

Modelagem computacional da trajetória de um balão de alta altitude

Chrystian Jones Maia Campos*, Christopher Shneider Cerqueira†,

XXIX Encontro de Iniciação Científica do ITA – XXIX ENCITA/2024

Resumo

Este artigo aborda a implementação de um modelo de previsão de trajetória para balões de alta altitude (HAB) no contexto de missões responsivas, caracterizadas por sua curta duração e potencial para aplicações específicas e de baixo custo. Com a utilização de HAB, é possível desenvolver plataformas satelitais para fins de pesquisa. A previsão precisa do movimento dos HAB's tornou-se crucial devido ao aumento do uso dessas plataformas e à necessidade de um bom planejamento e uma consciência situacional precisa durante as operações. O modelo proposto prevê tanto as trajetórias horizontais quanto verticais e possibilita um melhor planejamento das operações em campo.

Palavras-chave: Balão de alta-altitude. HAB. Simulação. Modelagem dinâmica.

1 Introdução

Missões espaciais de baixíssima órbita, caracterizadas por sua curta duração, destacam-se em projetos de baixo custo e aplicações específicas, oferecendo um grande potencial de exploração espacial. O uso de lançadores pequenos, veículos suborbitais e HAB's permite um acesso rápido ao espaço, sendo útil para tarefas específicas, apoios a missões maiores e experimentos acadêmicos. Um exemplo é o projeto ITACUBE, liderado pelo ITA e financiado pelo CNPq, que visa desenvolver plataformas satelitais com fins de pesquisa.

De acordo com Kreider (1975), a previsão precisa do movimento de um HAB tornou-se crucial devido ao aumento no uso dessas plataformas e a busca por alcançar maiores altitudes com sistemas mais sofisticados. Isso exige o uso de modelos computacionais que possam prever com acurácia o comportamento dos balões, proporcionando melhor planejamento e condução das operações. O objetivo deste trabalho portanto é propor um modelo de previsor de trajetória de um HAB de modo a dar suporte às operações do projeto ITACUBE.

2 Materiais e métodos

De acordo com o modelo proposto por Carreira (2019), o voo do balão é composto por uma primeira fase de ascensão até uma altitude média de 30 km e uma segunda fase de descida em que a carga útil é suportada por um pára-quedas. Esse modelo assume aceleração vertical nula e foi implementado utilizando-se a ferramenta computacional MATLAB®.

A taxa de ascensão é dada pela Eq. 1 em que R se refere ao raio do balão em metros, calculado utilizando-se a lei de Boyle conforme Levine (1978), g é a aceleração da gravidade em m/s^2 , $C_D = 0.3$ o coeficiente de arrasto da esfera, m_{tot} a massa total do conjunto em kg e ρ_a a densidade do ar atmosférico calculada pelo modelo de atmosfera proposto pela NASA (2019) em kg/m^3 .

$$\dot{z}_a = \sqrt{\frac{8Rg}{3C_D} \left(1 - \frac{3m_{tot}}{4\pi\rho_a R^3}\right)} \quad (1)$$

Similarmente, a taxa de queda do pára-quedas é dada pela Eq. 2 em que m_{c+p} é a massa da carga mais pára-quedas em kg , $\rho_a(h)$ é a densidade do ar na altitude corrente A_p a área do pára-quedas em m^2 .

$$\dot{z}_a = \sqrt{\frac{2m_{c+p}g}{\rho_a(h)A_p C_D}} \quad (2)$$

As taxas de variação da Latitude (ϕ) e Longitude (λ) em ($^\circ/s$) são dadas pela Eq. 3.

$$\begin{aligned} \frac{\partial\phi}{\partial t} &= \frac{180}{\pi} \frac{w_v}{R} \\ \frac{\partial\lambda}{\partial t} &= \frac{180}{\pi} \frac{w_u}{R \cos(\phi \frac{\pi}{180})} \end{aligned} \quad (3)$$

Dessa forma, a trajetória do balão pode ser modelada pela Eq. 4

$$\begin{aligned} \phi_k &= \phi_{k-1} + \frac{\partial\phi}{\partial t}_{k-1} \Delta t \\ \lambda_k &= \lambda_{k-1} + \frac{\partial\lambda}{\partial t}_{k-1} \Delta t \\ h_k &= h_{k-1} + \dot{z}_{a_{k-1}} \Delta t \end{aligned} \quad (4)$$

Os dados de terreno foram obtidos da base de dados topográficos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2019). Os dados de vento foram utilizados com bases nos dados coletado no lançamento real.

*Instituto Tecnológico de Aeronáutica, bolsista PICV-CNPq, chrystian.maia@ga.ita.br.

