

# Integração de CubeSats a Sonobóias para Monitoramento da Costa Brasileira e da Biodiversidade Aquática

Vítor de Souza Andrade  
Isabelle de Assis Albuquerque  
Facell Espinoza Ludena  
Cláudio Adão de Souza Silva  
Guilherme Pfeilsticker Lage Alves (Tutor)

2023

## Resumo

O presente estudo busca a integração de cubesats a sonobóias, permitindo uma comunicação facilitada na recepção e transmissão de sinais referentes à proteção da costa marítima e da biodiversidade aquática brasileira. Desenvolver um cubesat é um processo bastante complexo, necessitando de um amplo estudo para determinar as necessidades fundamentais para a missão proposta. Com a finalidade de receber e transmitir dados, o ORBISAT-BRMG-1 contará com os subsistemas de Telemetria, Rastreo e Comando; Computador de Bordo; Suprimento de Energia; Controle Térmico; Estrutura e Mecanismos. Já o subsistema de missão será integrado à Telemetria, Rastreo e Comando, por estarem correlacionados, vistos os objetivos definidos. A coleta de algumas informações são essenciais para o sucesso dessa missão, pois, permitirão a análise do funcionamento e eficácia de operação do cubesat, como temperatura, pressão atmosférica, orientação espacial e dados referentes a corrente solicitada, tensão e saúde da bateria, dados esses que serão imediatamente enviados para a terra junto aos dados coletados por sonobóias. A equipe definiu um cronograma detalhado constando todas as atividades e datas de entrega, permitindo um rigoroso cumprimento dessas. O processo de desenvolvimento pode ser descrito em quatro principais etapas, sejam elas: a concepção do conceito e missão; a prototipagem e integração de sistemas e subsistemas; a fase de testes e aprimoramentos necessários; e por fim o lançamento e coleta de dados. Dessa maneira, entende-se que o bom funcionamento do equipamento será alcançado se houver comunicação constante e de qualidade com a base em solo sem prejuízos ao satélite.

**Palavras-chave:** CubeSat. Sonobóia. Monitoramento. Segurança.

# 1 Declaração de problema da missão

A aplicação de cubesats integrado a sonobóias proporciona uma vasta aplicação em diversas áreas importantes para o desenvolvimento tecnológico e social de um país, isso se dá por se tratar de um equipamento de baixo custo especializado em análises e abordagens específicas que se adapta de acordo com a missão proposta.

Diante dessa perspectiva, ao analisar a realidade brasileira no que diz respeito à vigilância da costa marítima, essa que chega a medir cerca de 9200 km (UOL... , 2023), assim como o controle e proteção da biodiversidade aquática, expõe o Brasil uma grande dificuldade na conservação de seus recursos, seja no âmbito civil ou militar.

Os gastos com as frotas navais crescem em todo mundo, sendo destinados às compras de peças para manutenção e aquisições de novos meios nesse nicho para substituição dos navios obsoletos. Esse fato, considerando a falta de recursos, cria uma situação na qual as antigas embarcações de vigilância são descomissionadas sem a imediata disponibilização de substitutos. Com esta situação recorrente o controle das fronteiras fica cada vez mais prejudicado, abrindo lacunas que permitem a ocorrência de contrabando de mercadorias, atividades ilegais de pesca, tráfico de drogas e armas, entre outros (CARLOSREIS, 2022).

Para exemplificar, o gasto anual do Estados Unidos com a marinha previsto para os próximos 30 anos é de US\$26,6 bilhões anuais (MILITARY... , 2023). Para atingir uma frota de 355 navios, será necessário estender a vida de alguns navios em até 13 anos, fazendo com que sua frota se constitua de embarcações com idade média de cerca de 54 anos de serviço (DEFENSENEWS... , 2023). Mesmo um país com esse orçamento, não consegue substituir navios na mesma taxa em que são descomissionados, ficando refém de seu orçamento. Atualmente uma parte da frota mundial está chegando à idade superior a 25 anos de serviço, aumentando assim o custo com manutenção (HISTORY... , 2023).

Diante disso, a equipe se propõe a solucionar a fragilidade exposta com a criação e desenvolvimento de um conjunto de cubesats integrados a sonobóias para permitir uma rápida comunicação e recebimento de dados na perspectiva abordada, de maneira a se tornar um caminho mais econômico e livre de grandes e recorrentes manutenções, justificando a importância da presente proposta de missão.

A condição necessária para atender a demanda da transmissão de dados da sonobóia para o cubesat, e este por sua vez para uma unidade de recepção em solo, consiste em construir um equipamento com as características técnicas desejáveis para transmissão de dados em frequência pré estabelecida com mínimas margens de segurança solicitada (por exemplo, criptografia), de forma viável construtiva e financeiramente. Isso passa pela adoção de técnicas de construção da estrutura e subsistemas otimizados, usando meios disruptivos como a manufatura aditiva, e projetos inteligentes de circuitos integrados, privilegiando usar componentes disponíveis no mercado nacional, de preferência de fornecedores instalados no país. Vale ressaltar que o presente trabalho se propõe estritamente a criação de um CubeSat de 1U para realizar a recepção e transmissão de dado já modulados por um equipamento de sonobóia e facilitar a recepção desses na base em solo.

## 2 Objetivos da missão e identificação do mérito científico

### 2.1 Objetivos gerais

- O objetivo deste trabalho é realizar análise de viabilidade acerca da integração de dados recebidos por sonobóias em um cubesat para transmissão para base em solo.

- Desenvolver um cubesat de 1U para operar na recepção e transmissão eficiente de dados por meio do espaço e a longa distância na **LEO (Órbita Baixa da Terra)**.

## 2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver tecnologia aeroespacial própria na construção de satélites e seus subsistemas.
- Criar um conceito de constelação de cubesats de baixo custo e de vida útil prolongada.
- Coletar e transmitir dados com finalidade militar e de proteção ambiental.
- Desenvolver um método de comunicação constante, eficiente e de baixo custo.

Os objetivos apresentados norteiam e a escolha da aplicação deste cubesat, estes que foram determinados de acordo com o observado pela equipe na necessidade de desenvolvimento tecnológico no setor aeroespacial, em particular desse setor crítico, estratégico para defesa nacional, tecnologias estas, que no Brasil são bastante escassas e necessitam de uma atenção especial para ampliar a base de conhecimento oferecida nas universidades, esta que por sua vez promove no futuro próximos profissionais para no mercado nacional como mão de obra para atender ao setor de defesa, progresso tecnológico e qualidade de vida. Fortalecer e incentivar o desenvolvimento de equipamentos nacionais garante a defesa e soberania própria do Brasil. Estes são os principais aspectos considerados na definição dos objetivos de missão e elaboração da problemática a ser abordada, trazendo uma solução técnica e palpável para a realidade em que nos encontramos.

Complementando o dito anteriormente, a ideia do desenvolvimento para a aplicação citada encontra viabilidade técnica de desenvolvimento, através da estrutura acessível aos alunos, por meio dos recursos disponíveis, tanto materiais quanto humanos, na instituição em que se encontram, que proporciona aos mesmos, laboratórios de alta qualidade, insumos e suporte na manufatura através de seus ativos. Por fim, cabe salientar que pela natureza do produto em questão — um nanossatélite de baixo custo — os riscos calculados foram assumidos como aceitáveis, dentro da escala de investimento disponível pelos entes envolvidos (instituição e alunos).

## 3 Funções e responsabilidades da equipe

Os campos abaixo abordam as funções e responsabilidades da equipe em ordem hierárquica, esta que poder ser melhor compreendida pelo diagrama disponível no Apêndice [A](#).

### 3.1 Guilherme Pfeilsticker Lage Alves (Tutor)

- Está cursando o 3º período de Engenharia Aeronáutica na PUC Minas; Tem curso profissionalizante em Projetos Industriais em *CATIA*; Se interessa em temas relacionados à engenharia aeroespacial e na área de projetos; Tem conhecimento intermediário na Língua Inglesa e básico na Língua Alemã.
- Na equipe **ORBI Engineering** atua como Tutor na organização dos trabalhos, gerenciamento de projeto e organização de documentos para submissão na 2ª OBSAT.

