

Plataforma de balão estratosférico para experimentos em altitudes de até 40 km

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.025-019>

Juan Marco de Jesus Libonatti

Nível de Escolaridade: Ensino Superior Incompleto em Engenharia Aeroespacial
Instituição: Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Universidade Estadual de Oregon
Departamento de Física

Inácio Malmonge Martin

Doutor pela Universidade Estadual de Toulouse - CESR - França
Pesquisador Colaborador - Departamento de Física - ITA

Mauro Angelo Alves

Doutoramento em Física

RESUMO

A atmosfera terrestre em altitudes entre 20 e 40 km é relativamente pouco estudada devido ao acesso desafiador a essa camada atmosférica. Os aviões raramente atingem essas altitudes, e os foguetes de sondagem viajam muito rápido para permanecer nessa altitude por períodos suficientemente longos. A única maneira eficaz de estudar essa camada atmosférica é através de balões estratosféricos. Este artigo descreve um sistema desenvolvido por uma equipe de alunos do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA, Brasil), consistindo em um sistema (telemetria, eletrônica embarcada e subsistemas de aquisição e armazenamento de dados) transportado por balões estratosféricos para realizar experimentos científicos e servir como plataforma de testes para sistemas e componentes destinados ao uso em nanosats. Um voo de balão usando esta plataforma, que carregava um contador Geiger-Müller, também é descrito.

Palavras-chave: Balonismo, Radiossonda, Radiação ionizante.

1 INTRODUÇÃO

A humanidade sempre sonhou em conquistar a atmosfera. A invenção e o desenvolvimento de balões (tripulados ou não tripulados) foram as ferramentas que permitiram aos humanos viajar em grandes altitudes e explorar a atmosfera pela primeira vez. A história do balonismo se estende por mais de trezentos anos. No mundo ocidental, Bartolomeu de Gusmão demonstrou em 1709, por meio de um protótipo, como um balão de ar quente poderia alcançar o voo (Visoni e Canalle, 2009). Os irmãos Montgolfier lançaram com sucesso um balão de ar quente transportando animais domésticos em 1783; o primeiro voo de balão tripulado ocorreu apenas 2 meses após o voo dos irmãos Montgolfier e teve 2 tripulantes, Rozier e François Laurent d'Arlandes (Gillispie, 2014). O primeiro balão tripulado de hidrogênio também foi lançado em 1783 por Jacques Charles e os irmãos Robert (Watson, 1946). O balonismo científico começou em 1804, quando Gay-Lussac atingiu uma altitude de 8.000 m, medindo a temperatura, pressão e umidade do ar durante o voo (Yajima et al., 2009). Em 1902, V. F. Hess subiu a 5.000 m e, com uma simples câmara de íons, mediu como o número de raios cósmicos variava com a altitude (Riggi, 2023). Sistemas compactos e autônomos projetados para sondar a atmosfera foram introduzidos com a invenção da radiossonda em 1929 por R. Bureau. As radiossondas são normalmente usadas para medir parâmetros atmosféricos, como temperatura, umidade e pressão, à medida que sobem pela atmosfera. Radiossondas de última geração são agora produzidas por vários fabricantes em diferentes países (Ingleby, 2017)

Devido à crescente miniaturização dos componentes, à redução de seus custos e ao maior acesso à informação, estudantes universitários e do ensino médio têm se aventurado na atividade de lançamento de balões para pesquisa (e.g., Voelzke e Pereira, 2022; Lee e Conklin, 2016; Coleman e Mitchell, 2014). Normalmente, o principal interesse dos alunos está focado em obter imagens da Terra a partir de grandes altitudes, visualizar a curvatura da Terra e realizar uma série de medições ambientais, como radiação ionizante e parâmetros meteorológicos. Outros experimentos podem consistir em estudar os efeitos da radiação ionizante e das baixas temperaturas em células e tecidos animais e vegetais em função da altitude.

