

PLATAFORMA MULTI MISSÃO PARA LANÇAMENTO DE EXPERIMENTOS CIENTÍFICOS EM SONDA ESTRATOSFÉRICA

Mario Luiz Ferrari Pin¹

Resumo. A exploração do espaço para fins científicos, comerciais e educacionais é cada vez mais presente na sociedade. O desenvolvimento de artefatos que operem em condições tão diferentes da superfície terrestre envolve um planejamento cuidadoso e o uso de matérias nem sempre convencionais, o que implica uma multidisciplinaridade evidente. O presente projeto teve como objetivo desenvolver uma plataforma de baixo custo que pudesse ser utilizada em uma diversidade de missões à estratosfera, porta de entrada ao espaço, a Plataforma Multi Missão, ou PMM. Essa plataforma é composta de todos os sistemas necessários para que uma missão à estratosfera possa ser realizada adequadamente e depois recuperada com os dados para serem analisados. Como computador de bordo foi escolhida a plataforma Arduino por apresentar um custo baixo, ser facilmente programável e conter os requisitos necessários para a PMM. Foram desenvolvidos um sistema de comunicações baseado na tecnologia LoRa, um módulo de integração de sensores e sistema de posicionamento global GNSS e um sistema de fornecimento de energia contando com suprimento de energia através de baterias e um módulo fotovoltaico. Junto com o hardware foram desenvolvidos documentos contendo protocolos de operação e verificação. Diversos testes foram conduzidos em solo para que o teste de voo e validação fosse realizado com sucesso, com todos os sistemas funcionando de forma adequada. A sonda de teste atingiu uma altitude máxima de 28.250 m e foi recuperada trazendo dados importantes e imagens da estratosfera.

Abstract. Space exploration for scientific, educational, and commercial purposes is increasingly present in society. The development of artifacts that operate under conditions so different from the Earth's surface involves careful planning and the use of materials that are not always conventional, which implies an evident multidisciplinary. This project aimed to develop a low-cost platform that could be used in a variety of missions to the stratosphere, a gateway to space, the Multi Mission Platform, or Plataforma Multi Missão, PMM in Portuguese. This platform is composed of all the systems necessary for a mission to the stratosphere to be carried out properly and then retrieved with the data to be analyzed. The Arduino platform was chosen as the on-board computer because it is a low-cost platform, is easily programmable and contains the necessary requirements for the PMM. A communications system based on LoRa technology, a sensor integration module, a GNSS global positioning system and an energy supply system with energy supply from batteries and a photovoltaic module were developed. Along with the hardware, documents containing operation and checklist protocols were also developed. Several tests were conducted on the ground so that the flight test and validation could be carried out successfully, assuring that all systems work properly. The test probe reached a maximum altitude of 28,250 m and was recovered bringing important data and images from the stratosphere.

Palavras-chave: eletrônica, Arduino, LoRa, estratosfera, aeroespacial

¹Professor EBTT – IFSP Campus Boituva

INTRODUÇÃO

Balão estratosférico

Balões de alta altitude, ou estratosféricos são balões não tripulados, fabricados de látex, inflados geralmente com gás hélio ou hidrogênio, que são liberados na estratosfera, atingindo geralmente entre 18 e 37 km acima do nível do mar, quando devido a diminuição da pressão atmosférica, seu volume fica tão grande que o látex não suporta e rompe, fazendo com que os equipamentos atrelados retornem ao solo com a ajuda de paraquedas. São utilizados para estudos científicos da atmosfera superior, mas a sua utilização é cada vez maior em projetos educacionais ou de lazer. Dos dois gases mais utilizados em balões meteorológicos, o hélio primeiro é o mais utilizado, pois não é tóxico e, por ser um gás nobre, seu uso não apresenta risco de explosão ou incêndio. Apesar dessas vantagens o hélio apresenta um custo maior que o hidrogênio, que é utilizado quando esse fator é um limitante. Um balão pode ser utilizado para levar experimentos científicos e educacionais para o espaço próximo de maneira similar ao de um satélite, porém com custos reduzidos. Outro benefício dos balões é o fato da carga útil poder ser recuperada e reutilizada em novos lançamentos (SILVA et al., 2019).

