



MVO-31 Laboratório 1*

Flávio Ribeiro / flaviocr@ita.br
Mauricio Morales / morales@ita.br
Guilherme Soares / gssoares@ita.br

2019

Objetivo



Figura 1: Pouso de planador na competição de 2008 em Lüsse, Alemanha.

*Baseado em exercício preparado pelo Prof. Flávio Silvestre

O objetivo desta aula prática começar a usar o MATLAB para aplicações de mecânica do voo. Inicialmente, você criará a tabela que relaciona uma atmosfera real (dadas a temperatura de operação e a altitude-pressão da atmosfera real onde a aeronave opera) com a atmosfera ISA em termos de densidade, através do conceito de altitude-densidade. O exercício servirá para fixar os conceitos vistos em sala.

A seguir, como motivação do próximo tema, programaremos a simulação das equações do movimento longitudinal da aeronave segundo a aproximação ponto-massa, usada para as aplicações de desempenho. A primeira simulação abordada é a mais simples no estudo do desempenho: o planeio. Neste caso, a aeronave não possui motor (caso de um planador), ou o mesmo está desligado (moto-planador com motor desligado, ou aeronave com perda total dos motores). Para o planeio, os dois casos de interesse, do ponto de vista do desempenho, são:

- máximo alcance: distância horizontal percorrida;
- máxima autonomia: tempo de voo.

Exercício 1

Para criar a tabela que relaciona a atmosfera real com a atmosfera ISA em termos de altitude-densidade, dadas a temperatura e a altitude-pressão, comece criando a função de atmosfera padrão (ISA), da forma:

$$[\rho, T, p] = \text{atmosferaISA} (H)$$

A seguir, discuta em grupo, com base no material do curso, como criar um gráfico que relacione altitude-pressão com altitude-densidade, para diferentes temperaturas. Obtenha o gráfico.

Exercício 2

Considere um planador biplace com as seguintes características:

- massa (sem passageiros, nem tanques de água): 200kg
- massa do piloto: 100kg
- massa do co-piloto: 90kg

- modelo aerodinâmico:

$$\begin{aligned}\text{sustentação: } L &= \frac{1}{2}\rho V^2 S C_L \\ \text{arrasto: } D &= \frac{1}{2}\rho V^2 S C_D\end{aligned}$$

- polar de arrasto

$$C_D = C_{D0} + kC_L^2$$

$$- C_{D0} = 0,015$$

$$- k = 0,025$$

- área de referência (área da asa): $S = 16\text{m}^2$

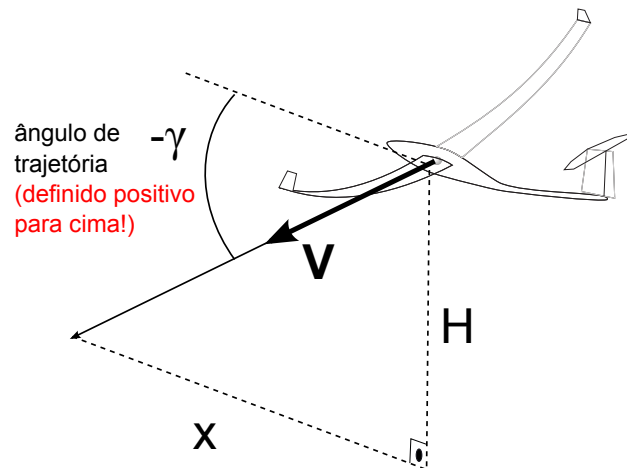


Figura 2: Esquema do voo planado

As equações que governam o movimento longitudinal da aeronave segundo a aproximação ponto-massa, na ausência de força propulsiva, são dadas por (você verá em breve nas aulas teóricas):

$$\dot{V} = \frac{-D - mg \sin \gamma}{m}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{L - mg \cos \gamma}{mV}$$

$$\dot{H} = V \sin \gamma$$

$$\dot{x} = V \cos \gamma$$

onde:

- V [m/s] é a velocidade da aeronave em relação à massa de ar, TAS (estamos considerando que a atmosfera está em repouso);
- γ [rad] é o ângulo de trajetória (ângulo entre o vetor velocidade e o horizonte, positivo para cima);
- H [m] é a altura da aeronave em relação ao solo;
- x [m] é o deslocamento horizontal da aeronave.

A aeronave foi abandonada pelo rebocador a 2000m em relação ao solo, em um terreno que está em nível do mar. Considere a aceleração da gravidade de valendo $9,8\text{m/s}^2$.