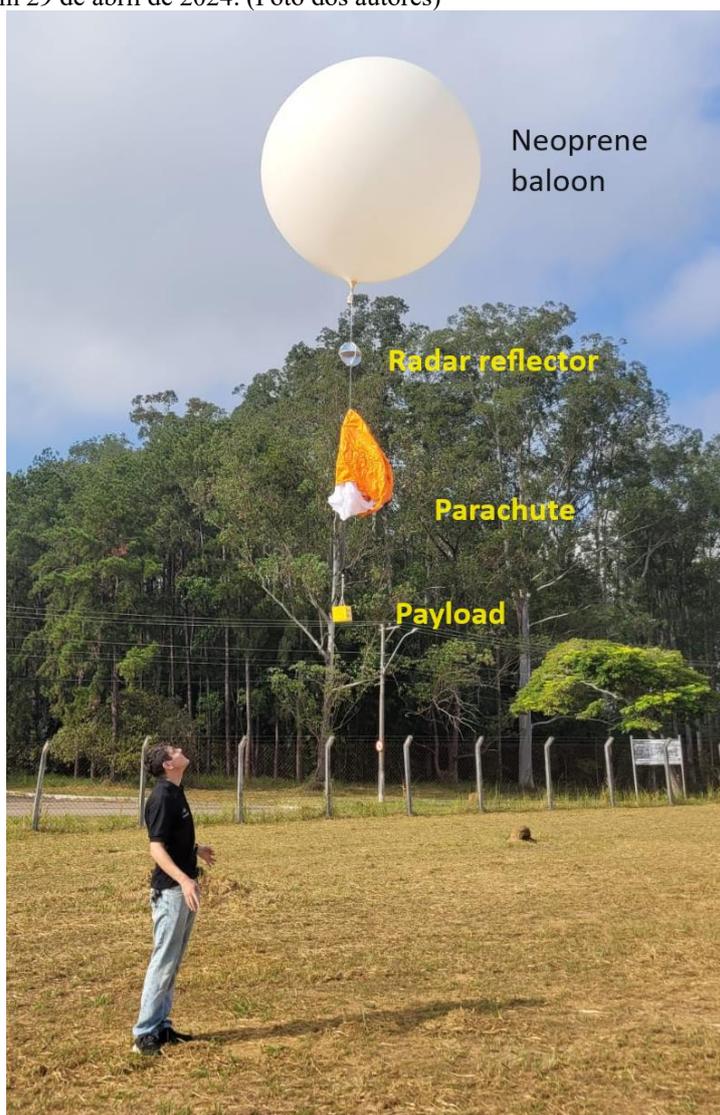
Para realizar esses estudos, é necessário desenvolver uma plataforma de baixo custo e fácil montagem para transportar esses experimentos. Essa plataforma deve incluir um sistema GPS para rastrear o balão durante seu voo, um barômetro e termômetro para medir a pressão atmosférica, subsistemas de aquisição e armazenamento de dados, além de um sistema de telemetria capaz de se comunicar com uma estação terrestre a distâncias de até 300 km. Esses lançamentos de balões devem ocorrer preferencialmente durante o período de retorno. Nesses dias, os ventos estratosféricos estão próximos de zero velocidades e sem direções preferenciais, fazendo com que o balão permaneça quase verticalmente acima de seu ponto de lançamento. Durante este período, a recuperação do experimento é mais provável e o tempo de medição é bastante aumentado (Redkar, 1981). Neste estudo, tal sistema

foi construído, e os resultados de um voo para medir e registrar a variação da radiação ionizante na atmosfera em relação à altitude são apresentados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A plataforma usada, como visto na Fig. 1, é chamada CurieSat V2, nomeada em homenagem à física ganhadora do Prêmio Nobel Marie Curie. Foi desenvolvido em 2023 pela equipe do ITACube, um grupo extracurricular de alunos do ITA focado no desenvolvimento de nanossatélites e afiliado ao Centro Espacial do ITA (CEI). O sistema foi projetado para ser uma plataforma útil, de baixo custo e acessível a qualquer pessoa interessada, contendo apenas componentes disponíveis no mercado brasileiro. Consiste em um balão TX de látex / neoprene de 1 kg da Kaymont Consolidate, um refletor de radar, um pára-quadras e uma carga útil contendo os componentes eletrônicos e um contador Geiger-Müller. O balão foi preenchido com aproximadamente 2,5 m³ de hélio. A massa total da carga útil era de cerca de 1 kg.

