

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS SÃO JOSÉ

DEIVID FORTUNATO FREDERICO

**MONITORAMENTO E AQUISIÇÃO DOS SINAIS
EMITIDOS PELO CUBESAT FLORIPASAT-I**

SÃO JOSÉ
2025

Deivid Fortunato Frederico

Monitoramento e aquisição dos sinais emitidos pelo CubeSat Floripasat-I

Projeto de trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenadoria do Curso de
Engenharia de Telecomunicações do campus
São José do Instituto Federal de Santa Catarina.

Área de concentração: Telecomunicações

Orientador: Prof. Ramon Mayor Martins, Dr.
Coorientador: Prof. Fábio Alexandre de Souza,
Dr.

SÃO JOSÉ

2025

RESUMO

A expansão da democratização do acesso ao espaço, impulsionada por iniciativas como o lançamento de CubeSats promovido pela NASA, tornou possível o desenvolvimento de diversos projetos educacionais, como o FloripaSat-I, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os CubeSats, por se tratarem de satélites miniaturizados e de baixo custo, apresentam desafios técnicos significativos, como o rastreamento preciso devido ao movimento orbital rápido, a necessidade de correção do efeito Doppler nos sinais recebidos e a complexidade na captação e processamento de sinais fracos e frequentemente ruidosos. Diante desses desafios, torna-se fundamental o estudo e a aplicação de técnicas eficientes para a recepção e análise de sinais provenientes de CubeSats. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e validar uma estação terrestre de baixo custo para o monitoramento e a aquisição dos sinais de telemetria e carga útil do FloripaSat-I. A proposta baseia-se em uma estação que será composta por rádio definido por software (SDR), recursos de radioamadorismo e integração à rede colaborativa SatNOGS, visando oferecer uma solução acessível e eficaz para o monitoramento do CubeSat.

Palavras-chave: Nanossatélite; Rádio definido por Software; Telemetria; Estação terrestre; Processamento de sinais.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
1.1 OBJETIVO.....	8
2 METODOLOGIA.....	9
2.1 RESULTADOS ESPERADOS.....	9
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3.1 INTRODUÇÃO AOS SATÉLITES.....	11
3.1.1 Órbitas e classes de satélites.....	12
3.1.2 Padrão CubeSat.....	13
3.1.3 FloripaSat-I.....	15
3.1.4 Sub-sistemas.....	16
3.2 RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE (SDR) E APLICAÇÕES EM SATÉLITES.....	17
3.3 ESTAÇÕES TERRESTRES.....	18
2.3.1 Introdução às Estações Terrestres para CubeSats.....	18
2.3.2 Radioamadorismo como apoio às Estações Terrestres.....	19
3.3.3 Redes Colaborativas (SatNOGS).....	20
4. PROPOSTA.....	21
5 CRONOGRAMA.....	23
6 CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

Durante a trajetória da exploração espacial, o desenvolvimento de satélites foi tradicionalmente focado em projetos grandes e sofisticados. Tais projetos estavam restritos a poucas instituições governamentais de grande porte, como a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a European Space Agency (ESA) (Poghosyan et al., 2016). Essas missões de grande escala, embora capazes de realizar feitos notáveis, frequentemente enfrentam desafios relacionados a custos elevados, longos períodos de desenvolvimento e complexidades inerentes à integração de múltiplos instrumentos em uma única plataforma (Poghosyan et al., 2016).

No entanto, a última década testemunhou uma mudança significativa nesse paradigma. O crescente interesse em missões espaciais menores, impulsionado por avanços na miniaturização de tecnologias comerciais prontas para uso (COTS - Commercial-Off-TheShelf), levou ao desenvolvimento de uma nova classe de satélites baseadas no padrão CubeSat (Poghosyan et al., 2016).

Os CubeSats, inicialmente concebidos em 1999 pela Universidade de Stanford e pela California Polytechnic State University, foram projetados como ferramentas educacionais e plataformas de demonstração tecnológica de baixo custo, com ciclos de desenvolvimento e lançamento de um a dois anos (Poghosyan et al., 2016). O padrão CubeSat define uma unidade (1U) como um cubo de 10x10x10 cm com massa de até 1,33 kg, permitindo que unidades maiores (como 2U, 3U, 6U, 12U e 27U) sejam construídas pela combinação dessas unidades (Poghosyan et al., 2016). Essa padronização facilita a adoção de sistemas de implantação comuns por parte dos produtores de veículos de lançamento, independentemente do fabricante do CubeSat.

A popularidade dos CubeSats cresceu exponencialmente devido à sua capacidade de reduzir drasticamente os custos e a complexidade de desenvolvimento e lançamento em comparação com satélites tradicionais (Poghosyan et al., 2016). Isso abriu as portas para que países menores, instituições educacionais e organizações comerciais em todo o mundo pudessem participar da

exploração espacial com orçamentos relativamente modestos (Poghosyan et al., 2016).

Um dos principais impulsionadores dessa democratização do acesso ao espaço é o programa CubeSat Launch Initiative (CSLI) da NASA. Conforme detalhado no documento "CubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First-Time..."(NASA, 2017), a NASA tem incentivado o desenvolvimento de CubeSats, especialmente em acadêmicas e organizações sem fins lucrativos, concedendo oportunidades de lançamento para diversas missões. Essa iniciativa da NASA tem sido fundamental para fomentar a formação de recursos humanos em tecnologia espacial e para a validação de novas tecnologias em órbita, transformando os CubeSats de simples ferramentas educacionais em plataformas capazes de realizar missões científicas de alto valor e gerar receita comercial (Poghosyan et al., 2016).