Plataforma Multi Missão (PMM)

Todo lançamento de sonda estratosférica é composto de uma missão, que pode ser um experimento científico ou educacional, como a medição de parâmetros da atmosfera superior ou a captação de imagens. Em geral os dados de localização são transmitidos por radiofrequência, mas os dados captados pelos sensores e câmeras que compõem a missão ficam armazenados na própria sonda, tornando a sua recuperação ao fim da missão de extrema importância. Para isso diversos outros sistemas devem ser incorporados à sonda, como controle térmico, sistema de fornecimento de energia, transmissores de rádio, sistema de localização global e rastreamento por satélite (GNSS) e outros (Louis, 2016). A plataforma multimissão contém todos esses sistemas vitais e, uma vez desenvolvida e testada, pode ser facilmente adaptada para outras missões. Queiroz et al.(2018) apresentam um sistema embarcado baseado em FPGA como uma solução para um projeto de nanossatélites, o CONASAT. de Camargo e dos Santos

(2017) propõe um sistema embarcado utilizando a plataforma STM32, para integrar o computador de bordo de seu nanossatélite Alpha. Fonget al.(2014) propuseram o uso da plataforma Arduino para o sistema embarcado do picossatélite YAMASAT, desenvolvido pelo National Space Program Office's (NSPO), Taiwan, o Arduino tem como vantagens o custo reduzido, a facilidade de programação e a grande quantidade de material disponível e em plataformas colaborativas.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Este projeto de pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento de uma plataforma de baixo custo, reutilizável e que possa ser utilizada para vários tipos de missão científica à estratosfera, denominada Plataforma Multi Missão (PMM).

Objetivos específicos

- Desenvolver um computador de bordo baseado em plataforma microcontrolada de projeto aberto;
- Desenvolver um sistema de comunicações com baixo consumo de energia e longo alcance para envio de dados de telemetria e telecomando entre a equipe em solo e a PMM em voo;
- Desenvolver um sistema de sensores para diagnóstico de dados relevantes e rastreamento da sonda para futura recuperação do equipamento pós voo;
- Lançar uma sonda estratosférica com o auxílio de um balão meteorológico com o fim de testar e validar a PMM;
- Recuperar a PMM e analisar os dados obtidos em voo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A PMM foi desenvolvida utilizando componentes comercialmente disponíveis e dispositivos projetados pela própria equipe e é constituída de um computador de bordo, sistema de comunicação, diversos sensores para monitoramento dos parâmetros de voo, sistema de fornecimento de energia e controle térmico.

Computador de bordo

Para o computador de bordo foi escolhida a plataforma educacional de microcontroladores Arduino, que é uma plataforma de prototipagem baseada em microcontrolador que consiste em uma placa com microcontrolador (MCU) e ambiente de desenvolvimento integrado (IDE). Existem no mercado várias placas Arduino disponíveis, para este projeto foi utilizado o Arduino UNO, que utiliza um microcontrolador Atmel ATmega328P de 8 bits e possui todos os recursos necessários ao funcionamento da PMM.

Sistema de comunicação

Para o sistema de comunicação foi escolhido um rádio da tecnologia LoRa, acrônimo para *long range rádio* em língua inglesa, ou rádio de longa distância em tradução livre para o português. O LoRa foi escolhido por seu baixo consumo de energia e o longo alcance que ele proporciona, com aplicações em balões estratosféricos atingindo alcances superiores a 700 km de distância (RAMOS, 2019). Uma placa de circuito impresso foi desenvolvida para alojar o módulo de rádio e outros componentes periféricos para que seja facilmente empilhável sobre a plataforma Arduino UNO. O protótipo desenvolvido pode ser visto na figura 1.



Figura 1 – Sistema de comunicação desenvolvido para a PMM

Sistema de sensores

A PMM integra dispositivos para rastreamento, e monitoramento dos sistemas energia e controle térmico compondo os seguintes sensores:

- Sensores modelo DS18B20 para monitorar as temperaturas;
- Interna da sonda;
- Externa da sonda;
- Bateras;
- Painel fotovoltaico;
- Barômetro model BMP180 para medição redundante de altitude;
- Módulo GNSS, modelo Neo-6M para rastreamento.

Assim como para o sistema de comunicações foi desenvolvida uma placa de circuito impresso empilhável sobre o Arduino UNO onde os sensores são acondicionados, assim como conectores específicos para os sensores que são ligados por cabos elétricos. Nessa mesma placa de circuito impresso acrescentou-se um leitor de cartão SD com o intuito de armazenar os dados de voo com uma frequência maior do que é transmitido pelo rádio LoRa, e serve como um *backup* caso a comunicação seja perdida por algum

tempo. Na figura 2 pode-se ver a placa de circuito impresso que integra os diversos sensores da PMM.



Figura 2 – Placa de circuito impresso de acondicionamento dos sensores

Sistema de fornecimento de energia

A PMM possui dois sistemas de fornecimento de energia. Um módulo fotovoltaico fornece energia para o sistema quando ele estiver condições de boa luminosidade e, para regular a tensão do sistema e fornecer energia em momentos que a energia de conversão fotovoltaica não for suficiente foram utilizadas 8 baterias recarregáveis tamanho AA da tecnologia NiMH, escolhida por apresentar um baixo custo, grande disponibilidade, fácil manuseio e uma densidade de energia razoável para o fim proposto.