### 3.2 Vítor de Souza Andrade

- Está cursando o 6º período de Engenharia Aeronáutica na PUC Minas; Tem curso técnico em auxiliar administrativo; Foi bolsista BIC Júnior CNPq por duas vezes consecutivas; Foi

representante brasileiro na Regeneron ISEF 2020, na Califórnia, EUA; Foi vice-campeão em engenharias na FEBRACE-USP 2019; Possui conhecimento básico em formatação de textos em  $\text{\LaTeX}$ ; Possui conhecimento intermediário na Língua Inglesa.

- É o Capitão da equipe **ORBI Engineering** e atua na definição e detalhamento de missão, edição, redação e formatação de documentos técnicos além de fornecer apoio em geral aos demais membros.

### 3.3 Isabelle de Assis Albuquerque

- É membro do projeto de extensão *AeroX* e é aluna 5º semestre do curso de Engenharia Aeronáutica da PUC Minas; Tem conhecimento intermediário de programação (*Matlab*, *Labview* e *C#*) e conhecimento intermediário em plataformas de Desenho Mecânico (*Catia V6*, *SolidWorks* e *AutoCad*); Tem conhecimento avançado em Língua Inglesa e intermediário em *LIBRAS*; Está em andamento no curso profissionalizante em *Power BI*.
- Na equipe **ORBI Engineering** atua no setor relacionado ao desenvolvimento do computador de bordo e programação dos sistemas relacionados ao seu funcionamento.

### 3.4 Facell Espinoza Ludena

- É aluno do curso de Engenharia Aeronáutica na PUC Minas; É membro e coordenador de elétrica e telemetria do projeto de pesquisa DITEC da PUC Minas; Ex-gerente de assessoria comercial na Royal Prestige; Tem experiência avançada em VBA, e macros de Excel para orçamentos de construção civil; É técnico comercial avançado em língua francesa; Tem curso profissionalizante em projetos industriais em *CATIA*; Tem domínio técnico IELTS - British Council; Seu idioma nativo é o Espanhol.
- Na **ORBI Engineering** é o responsável pelos subsistemas de telemetria, rastreo e comando, estrutura e mecanismos.

### 3.5 Cláudio Adão de Souza Silva

- Está cursando o 2º semestre de Engenharia Aeronáutica na PUC Minas; É técnico de computadores (hardware e software); Tem cinco anos de experiência profissional em gestão, qualidade, produtos e serviços; É Instrutor de aulas técnicas práticas para profissionais da construção civil; Possui certificados de participação em palestras de qualidade em serviços aeronáuticos. Possui conhecimento intermediário na Língua Inglesa.
- Na equipe **ORBI Engineering** atua no setor de programação de sistemas e comandos eletrônicos, além de trabalhar no desenvolvimento dos subsistemas de suprimento de energia e controle térmico.

## 4 Projeto conceitual

Um nanossatélite é um sistema complexo constituído alguns de subsistemas, dentre estes os essenciais e os que variam conforme a necessidade da missão. No presente estudo serão utilizados os seguintes: Telemetria, Rastreo e Comando; Computador de Bordo; Suprimento de Energia; Controle Térmico; Estrutura e Mecanismos. Para tanto, algumas informações são essenciais, pois, permitirão a análise do funcionamento e eficácia de operação do cubesat, como temperatura, pressão

atmosférica, orientação espacial e dados referentes a corrente solicitada, tensão e saúde da bateria, enviando esses dados imediatamente para a terra com backup em uma memória interna. Desta forma, será possível observar aspectos importantes do funcionamento do equipamento e obter parâmetros, como por exemplo, o desempenho da bateria em determinada altitude, temperatura ou tempo de missão, assim como o do desempenho de processamento do ESP32, ainda pretende-se obter informação sobre a resistência da estrutura e aspectos gerais de operação após o lançamento para o aprimoramento e otimização dos subsistemas de estrutura e controle térmico. **O ponto mais importante a ser avaliado é a capacidade de transmissão e recepção de sinais a longa distância com qualidade e velocidade na troca de informações, sendo que antes e após o lançamento serão feitas simulações a título de comparação de antes, durante e depois da missão e lançamento do satélite.** No que diz respeito a missão proposta, esta não precisará de um subsistema dedicado para sua execução, uma vez que se trata da integração e avaliação técnica da viabilidade de se usar um cubesat para receber e transmitir dados coletados de uma sonobóia para a base em solo, assim sendo, a forma mais viável de se atingir os objetivos propostos se dará conjuntamente com o **subsistema de telemetria, rastreamento e comando.** Desta forma, objetivando uma melhor compreensão do que foi aqui exposto, o Apêndice B possui um diagrama que mostra a forma de interação entre os diversos recursos presentes neste ORBISAT-BRMG-1.

## 5 Detalhes operacionais

### 5.1 Detalhes dos subsistemas

#### 5.1.1 Telemetria, rastreamento e comando

A telemetria é parte fundamental do projeto, pois é a ciência de medir, adquirir e transmitir dados remotamente. Essa transmissão de informações do satélite para a Terra vai permitir monitorar o comportamento em qualquer modo de lançamento utilizado. No entanto, a operação de sistemas do satélite implica a correlação de características que, por sua vez, envolvem períodos de comunicação possíveis com a base, tais como: taxa de transferência, qualidade do canal, índice de informação transmitida, entre outras que diz respeito à qualidade, eficiência e eficácia da comunicação entre um período e outro.

Os sistemas de comunicação permitem a transmissão de dados do cubesat para a terra e vice-versa, este, inclui antenas e transmissores/receptores de rádio. **A estação em terra deve operar de forma autônoma por meio de comunicação wi-fi em protocolo HTTP, de modo a receber pacotes de informação durante toda a missão, capaz de estar continuamente conectado de tal forma que obtenha a maior eficiência na comunicação.**

Pretende-se analisar a comunicação de um satélite na órbita baixa da Terra (Anexo A).

- Altura entre 200 a 2000 km com velocidades de até 7,3 km/s.
- Muito útil na captura de imagens de satélite de alta resolução devido a distância reduzida.
- O satélite levará cerca de 90 minutos para finalizar uma viagem completa ao redor da terra.

Independentemente do tipo de missão, é necessário licenciar a Estação Espacial (satélite) e a Estação de Solo responsável pelo controle da missão. O processo de licenciamento varia dependendo do tipo de missão. Para missões Radioamadoras e Educacionais a ANATEL disponibiliza um manual com informações sobre o processo de obtenção.

### 5.1.2 Computador de bordo

O computador de bordo é o subsistema central que recebe, analisa, decodifica, grava e comanda os demais subsistemas. A partir do computador de bordo, todas as instruções serão recebidas e o mesmo deve realizá-las e posteriormente devolver um arquivo com os dados coletados.

O conjunto de hardware é selecionado de acordo com as suas especificações técnicas, quais sejam:

**ESP32** - Microcontrolador de baixo consumo de energia e alto custo-benefício uma vez que é integrado à interface bluetooth e Wi-Fi nativamente, possuindo um conjunto de facilidades em sua programação.

**Cartão de memória** - Um cartão de memória Extreme Micro SD de 32GB servirá para backup de dados. Ainda, haverá um módulo Micro SD, que permitirá ao ESP32 a leitura e gravação de informações no cartão.


**Sensor de corrente** - O sensor DC INA219 I2C é de baixo custo e fornece uma medição de tensão entre 0 e 26 volts e temperatura de operação entre -40°C a 125°C.

**Acelerômetro e giroscópio** - O sensor MPU-6050-GY-521 realiza leitura de posição em três eixos e tem o protocolo de comunicação I2C.

**Sensor de pressão e temperatura** - O sensor BMP280 lê temperatura e pressão do ambiente em que o cubesat está exposto em uma faixa de -40 a 85 °C.