No Brasil, o interesse e o desenvolvimento de pequenos satélites têm crescido significativamente. O artigo "Overview of past, present and future Brazilian small satellites missions" (Souza; Al., 2020) destaca o aumento na produção e lançamento de CubeSats por universidades e iniciativas privadas no país. Essa transição de atividades educacionais e experimentais para uma produção tecnológica mais orientada pela demanda é evidente, com o Brasil se tornando um ator relevante no cenário global de pequenos satélites. Projetos universitários, como o FloripaSat-I, exemplificam essa tendência, possibilitando que instituições acadêmicas adquiram experiência prática em operações de solo, com foco em missões espaciais de pequeno porte.

O FloripaSat-I é um exemplo proeminente do avanço da tecnologia de CubeSats no Brasil, desenvolvido por estudantes do SpaceLab da UFSC no padrão de tamanho 1U. Foi lançado como uma missão de demonstração tecnológica, com o objetivo principal de validar uma plataforma multi-missão para CubeSats e atuar como repetidor de rádio amador para emergências (FLORIPASAT, 2025a). Sua relevância reside na democratização do acesso ao espaço e no fomento à formação de recursos humanos em tecnologia espacial no país (FLORIPASAT, 2025b).

Apesar do avanço dos CubeSats, existem desafios significativos na recepção, decodificação e monitoramento eficiente dos sinais emitidos por esses satélites, especialmente ao utilizar soluções de baixo custo e fácil atualização, como o Rádio Definido por Software (SDR). A complexidade reside no rastreamento preciso devido ao movimento orbital rápido, na necessidade de correção do efeito Doppler nos sinais recebidos e na captação e processamento de sinais fracos e frequentemente ruidosos (Freitas Júnior, 2018).

Para enfrentar esses desafios, o monitoramento e a aquisição dos sinais de telemetria e carga útil do FloripaSat-I são realizados por meio de uma estação terrestre equipada com SDR, recursos de radioamadorismo e a infraestrutura colaborativa da rede SatNOGS (FLORIPASAT, 2025b). O SDR, conforme introduzido em "Introduction to the Software defined Radio Approach" (Reis; Al., 2012), permite a flexibilidade de processamento de sinais por software, tornando-o ideal para a adaptação a diferentes tipos de modulação e protocolos de comunicação utilizados por satélites. A arquitetura reconfigurável de SDR para recepção paralela de satélites demonstra o potencial dessa tecnologia para o monitoramento de múltiplos satélites simultaneamente (Maheshwarappa et al., 2018).

A rede SatNOGS (Satellite Networked Open Ground Station) é uma plataforma global de estações terrestres de código aberto que permite a colaboração na recepção de sinais de satélites (SatNOGS, 2025). Essa infraestrutura colaborativa é muito eficiente para o rastreamento e a aquisição de dados de satélites em órbita terrestre baixa (LEO) (Croissant et al., 2022) como CubeSats, que muitas vezes possuem janelas de comunicação curtas e requerem uma cobertura geográfica ampla. O uso de radioamadorismo, por sua vez, oferece uma abordagem de baixo custo e acessível para a participação de entusiastas e pesquisadores na recepção de sinais de satélites, complementando as capacidades do SDR e da rede SatNOGS.

Este estudo se propõe ao monitoramento e aquisição dos sinais de telemetria e carga útil do FloripaSat-I, usando uma estação terrestre baseada em SDR, rádio amador e a infraestrutura do SatNOGS. Não abrange o controle ativo do satélite,

apenas a recepção e análise dos dados transmitidos, dentro das limitações de uma Estação Terrestre de monitoramento da saúde e rastreo (FLORIPASAT, 2025b).

A pesquisa contribui ao demonstrar uma solução de baixo custo, flexível e replicável para o monitoramento de CubeSats brasileiros, promovendo a capacitação técnica e a autonomia nacional em operações de solo para missões espaciais (FLORIPASAT, 2025a).

1.1 OBJETIVO

Objetivo Geral

Desenvolver e validar uma estação terrestre de baixo custo para o monitoramento e aquisição dos sinais de telemetria e carga útil do CubeSat FloripaSat-I, empregando Rádio Definido por Software, recursos de radioamadorismo e a rede colaborativa SatNOGS.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos pretendidos são:

- Instalar, configurar e operar um sistema SDR para recepção dos sinais do FloripaSat-I.
- Integrar uma estrutura SDR com a rede SatNOGS para coleta automatizada dos dados.
- Utilizar equipamentos de rádio amador para comparação de desempenho.
- Decodificar e analisar os pacotes de telemetria e carga útil recebidos, avaliando a qualidade do sinal e a eficiência de cada abordagem.

2 METODOLOGIA

O estudo será experimental e quantitativo, conforme Gil (2002), realizando a coleta de dados reais durante as passagens do satélite, focando na implementação, operação e avaliação do desempenho dos diferentes métodos de recepção dos sinais do FloripaSat-I.

Serão utilizadas as seguintes ferramentas e instrumentos:

- SDR: Dispositivo RTL-SDR ou similar, softwares como SDR, GQRX ou HDSDR para recepção e gravação dos sinais.
- Rádio Amador: Transceptores VHF/UHF compatíveis com as frequências do FloripaSat-I, antenas adequadas (cross-dipolo, yagi, etc.).
- SatNOGS: Utilização da estação local ou remota para automação da coleta de dados.
- Softwares de Decodificação: Ferramentas específicas para os protocolos NGHam e AX.25, como SoundModem, direwolf, ou o FloripaSat-GRS para decodificação dos pacotes de telemetria.

Análise de Dados: Scripts em Python ou Matlab para análise dos dados decodificados, avaliação da qualidade do sinal e comparação entre os métodos.

2.1 RESULTADOS ESPERADOS

Objetivando-se a obtenção de informações conclusivas quanto às diferentes abordagens para a obtenção de dados do nanossatélite FloripaSat-I, este trabalho pretende demonstrar e validar as vantagens do uso do SDR para uma estação terrestre para acompanhar satélites como os CubeSats. Para tal, pretende-se atingir os seguintes objetivos.