†Instituto Tecnológico de Aeronáutica, orientador, christopher.cerqueira@gp.ita.br

3 Resultados e discussão

Os dados apresentados a seguir contrastam o desempenho do modelo proposto com os dados coletados de um lançamento real conduzido pela ITACUBE no dia 29 de abril de 2024. Os dados de vento foram obtidos calculando-se as derivadas do deslocamento horizontal realizado na ausência dos dados de vento no dia.

A Figura 1 mostra as trajetórias obtidas na simulação em comparação com a trajetória realizada pelo balão. Verificou-se bastante proximidade entre as trajetórias com um erro máximo de posição de 6,5 m.

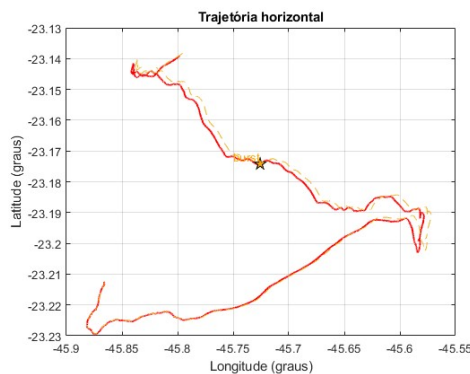


Figura 1 – Comparativo entre as trajetórias horizontais.

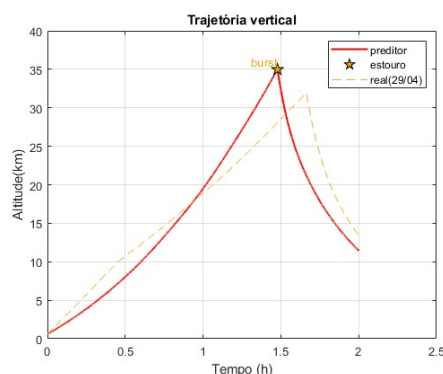


Figura 2 – Comparativo entre as trajetórias verticais.

Para a trajetória vertical as discrepâncias entre o modelo e o realizado foram mais significativas conforme a Fig. 2. Verificou-se que o modelo apresentou uma taxa de ascensão maior em relação à verificada na prática. Ademais a altitude de colapso do balão calculada foi superior em quase 4km em relação à real. A taxa de queda do pára-quedas prevista também ficou superior em módulo. As aproximações pela lei de Boyle, o modelo para cálculo da altitude de estouro do balão e a consideração de que a aceleração vertical nula ao longo da subida podem ter levado aos erros observados.

A trajetória em três dimensões pode ser observada na Fig. 3. Nesta imagem os dados topográficos foram inseridos. Outro ponto a se destacar é que o ponto final da trajetória foi considerado o ponto de perda de

comunicação com o balão no lançamento real, o que explica o final da trajetória mais de 10 km acima do solo.

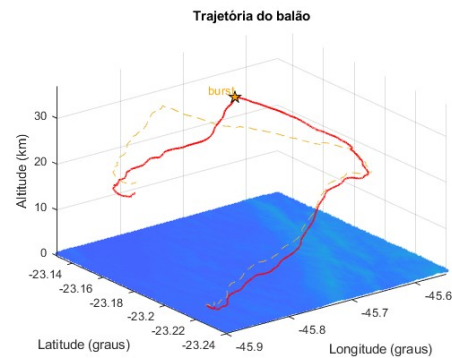


Figura 3 – Comparativo entre as trajetórias.

4 Conclusões e recomendações

Depreende-se pois deste trabalho que foi possível prever com boa acurácia a trajetória de um HAB através de um modelo computacional. Os erros na posição horizontal ficaram inferiores a dez metros permitindo uma previsão bem adequada do local de queda do artefato. Já para o movimento vertical, as assunções realizadas permitiram erros da ordem de 5 km, podendo ser melhor desenvolvida em trabalhos futuros.

5 Agradecimentos

Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Associação de Ex-alunos do ITA (ITAEx) pelo suporte ao projeto.

Referências

CARREIRA, J. F. F. *High-altitude Balloon Trajectory Prediction with Corrections based on Real-Time Observations*. Lisboa, Portugal: [s.n.], 2019. Thesis.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Banco de dados geomorfológicos do Brasil*. 2019. <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>>. Acesso em: 2024-08-07.

KREIDER, J. F. Mathematical modeling of high altitude balloon performance. In: *5th aerodynamic deceleration systems conference*. [S.l.: s.n.], 1975. p. 1385.

LEVINE, I. N. *Physical Chemistry*. Brooklyn, NY: University of Brooklyn, 1978.

NASA. *Earth Atmosphere Model*. 2019. <<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/atmosmet.html>>. Accessed: 2019-03-15.