Controle térmico

Na estratosfera a temperatura pode atingir valores muito baixos, o que pode prejudicar o funcionamento de equipamentos eletrônicos embarcados e reduzir a capacidade de acumular carga das baterias.

Como uma missão estratosférica deve durar entre duas e três horas utilizou-se uma caixa térmica de poliestireno expandido para isolar os componentes internos da

exposição às baixas temperaturas do exterior uma vez que esse tipo de material é encontrado com facilidade, apresenta baixo custo e baixo peso.

Sistema de recuperação

Após a sonda atingir a altitude projetada o balão rompe-se e ela desce de volta ao solo com a ajuda de um paraquedas para que a velocidade seja reduzida.

Para que a sonda seja mais facilmente encontrada, tanto para o paraquedas quando para a parte externa da sonda foram utilizadas cores que podem ser facilmente distinguidas. A figura 3 mostra o sistema de paraquedas desenhado e fabricado no IFSP.



Figura 3 – Sistema de paraquedas

Na figura 4 é ilustrada a parte externa da sonda apresentando o posicionamento de alguns componentes e, na figura 5, a parte interna da sonda já com a carga útil instalada.



Figura 4 – Vista externa superior da sonda



Figura 5 – Vista interna da sonda

Sistema de solo

O sistema de recepção de dados de telemetria possui um sistema semelhante ao utilizado na PMM, composto pelo Arduino e um sistema de comunicação com as mesmas características físicas.

Ao receber os dados de telemetria da sonda o sistema os envia a um computador que faz o armazenamento local dos dados e os publica na internet utilizando o serviço *dweet* da plataforma *www.dweet.io*, uma forma muito simples e prática para publicação de dados de sensoriamento remoto. Por fim, uma dashboard foi desenvolvida para apresentar os dados de forma gráfica através da plataforma *freeboard.io*, tornando assim dos dados disponíveis na internet e facilmente visualizados em qualquer localidade que tenha conexão com ela. Na figura 6 visualiza-se a tela de telemetria e rastreamento da PMM.

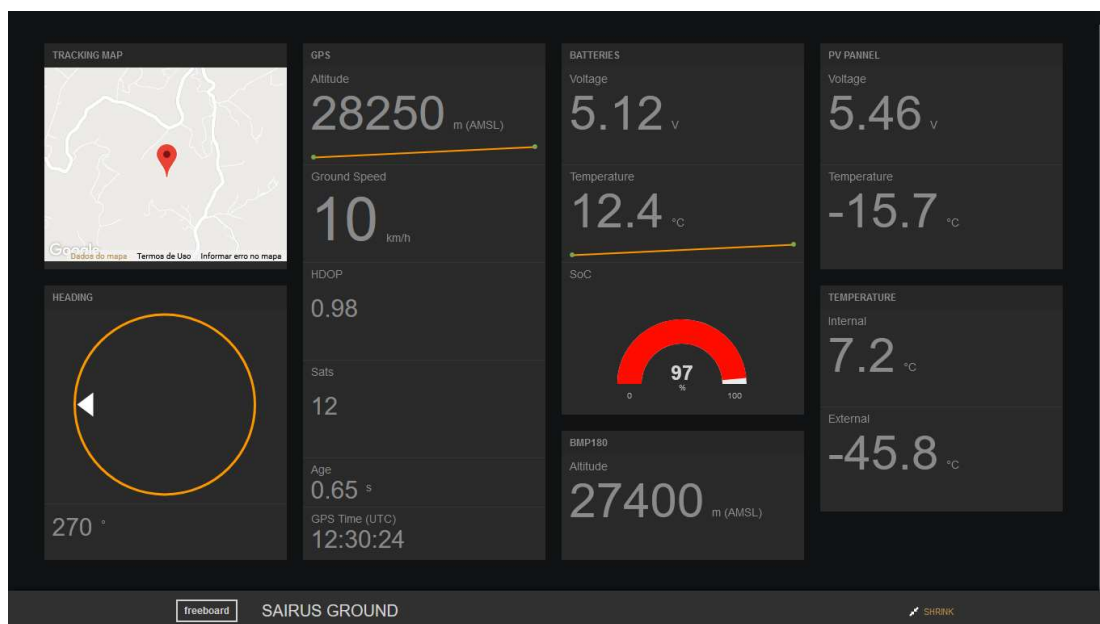


Figura 6 – Sistema de telemetria e rastreamento

Testes e validação

Para que a PMM seja validada e possa ser utilizada para missões com garantia de funcionamento um uma série de testes foram programados, incluindo testes de laboratório e o teste final de voo.