- Recepção bem-sucedida dos sinais de telemetria e carga útil do FloripaSat-I por meio de SDR, rádio amador e SatNOGS.
- Decodificação dos pacotes de dados, com análise comparativa da qualidade do sinal, taxa de sucesso de decodificação e robustez entre as diferentes abordagens.

- Demonstração da viabilidade e vantagens do uso de SDR para monitoramento de CubeSats, destacando a flexibilidade, baixo custo e facilidade de atualização da solução.
- Geração de um guia prático para implementação de estações terrestres para Cubesats, contribuindo para a formação de recursos humanos e disseminação do conhecimento na área espacial nacional.

Das atividades experimentais:

- Montar e calibrar a estação SDR, testando diferentes softwares de recepção e decodificação.
- Realizar sessões de rastreamento do FloripaSat-I, registrando horários de passagem, intensidade do sinal e quantidade de pacotes decodificados.
- Comparar o desempenho do SDR com o radioamador tradicional e com a estação SatNOGS.

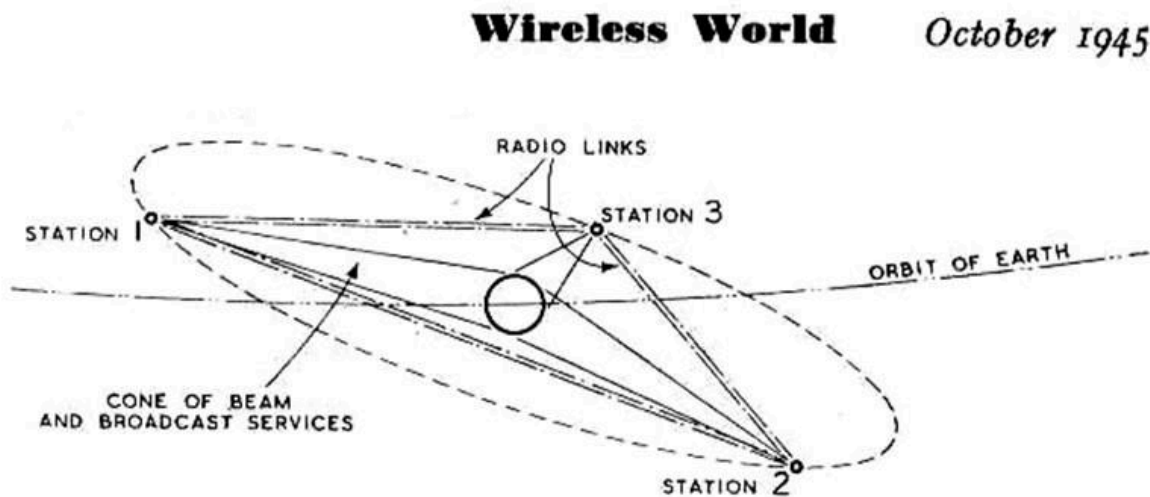
Documentar as dificuldades, ajustes necessários e resultados obtidos, sugerindo melhorias para futuras missões. Essa abordagem cobre todos os itens solicitados e aproveita os recursos disponíveis (SDR, rádio amador, SatNOGS), além de alinhar-se com as tendências atuais em operações de solo para pequenos satélites.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 INTRODUÇÃO AOS SATÉLITES

O conceito de comunicação via satélite é geralmente atribuído ao inglês, Sir Arthur C. Clark por sua publicação em (Clarke, 1945) e citado no artigo "1945–2010: 65 Years of Satellite History From Early Visions to Latest Missions" (Evans et al., 2011). Em fevereiro de 1945, publica uma carta em que postula um satélite artificial em uma órbita de 24 horas e ainda sugere o uso de três desses satélites com espaçamento de 120 graus (Evans et al., 2011) demonstrado na Figura 1. Com a construção de repetidores após a invenção do transistor, da célula solar e do amplificador de tubo de ondas viajantes (TWT), restava tecnologia dos propulsores para enviar os satélites para suas órbitas. Tecnologia de propulsão que se tornou possível com o desenvolvimento militar do sistema balístico intercontinental, o míssil (O'Neal, 1999).

Figura 1 - Três estações de satélite que garantiriam a cobertura completa do globo



Fonte: (Clarke, 1945)

Em 4 de outubro de 1957, os soviéticos lançaram o SPUTNIK 1. No ano seguinte, em 31 de janeiro de 1958 os Estados Unidos lançaram o Explorer 1 (Evans

et al., 2011). A partir de então iniciou-se a corrida espacial que acelerou o desenvolvimento dos satélites para o que conhecemos hoje.

3.1.1 Órbitas e classes de satélites

Os satélites podem ser classificados de diversas formas, dependendo de suas funções, como meteorologia, monitoramento da Terra, comunicação e radiodifusão, entre outras. No entanto, uma distinção mais comum ocorre com base nas órbitas em que são posicionados. As órbitas mais frequentemente empregadas por satélites de comunicação incluem a LEO (órbita terrestre baixa), a MEO (órbita terrestre média) e a GEO (órbita geossíncrona) (Furgan; Goswami, 2022).

A Tabela 1 apresenta as principais características das diferentes órbitas.

Tabela 1 - Classificação de Órbitas

Atributos	LEO	MEO	GEO
Altitude (km)	160 - 2000	5000 - 12000	35786
Latência de ida e volta (ms)	10~30	70~200	540
Tempo de vida (anos)	3~7	10~15	15+
Número de satélites necessários para cobertura global	40~800	8~20	3 (Sem cobertura polar)
Exemplos	ISS, Starlink	GPS, O3B	Intelsat, Inmarsat

Fonte: FURQAN; GOSWAMI (2022)

Uma forma amplamente utilizada para categorizar satélites é com base em sua massa, o Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018, publicado pela Federal Aviation Administration (FAA), apresenta uma classificação padronizada amplamente adotada no setor aeroespacial. Essa classificação organiza os satélites em diferentes faixas de massa, como pode ser observado na Tabela 2.

