

**CLUBE DO RÁDIO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**



**PROJETO MINUANO-SAT:
DESENVOLVIMENTO DE UM TTC SIMPLES, ROBUSTO E
VERSÁTIL**

Projeto de uma estrutura de CubeSat, desenvolvida pelo Clube de Rádio da Universidade Federal do Pampa, destinada a apresentação na 1ª Olimpíada Brasileira de Satélites MCTI.

**Alegrete-RS
2021**

Dado de Identificação

Nome do Projeto: Minuano-Sat: desenvolvimento de um TTC simples, robusto e versátil.

Instituição: Universidade Federal do Pampa, Alegrete - Rio Grande do Sul

Categoria: III - Ensino Superior

Equipe:

Bruno da Cruz Carvalho
Gabriel Pardino Paulena
Henrique Finatto
Leonardo Carpes dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Lucas Compassi Severo

Apoio: LABRE/AMSAT-BR



1. Introdução

A exploração espacial possui uma enorme importância para o desenvolvimento tecnológico mundial. Através dela é possível explorar o espaço em busca de respostas para problemas astronômicos e físicos, como a origem do universo e buracos negros, além de criar ferramentas e meios de comunicação cada vez mais robustos. Além do resultado científico, o desenvolvimento de tecnologias para o espaço gera inúmeras inovações que podem ser aplicadas para melhorar a qualidade de vida das pessoas.

No ponto de vista econômico o investimento e promoção de atividades envolvendo espaço são importantes estratégias para as nações. De acordo com Bryce (2019), o valor econômico mundial do setor espacial foi estimado em cerca de \$345 bilhões de dólares em 2016. Com a criação de empresas como *Space X* e *Blue Origin* espera-se que a área ainda tenha grande evolução nos próximos anos. Neste quesito a utilização de pequenos satélites tem se mostrado muito importantes, visto que reduzem o tempo e custo de um projeto e a sua utilização em constelações permitem realizar inúmeras funções. Vide a constelação de satélites *Starlink* que tem o objetivo de promover acesso à internet de forma rápida em qualquer lugar do mundo.

As missões espaciais envolvendo satélites podem ser divididas nos seguintes segmentos (Souza, 2007):

- **Segmento Espacial:** parte principal composta pelo satélite que é colocado em órbita;
- **Segmento Lançador:** ferramenta utilizada para colocação do satélite em órbita;
- **Segmento Solo:** parte responsável por realizar a comunicação com o satélite, controle e recepção dos sinais provenientes das cargas úteis.

No segmento espacial, tema desta proposta, encontram-se os maiores desafios, visto que existem diversas limitações físicas como: peso, dimensão e energia disponível. O satélite pode ser visto como uma plataforma para realização de experimentos e sua organização pode ser dividida nos seguintes subsistemas:

- **Plataforma Estrutural:** representa a estrutura física do satélite, bem como os suportes de fixação de painéis solares, antenas e demais equipamentos em seu interior e exterior. Além de formar a carcaça mecânica do satélite, a plataforma protege os sistemas durante a etapa de lançamento;
- **Controle de Atitude:** mecanismo responsável por ajustar a posição do satélite e permitir o ajuste da órbita e apontamento do satélite para a Terra. Este sistema pode ser passivo ou ativo, utilizando propulsores, ímãs, eletroímãs e sensores de posicionamento;
- **Suprimento de Energia:** responsável pela gestão energética do satélite desde o monitoramento da geração de energia com células fotovoltaicas,

controle de conversores de tensão, carregamento de baterias, gerenciamento do consumo e proteções elétricas;

- **Serviço de Telecomunicação:** este é um dos principais subsistemas de satélites, popularmente conhecido pela sigla TTC (*Telemetry, Tracking and Command*). Seu objetivo é estabelecer a comunicação entre o satélite e a estação terrena de monitoramento. Pelo TTC são enviados comandos da terra, é feita a comunicação com a carga útil e os sinais vitais do satélite podem ser monitorados. Este subsistema é composto pelo transceptor de radiofrequência (RF), suas antenas e o sistema de processamento digital dos sinais de comunicação.
- **Controle Térmico:** responsável por manter a temperatura dos dispositivos dentro de faixas adequadas para sua operação, considerando as fases de eclipse e exposição solar.
- **Gerenciador de Bordo:** esta é a parte principal do satélite, popularmente conhecido como CDH (*Command and Data Handling*). Sua função é realizar o gerenciamento geral do satélite, desde o processamento e preparação dos dados, interface com carga útil e ordenação dos comandos recebidos. O CDH é composto por *hardware* e *software*.

Dentre os aspectos envolvendo satélites, este trabalho está focado no serviço de telecomunicação (TTC), visando a análise e o desenvolvimento de hardware e software compatíveis com pequenos satélites.

O objetivo geral desta proposta é desenvolver um subsistema de TTC que seja robusto, eficiente e versátil, de modo que seja compatível com os requisitos presentes em nanosatélites e possua baixa complexidade para implementação prática.