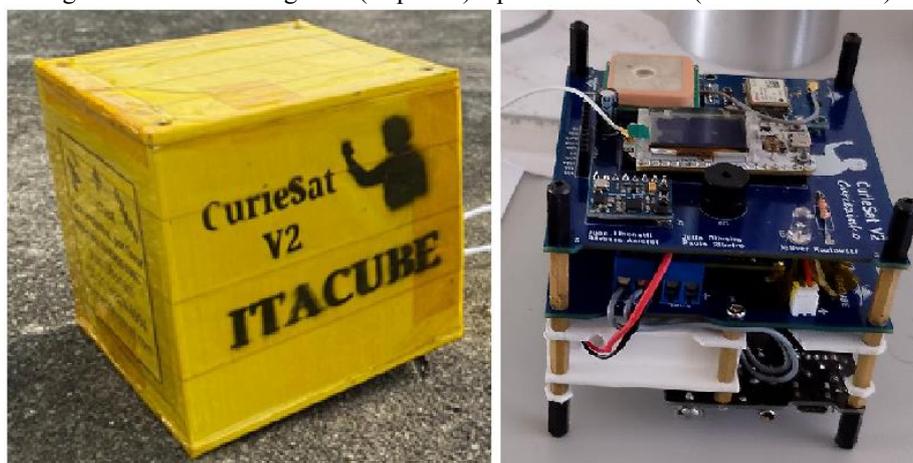
Figura 1. Plataforma de som logo após seu lançamento. Sua velocidade vertical inicial era de aproximadamente 5 m/s. Este lançamento ocorreu em 29 de abril de 2024. (Foto dos autores)



Na Fig.2 é mostrado um detalhe do contêiner de carga útil e seu interior, com alguns dos componentes eletrônicos visíveis.

A carga útil é equipada com um sistema de sensor inercial que consiste em um MPU6050 e um magnetômetro QMC5883L, um localizador GPS Neo-6m e um barômetro BMP280. Além disso, o sistema carrega uma carga útil composta por um circuito e um contador Geiger operando um tubo J305, de origem chinesa. Os dados desses sensores são coletados e processados por uma placa Heltec LoRa Wifi v2, que contém um microcontrolador ESP32. O sistema tem a capacidade de gravar dados em um cartão SD e transmiti-los diretamente através de um link de rádio LoRa de 915 MHz com uma potência de transmissão de 100mW.

Figura 2. Caixa de carga útil (esquerda) e placas eletrônicas (fotos dos autores)



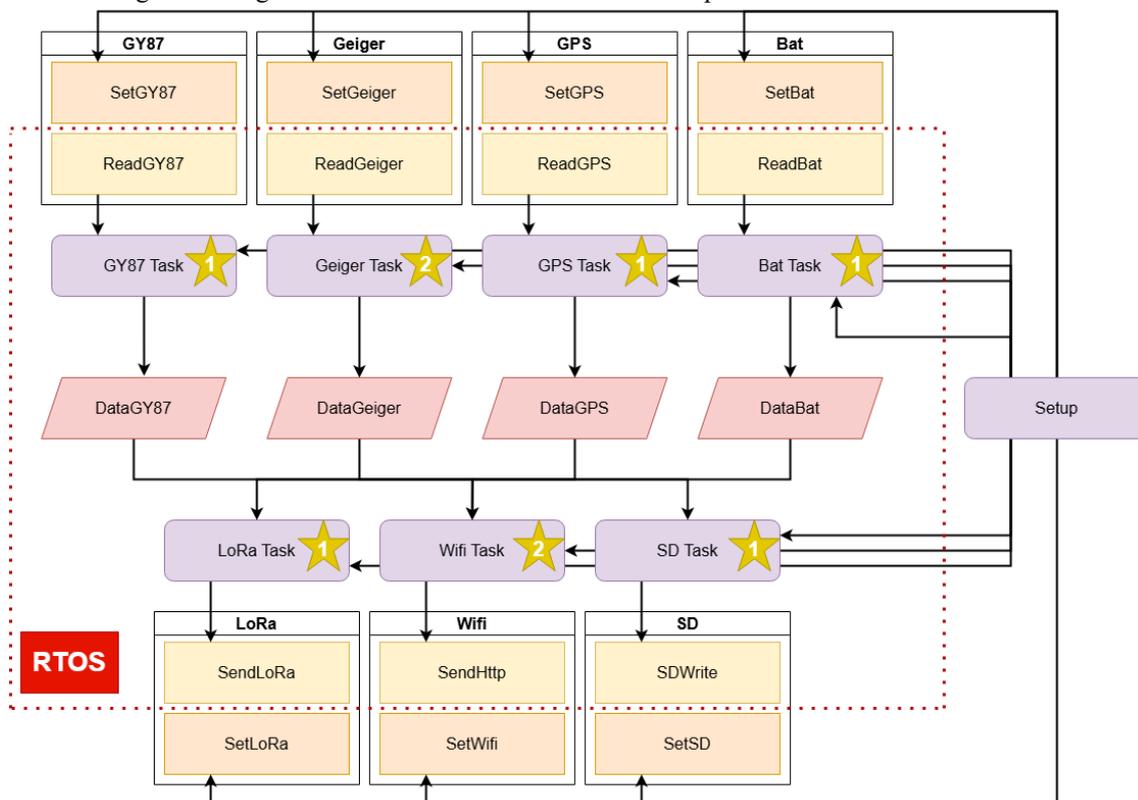
A caixa de carga útil é feita de plástico ácido polilático (PLA), com isolamento interno feito de poliestireno extrudado (XPS) e revestido externamente com Kapton. Uma bateria de polímero de lítio de 1000 mAh fornece 6 horas de autonomia ao satélite e é armazenada em um compartimento separado do satélite, também feito de PLA com isolamento XPS adicional. É importante observar que a estrutura protege completamente o tubo J305 Geiger na carga útil da luz solar, evitando possíveis interferências nas medições.