Os CubeSats são classificados como nanossatélites, com peso entre 1,1 e 10 kg. Ainda que essa classificação por massa seja correta, ela não captura a essência da plataforma. A principal característica de um CubeSat é sua conformidade com um padrão de design que dita seu formato, volume e interfaces mecânicas. Essa abordagem modular é o pilar que permite custos reduzidos e ciclos de

desenvolvimento rápidos, diferenciando os CubeSats de outros nanossatélites. A seguir, serão detalhadas as especificações que compõem o Padrão CubeSat .

Tabela 2 - Classes de massa de satélites usadas pela *Federal Aviation Administration*.

Class Name	Kilograms (kg)
Femto	0.01 – 0.1
Pico	0.09 – 1
Nano	1.1 – 10
Micro	11 – 200
Mini	201 – 600
Small	601 – 1,200
Medium	1,201 – 2,500
Intermediate	2,501 – 4,200
Large	4,201 – 5,400
Heavy	5,401 – 7,000
Extra Heavy	>7,001

Fonte: FAA (2018)

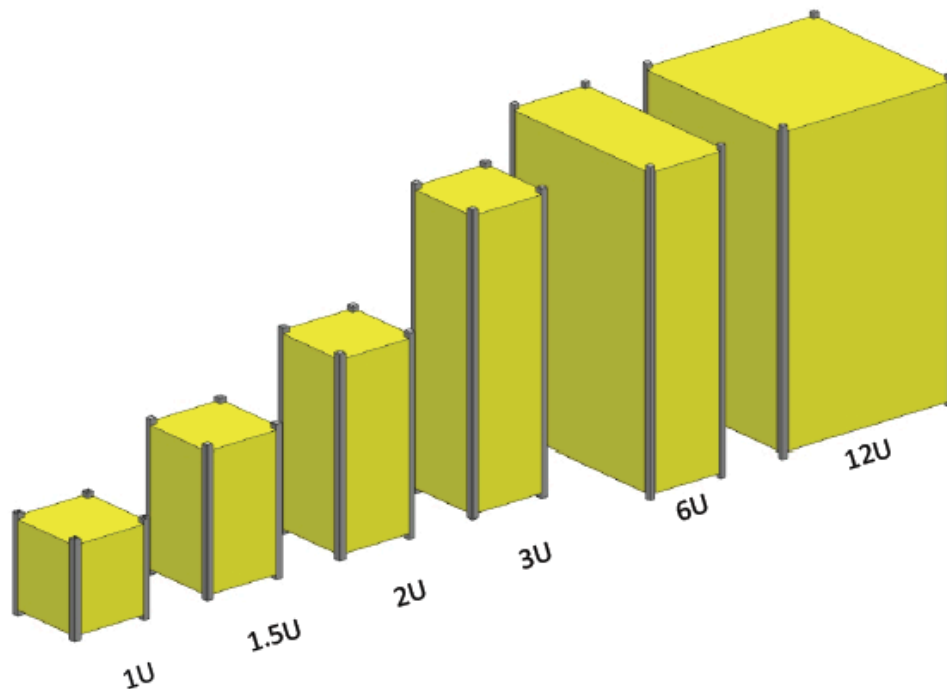
3.1.2 Padrão CubeSat

Com a necessidade de comunicações de longa distância, avanços e miniaturização de tecnologias, busca por projetos com baixo custo e de democratização da tecnologia espacial, como já mencionado no [Capítulo 1](#), foi idealizado em 1999 o conceito de CubeSats. Um projeto concebido para apoiar projetos educacionais, testar instrumentos, realizar experimentos científicos e para ser popularizado por meio da possibilidade de comunicação radioamadora.

O termo CubeSat define uma classe de satélites de pequeno porte que adotam um tamanho e fator de forma padrão, em que a unidade base é definida como “U”. Em que uma unidade corresponde a um cubo de aproximadamente 10 cm e massa de até 2 kg. O objetivo principal deste padrão é fornecer especificações para o projeto de CubeSats que variam de 1U a 12U, como pode ser melhor observado na Figura 2. O objetivo secundário padrão é fornecer informações sobre os dispensadores de CubeSat disponíveis e suas interfaces correspondentes (CUBESAT DESIGN (CDS), 2022).

Em geral, esses satélites possuem trilhos de alumínio nos cantos para facilitar sua fixação e liberação durante o lançamento. As dimensões e massa máximas permitidas variam conforme o tamanho do CubeSat e as especificações do dispensador responsável por sua inserção em órbita, o que pode influenciar também nas tolerâncias de saliência dos trilhos (XIA et al. ,2022).

Figura 2 – Tamanhos de CubeSat comumente usados.

