

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

DESENVOLVIMENTO E TESTE DO SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE FOGUETE EXPERIMENTAL DE 1 KM DE APOGEU

GABRIEL C. SOUZA¹, PEDRO BONDEZAN², CAUÊ SPANGER³, ANA CAROLINE
COLLAR⁴, AILSON VASCONCELOS DA CUNHA⁵

¹ Técnico em Automação, IFSP, *Campus* Sertãozinho, souza.cardoso@aluno.ifsp.edu.br.

² Técnico em Automação, IFSP, *Campus* Sertãozinho, p.bondezan@aluno.ifsp.edu.br.

³ Técnico em Automação, IFSP, *Campus* Sertãozinho, caue.s@aluno.ifsp.edu.br

⁴ Técnico em Automação, IFSP, *Campus* Sertãozinho, caroline.collar@aluno.ifsp.edu.br.

⁵ Orientador, IFSP, *Campus* Sertãozinho, avcunha@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.12.06.02-6 Sistemas Aeroespaciais Foguetes

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo projetar e aprimorar um sistema eficaz, seguro e replicável de ejeção de paraquedas e recuperação aplicado em foguetes experimentais de modalidade de um quilômetro de apogeu com propelente sólido na Latin American Space Challenge 2025. O sistema visa, em um momento ótimo durante o voo, separar a coifa do corpo do foguete que contém sua carga útil e consequentemente abrir o paraquedas. Este terá suas dimensões calculadas em prol de atingir uma velocidade de aterrissagem segura, evitando danos ao foguete. Para isso, será desenvolvido uma aviônica embarcada, medindo em tempo real grandezas físicas relacionadas a altura, velocidade e posição do veículo. Os materiais usados serão bateria, microcontrolador, sensores conjuntos para constituir um altímetro, e saídas de tensão para ativação de sistemas pirotécnicos que ejetam o paraquedas. Este sistema deverá garantir a recuperação do foguete em perfeito estado, de modo que este possa ser montado e lançado novamente. A elaboração deste projeto trará conhecimentos acerca da *foguetrônica* e tornará a educação mais acessível a outros alunos de ensino médio que iniciarem suas pesquisas no setor aeroespacial.

PALAVRAS-CHAVE: foguetrônica; eletrônica; ejeção e recuperação.

DEVELOPMENT AND TEST OF THE RECOVERY SYSTEM OF AN EXPERIMENTAL 1 KM APOGEE ROCKET

ABSTRACT: This project aims to design and enhance an effective, safe, and replicable parachute ejection and recovery system for experimental rockets in the one-kilometer apogee category, using solid propellant, at the Latin American Space Challenge 2025. The system is intended to, at an optimal moment during flight, separate the rocket's nose cone—which houses its payload—from the main body and subsequently deploy the parachute. The parachute will be dimensioned to ensure a safe landing speed, preventing damage to the rocket. To achieve this, an onboard avionics system will be developed to measure in real time the physical parameters related to the vehicle's altitude, speed, and position. The system will utilize components such as a battery, microcontroller, and combined sensors to form an altimeter, along with voltage outputs to activate the pyrotechnic devices that eject the parachute. This system must ensure the rocket's recovery in perfect condition so that it can be reassembled and launched again. The development of this project will provide valuable knowledge in rocketry and make aerospace education more accessible to other high school students beginning their research in the field.

KEYWORDS: rocketronics; electronics; ejection and recovery.

INTRODUÇÃO

A MOBFOG é uma olimpíada de construção e o lançamento de foguetes, com modalidades em função do tipo de propulsão utilizada. Segundo Raffa et al. (2023), o uso de foguetes com propelente sólido oferece aos estudantes de ensino médio o aprofundamento de conceitos de astronáutica. Para Côrrea et.al. (2021) o lançamento de foguetes pode ser uma experiência acessível além das bilionárias empresas e programas espaciais, permitindo que, até em cidades humildes, estudantes vivenciem ferramentas para enriquecer o aprendizado, permitindo-lhes aplicar conhecimentos teóricos em um contexto prático.