O software incorporado no sistema usa a estrutura ESP-IDF, aproveitando as funcionalidades do FreeRTOS. O sistema é baseado em dois conjuntos de tarefas, conforme mostrado na Figura 3: tarefas de coleta de dados e tarefas de consumo de dados. O primeiro grupo contém tarefas que leem dados dos sensores e os armazenam na memória compartilhada entre os processos. O segundo grupo lê a memória compartilhada e transmite os dados para a estação terrestre ou os armazena em um cartão SD. O software também implementa verificação de erros na inicialização e um watchdog do sistema para aumentar a robustez.

A estação terrestre usada para rastrear o balão consistia em uma antena Yagi com um transmissor de 915 MHz, um rádio Heltec LoRa Wifi v2 e um computador pessoal. Usando os dados

de GPS recebidos via rádio da plataforma, a estação terrestre calcula o azimute e a elevação do balão para ajuste manual da antena direcional. A plataforma também incluiu, como medida redundante, um rastreador de carros Sinotrack para localização via rede GSM para auxiliar na recuperação do experimento no solo.

Figura 3. Diagrama dos instrumentos do sistema e componentes eletrônicos associados

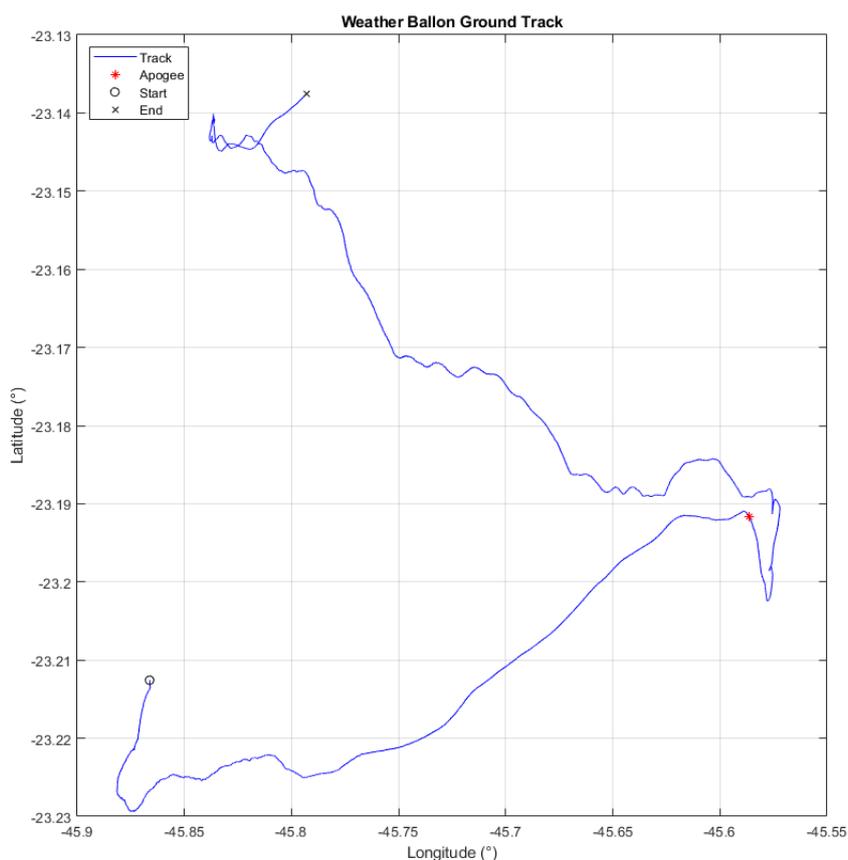


