

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Jorge Paholski Dipp

SINTONIZADOR AUTOMÁTICO DE ANTENA OFFSET
BANDA C, KU, KA

Passo Fundo

2024

Jorge Paholski Dipp

SINTONIZADOR AUTOMÁTICO DE ANTENA OFFSET
BANDA C, KU, KA

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, do Instituto de Tecnologia da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luís Toazza.

Passo Fundo

2024

Jorge Paholski Dipp

Sintonizador automático de antena offset banda C, KU, KA

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, do Instituto de Tecnologia, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luís Toazza.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adriano Luís Toazza- UPF

Prof. Mestre Edson Santos Acco- UPF

Este trabalho é dedicado à minha família especialmente meus pais
Paulo Assis de Oliveira Dipp e Iracema Paholski.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos. Aos amigos, familiares, especialmente pai e mãe, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuiu para a realização deste trabalho. Aos professores, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiaram o meu aprendizado. Aos meus colegas de turma, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso. A todos que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

“Na Engenharia 99% feito é igual a 0, faça as coisas 100% para que se considere concluídas”.

Autor: Ricardo Guidini.

RESUMO

Este trabalho apresenta um projeto que combina servos motores programados e o protocolo USALS para sintonizar vários satélites com uma única antena de forma fácil e eficiente. O sistema é ideal para aqueles que buscam acesso a canais de televisão tanto por assinatura quanto gratuitos e desejam acessar a internet via satélite. Além disso, é recomendado para uso em viagens a lugares remotos, pois permite o alinhamento automático da antena com o satélite desejado a partir de coordenadas pré-programadas no equipamento. Para explicar a integração do sistema proposto, é descrito em detalhes o processo de direcionamento de uma antena, o funcionamento de alguns sinais eletromagnéticos, as funcionalidades de uso, a automação e testes feitos em cada satélite, os erros que podem ser corrigidos e os ajustes posteriores, bem como a apresentação de satélites com abrangência no país e curiosidades. Para a integração do sistema proposto, são necessários uma antena offset de 60 cm ou maior, cabo coaxial, LNB (Low Noise Block Converter) para banda KU e um receptor de televisão digital compatível com o projeto para a obtenção dos dados. A maioria dos ajustes será feita em um eixo horizontal e vertical, movendo-se pelo cinturão de Clarke.

Palavras-chave: Apontamento de antenas, Servos motores, Coordenadas pré-programadas, Protocolo USALS, Direcionamento de antena, Sinais eletromagnéticos, Satélites, Automação, Antena offset.

ABSTRACT

This work This work presents a project that combines programmed servo motors and the USALS protocol to tune multiple satellites with a single antenna easily and efficiently. The system is ideal for those looking for access to both subscription and free television channels and wishing to access internet via satellite. Furthermore, it is recommended for use when traveling to remote places, as it allows the antenna to automatically align with the desired satellite based on pre-programmed coordinates in the equipment. To explain the integration of the proposed system, the process of directing an antenna, the operation of some electromagnetic signals, the functionalities of use, the automation and tests carried out on each satellite, the errors that can be corrected and the adjustments are described in detail. later, as well as the presentation of satellites covering the country and interesting facts. To integrate the proposed system, an offset antenna of 60 cm or larger, coaxial cable, LNB (Low Noise Block Converter) for KU band and a digital television receiver compatible with the project are required to obtain the data. Most adjustments will be made on a horizontal and vertical axis, moving through Clarke's belt.

Keywords: Antenna pointing, Servo motors, Pre-programmed coordinates, USALS protocol, Antenna steering, Electromagnetic signals, Satellites, Automation, Offset antenna.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Órbita Geoestacionária	16
Figura 2: Sergei Korolev, responsável por Sputnik 1	17
Figura 3: Técnicos da NASA trabalhando no Intelsat I antes do lançamento.	19
Figura 4: A cronologia da evolução dos satélites de telecomunicações.	20
Figura 5: Ilustração Brasilsat A1	21
Figura 6: Frota de satélites da Star One em 2003	22
Figura 7: Frota satélites Star One em 2015	23
Figura 8: Comparativo elevação antena	25
Figura 9: Latitude próximo aos tópicos da terra	26
Figura 10: Ângulo de elevação	26
Figura 11: Direcionamento de antenas no sistema polar	27
Figura 12: O campo magnético da Terra	28
Figura 13: Medidor de campo	29
Figura 14: Sinal refletido	31
Figura 15: Frequência de transmissão	32
Figura 16: Outras frequências usadas	33
Figura 17: Diferença antenas	35
Figura 18: Canais no Star One D2 em 70w	37
Figura 19: Canais circular satélite SES6	37
Figura 20: Tipos de polarização	38
Quadro 1: Cálculos do diâmetro da antena para a banda KU	41
Figura 21: Satélites com sinal no Brasil (1)	42
Figura 22: Satélites com sinal no Brasil (2)	43
Figura 23: Satélites com sinal no Brasil (3)	44
Figura 24: Satélites com sinal no Brasil (4)	45
Figura 25: Mapa de cobertura Star One C2 banda KU, Brasil.	46
Figura 26: LNB com placa despolarizadora.	50
Figura 27: Despolarização skew	51
Figura 28: Ajuste skew	52
Figura 29: Antena em uma área remota	56
Figura 30: Antena Offset montada	57
Figura 31: Sensor HMC5883L	58

Figura 32: Placa TM4C123GXL	59
Figura 33: Motor de posicionamento	60
Figura 34: Motor e componentes	60
Figura 35: Imagem equipamentos necessários	61
Figura 36: Antena com ajustes para o projeto	62
Figura 37: Chave DiSEqC	63
Figura 38: Motores 1 e 2 e suas posições no projeto	64
Figura 39: Configuração do receptor	66
Figura 40: Configurando coordenadas no aparelho	67
Figura 41: Satlex.com cálculos posição satélites	68
Figura 42: Estrutura do projeto	70
Figura 43: Circuito de controle motores	71
Figura 44: Chave Micro Switch NA 250V 16A KW11-7	72
Figura 45: Posicionamento de algumas chaves de final de curso	73
Figura 46: Alinhamento satélites de referência	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de satélites	76
Tabela 2: Perda de sinal por desalinhamento	80
Tabela 3: Velocidade de sintonia	81

LISTA DE SIGLAS

USALS - Universal Satellites Automatic Location System

FTA – Free to Air (aberto para recepção através de antenas)

LNB - Low Noise Block Converter (conversor de baixo ruído)

ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações

EAF - Entidade Administradora da Faixa

TWT - Traveling-Wave Tube (tubo de ondas progressivas)

FIT - Failure In Time (falha em tempo)

ITSO - International Telecommunication Satellite Organization (INTELSAT)

COMSAT – Communications Satellite Corporation

DSCS - Defense Satellite Communications System

FLTSATCOM - Fleet Satellite Communications System

AFSATCOM - Air Force Satellite Communication System

EIRP - Effective Isotropic Radiated Power (Potência isotrópica efetiva irradiada)

GPS - Global Positioning System

TP - Transponder

FEC - Forward Error Correction

DiSEqC - Digital Satellite Equipment Control

CI - Circuito Integrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTO.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 HISTÓRIA GERAL	15
2.1.1 HISTÓRIA NO BRASIL	20
2.2 ELEVAÇÃO DA ANTENA	24
2.2.1 AZIMUTE	27
2.2.2 RETOQUES	31
2.3 COMO FUNCIONA A BANDA DE TRANSMISSÃO.....	33
2.3.1 BANDA KU	34
2.3.3 BANDA C	34
2.3.2 BANDA KA	36
2.4 TIPOS DE SINAIS E POLARIZAÇÃO	36
2.4.1 SINAL E POTÊNCIA	39
2.4.2 SATÉLITES QUE TRANSMITEM SOBRE O BRASIL.....	42
2.4.3 NÍVEIS DE SINAL	46
2.4.4 (EIRP) POTÊNCIAISOTRÓPICA IRRADIADA	47
2.5 EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS	47
2.5.1 ANTENAS RECOMENDADAS	47
2.5.2 RECEPTOR RECOMENDADO.....	47
2.6 CANAIS FTA, CODIFICADOS.....	48
2.7 LNB/LNBF.....	49
2.7.1 POLARIZAÇÃO CIRCULAR.....	49
2.7.2 SKEW.....	50

2.8 VANTAGENS E AS DESVANTAGENS	54
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	57
3.1 HARDWARE	61
3.2 ESTRUTURA MECÂNICA / PROTÓTIPO	62
3.3 FIRMWARE/ SOFTWARE.....	67
3.4 CIRCUITO ELÉTRICO	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1 DADOS OBTIDOS	75
4.2 AJUSTES MANUAIS.....	78
4.3 TEMPO DE SINTONIA	80
4.4 ALINHAMENTO.....	81
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS	84
APÊNDICE A	90
APÊNDICE B.....	91
APÊNDICE C	92
APÊNDICE D	94
APÊNDICE E.....	97

1 INTRODUÇÃO

A transmissão de sinais via satélite é essencial para diversos setores de telecomunicações. Contudo, a instalação e o ajuste manual de antenas para direcionamento a satélites específicos representam um desafio que demanda habilidades especializadas. Para resolver esse problema, foi desenvolvido um projeto de automatização de antenas, que permite o ajuste automático para localizar e rastrear o satélite desejado. Essa tecnologia simplifica a instalação e a operação das antenas, tornando o acesso aos serviços de telecomunicações mais fácil e conveniente para os usuários. Este trabalho apresenta uma análise detalhada da tecnologia de transmissão via satélite e destaca a importância das antenas automatizadas. São discutidos aspectos técnicos e práticos relacionados à instalação e operação dessas antenas, bem como suas vantagens e desvantagens em comparação com outras tecnologias de comunicação. (Electricity,2024)

1.1 CONTEXTO

Na atualidade, a transmissão via satélite é amplamente empregada por emissoras de televisão e rádio para a cobertura de grandes eventos mundiais, como a Copa do Mundo e as Olimpíadas, que atraem milhões de telespectadores em todo o planeta. Para garantir a qualidade da transmissão, é fundamental que profissionais e equipamentos sejam preparados com cuidado e atenção aos detalhes. (Briskcon,2022) Dessa forma, é possível assegurar a estabilidade e a confiabilidade da conexão via satélite, bem como a entrega de imagens e sons de alta definição aos telespectadores em todo o mundo. Embora muitos usuários não estejam cientes de todos os recursos disponíveis gratuitamente. Este trabalho apresenta a história da tecnologia de transmissão via satélite, incluindo o direcionamento e fatores que afetam a qualidade do sinal, serão discutidas as vantagens da automação de antenas e como pode melhorar a experiência do usuário. (Briskcon,2022)

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste projeto busca automatizar o processo de recepção e direcionamento automático de antena para captação de canais de televisão via satélite, tornando-o acessível para uso doméstico e mais fácil, além de rápido e preciso, eliminando a necessidade de posicionamento manual.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com base em pesquisas e testes realizados, foi constatado que a captação de canais de televisão via satélite é uma alternativa viável para quem busca uma maior variedade de programação. No entanto, os equipamentos disponíveis comercialmente para direcionamento automático de antenas são limitados e caros, tornando-os mais acessíveis apenas para uso profissional. O projeto tem como objetivo aumentar a funcionalidade da antena, permitindo a captura de vários satélites com sinal direcionado para o Brasil. Os testes realizados em emissoras de rádio e televisão de canais abertos sem codificação, permitindo a visualização desses canais sem nenhum custo adicional. O projeto visa integrar as funcionalidades em um único equipamento, reduzindo a necessidade de espaço e tornando a manutenção mais acessível.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esse capítulo serve para a apresentação de conceitos básicos, história, e fatos que agregam no entendimento sobre o projeto, de como funciona uma antena via satélite, como receber o sinal, e por que automatizar.

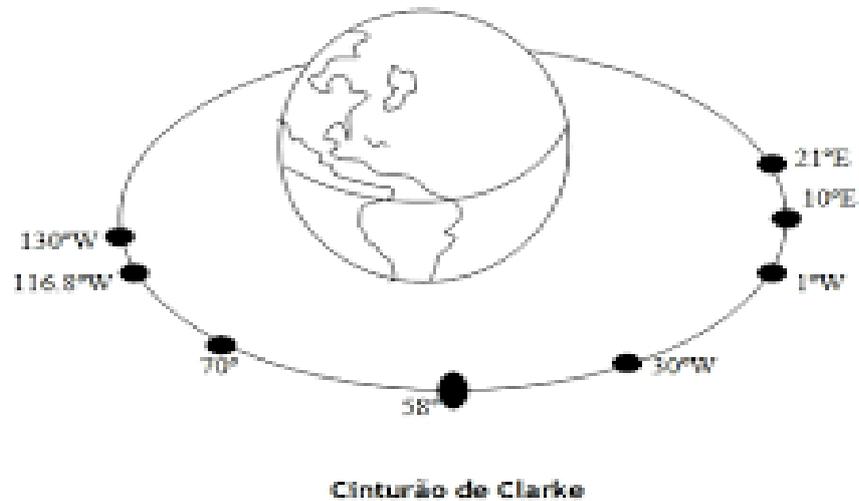
2.1 HISTÓRIA GERAL

Na obra "Extra-Terrestrial Relays" (1945), publicado na revista *Wireless World* em 1945, o escritor Arthur C. Clarke já imaginava a possibilidade de usar satélites artificiais como estações para criar uma rede de comunicação mais ampla. Clarke sugeriu que três satélites geoestacionários em órbita equatorial poderiam fornecer cobertura global de comunicação para o mundo inteiro. Anos após sua ideia, em homenagem à sua visão extraordinária, o cinturão onde estão posicionados os satélites geoestacionários passou a ser conhecido como Cinturão de Clarke.¹

Esse posicionamento permite que esses satélites permaneçam em uma posição fixa em relação à superfície da Terra, o que possibilita uma cobertura global e uma conexão confiável em diversas frequências, tornando a tecnologia via satélite uma opção viável e essencial em muitas áreas. A história da transmissão via satélite tem suas raízes em 1957, quando os Estados Unidos desenvolveram essa tecnologia para fins militares. Com o passar dos anos, outros países também começaram a explorar a ideia de uma comunicação mundial quase em tempo real, e foi aprimorada para uso em diversas áreas, como pesquisa, fotografias aéreas, controle de aviões e navios, entre outras. Na Figura 1, a seguir é possível ver como são posicionados os satélites geoestacionários no cinturão de Clark.

¹ REFERÊNCIAS: CLARKE, Arthur C. *Extra-Terrestrial Relays*. *Wireless World*, out. 1945. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/156101a0>. Acesso em: 26 fev. 2023.

Figura 1: Órbita Geoestacionária



Fonte: astronoo.com.

A história da tecnologia de amplificadores de micro-ondas usados em satélites de telecomunicações tem suas raízes na invenção do tubo de ondas viajantes em 1932 por Andrei Haeff, adaptado por Rudolf Kompfner em 1942 na Inglaterra, tornando-se conhecido como Traveling-Wave Tube (TWT) ou tubo de ondas progressivas (INTELSAT, 2022).

O TWT tornou-se uma tecnologia comercialmente viável, permitindo a produção de amplificadores potentes com centenas de watts e alta frequência. Devido à sua eficiência elétrica muito boa (até 70%), robustez (operação a mais de 200 °C), confiabilidade (aproximadamente 100 FIT, significado no próximo parágrafo) e longevidade, com vida útil contínua superior a 15 anos, seu uso é particularmente adequado como amplificador de bordo em satélites de telecomunicações (PARTRIDGE, 2014).

FIT significa "Failure In Time" (falha em tempo). É uma medida de confiabilidade usada para estimar a taxa de falhas em componentes eletrônicos, como transistores, amplificadores e outros dispositivos. Um FIT representa uma falha em um bilhão de horas de operação. Por exemplo, um dispositivo com uma taxa de falha de 10 FITs falhará, em média, a cada 100

milhões de horas de operação, são frequentemente usados na indústria aeroespacial e de defesa, onde a confiabilidade é fundamental para o sucesso das missões.²

Embora o TWT tenha sido historicamente utilizado para amplificação de sinais de baixo ruído de fundo, hoje facilmente realizada por transistores com baixo ruído, ele ainda é amplamente utilizado para a recepção de sinais via satélite, com recepção focal (FRWIKI, 2021).

Em 1946, a Força Aérea dos Estados Unidos financiou o primeiro projeto de estudos sobre a viabilidade da transmissão via satélite (Rohrer, 1999). No mesmo ano, várias experiências foram realizadas, incluindo o Projeto Diana, que usou a Lua para refletir sinais de radar transmitidos da Terra. No entanto, a União Soviética se tornou a primeira a lançar um satélite artificial, o Sputnik 1, em 1957 (Launius, 2018).

Os avanços realizados pelos soviéticos na produção de mísseis, foguetes e satélites foram liderados pelo cientista Sergei Korolev, que trabalhou em projetos para o governo soviético a partir de 1946 (Asif, 2018). Korolev representado na Figura 2, é considerado um dos principais responsáveis pelo lançamento do Sputnik 1 e também pelo desenvolvimento de grandes projetos, como o que permitiu a transmissão de TV ao vivo globalmente (Gatland, 1983).

Figura 2: Sergei Korolev, responsável por Sputnik 1



Fonte: Escola Kids.2022

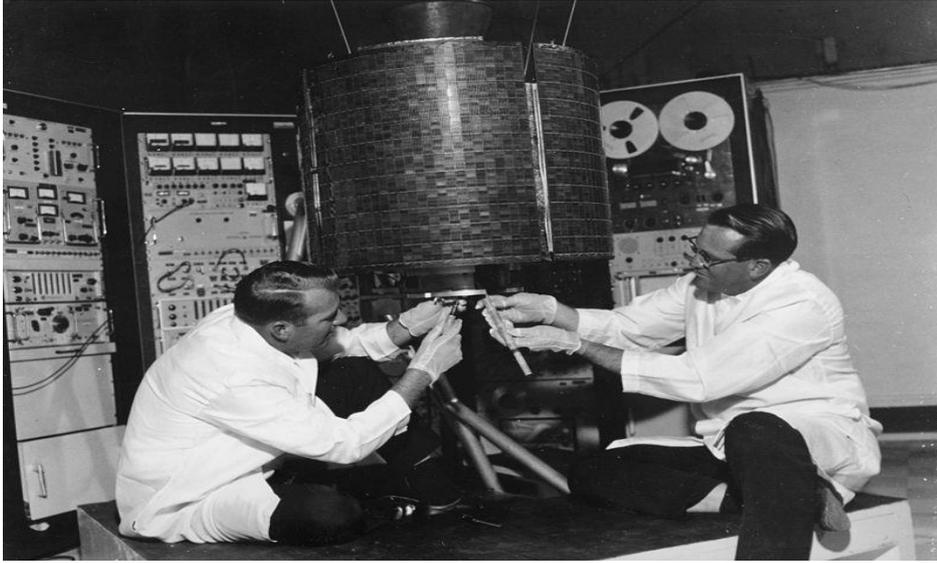
² Referência: "Reliability Prediction - A Continued Learning Guide" - Accendo Reliability. Disponível em: <https://accendoreliability.com/reliability-prediction/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

Após os primeiros anos do seu desenvolvimento, as transmissões tinham tempo limitado, raras eram as imagens ao vivo. Transmitida de Manhattan e da Ponte de São Francisco, eram algumas transmissões em tempo real, para teste, chegavam tremidas ao televisor e em preto e branco, com qualidade muito inferior à imagem cristalina, das atuais, mas na época era sensacional, a impressão de estar assistindo a um acontecimento do outro lado do mundo em tempo real. Com transmissões durante 24 horas, atualmente, nem se compara aos restritos, 30 minutos para se comunicar, esses problemas ocorriam, devido à baixa órbita do satélite. A partir do protótipo com aprimoramentos, ao passar dos anos foram lançados milhares de satélites na órbita terrestre, desde o começo da década de 60, a maioria para fins militares e científicos. (DW, 2022)

Em 1958, foi enviado para o espaço, EXPLORER I, que transmitiu sinais de telemetria até o meio do ano. A primeira transmissão feita da Terra-Satélite-Terra (modo que é utilizado atualmente) ocorreu em dezembro de 1958, com a transmissão de mensagens de natal feitas pelo satélite SCORE. O primeiro satélite que funcionou como repetidor foi TELSTAR I, lançado em julho 1962 que operou apenas um ano, seguindo a cronologia, o primeiro satélite geostacionário, em uma posição fixa no espaço, foi o SYNCOM I, lançado em fevereiro de 1963, porém esse satélite foi perdido ao ser colocado em órbita. Em julho de 1963, o SYNCOM II foi lançado com sucesso, sobre o Oceano Índico, agosto de 1964, foi a vez do SYNCOM III foi colocado sobre o Oceano Pacífico. (TECHTUDO,2013)

O primeiro satélite global de comunicação, foi posto em órbita geostacionária pela ITSO (International Telecommunication Satellite Organization) que ficou conhecida como INTELSAT, e na época pertencia à NASA, foi lançado em 6 de abril de 1965, chamado Intelsat 1 (representado na Figura 3), e construído pela Hughes Aircraft Company para a Communications Satellite Corporation (COMSAT). Apelidado Early Bird (traduzindo é que tem o hábito de levantar cedo, ou seja, “madrugador”) poderia retransmitir comunicações de telefone, TV, telégrafo e fax, tornou-se o primeiro satélite a fornecer comunicações diretas e quase instantâneas entre, Estados Unidos da América e a Europa. Forneceu a primeira cobertura ao vivo da TV, de uma nave tripulada retornando à Terra quando Gemini VI-A (voo tripulado em dezembro de 1965 e o primeiro a realizar um encontro espacial com outra nave) (WIKIPEDIA, 2022). O satélite chegou a ser desativado, após quatro anos de uso, mas o COMSAT, reativou-o brevemente para que a NASA pudesse usá-lo durante o pouso na Lua da Apollo 11. (BRISKCOM, 2022)

Figura 3: Técnicos da NASA trabalhando no Intelsat I antes do lançamento.



Fonte: Great Images in NASA, Wikipedia.org,2022.

Após o ano de 1965, com o mercado em grande expansão, verificou-se que cada vez os projetos foram ficando mais especializados, e sendo mais voltado para países isolados ou com dificuldades de levar cabos até pontos estratégicos. Um exemplo é o Canadá através da empresa Anik, Espanha com estudos, e a fabricação feita através da Hispasat, Os EUA também investiu, na rede de satélites, principalmente para defesa DSCS (Defense Satellite Communications System). Muitas dessas inovações foram sendo usadas durante a época da Guerra Fria, a União Soviética, desenvolveu os satélites Molniya, que teve um avanço econômico, social e político, com um impacto muito grande, por unificar o então imenso estado soviético, que abrangia na época, áreas com gelo, deserto e grandes florestas, um ambiente bastante diversificado, foi através da televisão, começou primeiro em preto e branco e depois colorida, que esses avanços foram feitos, até chegar a era do telefone. (VSAT,2002).

Lembrando que na década de 70, as antenas de comunicação para os satélites tinham 12 metros de diâmetro, muito maior que as usadas atualmente, essas transmissões precisavam de elevadas potências para funcionar. No começo da década de 80 com aperfeiçoamentos as antenas, diminuíram consideravelmente o seu tamanho, e possuíam agora com um diâmetro de 7 metros, já era possível captar os seus sinais, de lá para cá, foi sendo aperfeiçoado, e o seu desenvolvimento não parou tanto no diâmetro quanto nos modelos de transmissão e recepção além de novos modos de compactação de dados. (GTA.UFRJ,2002). A Figura 4 apresenta

uma representação gráfica de alguns dos marcos históricos mais significativos na evolução dos satélites de telecomunicação ao longo do tempo.

Figura 4: A cronologia da evolução dos satélites de telecomunicações.

Evolução dos satélites de telecomunicações

• Marcos históricos

Acontecimentos pioneiros

1945	A. C. Clarke	Ideia original da órbita geoestacionária
1957	Sputnik 01	Satélite artificial (URSS)
1958	Score	Satélite de telecomunicações (store-and-forward)
1959	Explorer 07	Satélite com sub-sistema meteorológico
1962	Echo 1	Satélite passivo de comunicações telefônicas e difusão de TV
1962	Telstar 1	Satélite activo (órbita baixa de 158 min.; banda 6/4 GHz)
1964	Syncom 3	Satélite geoestacionário de comunicações
1974	ATS 6	Recepção individual de TV
1980	Intelsat 5	Emissão de sinais de difusão de TV por estações móveis
1984	SMM	Satélite reparado em órbita pelo Space Shuttle

Serviços comerciais

1965	Intelsat 1	Serviço fixo e de difusão de TV (satélite geoestacionário)
1972	Anik A1	Serviço de comunicações nacionais (Canadá)
1985	(diversos)	Serviço móvel (diversos transpositores em satélites geoestacionários)
1989	Astra 1A	Serviço de difusão de TV orientado à recepção individual
1998	Iridium	Serviço móvel com terminais de bolso (satélites de baixa altitude)

Fonte: Sérgio Felliipe Ferreira de Araújo, 2017

2.1.1 HISTÓRIA NO BRASIL

A Agência Espacial Brasileira (AEB) é uma organização vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e órgão central do Sistema Nacional de Desenvolvimento de Atividades Espaciais (SINDAE), responsável por coordenar, executar e implantar os projetos da Política Espacial Brasileira (AEB, 2021).

Desde a sua criação, em 10 de fevereiro de 1994, a AEB tem trabalhado para viabilizar os esforços do Estado Brasileiro no enriquecimento do bem-estar da sociedade, com a ajuda do emprego soberano ao setor espacial. Alguns dos marcos históricos da atuação da agência incluem o lançamento dos Satélites de Coleta de Dados (SCD 1 e 2), projetados e montados totalmente no Brasil (AEB, 2021).