Testes de laboratório

Para garantir que todos os sistemas funcionem corretamente realizou-se testes em cada subsistema separadamente que incluem:

Alcance de rádio em solo:

Utilizou-se um *software* disponibilizado pelo fabricante do módulo LoRa com o qual é possível fazer configurar diversos parâmetros e realizar testes. Com o receptor fixo na estação de solo, o transmissor foi deslocado para vários pontos e a qualidade de recepção foi testada.

Calibração dos sensores de temperatura:

Uma comparação com sensores de temperatura calibrados foi feita para garantir que os dados gerados condizem com as condições ambientais relacionadas.

Sistema de rastreamento:

Utilizou-se um *software* disponibilizado pelo fabricante do módulo GNSS com o qual é possível realizar configurações e monitorar diversos parâmetros de recepção da localização

Estabilidade do sistema de fornecimento de energia:

Com a PMM em condições de iluminação ou de sombra realizou-se testes de estabilidade do fornecimento de energia com o auxílio de um multímetro medindo a tensão em diversos regimes de funcionamento.

Em seguida realizou-se testes com todos os sistemas em conjunto:

Autonomia do banco de baterias:

Nesse teste colocou-se a PMM em operação contínua em condições de sombra (somente o banco de baterias fornecendo energia) para verificar a autonomia do sistema.

Teste de controle térmico:

A PMM foi colocada em uma câmara fria, com o objetivo de simular as condições de temperatura externa durante o voo e verificar o seu funcionamento adequado.

Teste de voo

Após todos os testes de solo, a última etapa de testes consistiu no teste de voo da PMM, na qual foi adicionada uma carga útil que compunha duas câmeras para captura de imagens de fotografia e vídeo durante o voo.

A preparação para o voo inicia-se com 7 dias de antecedência. Criou-se um *checklist*, onde diversos itens foram verificados e as pendências anotadas. Um dia antes do voo foi realizada uma nova reunião em que se verifica em um novo *checklist*, todos os itens necessários ao voo como ferramentas, equipamentos, autorizações e verificar a previsão

do tempo e de trajetória de voo. Nessa última reunião é criado um cronograma de lançamento no qual são definidos horários para cada tarefa a ser realizada pela equipe no dia do lançamento.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados de testes em solo

Durante os testes de solo verificou-se um alcance máximo de aproximadamente 3.000 metros para o rádio LoRa, devido à presença de muitos obstáculos entre o transmissor e a antena receptora os valores obtidos não puderam ser conclusivos quanto ao comportamento em voo, porém apresentaram-se condizentes com o que afirma o fabricante do módulo de rádio quanto ao alcance em solo, mostrando que o sistema se comporta como o esperado nominalmente.

A comparação dos sensores de temperatura mostrou-se dentro dos valores nominais declarados pelo fabricante com variações de até 2°C.

O fornecimento de energia é feito por oito baterias de tecnologia NiMH com capacidade de carga de 2200mAh cada, compreendendo duas séries de quatro baterias ligadas em paralelo, O banco de baterias, portanto, possui uma tensão nominal de 4,8 V e capacidade de carga de 4400 mAh. Um regulador de tensão do tipo *Buck-Boost* foi utilizado para gerar uma tensão constante à PMM de 5 V. No teste de estabilidade de fornecimento foi medida uma corrente média de consumo de 100 mA e picos de 500 mA durante as transmissões do módulo de rádio. Com essas características de funcionamento, a autonomia do sistema foi medida em 18 h, valor dentro do esperado e que pode manter a PMM em funcionamento mesmo durante o período noturno caso o resgate não seja possível no mesmo dia do lançamento.

O teste de controle térmico realizou-se acondicionando a PMM dentro de um refrigerador cuja temperatura mínima interna foi de -15 °C. Nessas condições a PMM operou até que a temperatura interna entrou em equilíbrio com a externa em cerca de 6 horas, tempo muito além do previsto para o voo, mostrando que o sistema garante que os dispositivos internos não sejam expostos a temperaturas baixas o suficiente para prejudicar o funcionamento.

Resultados do teste de voo

Reunião para verificação de equipamentos e condições para voo - T menos 7 dias

Com o voo inicialmente programado para o dia trinta de janeiro de 2021, agendou-se uma reunião para o dia vinte e dois de janeiro do mesmo ano para a verificação de *checklist* onde apenas 2 itens estavam pendentes e cinco observações foram feitas para serem sanadas durante os próximos dias. Após deliberação que essas pendências poderiam ser sanadas a tempo, a equipe decidiu prosseguir com a data planejada.

Reunião *GO/NO-GO* - T menos 1 dia

No dia vinte e nove de janeiro de 2021, um dia antes do lançamento planejado, realizou-se a reunião final de verificação de todos os equipamentos e itens necessários para o lançamento. Na figura 7 pode ser verificada a previsão do possível local de pouso da sonda.