A Latin American Space Challenge (LASC), por sua vez, é mais uma importante competição que promove a tecnologia pela metodologia ABP (Aprendizagem Baseada em Problemas). Nesta, o objetivo é desenvolver e construir foguetes experimentais de propulsão sólida, líquida ou híbrida; no caso deste projeto, que participará da competição, a modalidade escolhida foi foguete de propelente sólido para 1 km de apogeu. Para tal, a parte técnica da missão, que abrange detalhes práticos diretamente relacionados ao foguete, como projetos de motor, sistemas eletrônicos, dimensionamento de componentes e base de testes, dentre outros, foram subdivididas em propulsão, estrutura e foguetônica.

Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver e integrar sistemas eletrônicos de recuperação para a Missão SRT-1, visando assegurar o retorno seguro do foguete e preservar sua integridade estrutural.

MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento de sistemas de recuperação para foguetes envolve considerações complexas, desde a eletrônica embarcada até o dimensionamento do paraquedas. No projeto do Foguete de Treinamento TAU (FTT), a equipe TAU Rocket Team criou um subsistema de avionica modular, utilizando componentes acessíveis e técnicas simples de fabricação, permitindo coleta e transmissão de dados com fácil adaptação para futuras missões (Bearzi et al., 2023). Vasques de Souza e Silva (2021) apresentou uma metodologia completa para foguetes de pequeno porte, com simulações em MATLAB que auxiliaram na escolha do motor e otimização do desempenho, visando seu uso como sonda atmosférica. Já Miranda (2021) desenvolveu um sistema de recuperação para minifoguetes com paraquedas hemisférico de 2,53 m e estrutura em PETG e fibra de carbono, que permite queda livre nos últimos 100 m para reduzir o tempo de descida e otimizar o raio de busca.

Os materiais utilizados na manufatura deste projeto foram cuidadosamente selecionados de acordo com as necessidades do sistema. Empregou-se um microcontrolador da série ESP32 (FIGURA 1), escolhido por sua acessibilidade e poder de processamento. Para a alimentação, utiliza-se uma bateria de 3,7V Lítio, acoplada a um módulo *boost up* de Arduino, responsável por elevar a tensão para 5V, necessária ao funcionamento de um módulo de micro cartão SD, que armazena os dados lidos pelos sensores BMP280 e MPU 6050 empregados no projeto. Também foi utilizado um transistor TIP41C (FIGURA 2), que chaveia o acionamento de três *squibs* em paralelo, responsáveis por inflamar as cargas de pólvora que ejetam a coifa e o paraquedas.



FIGURA 1: ESP32. Fonte: ROBOEQ(2020).

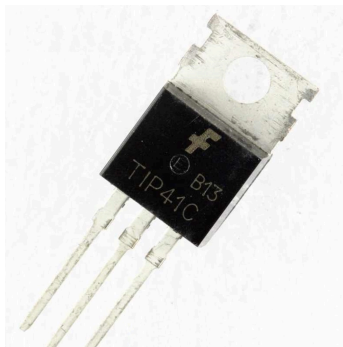


FIGURA 2: TIP41C . Fonte: componentsinfo (2025).

O sensor de pressão BMP280 coleta continuamente dados de pressão, temperatura e altitude, enquanto o acelerômetro e giroscópio MPU6050 registra a aceleração nas três direções e os ângulos em cada eixo de rotação. Combinando esses dados por meio de um filtro, é possível obter uma estimativa de altitude com erro inferior a 50 cm. Ao final do voo, o ESP32 armazena uma biblioteca de dados com informações de aceleração, altitude e rotação registradas a cada 500 ms, possibilitando uma análise detalhada do percurso do foguete posteriormente. Ele pode ser conectado ao microcontrolador através de uma entrada analógica para a leitura da altitude.

O squib é um fósforo elétrico, essencialmente um fio contínuo com carga pirotécnica embutida. Quando injetada uma tensão e corrente mínima, configurando um breve curto-circuito, a carga se ignita. Desta forma, é necessário utilizar fonte de alimentação dedicada somente ao acionamento do squib, evitando danos à bateria Litio de alimentação do circuito de controle. Esse acionamento é chaveado por um transistor TIP41C, devido sua resistência à alta correntes.