Antes da viabilização dos SCDs, o país também teve outros marcos importantes na área de satélites de telecomunicação. Um exemplo é o lançamento do primeiro satélite brasileiro de comunicação, o Brasilsat A1 (representado na Figura 5), fabricado pela Spar Aerospace Ltd., do Canadá, sob licença da Hughes Space. Esse satélite teve um dos maiores incentivos para sua construção e lançamento, que ocorreu inicialmente para transmissões de futebol da seleção brasileira (Nogueira, 2019).

O ano era 1981, e a seleção brasileira de futebol havia se classificado para a disputa da Copa do Mundo de 1982, que ocorreria na Espanha no ano seguinte. Durante as fases classificatórias, dois jogos da seleção não puderam ser transmitidos à noite, em rede nacional (ao vivo), por não haver espaço disponível no satélite da Intelsat, usado pela estatal brasileira de telecomunicações Embratel para a transmissão. Os jogos foram retransmitidos sem as imagens, o que foi muito constrangedor para o país com grande paixão pelo futebol. Esse episódio foi um grande incentivo para que o governo brasileiro começasse a debater a necessidade de dispor de um satélite exclusivo para suas comunicações (Nogueira, 2019).

Figura 5: Ilustração Brasilsat A1



Fonte: Alexandre Galdino de Melo, RTV Engenharia

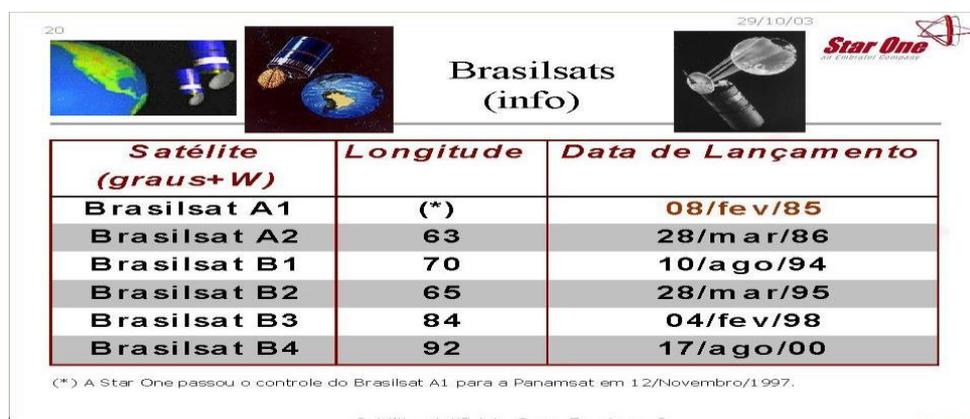
No dia 8 de fevereiro de 1985, foi lançado pelo foguete Ariane, na base de Kourou, o primeiro satélite brasileiro com o nome de BRASILSAT I, com a missão de pôr em órbita um avanço na área de telecomunicações via satélite para o país. Com o passar do tempo, vários outros satélites e serviços surgiram para atender à demanda crescente, principalmente para o interior do país, tais como várias transmissões de canais de televisão. Esses satélites foram projetados e direcionados para ter abrangência em todo o país e a operação era inicialmente por conta da Embratel e posteriormente por uma de suas subsidiárias, a Star One, que é responsável até

hoje. Os satélites da Brasilsat eram destinados a fornecer comunicação via satélite e foram responsáveis pela transmissão das programações em rede nacional ao vivo, via satélite das emissoras de televisão do Brasil, contempladas na época, como o SBT e a extinta Rede Manchete. Em 1986, um ano após o primeiro lançamento, foi a vez do Brasilsat A2, satélite igual ao primeiro, capaz de atender países vizinhos da América do Sul. Com o fim de vida dos satélites de primeira geração, o Brasilsat B1 foi lançado em órbita em 1994 e o Brasilsat B2 no ano seguinte, agora disponibilizando espaço para alguns canais dos países do Mercosul. Esses novos satélites de comunicações eram maiores e mais poderosos do que os satélites da geração anterior, com isso, seu sinal era mais forte, melhorando a área de cobertura. (TBS, 2021).

Atualmente, o termo backbone (traduzido para o português como "espinha dorsal", embora no contexto de redes, signifique rede de transporte) designa o esquema de ligações centrais de um sistema de redes mais amplo, tipicamente de elevado desempenho e com dimensões continentais. Os satélites da Brasilsat formaram uma rede que atende o planeta inteiro, popularizando-se e sendo conhecidos pela população em geral. (Brasilsat, 2022).

A Figura 6 apresenta um gráfico que mostra a frota de satélites pertencente à Star One até o ano de 2003. A imagem destaca a evolução da empresa no setor de telecomunicações via satélite, com o lançamento de diversos satélites ao longo dos anos. Cada ponto no gráfico representa um satélite específico. É possível observar que a frota de satélites da Star One cresceu significativamente ao longo das décadas, permitindo que a empresa forneça serviços de telecomunicações para todo o Brasil e outros países da América Latina.

Figura 6: Frota de satélites da Star One em 2003



<i>Satélite (graus+ W)</i>	<i>Longitude</i>	<i>Data de Lançamento</i>
Brasilsat A1	(*)	08/fev/85
Brasilsat A2	63	28/mar/86
Brasilsat B1	70	10/ago/94
Brasilsat B2	65	28/mar/95
Brasilsat B3	84	04/fev/98
Brasilsat B4	92	17/ago/00

(*) A Star One passou o controle do Brasilsat A1 para a Panamsat em 12/Novembro/1997.

O Brasilsat B3 foi direcionado para a transmissão de dados de comunicação, de redes corporativas e de sinais de televisão. O Brasilsat B4 foi lançado em 17 de agosto de 2000, o último satélite a ser chamado de Brasilsat, e os satélites subsequentes da empresa foram chamados pelo nome da subsidiária da Embratel. Em 14 de novembro de 2007, foi lançado o satélite Star One C1, originalmente destinado a substituir o satélite B2, e em 18 de abril de 2008, foi lançado o Star One C2, o mais famoso, destinado para as parabólicas comercializadas no país. Esses satélites fazem parte da estratégia de renovação da frota era substituir os satélites Brasilsat B3, B4 e B2 que estavam chegando ao fim de sua vida útil. O Star One C1 e o C2 operam nas bandas C, KU e X, têm polarização linear e capacidades de transponders de 28 bandas C, uma banda X e 16 bandas KU e uma vida útil de 15 anos. O satélite Star One C12 está localizado sobre o Oceano Atlântico a 37,5 graus oeste e permite a comunicação intercontinental entre as Américas, Europa e África. (Brasilsat, 2022)

O satélite Star One C3 substituiu o Brasilsat B3 na substituição dos satélites de comunicações, visto que este último estava em fim de vida útil. Os novos satélites permitiram aumentar a capacidade disponível, ampliar a abrangência geográfica de atuação e oferecer novos serviços na banda KU, acelerando o processo de internacionalização dos serviços de satélite da Embratel. (EMBRATEL, 2015)

A Figura 7 apresenta a posição dos satélites da Star One em 2015, e a posição estratégica dos satélites garante uma cobertura ampla e eficiente em todo o continente.

Figura 7: Frota de satélites Star One em 2015



Fonte: site, Embratel, 2015

As antenas parabólicas que estão localizadas na área de atuação do satélite, ao serem direcionadas para os mesmos, poderão captar os seus sinais, desde que, com o diâmetro designado para a potência do sinal da região, além disso, devem estar ficar com um alinhamento preciso, que seja exatamente de onde vem o sinal. Isso significa que ao instalar uma antena parabólica é necessário ter precisão para onde fica apontada, para que fique na posição exata onde o satélite está. Uma diferença por menor que seja em milímetros, na orientação pode prejudicar na qualidade do sinal, que pode ser compensado, sendo usado uma antena com diâmetro maior que o recomendado, com isso, uma deterioração na qualidade da recepção não fica perceptível. Assim esse modelo de serviço, fica limitado a transmissão, recepção por um ponto focal, ou seja, reflete na antena e concentra o feixe de sinal para o centro, outro ponto importante, certifique-se de que não haja nada na frente da antena, por menor que seja o obstáculo, já pode impedir a passagem dos sinais ou diminuir a qualidade da recepção. (UOL,2019)

2.2 ELEVAÇÃO DA ANTENA

O conhecimento de que a Terra é redonda remonta a muitos séculos antes de Fernão de Magalhães, sendo atribuído a filósofos gregos como Pitágoras e Aristóteles. No entanto, foi a partir da expedição de Magalhães que a ideia de que a Terra é esférica foi amplamente difundida. (THOMPSON, 2015).

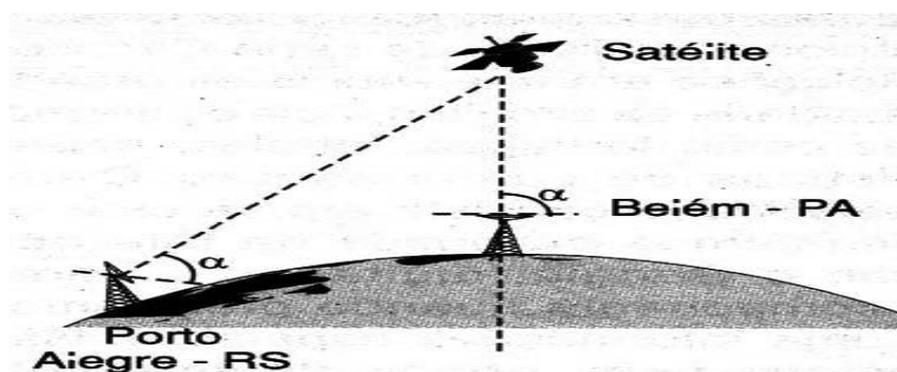
O uso de métodos matemáticos para ajuste de antenas é essencial em sistemas de telecomunicações via satélite, sendo utilizado em todo o mundo. Existem diversas técnicas para realizar este ajuste, incluindo o cálculo de azimute e elevação, bem como o uso de bússolas e GPS. (MARAL e BERTELLA, 2012).

O ajuste da antena parabólica é um processo importante para garantir uma boa qualidade de sinal, e isso pode variar de acordo com a localização da antena em relação à linha do equador. A latitude, medida em graus, é um dos parâmetros utilizados para fazer esse ajuste, determinando a elevação da antena em relação ao horizonte (Eletrônica (2017).

A Figura 8 ilustra a variação do ângulo de apontamento de antenas em relação ao horizonte à medida que se afasta da linha do equador. Essa variação ocorre devido à curvatura da Terra, e é um importante fator a ser considerado na instalação e manutenção de sistemas de telecomunicações via satélite. (SANTOS, 2006).

Existem diversos sites disponíveis que realizam o cálculo do ângulo de elevação da antena com base na localização geográfica do usuário. Além disso, muitas antenas já possuem o ângulo gravado em sua estrutura, facilitando o processo de ajuste. Caso a antena não possua essa marcação, pode-se utilizar um inclinômetro para medir o ângulo de elevação necessário (NEWTONBRAGA, 2022).

Figura 8: Comparativo elevação antena



Fonte: Newtonbraga.com,2022

A distância da localidade em relação à linha do equador também é um fator que influencia a latitude medida em graus, minutos e segundos. Por isso, é importante levar em consideração a localização geográfica ao realizar o ajuste da antena para garantir a melhor qualidade de sinal possível (Eletrônica (2017).

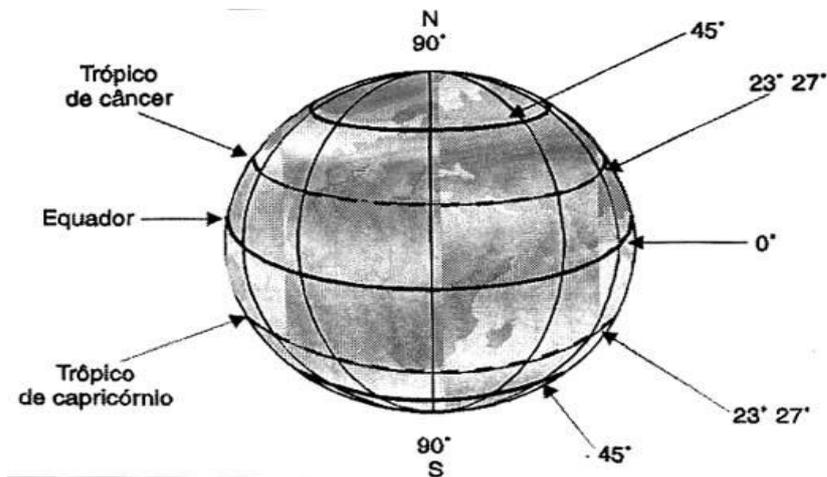
A manutenção do posicionamento de satélites geostacionários em órbita é fundamental para diversas aplicações, como telecomunicações, meteorologia e observação da Terra (EUMETSAT, 2021). Esses satélites são colocados em uma órbita geossíncrona, que mantém a mesma posição em relação à Terra, acompanhando a rotação do planeta.

Para manter um satélite geostacionário em órbita, é necessário levar em consideração vários fatores, como a força gravitacional da Terra, a força centrífuga gerada pela rotação do planeta e a atração gravitacional da Lua e do Sol (NASA, 2021). Além disso, a latitude em que o satélite será posicionado deve ser considerada, uma vez que a força gravitacional da Terra não é uniforme em toda a sua superfície (ARAÚJO, 2019).

A região próxima aos trópicos da Terra é a área mais utilizada para posicionar satélites geostacionários, como ilustrado na Figura 9. Essa região apresenta uma menor variação na

força gravitacional da Terra, o que facilita o posicionamento e manutenção desses satélites em órbita (NASA, 2021).

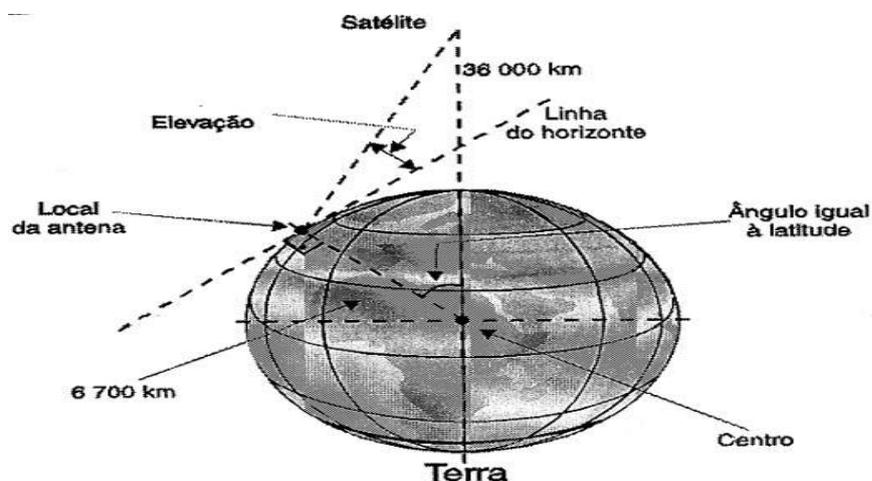
Figura 9: Latitude próximo aos trópicos da terra



Fonte; Newton Braga.com,2022

Passo Fundo, é uma cidade do Brasil que está localizada na latitude e de $28^{\circ} 15' 40''$ ao sul. Essa latitude não representa o ângulo de elevação da antena, para descobrir basta saber fazer cálculos geométricos, que podem facilmente encontrar a elevação a partir da latitude, bastando levar em conta que o centro da terra, a posição do satélite e a posição em que está o local em que a antena vai ser instalada são os vértices de um triângulo, as latitudes são medidas a partir do Equador, conforme pode ser visto na Figura 10.

Figura 10: Ângulo de elevação

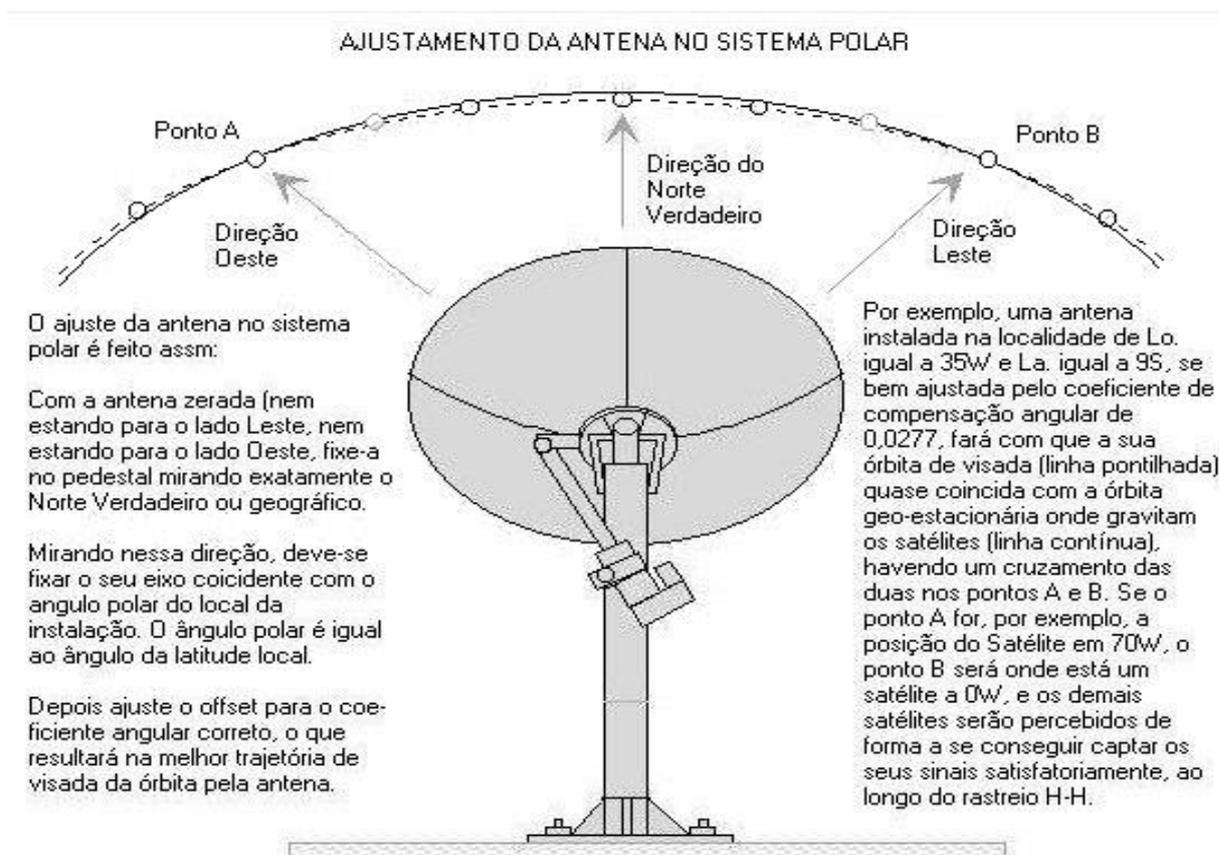


Fonte: Newton Braga.com, 2022

2.2.1 AZIMUTE

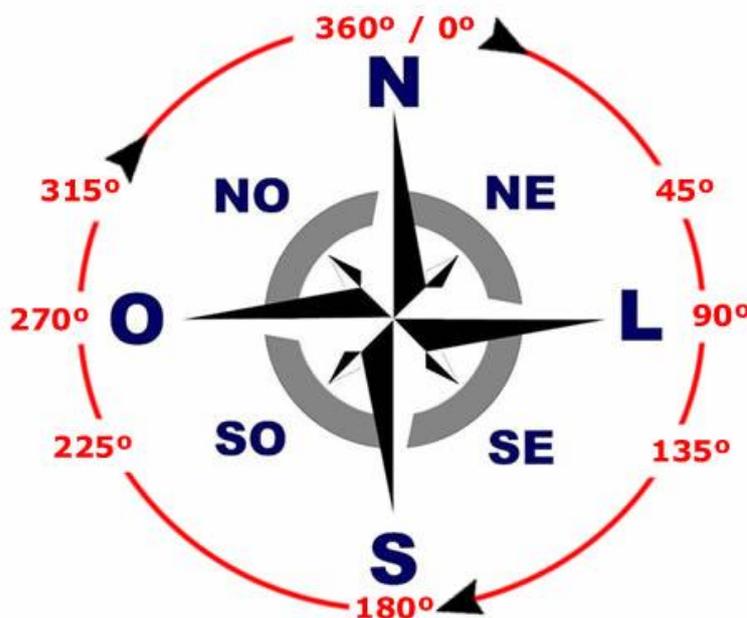
Após encontrar o ângulo e fixar a antena, é necessário girar a antena para encontrar o arco onde estão localizados os satélites geoestacionários. O ajuste no qual é necessário fazer é conhecido como azimute. Em topografia, o conceito é bastante utilizado, é o ângulo entre o Norte e um ponto levantado, ou com um lado de um determinado polígono. Para se obter o azimute, se usa ferramentas topográficas, como a estação total, que serve para medir a distância da estação (que está numa coordenada pré-determinada, pela norma NBR13133). Na Figura 11 pode ser observado, como que pode ser ajustada a antena movendo para o norte verdadeiro e ir movendo ao saber a longitude que está instalação na região de teste, Passo Fundo- RS e $52^{\circ} 24' 30''$, portanto ao movimentar no sentido horário a longitude do cinturão de Clark vai diminuindo, portanto, à medida que a posição do satélite se distancia do ponto central, o seu grau de elevação vai diminuindo. A Figura 11 representa como a antena pode se movimentar, até encontrar o azimute desejado.

Figura 11: Direcionamento de antenas no sistema polar



A orientação em relação ao norte pode variar, ao fazer o ajuste no eixo do azimute, para conseguir um alinhamento com o ângulo, que começa a partir da direção Norte, esse eixo varia de 0° a 360°, sempre no sentido horário, conforme a Figura 12. Esse tipo de ajuste usa as coordenadas polares, para orientação.

Figura 12: Cordenadas azimute



Fonte: Trekkingbrasil,2009

A bússola é um instrumento que foi descoberto pelos chineses há muitos séculos e é formado por um objeto magnetizado que se orienta pelo campo magnético da Terra. Esse campo magnético é gerado pelo movimento de rotação do planeta, que faz com que ele se comporte como um gigantesco ímã. Embora não haja um ímã em seu interior, o campo magnético da Terra é suficiente para orientar a agulha magnetizada da bússola. Embora a distância entre os polos magnético e geográfico seja de centenas de quilômetros, em relação ao tamanho da Terra, essa diferença é difícil de ser notada.

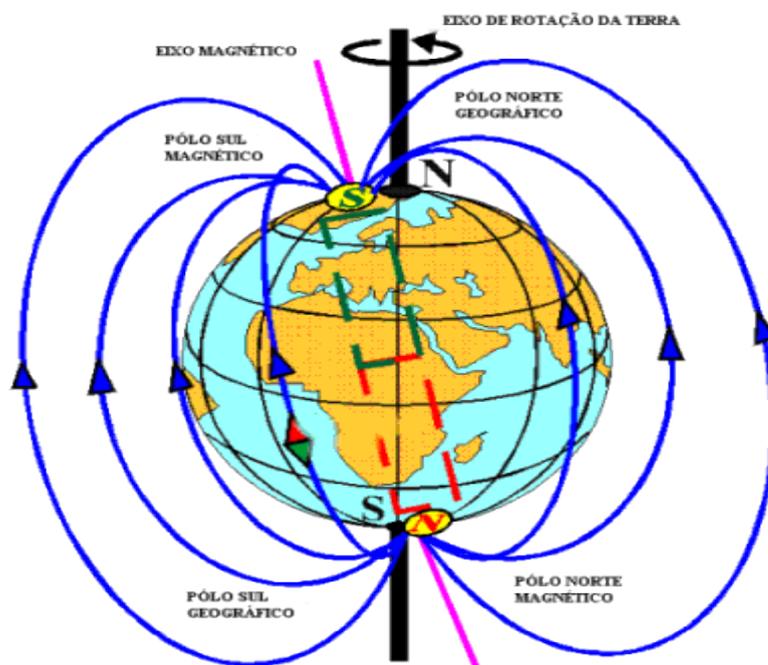
No entanto, a agulha magnetizada não se orienta exatamente no sentido norte-sul, devido a vários fatores. Um dos principais é a presença de massas de minerais no planeta e as condições geográficas locais, que podem afetar as linhas do campo magnético terrestre e influenciar as bússolas, causando uma pequena diferença em relação ao norte verdadeiro.

O uso do campo magnético também é importante para a orientação de antenas de satélites. No hemisfério sul, aponta-se para o norte e, no hemisfério norte, a antena é direcionada para o sul. (NEWTON BRAGA, 2022)

De acordo com MARQUES (2014), o campo magnético terrestre (representado na Figura 13) é gerado por correntes elétricas que circulam no núcleo externo do planeta. O autor também destaca que a bússola é um instrumento importante para a navegação, pois permite que o navegador mantenha um rumo constante em relação ao norte verdadeiro, sem se desviar do caminho.

Sobre a influência das massas minerais no campo magnético terrestre, GONZAGA et al. (2019) explicam que os minerais magnéticos presentes na crosta terrestre podem gerar anomalias magnéticas, que são variações no campo magnético da Terra. Essas anomalias podem afetar a orientação de bússolas e outras ferramentas que dependem do campo magnético terrestre para funcionar.