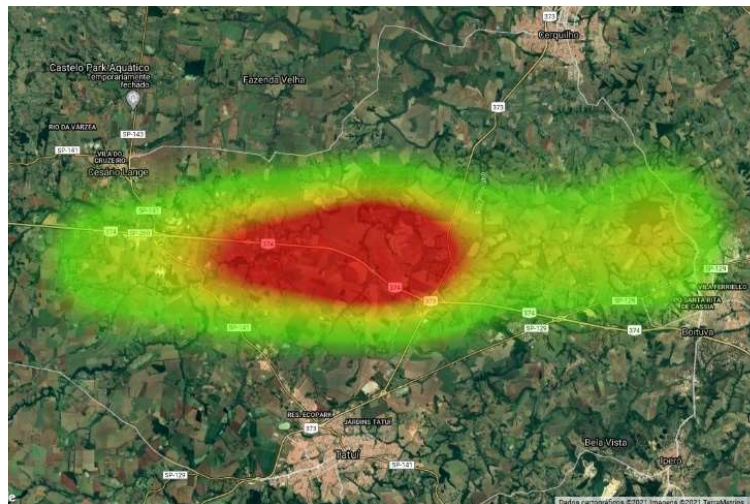


Figura 7 – Previsão de pouso da sonda

O horário de lançamento foi definido como sendo às 9:00 do dia trinta de janeiro de 2021 levando em consideração a pouca cobertura de nuvens e a baixa velocidade dos ventos nesse horário.

Com o horário de lançamento programado, um cronograma de tarefas em relação ao horário de lançamento foi definido conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Cronograma de tarefas no dia do lançamento

Chegada ao centro de operações (IFSP – BTV)	T – 120 min
Chegada ao local de lançamento	T – 70 min
Montagem da infraestrutura de lançamento	T – 40 min
Início de enchimento do balão	T – 30 min
Inicialização da PMM	T – 10 min
Inicialização da carga útil	T – 1 min

Dia do lançamento

O lançamento foi realizado em uma área aberta sem obstáculos próximos. Uma lona foi disposta no chão para que existisse um piso livre de materiais pontiagudos ou cortantes que pudessem danificar o balão. Uma mesa foi montada para que ferramentas e a PMM pudessem ser posicionadas e uma tenda foi armada para que a equipe se protegesse dos raios solares.

Com a infraestrutura de lançamento montada foi dado início ao enchimento do balão. Um sistema específico para o enchimento do balão foi desenvolvido pela equipe e pode ser visto na figura 8.



Figura 8 – Sistema de enchimento do balão

O balão é inflado com gás suficiente para que tenha um empuxo que garanta a velocidade de subida projetada de 5 m/s. Para aferir o empuxo correto, uma massa calculada em 2.650 g é conectada ao tubo do sistema de enchimento. Quando o empuxo do balão se equilibra com o peso dessa massa, o balão está inflado corretamente.

Após o balão estar inflado com o empuxo correto a PMM é inicializada ligando-se o sistema de fornecimento de energia. Com os dados de telemetria sendo recebidos corretamente e de forma estável é dado início a inicialização da carga útil que compreendeu uma câmera que faz vídeos de forma contínua com trechos de cinco em cinco minutos e uma câmera fotográfica, composta de um telefone móvel que faz fotografias a cada cinco segundos. Uma vez que as imagens começam a serem recebidas e os cabos de ligação estão amarrados entre o balão, paraquedas e a sonda ela está pronta para ser lançada.

Recuperação da sonda

Após o lançamento da sonda a equipe se dirigiu ao centro de operações (IFSP – BTV) para acompanhamento da telemetria e rastreamento.

Verificou-se que a trajetória feita pela sonda estava dentro da prevista pelas simulações, tomando um rumo inicialmente para leste, e com o ganho de altitude revertendo para o sentido oeste. A velocidade de subida estava ligeiramente acima da projetada sendo medida em cerca de 6 m/s.

O balão rompeu quando passava pelo marco de 28.000 metros. Nesse momento a equipe se mobilizou para o resgate da sonda. Um dos carros de apoio contou com um receptor para que o sinal de rádio da PMM pudesse ser localizado, uma vez que, atingindo baixas altitudes, obstáculos impediriam o sinal de chegar à antena do receptor da estação de solo em Boituva, o que aconteceu quando a sonda atingiu uma altitude em relação ao nível do mar de 1.180 m equivalente, no local, à uma altura em relação ao solo de cerca de 500 m.

Com a equipe de resgate chegando próximo ao local onde houve a perda de sinal com a estação de solo, um sinal de rastreamento foi detectado pelo receptor no carro de apoio, sinalizando uma nova localização a uma altitude 650 m em relação ao nível do mar e se mantendo constante, indicando o local do pouso.