O dimensionamento da bateria de acionamento dos squibs é feito em função da tensão e corrente mínima necessária para o acionamento de três fósforos. Entretanto, nenhum datasheet relacionado aos squibs foi encontrado. Portanto, o dimensionamento da bateria se deu por três etapas: primeiro, verificação da tensão mínima de acionamento; segundo, corrente necessária para acionamento e, terceiro, selecionar fonte que supra esses valores. Dessa forma, testes com squibs, multímetros e fontes de bancadas foram realizados.

Todo esse sistema se assenta em placas de circuito impresso (PCB) circulares fabricadas de forma acessível, empilhadas em uma estrutura de torre, de forma a suportar todos os componentes no espaço interno do tubo do foguete. A primeira etapa consistiu na elaboração do esquema elétrico (FIGURA 3) e do desenho da PCB em ambiente virtual, utilizando o software KiCad. Essa etapa permitiu definir a lógica do circuito, a disposição dos componentes e o traçado das trilhas condutoras.

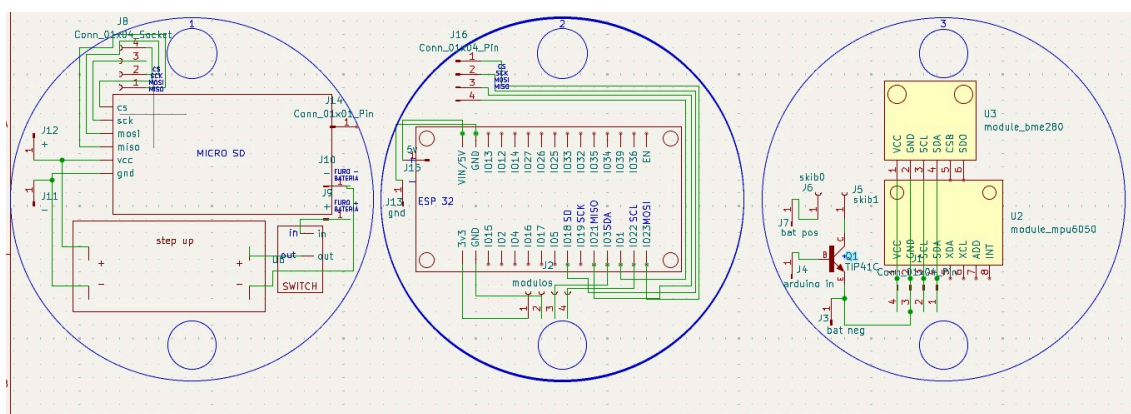


FIGURA 3: Esquema elétrico dos 3 pcbs em discos do protótipo atual. Fonte: Autoria própria.

Posteriormente, foi realizada a produção física da placa por meio de um processo de impressão a laser. Inicialmente, o arquivo do circuito foi convertido para o formato PDF e impresso em uma placa metálica previamente recoberta por uma camada de tinta protetora. A impressora a laser teve a função de remover a tinta apenas das áreas que deveriam ser corroídas, deixando exposto o cobre que não fazia parte das trilhas do circuito. Em seguida, a placa passou por um processo químico de corrosão, no qual o cobre exposto foi removido, restando apenas as trilhas protegidas pela tinta. Após a corrosão, a tinta foi retirada, revelando as conexões definitivas. Na sequência, foram realizados os furos necessários para os terminais dos componentes e a soldagem dos mesmos na placa.

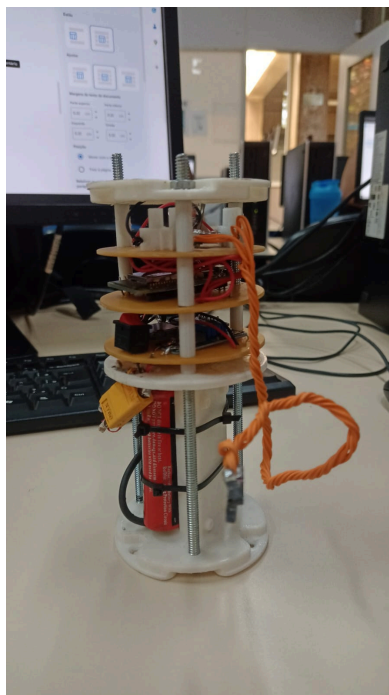


FIGURA 4: Protótipo atual, após produção, em seu suporte. Fonte: Autoria própria.