Quanto a programação, o ESP32 irá tratar os dados recebidos pela sonobóia, gerando um arquivo final (JSON) que será enviado para a base em solo. Esteticamente, serão poucas etapas que serão executadas (Apêndice C), que consiste em identificar o início/fim de um **possível período de comunicação, tratando separadamente os dados recebidos, armazenando os mesmos e os enviando através do protocolo HTTP**. Haverá o armazenamento local, com backup em um cartão SD e um segundo armazenamento, para envio imediato das informações assim que tratadas. O processamento envolve linguagem de programação (C/C++ e Javascript) para configuração do sistema que envolverá uma IDE e as bibliotecas de Arduino para ESP32, encontradas no repositório da Espressif no GitHub. Um servidor web para simulação de uma comunicação HTTP em tempo real. A comunicação será feita entre a sonobóia, satélite e torre de transmissão de dados conforme modelo esquemático do Apêndice D.

### 5.1.3 Suprimento de energia

Este subsistema deve  condicionar, transferir e distribuir a potência proveniente de células solares para os diferentes subsistemas que compõem o satélite, e armazenar energia em um banco de baterias recarregáveis. Este, fornecerá uma fonte contínua da corrente elétrica ao satélite durante a missão, além de suprir potência elétrica média e de pico, e proteger o satélite contra avarias. Os materiais constantes são: Painel solar; Bateria; Regulador de voltagem; Sensor de corrente.

É necessário revisar as especificações de cada componente eletrônico que serão usados no cubesat para determinar o seu consumo de energia em watts (W). Posteriormente, soma-se todos os consumos para obter o consumo total do cubesat em funcionamento. A partir do consumo total de energia do cubesat é possível determinar a capacidade da bateria adicionando uma margem de segurança.

Um regulador de tensão é um componente importante do subsistema de fornecimento de energia, uma vez que garante que a tensão da bateria se mantenha constante, dentro da gama de funcionamento dos componentes eletrônicos. Desenhar um circuito de carga da bateria é relevante

para carregar a bateria de forma eficiente e segura. Este circuito deve garantir que a bateria não seja sobrecarregada.

Para verificar o funcionamento deste subsistema deve ser realizado um teste de elevação da temperatura do até 55°C e determinar se ainda ele funciona, qual sua eficiência e se os componentes não sofreram danos consideráveis.

#### 5.1.4 Controle térmico

O controle térmico do cubesat aumenta sua eficiência e o tempo de vida de seus componentes. Este controle é necessário pois, durante seu período de missão, o nanossatélite sofre com a drástica variação de temperatura. A temperatura será controlada por um sistema passivo, que consiste na seleção de materiais, interfaces térmicas e considerações nos designs das placas de circuito. O controle térmico (Anexo B) pode ser alcançado ao balancear a seguinte equação:

$$q_{\text{solar}} + q_{\text{albedo}} + q_{\text{planetshine}} + Q_{\text{gen}} = Q_{\text{stored}} + Q_{\text{out,rad}} \quad (1)$$

**Sistemas passivos** - Usaremos o recurso de revestimentos térmicos e isolantes MLI.

**Revestimento térmico** - Alguns dos tipos de revestimento térmico são tintas, fitas térmicas e superfícies metálicas. A absorvidade ( $\alpha$ ) e a emissividade ( $\epsilon$ ), estão relacionadas a propriedades de materiais utilizados no controle da temperatura. Podemos assim, descobrir a quantidade de calor absorvido e a energia emitida por uma superfície com duas equações diferentes, utilizando essas propriedades. Alguns parâmetros necessários para os cálculos estão nos Anexos C, D e E.

$$Q_{\alpha} = G_s \times A \times \alpha \quad (2)$$

- $Q_{\alpha}$  = Calor absorvido
- $G_s$  = Constante solar ( $1358W/m^2$ )
- $A$  = Área irradiada diretamente
- $\alpha$  = Absortividade

$$Q_w = \epsilon \times \sigma \times T^4 \times A \quad (3)$$

- $Q_w$  = Energia emitida
- $\epsilon$  = Emissividade
- $\sigma$  = Constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8}W/m^2K^4$ )
- $T$  = Temperatura absoluta da superfície
- $A$  = Área da superfície exposta à radiação

**MLI** - O Multi-Layer Insulation, é a composição de múltiplas camadas de plásticos aluminizados. Cada camada tendo uma baixa emissividade, e para diminuir a condução de calor entre as camadas é entrelaçado uma rede fina de um material, como o nylon. O MLI deve ser usado com cautela, se comprimido, a sua eficiência cai drasticamente. A luz solar deve incidir diretamente na manta, no interior do satélite podem ser usados outros isolantes com a mesma eficiência. A transferência de calor aumenta em direção à beirada da manta, então deve ser posicionado estrategicamente para anular ao máximo este efeito. Alguns parâmetros do MLI estão no Anexo F.

### 5.1.5 Estrutura e mecanismos

É responsável por proporcionar segurança a estrutura básica do cubesat, pois suporta as cargas básicas sinusóides e as vibrações de choque. Já em condições atípicas de temperatura e pressão a estrutura proporciona uma proteção contra o entorno espacial, garantindo o funcionamento do satélite, assim como os requerimentos de geometria, massa, e dimensão necessária. Por tanto, serão abordados a análise estática, modal, harmônica de vibração aleatória e de espectro de resposta, aplicando-os no desenho estrutural do satélite. Foram considerados os seguintes parâmetros para a construção da estrutura:

- Dimensões de  $100 \times 100 \times 100$  mm.
- Massa de 450 g.
- LEO - órbita baixa da terra.

Para que o satélite não seja danificado durante os testes e lançamento, diversas situações de carregamento devem ser testadas e analisadas. O material determinado para o satélite foi o alumínio 6061 devido a suas condições de resistência, tração, compressão altas e flexíveis, mas na prototipagem será considerado o material PLA, disponível para uso em impressoras 3D, este que é objeto das simulações feitas nessa pesquisa e disponíveis nos Apêndices [E](#), [D](#) e [E](#).

As equações usadas para a execução dos cálculos de cargas estáticas e simulações feitas para o presente estudo podem ser consultadas no Apêndice [H](#), onde as mesmas são melhor discriminadas e são apresentadas as imagens obtidas.

## 5.2 Procedimento de execução da missão

Na Tabela [2](#) um cronograma de trabalho é apresentado, onde as atividades a serem desenvolvidas são discriminadas detalhadamente com as suas respectivas datas de início e final para organizar as tarefas designadas a cada um dos membros da equipe conforme disposto no item 3 e nos seus respectivos subitens, permitindo, dessa maneira, com que o desenvolvimento dos trabalhos aconteçam de maneira a seguir rigorosamente os prazos de entrega estipulados para 2ª OBSAT-MCTI. Por outro lado, o desenvolvimento dessa proposta de missão está diretamente ligado às questões de projeto e integração de um cubesat de 1U que receberá e transmitirá informações coletadas por sonobóias em rios e na costa marítima brasileira, satélite esse que recebeu pela equipe o nome de ORBISAT-BRMG-1, em referência a equipe que o concebeu, o país e o estado onde foi desenvolvido e seu número de série. O processo de desenvolvimento, pode ser descrito, em outros termos, como acontecendo em quatro principais etapas, sejam elas: a concepção do conceito e missão; a prototipagem e integração de sistemas e subsistemas; a fase de testes e aprimoramentos necessários; e por fim o lançamento e coleta de dados.

## 6 Materiais e métodos

Os materiais necessários para o funcionamento do satélite devem seguir a proposta de desenvolvimento de um equipamento acessível, barato, de fácil construção e manutenção. Nesta etapa, é importante selecionar materiais que já tenham boas referências, fontes de informações técnicas, apoio teórico para minimizar a ocorrência de incompatibilidade, erros ou ainda dificuldades em sua utilização. Uma lista inicial com materiais que devem ser utilizados é apresentada na Tabela [1](#).

Para a execução do desenvolvimento do OBRISAT-BRMG-1 diversos equipamentos serão utilizados para permitir com que a coleta de dados necessários para as avaliações previstas no item



4 do presente relatório sejam possíveis e a avaliação de funcionamento do satélite possa acontecer, permitindo assim as conclusões no âmbito eficácia e viabilidade da utilização desse recurso para a finalidade a qual se propõe.