Figura 13: O campo magnético da Terra



Fonte: ppgenfis.if.ufrgs.br,2020

Assim, qualquer objeto imantado que possa se movimentar livremente como uma agulha apoiada num eixo vai se orientar de modo a ficar paralelo às linhas do campo terrestre

e com isso "apontar" os polos, o norte da agulha, ele vai apontar ao sul do imã terrestre e assim, apontar com alguma precisão para o norte. Alguns mapas de navegação trazem as diferenças entre a direção real e aquela que a agulha da bússola mostra, indicando como "declinação". Um navegador sabe então que deve "compensar" a indicação da bússola colocando o Norte à esquerda ou à direita da direção em que a agulha aponta. Usando um medidor de intensidade de campo. Veja então que, para o instalador, a bússola deve ser usada com um certo cuidado. A partir das informações sobre qual é o ângulo que a antena deve apontar (azimute) ele precisa saber exatamente onde está o norte geográfico, pois é na sua função que estes ângulos são expressos. No entanto, a agulha da bússola não aponta para o norte geográfico, mas sim para o norte magnético. Isso significa que o instalador precisa saber qual é a declinação magnética do local em que ele vai pôr a antena para fazer as devidas compensações. (INSTITUTO NEWTON, 2022)

Para operações em satélite, o medidor de campo é um instrumento muito utilizado para medir o nível de sinal e qualidade do sinal recebido (MONACO, 2007). Existem medidores de campo específicos para satélites, que permitem a configuração e apontamento preciso de antenas parabólicas. Esses medidores de campo geralmente têm a capacidade de medir o sinal em diversas frequências, bem como o espectro de frequência inteiro, permitindo identificar interferências e outras fontes de ruído (BRANDOLIN et al., 2015).

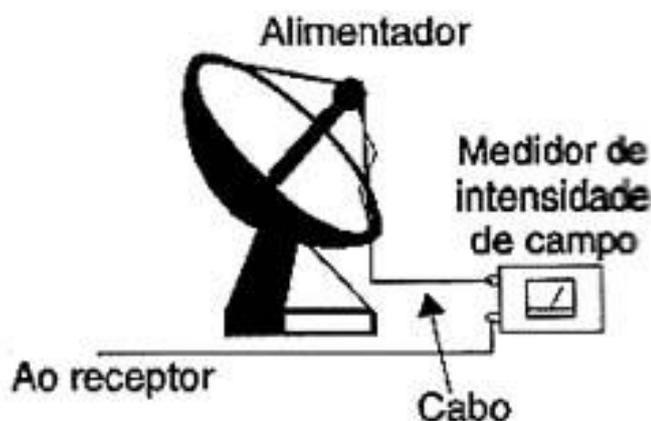
A utilização de satélites para medir o campo magnético da Terra também é uma prática comum. Diversos satélites, como o Swarm, da Agência Espacial Europeia, foram desenvolvidos especificamente para essa finalidade (OSTROUMOV et al., 2015). Esses satélites permitem a obtenção de medidas mais precisas e em áreas onde a coleta de dados por meio de observatórios terrestres é limitada. A análise dos dados coletados por esses satélites é fundamental para a compreensão dos processos físicos que ocorrem no núcleo da Terra e a dinâmica do campo magnético terrestre (BLOUNT et al., 2014).

Portanto, tanto a bússola como o medidor de campo e os satélites de observação são importantes ferramentas para a compreensão do campo magnético da Terra e para aplicações práticas em telecomunicações e outras áreas.

A ligação direta do medidor de intensidade de campo na antena é ilustrada na Figura 14 (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2002). Essa técnica é comum em sistemas de comunicação por satélite, onde é essencial a medição precisa do sinal recebido pela antena. A conexão direta do

medidor de intensidade de campo na antena evita perdas de sinal e aumenta a precisão da medição. Além disso, essa técnica também é utilizada em sistemas de radiodifusão e telecomunicações (Gibson, 2002). A precisão da medição de intensidade de campo é essencial para garantir a qualidade do sinal e evitar interferências em outras frequências (Haykin, 2009).

Figura 14: Medidor de intensidade de campo



Fonte: NewtonBraga.com,2021

O técnico pode então saber exatamente onde está o norte geográfico daquele local em que a antena vai ser instalada. Uma vez determinado, ele já pode encontrar exatamente a direção (azimute) para a qual a antena deve ser apontada. Em alguns casos, para facilitar o instalador, eliminando a necessidade para determinar o norte geográfico em relação ao magnético, as tabelas de orientação podem ser dadas em função do norte magnético. Economiza-se uma operação na orientação da antena.

2.2.2 RETOQUES

Para instaladores, fixar e conectar os cabos ao aparelho e na TV não é um problema, mas quando se fala na orientação com o satélite, surgem as dificuldades. Se estiver numa área, com bastante antenas já instaladas, é possível usar de referência, ajudando na direção, para apontar. Em áreas com menor densidade, o trabalho é mais difícil. Algumas explicações, estão presentes nesse trabalho para permitir, que se entenda como posicionar as antenas parabólicas. A maioria dos instaladores, usam uma bússola, inclinômetro, para encontrar a posição ideal para o melhor sinal. A bússola, nem sempre é precisa, ela pode sofrer interferências eletromagnéticas, e mudar a direção para onde deve apontar a antena, mas quando usada

corretamente, permite encontrar o norte magnético, e os pontos cardeais. O ajuste pode ser feito de várias maneiras. A maneira mais simples usa do próprio aparelho do cliente, que permite avaliar a qualidade da imagem, alguns modelos mais novos, já mostram a intensidade do sinal e qualidade, podendo ser usado como base. Para profissionais, que já tenham mais recursos, para investir em equipamentos, a missão fica mais fácil, pois consiste em ligar um medidor de intensidade de sinais na saída do alimentador, assim permite ler a intensidade do sinal diretamente num mostrador digital ou analógico e fazer as correções de posicionamento, a utilidade desse equipamento é maior para fazer o ajuste.

Na Figura 15 (Johnson, 2018), pode ser observado que o sinal tem que ficar direcionado para o centro da antena. Essa técnica é conhecida como apontamento da antena e é essencial para garantir a recepção de um sinal de qualidade (Collin, 2019). O apontamento da antena deve ser feito com precisão, de forma a evitar perdas de sinal e interferências em outras frequências (Gibson, 2002). Além disso, é importante destacar que a escolha da antena adequada para cada tipo de aplicação é essencial para garantir a qualidade do sinal recebido (Haykin, 2009).

Figura 15: Sinal refletido



Esquema de incidência de raios sobre uma Antena Parabólica

2.3 COMO FUNCIONA A BANDA DE TRANSMISSÃO

Os equipamentos utilizados para a propagação de sinais sem fio foram separados em bandas para evitar interferência entre si (Kumar & Yuan, 2019). Cada faixa de frequência foi delimitada para um serviço específico e separada por um valor que corresponde à área de atuação (Haykin, 2009). As bandas de utilização mais comuns para comunicação via satélite são a KU, KA e C (Pratt, Bostian, & Allnutt, 2002). Essas bandas são conhecidas por sua capacidade de fornecer alta qualidade de transmissão, com alta velocidade de transferência de dados e baixa taxa de erro de transmissão.

Na Figura 16 (Gibson, 2002) é possível observar as faixas de atuação e o nome de cada banda. É importante destacar que, apesar de serem as mais utilizadas e conhecidas, existem outras faixas delimitadas para uso via satélite, cada uma com suas características específicas de frequência e área de atuação.

Figura 16: Frequência de transmissão

Banda L	-	1 a 2 Ghz
Banda S	-	2 a 4 Ghz
Banda C	-	4 a 8 Ghz
Banda X	-	8 a 12 Ghz
Banda Ku	-	12 a 18 Ghz
Banda K	-	18 a 26.5 Ghz
Banda Ka	-	26.5 a 40 Ghz
Banda Q	-	30 a 50 Ghz
Banda U	-	40 a 60 Ghz
Banda V	-	50 a 75 Ghz
Banda E	-	60 a 90 Ghz
Banda W	-	75 a 110 Ghz
Banda F	-	90 a 140 Ghz
Banda D	-	110 a 170 Ghz

2.3.1 BANDA KU

A Banda KU, uma faixa do espectro eletromagnético, desempenha um papel fundamental na transmissão de serviços como TV por assinatura e internet via satélite abrangendo frequências entre 10,7 GHz e 18 GHz, essa banda é dedicada à comunicação via satélite, servindo como alicerce crucial para a prestação desses serviços (Briskcom,2024)

O sistema de comunicação na Banda KU envolve uma complexa interação entre satélites e antenas terrestres. Antenas com diâmetros entre 60 cm e 90 cm são amplamente empregadas nesse contexto, representando uma evolução significativa em relação às antenas iniciais, que podiam atingir cerca de 16 metros. Essa redução no tamanho não apenas reduziu custos substanciais, mas também introduziu desafios associados à suscetibilidade a interferências climáticas, um fator crítico para o desempenho do sistema (Briskcom,2024)

A escolha criteriosa do tipo de antena desempenha um papel vital na otimização do desempenho do sistema. Antenas menores, embora mais acessíveis, mostram-se mais propensas a interferências climáticas, potencialmente afetando a qualidade da transmissão.

A evolução das antenas na Banda KU não apenas reflete uma redução no tamanho, mas também evidencia melhorias substanciais na eficiência do sistema, resultando em transmissões mais estáveis e econômicas. Esse progresso tecnológico tem implicações significativas nas indústrias de televisão por assinatura e internet via satélite, destacando a necessidade contínua de inovação para aprimorar a conectividade e a qualidade dos serviços (Briskcom,2024).

2.3.3 BANDA C

A Banda C é denominada na faixa de frequência utilizada por satélites, no espectro de frequência entre 3,7 GHz a 6,425 GHz e foi muito usada para a transmissão de sinais analógicos, antes da chegada do sinal digital. A banda C tem uma estabilidade muito maior do sinal, não sofrendo interferências por chuva ou algum evento climático, assim tendo uma melhor qualidade na transmissão de informações, sob quaisquer condições climáticas, que não altere o alinhamento da antena. O custo para o cliente, é um pouco mais alto, por ser necessário antenas de 1,50 metros ou superior para poder captar seus sinais, a recomendação de pelo menos tenha 2 metros de diâmetro se for do tipo telada, para ter uma qualidade de sinal superior ao necessário, com isso compensa se a antena tiver alguns milímetros

desalinhada, como já foi mencionado anteriormente, por estar muito distante o satélite o direcionamento tem que ser perfeito, qualquer diferença prejudica na captação de determinadas frequências, outro fato é que nem todas têm a mesma potência alocada, com isso usando uma antena menor que o recomendado, os sinais mais fracos não serão captados.

Com a chegada da rede móvel 5G no Brasil, será necessário migrar os canais da Banda C da tradicional parabólica, para uma nova faixa de frequência, que não tenha interferência, a que foi escolhida é a Banda KU, por já ter vários satélites que comportam esse serviço, tornando muito mais rápido, pois essa estrutura já está disponível, bastando apenas os usuários trocarem as suas respectivas antenas para uma que suporte o serviço, pelo fato da banda C utilizar a mesma faixa de frequência usada hoje, pode causar interferências no sinal da TV conforme vai sendo ativado pelo país a rede móvel 5G. O cronograma de ativação está previsto para acontecer a partir de setembro de 2022, começando pelas capitais. O sinal da banda C permanece redundante, até 31 de dezembro de 2025, quando será oficialmente desligado (ELSYS, 2022³). Todo processo de migração aumenta significativamente o número de novas instalações, o que será necessário para as empresas conseguir mais equipes e capacitar os seus funcionários, com esse equipamento ajuda bastantes os instaladores, na questão do tempo para fazer o apontamento, assim diminuindo o tempo de cada instalação, as empresas assim tem os seus custos reduzidos, por precisar de menos mão de obra especializada. Na Figura 17 é possível ver a diferença das antenas usadas para captar o sinal da banda KU e banda C.

Figura 17: Diferença antenas



Fonte: Elsys, 2022

³ ELSYS lança site que explica tudo sobre a migração da Banda C para Banda Ku. Disponível em: <https://blog.elsys.com.br/elsys-lanca-site-que-explica-tudo-sobre-a-migracao-da-banda-c-para-banda-ku/>. Acesso em: 18 nov. 2022.

2.3.2 BANDA KA

A banda Ka, operando na faixa de frequência de 27 GHz a 40 GHz, é reconhecida por sua utilização em comunicações via satélite. Tradicionalmente, essa banda era evitada devido à sua suscetibilidade à degradação de sinal, um fenômeno conhecido como "rain-fade". Esse termo refere-se principalmente à absorção de sinais de radiofrequência (RF) de micro-ondas pela chuva, atmosfera, neve ou gelo, sendo mais prevalente em frequências acima de 11 GHz (Kim, 2020). A "banda Ku", operando em frequências de 12 GHz a 18 GHz, também enfrenta desafios semelhantes, embora em menor escala. No entanto, avanços em tecnologias de mitigação, como o uso de antenas com maior ganho, diversidade de polarização e técnicas de cancelamento de interferência, têm permitido uma melhor exploração da banda Ka para comunicações satelitais (Biglieri et al., 2018). Esses avanços são fundamentais para garantir a confiabilidade e a eficiência das comunicações por satélite, especialmente em regiões propensas a condições climáticas adversas (Piazza et al., 2019).

Muitas empresas concorreram, para conseguir essa tecnologia, a Embratel empresa brasileira, já oferece internet de banda larga na banda KA, o que ajuda nas regiões mais distantes, para se ter uma melhor conexão. Essa banda é uma solução para os problemas de congestionamento e interferências, das frequências mais baixas. Com os aperfeiçoamentos dos últimos anos da operacionalidade desse tipo de transmissão, foi um avanço para à grande demanda de processos baseados na internet.

A banda KA tem um novo método de transmissão, com aprimoramentos na largura de banda, e os modelos de satélites que oferecem maior qualidade, melhor performance, com acessos rápidos, ajudando no tempo de resposta numa transmissão em tempo real. Um problema ainda a ser resolvido com as transmissões via satélite é a questão de jogos online, que é o *ping* (tempo de resposta do servidor) ainda fica superior a 50ms. (Anatel,2021).

2.4 TIPOS DE SINAIS E POLARIZAÇÃO

A polarização é um modo de transmitir um sinal via satélite em uma direção específica, com um feixe de sinal concentrado que facilita a recepção do sinal com uma antena focal. Atualmente, existem quatro modos de polarizar o sinal para uso via satélite: polarização linear horizontal (H), polarização linear vertical (V), além da polarização horizontal e vertical usada em satélites do tipo FSS (Fixed Service Satellites). Na Figura 18, é

possível observar um satélite que utiliza esse sistema de transmissão. (GPS.PEZQUIZA, 2011)

Figura 18: Canais no Star One D2 em 70w

3762 H 4188 3/4 América do Sul		Terra Viva HD DVB-S2 8PSK H264 16:9 FTA Rural HD
3767 V 3750 3/4 América do Sul		Feed TV Assembléia MT HD DVB-S2 8PSK H264 16:9 FTA Governo HD
3768 H 4188 3/5 América do Sul		Band SAT HD DVB-S2 8PSK H264 16:9 Nagravision 3/BetaCrypt Variedade HD
3772 V 3750 3/4 América do Sul		Canal Rural DVB-S2 8PSK MPEG2 FTA Rural SD
3773 H 4188 5/6 América do Sul		Rede Super HD DVB-S2 8PSK H264 16:9 FTA Religioso HD

Fonte: PortalBSD, 2022

Os satélites DBS (Direct Broadcasting Satellite) utilizam as polarizações esquerda (L) e direita (R), conforme ilustrado na Figura 19, obtida do satélite SES6, que está posicionado a 40,5 graus a oeste no cinturão de Clarke. Mesmo havendo transmissões na mesma frequência, o sentido do sinal muda, o que evita interferências de sinais e possibilita a duplicação de frequências disponíveis para uso.

Figura 19: Canais circular satélite SES6

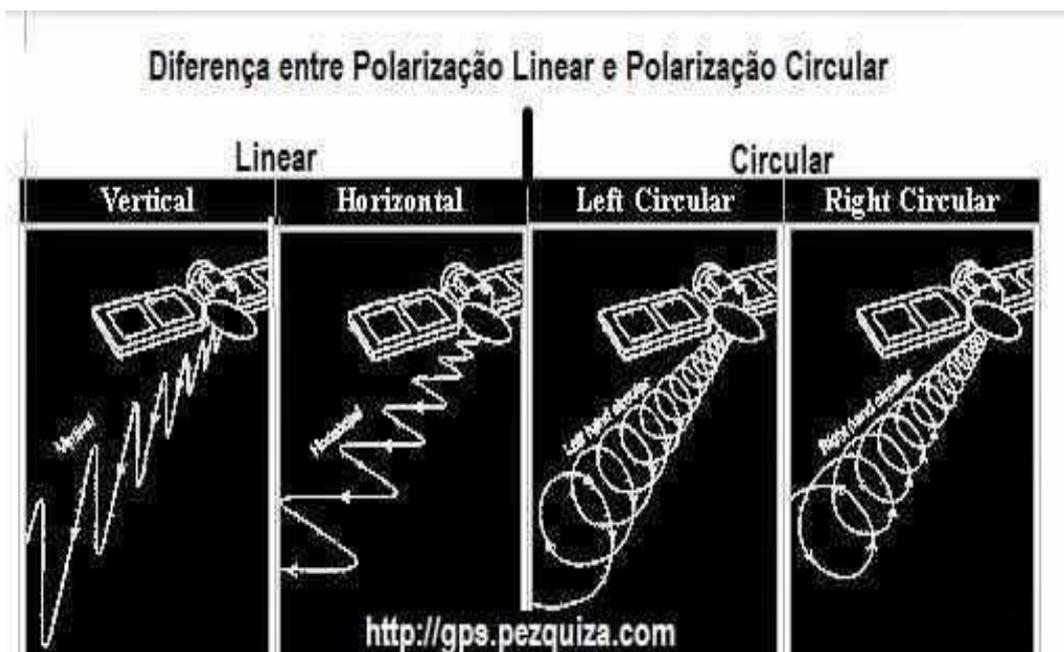
3764 L 30000 3/4 Hemisfério		Mux ESPN DVB-S2 8PSK VER MUX
3764 R 30000 5/6 Hemisfério		Mux AMC Networks International DVB-S2 8PSK VER MUX
3802 L 30000 5/6 América		Mux SES DVB-S2 8PSK VER MUX
		Duna World MPEG2 FTA Variedade SD
		Mórbido TV HD H264 16:9 FTA Fante HD
		Zoomoo Kids MPEG4 FTA Infantil SD
		Zoomoo Kids HD H264 16:9 FTA Infantil HD
		Duna World Radio MPEG1 FTA adulto
3830 R 8800 2/3 Hemisfério		Mux Rede Gênêsis DVB-S2 8PSK VER MUX

Fonte: PortalBSD, 2022

Vale ressaltar que a utilização de diferentes polarizações nos sinais via satélite foi uma inovação que revolucionou a indústria de telecomunicações. Autores como Claude Shannon, Harry Nyquist e Ralph Hartley foram fundamentais para o desenvolvimento da teoria da informação, que permitiu a otimização da transmissão de informações em sistemas de comunicação, como o uso de polarizações em sinais via satélite.

Para aproveitar de maneira mais eficiente todos os modos de transmissão de sinais via satélite, é possível utilizar a polarização linear horizontal e vertical em conjunto com a polarização circular esquerda e direita, desde que o satélite possua suporte para ambas as tecnologias. Para evitar falhas devido a interferências, cada frequência utilizada deve ser ligeiramente alterada. Dessa forma, as transmissões horizontais e verticais na mesma frequência não irão interferir uma na outra, pois têm polarizações diferentes. Isso possibilita o dobro de transmissões de canais que podem ser transmitidos. É possível transmitir em vertical, horizontal ou em esquerda e direita através da polarização de uma mesma frequência quase igual. Para isso, o LNB deve ser equipado com um polarizador, que pode ser mecânico, ferrite magnético ou elétrico. Alguns dos inventores pioneiros nessas tecnologias incluem John R. Pierce, Harold Rosen e Thomas Leighton, que contribuíram significativamente para o desenvolvimento da tecnologia de satélites de comunicação. Na figura 20, pode ser visto as diferenças de cada tipo de transmissão

Figura 20: Tipos de polarização



O caso o escolhido seja o mecânico, usa um pequeno motor controlado por pulsos, que roda uma sonda de metal entre as direções de polarização horizontal e vertical, esse sistema oferece uma precisão de comutação alta, e com baixa perda de sinal, também permite uma grande banda de recepção, abrangendo todas as diferentes faixas de frequência. Ao adicionar um pequeno depolarizado circular, pode ser modificado para receber também sinais circulares. O polarizador ferrite/magnético não tem partes móveis e provê a comutação instantânea de forma eficaz, combinada com baixa perda de sinal, os canais têm que ser pré-programados, para adicionar o depolarizado circular. O polarizador 14/18V controlado eletricamente, dentro do LNB, e só requer a ligação do cabo coaxial, para alimentação. A Figura 21 mostra uma representação de como é a transmissão polarizada feita pelo satélite. (WEBANTENAS, 2014)

2.4.1 SINAL E POTÊNCIA

A relação portadora ruído total (RPR_{total}), definida pela razão entre a potência da portadora e a potência de ruído mais interferências, ambas na entrada do receptor de destino, é a formula do cálculo básico de um enlace, do satélite. A diferença entre a RPR_{total} e o valor mínimo aceitável é definida como a folga ou margem de céu-claro do enlace que, por sua vez, determina a sua condição operacional durante as condições normais de propagação. (PUC-RIO, 2024)

O satélite geoestacionário não cobre uma região com potência uniforme, devido às características do diagrama de radiação da antena parabólica a bordo. Esta cobertura se dá em forma de curvas, com níveis de potência, onde o maior nível fica no centro do apontamento do satélite para região de cobertura e à medida que se afastam do centro os níveis de potência diminuem. (PUC-RIO, 2024)

Cada satélite possui dois tipos de cobertura, uma para o enlace de subida e outra para o enlace de descida. A cobertura de descida é em função da EIRP do satélite e a de subida em função da densidade de fluxo de saturação do satélite (PANTHEON, 2006)

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) é a potência aparente transmitida em direção ao receptor, se se assumir que o sinal é radiado igualmente em todas as direções, como uma onda esférica que emana de um ponto fonte; em outras palavras, é o produto aritmético da potência fornecida para a antena e o seu ganho. (SATLEX, 2022)

A equação apresentada serve para calcular o diâmetro da antena, se baseando em dados técnicos para a região que vai ser instalada, mesmo após os cálculos sempre se

recomenda usar uma antena com EIRP maior, pois com o passar dos anos a antena vai deformando e perdendo suas propriedades originais e diminuindo o ganho da antena e ainda pelo fato de estar sempre em ambiente aberto o vento pode entortar ou mover a antena alguns milímetros e isso pode interferir em alguns sinais mais fracos do satélite. (SATLEX, 2022)

EIRP (Equivalent Isotropically Radiated Power) é calculada conforme aparece na Equação 1 a seguir:

$$EIRP = G \cdot P$$

Onde:

- EIRP é a Potência Equivalente Radiada Isotropicamente [Watts].
- G é o Coeficiente de Ganho da Antena (sem dimensão).
- P é a Potência [Watts].

O ganho da antena (G) pode ser expresso em decibéis em relação a um isotrópico (dBi), e a Equação 2 ajustada ficaria assim:

$$EIRP = 10(G/10) \cdot P$$

Onde:

- EIRP é a Potência Equivalente Radiada Isotropicamente [Watts].
- G é o Ganho da Antena [dBi].
- P é a Potência [Watts].

Esta forma da equação permite inserir diretamente o ganho da antena em decibéis isotrópicos (dBi), facilitando o cálculo de desempenho da antena em diferentes condições. A antena em questão é fabricada em fibra, possui um diâmetro de 75 cm e apresenta um ganho de 37,9 dBi a uma frequência de 12,5 GHz. Segundo o fabricante, este ganho pode variar ao longo do tempo devido à exposição às condições climáticas, como chuva, neve, vento e temperatura extrema. Além disso, a durabilidade e a eficiência da antena podem ser afetadas por fatores como acúmulo de sujeira, corrosão e desgaste dos materiais, o que pode resultar em uma ligeira degradação do ganho ao longo dos anos. É recomendável realizar manutenções periódicas e inspeções para garantir o melhor desempenho possível da antena ao longo de sua vida útil.

O Quadro 1ª seguir, mostra o diâmetro da antena para cada EIRP de um satélite, esses valores são para a banda Ku. Assume-se que os valores mostrados na tabela têm um LNB universal com imagem de ruído de 0,7 dB:

Quadro 1: Cálculos do diâmetro da antena para a banda KU

Intensidade de Campo EIRP	Diâmetro da Antena	Intensidade de Campo EIRP	Diâmetro da Antena
64 dBW	22 cm	47 dBW	75 cm
63 dBW	24 cm	46 dBW	80 cm
62 dBW	26 cm	45 dBW	90 cm
61 dBW	28 cm	44 dBW	90 cm
60 dBW	30 cm	43 dBW	100 cm
59 dBW	32 cm	42 dBW	110 cm
58 dBW	34 cm	41 dBW	120 cm
57 dBW	36 cm	40 dBW	120 cm
56 dBW	38 cm	39 dBW	135 cm
55 dBW	40 cm	38 dBW	150 cm
54 dBW	45 cm	37 dBW	180 cm
53 dBW	50 cm	36 dBW	240 cm
52 dBW	50 cm	35 dBW	300 cm
51 dBW	55 cm	34 dBW	355 cm
50 dBW	60 cm	33 dBW	400 cm
49 dBW	60 cm	32 dBW	450 cm
48 dBW	60 cm		

Fonte: Satlex, 2022

O Quadro 1 é extremamente útil, especialmente ao utilizar o ponto focal (focal point) de um satélite para monitorar e analisar os níveis de sinal. Conforme explicado na Seção 2.4.3, "Níveis de Sinal", o ponto focal permite visualizar a variação dos sinais recebidos em diferentes frequências e condições. A tabela ajuda a identificar a relação entre a frequência, o ganho da antena e o fator de ruído do LNB, permitindo ajustes precisos para otimizar a recepção do sinal. Além disso, ao entender os parâmetros técnicos como SNR (Relação Sinal-Ruído) e a Margem de Enlace, é possível garantir uma comunicação mais robusta e minimizar as perdas de sinal em condições adversas. A correta interpretação e aplicação desses valores são essenciais para manter a qualidade do enlace e garantir a eficiência operacional do sistema de comunicação via satélite.