Com a montagem concluída, a PCB passou a ser testada. Durante essa fase, foram identificadas algumas falhas em soldagens e pequenas inconsistências no funcionamento, que foram corrigidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos testes de bancada realizados, foi possível validar que três squibs em paralelo exigem tensão mínima de acionamento de 0,5V, e requerem uma corrente de 1,95A. Desta forma, uma fonte que suficientemente suprime essa demanda é a bateria de 9V.

Os testes iniciais do protótipo da placa de circuito impresso (PCB) evidenciaram a viabilidade do processo de fabricação empregado e a funcionalidade do sistema eletrônico projetado. A PCB, composta por três wafers instalados em hastes, foi submetida a uma série de ensaios com o objetivo de verificar a integridade das trilhas, a eficiência das conexões elétricas e a confiabilidade do acionamento dos dispositivos pirotécnicos.

Durante a fase de testes elétricos, foram realizadas medições em diferentes pontos do circuito, confirmando a correta distribuição das tensões de alimentação e o funcionamento dos módulos integrados. Pequenos problemas de soldagem foram identificados e corrigidos, reforçando a importância do processo de inspeção e retrabalho para assegurar a robustez do protótipo. Após essas correções, o circuito mostrou-se funcional, conseguindo acionar com sucesso um squib individual, validando o desempenho do transistor TIP41C como elemento chaveador de corrente.

O desempenho dos sensores também pôde ser avaliado de forma individual e preliminar. Entretanto, um dos principais pontos críticos observados está relacionado ao acionamento dos três squibs em paralelo. Nos testes práticos, verificou-se que a bateria secundária utilizada inicialmente não foi capaz de fornecer a corrente necessária para a ignição simultânea das cargas pirotécnicas. Embora

o acionamento de apenas um squib tenha ocorrido de forma confiável, a ativação conjunta mostrou-se inviável com a configuração de energia adotada.

Essa limitação reforça a necessidade de selecionar uma bateria de maior capacidade de descarga, capaz de fornecer corrente elevada em curto intervalo de tempo. Nesse sentido, uma alternativa identificada é a utilização de uma bateria de 9V de alta descarga, adequada para suportar a demanda exigida pelo disparo simultâneo dos três squibs. Essa adaptação será fundamental para garantir a confiabilidade do sistema de ejeção, elemento crucial para o funcionamento adequado do mecanismo de recuperação do foguete.

Além da limitação energética, a montagem do sistema permitiu observar a importância do uso de trilhas robustas na PCB e de conexões elétricas bem dimensionadas, uma vez que a ignição pirotécnica exige correntes consideravelmente mais altas do que as utilizadas nos sensores e no processamento de dados. Esse aspecto deve ser levado em consideração em versões futuras da placa, de modo a garantir maior segurança e eficiência na transmissão de energia.

De forma geral, os resultados obtidos até o momento validam a arquitetura proposta para o subsistema de aviação, confirmando a integração entre os sensores, o microcontrolador ESP32 e o circuito de acionamento pirotécnico. Ainda que ajustes sejam necessários, especialmente na fonte de energia dos skibs, o protótipo demonstrou potencial para aplicação prática em voo, fornecendo não apenas a função de ejeção do paraquedas, mas também dados experimentais para análises posteriores.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do sistema eletrônico de recuperação para foguetes experimentais de 1 km de apogeu apresentou avanços significativos, desde a concepção do esquema elétrico até a fabricação e teste do protótipo da PCB. A utilização do software KiCad possibilitou a elaboração de um circuito consistente e organizado, posteriormente convertido em placa física por meio de impressão a laser e processo químico de corrosão. A placa final foi montada, testada e demonstrou capacidade de acionar com sucesso um skib (fósforo elétrico), validando a operação do protótipo.