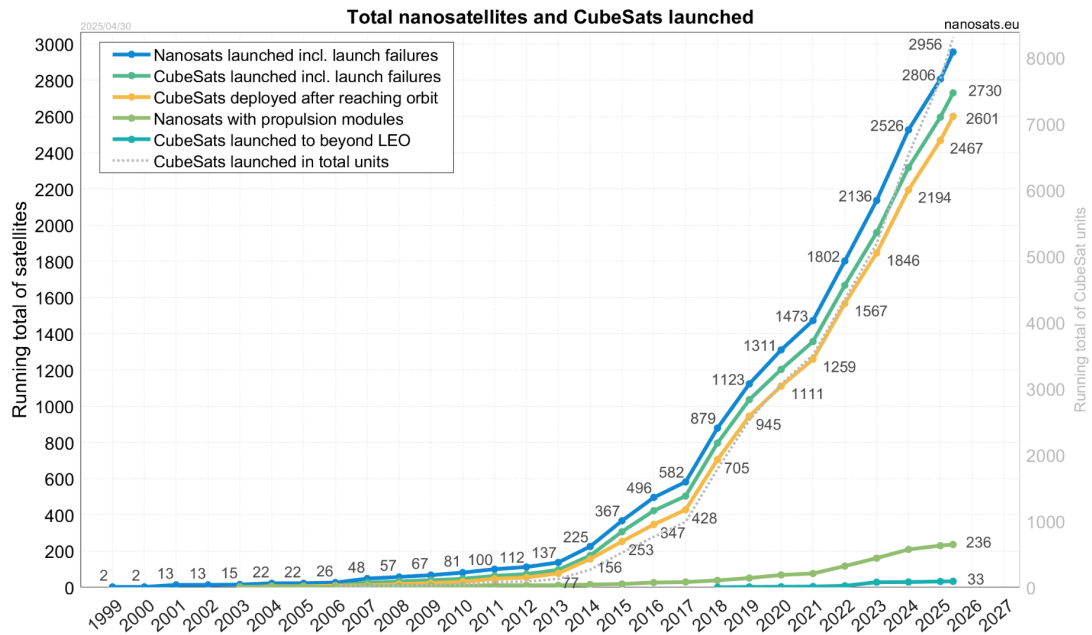


Fonte: CUBESAT DESIGN CDS (2022).

Os CubeSats geralmente transportam dois tipos principais de equipamentos: o barramento e a carga útil. O barramento corresponde ao conjunto de subsistemas responsáveis por garantir o funcionamento e o suporte necessário ao satélite ao longo de sua operação. Entre esses subsistemas estão: a estrutura mecânica (STRU), o sistema de comunicações (COMM), o controle de atitude e órbita (AOCS), o sistema de geração e distribuição de energia (EPS), o processamento de dados a bordo (OBDH), o sistema de telemetria, rastreamento e comando (TT&C) e o controle térmico (TCS). Já a carga útil é o componente dedicado à missão principal do satélite, sendo responsável por executar a função específica para a qual o CubeSat foi projetado, como coleta de dados, observações ou experimentos científicos (XIA et al. ,2022).

Nos últimos anos, o número de CubeSats lançados em órbita terrestre cresceu expressivamente, a Figura 3 expressa que a tendência deve se manter nas próximas décadas.

Figura 3 – Total de lançamentos de nanossatélites e CubeSats (1999-2025).



Fonte: Kulu (2025).

Esse crescimento se deve a fatores como a redução nos custos de lançamento, o uso de lançamentos compartilhados, a miniaturização de componentes eletrônicos, a padronização de sistemas e o apoio de agências espaciais com recursos técnicos e financeiros.

3.1.3 FloripaSat-I

O CubeSat da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) foi criado como uma missão de demonstração tecnológica, com o objetivo principal de validar uma plataforma multi-missão para CubeSats e atuar como repetidor de rádio amador para emergências (FLORIPASAT, 2025a). O projeto representa um marco significativo para a engenharia espacial brasileira, demonstrando a capacidade de instituições de ensino superior em desenvolver e operar missões espaciais complexas com recursos limitados.

O projeto FloripaSat-I também é um estudo de caso importante para a análise de desafios técnicos na recepção, decodificação e monitoramento eficiente dos sinais emitidos por esses satélites, especialmente ao utilizar soluções de baixo custo e fácil atualização, como o Rádio Definido por Software (Freitas Júnior, 2018). A experiência adquirida com o FloripaSat-I tem sido fundamental para a compreensão das particularidades da comunicação com pequenos satélites em órbita baixa, incluindo a necessidade de lidar com o efeito Doppler e a baixa potência de transmissão. Essa compreensão tem sido de suma importância para o desenvolvimento de missões como o CubeSat Aldebaran-I da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) (LABESEE_UFMA, 2025) entre outros projetos como o subsequente da própria Universidade Federal de Santa Catarina, o FloripaSat-II, renomeado posteriormente como GOLDS-UFSC (SPACELAB_UFSC, 2025) e do projeto Constelação Catarina (SPACELAB_UFSC, 2025a).

3.1.4 Sub-sistemas

Os Subsistemas são compostos por 5 módulos entre módulos principais para o controle da missão e as cargas úteis. Os módulos principais desenvolvidos são o On-Board Data Handling (OBDH), a Telemetria, Rastreamento e Controle (TT&C), o Sistema de Energia Elétrica (EPS) e o Sistema de Controle de Atitude (ACS) passivo. A carga útil é um repetidor de rádio amador e transmissor de informações de telemetria do nanossatélite (FLORIPASAT, 2025a).

A placa OBDH, EPS, TT&C, bateria e placa de interface foram desenvolvidas pela equipe FloripaSat na UFSC. As antenas, painéis solares e módulos de estrutura foram adquiridos do fornecedor de nanossatélites ISIS (FLORIPASAT TEAM, 2025).

Considerando o foco deste trabalho na recepção e análise de dados recebidos do FloripaSat-I, será atribuído maior foco ao subsistema de Telemetria, Rastreamento e Comando (TT&C).

O TT&C transmite sinais de telemetria e Beacon. Além disso, recebe comandos de estações terrestres que são processados pelo módulo OBDH. O módulo de Comunicação possui dois rádios: um para transmissão de sinais de beacon, na frequência VHF; e o principal para transmissão de telemetria e recepção

de comandos na frequência UHF. A comutação dos rádios é controlada por um interruptor de RF. O rádio principal é controlado pelo OBDH, e o beacon é controlado pelo microcontrolador do TT&C (FLORIPASAT TEAM, 2025).

As frequências licenciadas para comunicação com o satélite são 145,9 MHz para o link VHF (Beacon) e 436,1 MHz para o link UHF (Downlink e Uplink). Ambos os canais utilizam modulação GFSK, com desvio de 2,5 e 5 kHz, respectivamente. As taxas de transmissão são de 1200 bps para o Beacon e 2400 bps para o downlink/uplink (MARCELINO et. al., 2021).