2.4.2 SATÉLITES QUE TRANSMITEM SOBRE O BRASIL

Através do Portal BSD, foi obtida uma lista de satélites que direcionam suas transmissões para o Brasil e outros países na América do Sul. Esses sinais podem ser facilmente captados na região de Passo Fundo, RS, utilizando antenas convencionais. Esta lista ajuda a identificar as posições orbitais com sinais transmitidos e serve como referência para automatizar o processo de busca e localização desses satélites. Acessando o Portal BSD nesse link (<https://www.portalbsd.com.br>).

Nas imagens a seguir, são apresentados o nome do satélite e a posição orbital no cinturão de Clark, quais as bandas que transmite e o logo com o nome do fabricante, note que é possível captar sinais dos satélites desde 20 E até 133W, além desses satélites da lista existem muitos outros que operam nessas posições, porém não tem os seus sinais direcionados para o Brasil, a vida útil desses satélites gira em torno de 15 anos, após esse tempo, o satélite é substituído por outro, que na maioria das vezes ocupa a mesma posição no cinturão de Clark. Na Figura 21 temos os satélites em operação na posição orbital 20°E até 22°w

Figura 21: Satélites com sinal no Brasil (1)

POSIÇÃO	LOGO	NOME	ÚLTIMA ALTERAÇÃO	DATA
20 °E		Arabsat 5C		TV 07h10 12/08/2022
10 °E		Eutelsat 10A		 18h10 22/11/2022
4.9 °E		SES 5		 09h07 22/08/2022
3.1 °E		Eutelsat 3B		TV 11h28 31/10/2022
1 °W		Intelsat 1002		 12h07 04/12/2019
3 °W		ABS 3A		TV 17h32 16/11/2022
8 °W		Eutelsat 8 West B		TV 14h40 19/11/2022
11 °W		Express AM44		 12h01 23/03/2019
14 °W		Express AM8		 08h43 20/07/2022
15 °W		Telstar 12 Vantage		 15h02 23/11/2022
18 °W		Intelsat 37e		 09h42 11/06/2022
22 °W		SES 4		 09h08 26/10/2022

Na Figura 22, são apresentados os satélites que operam nas posições de 24.5°W até 53°W, incluindo alguns que oferecem serviços de TV por assinatura. Destacam-se o satélite da operadora Oi, posicionado a 40.5°W, e o da operadora SKY, a 43°W. Além disso, o satélite Star One, pertencente à Embratel, uma empresa brasileira, está localizado na posição de 37.5°W. Este satélite é amplamente utilizado no Brasil para manter comunicações com outros continentes.

Figura 22: Satélites com sinal no Brasil (2)

24.5 °W		Intelsat 905	 		11h14 26/03/2019
27.5 °W		Intelsat 901/ MEV-1	  		
30 °W		Hispasat 30W-6 Hispasat 30W-5	  		10h39 11/11/2022
31.5 °W		Intelsat 25	 		09h34 15/03/2022
34.5 °W		Intelsat 35e	 		11h32 16/11/2022
36 °W		Hispasat 36W-1	 		10h37 03/08/2017
37.5 °W		StarOne C12 (NSS 10)			07h54 24/06/2019
40.5 °W		SES 6	 		14h56 23/11/2022
43 °W		Intelsat 11 SKY Brasil 1	 		17h50 22/10/2022
45 °W		Intelsat 14	 		16h12 22/11/2022
47.5 °W		SES 14	 		18h28 26/10/2022
53 °W		Intelsat 23	 		09h58 12/09/2022

Fonte: Portal BSD, 2022

A Figura 23 apresenta os satélites mais utilizados, a maioria dos quais está localizada sobre o Brasil, orbitando a 36.000 km de altura sobre a linha do equador. A figura mostra os satélites situados entre 55.5°W e 75°W. As posições orbitais de 65°W, 70°W, 75°W e 84°W correspondem a 70% dos canais transmitidos em português no Brasil. Entre esses satélites, destaca-se o Star One. A posição de 70°W é utilizada pelo programa Sat HD Regional, uma iniciativa do governo que oferece acesso gratuito a canais de TV aberta via satélite. Para mais informações, visite [Sat HD Regional] (<https://www.sathdregional.com.br/>).

Figura 23: Satélites com sinal no Brasil (3)

55.5 °W		Intelsat 34			16h04 22/11/2022
58 °W		Intelsat 21			16h38 22/11/2022
61 °W		Amazonas 2			16h03 22/11/2022
		Amazonas 3			
		Amazonas 5			
63 °W		Telstar 19V			13h41 13/08/2022
65 °W		StarOne C2			18h41 11/11/2022
65.1 °W		Eutelsat 65 West A			13h06 23/11/2022
67 °W		SES 10			09h40 25/10/2022
70 °W		StarOne D2			16h20 22/11/2022
		StarOne C4			
71.8 °W		ARSAT-1			15h52 22/11/2022
74 °W		Hispasat 74W 1			16h40 22/11/2022
75 °W		SGDC 1 Brasil			08h00 27/09/2021
75 °W		StarOne C3			13h01 23/11/2022

Fonte: Portal BSD, 2022

A Figura 24 apresenta os satélites posicionados entre 81°W e 133°W, onde observamos uma menor quantidade de transmissões de canais de TV em língua portuguesa. A maioria desses satélites está voltada para sinais de internet e cobertura de TV por assinatura para o México e os Estados Unidos. Essa região orbital é estrategicamente importante para garantir a conectividade e a cobertura de serviços de comunicação nessas áreas geográficas, embora não seja tão relevante para o público de língua portuguesa em comparação com outras posições orbitais.

Figura24: Satélites com sinal no Brasil (4)

81 °W		ARSAT-2			15h51 22/11/2022
84 °W		StarOne D1			16h25 16/11/2022
87.2 °W		Tupac Katari			15h54 22/11/2022
89 °W		Galaxy 28			13h35 07/10/2022
92 °W		StarOne C1			11h41 14/09/2016
95 °W		Galaxy 3C			13h39 07/01/2021
97 °W		Galaxy 19			12h11 02/03/2022
107.3 °W		Anik G1			10h03 06/05/2022
113 °W		Eutelsat 113 West A			11h36 06/10/2022
114.9 °W		Eutelsat 115 West B			17h52 31/12/2021
117 °W		Eutelsat 117 West A Eutelsat 117 West B	 		16h51 22/11/2022
123 °W		Galaxy 18			20h11 19/05/2022
133 °W		Galaxy 15			

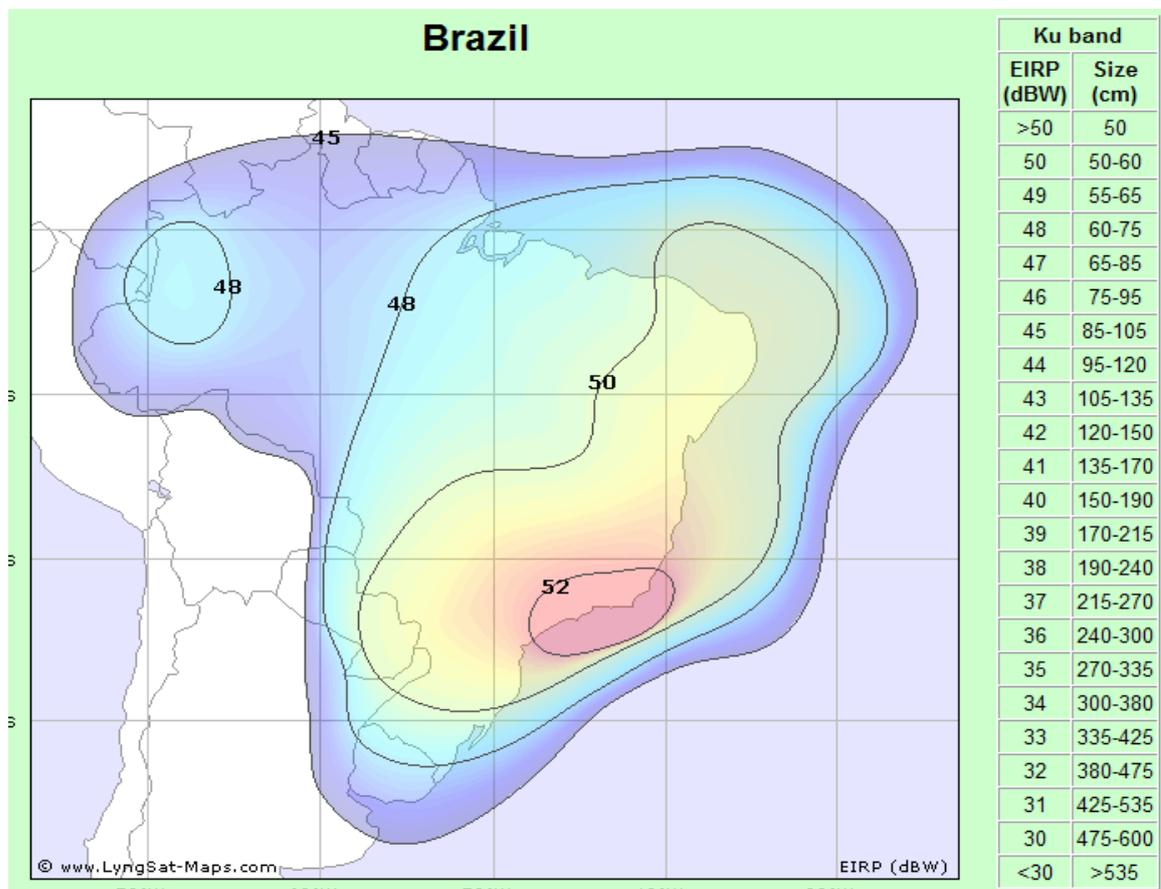
Fonte: Portal BSD,2022

Existem muitos satélites no cinturão de Clarck que atendem ao Brasil, enquanto outros estão posicionados na mesma região, mas direcionam seus sinais para a América Central e do Norte ou para localidades específicas. Dessa forma, não é possível captar os sinais desses satélites em algumas regiões. Por isso, é essencial verificar sempre o portal BSD para confirmar se o satélite que você deseja captar ainda está disponível na sua área. O portal BSD oferece informações atualizadas sobre a disponibilidade e a cobertura dos satélites, ajudando os usuários a identificar quais sinais podem ser recebidos em sua localidade. (Portal BSD,2024)

2.4.3 NÍVEIS DE SINAL

O sinal precisa ter níveis de potência alto, para ser processado, isso significa que o nível captado vai depender da potência isotrópica efetiva irradiada (EIRP) esse valor varia em cada região o tamanho da antena, sensibilidade do receptor, qualidade do LNB e alimentador, cabeamento, entre outros. Sinais de transmissão direcionados para outros continentes como América do Norte, central, ou até mesmo europeu e o africano, são possíveis de ser captados no Brasil, mas para isso a antena usada tem que ser maior, podendo chegar a 10 metros de diâmetro se não tiver visada especial para o nosso país. Na Figura 25, aparece o mapa de cobertura do satélite Star One C2 posicionado em 70w na banda KU, a potência EIRP e a antena recomendada em (cm), visto que estamos localizados no Rio Grande do Sul, o EIRP fica entre 48 e 50, então a antena recomendada tem que ter no mínimo 60 cm a recomendação e ser sempre superior para evitar ficar sem sinal em caso de chuva ou algum evento climático que possa interferir no sinal.

Figura 25: Mapa de cobertura Star One C2 banda KU, Brasil.



2.4.4 (EIRP) POTÊNCIA ISOTRÓPICA IRRADIADA

Para determinar a potência de um satélite na região onde a antena está apontada e calcular o tamanho recomendado da antena, é possível utilizar equipamentos de medição apropriados ou consultar o mapa de cobertura fornecido pelo fabricante. Sites especializados também disponibilizam esses mapas, conhecidos como "footprints". A potência isotrópica efetiva irradiada, é por padrão especificada em dBw. Em uso na Banda KU, acima de 40 dBw já é possível captar alguns sinais mais fortes, com uso de pequenas antenas, de 45 a 60 cm de diâmetro (assimétrica).

2.5 EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

Os sinais digitais podem ser captados em toda a área de cobertura do satélite. Nosso projeto visa capturar sinais abertos (FTA) sem codificação, transmitidos nas bandas KU e C. Para isso, é necessária uma antena parabólica, que pode ser simétrica, de ponto focal ou offset, além de um cabo coaxial com o comprimento adequado para conectar o LNB ao receptor digital. O receptor deve ser capaz de ler os padrões DVB-S/DVB-S2, que são os mais comuns para os sinais captados no país.

2.5.1 ANTENAS RECOMENDADAS

Para a captação de sinais para o uso na Banda KU, se exige antenas parabólicas, as mais usadas são as (offset) fechadas de chapa de ferro, ainda é possível encontrar as de alumínio repuxado ou estampado, as antenas de resina reforçada com fibra de vidro e plástico, são muito usadas para a banda C, mas também podem ser usadas para banda KU, e necessário que tenham barreira refletiva à micro-onda. As antenas de tela, não são recomendadas por serem vazadas, o sinal refletido é muito baixo, por isso não é recomendado.

2.5.2 RECEPTOR RECOMENDADO

O receptor utilizado sempre vai depender do tipo de sinal que o usuário que receber, por volta dos anos 2000, a única forma de transmissão ainda era analógica codificado ou FTA, com a implementação do sinal digital a grande maioria dos sinais hoje são digitais, temos uma apenas uma exceção no satélite Star One, posicionado em 70°W, o único que ainda retransmite sinais analógicos, mas em breve será desativado, um simples receptor de sinal analógico consegue captar somente sinais analógicos. Os sinais transmitidos na Banda KU,

são todos digitais, portanto será necessário um receptor digital, que consiga processar vídeo e áudio, utilizando o sinal de TV, rádio, e de dados como a internet. O padrão digital adotado pelos provedores com sinais sobre o Brasil é o padrão europeu DVB-S e mais recentemente também o DVB-S2, para canais em HD (high definition), já desenvolvidos até hoje. Outras formas de transmissões existem, uma delas que é menos usada é o padrão americano ATSC. Esses equipamentos são mundialmente comercializados e de fácil acesso para recepção FTA. No Brasil, existem várias empresas nacionais que produzem esses receptores, inicialmente de origem importada, e alguns até montados aqui no nosso país. O preço parte de R\$ 200.00 e aumenta conforme o número de funções que o aparelho possui, os de uso profissional tem um custo muito maior, mas é possível conseguir através de lojas especializadas, tanto físicas como em sites de lojas especializadas, os produtos nacionais geralmente vêm com uma certificação da ANATEL (GOV.BR.2023).

2.6 CANAIS FTA, CODIFICADOS

Os sinais abertos (FTA), disponíveis para recepção em qualquer receptor digital com suporte a DVB-S/S2. Além dos sinais abertos, tem os codificados, direcionados aos assinantes, com equipamentos decodificadores apropriados para conseguir ler o sistema de encriptação usado com um equipamento especialmente projetado para o fornecimento dos serviços contratados pelos assinantes. Esses decodificadores possuem bloqueio chaveado eletronicamente, com isso é possível estabelecer acesso condicional, mediante a um registro, para somente liberar o sinal com um cartão de autenticação habilitado pela própria empresa. Esses sinais que são destinados a assinantes, algumas transmissões eventuais, feeds esportivos, culturais, políticos, automobilísticos e outros, podem ser transmitidos de forma encriptada (codificada) e somente receptores apropriados os podem inserir as chaves de abertura para ter acesso aos canais. Existem muitos sistemas de codificação, alguns deles são muito utilizados, como o Mediaguard, Porwervu, Viaccess, Irdeto, Nagravision e muitos outros. Esses receptores, usam para acesso condicional (CAM), para sinais que precisam de autenticação para funcionar, através de um cartão que libera sua decodificação para acesso do cliente, esses receptores na maioria das vezes são destinados à recepção por assinatura são fornecidos, por comodato, e fornecem acesso condicional, juntamente com seu sistema de autenticação própria. Além de receptores, existem no mercado placas DVB-S/S2, que podem ser conectadas diretamente em computadores ou notebooks, e ainda por barramento USB e

PCI, com uso de drivers e softwares específicos, podem ser usados como receptor de sinais de TV satélite ou até mesmo internet. (Williams, 2021; Smith & Clark, 2020).

2.7 LNB/LNBF

LNB (Low Noise Block Converter) traduzindo significa Conversor de Baixo Ruído, é um equipamento destinado à recepção e conversor de sinal de entrada em guia de onda, é utilizado com um alimentador, desta forma é posicionado em apenas uma polarização, vertical ou Horizontal. Por ser um Block Converter o sinal de entrada é recebido na frequência em Banda C, ou Banda KU, e sua saída é em banda L que trabalha de 1 a 2 GHz, ou seja, o sinal captado na entrada possui uma frequência diferente do sinal de saída. O LNBF (Low Noise Block Converter Feed Horn), traduzindo do inglês significa, conversor de baixo ruído com alimentador, já vem incluso o alimentador e recebe os sinais nas duas polarizações, usando o mesmo equipamento, e ele vai alternando a polarização e a tensão de alimentação com uma tensão de +13 volts para a polarização vertical/right e +18 volts para a polarização horizontal/left. Em qualquer banda de frequência a ser utilizada para recepção via satélite esse equipamento que fara a recepção do sinal, portanto é um dos itens mais importantes já que necessita ser adequadamente escolhido. Desejável que o LNB/LNBF seja especificado com uma figura de ruído, no máximo, em torno de 0,6 dB, encontramos alguns com figura de ruído de 0,2 dB, porem o seu custo é mais elevado e a dificuldade de encontrar no mercado brasileiro mais restrita.

2.7.1 POLARIZAÇÃO CIRCULAR

Para usar o LNB/LNBF para captar sinal circular, é necessário alterar o plano de polarização de linear para circular antes que o sinal seja recebido pela sonda do LNBF. Para isso, pode-se utilizar uma placa dielétrica, uma peça de Teflon ou cerâmica. O uso de uma placa dielétrica é uma maneira eficaz de promover a despolarização linear.

Conforme ilustrado na Figura 26 a seguir, um LNB com a placa de Teflon instalada no tubo de captação do sinal transforma o sinal linear em circular. Essa modificação permite que o LNB/LNBF receba sinais circulares com maior eficiência, melhorando a qualidade da recepção. Além disso, essa técnica é amplamente utilizada em aplicações que exigem uma conversão precisa de polarização para garantir uma comunicação via satélite de alta qualidade.

Figura 26: LNB com placa despolarizadora.



Fonte: e-shop satellite.com, 2022

A polarização circular é uma técnica utilizada para transmitir sinais via satélite de forma eficiente. É possível adicionar duas ondas lineares ortogonais, defasadas em 90 graus, o que resulta em uma onda polarizada circularmente. No entanto, se o receptor estiver recebendo apenas a polarização linear, ele receberá apenas metade da potência do sinal, com uma perda de 3 dB. Para obter toda a potência do sinal, é necessário transformar a onda circular em uma onda linear, o que pode ser feito utilizando uma placa dielétrica, como uma placa de Teflon.

Essa transformação pode ser realizada de diversas formas, mas o importante é que ela permita que toda a potência do sinal seja recebida. Utilizando essa técnica, é possível obter um ganho de 3 dB, o que equivale a aumentar o diâmetro da antena de 1,3 m para 1,8 m. É importante ressaltar que o uso da polarização circular, juntamente com a polarização linear, é uma forma eficiente de transmitir sinais via satélite, e existem diversas técnicas que podem ser utilizadas para essa transformação. (BSD, 2022)

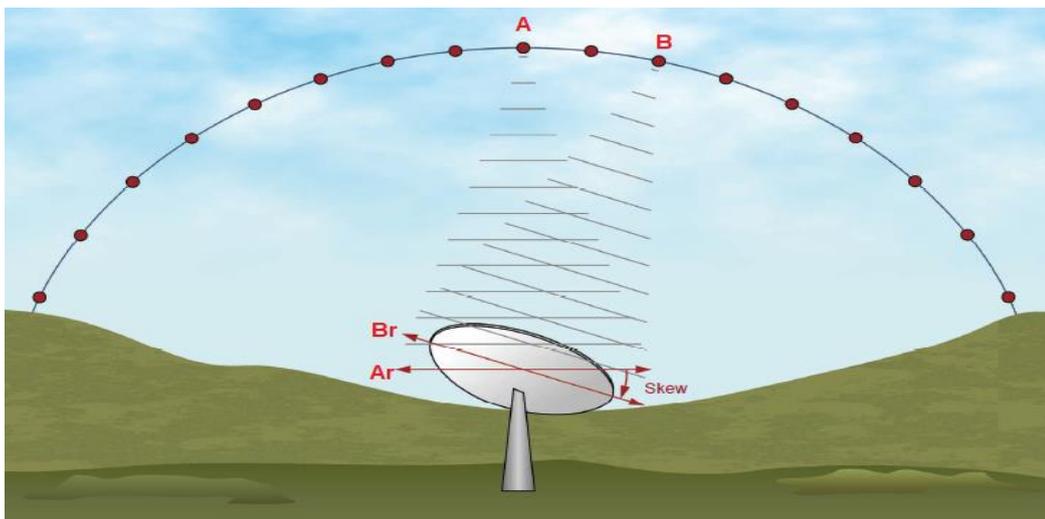
2.7.2 SKEW

Skew é um termo usado principalmente na engenharia de antenas, para melhorar o padrão de radiação horizontal de uma estação transmissora de alta potência. Geralmente o

sistema é construído para transmitir em quatro direções, cada uma separada a 90° uma da outra. (WIKIPEDIA (inglês),2022). Os sinais polarizados, transmitidos por dois satélites, situados em longitudes diferentes, sendo que o satélite A está no mesmo meridiano que a estação terrestre (mesma longitude) e o satélite B está em longitude diferente, pode ser visto na figura 28. O sinal recebido A_r do satélite A chega polarizado horizontalmente, mas o sinal B_r recebido do satélite B não! O sinal B_r chega inclinado, por um ângulo, horizontal local, e causaria uma queda do sinal por despolarização, caso não for ajustado, conseqüentemente pode surgir, interferência do sinal que está na mesma frequência, mas com polarização vertical. (QSL, 2019)

A fórmula demonstrada na Figura 27, que está abaixo permite calcular o ângulo de skew. Esse ângulo só é nulo, quando as longitudes do satélite e da estação forem iguais, portanto, no mesmo meridiano, assim com $L=0$, em qualquer latitude da estação. O valor de ajuste máximo do skew é $+90^\circ$, se a estação estiver no equador (latitude 0°) e a leste do satélite, e -90° com a estação no equador e a oeste da longitude do satélite. (Obs.: $+90$ de skew tem o mesmo efeito que -90) Para longitudes da estação terrestre a leste do satélite e latitude norte, ou longitude a oeste do satélite e latitude sul, o skew será positivo e maior que zero e menor que 90 graus. (QSL, 2019).

Figura 27: Despolarização skew



$$\text{Despolarização devida a curvatura da terra} = \text{skew} = \psi = \tan^{-1} \left(\frac{\sin L}{\tan \varphi} \right)$$

onde ψ é o ângulo skew = inclinação da polarização na antena terrestre (graus)
 φ é a latitude da estação terrestre (graus)
 L é a diferença de longitude entre a estação terrestre e o satélite (graus)

O ajuste de skew, visualizado de cima e ligeiramente atrás do LNBF, em alguns modelos vem com uma escala graduada para o ângulo de skew já gravada no próprio suporte do LNB, facilitando o ajuste. Se a antena utilizada não possui essa escala, o ajuste deve ser feito manualmente até se obter o melhor sinal. Temos alguns sites que ao colocar a localização que a antena vai ficar, já apresenta o skew, um exemplo é o SATLEX, onde o skew é indicado como "Inclinação LNB (enviesamento)"(QSL, 2019)

O skew, é a inclinação do LNBF em torno do seu eixo de irradiação, como pode ser visto na Figura 28, é um parâmetro ajustável importante para a receber os sinais de satélite geostacionário, projetados para a polarização linear (vertical ou horizontal). Esse ajuste não precisa ser feito com polarização circular. Um satélite com posição fixa geostacionário, está sempre posicionado a 35 786 km acima do equador, em latitude zero, com posição orbital, e uma longitude definida, no cinturão de clark, o que faz com que as ondas horizontais (ou as verticais) em dois pontos distantes na terra não sejam paralelas, precisando ser feito o ajuste, para melhor captação do sinal.

Figura 28: Ajuste skew



Fonte: QSL.net,2019

Agora que foram detalhados todos os passos para apontar uma antena para um satélite em órbita geostacionária, será abordado como orientar uma antena utilizando cálculos

específicos. Tomemos como exemplo a cidade de Passo Fundo, Brasil, localizada na longitude $52^{\circ} 24' 30''$ a oeste e latitude $28^{\circ} 15' 40''$ ao sul.