Pedem-se:

(A) Considere a aeronave voando em atmosfera padrão (ISA). A condição de voo é dada pelo coeficiente de sustentação:

$$C_L = \sqrt{\frac{C_{D0}}{k}}$$

Resolva o sistema de equações para o voo planado na condição acima utilizando a função `ode45` do MATLAB. Para os **valores iniciais** da velocidade e do ângulo de trajetória adote:

$$V_{\text{inicial}} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho S}} \frac{1}{(C_L^2 + C_D^2)^{1/4}}$$

$$\gamma_{\text{inicial}} = -\arctan\left(\frac{1}{E}\right)$$

onde E é a chamada eficiência aerodinâmica da aeronave, dada por:

$$E = \frac{C_L}{C_D}$$

Forneça um gráfico da altura da aeronave *versus* a distância horizontal percorrida nesta situação. **Não se esqueça de apontar no gráfico os nomes dos eixos bem como as unidades!**

Forneça também um gráfico contendo as velocidades, em m/s, *versus* tempo.

Determine o alcance [km] e a autonomia [min] do planador para a condição fornecida. Para a determinação do alcance e da autonomia, considere a função `interp1` de interpolação do MATLAB.

(B) Considere as seguintes situações de voo:

- $C_L = \sqrt{\frac{C_{D0}}{k}}$ (# 1)
- $C_L = \sqrt{\frac{3C_{D0}}{k}}$ (# 2)
- $C_L = 0,5$ (# 3)
- $C_L = 1,0$ (# 4)
- $C_L = 1,4$ (# 5)

Para cada condição acima, em atmosfera ISA, preencha a tabela abaixo:

#	C_L	$E = \frac{C_L}{C_D}$	V_{inicial} [m/s]	γ_{inicial} [°]	Alcance [km]	Autonomia [min]
1						
2						
⋮						
5						

Qual a condição de máxima autonomia? Qual a condição de máximo alcance?

(C) Mostre como os parâmetros acima se alteram (máxima autonomia e máximo alcance) se a temperatura atmosférica estiver 20 graus Celsius acima da temperatura ISA (ISA + 20).

(D)

1. Faça um gráfico de velocidade versus gamma (você pode usar os dados obtidos na questão B), o que representa o máximo encontrado?
2. Faça um gráfico de velocidade versus alcance, o que representa o máximo?

3. Faça um gráfico de razão de descida versus velocidade. O que representa a tangente a cada ponto deste gráfico? Qual o significado da tangente máxima, compare o valor máximo com o obtido em 1 e 2.
4. Usando seus conceitos de física para uma aeronave em equilíbrio (lembre que para ela deve estar em equilíbrio de forças e rotação) e sabendo que o profundor é responsável por manter este equilíbrio no eixo longitudinal, o que aconteceria com cada um dos gráficos acima caso o CG fosse alterado (dianteiro e traseiro), por que?

(E)

1. Discuta operacionalmente, qual é a informação gráfica para o piloto sabendo que um painel de um planador costuma ter as informações da Figura 3.
2. Caso você fosse o criador do projeto de um planador, você colocaria a indicação de ângulo de ataque da sua aeronave? Você deve discutir baseado-se, pelo menos, nas informações de velocidade de planeio ótima restrito a critérios de segurança.



Figura 3: Painel

(F) O acidente (devido a perda material da aeronave) do voo US 1549 da companhia US Airways teve que realizar um pouso de emergência devido

a perda dos motores (você pode descobrir mais sobre este evento aqui: <http://avherald.com/h?article=41370ebc>).

- Baseado nos conceitos que aprendeu sobre voo planado discuta se é interessante haver uma velocidade de planeio ótima em aeronave motorizada e para que ela seria interessante, bem como qual parâmetro deseja-se otimizar.
- Ainda, discuta, baseado na manutenção de uma velocidade de planeio ótima (segundo questão 1) o que aconteceria com o desempenho da aeronave devido a necessidade de realizar curvas para alinhamento e pouso no rio Hudson? Neste caso seria interessante haver outras velocidades ótimas de planeio? Caso existissem outras velocidades ótimas de planeio seria seguro operacionalmente (contextualize seus argumentos dentro de um cenário de pane da aeronave).

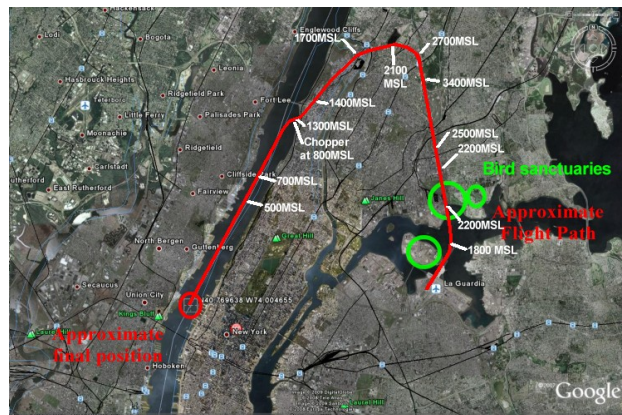


Figura 4: Mapa do pouso de emergência