É necessário que o ESP32 seja capaz de executar com velocidade diversos processos durante um curto período de tempo, além de receber informações e administrar recursos internos para garantir constante operação do equipamento. Espera-se receber com uma frequência de pelo menos uma vez por minuto informações da sonobóia, posição, pressão e temperatura, vindas diretamente dos seus respectivos sensores para serem tratadas e posteriormente gravadas no cartão de memória para conseguinte análise e conclusões de sucesso se estes dados puderem ser recebidos frequentemente sem interrupções e de acordo com os parâmetros definidos nos itens anteriores.

**Tabela 1** – Lista de materiais e orçamento para o CubeSat.

MATERIAL	PREÇO
Microcontrolador ESP32	R\$ 80,66
Cartão de memória Extreme Micro SD 32GB	R\$ 84,99
Módulo microSD	R\$ 9,40
Sensor de corrente DC INA219 I2C	R\$ 20,72
Acelerômetro e Giroscópio 3 eixos MPU-6050-GY-521	R\$ 18,20
Sensor de pressão e temperatura Bmp280 Gp-bmp280	R\$ 11,30
Fita Kapton 30mm x 30mm	R\$ 35,90
Manta térmica aluminizada 210cm x 140 cm	R\$ 14,60
Baterias Lithium-ion de 4 células, 3,7V e 2000mAh	R\$ 16,64
Células Solares Azul space 3g30G-advanced, de 3,3V e 30% de eficiência	R\$ 38,30
Magnetômetro 3D HMC5883L	R\$ 26,00
10 parafusos de aço	R\$ 33,00
5 varetas de fibra de carbono 10cm	R\$ 60,00
Chapa Alumínio 6061	R\$ 70,00
Resina epóxi 105	R\$ 162,00
Filamento de polietileno de alta densidade 300g	R\$ 30,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 711,71</b>

## 7 Requisitos e restrições do projeto

Para que o desenvolvimento do satélite em questão seja bem sucedido é necessário que durante todo o seu projeto e execução haja o acesso a todos os componentes especificados, dentro dos prazos previstos, além de um fluxo de caixa para aquisição de serviços de terceiros, quando necessário e compra de insumos.

As possíveis restrições que podem ocorrer nesse meio tempo envolvem além da orçamentária, que eventualmente pode se dar por questões de trâmite administrativo envolvendo a instituição educacional envolvida, pode ser a indisponibilidade de pessoal qualificado, com o tempo solicitado para dedicação. Destaca-se que, a falta de equipamento exclusivamente dedicado ao projeto em questão, pode acarretar atrasos no desenvolvimento de componentes específicos. Ainda, a dificuldade na reunião dos componentes do grupo pode afetar drasticamente o cronograma de atividades, problema esse gerado pela inexistência de uma sala específica para os trabalhos do projeto e restrições no horário de funcionamento da universidade bem como dos horários de disponibilidade da equipe, entrave esse que na maioria das vezes pode ser contornado quando utilizado dos atuais meios de comunicação como aplicativos de mensagens instantâneas e videoconferência.

Estes são os principais aspectos que interferem diretamente no desenvolvimento das pesquisas e conferem riscos a serem assumidos até a finalização dos trabalhos, mas que de certa forma contribuem para o aprimoramento das tecnologias utilizadas e no desenvolvimento do método científico, este que é de supina importância para a apresentação de bons resultados.

## 8 Cronograma preliminar de desenvolvimento e plano de trabalho.

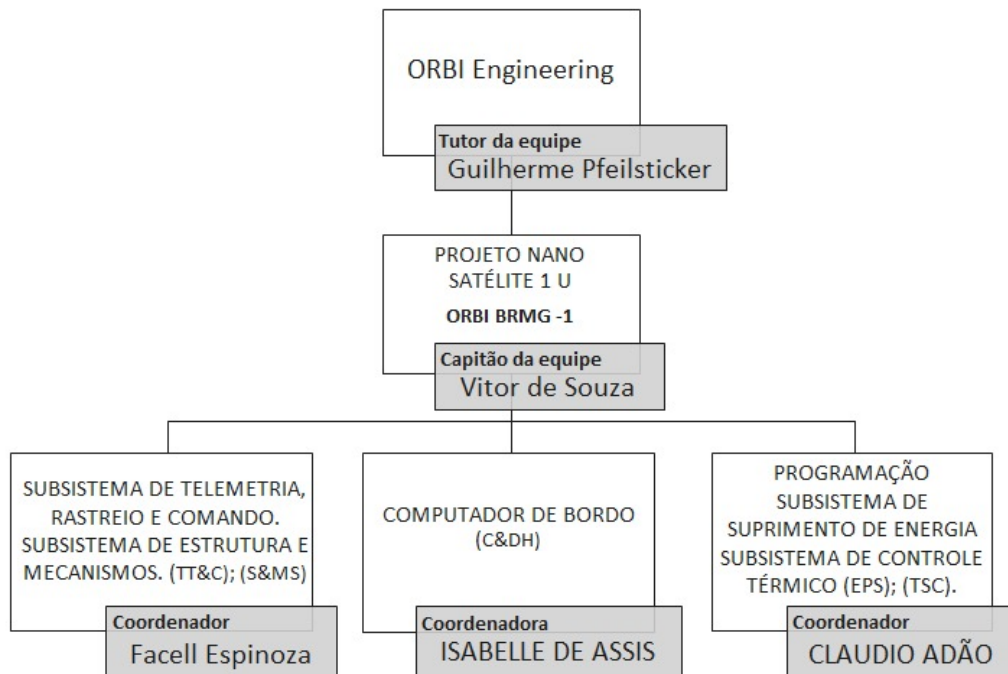
O presente trabalho será desenvolvido em etapas distintas ao longo do ano civil de 2023, as funções dos membros das equipes foram divididas de forma a que cada um desempenhasse um papel nas pesquisas e determinação dos requisitos de projeto, podendo assim apresentar na Tabela 2 um cronograma de desenvolvimento da missão considerando o calendário anual da OBSAT-MCTI e suas etapas até o lançamento previsto na Fase 3. Esse cronograma inclui um planejamento prévio — provisório — da construção do satélite que perpassa todas as fases, que são:

**Tabela 2** – Cronograma de atividades da ORBI na 2ª OBSAT - MCTI.

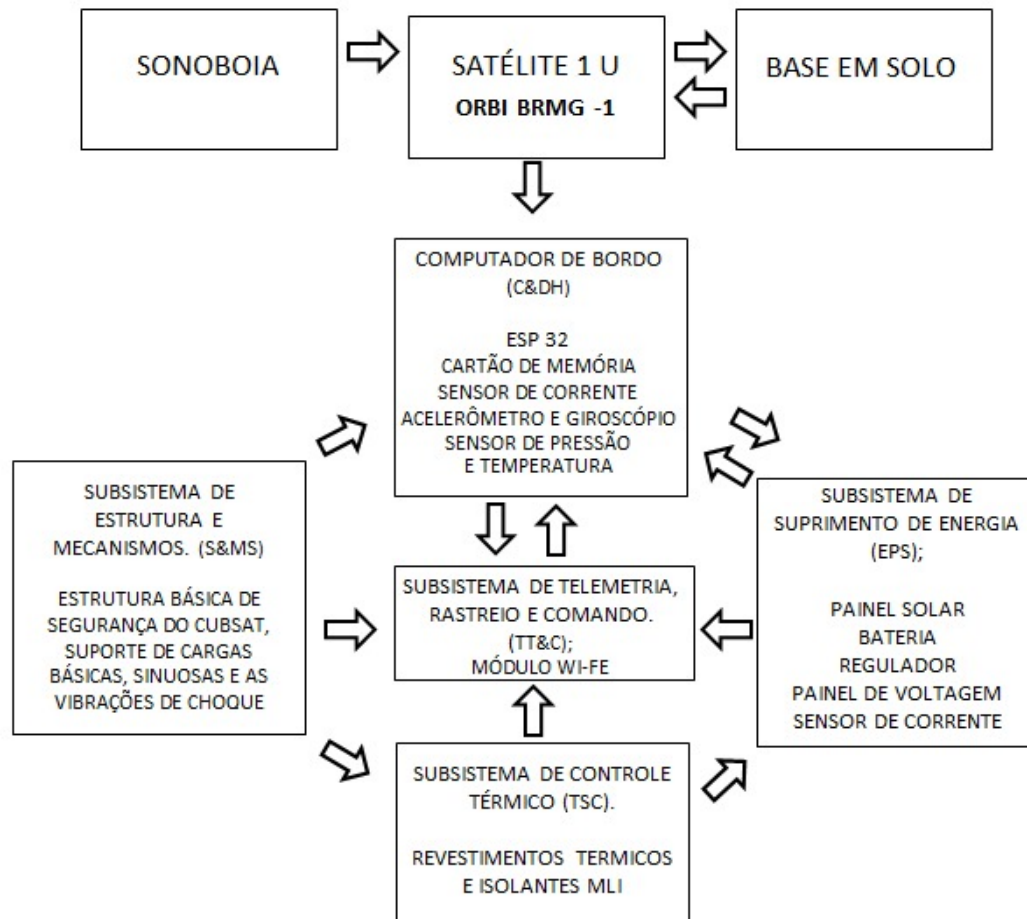
FASE	ATIVIDADE	DATA
Fase 0	Aprendizado com base nas aulas propostas pela OBSAT	01/02 - 09/04
	Escolha da missão da equipe	03/03 - 05/03
	Estudos sobre a missão proposta	06/03 - 14/03
Fase 1	Definição da missão	15/03
	Divisão de sub-equipes	18/03
	Pesquisas sobre a melhor forma de aplicação de cada subsistema	18/03 - 30/03
	Confirmação da melhor aplicação de cada subsistema	31/03 - 10/04
	Relatório de cada sub-equipe	10/04 - 15/04
	Escrita do Relatório final	15/04 - 18/04
	Gravação e edição do vídeo	19/04 - 21/04
	Revisão geral	22/04
	Entrega do vídeo e do relatório	23/04
Fase 2	Realização da compra dos materiais necessários	05/05 - 20/06
	Programação necessária	05/05 - 25/06
	Construção da parte física do nanossatélite	05/05 - 25/06
	Teste da programação	25/06 - 30/06
	Teste de hardware	25/06 - 28/06
	Teste da telemetria	25/06 - 30/06
	Teste do controle térmico	25/06 - 29/06
	Teste de suprimento de energia	25/06 - 29/06
	Teste de lançamento	30/06 - 04/07
	Preparações finais para o lançamento	05/07 - 06/07
Fase 3	Lançamento regional e captura de dados	07/07 - 25/08
	Análise de dados	25/08 - 28/08
	Propostas de correção	29/08
	Correções e adequações	29/08 - 09/09
	Testes preliminares	09/09 - 14/09
Fase 4	Lançamento fase nacional	25/08 - 30/11
	Análise de dados coletados e conclusão	30/11 - 10/12

## Apêndices

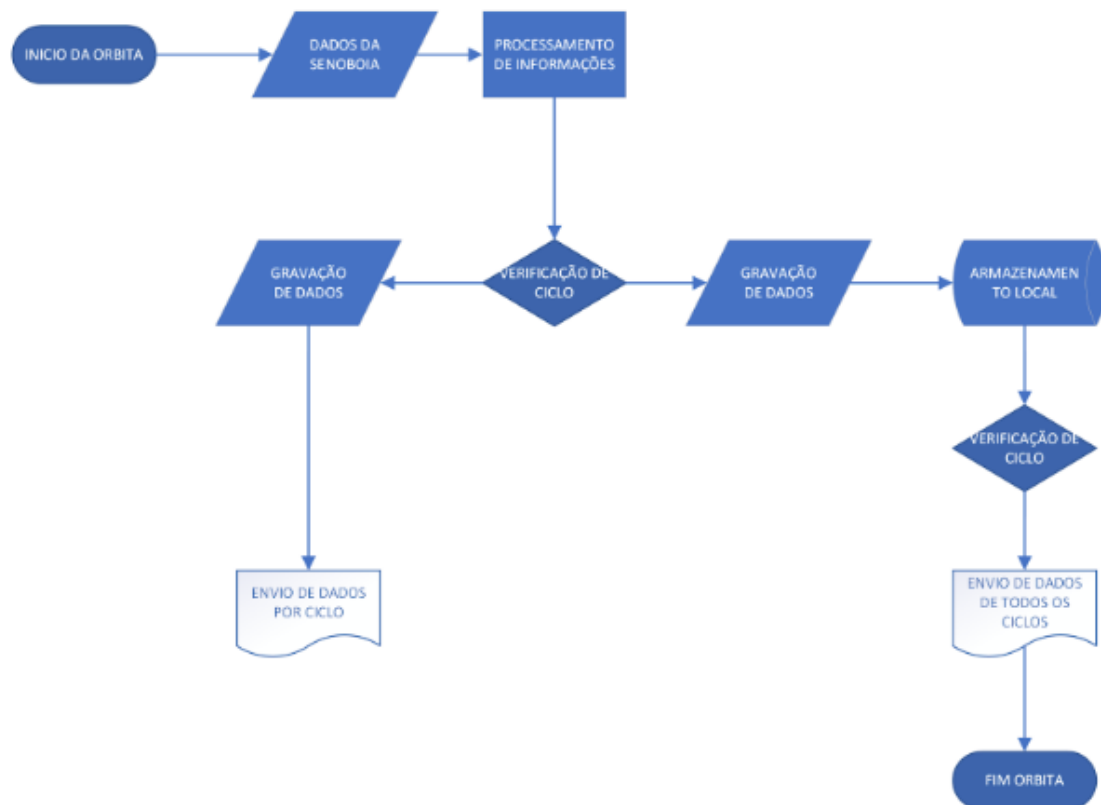
## APÊNDICE A – Disposição de trabalho da equipe



## APÊNDICE B – Esquema de funcionamento do ORBISAT-BRMG-1



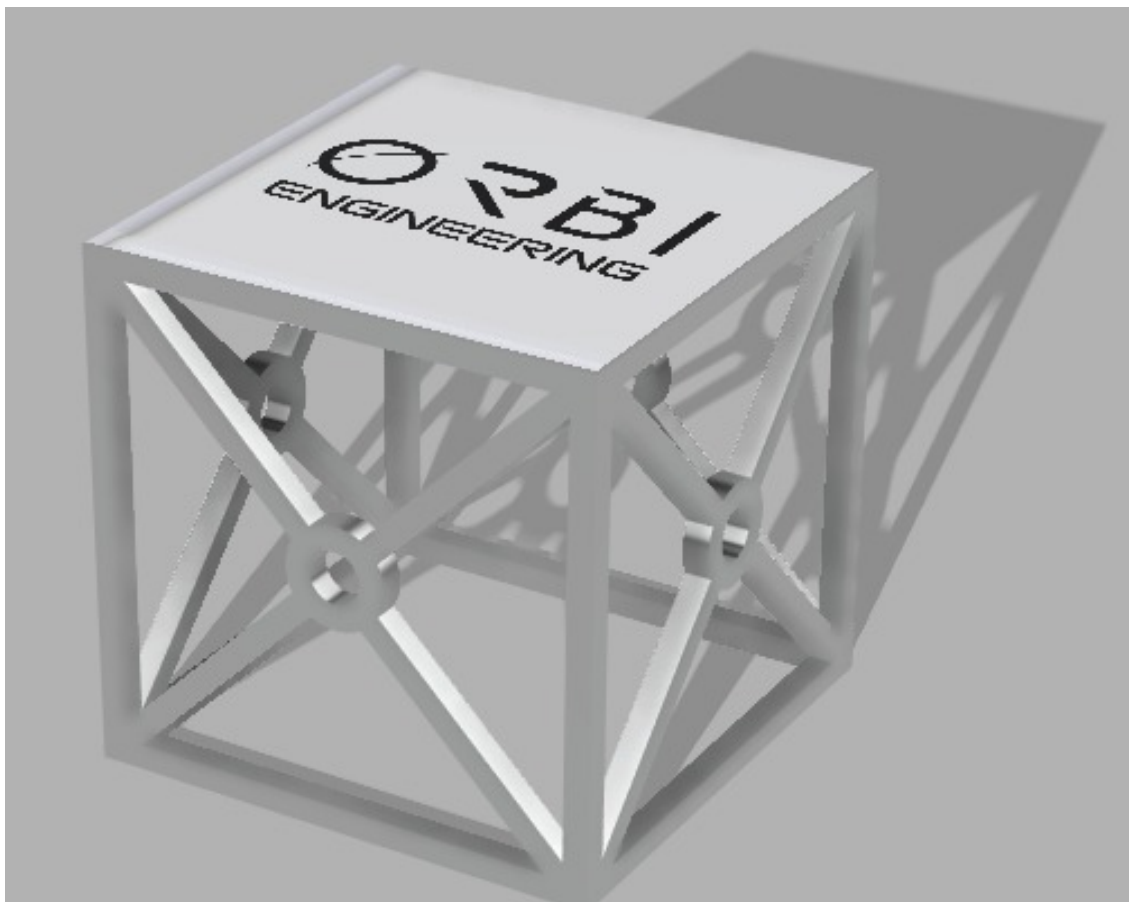
## APÊNDICE C – Esquemático do processamento de dados