Para determinar esses valores, são utilizadas fórmulas trigonométricas básicas. Por exemplo, para calcular a elevação, emprega-se a fórmula: $Elevação = \arcsin(\sin(\text{Posição Orbital} - \hat{\text{Ângulo Longitude}}))$. Nesta fórmula, a latitude e longitude de Passo Fundo são representadas pelos ângulos $\hat{\text{Ângulo Latitude}}$ e $\hat{\text{Ângulo Longitude}}$, respectivamente, e a posição orbital do satélite é representada por Posição Orbital . Como as fórmulas frequentemente utilizam termos em inglês, serão usados esses termos para a demonstração dos cálculos.

Para direcionar uma antena para um satélite posicionado na posição orbital de 70° a oeste, no cinturão de Clarke, a Equação 3 apresenta os seguintes cálculos:

1. **Cálculo da Elevação (Elevation):** A elevação é o ângulo entre a linha do horizonte e a linha direta para o satélite. Usamos a fórmula:

$$Elevation = \frac{\arctan[(\cos(\text{Longitude do satélite} - \text{Longitude do local}))]}{\tan(\text{Latitude do local})}$$

Substituindo os valores:

- Longitude do satélite = -70°
- Longitude do local = -52.40833° (convertendo $52^{\circ}24'30''$ para decimal)
- Latitude do local = -28.26111° (convertendo $28^{\circ}15'40''$ para decimal)

A inclinação **51.72°**

2. **Cálculo do Azimute (Azimuth):** O azimute é o ângulo medido no sentido horário a partir do norte verdadeiro até a projeção do satélite no horizonte local. Representado pela Equação 4 a seguir:

$$Azimuth = \arctan\left(\frac{\sin(\text{Longitude do satélite} - \text{Longitude do local})}{(\cos(\text{Latitude do local}) * \tan(\text{Latitude do local}) - \sin(\text{Longitude do satélite} - \text{Longitude do local}))}\right)$$

Substituindo os valores:

Ângulo azimute: $\approx 338.1^{\circ}$

3. **Cálculo do Skew:** O skew é o ângulo de rotação da antena no plano horizontal para alinhar a polarização da antena com a do satélite. Usamos a fórmula:

$$Skew = \arctan \left[\frac{(\sin(Longitude \text{ do satélite} - Longitude \text{ do local}))}{(\tan(Latitude \text{ do local}))} \right]$$

Substituindo os valores:

$$Skew = \arctan \left[\frac{(\sin(-70^\circ + 52.40833^\circ))}{(\tan(-28.26111^\circ))} \right] \approx -29.69^\circ$$

Portanto, para orientar uma antena em Passo Fundo para um satélite posicionado a 70° a oeste, a elevação deve ser de aproximadamente 51.72° , o azimute de 338.1° , e o skew de -29.69° .

Ao comparar com outro satélite localizado a 75° a oeste, observa-se uma variação nos valores: 48.70° de inclinação, azimute de 318.1° e skew -35.87° . Mesmo estando em órbitas próximas, percebe-se essa discrepância.

Esses cálculos demonstram que, mesmo com órbitas próximas, a orientação da antena pode variar consideravelmente. No entanto, com a automatização da antena, utilizando apenas dados de localização, torna-se possível posicionar o dispositivo de maneira precisa para encontrar o sinal desejado.

2.8 VANTAGENS E AS DESVANTAGENS

Pelo fato de poder transmitir muitas informações a grandes distâncias, de forma rápida, pode ser visto com vantagens sobre os outros meios de comunicação. O uso por cientistas, militares, a esta tecnologia, é muito comum, para fins de estudos, climáticos e comunicação, essas transmissões de informações, que envolvem desde documentos importantes, até dados confidenciais, o que faz abrir sempre um ponto de discussão, sobre a sua segurança, para isso em algumas frequências é necessário o uso de encriptação para garantir a segurança, para que não haja vazamento de arquivos sigilosos.

Falando nas vantagens, comparando com outras tecnologias, por poder começar a funcionar em poucos dias, mesmo que as localidades sejam mais distantes e remotas, mesmo em regiões insulares, de pouca infraestrutura, por exemplo, aviões e os navios por viajarem grandes distâncias, muitas vezes atravessam vários continentes, são possíveis candidatos a ter uma antena via satélite ou para se orientar por GPS *Global Positioning System*, muito usado por grande parte dos equipamentos eletrônicos, celulares, notebooks, máquinas agrícolas e carros. A comunicação pode ser implantada em sistemas de operação digital, levando-se em consideração a frequência e modulação utilizado.

Resumo: Conforme explorado ao longo dos capítulos, a utilização de transmissões via satélite demonstra ser particularmente benéfica em regiões remotas, distantes dos centros urbanos. Em áreas onde a infraestrutura de comunicação terrestre é inadequada ou inexistente, os satélites oferecem uma solução eficaz para superar barreiras geográficas e conectar comunidades isoladas (Baetz & Edward, 2020). Essa tecnologia proporciona uma ampla gama de serviços, incluindo acesso à internet de alta velocidade, televisão por assinatura, suporte a estudos científicos e meteorológicos, além da transferência segura de informações confidenciais (Elbert, 2019).

Os satélites são particularmente valiosos para fornecer conectividade em situações de emergência e desastres naturais, onde a comunicação terrestre pode ser interrompida. Eles também desempenham um papel crucial na telemedicina, permitindo que profissionais de saúde prestem atendimento em regiões de difícil acesso (Maral & Bousquet, 2017). No entanto, é importante reconhecer que há desafios associados ao uso de satélites. Interferências climáticas, como tempestades e condições meteorológicas adversas, podem afetar a qualidade do sinal e a confiabilidade da comunicação (Baetz & Edward, 2020).

Além disso, questões de segurança de dados e privacidade são preocupações significativas. A transmissão de dados confidenciais via satélite requer medidas robustas de criptografia e autenticação para proteger contra interceptações e acessos não autorizados (Elbert, 2019). Portanto, enquanto as transmissões via satélite oferecem inúmeras vantagens, é fundamental abordar esses desafios técnicos e de segurança para maximizar sua eficácia e confiabilidade. A utilização de transmissões via satélite é essencial em áreas remotas, onde a infraestrutura de comunicação terrestre é limitada.

Essa tecnologia oferece serviços como acesso à internet de alta velocidade, televisão por assinatura e comunicação de emergência, especialmente útil em situações de desastre (Baetz & Edward, 2020). Na Figura 29, uma antena em um ponto remoto é usada para comunicação via internet, demonstrando a utilidade do sistema via satélite. Durante a catástrofe de maio de 2024 no Rio Grande do Sul, a Starlink, empresa de Elon Musk, manteve o acesso à internet em várias cidades sem energia elétrica (Starlink, 2024).

Figura 29: Antena em uma área remota



Fonte: WHCengenharia, 2024

Os benefícios da conectividade via satélite incluem o acesso à internet em regiões isoladas, promovendo desenvolvimento econômico e social (Baetz & Edward, 2020). Além disso, facilita consultas médicas à distância, oferecendo atendimento especializado em telemedicina (Maral & Bousquet, 2017), e permite o acesso a recursos educacionais em locais sem infraestrutura adequada para educação à distância (Elbert, 2019).

No entanto, a comunicação via satélite enfrenta desafios como interferências climáticas, que podem afetar a qualidade do sinal (Baetz & Edward, 2020), e questões de segurança de dados, que exigem criptografia e autenticação robustas para proteger informações confidenciais (Elbert, 2019). Avanços tecnológicos, como as constelações de satélites em órbita baixa da Starlink, prometem melhorar a eficiência e acessibilidade da comunicação via satélite, oferecendo melhor latência e velocidade de conexão (Starlink, 2024).

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto visa simplificar o direcionamento de antenas por meio da automação de seus movimentos, permitindo a mudança de posição apenas com comandos. Além de sua funcionalidade principal, o projeto também visa diversificar o conteúdo disponível, oferecendo acesso gratuito a uma ampla gama de canais de televisão que abrangem áreas como cultura, filmes, jornalismo e conteúdo estrangeiro. Isso contribui para uma experiência mais rica e variada para os usuários.

A Figura 30 ilustra o início do projeto com uma antena offset de 75 cm, utilizada para a banda Ku e um LNB universal. Nesta imagem, observa-se também a adaptação de um tripé, que ajuda a manter a antena em uma posição estável, facilitando o alinhamento com o satélite. O tripé é especialmente útil, pois permite que a antena seja movida facilmente para diferentes locais quando necessário.

Figura 30: Antena Offset montada



Fonte: o Autor

O primeiro passo no processo de alinhamento automático da antena é garantir que o ponto focal esteja direcionado precisamente para o norte. Este alinhamento é fundamental para a eficácia da recepção dos sinais de satélite. Para automatizar esse procedimento,

utilizou-se um sensor magnetômetro HMC5883L, que atua como uma bússola eletrônica. A Figura 31 mostra o sensor que foi utilizado para o controle de movimento dos motores da antena para que fiquem alinhados ao norte magnético.

Figura 31: sensor HMC5883L



Fonte: Mercado Livre

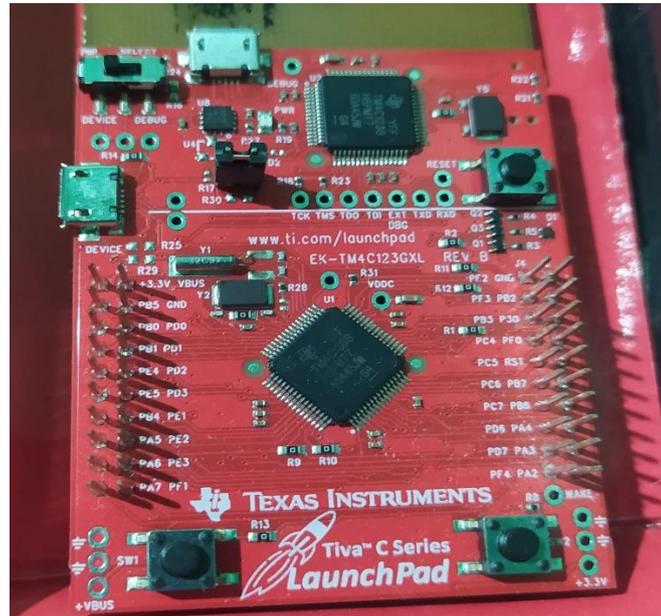
Após essa etapa, o próximo passo envolve a inclinação da antena, utilizando o norte devido à sua inclinação mais alta. Ao girar a antena para leste ou oeste, a inclinação diminui gradualmente. Esse procedimento é necessário apenas uma vez, a menos que a antena seja realocada.

Em seguida, o processo continua com a configuração no receptor digital por meio do USALS (*Universal Satellite Automatic Location System* - Sistema de Localização Automática de Satélites Universal). Essa configuração é realizada diretamente no aparelho, onde a latitude e longitude são inseridas. Posteriormente, o aparelho envia a posição orbital do satélite, e outro servo motor calcula o azimute e se posiciona de acordo.

Uma vez concluídas essas configurações, basta realizar uma busca de frequências no receptor, que mostrará os canais que foram reconhecidos. Para identificar os canais disponíveis no satélite, é necessário acessar um site que reúna esses dados. Para os testes realizados, utilizou-se o site (<https://www.portalbsd.com.br>).

A placa TM4C123GXL é responsável por obter os dados do sensor magnético HMC5883L e repassá-los para o motor de alinhamento, garantindo que a antena seja ajustada com precisão para apontar ao norte. Esta placa oferece uma interface eficiente para a comunicação com o magnetômetro e o controle preciso do motor de alinhamento.

Figura 32: placa TM4C123GXL



Fonte: O autor

Para o controle de posicionamento foi usado um motor com o sistema que se comunica pelo USALS com o receptor via satélite. Esse é um sistema de servo motor amplamente utilizado para auxiliar no posicionamento pois seu sistema tem uma margem de erro muito baixa. Esse sistema combina hardware e software para fornecer controle preciso sobre o movimento da antena, garantindo uma recepção de sinal otimizada.

Os principais componentes de um sistema USALS incluem um servo motor, um microcontrolador, sensores e o receptor de satélite. O servo motor é responsável por mover a antena parabólica nas direções de azimute (horizontal) e elevação (vertical). O microcontrolador processa as entradas dos sensores e os comandos do usuário, controlando o servo motor para posicionar a antena com precisão. O servo motor geralmente é um motor DC equipado com um mecanismo de feedback. Ele recebe comandos do microcontrolador e ajusta a posição da antena. O mecanismo de feedback garante que o motor se posicione na posição exata e mantenha essa posição estável.

Na Figura 33 tem-se uma foto da parte da frente do servo motor que vai regular os ângulos da antena, sendo que o sistema já vem com marcações de ângulos. E na sequência, a Figura 34 mostra o servo motor e o sistema de controle, com o circuito e um microcontrolador que já

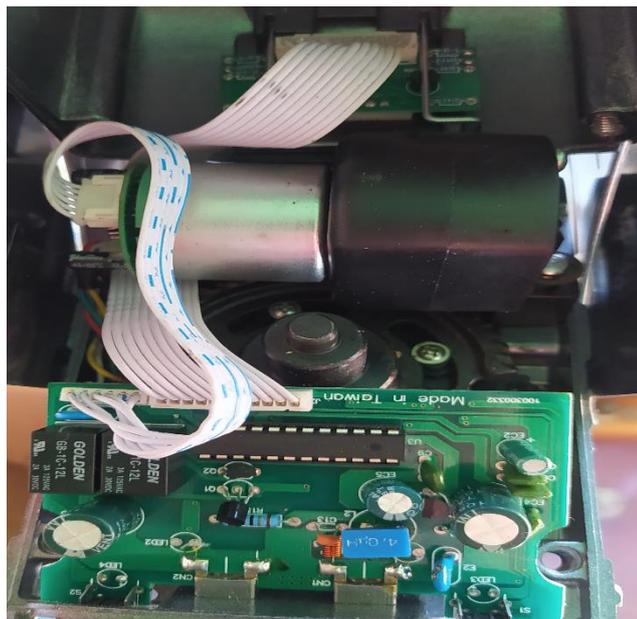
está pré-programado com os ângulos e para cada latitude que for configurada no equipamento. Mais sobre o circuito usado para controle está no Apêndice A.

Figura 33: Motor de posicionamento



Fonte: o Autor

Figura 34: Motor e componentes



Fonte: o Autor

3.1 HARDWARE

Para ser possível montar o projeto foi necessário:

- 01- Antena offset 60 cm ou superior;
- 01- Cabo coaxial de 20 metros ou superior;
- 01- Receptor de TV, com suporte DVB-S2 e USALS ou superior;
- 01- LNB duplo, conversor de sinais via satélite; (banda KU, universal)
- 03- Servos motores para ajustar as partes moveis;
- 01- Placa de circuito impresso do projeto;
- 01- Tela para exibir os canais funcionando;
- 01- Estrutura mecânica projetada para fixar antena e servos motores;
- 01- Inclinômetro;
- 01- Bússola;
- 01- Maleta de ferramentas, para fixar a antena;
- 01- Jogo de 12 conectores para cabo coaxial RG6;

A Figura 35 ilustra alguns equipamentos necessários, sendo que os demais equipamentos vão aparecendo nos próximos tópicos, junto com a explicação da montagem.

Figura 35: Imagem equipamentos necessários

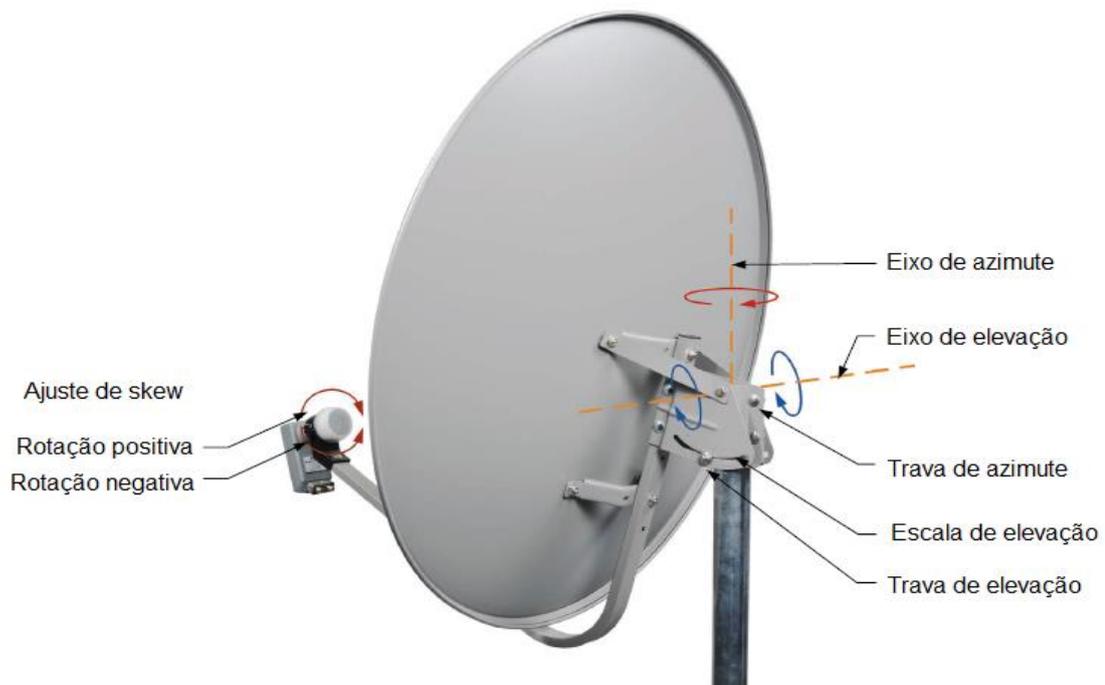


Fonte: Mercado Livre, 2022

3.2 ESTRUTURA MECÂNICA / PROTÓTIPO

Após apresentar os principais componentes do projeto, é necessário abordar os dados de concepção do dispositivo destinado a controlar os movimentos da antena em direções pré-programadas. Para isso, é fundamental uma estrutura mecânica meticulosamente projetada, que permita precisão e estabilidade nos movimentos. O modelo de antena em questão não dispõe de pontos de fixação para os braços atuadores, requerendo assim a intervenção de um serralheiro para montar a estrutura. Essa estrutura deve ser capaz de acomodar os movimentos delineados na Figura 36, essenciais para captar os sinais dos satélites. Mesmo que a antena esteja alinhada com precisão ao satélite, qualquer folga nos rolamentos da estrutura pode inviabilizar a captação de sinais. Portanto, é imprescindível que o projeto conte com um ajuste meticuloso, pois até pequenos desalinhamentos da antena, de apenas alguns milímetros, podem comprometer a qualidade do sinal. Para evitar erros e minimizar a possibilidade de interferências ou falhas, deve-se fazer o uso de peças de alta qualidade, capazes de garantir o funcionamento eficiente do sistema em diversas condições climáticas. A Figura 36 ilustra os ajustes necessários para assegurar a obtenção de um sinal de qualidade.

Figura 36: Antena com ajustes para o projeto



Fonte: QSL.net,2019

O ajuste do skew é realizado pelo servo motor principal, que, ao girar a antena, ajusta o LNBF (Low Noise Block Feedhorn) para alinhar perfeitamente a polarização do sinal recebido com a do satélite. Como explicado em capítulos anteriores, o skew é a diferença de alinhamento entre a polarização do sinal recebido e a polarização do satélite, causada pela curvatura da Terra e pela variação de ângulos entre diferentes latitudes. Esse ajuste é essencial para otimizar a recepção do sinal, minimizando interferências e melhorando a qualidade da transmissão.

O eixo azimute é controlado pelo sensor HMC5883L, conforme ilustrado na Figura 31 mostrado anteriormente. Esse sensor realiza um alinhamento preciso com o norte magnético, possibilitando a localização de todos os satélites do cinturão de clack cujos sinais estejam direcionados para a região em questão, sem obstáculos à frente.

O ângulo de inclinação é controlado por um segundo servo motor, configurado no receptor. Para isso, é necessário utilizar um componente chamado DiSEqC (Digital Satellite Equipment Control). O DiSEqC é um protocolo de comunicação especial utilizado entre um receptor de satélite e dispositivos como um comutador multi-parabólica ou um pequeno rotor de antena parabólica. Este protocolo foi desenvolvido pelo provedor europeu de satélites Eutelsat, que atualmente atua como a agência de padrões para o DiSEqC.

Para controlar cada motor separadamente, é necessária uma chave DiSEqC, conforme mostrado na Figura 37. A saída OUT do receptor será conectada via cabo e dois conectores RG6 ao terminal central da chave DiSEqC, marcado como receptor (*receiver*) em inglês.

Figura 37: Chave DiSEqC



Fonte: O Autor

As portas 1 e 2 da chave serão ligadas a 2 motores, o motor 1 é o mais usado, pois ele se move para se posicionar na latitude desejada, enquanto o motor 2 controla a inclinação da antena esse só será usado no momento da instalação ou se mudar de local a antena. A seguir alguns detalhes dos motores usados:

1. **Motor:** Um motor de passo é frequentemente utilizado, proporcionando movimentos precisos e controlados.
2. **Controlador Eletrônico:** Recebe informações de um receptor de satélite e calcula a posição angular necessária.
3. **Sensores de Posição:** Ajudam a determinar a posição atual da antena, garantindo que ela se mova para a posição correta.
4. **Engrenagens:** Engrenagens de alta precisão são usadas para garantir que a antena se posicione com a exatidão necessária para captar os sinais dos satélites.

O uso de sistemas de tração e engrenagens precisas no USALS traz uma série de benefícios:

- **Eficiência:** Reduz o tempo e esforço necessário para ajustar a antena.
- **Confiabilidade:** Sistemas bem projetados têm menor probabilidade de falhas.

A Figura 38 mostra a posição que fica cada motor já contendo os sensores e o controlador eletrônico embutido na carcaça.

Figura 38: Motores 1 e 2 e suas posições no projeto



Fonte: O Autor

Cada motor funciona com um protocolo aberto chamado DiSEqC. Isso significa que suas especificações são publicamente disponíveis e podem ser implementadas por fabricantes de equipamentos de satélite sem a necessidade de licenciamento. A Eutelsat, que desenvolveu o DiSEqC, disponibiliza as especificações para promover a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes. O código do protocolo DiSEqC não é propriamente um código de software, mas sim um conjunto de especificações que descrevem como os comandos são estruturados e transmitidos entre dispositivos de satélite e componentes como comutadores e motores. Estas especificações incluem detalhes sobre a forma dos comandos, o formato dos bits e os sinais elétricos utilizados. (Eutelsat,2024)

Aqui está uma referência para os detalhes técnicos do DiSEqC:

1. DiSEqC Specification by Eutelsat:

Pode-se encontrar o documento oficial das especificações do DiSEqC no site da Eutelsat.

Abaixo um exemplo de implementação de como um comando DiSEqC pode ser formatado em um sistema de controle:

```
// Exemplo de comando DiSEqC em C

#include <stdint.h>
#include <stdio.h>

// Função para enviar comando DiSEqC
void sendDiseqcCommand(uint8_t *command, int length) {
    // Aqui você implementaria o código para enviar o comando via interface
    // de hardware
    // Este código é apenas um exemplo e não um código funcional
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        printf("Enviando byte: 0x%02X\n", command[i]);
    }
}

int main() {
    // Exemplo de comando DiSEqC para selecionar um comutador de entrada
    uint8_t diseqcCommand[4] = {0xE0, 0x10, 0x38, 0xF0}; // Comando exemplo
    // o protocolo 1.0 usa até 4 saidas.

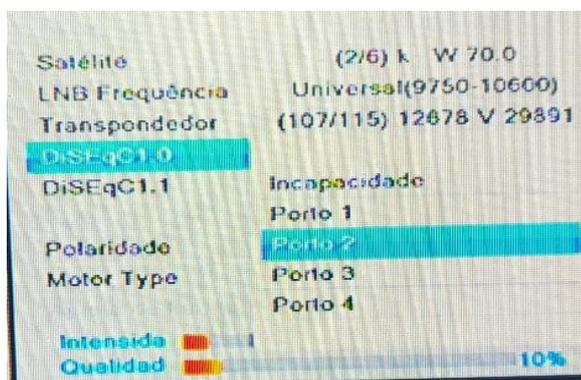
    sendDiseqcCommand(diseqcCommand, 4);

    return 0;
}
```

Este exemplo em C demonstra a estrutura básica de um comando DiSEqC. É importante consultar as especificações do protocolo para entender completamente como os comandos são construídos e enviados. (Eutelsat,2024)

A Figura 39 mostra a configuração da tela do receptor e da chave DiSEqC utilizada, que emprega o protocolo 1.0. Esse protocolo permite alternar o controle entre os dois motores, de modo que apenas um motor funcione por vez. Isso é necessário porque a corrente requerida para operar ambos os motores simultaneamente demandariam uma fonte de energia externa e este projeto foi desenvolvido para uso em áreas remotas, priorizando a economia de energia e a leveza do equipamento.