Em poucos minutos a equipe foi capaz de chegar próximo ao local indicado pelo rastreamento, à cerca de 10 metros da estrada e dentro de uma lavoura de cana de açúcar. A sonda foi localizada intacta, ainda funcionando, resgatada e levada para o centro de operações para que os dados contidos na PMM e as imagens da carga útil pudessem ser analisados.

A distância do local de onde houve a perda de sinal com a estação de solo e o local de pouso foi de cerca de 750 m como pode ser visto na figura 9. Mostrando que um receptor com a equipe de resgate é de grande importância para determinar o local exato de pouso e facilitar as buscas.



Figura 9 – Local de pouso da sonda

Dados de voo

A altitude máxima atingida pela sonda foi de 28.250 m com 1 hora e 27 minutos de voo, valor dentro do previsto tanto pelo fabricante do balão quanto nas simulações feitas pela equipe.

O local de pouso aconteceu cerca de 15 km distante do centro da previsão o que pode ser devido às incertezas e variabilidades nos dados meteorológicos utilizados no simulador, mas também com relação às velocidades verticais tanto de subida quanto de descida que originalmente foram projetadas para 5 m/s ambas. A figura 10 mostra um gráfico de velocidade vertical durante o voo. É possível perceber que a subida se deu com uma velocidade relativamente constante próxima a 6 m/s e a de descida iniciando

com uma velocidade bem acentuada devido à atmosfera rarefeita, próximo a 25 m/s, mas, já próxima ao solo, com velocidades menores do que 2 m/s.

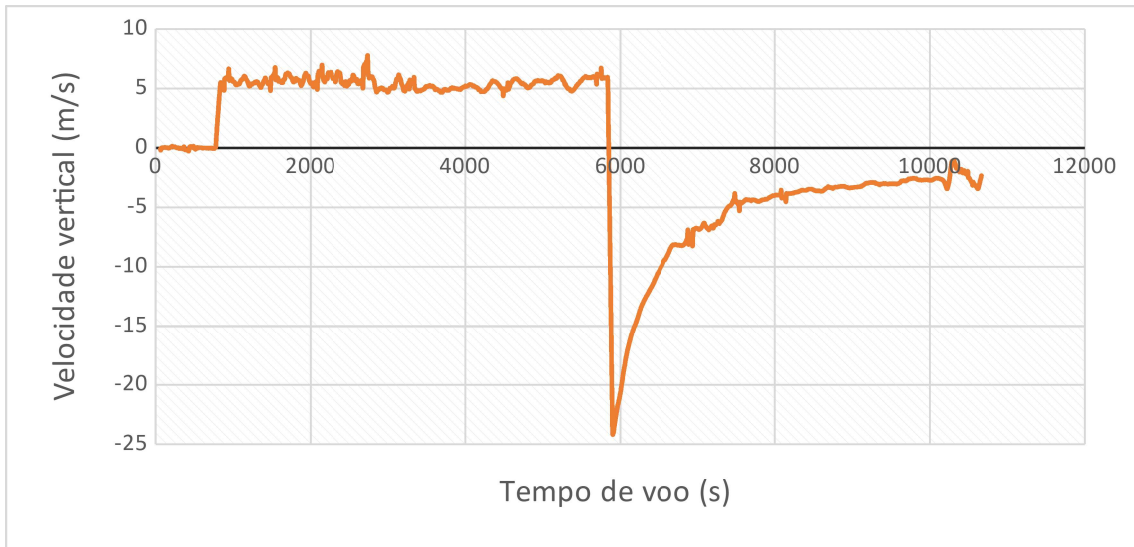


Figura 10 – Velocidade vertical durante o voo

A figura 11 mostra o gráfico de altitude, e temperaturas medidas durante o voo. Percebe-se que o sistema de controle térmico se mostra eficiente, garantido que a temperatura interna não tenha passado do limite inferior de 0 °C e as baterias uma temperatura mínima de 6 °C, valores dentro do esperado para que o funcionamento adequado da PM. Uma ressalva fica para o sensor de temperatura externa que atingiu o seu limite mínimo de medição de -55 °C quando a sonda atingiu uma altitude de 16.000 m, deixando de mandar informação correta até que a sonda atingiu 18.900 m à uma temperatura mais elevada.