3.2 RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE (SDR) E APLICAÇÕES EM SATÉLITES

O Rádio Definido por Software (SDR) representa uma mudança de paradigma na engenharia de rádio, substituindo a implementação tradicional em hardware por uma abordagem baseada em software. Nesse modelo, as funções da camada física de um rádio são definidas e controladas por software, permitindo que o comportamento do sistema de comunicação seja modificado dinamicamente (REIS et al., 2012). Isso confere ao SDR uma flexibilidade sem precedentes, tornando-o ideal para se adaptar a diferentes tipos de modulação, protocolos de comunicação e padrões de rádio, como WiMAX, LTE e Wi-Fi, sem a necessidade de substituir o hardware físico (REIS et al., 2012). A capacidade de reconfiguração em tempo real é uma das maiores vantagens do SDR, permitindo que um único dispositivo seja utilizado para diversas aplicações e padrões de comunicação.

As vantagens do SDR incluem maior robustez a variações de temperatura e envelhecimento de componentes, facilidade de desenvolvimento e correção de erros em ambiente de software, e a redução da complexidade do hardware, limitando-o principalmente ao front-end de RF. Essa alta integração e a capacidade de reconfiguração em tempo de execução resultam em soluções mais econômicas e com menor time-to-market (Reis et al., 2012). A natureza programável do SDR também facilita a implementação de novos algoritmos de processamento de sinal e a experimentação com diferentes técnicas de comunicação, acelerando o ciclo de inovação e pesquisa.

No contexto de aplicações em satélites, o SDR é particularmente valioso. A arquitetura reconfigurável de SDR permite a recepção paralela de múltiplos satélites simultaneamente, otimizando a coleta de dados e o monitoramento de constelações (Maheshwarappa et al., 2018). A flexibilidade do SDR o torna uma ferramenta poderosa para a adaptação a diferentes frequências, modulações e protocolos de comunicação utilizados por diversos satélites, incluindo os CubeSats, que podem empregar padrões variados (Reis et al., 2012). A capacidade de processar múltiplos sinais em paralelo é crucial para missões que envolvem constelações de satélites, onde a coordenação e a coleta de dados de vários satélites são essenciais.

Além disso, o SDR facilita a implementação de técnicas avançadas de processamento de sinal, como a correção de efeito Doppler e a filtragem de ruído, cruciais para a comunicação com satélites LEO. A capacidade de atualizar o software do rádio em campo permite que as estações terrestres se adaptem a novas tecnologias e padrões de comunicação sem a necessidade de substituição de hardware, prolongando a vida útil dos equipamentos e reduzindo os custos de manutenção. Essa adaptabilidade torna o SDR uma solução ideal para o monitoramento de satélites em um ambiente espacial em constante evolução.

3.3 ESTAÇÕES TERRESTRES

As estações terrestres são infraestruturas críticas destinadas à comunicação com satélites em órbita. Sua principal função é permitir a transmissão, recepção e controle de sinais, atuando como ponto de interface entre os sistemas espaciais e as redes localizadas no solo.

2.3.1 Introdução às Estações Terrestres para CubeSats

No contexto dos CubeSats, as estações terrestres assumem um papel ainda mais vital e, ao mesmo tempo, desafiador. Devido ao seu tamanho reduzido e à sua órbita tipicamente baixa (LEO), os CubeSats possuem janelas de comunicação curtas e rápidas, exigindo que as estações terrestres sejam capazes de rastrear com precisão e adquirir sinais em alta velocidade (FREITAS JÚNIOR, 2018). A natureza de baixo custo e a democratização do acesso ao espaço que os CubeSats proporcionam também se refletem na necessidade de estações terrestres mais

acessíveis e, muitas vezes, operadas por instituições de ensino ou grupos de entusiastas, como a comunidade de radioamadores.

Para satélites de maior porte as estações terrestres são complexas e caras, exigindo grandes antenas e equipamentos especializados, o que limita seu uso a agências espaciais e grandes corporações. No entanto, a proliferação de CubeSats e a crescente demanda por comunicação com esses pequenos satélites impulsionaram o desenvolvimento de soluções mais flexíveis e econômicas. A utilização de tecnologias como o Rádio Definido por Software (SDR) permite que estações terrestres de baixo custo sejam construídas e operadas com alta capacidade de reconfiguração e adaptação a diferentes protocolos de comunicação (REIS et al., 2012).

Além da recepção e transmissão de dados, as estações terrestres para CubeSats são responsáveis por tarefas críticas como a correção do efeito Doppler, que é acentuado em satélites LEO devido à sua alta velocidade relativa à Terra (FREITAS JÚNIOR, 2018). Elas também precisam lidar com sinais de baixa potência e frequentemente ruidosos, o que exige o uso de antenas de alto ganho e técnicas avançadas de processamento de sinal para garantir a integridade dos dados recebidos. A capacidade de automatizar o rastreamento e a aquisição de dados é outro aspecto crucial, especialmente para missões que dependem de múltiplas passagens diárias para coletar informações suficientes.

2.3.2 Radioamadorismo como apoio às Estações Terrestres

O radioamadorismo, uma prática global de comunicação sem fio por entusiastas, desempenha um papel crucial na democratização do acesso ao espaço e no suporte a missões de pequenos satélites. A comunidade de radioamadores, com sua paixão por tecnologia e experimentação, tem sido fundamental na recepção de sinais de satélites, especialmente os de baixo custo e educacionais, como os CubeSats (AMSAT-BR, 2025; LABRE, 2025). A participação ativa de radioamadores na recepção de telemetria e dados de satélites contribui significativamente para a validação de novas tecnologias e para a disseminação do conhecimento sobre o espaço.