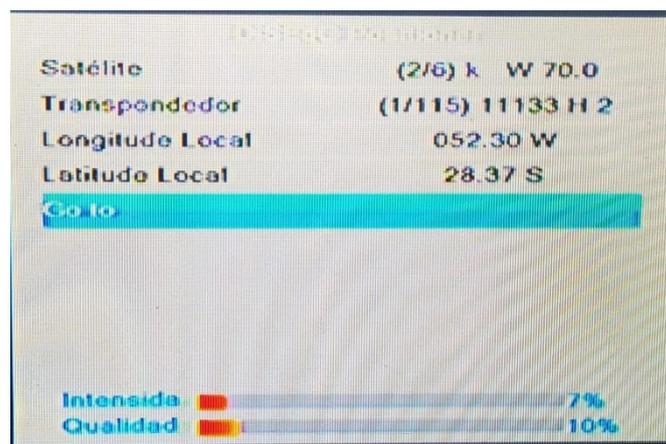
Figura 39: Configuração do receptor



Fonte: O Autor (tela do receptor)

Utilizando os protocolos DiSEqC e USALS em conjunto facilita muito a sintonia ou apontamento para os satélites, pois são protocolos que já tem em sua memória armazenados os ângulos e inclinação necessária para que o alinhamento fique perfeito. USALS ou Sistema Automático de Localização de Satélites Universais, é um sistema desenvolvido pela STAB da Itália em colaboração com a EUTELSAT. Introduzido para simplificar o alinhamento de antenas parabólicas, o USALS opera como um recurso avançado do protocolo DiSEqC 1.2, utilizando o comando "Mover Motor para Posição Angular (graus)". A Figura 40 mostra a longitude e latitude que a antena está e a partir desses dados os motores são movidos para as posições configuradas. As latitudes usadas são de Ibirapuitã-RS, onde foram feitos os testes. A Figura 40 mostra as coordenadas usadas para os testes, feitos no satélite da StarOne C4 em 70°w. Os cálculos de apontamento para vários satélites se encontram no Apêndice C.

Figura 40: Configurando coordenadas no aparelho



Fonte: O Autor

3.3 FIRMWARE/ SOFTWARE

O firmware utilizado no microcontrolador é baseado no protocolo USALS. Com isso, o equipamento já possui dados de latitudes e longitudes pré-carregados, juntamente com os ângulos correspondentes para cada posição orbital. Isso permite que o equipamento controle e processe dados imediatamente quando o usuário executa comandos através do controle remoto.

No contexto do projeto de automação de uma antena, o microcontrolador e o protocolo USALS desempenham diversas funções e atendem a várias necessidades, incluindo: Controle dos motores: Com os dados de coordenadas geográficas armazenados na memória do dispositivo. O microcontrolador realiza cálculos trigonométricos para determinar a elevação, azimute e skew da antena com base nas coordenadas geográficas fornecidas e na posição orbital do satélite desejado armazenando as configurações de latitude, longitude e outras preferências do usuário, garantindo que a antena mantenha as configurações mesmo após ser desligada e ligada novamente.

Na Figura 41, pode-se observar uma ilustração de como são calculados a inclinação e o azimute do satélite desejado, usado como base o site satlex.com que tem uma calculadora que mostra os valores apenas digitando as coordenadas do local que o usuário está e o satélite desejado no cinturão de Clark. No Apêndice D pode ser visto o código que foi implementado na placa TM4C123GXL para que os motores tenham referência.

Figura 41: Satlex.com cálculos posição satélites

Tecnologia :: Calculadoras :: Calculadora para o azimute e ângulo de elevação

Introduza a localização da antena e do satélite

Posição da órbita e satélite: 25.5° Leste : Eutelsat 25B/Es'hail 1

Posição da órbita definida pelo utilizador: 25.5° Leste

Posição da antena (cidade/país): Sete Lagoas MG

Localização definida pelo utilizador (latitude/longitude)*: -19.45° N / -44.25° L

Brasil (br)

Diâmetro da Antena (largura): 60 cm

Diâmetro da Antena (altura): 66 cm

Calcular

A sua localização:

Latitude: -19.45° N (19° 26' 59")

Longitude: -44.25° L (44° 15' 0")

Cidade: Sete Lagoas MG GH70un PY4ZBZ

País: Brasil

Inclinação LNB (enviesamento)

© Copyright by www.satlex.de

Ângulo de Azimute

Ângulo de Elevação

Valores calculados para a sua localização:

Ângulo de Azimute: 83.00° (True North)

Ângulo de Elevação: 10.59°

Inclinação LNB (enviesamento): 69.37°

Ângulo Offset: 24.62°

Distância ao satélite: 40533.43 Km

Atraso do Sinal: 270.22 ms (Uplink + Downlink)

Ângulo de Declinação: 2.97°

Ângulo de Hora de Elevação Polar (Polarmount): 77.67°

Definição de ângulo no motor: 102.33° Leste

Satélite: Eutelsat 25B/Es'hail 1 (25.5° L = 334.5° O)

© Copyright by www.satlex.de

Fonte: Satlex.com

Com os dados apresentados, é viável realizar o apontamento manualmente usando uma bússola, inclinômetro e conhecimento básico em alinhamento de antenas. Com a automação, a antena se direciona automaticamente ao inserir os dados de busca. Após o apontamento da antena, será necessário sintonizar os canais no aparelho ou inserir as frequências nas quais o satélite transmite seus sinais, considerando que os satélites geralmente utilizam múltiplos *transponders* para transmissão em diferentes frequências. Para base de dados e primeiro apontamento de satélite foram usados os dados do Apêndice B.

Para organizar e detalhar a proposta de software para o sistema USALS, um fluxograma pode ser uma ferramenta eficaz para ilustrar o fluxo de dados e os processos envolvidos. Abaixo, segue uma descrição passo a passo do funcionamento do software:

Inicialização do Sistema

- O software inicia e realiza uma verificação dos componentes do sistema (motor, sensores, controlador).
- O usuário insere as coordenadas geográficas da localização atual e os dados dos satélites a serem rastreados.
- Com base nas coordenadas geográficas e nos dados dos satélites, o software calcula a posição angular necessária para cada satélite.
- O software envia comandos ao motor para mover a antena para a posição calculada.
- Sensores de posição fornecem feedback contínuo para garantir precisão no posicionamento.

2. Funcionamento do Sistema:

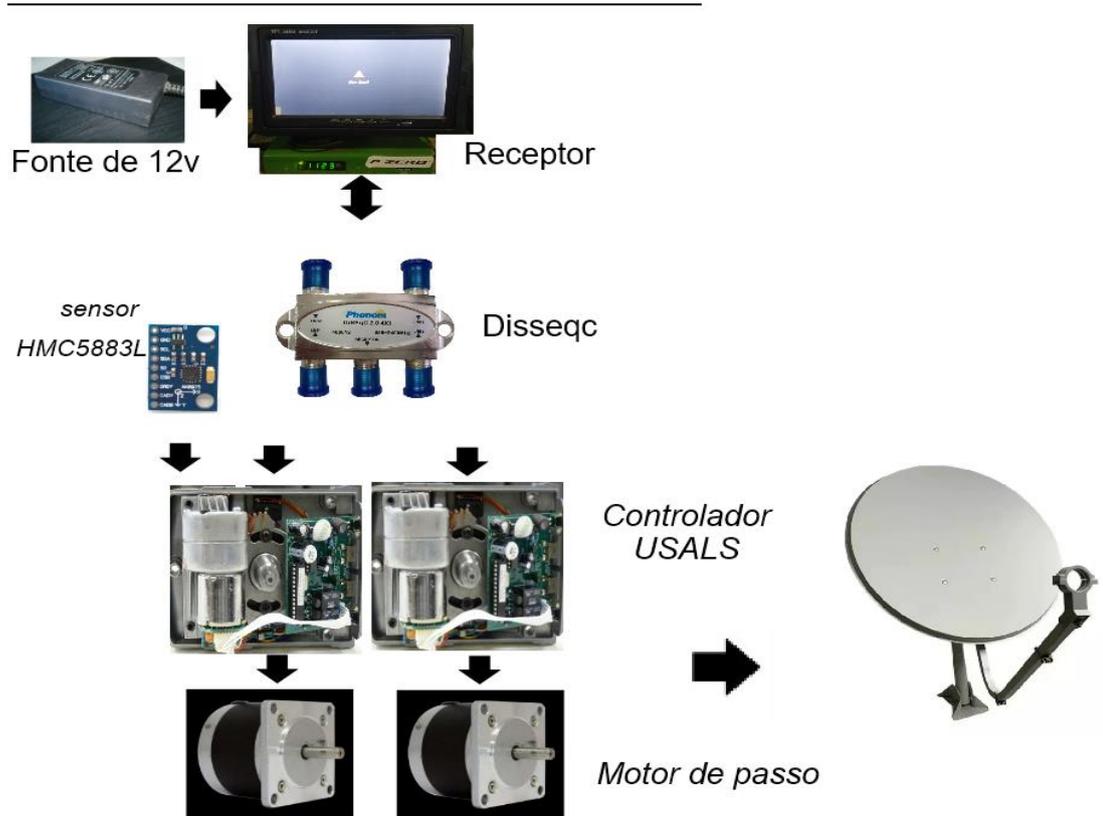
- O sistema utiliza um algoritmo para calcular o azimute e o ângulo de elevação, permitindo que a antena localize todas as posições orbitais possíveis ao longo do cinturão de Clarke para encontrar a posição geoestacionária do satélite desejado.

3. Operação do Software:

- O software opera com base nos dados enviados pelo receptor digital, que recebe as coordenadas disponibilizadas pelo usuário.
- Oferece uma interface que permite ao usuário inserir manualmente a localização desejada ou permite que o sistema localize automaticamente as coordenadas através de serviços online especializados.
- Essa funcionalidade facilita o processo de ajuste da antena, eliminando a necessidade de intervenção manual e reduzindo potenciais erros.

Este sistema integrado visa simplificar e otimizar o alinhamento de antenas, garantindo uma configuração precisa e eficiente para recepção de sinais de satélite. Na Figura 42 pode-se ver a estrutura do projeto com os controladores.

Figura 42: Estrutura do projeto



Fonte: o Autor

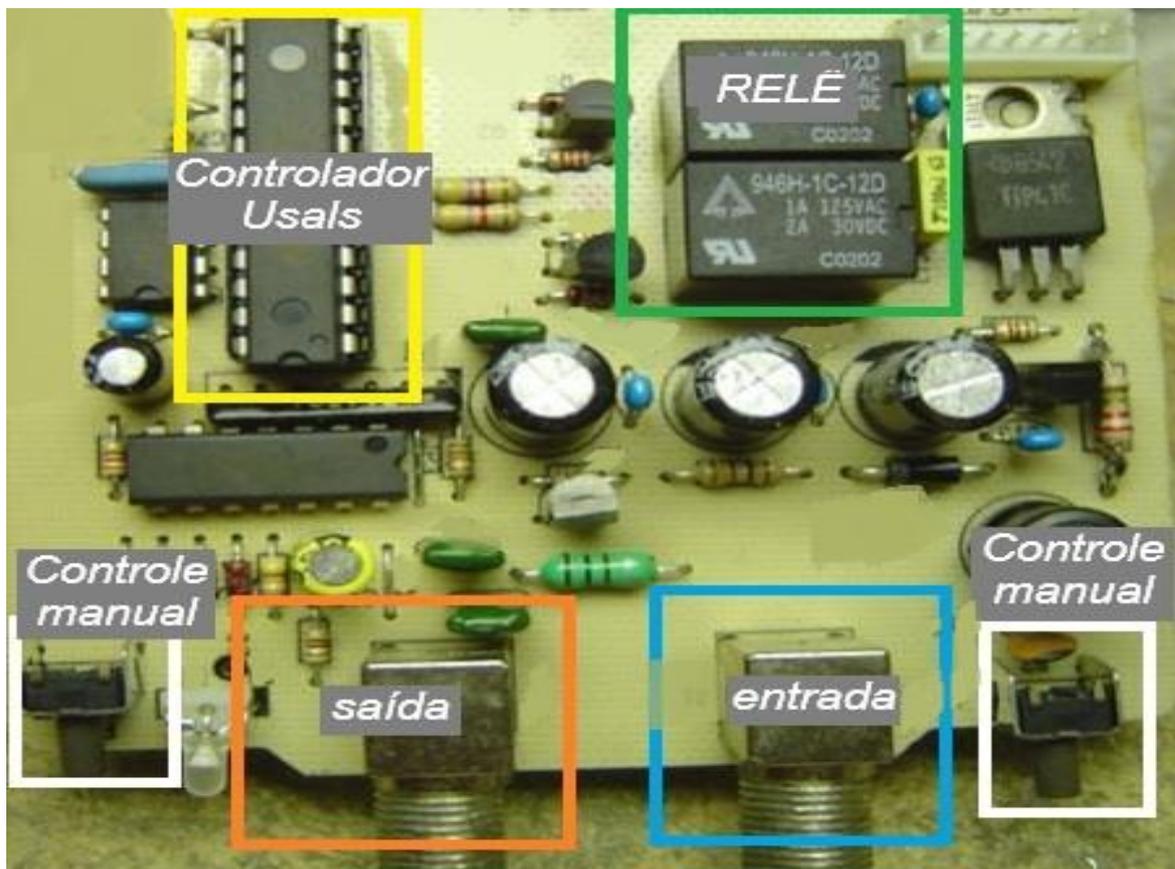
Através deste trabalho, explorou-se a automação e comunicação via satélite, destacando a complexidade tecnológica e os desafios enfrentados na implementação de sistemas como o USALS. Ao longo do desenvolvimento, identificou-se que a integração de componentes como os motores controlados por DiSEqC 2.0 e o sensor de bússola HMC5883L não apenas possibilita um controle preciso de posicionamento, mas também exemplifica a aplicação prática de conceitos teóricos em engenharia eletrônica e de sistemas.

Além disso, a análise detalhada das tecnologias de comunicação via satélite, incluindo iniciativas privadas como a Starlink, evidencia o impacto significativo desses avanços na conectividade global. Portanto, este trabalho não apenas contribui para o campo da automação e comunicação via satélite, mas também destaca a importância contínua de inovações tecnológicas para enfrentar os desafios contemporâneos de conectividade e acesso à informação em escala global.

3.4 CIRCUITO ELÉTRICO

A Figura 43 ilustra o circuito responsável pelo controle automático do apontamento da antena. O circuito inclui dois relés, um controlador que gerencia os dados recebidos do receptor (latitude e longitude) e a posição do satélite, e dois botões para sintonia manual. Esses botões permitem ajustes finos na sintonia dos canais, possibilitando a calibração manual quando necessário.

Figura 43: Circuito de controle motores



Fonte: O autor (placa construída a partir de referências do Apêndice B)

O circuito elétrico que controla o sistema USALS é gerido por um CI HT48R50-1, que funciona como o cérebro do sistema. Esse CI é responsável por acionar os dois relés que controlam os motores de passo. O circuito é alimentado pela energia que vem do cabo RG6, que se conecta ao receptor.

A tensão aplicada ao LNB é crucial para ajustar a polarização do sinal. Normalmente, uma tensão de 12V é utilizada para selecionar a polarização horizontal, enquanto uma tensão de 18V é usada para a polarização vertical. No entanto, esses valores podem variar dependendo

do modelo do LNB e do sistema. Assim, a velocidade de rotação dos motores pode ser afetada pela polarização recebida pelo LNB.

Para lidar com a baixa potência enviada pelo receptor ao LNB, foi necessário adicionar um transistor TIP42C. Este componente é utilizado para amplificação de potência e regulação de tensão, já que a potência fornecida pelo receptor pode ser insuficiente para mover o motor adequadamente e pode até causar danos à saída do receptor. Por esse motivo, é recomendável sintonizar um motor de cada vez.

O motor responsável pela inclinação, denominado Motor 2 na Figura 38 da página 64, só precisa ser ajustado se o equipamento for movido ou se houver alterações na inclinação da estrutura. Já o Motor 1, também mostrado na Figura 38, se movimentará sempre que a sintonia do satélite for alterada.

Os motores estão equipados com interruptores de fim de curso, conforme ilustrado na Figura 44. Foram instaladas quatro chaves switch em cada motor para garantir que os motores parem de se movimentar ao atingirem o final de curso, evitando esforços desnecessários e possíveis danos.

Figura 44: Chave Micro Switch NA 250V 16A KW11-7

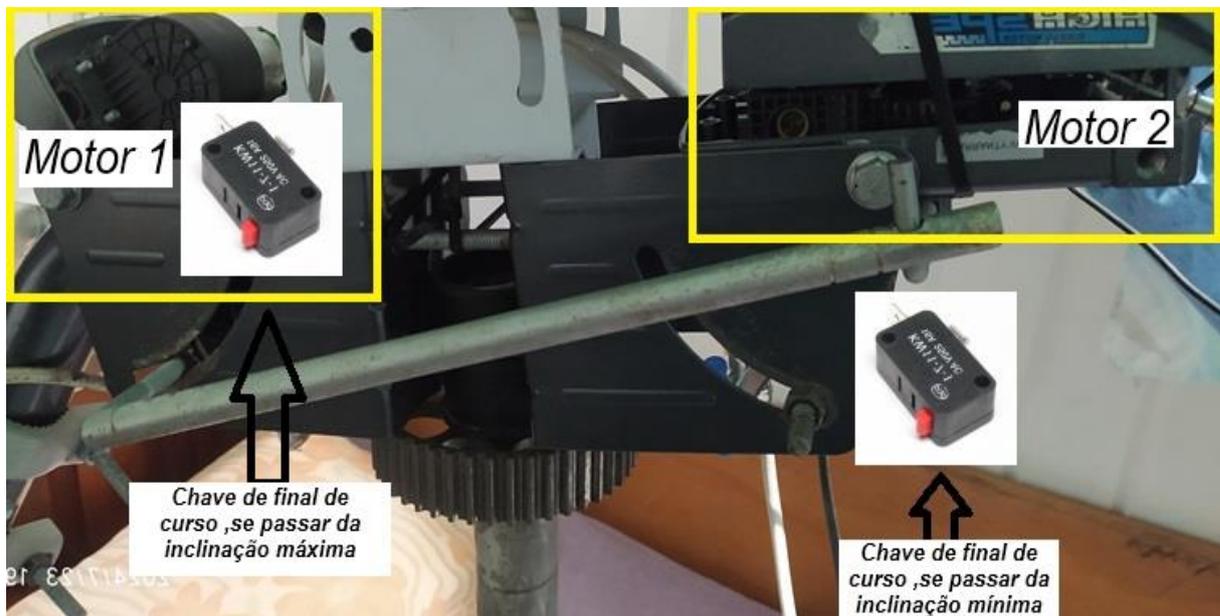


Fonte: Mercado Livre

Existem duas chaves switch em paralelo que estão em série com o motor de passo. Isso significa que o motor só desliga quando ambas as chaves estiverem em aberto. Há duas chaves que controlam o movimento para a esquerda e duas que controlam o movimento para a direita.

Na Figura 45, pode-se ver os pontos mais importantes onde as chaves switch foram instaladas. Essas chaves garantem que os motores sejam desligados caso a inclinação ultrapasse o limite suportado pelo equipamento. Para melhor compreensão da Figura 45, observa-se que há uma barra de alumínio que conecta o Motor 2 ao Motor 1, permitindo o contato direto com a inclinação da antena. Esta configuração de chaves switch é essencial para a proteção e operação eficiente dos motores. As chaves para o movimento à esquerda e à direita são colocadas estrategicamente para interromper a corrente quando a antena atinge os limites de inclinação máxima permitida. Isso previne danos mecânicos e garante que os motores de passo não sejam forçados além de suas capacidades. Além disso, a barra de alumínio serve como um guia físico que transmite a inclinação ajustada pelo Motor 2 ao Motor 1, assegurando um alinhamento preciso da antena. Este mecanismo garante que a inclinação da antena seja ajustada de maneira coordenada e segura, mantendo a integridade estrutural do sistema.

Figura 45: Posicionamento de algumas chaves de final de curso



Fonte: o Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos primeiros testes, conseguiu-se localizar com sucesso todos os satélites direcionados para Passo Fundo. O receptor digital identificou mais de 3.000 canais de televisão, incluindo mais de 300 canais FTA (Free to Air), que estão disponíveis para visualização sem pagamento de mensalidade. No entanto, alguns desses canais são codificados e só podem ser acessados por assinantes ou funcionam como repetidores para redes afiliadas e testes. Além disso, alguns sinais são de uso militar, governamental, ou são temporários, conhecidos como feeds ou sinais provisórios das operadoras. Os resultados detalhados desses testes estão apresentados na Tabela 1 e no Quadro 2.

Os sinais mais comuns encontrados em satélites são os feeds, mas nenhum foi registrado na Tabela 1 devido à sua natureza temporária. Esses sinais geralmente duram apenas alguns minutos ou horas antes de serem desativados. Com as Olimpíadas na França começando em 26 de julho de 2024, uma data próxima aos testes realizados, observou-se um aumento significativo na quantidade de sinais temporários. Esses feeds são frequentemente utilizados para transmissões ao vivo, como reportagens, eventos esportivos e coberturas especiais.

Os feeds temporários são essenciais para a cobertura de eventos em tempo real e podem incluir transmissões de jogos, entrevistas e atualizações ao vivo. Abaixo, segue uma explicação de alguns tipos de feeds encontrados durante os testes:

- **Feeds de Eventos Ao Vivo:** Sinais transmitidos para cobrir eventos ao vivo, como esportes e conferências.
- **Feeds de Reportagem:** Sinais utilizados por repórteres para transmitir notícias e atualizações diretamente do local dos eventos.
- **Feeds de Teste:** Sinais temporários usados para verificar e ajustar equipamentos de transmissão antes de eventos importantes.

Esses feeds temporários são essenciais para a flexibilidade e a cobertura abrangente de eventos e, portanto, não foram incluídos na Tabela 1, uma vez que são de natureza passageira e não permanentes.

4.1 DADOS OBTIDOS

Foram realizados outros testes que comprovaram a efetividade do apontamento da antena. Na região de Ibirapuitã, RS, cujas coordenadas estão inseridas na Figura 40, conforme dados obtidos no portal BSD mencionado anteriormente na página 58, foi possível identificar que 23 satélites transmitem sinais na banda Ku para essa área. Após diversos aprimoramentos no projeto, obteve-se êxito na captação dos sinais desses satélites.

A Tabela 1 apresenta o nome dos satélites, a latitude de cada um, e a eficiência no recebimento de todas as frequências transmitidas, que foi de 100% em todos os casos. Também, é mostrada a quantidade de canais disponíveis em cada satélite, quantos estão em português (canais do Brasil), e quantos são transmitidos em sinal aberto (gratuito) ou FTA (Free-to-Air). Além disso, a Tabela 1 exibe a intensidade do transponder mais forte e mais fraco de cada satélite e a média de qualidade de sinal dos 23 satélites testados.

Para que um canal de TV em Full HD funcione sem interrupções, o sinal precisa ser superior a 45 dBi. Observamos que alguns sinais ficaram próximos a esse limite, o que pode resultar em falhas na recepção em condições de chuva ou nevoeiro. Esse problema pode ser mitigado com o uso de uma antena de maior porte, de 90 cm ou mais. Vale ressaltar que a maioria das operadoras de TV por assinatura oferece antenas de 60 cm para seus clientes.

Adicionalmente, os sinais dos satélites que apresentam uma tonalidade azul mais escuro na Tabela 1, indicam que têm um sinal mais forte e mais canais, porém alguns desses sinais estão codificados e um usuário comum não pode acessá-los sem contratar o serviço correspondente.

O StarOne C2 (70W) e o Sky Brasil (43W) estão recebendo os canais da antiga parabólica que estão sendo migrados da Banda C para a Banda Ku. Atualmente, a Banda C é a que mais oferece canais com sinal aberto. Portanto, à medida que os sinais são migrados para a Banda Ku, a disponibilidade de canais abertos (FTA - Free-to-Air) aumentará, tornando o projeto ainda mais atrativo.

É importante notar que os dados apresentados podem sofrer mudanças a qualquer momento, pois os canais podem trocar de transponder (frequência), aumentar ou diminuir seus sinais, mudar de satélite, entre outras possibilidades. Essas mudanças são comuns no setor de telecomunicações e podem impactar a recepção e a disponibilidade dos canais captados pelo sistema. Na Tabela 1 tem-se a disponibilidade de canais oferecidos em cada satélite e a

qualidade do sinal máxima e mínima, que foi capturada nos testes. Esses sinais podem variar devido a condições climáticas ou disponibilidade do sinal que foi feito o teste. Foram avaliados 23 satélites e a qualidade de seus respectivos sinais. Todos os sinais dos satélites foram capturados com qualidade suficiente para evitar oscilações ou falhas em um ambiente de céu limpo. Isso significa que todas as frequências disponíveis, de acordo com o Portal BSD, foram recebidas com sucesso.

Tabela 1: dados de satélites

Satelites	Latitude	Sinais capturados	canais TV	Brasil TV	FTA TV	Menor sinal em Dbi	Maior sinal em Dbi
ABS 3A	03w	100%	147	0	3	45	58
Eutelsat 8	08w	100%	1	0	1	70	70
Express AM8	14w	100%	2	0	2	86	86
Telstar 12	15w	100%	338	8	23	65	94
SES 4	22w	100%	2	2	2	78	80
Hispasat 5/6	30w	100%	58	2	44	55	100
SES 6	40w	100%	475	3	3	95	100
SKY Brasil	43w	100%	576	40	40	95	100
Intelsat 14	45w	100%	6	0	3	55	60
intelsat 23	53w	100%	1	0	11	70	70
Amazonas 6	61w	100%	506	4	7	79	100
StarOne C2	65w	100%	3	10	12	65	100
SES 10	67w	100%	11	1	5	76	96
StarOne D2	70w	100%	730	79	79	84	100
ARTSAT-1	72w	100%	70	0	48	55	78
Hispasat 74	74w	100%	31	0	7	56	88
SrarOne C3	75w	100%	1	1	1	87	87
ARTSAT-2	81w	100%	211	3	12	67	93
StarOne D1	84w	100%	124	16	16	88	100
Tupac Katari	87w	100%	193	0	5	77	90
Galaxy 36	89w	100%	1	0	0	87	100
Eutelsat 115	113w	100%	1	1	1	55	76
Eutelsat 117	117w	100%	137	0	36	51	83
23 satelites		Total	3625	170	361	Media=70	Media=90

Fonte: O autor (2024)

Interpretando os dados, constata-se que foi possível capturar o sinal de 3.625 canais de TV, sendo 90% com sinal fechado e 10% com sinal aberto. Destaca-se que, com este simples equipamento, foi possível captar o sinal de 361 canais de TV gratuitos de diversas partes do planeta, incluindo 170 canais do Brasil.