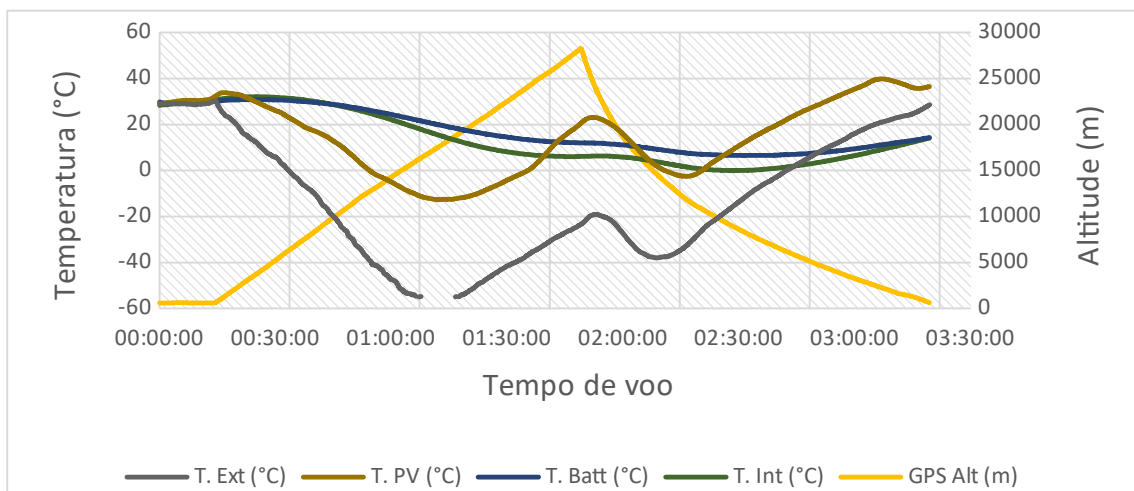


Figura 11 – Gráfico de temperaturas e altitude durante o voo

O sistema de fornecimento de energia possui monitoramento da tensão do módulo fotovoltaico e das baterias o que fornece um indicativo do estado de carga das baterias e se o módulo fotovoltaico está iluminado ou em sombra. A figura 12 apresenta um gráfico das duas tensões durante o voo. Percebe-se que existe um ruído muito grande nas medições que na imagem foram compensados empregando-se uma média móvel de 30 períodos, mesmo assim se verifica que, uma vez que a sonda ultrapassou a camada de nuvens, o módulo fotovoltaico forneceu carga praticamente de forma constante para a PMM e para o banco de baterias, atingindo próximo do limite aceitável de tensão máxima para as baterias de NiMH, indicando um ponto a ser mais bem estudado e melhorado em próximas versões.

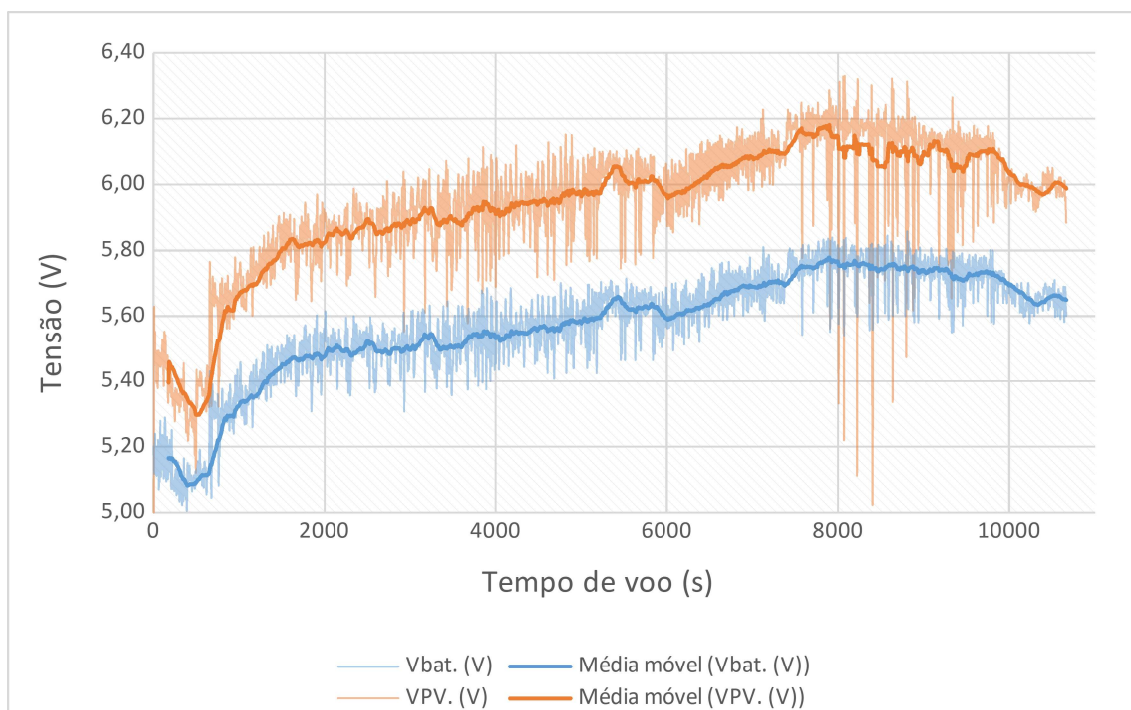


Figura 12 – Tensão das baterias e módulo fotovoltaico durante o voo

CONCLUSÕES

Com o sucesso praticamente integral da missão SAIRUS, que foi utilizada para o teste de voo e validação da PMM, fica evidente que os objetivos propostos nesse projeto foram atingidos.