Como objetivos específicos, esta proposta apresenta:

- Utilizar modulações eficientes do ponto de vista de hardware;
- Explorar códigos de correção de erro compatíveis com a aplicação;
- Apresentar fácil integração com as estações de solo;
- Utilizar a faixa de radioamador para realização de experimentos práticos;
- Colaborar para o desenvolvimento de recursos humanos na área de telecomunicações espaciais.

2. Desafios Presentes no TTC

O subsistema de TTC de um satélite é extremamente importante e precisa ser confiável, visto que sem este sistema toda a operação é inviabilizada. Desta forma, o hardware e software presentes no TTC precisam ser projetados cuidadosamente, considerando os vários fenômenos físicos que afetam este sistema.

No ponto de vista de hardware o principal desafio em nanosatélites está relacionado à estabilidade de frequência devido à temperatura, visto que pode haver uma grande diferença térmica entre os períodos de eclipse (*cold case*) e a incidência solar (*hot case*) (Dinh, 2012). Com isso, o hardware precisa possuir mecanismos de compensação para manter as suas propriedades em diferentes valores de temperatura. Sendo a principal parte o uso de geradores de frequência de baixa sensibilidade térmica.

O hardware de um satélite está exposto ainda às radiações presentes no espaço, em sua maioria geradas pelas explosões solares. O hardware exposto a radiações pode apresentar efeitos chamados de “evento único” onde apenas uma variação instantânea é observada ou “mecanismos de falha” onde o hardware deixa de funcionar após a ocorrência da radiação. Neste quesito existem duas soluções que podem ser empregadas. A primeira refere-se à utilização de componentes tolerantes à radiação (RAD) onde o seu desempenho não é afetado. Neste caso, o custo do hardware é alto e muitas vezes inviável para satélites de baixo custo. Por outro lado, componentes comuns, conhecidos como COTS (*Commercial off-the-Shelf*), por terem um custo reduzido podem ser utilizados em maior quantidade para fornecer redundância na operação. Esta opção tende a ser mais adequada para nanosatélites do ponto de vista econômico, mas pode acarretar em maior peso e maior dimensão dos sistemas eletrônicos (SELCAN, 2017).

Outro fator importante está relacionado ao tipo de antena utilizado. Antenas do tipo diretiva apresentam maior ganho de sinal, mas possuem uma faixa angular menor, necessitando de um bom alinhamento entre satélite e estação terrena. Esta necessidade sobrecarrega os requisitos do subsistema de controle de atitude. Por outro lado, antenas omnidirecionais possuem baixo ganho, mas podem receber/transmitir sinais de/para diferentes posições. Considerando a dificuldade do controle de atitude de nano satélites, antenas omnidirecionais apresentam melhores benefícios, pois podem operar em uma maior faixa de angulação. Neste tema, a parte de software do TTC também é importante, visto que se a atitude do satélite variar durante a transmissão ou recepção de dados, parte dos pacotes podem ser perdidos. Neste sentido, o uso de técnicas de codificação de canal e correção de erros se tornam indispensáveis.

A interface de comunicação entre o satélite e a estação terrena também deve ser levada em conta no projeto de um TTC, visto que existem efeitos físicos no canal de comunicação que afetam o enlace. O efeito Doppler é o mais comum, pois gera uma variação da frequência do sinal recebido em relação ao sinal transmitido. Tal efeito é observado na recepção de sinais tanto no satélite como na estação terrena. Em Terra, o efeito doppler pode ser corrigido por meio de rádio definido por software (SDR), levando em consideração a estimativa de posição do satélite em relação à estação terrena. Porém, tal solução é difícil de ser implementada no hardware do satélite, visto que o mesmo pode receber sinais de diversas direções e seria necessário uma maior capacidade de processamento para compensação do desvio na frequência. Uma solução importante para mitigar tal problema é a correção na transmissão da estação terrena, gerando um desvio de frequência

adequado para que o sinal transmitido seja recebido pelo satélite na devida frequência. Aliado ao desvio de frequência estão os efeitos devido à cintilação ionosférica causada por Bolhas de Plasma. Como resultado, o sinal que atravessa regiões de alta concentração de elétrons possui a sua fase e amplitude alteradas, gerando erros instantâneos nos sinais de comunicação. Neste quesito, o software presente no TTC é de enorme importância, pois pode considerar uma maior redundância no padrão da mensagem para permitir a recuperação do sinal, mesmo na presença de cintilação ionosférica (Tikami, 2016).