## APÊNDICE D – Esquemático do processo de comunicação

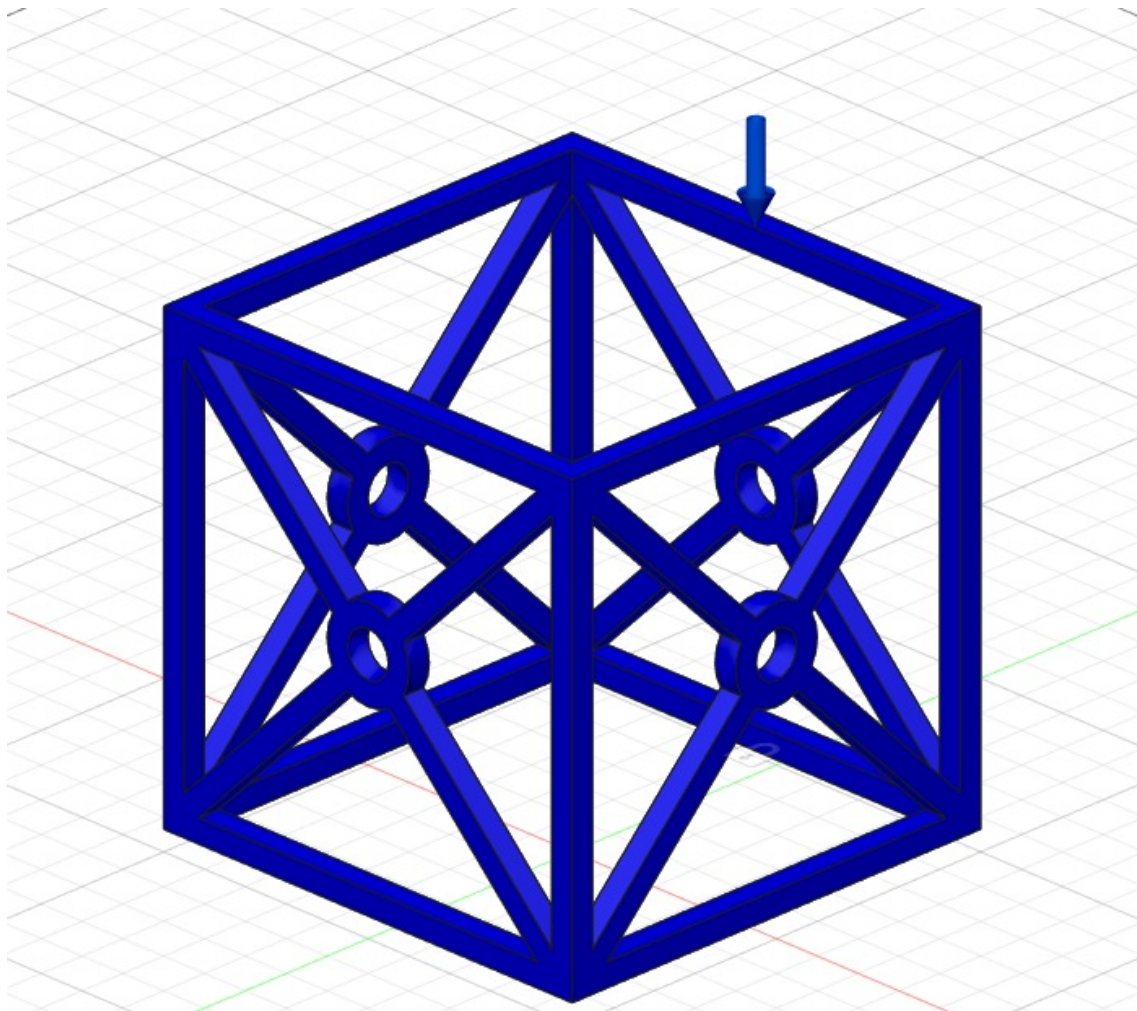


## APÊNDICE E – Modelo hipotético

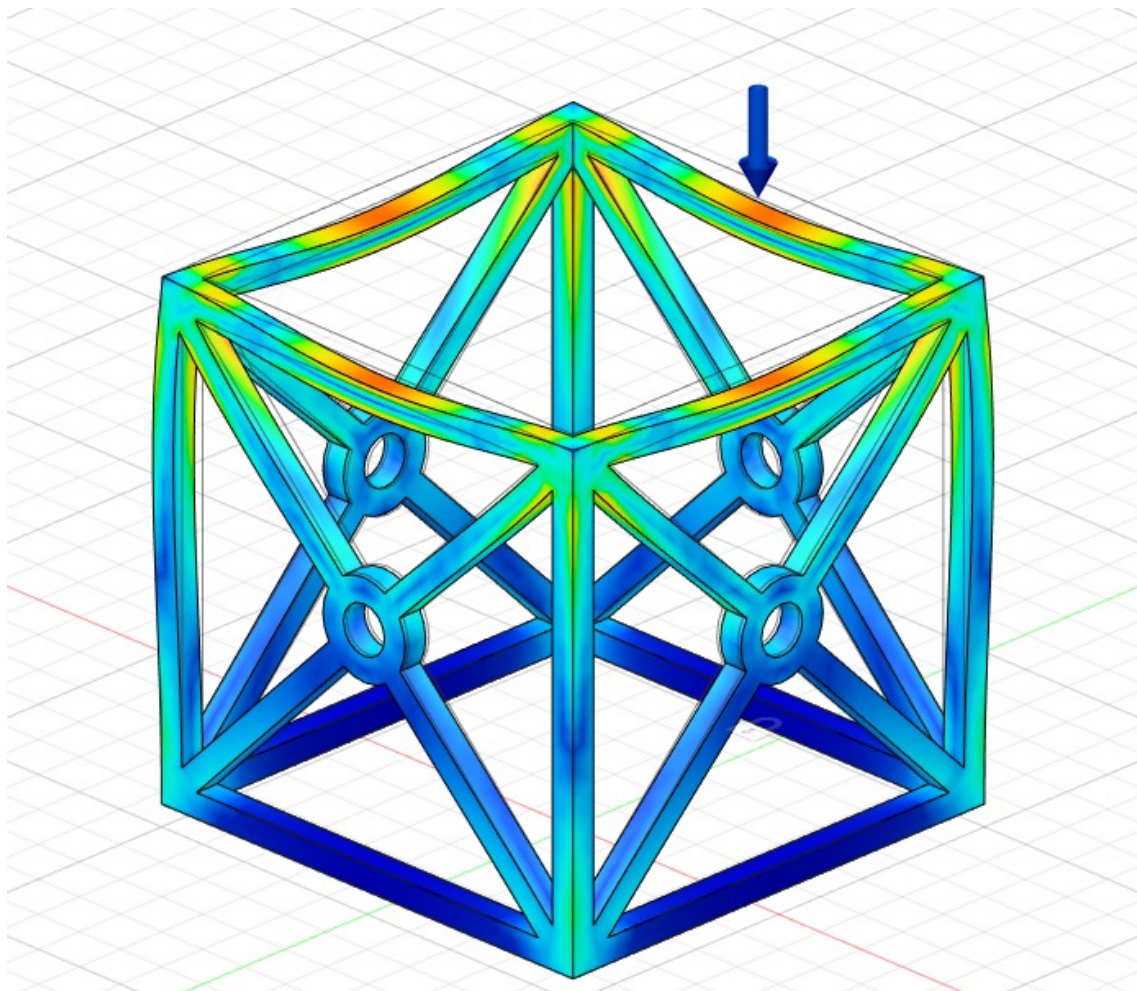




## APÊNDICE F – Modelo com malha para simulação



## APÊNDICE G – Teste estrutural de carregamento



## APÊNDICE H – Equações para cáculo de carregamento estático

Força estática aplicada à estrutura (N):

$$F_{TA} = F_{2SAT} + F_{mp} + F_{ri} \quad (4)$$

Força exercida pela masa de dois satélites ao se integrar a uma interface e a uma mola de propulsão (N):

$$F_{2SAT} = 2m \times Avl \times F_s \quad (5)$$

- m: Massa total do cubesat
- Avl: Aceleração longitudinal máxima do sistema de lançamento
- FS: Fator de segurança