3.3.3 Redes Colaborativas (SatNOGS)

Complementando o radioamadorismo, as redes colaborativas de estações terrestres, como a SatNOGS (Satellite Networked Open Ground Station), amplificam significativamente a capacidade de monitoramento de satélites. A SatNOGS é uma plataforma global de código aberto que permite a colaboração na recepção de sinais de satélites, utilizando estações terrestres distribuídas geograficamente (SatNOGS, 2025). Essa infraestrutura colaborativa é inestimável para o rastreamento e a aquisição de dados de satélites em órbita terrestre baixa (LEO), que frequentemente possuem janelas de comunicação curtas e exigem uma cobertura geográfica ampla para maximizar a coleta de dados (Croissant et al., 2022). A natureza distribuída da rede SatNOGS permite uma cobertura global quase contínua, superando as limitações de uma única estação terrestre.

A contribuição do radioamadorismo e das redes colaborativas vai além da simples recepção de sinais. Eles promovem a educação, a pesquisa e o desenvolvimento de novas técnicas de comunicação e processamento de sinal. A comunidade de radioamadores frequentemente desenvolve e compartilha softwares e hardwares de baixo custo, tornando a participação em missões espaciais mais acessíveis a um público amplo. Essa colaboração global acelera a inovação e fortalece a comunidade espacial, criando um ambiente propício para o aprendizado e a experimentação.

Em resumo, a sinergia entre o radioamadorismo e as redes colaborativas como a SatNOGS é um pilar fundamental para o sucesso das missões de pequenos satélites. Essa combinação oferece uma abordagem de baixo custo, acessível e altamente eficaz para a participação de entusiastas e pesquisadores na recepção de sinais de satélites, complementando as capacidades do SDR e expandindo a cobertura global de monitoramento de CubeSats e outros pequenos satélites. A contínua evolução dessas plataformas e a crescente participação da comunidade global prometem um futuro ainda mais promissor para a democratização do espaço.

4. PROPOSTA

Este trabalho propõe o desenvolvimento e validação de uma estação terrestre de baixo custo para o monitoramento e aquisição dos sinais de telemetria e carga útil do CubeSat FloripaSat-I. O projeto visa integrar tecnologias acessíveis, como rádio definido por software (SDR), recursos de radioamadorismo e a rede colaborativa SatNOGS, de modo a criar uma solução eficiente e replicável para o acompanhamento de pequenos satélites brasileiros.

A iniciativa parte do reconhecimento dos desafios técnicos impostos pelos CubeSats, especialmente no que diz respeito ao rastreamento preciso, à correção do efeito Doppler e à captação de sinais fracos e ruidosos. Diante disso, a estação terrestre proposta será composta por um sistema SDR, capaz de receber e gravar sinais utilizando softwares como GQRX ou HDSDR, além de transceptores VHF/UHF e antenas adequadas para operação em radioamadorismo. A integração com a rede SatNOGS permitirá a automação da coleta de dados, ampliando a cobertura e a eficiência do monitoramento, colaborando nas operações da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

O trabalho prevê a instalação, configuração e operação do sistema SDR, bem como a comparação do seu desempenho com equipamentos tradicionais de radioamadorismo e com a infraestrutura colaborativa da SatNOGS. Serão utilizadas ferramentas específicas para decodificação dos protocolos NGHam e AX.25, como SoundModem, direwolf e FloripaSat-GRS, possibilitando a análise detalhada da qualidade dos sinais recebidos e da eficiência de cada abordagem.

Além da montagem e calibração da estação, serão realizadas sessões de rastreamento do FloripaSat-I, com registro dos horários de passagem, intensidade dos sinais e quantidade de pacotes decodificados. Esses dados servirão de base para uma análise comparativa entre as diferentes metodologias de recepção, destacando vantagens, limitações e possíveis melhorias para futuras missões.

A proposta contempla ainda a elaboração de um guia prático para implementação de estações terrestres para CubeSats, contribuindo para a formação de recursos humanos e a disseminação do conhecimento em tecnologia espacial no

Brasil. Dessa forma, o projeto busca não somente validar uma solução técnica, mas também fortalecer a capacitação nacional em operações de solo para missões espaciais de pequeno porte.

5 CRONOGRAMA

A1 - Instalar, configurar e operar um sistema SDR

A2 - Integrar uma estrutura SDR com a rede SatNOGS

A3 - Utilizar equipamentos de rádio amador para comparação de desempenho

A4 - Decodificar e analisar os pacotes de telemetria e carga útil

B1 - Escrita do TCC

B2 - Leitura do TCC pelo Orientador

B3 - Envio do TCC para banca

C1 - Análise do TCC pela banca examinadora

C2 - Defesa do TCC

C3 - Entrega Final após correções solicitadas pela banca

Atividades	Mês (2025)				
	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
A1	x				
A2		x			
A3		x	x		
A4			x		
B1			x	x	x
B2			x	x	x
B3					x
C1					x
C2					x
C3					x

6 CONCLUSÕES

O presente projeto tratou de uma proposta de desenvolvimento e validação de uma estação terrestre de baixo custo, focada no monitoramento e aquisição dos sinais de telemetria e carga útil do CubeSat FloripaSat-I. A motivação para este trabalho reside nos desafios inerentes à comunicação com pequenos satélites em órbita terrestre baixa (LEO), que incluem o rastreamento preciso devido ao movimento orbital rápido, a necessidade de correção do efeito Doppler nos sinais recebidos e a complexidade na captação e processamento de sinais fracos e frequentemente ruidosos. A democratização do acesso ao espaço, impulsionada pela proliferação de CubeSats, ressalta a importância de soluções acessíveis e eficazes para o acompanhamento dessas missões.