Além disso, identificou-se mais de 10 canais em língua portuguesa provenientes de outros países, tais como Portugal, Angola, Cabo Verde, Guiné-Bissau, Guiné-Equatorial, Moçambique, Timor-Leste e São Tomé e Príncipe. No entanto, não se contabilizaram esses canais por não ter certeza se a programação é inteiramente em Português. Portanto, são mais de 170 canais disponíveis em português de forma gratuita, o que representa uma ampla variedade de conteúdo acessível sem a necessidade de assinatura de serviços pagos.

Ainda, interpretando os dados da Tabela 1, observa-se que a média de sinal dos satélites capturados é significativamente alta, atingindo 70 dBi. O valor necessário para o funcionamento adequado de um canal de TV em Full HD é de 45 dBi. Vale destacar que essa média foi calculada usando os sinais mais fracos de cada transponder, pois cada transponder do satélite tem uma potência de sinal distinta.

Ao considerar os sinais de maior potência, registrou-se incríveis 90 dBi. O receptor contabiliza os sinais em uma escala de 0 a 100, começando a exibir o sinal a partir de 20 dBi. Com valores superiores a 45 dBi, os canais funcionam perfeitamente, devido ao sinal digital utilizado nas transmissões, que oferece uma imagem limpa e cristalina.

Dos canais capturados, existem algumas variações na qualidade da imagem, sendo as principais resoluções encontradas SD (480i) e HD (1080i). O receptor utilizado não possui suporte para 4K, porém, foi possível captar 5 canais em 4K. No entanto, a imagem apresentava travamentos devido à incapacidade do equipamento de processar a alta resolução.

Esses resultados evidenciam a eficiência do equipamento em captar uma vasta gama de sinais de satélite com alta qualidade, demonstrando a viabilidade do sistema para uso doméstico e a possibilidade de acesso a uma ampla variedade de canais de diferentes regiões e idiomas, incluindo mais de 170 canais gratuitos em português, sendo que 88 canais estão em alta resolução. Assim, o equipamento pode ser atrativo para aqueles que não têm condições de contratar serviços de entretenimento de vídeo e também proporciona acesso a centenas de estações de rádio disponíveis.

4.2 AJUSTES MANUAIS

Alguns erros podem ocorrer durante a configuração do equipamento. Este possui uma estrutura metálica com engrenagens e sensores, e como explicado nos capítulos anteriores, o apontamento para um satélite de órbita geoestacionária não é uma tarefa simples. Apontar para um único satélite já é complicado, e ainda mais para um equipamento capaz de capturar sinais de todos os satélites direcionados à região em que está localizado.

Durante os testes, foi notado que mudanças na temperatura causam dilatação térmica dos materiais, o que pode desalinhar o apontamento em alguns milímetros, reduzindo a qualidade do sinal. Outros fatores que afeta a precisão do equipamento são os impactos, como os causados por pássaros ou chuvas de granizo, que podem alterar a precisão do aparelho.

Esses problemas podem ser ajustados ao modificar as coordenadas inseridas, já que o equipamento se desloca nos eixos X e Y, ajustando a inclinação ou o alinhamento com o Norte (latitude), o que geralmente resolve a questão. Vale lembrar que o equipamento é automatizado para se alinhar ao satélite, porém, por não ter acesso à internet ou dados de GPS, não consegue corrigir automaticamente erros na programação de longitude e latitude.

A dilatação térmica e os impactos físicos são problemas comuns em sistemas de antenas de satélite. Para minimizar esses efeitos, é importante realizar manutenções regulares e ajustes periódicos. Além disso, proteger o equipamento contra condições climáticas adversas pode ajudar a manter a precisão e a qualidade do sinal captado.

Os erros de alinhamento podem ocorrer devido a ajustes incorretos nos motores de azimute e elevação ou na configuração do software de controle. Esses erros podem levar a uma má recepção de sinais e a um desempenho insatisfatório. A realização de calibrações frequentes e a verificação dos alinhamentos com instrumentos de medição precisos são fundamentais para garantir a precisão do sistema.

O desgaste dos componentes ao longo do tempo pode afetar o desempenho da antena. Motores e mecanismos podem sofrer desgaste que compromete sua capacidade de ajustar a antena corretamente. A manutenção regular e a substituição de peças desgastadas são necessárias para garantir a operação contínua e precisa da antena.

No entanto, os desafios e interferências mencionados podem impactar significativamente o sucesso do projeto. Uma abordagem cuidadosa para o teste, calibração e manutenção é fundamental para garantir que a antena funcione de forma precisa e eficiente. Ao identificar e mitigar as possíveis interferências, é possível alcançar um bom desempenho e garantir o alinhamento adequado do sistema.

A Tabela 2 apresenta a variação na recepção e qualidade do sinal em função do desalinhamento da antena, medido em milímetros. O teste foi realizado ajustando a antena apenas na latitude, movendo-a para a esquerda e para a direita. É importante notar que os resultados podem variar significativamente se o desalinhamento ocorrer na inclinação. Nesse caso, a capacidade de recepção de sinais de vários satélites pode ser comprometida, resultando em uma diminuição no número de canais disponíveis. O desalinhamento na inclinação pode provocar perdas mais severas na recepção, uma vez que a posição correta da antena é essencial para capturar sinais de múltiplos satélites e garantir uma cobertura abrangente. Portanto, os testes realizados focados na latitude servem apenas como uma referência inicial, e é essencial considerar também o desalinhamento na inclinação para obter uma avaliação completa do impacto no desempenho da antena.

Tabela 2: perda de sinal por desalinhamento

Desalinhamento (mm)	Qualidade do Sinal (dB) (média)	Aberto (FTA)	Fechado
0	80	361	3264
2	77	301	3030
4	74	213	2820
6	70	179	2453
8	66	121	2110
10	64	105	1821
12	57	75	1615
14	54	63	1402
16	50	55	1200
18	45	43	1063
20	23	37	711
22	5	7	231
25	0	0	0

Fonte: o Autor

Os dados obtidos mostram claramente que a precisão no alinhamento da antena é fundamental para a recepção de sinais de qualidade. Um pequeno erro de apenas 2 mm pode resultar em uma queda significativa na qualidade do sinal e na redução do número de canais disponíveis. Com um desalinhamento de 25 mm, a recepção de canais cai para zero, tornando o sistema totalmente inoperante. Portanto, é fundamental garantir que a antena esteja corretamente alinhada para maximizar a recepção de sinais e a disponibilidade de canais.

Para garantir o perfeito alinhamento, deve-se certificar que as coordenadas foram inseridas de forma correta e a antena não apresenta nenhum sinal de impacto que possa ter interferência no funcionamento.

4.3 TEMPO DE SINTONIA

A Tabela 3 mostra os dados obtidos nos testes, neste caso, o tempo para a antena percorrer 180° em várias temperaturas. O sinal de referência que aparece na Tabela 3 é o 12052H 27500 FEC 2/3 Hispasat 30W-6.

Para melhor entendimento do sinal de referência, tem-se:

- **12052**: Frequência de transmissão do satélite.
- **H (Horizontal)**: Polarização horizontal (12V).
- **V (Vertical)**: Polarização vertical (18V).
- **27500**: Symbol rate em kilossímbolos por segundo (kS/s).
- **2/3**: FEC (Forward Error Correction) com 2 bits de dados reais e 1 bit de correção para cada 3 bits transmitidos.

Tabela 3: velocidade de sintonia

Temperatura (°C)	Sinal (dB)	Tempo apontamento 18v	Tempo apontamento 12v
0	70	29	43
10	72	28	42
20	75	26	40
30	73	26	39

Fonte: O Autor

Os dados apresentados indicam que a uma temperatura próxima de 20°C obtém-se a melhor relação entre a velocidade de apontamento e a qualidade do sinal recebido. Observa-se que, quanto mais baixa a temperatura, maior é o tempo necessário para a sintonia do motor. É

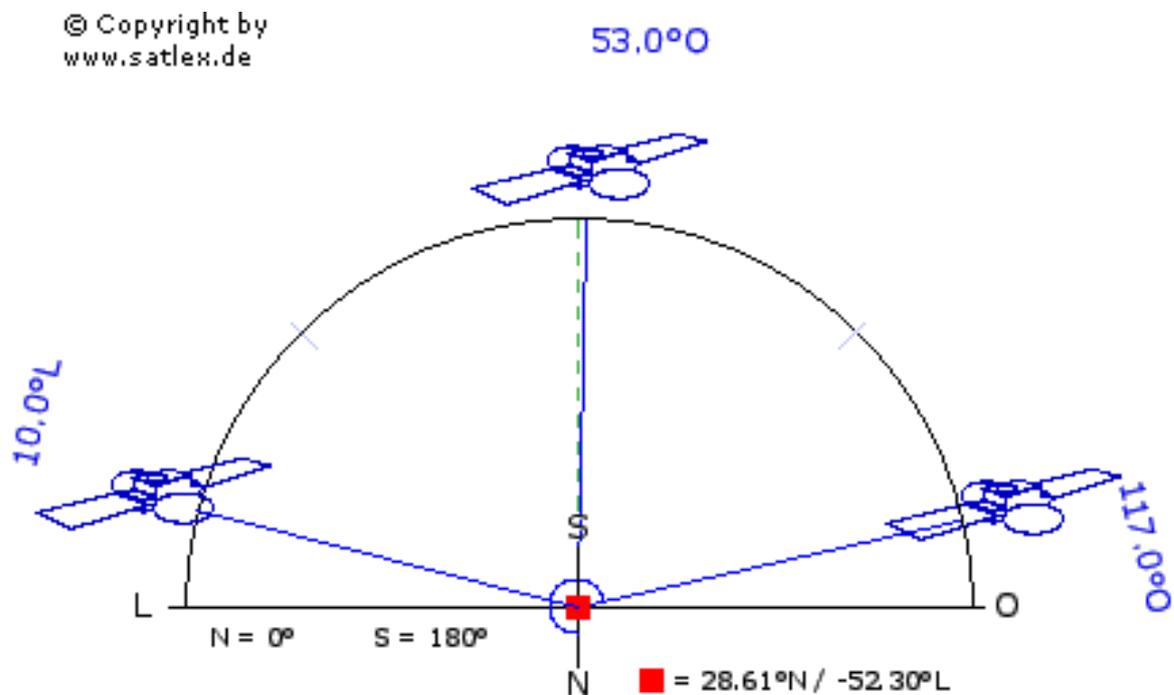
importante destacar que o tempo mostrado representa o período que o motor leva para movimentar a antena de 0° a 180° .

Por exemplo, ao ajustar a antena para um satélite localizado a $65^\circ W$ e, em seguida, para um a $70^\circ W$, o tempo de ajuste é inferior a 2 segundos. Este é um resultado excelente considerando que, se a sintonia fosse realizada manualmente por um técnico, poderia levar até 30 minutos para reposicionar a antena.

4.4 ALINHAMENTO

No Apêndice C, os satélites destacados em amarelo são os mais importantes para o Brasil, enquanto os satélites em verde são referências para verificar se a antena está perfeitamente alinhada no cinturão de Clarke. Alinhando esses três satélites, os demais satélites situados entre essas latitudes também estarão corretamente alinhados. A Figura 46 representa o alinhamento dos 3 satélites destacados em verde do Apêndice C, sendo que o satélite na posição de $53w$ é o mais próximo do alinhamento perfeito para o norte, portanto ele tem a maior elevação e os dois satélites restantes tem as inclinações mais baixas, um a leste e o outro a oeste.

Figura 47: alinhamento satélites de referência



Fonte: adaptado de Satlex pelo autor

Os dados apresentados confirmam que, se alinhada corretamente a esses pontos, a antena consegue receber os sinais de qualquer satélite com sinal ativo para aquela região, desde que esteja dentro de um raio de 180° e não tenha obstáculos na direção do apontamento como prédio e árvores de grande porte. No caso estudado para este relatório, foram identificados 23 satélites com sinais alinhados para a região de Passo Fundo – RS, no Brasil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do uso do sistema desenvolvido de automatizar a sintonia de uma antena offset, foi possível encontrar vários satélites de forma automática, facilitando a sintonia de canais de televisão e rádio, especialmente na região de Passo Fundo, onde mais de 30 satélites estão disponíveis. No entanto, esse processo se tornou mais complexo devido à migração dos sinais para a rede móvel 5G, que opera na mesma frequência que a banda C, resultando em uma maior instalação de novas antenas. Este trabalho apresenta diferentes formas de apontar manualmente uma antena, fornecendo conhecimentos que podem ser utilizados para automatizar esse processo complicado, pois é preciso apontar a antena para um ponto específico do céu, e qualquer diferença pode interferir no sinal. Durante o trabalho, foi possível perceber que até mesmo instaladores profissionais enfrentam grandes dificuldades para apontar as antenas para os satélites brasileiros.

O protótipo final apresentou boa precisão e ajustes confiáveis para se obter um sinal de qualidade, demonstrando que até um leigo consegue fazer as configurações necessárias para seu uso, seguindo o passo a passo. Alguns satélites com órbitas baixas (próximas ao horizonte) apresentaram sinais fracos, sendo que isso ocorreu por questão de alinhamento da antena, que com ajustes futuros pode melhorar a precisão do projeto, ou ainda, aumentando o tamanho da antena para compensar a perda de sinal. A antena offset usada foi de 0,75 cm projetada para banda KU e para finalizar, o Apêndice E contém imagens feitas no dia dos testes finais do apontamento para os satélites apresentados.

REFERÊNCIAS

Electricity,2024 Disponível em:< <https://www.electricity-magnetism.org/pt-br/estacoes-terrenas-de-satelite/>> Acesso em: 22 mar. 2024.

Astronoo.com Disponível em: <<https://astronoo.com/images/satellites/satellites-geostationnaires.jpg>> Acesso em: 01 ago. 2024.

Briskcon,2022 Disponível em: <<https://www.briskcom.com.br/blog/a-historia-dos-satelites-de-telecomunicacoes/#read-more>> Acesso em: 10 mar. 2023.

G1,2022 Disponível em: <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2022/07/06/5g-veja-o-que-fazer-para-evitar-que-antenas-parabolicas-recebam-interferencia.ghtml>> Acesso em: 10 jun. 2024.

FRWIKI. Traveling-Wave Tube. Disponível em:< https://fr.wikipedia.org/wiki/Tube_%C3%A0_ondes_progressives>. Acesso em: 12 mar. 2023.

PARTRIDGE, Julian. Amplifiers for Satellite Communications. John Wiley & Sons, 2014.

INTELSAT. Travelling Wave Tube (TWT). Disponível em: <<https://www.intelsat.com/en/what-is/technologies/travelling-wave-tube-twt/>>. Acesso em: 22 mar. 2023.

Asif, S. M. (2018). History of Soviet/Russian space exploration. Springer.

Gatland, K. W. (1983). The Soviet space program. TAB Books.

Launius, R. D. (2018). Soviet space program. Encyclopedia Britannica.

Rohrer, J. (1999). A Brief History of Satellite Communications. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 41(3), 10-14.

DW,(2016). Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/1962-nasa-lan%C3%A7a-o-primeiro-sat%C3%A9lite-de-comunica%C3%A7%C3%B5es/a-589757>>. Acesso em: 22 mar. 2024.

TECHTUDO,2013 disponível:
<<https://www.techtudo.com.br/noticias/2013/01/explorer-1-primeiro-satelite-americano-completa-55-anos.ghtml>> acessado 07 dez. 2022

BRISKCOM, 2022 disponível em: < <https://www.briskcom.com.br/blog/a-historia-dos-satelites-de-telecomunicacoes/#read-more> > Acessado 07 dez. 2022.

VSAT, GTA.UFRJ, história dos satélites, disponível em: < https://www.gta.ufrj.br/grad/02_2/vsat/historia.htm > Acessado 23nov.2022

Agência Espacial Brasileira (AEB). (2021). AEB. Recuperado em 12 de abril de 2023, de <http://www.aeb.gov.br/>

Nogueira, M. (2019). História da comunicação via satélite no Brasil. Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão (SET). Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://set.org.br/palestrantes/marcio-nogueira/>

TBS (2021), história, disponível em: <http://www.tbs-satellite.com/tse/online/sat_brasilsat_a1.html> Acessado em 23 nov.2022

Brasilsat (2022), história, disponível em: < <https://www.embratel.com.br/satelites/nossa-frota>>Acessado em 23 nov.2022

Embratel (2015), dados técnicos, < <https://www.embratel.com.br/satelites/informacoes-tecnicas>>Acessado em 24 nov 2022

UOL, por HISTORY disponível em: < <https://history.uol.com.br/hoje-na-historia/funciona-primeira-transmissao-de-televisao-satelite> > acessado 08 dez. 2022

MARAL, Gérard; BERTELLA, Michel. Satellite communications systems: systems, techniques and technology. John Wiley & Sons, 2012.

SANTOS, G. G. Sistemas de Comunicações Via Satélite. EDUFBA, 2006.

THOMPSON, R. A Brief History of Space Exploration. Springer, 2015

NEWTONBRAGA (2022), Disponível em:

<<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/telecomunicacoes/2266.html>> acessado 21 ago. 2022.

Eletrônica (2017), Disponível em: <<https://www.electronica-pt.com/satelite-parabolicas/apontar-parabolica>> acessado 24 ago. 2022.

Araújo, R. (2019). Órbita geoestacionária: o que é e como funciona? Tudo Celular. <https://www.tudocelular.com/tech/noticias/n134986/orbita-geoestacionaria.html>

NEWTON BRAGA. A importância do campo magnético terrestre para a orientação de antenas de satélite. Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/a-importancia-do-campo-magnetico-terrestre-para-a-orientacao-de-antenas-de-satelite.html>.

Acesso em: 12 abr. 2023.

Trekkingbrasil,2009 disponível < <https://trekkingbrasil.com/orientacao-com-bussola-e-mapa-parte-1/> > acessado 12 dez. 2022

MARQUES, H. O campo magnético terrestre e a bússola. *Ciência e Natura*, v. 36, p. 36-42, 2014.

GONZAGA, F. G. et al. Anomalias magnéticas da Terra. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 49, n. 2, p. 281-292, 2019.

BRANDOLIN, A., LÓPEZ, R. G., GARCÍA, J. R. M., & GONZÁLEZ, R. A. M. (2015). A low-cost spectrum analyzer for satellite TV: integration of a software-defined radio with a commodity single-board computer. *Journal of Instrumentation*, 10(05), P05003.

Pratt, T., Bostian, C., & Allnut, J. (2002). *Satellite Communications*. John Wiley & Sons, Inc.

BLOUNT, C., FINLAY, C. C., & COUTEAU, P. (2014). Swarm: A constellation to study the Earth's magnetic field. *Earth and Planetary Science Letters*, 395, 1-2.

Haykin, S. (2009). *Communication Systems*. John Wiley & Sons, Inc.

Kumar, P., & Yuan, J. (2019). *Radio wave propagation and antennas: an introduction*. CRC Press.

Gibson, J. (2002). *The Communications Handbook*. CRC Press LLC.

Collin, R. E. (2019). *Antennas and Radiowave Propagation*. McGraw Hill Education.

Gibson, J. D. (2002). *The Communications Handbook*. CRC Press.

Briskcom,2024 disponível: < <https://www.briskcom.com.br/blog/banda-ka-e-banda-ku-as-principais-diferencas/#read-more>>

Piazza, J. G. et al. "Rain fade statistics at Ku and Ka bands in Brazil for satellite communications systems design." IEEE Latin America Transactions, 2019.

GPS.pezquiza, 25 fevereiro, 2022 disponível: <https://gps.pezquiza.com/apontamento-de-antena/melhorar-sinal-da-antena-parabolica-telada-usando-caixas-de-leite-vazias/> acessado 30 nov.2022

Anatel (2021) GOV.BR. por ANATEL disponível em: < https://www.gov.br/mcom/pt-br/media/arquivos-serad/arquivos_gired/dt1-criterios-para-definicao-do-sistema-de-transmissao-sistema-irradiante-e-seus-acessorios.pdf> acessado em 23 fev,2023.

BSD, disponível em < <https://www.portalbsd.com.br/topico.php?id=5759> > acessado em 23 nov. 2022.

Mercado Livre, 2022 disponível em: < <https://lista.mercadolivre.com.br/antena> >acessado 05 dez. 2022

WEBANTENAS, 2014 disponível em: < <http://webantenas.blogspot.com/2014/> >Acessado 08 dez.2022

Portal BSD disponível em: < <https://www.portalbsd.com.br/satelites.php> > acessado 12 dez.2022

PANTHEON, 2006 disponível em:
<<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7564/1/monopoli10002237.pdf>> acessado 02 dez.2022

PUC-RIO, 2024, Maxwell , disponível; < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/5495/5495_4.PDF> acessado em 05 mar. 2024

GOV.BR (2023). por ANATEL disponível em: < https://www.gov.br/mcom/pt-br/media/arquivos-serad/arquivos_gired/dt1-criterios-para-definicao-do-sistema-de-transmissao-sistema-irradiante-e-seus-acessorios.pdf> acessado em 23 fev,2023.

Williams, M. (2021). Satellite Television: From Analogue to Digital. Springer.

Smith, J., & Clark, R. (2020). Digital Video Broadcasting (DVB): The International Standard for Digital Television. IEEE Press.

WIKIPEDIA (inglês) skew, disponível < <https://en.wikipedia.org/wiki/Skew> > acessado 12 dez. 2022

QSL (2019), disponível <<https://www.qsl.net/py4zbz/antenas/antenas.htm>> acessado 12 dez. 2022

- Baetz, B., & Edward, P. (Eds.). (2020). *Satellite Communication Systems: Design Principles* (Vol. 21). Springer Nature.

- Elbert, B. (2019). *Introduction to Satellite Communication*. Artech House.

- Maral, G., & Bousquet, M. (2017). *Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology*. John Wiley & Sons.

- Starlink. (2024). *Starlink: Satellite Internet Access in Remote Areas*. Retrieved from [starlink.com](<https://www.starlink.com>).

MONACO, F. (2007). Field strength meters for satellite reception systems. IEEE Transactions

- Kim, M. "A survey of rain fade mitigation techniques in satellite communication systems." International Journal of Satellite Communications and Networking, 2020.

Sarmento, disponível: < http://www.sarmento.eng.br/Alencar_Fossa/banda_satelite.jpg > acessado 30 nov.2022

- Biglieri, E. et al. "Mitigation of rain effects on the performance of satellite communication systems." IEEE Transactions on Communications, 2018.

WIKIPEDIA,2022, banda KU disponível; < https://pt.wikipedia.org/wiki/Banda_Ku > acessado 12 dez.2022

WIKIPEDIA,2022, banda KA, disponível; < https://pt.wikipedia.org/wiki/Banda_Ka > acessado 12 dez.2022

WIKIPEDIA,2022, Star One, disponível; < https://pt.wikipedia.org/wiki/Star_One > acessado 12 dez.2022

Johnson, B. R. (2018). Antenna engineering handbook. McGraw Hill Professional.

Nasa, Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/1962-nasa-lan%C3%A7a-o-primeiro-sat%C3%A9lite-de-comunica%C3%A7%C3%B5es/a-589757> >. Acesso em: 22 mar. 2024.

EUMETSAT(2021), (em inglês) Disponível em:< <https://www.eumetsat.int/news/latest-news>> Acesso em: 22 mar. 2024.

WHCengenharia (2024) Disponível em:<<https://www.whcengenharia.com.br/>> Acesso em: 22 mar. 2024.

Eutelsat,2024 (traduzido) Disponível em: <https://www.eutelsat.com/en/support/technical-support-teleports-resources-tools.html> Acesso em: 25 mar. 2024.

- Stutzman, Warren L., e Gary A. Thiele. *Antenna Theory and Design*. John Wiley & Sons, 2012.