Força da própria nada estrutural ao ser acelerada:

$$F_{mp} = M_P \times Avl \quad (6)$$

- M<sub>P</sub>: Massa da estrutura do cubesat
- Avl: Aceleração longitudinal máxima do sistema de lançamento

Força da mola na face do cubesat:

$$F_{ri} = K \times dX \times FS \quad (7)$$

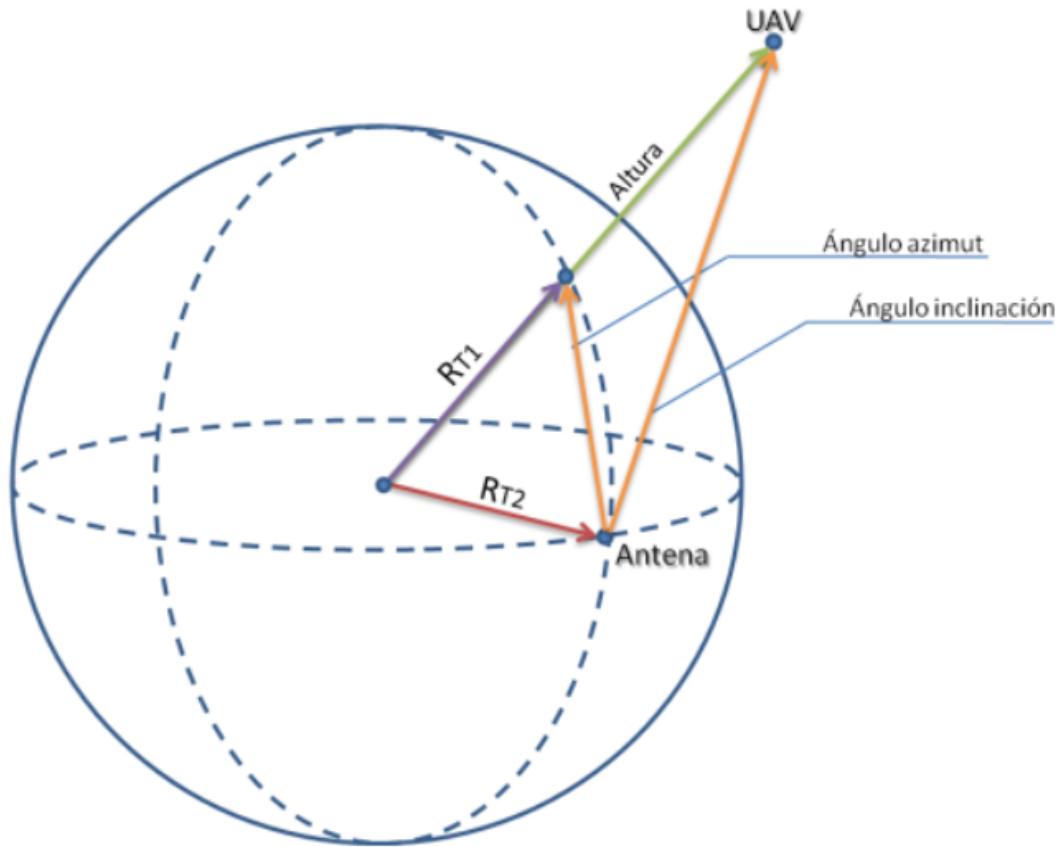
- K: Constante de mola
- dX: Diferença realizada pela mola de expulsão
- FS: Fator segurança.

Magnitude da carga aplicada em cada aresta do cubesat:

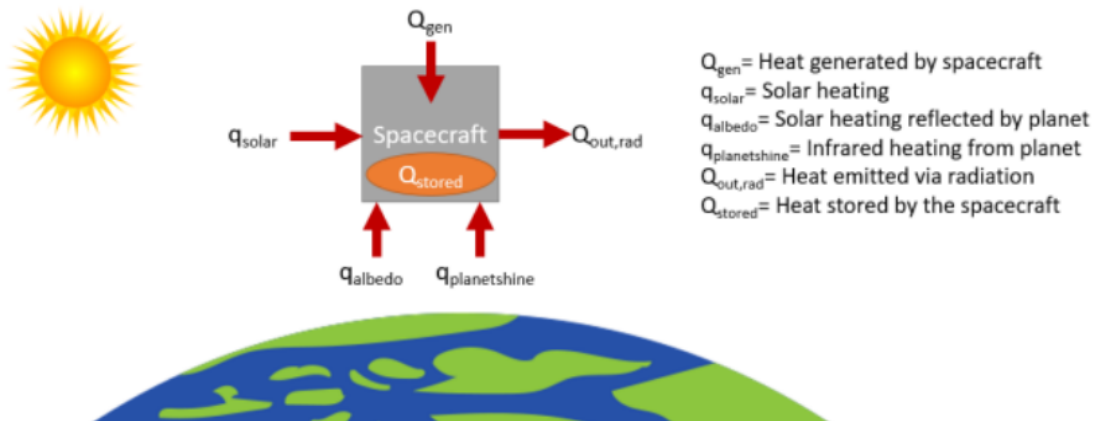
$$F_{pu} = \frac{(FTA - F_{mp})}{4} \quad (8)$$

# Anexos

## ANEXO A – Órbita hipotética qualquer



## ANEXO B – Balanceamento de temperatura



ANEXO C – Taxa de absorvidade/emissividade de revestimento  
preto

BLACK COATINGS

	$\bar{\alpha}_\lambda$	$\bar{\epsilon}_\lambda$
Anodize Black	0.88	0.88
Carbon Black Paint NS-7	0.96	0.88
Catalac Black Paint	0.96	0.88
Chemglaze Black Paint Z306	0.96	0.91
Delrin Black Plastic	0.96	0.87
Ebanol C Black	0.97	0.73
Ebanol C Black-384 ESH* UV	0.97	0.75
GSFC Black Silicate MS-94	0.96	0.89
GSFC Black Paint 313-1	0.96	0.86
Hughson Black Paint H322	0.96	0.86
Hughson Black Paint L-300	0.95	0.84
Martin Black Paint N-150-1	0.94	0.94
Martin Black Velvet Paint	0.91	0.94
3M Black Velvet Paint	0.97	0.91
Paladin Black Lacquer	0.95	0.75
Parsons Black Paint	0.98	0.91
Polyethylene Black Plastic	0.93	0.92
Pyramil Black on Beryllium Copper	0.92	0.72
Tedlar Black Plastic	0.94	0.90
Velesstat Black Plastic	0.96	0.85