O transmissor de rádio utilizando a tecnologia LoRa se mostrou uma ótima opção para o envio de dados de telemetria e rastreamento da sonda, com um alcance máximo durante a missão de até 42 km ao mesmo tempo que consome pouca energia.

O módulo GNSS conseguiu determinar o posicionamento da sonda durante toda a missão o que possibilitou a equipe acompanhar a sua localização em tempo integral e garantiu que ela fosse recuperada logo após o pouso.

As temperaturas foram medidas corretamente durante o voo com exceção da temperatura externa, que atingiu valores mais baixos do que o sensor empregado pudesse medir, o que criou um lapso de alguns minutos nessa medição.

O sistema de fornecimento de energia precisa ser mais bem elaborado para evitar que em determinados momentos as baterias se sobrecarreguem ou descarreguem profundamente, o que pode ser tema de projetos futuros.

Todos os procedimentos e ferramentas desenvolvidos pela equipe, o que inclui documentos de planejamento e *checklists* garantiram que existisse uma previsibilidade de rota e local de pouso além de um cronograma de tarefas definido que garantiu que a equipe trabalhasse de forma coordenada e organizada.

Apesar de não fazer parte dos objetivos desse projeto, a carga útil, que consistiu em uma câmera de vídeo e uma câmera fotográfica obteve um sucesso parcial, uma vez que, durante o voo, umidade se formou nas lentes das duas câmeras inviabilizando o uso das imagens da câmera filmadora e parcialmente as fotografias. Ainda assim diversas imagens foram aproveitadas, um exemplo pode ser visto na figura 13, fotografia registrada próxima a altitude máxima atingida pela sonda.

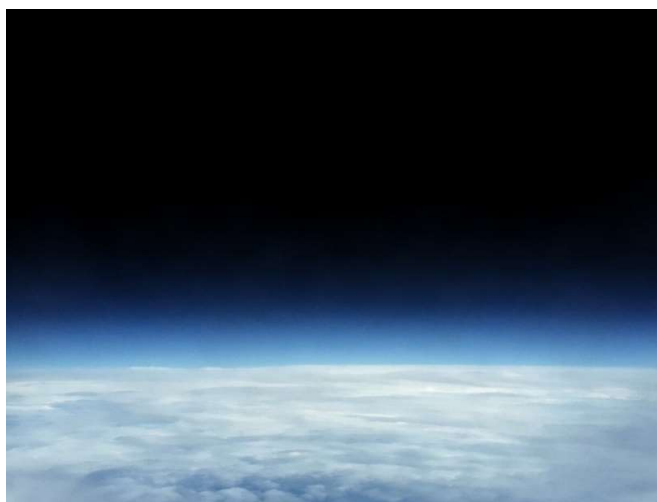


Figura 13 – Fotografia registrada pela carga útil durante o voo

REFERENCIAS

CAMARGO, L. A. P. de, SANTOS, W. A. dos. **Proposta de um computador de bordo para o nanosatélite alpha dentro do programa CTEE.** Anais do 8º Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais, 2017.

FONG, C. J., CHANG, M. S., CHEN, H., CHENG, H. C., KUO, Y. L., LIOU, C. C., YANG, E., **Personal satelliteresearch and development for space experiment and application.** In Remote Sensing Satellite Technology Workshop, 2014.

LOUIS, L., **Working principle of arduino and using it as a tool for study and research.** International Journal of Control, Automation, Communication and Systems, Vol. 1, No. 2. 2016.

QUEIROZ, K. P., DIAS, S. M., DUARTE, J. M.; CARVALHO, M. M., **Uma solução para o sistema brasileiro de coleta de dados ambientais baseada em nanossatélites.** Applied and Environmental Microbiology, Vol. 34, No. 07. 2018.

RAMOS, Matheus. **Uso de uma rede LoRaWAN em um sistema de gerenciamento de lixo.** Orientador: Adriano Augusto de Moraes Sarmento. 2019. 42 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia da Computação) - Universidade Federal de Pernambuco Centro de Informática (Cin-UFPE), Pernambuco, 2019.

SILVA, L. C. O., LOPES, M. V., BARROS, A. K., **Projeto de uma sonda estratosférica didática para o estudo de engenharia espacial.** II Congresso Aeroespacial Brasileiro. 2019.