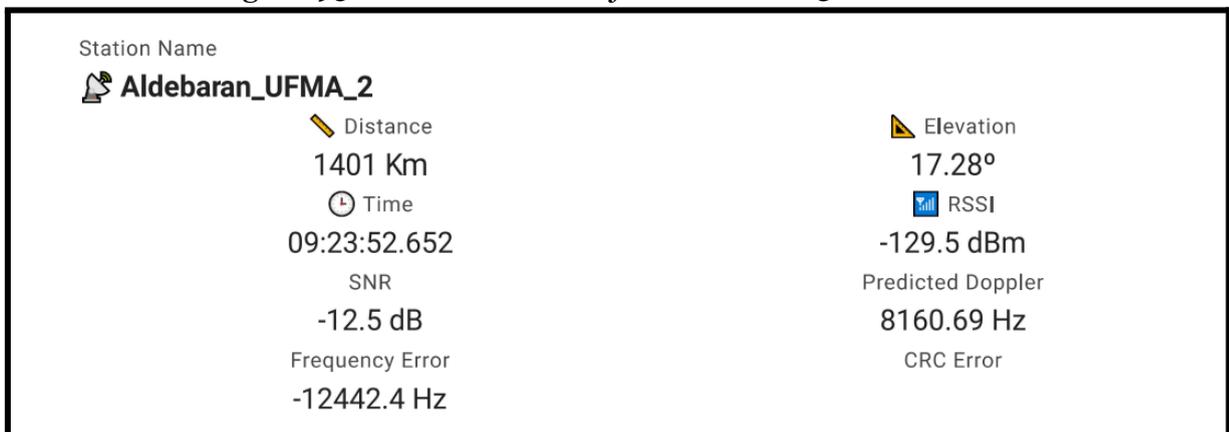
Fonte: TinyGS

Figura 94 – Dados de 21 de janeiro de 2023 às 2:14 PM



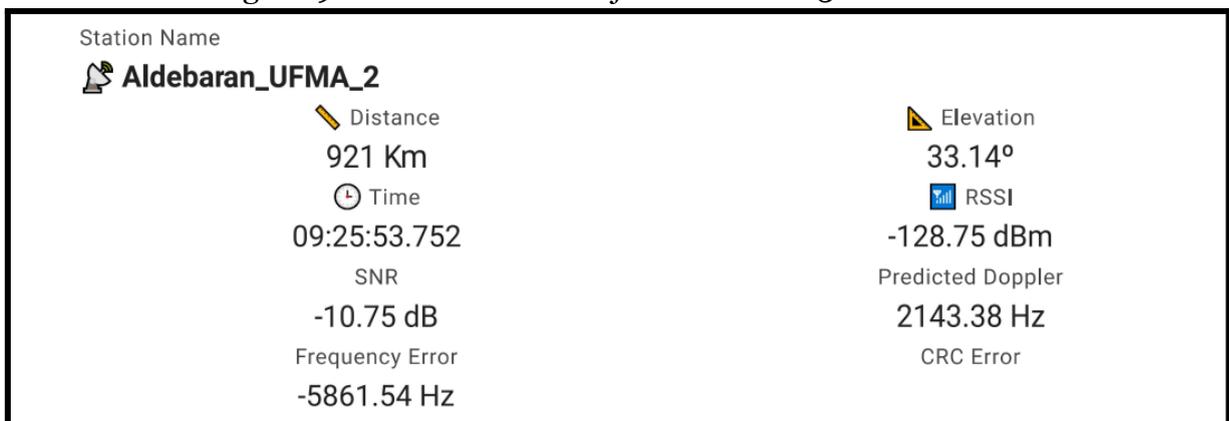
Fonte: TinyGS

Figura 95 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 2:10 AM



Fonte: TinyGS

Figura 96 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 2:12 AM



Fonte: TinyGS

Figura 97 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 2:06 PM

Station Name	
 Aldebaran_UFMA_2	
 Distance	 Elevation
1360 Km	18.32°
 Time	 RSSI
21:19:40.202	-128.5 dBm
SNR	Predicted Doppler
-11.5 dB	8862.05 Hz
Frequency Error	CRC Error
-14619.25 Hz	

Fonte: TinyGS

Figura 98 – Dados de 22 de janeiro de 2023 às 2:08 PM

Station Name	
 Aldebaran_UFMA_2	
 Distance	 Elevation
796 Km	41.14°
 Time	 RSSI
21:21:41.301	-125 dBm
SNR	Predicted Doppler
-8 dB	3246.44 Hz
Frequency Error	CRC Error
-8369.733 Hz	

Fonte: TinyGS

APÊNDICE III

Cronograma do trabalho

Segue abaixo o cronograma de trabalho das atividades realizadas e das que foram executadas até a Avaliação Final de TCC.

Tabela 4 - Cronograma

Atividades				Meses			
		AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN
	1	X					
	2	X	X	X			
	3		X	X	X		
	4					X	X
	5						X

Fonte: Elaborada pelo autor

1. Planejamento;
2. Levantamento Teórico;
3. Construção;
4. Testes;
5. Apresentação.