3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra a projeção na superfície da Terra do caminho percorrido pelo balão ao longo do tempo. Este gráfico é determinado pelo sinal de GPS e pelo sensor de pressão localizado no balão. A Figura 5 representa graficamente os valores de contagem de pulsos medidos pelo contador Geiger em função da altitude em relação ao solo. Esse perfil de intensidade da radiação ionizante em relação à altitude e localização fornece informações sobre a dose de radiação no ponto de voo, que é um parâmetro importante que deve ser conhecido em todo o Brasil. As medições do perfil de radiação ionizante em relação à altitude e ao tempo podem ajudar a verificar a presença de agentes externos, como experimentos nucleares, que podem introduzir esse tipo de radiação no ambiente. Além disso, grandes explosões solares podem produzir extensa radiação nuclear secundária na estratosfera da Terra, resultando em um aumento na radiação ionizante

na atmosfera da Terra. Na Fig. 5, é claramente visível o Máximo Regener-Pfotzer a uma altitude de aproximadamente 16 km (Regener e Pfozter, 1935).

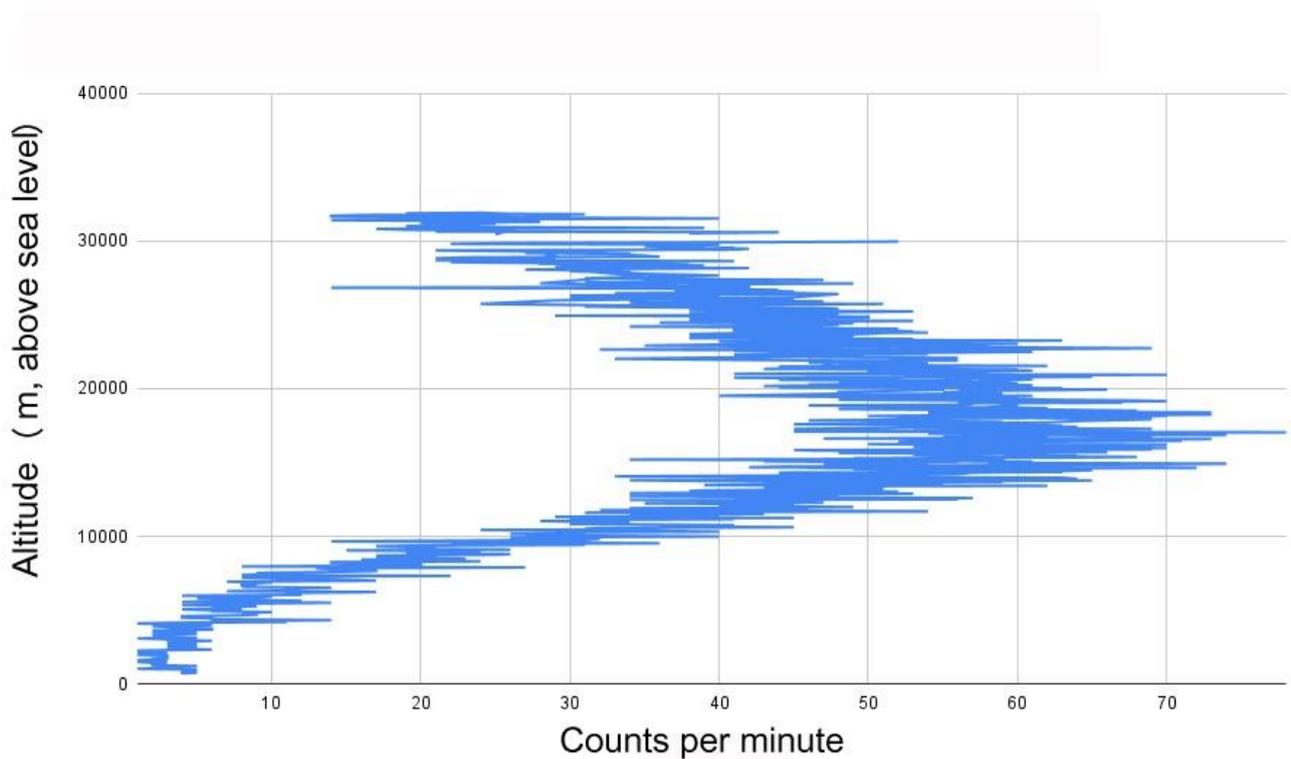
Figura 4. Trilha do balão projetada na superfície da Terra. O círculo vazio, o círculo vermelho e o "x" marcam, respectivamente, o local de lançamento, a posição da maior altitude alcançada pelo balão e o local de queda.