Os testes realizados permitiram identificar e corrigir falhas de soldagem e de funcionamento, além de verificar os níveis de tensão em diferentes pontos do circuito. Entretanto, observou-se que a bateria secundária inicialmente empregada não apresentou capacidade de descarga suficiente para a ativação simultânea dos três squibs conectados em paralelo. Esse resultado demonstrou a necessidade de empregar baterias de maior capacidade de fornecimento de corrente, como uma bateria de 9V de alta descarga, para garantir a confiabilidade do sistema pirotécnico.

O trabalho também evidenciou a importância da integração entre sensores, microcontrolador e circuitos de potência, de forma a assegurar não apenas o acionamento seguro do paraquedas, mas também a coleta de dados para análises pós-voo. A combinação dos sensores BMP280 e MPU6050, associada ao microcontrolador ESP32, mostrou-se promissora para fornecer dados de altitude, aceleração e orientação, permitindo análises detalhadas com precisão satisfatória.

De maneira geral, o protótipo atendeu aos requisitos iniciais do projeto, validando a arquitetura proposta para a aviação embarcada e indicando ajustes necessários para etapas futuras. A continuidade da pesquisa deve concentrar-se na otimização do sistema de acionamento pirotécnico e na realização de testes em voo controlado, com o objetivo de consolidar a confiabilidade do sistema de recuperação.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

G.C.S., P.B., C.S. e A.C.C. contribuíram com a seleção, análise dos dados, na discussão metodológica e na análise dos dados; A.V.C. contribuiu na proposição da pesquisa, na discussão metodológica e na análise dos dados. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo Estelar Educacional, por apoiar e fazer possível a Missão SRT1, à Nova Smar SA e Marvitubos por contribuir com materiais para a confecção do projeto, e ao IFSP *Campus* Sertãozinho.

REFERÊNCIAS

BEARZI, Carlos Roberto, et. al. Implementação de aviônica modular para um foguete universitário de competição com apogeu de 250 m. **I Simpósio Gaúcho de Engenharia Aeroespacial e Mecânica**, 2023.

BOSCH SENSORTec. **BST-BMP280-DS001-11**. BMP280 Datasheet. mai. 2015. Adafruit, <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>. Acesso em 28 out. 2024.

CORRÊA, Ana Carolina Luciani et al. Desenvolvimento de foguetes de baixa altitude para auxiliar no ensino. **Anais do Computer on the Beach**, v. 12, p. 547-550, 2021.

MI PC. **SERVO MOTOR SG90 DATA SHEET**. Datasheet PDF. 2014, http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf. Acesso em 21 out. 2024.

MIRANDA, Maíra Fernanda Oliveira de. **Desenvolvimento de um sistema de recuperação para um minifoguete**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2021.

MIYADAIRA, Alberto Noboru. **Microcontroladores PIC18: Aprenda e programe em linguagem C**. Editora Érica - Sob Demanda, 2013.

PERFECTFLITE. **Firefly Altimeter**. 2017, Disponível em <http://www.perfectflite.com/Firefly.html>. Acesso em: 08 set. 2024.

RAFFA, Rodrigo Felipe et al. Construção de um motor de foguete de propelente sólido no Ensino Médio. **Entre caminhos: reflexões sobre educação, arte, ciência e**, p. 26, 2023.

ROBOEQ. **DOIT Esp32 DevKit v1**. Datasheet PDF. 2020. Roboeq.ir, Foxit PhantomPDF Printer, Disponível em: <https://roboeq.ir/files/id/4034/name/ESP32%20MODULE.pdf/>. Acesso em: 21 out. 2024.

SIEPERT, Bryan. **MPU6050 6-axis Accelerometer and Gyro**. Datasheet PDF. 06 nov. 2019. Adafruit, <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/mpu6050-6-axis-accelerometer-and-gyro.pdf>. Acesso em 28 out. 2024.

VASQUES, Brunno Barreto; DE SOUZA, Luis Carlos Gadelha; SILVA, Maurício G. **Projeto de um sistema de recuperação para foguetes de pequeno porte**. Monografia. São José dos Campos: INPE, 2021.