3. Proposta Minuano-SAT

Os satélites do tipo CubeSAT são normalmente construídos a partir de unidades cúbicas padrão 10 cm x 10 cm x 10 cm, resultando em uma massa de apenas 1-10 kg. Esse pequeno satélite fornece acesso ao espaço de forma acessível para pequenas empresas, instituições de pesquisas e universidades. Seu design permite que subsistemas sejam empilhados de acordo com a necessidade da missão. Neste projeto será utilizado a plataforma CubeSat disponibilizada pela competição (OBSAT, 2021) que apresenta as seguintes características e componentes:

- Formato mecânico padrão CubeSat 1U: 10 (cm) x 10 (cm) x 10 (cm);
- Placa com microcontrolador ESP32;
- Comunicador Wi-Fi;
- Sensor de temperatura;
- Sensor de pressão atmosférica;
- Sensor de CO₂;
- Sensor de umidade;
- Acelerômetro;
- Magnetômetro;
- Giroscópio;
- Bateria recarregável;

A Proposta Minuano-SAT está baseada no desenvolvimento de um subsistema de TTC para nanosatélites, visando obter uma integração de software e hardware para propiciar uma comunicação eficiente, sem sobrecarregar o sistema embarcado. Neste caso, o hardware e software do TTC será adicionado à plataforma nanosat disponibilizada na comunicação e os sensores disponíveis poderão ser utilizados como base.

Para o desenvolvimento do sistema de TTC as seguintes etapas são propostas:

- **Revisão bibliográfica e definições básicas:** nesta etapa serão estudadas técnicas de comunicação, modulação e correção de erro (FEC) que sejam adequadas ao perfil da aplicação. Além disso, será feita uma análise à nível de sistema para elaboração dos requisitos

para um sistema de TTC que seja suficientemente robusto para enlaces de satélites tipo CubeSat em baixa órbita;

- **Implementação do protótipo:** desenvolvimento do hardware e software, utilizando componentes de baixo custo e que satisfaçam os requisitos do projeto levantados na etapa anterior;
- **Testes do protótipo:** nesta etapa o hardware será montado junto à plataforma CubeSat disponibilizada e serão realizados os primeiros testes e medidas elétricas;
- **Implementação de melhorias:** Com base nos testes do protótipo serão avaliadas melhorias e necessidades de alteração do sistema para adequação à aplicação;
- **Testes finais:** esta etapa será sincronizada com as etapas de lançamento previstas na competição e o seu objetivo será preparar o sub-sistema TTC para que possa ser empregado e demonstrado nas etapas da competição.

Visto que as demais etapas da 1ª Olimpíadas Brasileira de Satélites MCTI (OBSAT) podem variar de acordo com a atual pandemia, nesta proposta a execução das atividades pode não estar sincronizada com as fases da competição. Logo, tais atividades podem ser ajustadas assim que as demais etapas forem definidas.

4. Resultados Esperados

Espera-se que ao final deste projeto sejam estudadas técnicas de comunicação que permitam a utilização eficiente do espectro de radiocomunicação e o enlace de radiofrequência entre as estações terrenas e o satélite. Espera-se também que o subsistema seja desenvolvido e montado na plataforma de CubeSat, permitindo a sua demonstração durante a competição e transmissão de alguns dos dados presentes nos sensores da plataforma.

Além disso, espera-se desenvolver a cultura de projeto na área de nano satélites dentro da Universidade Federal do Pampa (Unipampa) e sua região de abrangência, colaborando para a motivação de estudantes do ensino fundamental, médio e superior.

Esta proposta de projeto será executada dentro das atividades do Projeto Clube do Rádio da Unipampa, visando uma integração com as práticas de radioamadorismo e experimentação com ondas de rádio. Adicionalmente, a infraestrutura presente nos laboratórios curso de Engenharia de Telecomunicações e grupos de pesquisa correlatos serão empregados para a parte prática deste projeto.

Agradecimentos

A equipe manifesta o agradecimento aos radioamadores Rodrigo Facco (PU3FAC) e Edson Pereira (PY2SDR) pelo apoio e sugestões para o desenvolvimento desta proposta. Adicionalmente, agradecemos a colaboração da LABRE e AMSAT-BR com o Clube do Rádio da Universidade Federal do Pampa - Unipampa.

Referências:

Bryce Tech, "Global Space Industry Dynamics". Disponível em: https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2019-03/global_space_industry_dynamics_-_research_paper.pdf. Acesso em: 11 mai. 2021.

Petrônio Noronha de Souza, "Satélites e Plataformas Espaciais", Agência Espacial Brasileira, 2007.

Dai Q. Dinh, "Thermal Modeling of Nanosat", The Faculty of the Department of Mechanical and Aerospace Engineering San José State University, Tese de Mestrado, 2012.

David Selcan, Gregor Kirbis, Iztok Kramberger, Nanosatellites in LEO and beyond: Advanced Radiation protection techniques for COTS-based spacecraft, Elsevier, Acta Astronautica, 131-144, 2017.

Auro Tikami, Uma Metodologia para Re-engenharia de Sistemas Espaciais Aplicada a um Picossatélite, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Dissertação de Mestrado, 2016.

Olimpíada Brasileira de Satélites MCTI, Modelo de proposta. Disponível em: https://docs.google.com/document/d/1wX_pKCfGHO1ncsnoyde8-jk4OJamkdonqemxZCjQ16s/edit#. Acesso em: 14 mai. 2021