O objetivo central do projeto é demonstrar a viabilidade de uma estação terrestre composta por rádio definido por software (SDR), recursos de radioamadorismo e integração à rede colaborativa SatNOGS. A metodologia proposta, de caráter experimental e quantitativo, prevê a implementação, operação e avaliação do desempenho desses diferentes métodos de recepção de sinais. A utilização de ferramentas como dispositivos RTL-SDR, transceptores VHF/UHF, softwares de decodificação dos sinais recebidos, e a infraestrutura da SatNOGS, serão as principais ferramentas para a coleta e análise de dados reais durante as passagens do satélite.

Os resultados esperados deste trabalho são a recepção e decodificação bem-sucedida dos sinais do FloripaSat-I, permitindo uma análise comparativa da qualidade do sinal, taxa de sucesso de decodificação e robustez entre as abordagens de SDR, radioamadorismo e SatNOGS. Além disso, o projeto visa demonstrar a flexibilidade, o baixo custo e a facilidade de atualização que o SDR oferece para o monitoramento de CubeSats. A geração de um guia prático para implementação de estações terrestres para CubeSats é outro fator importante, que contribuirá diretamente para a formação de recursos humanos e a disseminação do conhecimento na área espacial nacional.

REFERÊNCIAS

CLARKE, Arthur C. Extra-terrestrial relays. *Wireless World*, p. 305–308, out. 1945. Acesso em: 10 jul. 2025. Disponível em: <<https://worldradiohistory.com/UK/Wireless-World/40s/Wireless-World-1945-10.pdf>>

CROISSANT, Kevin et al. An Updated Overview of the Satellite Networked Open Ground Stations (SatNOGS) Project. In: *PROCEEDINGS of the Small Satellite Conference*. 2022. Acesso em: jun. 2025.

CUBESAT DESIGN SPECIFICATION (CDS) COMMITTEE. CubeSat Design Specification Rev. 14.1. Fev. 2022. Acesso em: jul. 2025. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/62193b7fc9e72e0053f00910/1645820809779/CDS+REV14_1+2022-02-09.pdf>.

EVANS, Barry G. et al. 1945–2010: 65 Years of Satellite History From Early Visions to Latest Missions. *Proceedings of the IEEE*, v. 99, n. 11, p. 1840–1857, 2011. Acesso em: 13 jul. 2025. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2159467. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5985458>>

FAA. The Annual Compendium of Commercial Space Transportation: 2018. Acesso em: jul. 2025. Disponível em: <<https://tinyurl.com/42pej6sw>>

FLORIPASAT. FloripaSat-1 – A Brazilian CubeSat mission done by college students. 2025. <https://floripasat.ufsc.br/pt/home-br/>. Acesso em: jul. 2025.

FLORIPASAT TEAM. Satellite General Description. 2025. <https://github.com/floripasat/documentation/wiki/Satellite-General-Description..> Acesso em: 18 jul. 2025.

FloripaSat-1: Recebendo E Decodificando O Sinal Do Beacon. 2025. <https://tinyurl.com/kdnr7dph>. Acesso em: jun. 2025.

FREITAS JÚNIOR, Walter Cardoso de. Projeto de antenas Moxon-Yagi para comunicação com satélites de órbita baixa (LEO). 2018. Monografia (Graduação em Engenharia de Telecomunicações) – Instituto Federal de Santa Catarina, São José.

FURQAN, Muhammad; GOSWAMI, Bhargavi. *Satellite Communication Networks*. Springer, jan. 2022. P. 1–22. ISBN 978-981-4585-87-3. DOI: 10.1007/978-981-4585-87-3_70-1.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002. cap. 16. p. 161-169.

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA. Implementação de decodificador NGHAM e AX25 para Cubesats e Nanosatélites utilizando SDR e ambiente GNU Radio. 2025. <https://tinyurl.com/a8vpdsff>. Acesso em: jun. 2025.

Kulu, E. Nanosats Database. Figures: <https://www.nanosats.eu/#figures> Acesso em: 10 jul. 2025.

LABESEE UFMA. Projeto do CubeSat ALDEBARAN I. 2025. https://www.labesee.ufma.br/?page_id=111&lang=pt. Acesso em: 10 jul. 2025.

MAHESHWARAPPA, Mamatha R.; BOWYER, Mark D. J.; BRIDGES, Christopher P. A reconfigurable SDR architecture for parallel satellite reception. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, v. 33, n. 11, p. 4–13, 2018. Acesso em: jun. 2025.

MARCELINO, G. M.; AL., et. In-orbit preliminary results from the open-source educational nanosatellite FloripaSat-I. *Acta Astronautica*, v. 188, p. 64–72, 2021. Acesso em: jun. 2025.

NASA. CubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First-Time... 2017. <https://tinyurl.com/bddpm977>. Acesso em: jun. 2025.

POGHOSYAN, Armen et al. CubeSat evolution: Analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions. *Progress in Aerospace Sciences*, v. 88, p. 59–83, 2016. DOI:10.1016/j.paerosci.2016.11.002.

REIS, A. L. G.; AL., et. Introduction to the Software-defined Radio Approach. In: IEEE. 2012 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC). 2012. P. 1–5. Acesso em: jun. 2025.

SatNOGS. About. 2025. <https://SatNOGS.org/about/>. Acesso em: jun. 2025.

SPACELAB UFSC. Constelação de CubeSats Catarina-I. 2025. <https://spacelab.ufsc.br/en/catarina-a1/>. Acesso em: 10 jul. 2025

SOUZA, Leonardo JC; AL., et. Overview of past, present and future Brazilian small satellites missions. *Aeronautics and Aerospace Open Access Journal*, v. 4, n. 1, p. 34–38, 2020. Acesso em: jun. 2025.

Projeto do CubeSat GOLDS-UFSC. 2025. <https://spacelab.ufsc.br/en/golds-ufsc/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

XIA, Dengwei et al. An Overview of CubeSat Missions and Applications. *Applied Sciences*, v. 12, n. 6, p. 550, 2022. Acesso em: jul. 2025. DOI: 10.3390/app12060550. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2226-4310/12/6/550>>.