

Monitoramento e aquisição dos sinais emitidos pelo cubesat FloripaSat-I

RESUMO ESTENDIDO - Disciplina de TCC029009

Deivid Fortunato Frederico

Estudante do Curso de Engenharia de Telecomunicações

Ramon Mayor Martins

Professor orientador

Semestre 2025.1

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. Software definido por rádio. Telemetria. Estação terrestre. Processamento de sinais.

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-The-Shelf*), 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 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, 2025b). 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) (Instituto Federal de Santa Catarina, 2025). 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 (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, 2025a). 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 é explorada em (MAHESHWARAPPA; BOWYER; BRIDGES, 2018), demonstrando o potencial dessa tecnologia para o monitoramento de múltiplos satélites simultaneamente.

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 valiosa 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.

Apesar do avanço dos CubeSats, há desafios na recepção, decodificação e monitoramento eficiente dos sinais emitidos por esses satélites, especialmente utilizando soluções de baixo custo e fácil atualização, como SDR (Software Defined Radio) (Instituto Federal de Santa Catarina, 2025).

O estudo se limita 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 (FloripaSat, 2025a).

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, 2025b).

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 (SDR), recursos de radioamadorismo e a rede colaborativa SATNOGS.

Objetivos Específicos:

- 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, 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.

3 Resultados e Discussão

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.

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 rádio amador 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.

Referências

- CROISSANT, K. et al. An updated overview of the satellite networked open ground stations (satnogs) project. In: *Proceedings of the Small Satellite Conference*. [S.l.: s.n.], 2022. Acesso em: jun. 2025.
- FloripaSat. *FloripaSat-1: Recebendo E Decodificando O Sinal Do Beacon*. 2025. <<https://tinyurl.com/kdnr7dph>>. Acesso em: jun. 2025.
- FloripaSat. *FloripaSat-1 – A brazilian CubeSat mission done by college students*. 2025. <<https://tinyurl.com/nkrfhyd5>>. Acesso em: jun. 2025.
- 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.
- JÚNIOR, W. C. d. F. *Projeto de antenas Moxon-Yagi para comunicação com satélites de órbita baixa (LEO)*. Tese (Monografia (Graduação em Engenharia de Telecomunicações)) — Instituto Federal de Santa Catarina, São José, 2018.
- MAHESHWARAPPA, M. R.; BOWYER, M. D. J.; BRIDGES, C. 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.
- NASA. *CubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First-Time...* 2017. <<https://tinyurl.com/bddpm977>>. Acesso em: jun. 2025.
- POGHOSYAN, A. et al. Cubesat evolution: Analyzing cubesat capabilities for conducting science missions. *Progress in Aerospace Sciences*, v. 88, p. 59–83, 2016.
- 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)*. [S.l.], 2012. p. 1–5. Acesso em: jun. 2025.
- SatNOGS. *About*. 2025. <<https://satnogs.org/about/>>. Acesso em: jun. 2025.
- SOUZA, L. J.; 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.