ANEXO D – Taxa de absorvidade/emissividade de revestimento  
branco

WHITE COATINGS

	$\bar{\alpha}_s$	$\bar{\epsilon}_n$
Barium Sulphate with Polyvinyl Alcohol	0.06	0.88
Biphenyl-White Solid	0.23	0.86
Catalac White Paint	0.24	0.90
Dupont Lucite Acrylic Lacquer	0.35	0.90
Dow Corning White Paint DC-007	0.19	0.88
GSFC White Paint NS43-C	0.20	0.92
GSFC White Paint NS44-B	0.34	0.91
GSFC White Paint MS-74	0.17	0.92
GSFC White Paint NS-37	0.36	0.91
Hughson White Paint A-276	0.26	0.88
Hughson White Paint A-276 + 1036 ESH UV	0.44	0.88
Hughson White Paint V-200	0.26	0.89
Hughson White Paint Z-202	0.25	0.87
Hughson White Paint Z-202 + 1000 ESH UV	0.40	0.87
Hughson White Paint Z-255	0.25	0.89
Mautz White House Paint	0.30	0.90
3M-401 White Paint	0.25	0.91
Magnesium Oxide White Paint	0.09	0.90
Magnesium Oxide Aluminium Oxide Paint	0.09	0.92
Opal Glass	0.28	0.87
OSO-H White Paint 63W	0.27	0.83
P764-1A White Paint	0.23	0.92
Potassium Fluorotitanate White Paint	0.15	0.88
Sherwin Williams White Paint (A8W11)	0.28	0.87
Sherwin Williams White Paint (F8W2030)	0.39	0.82
Sherwin Williams F8W2030 with Polasol V6V241	0.36	0.87
Sperex White Paint	0.34	0.85
Tedlar White Plastic	0.39	0.87
Titanium Oxide White Paint with Methyl Silicone	0.20	0.90
Titanium Oxide White Paint with Potassium Silicate	0.17	0.92
Zerlauths S-13G White Paint	0.20	0.90
Zerlauths Z-93 White Paint	0.17	0.92
Zinc Orthotitanate with Potassium Silicate	0.13	0.92
Zinc Oxide with Sodium Silicate	0.15	0.92
Zirconium Oxide with 650 Glass Resin	0.23	0.88



ANEXO E – Taxa de absorvidade/emissividade de tintas condutivas

CONDUCTIVE PAINTS

	$\bar{\alpha}_s$	$\bar{\epsilon}_n$
Brilliant Aluminum Paint	0.30	0.31
Epoxy Aluminum Paint	0.77	0.81
Finch Aluminum Paint 643-1-1	0.22	0.23
Leafing Aluminum in Epon 828	0.37	0.36
Leafing Aluminum (80-U)	0.29	0.32
NRL Leafing Aluminum Paint	0.24	0.24
NRL Leafing Aluminum Paint	0.28	0.29
Silicone Aluminum Paint	0.29	0.30
Dupont Silver Paint 4817	0.43	0.49
Chromeric Silver Paint 586	0.30	0.30
GSFC Yellow NS-43-G	0.38	0.90
GSFC Green NS-53-B	0.52	0.87
GSFC Green NS-43-E	0.57	0.89
GSFC White NS-43-C	0.20	0.92
GSFC Green NS-55-F	0.57	0.91
GSFC Green NS-79	0.57	0.91

# ANEXO F – Taxa de absorvidade/emissividade de filmes e fitas

FILMS AND TAPES

	$\bar{\alpha}_\lambda$	$\bar{\epsilon}_n$
<b>Aclar Film (Aluminum Backing)</b>		
1 mil	0.12	0.45
2 mil	0.11	0.62
5 mil	0.11	0.73
<b>Kapton Film (Aluminum Backing)</b>		
0.08 mil	0.23	0.24
0.15 mil	0.25	0.34
0.25 mil	0.31	0.45
0.50 mil	0.34	0.55
1.0 mil	0.38	0.67
1.5 mil	0.40	0.71
2.0 mil	0.41	0.75
3.0 mil	0.45	0.82
5.0 mil	0.46	0.86
<b>Kapton Film (Chromium-Silicon Oxide-Aluminum Backing (Green))</b>		
1.0 mil	0.79	0.78
<b>Kapton Film (Aluminum-Aluminum Oxide Overcoating)–1 mil</b>		
Initial	0.12	0.20
1800 ESH UV	0.12	0.20
<b>Kapton Film (Aluminum-Silicon Oxide Overcoating)–1 mil</b>		
Initial	0.11	0.33
2400 ESH UV	0.22	0.33
<b>Kapton Film (Silver-Aluminum Oxide Overcoating)–1 mil</b>		
Initial	0.08	0.19
2400 ESH UV	0.08	0.21
<b>Kapton Film (Aluminum-Silicon Oxide Overcoating)–0.5 mil</b>		
Initial	0.12	0.18
4000 ESH UV	0.28	0.24
<b>Kimfoil-Polycarbonate Film (Aluminum Backing)</b>		
0.08 mil	0.19	0.23
0.20 mil	0.20	0.30
0.24 mil	0.17	0.28

## Referências

- ALÉN SPACE. Guia básica de nanosatélites | Alén Space. 2023. Disponível em: <https://alen.space/es/guia-basica-nanosatelites/>. Acesso em: 17 abr. 2023.
- ALHAMMADI, M.; SVETINOVIC, D. Autonomy requirements engineering for micro-satellite systems: Cubesat case study. In: IEEE. *2017 XXVI International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT)*. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- ARDUINO, acelerômetro, giroscópio. 2023. Disponível em: <https://embarcados.com.br/arduino-acelerometro-giroscopio/>. Acesso em: 16 abr. 2023.
- CARLOSREIS, D. Estudo sobre sonoboias e conceitos. p. 11, 2022. Citado na página 2.
- CARTAO SanDisk Micro SD 32GB Extreme Classe 10 Vel. até 100MB/s. 2023. Disponível em: <https://www.kabum.com.br/produto/89992/>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- CELY, O. F. V.; LARA, J. A. M.; ESCOBAR, R. F. Análisis de velocidad de transmisión del protocolo ax. 25 implementado en la estación terrena satelital uptc. *Tecnura*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, v. 19, n. 46, p. 93–102, 2015.
- DEFENSENEWS. The US Navy’s fleet is getting old. It might get a lot older. 2023. Disponível em: <https://www.defensenews.com/naval/2018/06/07/the-us-navys-ships-are-getting-old-they-might-be-getting-a-lot-older/>. Acesso em: 17 abr. 2023. Citado na página 2.
- DESENVOLVIMENTO de um CubeSat para Mapeamento. 2023. Disponível em: <https://inatel.br/csilab/downloads-docman/publicacoes/39-3648>. Acesso em: 17 abr. 2023.
- EESA. CubeSats. 2023. Disponível em: [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Preparing\\_for\\_the\\_Future/Discovery\\_and\\_Preparation/CubeSats](https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/CubeSats). Acesso em: 17 abr. 2023.
- EITERER, B. V. B. et al. Modelagem, simulação e testes de um sistema de energia aplicado a nanosatélites. Florianópolis, SC, 2017.
- ESP32. O Que É ESP32? Pra Que Serve? Quando Usar? 2023. Disponível em: <https://lobodarobotica.com/blog/o-que-e-esp32-pra-que-serve-quando-usar/>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- GARZÓN, Y. S. B. Diseño conceptual y preliminar de un cubesat de bajo costo. 2018.
- HISTORY. Influence of Average Warship Age (2018). 2023. Disponível em: <http://influenceofhistory.blogspot.com/2018/07/average-warship-age-2018.html>. Acesso em: 17 abr. 2023. Citado na página 2.
- MILITARY.COM. Active Ships in the US Navy. 2023. Disponível em: <https://www.military.com/navy/us-navy-ships.html>. Acesso em: 17 abr. 2023. Citado na página 2.
- MODULO Cartão Micro SD. 2023. Disponível em: <https://www.makerhero.com/produto/modulo-cartao-micro-sd/>. Acesso em: 18 abr. 2023.

PIÑEROS, J. O. M.; PORTILLA, J. G. A preliminary study of the placement of an artificial satellite by a rocket launched from colombian territory. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, v. 37, n. 145, p. 449–461, 2013.

PROGRAMAR ESP32 com a ide arduino. 2023. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/blog/programar-esp32-com-a-ide-arduino-tutorial-completo/>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

TUTORIAL Enviando um JSON com ESP32. 2023. Disponível em: <<https://pettec.unifei.edu.br/wp-content/uploads/2021/01/Tutorial-Enviando-um-JSON-com-ESP32.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

UOL Educação. Litoral brasileiro - Costa tem grande importância e deve ser preservada. 2023. Disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/litoral-brasileiro-costa-tem-grande-importancia-e-deve-ser-preserveda.htm?cmpid=copiaecola>>. Acesso em: 17 abr. 2023. Citado na página 2.

WIJKER, J. J. *Mechanical vibrations in spacecraft design*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2013.