4 CONCLUSÃO

Este trabalho, realizado por alunos do ITA de várias áreas, demonstra um sistema simples, mas importante, para outros grupos no Brasil usarem para realizar vários tipos de medições entre o solo e 40 km de altitude. Para tais medições, um sistema de telemetria confiável é essencial para manter um link contínuo terra-balão-terra, mesmo em distâncias horizontais de até 300 km. Um bom receptor GPS e sensor de pressão atmosférica a bordo do balão permitiram a determinação da altitude, latitude e longitude do balão, bem como sua recuperação no solo. Este sistema de telemetria balão-solo testado com sucesso permite que as partes interessadas conduzam experimentos intrigantes na atmosfera inferior da Terra. Nossa equipe do ITA aproveitou esta oportunidade para determinar o perfil de radiação ionizante entre o solo e 40 km de altitude na região de São José dos Campos, SP, Brasil, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5. Contagens por minuto de radiação ionizante em função da altitude medida pelo contador Geiger-Müller. O Regener-Pfotzer Maximum é observado a uma altitude de aproximadamente 16000 m. O tempo total de voo foi de cerca de 2 h e 30 min.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e ao Instituto de Aeronáutica e Espaço Divisão de Ciências Atmosféricas (IAE/ACA) pelo apoio logístico.



REFERÊNCIAS

Coleman, J. S., & Mitchell, M. (2014). Active learning in the atmospheric science classroom and beyond through high-altitude ballooning. **Journal of College Science Teaching, 44*(2), 26-30.*

Gillispie, C. C. (2014). **The Montgolfier brothers and the invention of aviation 1783-1784: With a word on the importance of ballooning for the science of heat and the art of building railroads** (Vol. 684). Princeton University Press.

Ingleby, B. (2017). **An assessment of different radiosonde types 2015/2016** (Vol. 807). Reading, UK: European Centre for Medium Range Weather Forecasts.

Lee, W., & Conklin, N. B. (2016, October). Improving student learning experience via extracurricular undergraduate research in near-space ballooning. In **2016 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)** (pp. 1-5). IEEE.

Redkar, R. T. (1981). High altitude flights in equatorial regions. **Advances in Space Research, 1*(11), 169-182.*

Regener, E., & Pfozter, G. (1935). Vertical intensity of cosmic rays by threefold coincidences in the stratosphere. **Nature, 136*(3444), 718-719.*

Riggi, F. (2023). **Messengers from the Cosmos**. UNITEXT for Physics.

Visoni, R. M., & Canalle, J. B. G. (2009). Bartolomeu Lourenço de Gusmão: O primeiro cientista brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física, 31**, 3604-1.

Voelzke, M. R., & Pereira, A. J. D. L. (2022). Sending seeds and monitoring environmental data from the flight of a stratospheric balloon as a motivator of interest in space sciences by basic education students. **44th COSPAR Scientific Assembly**, 44, 3138.

Watson, E. C. (1946). The first hydrogen balloon. **Engineering and Science, 9*(11), 12-16.*

Yajima, N., Izutsu, N., Imamura, T., & Abe, T. (2009). **Scientific ballooning: Technology and applications of exploration balloons floating in the stratosphere and the atmospheres of other planets** (Vol. 112). Springer Science & Business Media.