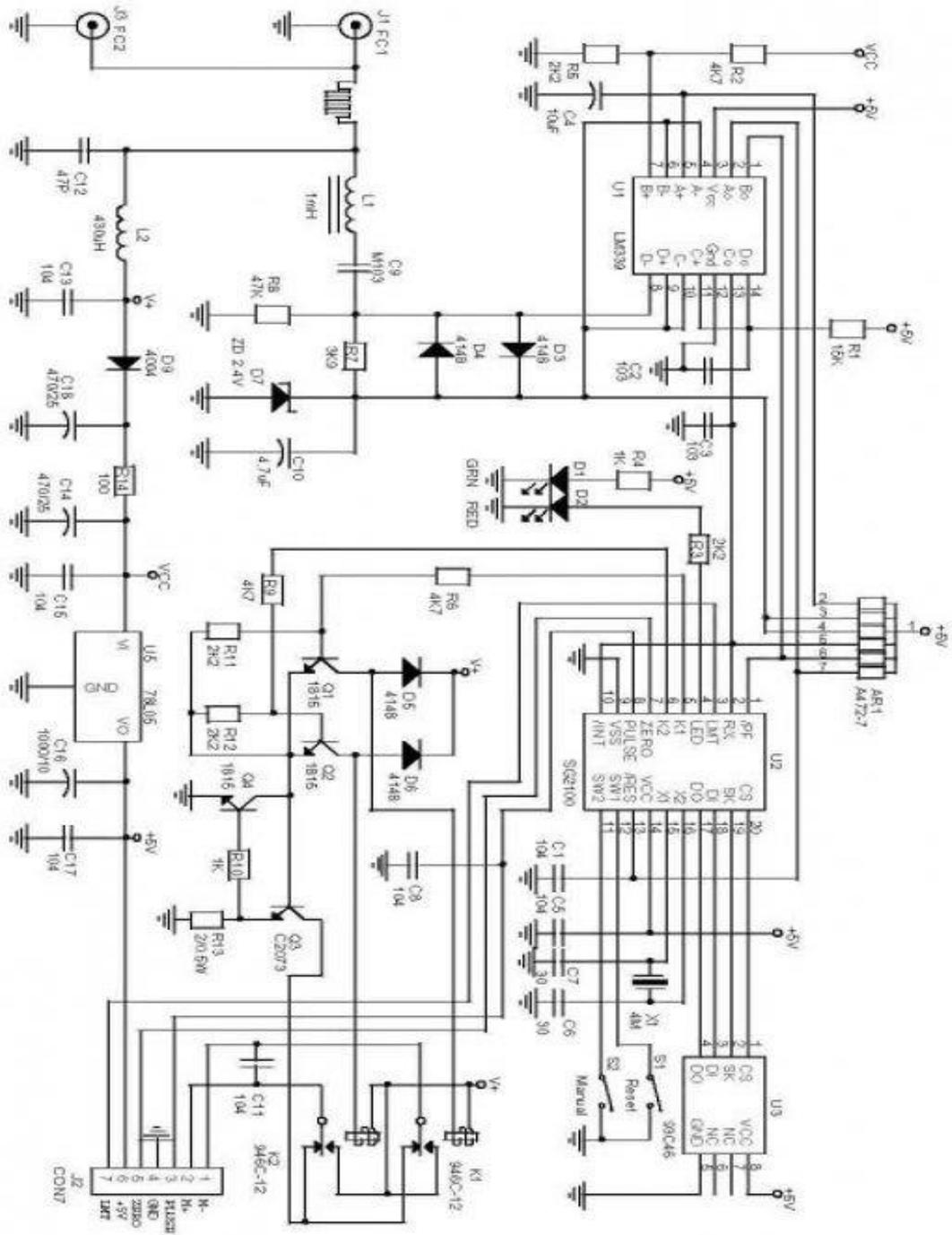
- Nice, Karim, e Tom Harris. "Como Funciona a TV por Satélite." HowStuffWorks, [Arquivo da Web](<https://web.archive.org/web/20120720/http://informatica.hsw.uol.com.br/satelite-tv.html>).

- "Sistema de Localização Automática Universal de Satélites (USALS)." [Wikipedia](<https://pt.wikipedia.org/wiki/USALS>).

Wikihow, semicírculo,. Disponível em:<https://pt.wikihow.com/Encontrar-a-%C3%81rea-de-um-Semic%C3%ADrculo#Refer.C3.AAncias> Acesso em: 20 jul. 2024.

APÊNDICE A

Esquema elétrico placa controladora dos motores de passo



APÊNDICE B

Ângulos usados de referência para primeiro apontamento!

Calculator for azimuth and elevation angle

Your location:

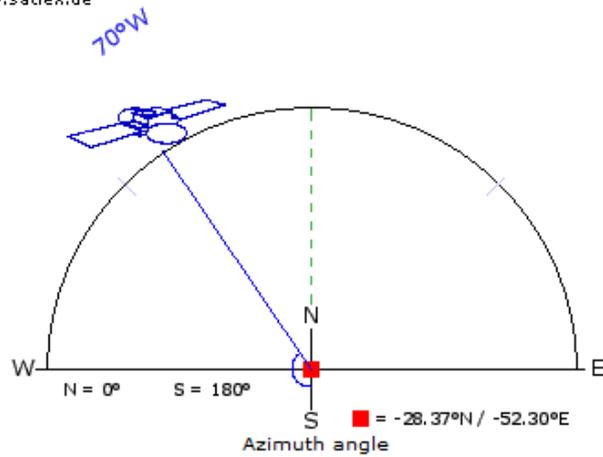
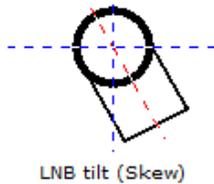
Latitude:
-28.37° N (28° 22' 12")

Longitude:
-52.30° E (52° 17' 59")

City:
[unknown]

Country:
Brazil

© Copyright by
www.satlex.de



Following values have been calculated for your location:

Azimuth angle:
326.11° (True North)

Elevation angle:
51.59°

LNB tilt (Skew):
-29.38°

Offset angle:
20.36°

Distance to satellite:
36981.61 Km

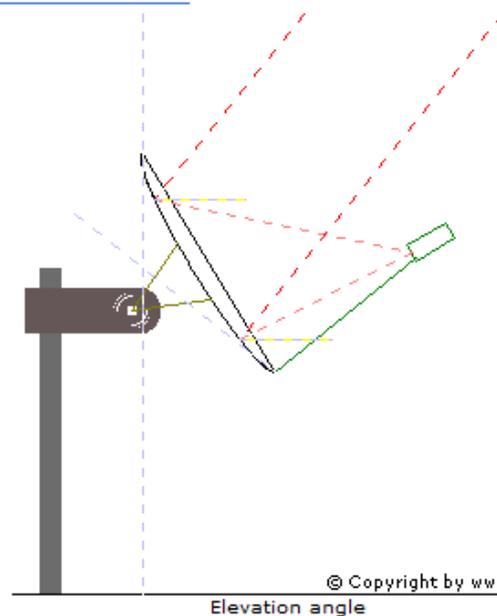
Signal delay:
246.54 ms (Uplink + Downlink)

Declination angle:
4.67°

Polarmount hour angle:
339.66°

Angle setting on motor:
159.66° West

Satellite:
Star One C2 / C4 (70° W)



APÊNDICE C

Em verde estão os três satélites de referência, e em amarelo, os principais satélites com sinais direcionados para o Brasil.

Satélite (posição orbital)	Angulo de Azimute	Angulo de Elevação	Inclinação LNB (enviesamento)	Distancia ao satélite	Atraso do Sinal	Angulo de Declinação	Ângulo de Elevação Polar (Polarmount)	Definição de Ângulo no motor
Badr 4/5/6 (26.0°Leste)	84.38°	1.90°	61.12°	41503.32 Km	276.69 ms	4.04°	85.65°	94.35°Leste
Badr 4/5/6/7 (26.0°Leste)	84.38°	1.90°	61.12°	41503.32 Km	276.69 ms	4.04°	85.65°	94.35°Leste
Es'hail 2 (25.8°Leste)	84.28°	2.06°	61.11°	41483.84 Km	276.56 ms	4.05°	85.46°	94.54°Leste
Es'hail 1 (25.5°Leste)	84.13°	2.31°	61.08°	41454.62 Km	276.36 ms	4.06°	85.17°	94.83°Leste
Astra 3B (23.5°Leste)	83.14°	3.99°	60.88°	41260.18 Km	275.07 ms	4.12°	83.21°	96.79°Leste
Eutelsat 21B (21.5°Leste)	82.14°	5.71°	60.65°	41066.55 Km	273.78 ms	4.16°	81.22°	98.78°Leste
Arabsat 5C (20.0°Leste)	81.38°	7.01°	60.45°	40922.00 Km	272.81 ms	4.18°	79.71°	100.29°Leste
Astra 1KR/L/M/N (19.2°Leste)	80.97°	7.71°	60.34°	40845.19 Km	272.3 ms	4.19°	78.90°	101.1°Leste
Eutelsat 16A (16.0°Leste)	79.29°	10.53°	59.83°	40540.23 Km	270.27 ms	4.24°	75.62°	104.38°Leste
EutelsatHotBird13B/C(13.0°Leste)	77.67°	13.18°	59.27°	40258.38 Km	268.39 ms	4.28°	72.53°	107.47°Leste
Eutelsat 10A (10.0°Leste)	75.99°	15.84°	58.62°	39981.32 Km	266.54 ms	4.31°	69.40°	110.6°Leste
Eurobird 9B / Ka-Sat (9.0°Leste)	75.42°	16.73°	58.38°	39890.18 Km	265.93 ms	4.32°	68.35°	111.65°Leste
Eurobird9bKa-Sat9A (9.0°Leste)	75.42°	16.73°	58.38°	39890.18 Km	265.93 ms	4.32°	68.35°	111.65°Leste
Eutelsat 7B / 7C (7.0°Leste)	74.24°	18.50°	57.87°	39709.91 Km	264.73 ms	4.35°	66.25°	113.75°Leste
SES 5 (5.0°Leste)	73.04°	20.28°	57.31°	39532.55 Km	263.55 ms	4.36°	64.13°	115.87°Leste
Astra 4A (4.8°Leste)	72.91°	20.45°	57.25°	39514.98 Km	263.43 ms	4.37°	63.93°	116.07°Leste
Eutelsat 3B (3.1°Leste)	71.85°	21.96°	56.73°	39366.98 Km	262.45 ms	4.39°	62.12°	117.88°Leste
Rascom QAF 1R (2.8°Leste)	71.66°	22.22°	56.64°	39341.11 Km	262.27 ms	4.39°	61.80°	118.2°Leste
BulgariaSat 1 (1.9°Leste)	71.08°	23.02°	56.34°	39263.97 Km	261.76 ms	4.40°	60.84°	119.16°Leste
Thor 7 (0.6°Oeste)	69.43°	25.22°	55.47°	39053.55 Km	260.36 ms	4.43°	58.16°	121.84°Leste
Thor 5/6 (0.8°Oeste)	69.30°	25.40°	55.39°	39036.97 Km	260.25 ms	4.42°	57.95°	122.05°Leste
Intelsat 10-02 (1.0°Oeste)	69.16°	25.58°	55.32°	39020.43 Km	260.14 ms	4.43°	57.73°	122.27°Leste
ABS 3A (3.0°Oeste)	67.77°	27.33°	54.54°	38857.23 Km	259.05 ms	4.45°	55.57°	124.43°Leste
Amos 7 (3.9°Oeste)	67.13°	28.12°	54.17°	38785.14 Km	258.57 ms	4.45°	54.60°	125.4°Leste
Amos 3 (4.0°Oeste)	67.05°	28.20°	54.12°	38777.18 Km	258.51 ms	4.46°	54.49°	125.51°Leste
Eutelsat 5 West B (5.0°Oeste)	66.32°	29.07°	53.69°	38698.20 Km	257.99 ms	4.47°	53.41°	126.59°Leste
Nilesat 201 (7.0°Oeste)	64.82°	30.81°	52.77°	38543.58 Km	256.96 ms	4.48°	51.23°	128.77°Leste
Eutelsat 7 West A (7.3°Oeste)	64.58°	31.07°	52.63°	38520.79 Km	256.81 ms	4.49°	50.90°	129.1°Leste
Eutelsat 8 West B (8.0°Oeste)	64.04°	31.67°	52.29°	38468.01 Km	256.45 ms	4.49°	50.14°	129.86°Leste
Express AM 44 (11.0°Oeste)	61.59°	34.23°	50.71°	38248.57 Km	254.99 ms	4.52°	46.84°	133.16°Leste
WGS 3 (12.5°Oeste)	60.30°	35.49°	49.85°	38143.13 Km	254.29 ms	4.54°	45.19°	134.81°Leste
Telstar 12 Vantage (15.0°Oeste)	58.05°	37.57°	48.29°	37974.08 Km	253.16 ms	4.55°	42.43°	137.57°Leste
Intelsat 37e (18.0°Oeste)	55.14°	40.00°	46.22°	37782.76 Km	251.89 ms	4.58°	39.09°	140.91°Leste
SES 4 (22.0°Oeste)	50.88°	43.13°	43.05°	37548.44 Km	250.32 ms	4.61°	34.61°	145.39°Leste
Alcomsat 1 (24.5°Oeste)	47.97°	45.00°	40.82°	37414.70 Km	249.43 ms	4.62°	31.80°	148.2°Leste
Intelsat 901 (27.5°Oeste)	44.20°	47.14°	37.84°	37267.70 Km	248.45 ms	4.63°	28.41°	151.59°Leste
Hispatat 3 30W-6 (30.0°Oeste)	40.80°	48.81°	35.09°	37156.85 Km	247.71 ms	4.65°	25.58°	154.42°Leste
Intelsat 25 (31.5°Oeste)	38.64°	49.76°	33.33°	37095.56 Km	247.3 ms	4.66°	23.87°	156.13°Leste
Hylas 4 (33.5°Oeste)	35.62°	50.97°	30.83°	37020.06 Km	246.8 ms	4.66°	21.59°	158.41°Leste
Intelsat 35e (34.5°Oeste)	34.05°	51.54°	29.51°	36985.02 Km	246.57 ms	4.67°	20.45°	159.55°Leste
Telstar 11N (37.6°Oeste)	28.90°	53.16°	25.17°	36888.03 Km	245.92 ms	4.68°	16.90°	163.1°Leste
SES 6 (40.5°Oeste)	23.73°	54.45°	20.74°	36813.55 Km	245.42 ms	4.69°	13.58°	166.42°Leste
IntelsatSky Brasil 1 (43.1°Oeste)	18.82°	55.40°	16.49°	36760.36 Km	245.07 ms	4.69°	10.59°	169.41°Leste
Intelsat 14 (45.0°Oeste)	15.09°	55.96°	13.24°	36729.72 Km	244.86 ms	4.69°	8.41°	171.59°Leste
SES 14 (47.5°Oeste)	10.02°	56.50°	8.81°	36700.08 Km	244.67 ms	4.70°	5.53°	174.47°Leste
Intelsat 23 (53.0°Oeste)	358.53°	56.92°	-1.30°	36677.94 Km	244.52 ms	4.70°	359.20°	179.2°Oeste
Intelsat 34 (55.5°Oeste)	353.29°	56.74°	-5.90°	36687.52 Km	244.58 ms	4.70°	356.31°	176.31°Oeste
Intelsat 21 (58.0°Oeste)	348.14°	56.33°	-10.42°	36709.35 Km	244.73 ms	4.70°	353.44°	173.44°Oeste
Amazonas 2/3/5 (61.0°Oeste)	342.15°	55.56°	-15.65°	36751.62 Km	245.01 ms	4.69°	349.98°	169.98°Oeste
EchoStar 18 (61.4°Oeste)	341.37°	55.43°	-16.32°	36758.57 Km	245.06 ms	4.69°	349.52°	169.52°Oeste
EchoStar 16 (61.5°Oeste)	341.18°	55.40°	-16.49°	36760.36 Km	245.07 ms	4.69°	349.41°	169.41°Oeste

Telstar 14R (63.0°Oeste)	338.31°	54.88°	-18.97°	36789.47 Km	245.26 ms	4.69°	347.68°	167.68°Oeste
C1//Eutelsat65A (65.0°Oeste)	334.63°	54.07°	-22.15°	36834.96 Km	245.57 ms	4.69°	345.39°	165.39°Oeste
SES 10 (67.0°Oeste)	331.10°	53.16°	-25.17°	36888.03 Km	245.92 ms	4.68°	343.10°	163.1°Oeste
Star One C2 / C4 (70.0°Oeste)	326.11°	51.59°	-29.38°	36981.61 Km	246.54 ms	4.67°	339.66°	159.66°Oeste
Arsat 1 (71.8°Oeste)	323.30°	50.56°	-31.72°	37045.67 Km	246.97 ms	4.66°	337.61°	157.61°Oeste
Nimiq 5 (72.7°Oeste)	321.95°	50.01°	-32.84°	37079.89 Km	247.2 ms	4.66°	336.58°	156.58°Oeste
Star One C3 (75.0°Oeste)	318.64°	48.55°	-35.55°	37173.86 Km	247.83 ms	4.65°	333.97°	153.97°Oeste
Intelsat 16 (76.2°Oeste)	317.00°	47.75°	-36.88°	37226.55 Km	248.18 ms	4.64°	332.61°	152.61°Oeste
QuetzSat 1 (77.0°Oeste)	315.93°	47.20°	-37.73°	37263.06 Km	248.42 ms	4.64°	331.70°	151.7°Oeste
Sky Mexico 1 (78.8°Oeste)	313.62°	45.94°	-39.57°	37349.16 Km	248.99 ms	4.63°	329.66°	149.66°Oeste
Arsat 2 (81.0°Oeste)	310.95°	44.33°	-41.65°	37461.69 Km	249.74 ms	4.62°	327.18°	147.18°Oeste
Nimiq 4 (82.0°Oeste)	309.80°	43.59°	-42.54°	37515.43 Km	250.1 ms	4.61°	326.06°	146.06°Oeste
Star One D1 (84.0°Oeste)	307.57°	42.05°	-44.22°	37627.67 Km	250.85 ms	4.60°	323.81°	143.81°Oeste
XM 3 (85.1°Oeste)	306.40°	41.19°	-45.09°	37692.04 Km	251.28 ms	4.59°	322.58°	142.58°Oeste
Sirius XM 5 (85.2°Oeste)	306.30°	41.11°	-45.17°	37697.98 Km	251.32 ms	4.59°	322.47°	142.47°Oeste
SES 2 (87.0°Oeste)	304.46°	39.68°	-46.51°	37807.52 Km	252.05 ms	4.58°	320.46°	140.46°Oeste
TKSat 1 (87.2°Oeste)	304.26°	39.52°	-46.65°	37819.98 Km	252.13 ms	4.57°	320.24°	140.24°Oeste
Galaxy 28 (89.0°Oeste)	302.52°	38.06°	-47.90°	37934.79 Km	252.9 ms	4.56°	318.24°	138.24°Oeste
Galaxy 17 / Nimiq 6 (91.0°Oeste)	300.67°	36.41°	-49.18°	38067.70 Km	253.78 ms	4.54°	316.02°	136.02°Oeste
Galaxy3C/Intelsat31 (95.0°Oeste)	297.25°	33.04°	-51.47°	38349.59 Km	255.66 ms	4.51°	311.62°	131.62°Oeste
Intelsat 30 (95.1°Oeste)	297.16°	32.95°	-51.52°	38356.90 Km	255.71 ms	4.51°	311.50°	131.5°Oeste
Galaxy 19 (97.0°Oeste)	295.65°	31.32°	-52.49°	38498.10 Km	256.65 ms	4.50°	309.42°	129.42°Oeste
Galaxy 16 (99.0°Oeste)	294.12°	29.60°	-53.42°	38651.34 Km	257.68 ms	4.47°	307.25°	127.25°Oeste
DirecTV 11/14 (99.2°Oeste)	293.97°	29.42°	-53.51°	38666.92 Km	257.78 ms	4.47°	307.03°	127.03°Oeste
DirecTV 8 / T 16 (100.8°Oeste)	292.80°	28.03°	-54.21°	38793.10 Km	258.62 ms	4.46°	305.29°	125.29°Oeste
SES 1 (101.0°Oeste)	292.66°	27.85°	-54.29°	38809.07 Km	258.73 ms	4.46°	305.08°	125.08°Oeste
DirecTV 9S (101.1°Oeste)	292.59°	27.77°	-54.33°	38817.07 Km	258.78 ms	4.46°	304.97°	124.97°Oeste
DirecTV 10/12 (102.8°Oeste)	291.39°	26.28°	-55.01°	38954.67 Km	259.7 ms	4.44°	303.13°	123.13°Oeste
SES 3 (103.0°Oeste)	291.25°	26.10°	-55.09°	38971.05 Km	259.81 ms	4.44°	302.91°	122.91°Oeste
AMC15/SES 11(105.0°Oeste)	289.90°	24.34°	-55.83°	39137.02 Km	260.91 ms	4.42°	300.77°	120.77°Oeste
Anik G1 / F1R (107.3°Oeste)	288.40°	22.31°	-56.61°	39332.50 Km	262.22 ms	4.39°	298.31°	118.31°Oeste
DirecTV 5 (109.8°Oeste)	286.84°	20.10°	-57.37°	39550.15 Km	263.67 ms	4.36°	295.65°	115.65°Oeste
EchoStar 10/11 (110.0°Oeste)	286.72°	19.92°	-57.43°	39567.78 Km	263.79 ms	4.36°	295.44°	115.44°Oeste
Anik F2 (111.1°Oeste)	286.05°	18.94°	-57.73°	39665.29 Km	264.44 ms	4.35°	294.27°	114.27°Oeste
Eutelsat113West A (113.0°Oeste)	284.93°	17.26°	-58.23°	39835.81 Km	265.57 ms	4.33°	292.28°	112.28°Oeste
MexsatBicentenario(114.8°Oeste)	283.89°	15.66°	-58.67°	39999.62 Km	266.66 ms	4.31°	290.38°	110.38°Oeste
Eutelsat115West B (114.9°Oeste)	283.84°	15.57°	-58.69°	40008.78 Km	266.73 ms	4.31°	290.28°	110.28°Oeste
XM 4 (115.0°Oeste)	283.78°	15.48°	-58.71°	40017.95 Km	266.79 ms	4.31°	290.18°	110.18°Oeste
Sirius FM 6 (116.0°Oeste)	283.22°	14.60°	-58.94°	40109.96 Km	267.4 ms	4.30°	289.14°	109.14°Oeste
Eutelsat117West A (116.8°Oeste)	282.77°	13.89°	-59.11°	40183.99 Km	267.89 ms	4.29°	288.30°	108.3°Oeste
Eutelsat117West B (117.0°Oeste)	282.66°	13.71°	-59.15°	40202.55 Km	268.02 ms	4.29°	288.09°	108.09°Oeste
TV7EchoStar14(119.0°Oeste)	281.57°	11.94°	-59.55°	40389.37 Km	269.26 ms	4.26°	286.02°	106.02°Oeste
EchoStar9/G23 (121.0°Oeste)	280.50°	10.17°	-59.90°	40578.13 Km	270.52 ms	4.24°	283.96°	103.96°Oeste
Galaxy 18 (123.0°Oeste)	279.45°	8.41°	-60.22°	40768.59 Km	271.79 ms	4.21°	281.91°	101.91°Oeste
Galaxy14 / AMC 21 (125.0°Oeste)	278.42°	6.66°	-60.51°	40960.48 Km	273.07 ms	4.18°	279.88°	99.88°Oeste
Galaxy13/Horizons1(127.0°Oeste)	277.41°	4.93°	-60.76°	41153.57 Km	274.36 ms	4.14°	277.88°	97.88°Oeste
Ciel 2 / SES 15 (129.0°Oeste)	276.41°	3.22°	-60.97°	41347.60 Km	275.65 ms	4.09°	275.89°	95.89°Oeste
AMC 11 (131.0°Oeste)	275.42°	1.58°	-61.16°	41542.31 Km	276.95 ms	4.01°	273.97°	93.97°Oeste

APÊNDICE D

Código implementado na placa microcontrolador TM4C1234 Tiva C Series.

```

#include <stdint.h>
#include <stdbool.h>
#include <math.h>
#include "inc/hw_memmap.h"
#include "inc/hw_types.h"
#include "driverlib/sysctl.h"
#include "driverlib/gpio.h"
#include "driverlib/pin_map.h"
#include "driverlib/uart.h"
#include "driverlib/interrupt.h"
#include "utils/uartstdio.h"
#include "locations.h"

#define UART0_BASE 0x4000C000
#define PI 3.14159265358979323846

void InitUART(void) {
    SysCtlClockSet(SYSCTL_SYSDIV_5 | SYSCTL_USE_PLL | SYSCTL_OSC_MAIN |
SYSCTL_XTAL_16MHZ);
    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOA);
    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_UART0);

    GPIOPinConfigure(GPIO_PA0_U0RX);
    GPIOPinConfigure(GPIO_PA1_U0TX);
    GPIOPinTypeUART(GPIO_PORTA_BASE, GPIO_PIN_0 | GPIO_PIN_1);

    UARTConfigSetExpClk(UART0_BASE, SysCtlClockGet(), 115200,
(UART_CONFIG_WLEN_8 | UART_CONFIG_STOP_ONE |
UART_CONFIG_PAR_NONE));
    UARTStdioConfig(0, 115200, SysCtlClockGet());
}

```

```
}

```

```
void SendDiSEqCCommand(uint8_t command[], uint8_t length) {
    for (uint8_t i = 0; i < length; i++) {
        UARTCharPut(UART0_BASE, command[i]);
    }
}

```

```
void CalculateInclinationAzimuth(float latitude, float longitude, float satelliteLongitude, float
*inclination, float *azimuth) {
    float latRad = latitude * (PI / 180);
    float longDiffRad = (satelliteLongitude - longitude) * (PI / 180);

    *azimuth = atan2(sin(longDiffRad), cos(latRad) * tan(latRad) - sin(latRad) *
cos(longDiffRad));
    *azimuth = *azimuth * (180 / PI);
    if (*azimuth < 0) {
        *azimuth += 360;
    }

    float elevation = atan((cos(latRad) * cos(longDiffRad) - 0.151) / sqrt(1 - pow(cos(latRad)
* cos(longDiffRad) - 0.151, 2)));
    *inclination = elevation * (180 / PI);
}

```

```
int main(void) {
    InitUART();

    uint8_t selectedLocation = 0;

    if (selectedLocation >= NUM_LOCATIONS) {
        selectedLocation = 0;
    }
}

```

```
float latitude = locations[selectedLocation].latitude;
float longitude = locations[selectedLocation].longitude;
float satelliteLongitude = -45.0;
float inclination, azimuth;

CalculateInclinationAzimuth(latitude, longitude, satelliteLongitude, &inclination,
&azimuth);

uint8_t moveInclinationCommand[] = {0xE0, 0x31, 0x6B, (uint8_t)inclination};
SendDiSEqCCommand(moveInclinationCommand, sizeof(moveInclinationCommand));

uint8_t moveAzimuthCommand[] = {0xE0, 0x31, 0x6A, (uint8_t)azimuth};
SendDiSEqCCommand(moveAzimuthCommand, sizeof(moveAzimuthCommand));

while (1) {
}

return 0;
}
```

APÊNDICE E

Projeto final

