



III Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica
III EnICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Câmpus Araraquara
19 e 20 de Setembro de 2018



ESTUDO DE FENÔMENOS AEROELÁSTICOS EM MODELOS DE 1 E 2 GRAUS DE LIBERDADE

GAMALIEL BRUM NEVES¹; ANDREIA RAQUEL SIMONI SALDANHA²

¹Graduando em Tecnologia em Manutenção de Aeronaves, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus São Carlos, brum.gamaliel@aluno.ifsp.edu.br

²Docente da área de Indústria, asimoni@ifsp.edu.br

Área de conhecimento: Sistemas Dinâmicos - 1.01.03.04-0

RESUMO: Os fenômenos aeroelásticos ocorrem devido à flexibilidade das estruturas aeronáuticas. Este estudo é particularmente importante na indústria aeronáutica devido a busca constante por materiais leves para a construção aeronáutica, que por consequência leva a estruturas mais flexíveis, suscetíveis à fenômenos de ressonância aeroelástica. Existem vários problemas aeroelásticos que ocorrem em estruturas aeronáuticas, tais como divergência, reversão de comandos, *flutter*, *buffeting*, e compreendê-los é extremamente importante para o domínio das forças que regem o movimento e a interação com a estrutura da aeronave. Tais fenômenos podem ser estudados através de sistemas de um grau de liberdade, que representam uma reduzida parte dos sistemas pertinentes ao mundo físico. Neste trabalho será estudado o modelo matemático do sistema de um grau de liberdade através de suas equações que serão construídas em forma de rotinas na plataforma *Scilab*. Através das rotinas serão construídos gráficos no domínio da frequência para identificação dos fenômenos aeroelásticos presentes. Na segunda etapa será analisado o sistema de dois graus de liberdade e os fenômenos correspondentes.

PALAVRAS-CHAVE: aeroelasticidade; fenômenos aeroelásticos; graus de liberdade; sistemas dinâmicos.

INTRODUÇÃO

Esse trabalho tem como objetivo o estudo dos sistemas dinâmicos na área da aviação. Para isso serão estudados e analisados os fenômenos aeroelásticos em modelos aerodinâmicos de 1 e 2 graus de liberdade. A aeroelasticidade é um importante campo de estudo na aeronáutica e os fenômenos aeroelásticos ocorrem devido à flexibilidade das estruturas das aeronaves, sendo intrínseco ao seu deslocamento no ar e não se pode separá-los. No estudo da aeroelasticidade destacam-se os seguintes fenômenos; flutter, flutter de stol, divergência, buffeting, inversão de comandos, LCO- oscilações de ciclo limite, whirl flutter, buzz flutter (Da SILVA, R.G.A., 2009). São fenômenos extremamente importantes para o profissional da área da aviação, independentemente de sua atividade laboral específica. Ter ciência de tal fenômeno e compreender como a aeroelasticidade opera nas estruturas das aeronaves pode influenciar diretamente nos projetos, pesos, extremidades, materiais de fabricação e manutenção das aeronaves

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A teoria clássica da elasticidade lida com a tensão e a deformação de um corpo elástico no qual incidem forças externas ou deslocamentos. Para compreender como as estruturas das aeronaves sofrem os fenômenos aeroelástico é necessário conhecer as forças e como elas atuam nessas estruturas (PORTELA, 2004). As forças aeroelásticas são diretamente influenciadas pelas oscilações mecânicas, quando não há forças externas atuando em um corpo, dá-se o nome de Vibração Livre, porém, em contrapartida, Vibração Forçada é aquela que ocorre quando o sistema sofre a ação de forças externas durante o movimento. As forças que atuam sobre o sistema podem ser determinísticas ou aleatórias, determinando uma característica do movimento vibratório.

A aeroelasticidade subdivide-se em estática, que pode ocorrer quando há pouca variação no movimento sem aceleração e/ou velocidade ou não possuem valores significativos, como em voo de cruzeiro, e dinâmica, que ocorre quando o movimento varia significativamente com tempo. Possui acelerações e velocidades significativas, o que implica no surgimento das componentes de inércia que interagem com as componentes elástica e aerodinâmicas (BISPLINGHOFF & ASHLEY, 1962).

O flutter é uma autoexcitação de dois ou mais modos de vibração de um sistema, devidamente alterada e realimentada pelo escoamento de um fluido. Pode vir a causar vibrações que crescem exponencialmente levando a estrutura a uma falha dinâmica. Porém se um aerofólio oscilar próximo a sua condição de stol em regime permanente o fenômeno de stol passará a ter um caráter dinâmico, sendo chamado de stol-flutte (DA SILVA, R. G. A, 2009). Os demais fenômenos são:

- Divergência: Ocorre quando a superfície sustentadora da aeronave sofre deflexão devido ao carregamento aerodinâmico, aumentando a carga sobre o perfil, se esta carga sobre passa a carga limite a estrutura da aeronave pode falhar;
- Flutter de stol: É igual ao flutter clássico, porém, leva em consideração os efeitos do descolamento da camada limite, já que ocorre em uma superfície de sustentação quando esta opera com altos ângulos de ataque no escoamento durante, ao menos, parte de cada ciclo de oscilação;
- Buffeting: É a resposta estrutural à excitação produzida pelo choque induzido por separação do escoamento, ou seja, a separação causada por movimentos turbulentos das camadas de ar em torno da própria aeronave;
- Inversão de Comandos: As deformações elásticas dos componentes onde se montam as superfícies de controle podem diminuir a eficiência dos controles levando a uma reversão dos mesmos. Quando isso ocorre a aeronave responde de forma contrária aos comandos que o piloto exerce;
- Whirl Flutter: No fenômeno de Whirl Flutter há a interação entre a aerodinâmica das pás, a dinâmica dos conjuntos e a elasticidade da estrutura estudada;
- Buzz Flutter: Ocorre em aeronaves voando em regime transônico, durante o voo, pacotes de ar passam por sobre as asas, os quais as atingem como ondas de choque. Se durante este processo as asas oscilarem as ondas de choque passearão por sobre as asas e atingirão uma superfície de controle.

METODOLOGIA

Para desenvolvimento do trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico sobre sistemas dinâmicos e aeroelasticidade. As equações diferenciais foram estudadas e os movimentos caracterizados como movimento livre com e sem amortecimento e movimento forçado. O modelo de 1 grau de liberdade foi estudado e a equação diferencial de 2ª ordem que rege o modelo foi identificada e as variáveis classificadas. Após identificadas as equações do modelo da seção típica de 1 grau de liberdade, na segunda fase do projeto, serão construídos gráficos no *software Scilab*, através de modelagem de equações diferenciais que representam sistemas livres não-amortecidos com 1 gdl.

Serão inseridas diferentes condições iniciais, e a partir de tais informações, serão obtidas diferentes amplitudes de vibrações por meio de gráficos gerados no *Scilab*, e então, tais respostas serão analisadas.

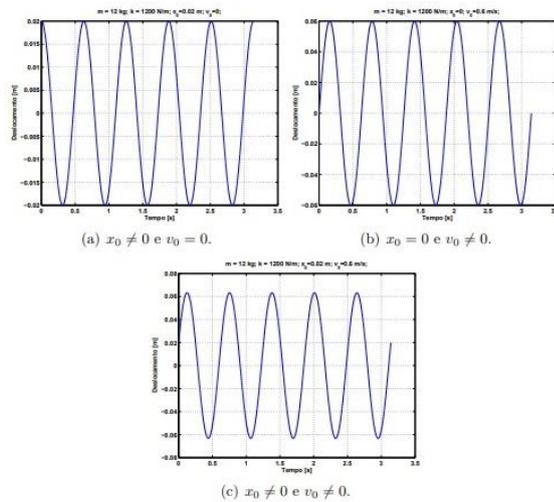


Figura 1: Respostas de sistema livre não-amortecido com 1 gdl para várias condições iniciais diferentes.
Fonte: Da Silva. Samuel, 2009, p. 34

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizado um estudo acerca das equações diferenciais e fenômenos aeroelásticos. Os primeiros resultados foram a compreensão dessas equações e como estas descrevem de forma matemática as vibrações nas estruturas das aeronaves, e bem como, tais vibrações podem afetar a durabilidade das estruturas e conseqüentemente a segurança de passageiros.

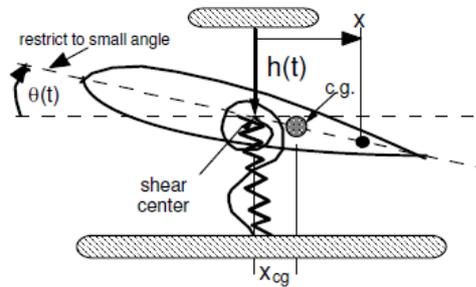


Figura 2: Demonstração de 1 grau de liberdade
Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/12246363/>

Para compreender como as estruturas das aeronaves sofrem os fenômenos aeroelásticos é necessário conhecer as forças e como elas atuam nessas estruturas. Muitas variáveis estão envolvidas na análise da solução de um modelo, por exemplo,

A equação que rege o modelo de 1 grau de liberdade e sua solução é dada por:

$$\begin{aligned} \bar{K}_T &= K_T(1 - \bar{q}) \\ \bar{K}_T &< 0 \\ \theta(t) &= \theta_1 e^{pt} + \theta_2 e^{-pt} \\ p &= \pm i \sqrt{\frac{-\bar{K}_T}{I_\theta}} = \pm \sqrt{\frac{\bar{K}_T}{I_\theta}} \end{aligned} \quad (1)$$

Onde,

$\overline{K_T}$ é o coeficiente de rigidez aeroelástica

θ é o ângulo de ataque

p é o movimento solução

Análise das possibilidades da solução: se tivermos a rigidez aeroelástica menor que zero, o sistema apresentará uma solução composta por dois expoentes reais, um positivo e outro negativo. Esta solução caracteriza um crescimento exponencial de uma das parcelas da solução para θ com o tempo indicando a instabilidade. Note que é análogo ao caso estático, rigidez aeroelástica menor que zero implica em uma instabilidade aeroelástica, no caso a divergência (DA SILVA, R. G. A, 2009)

CONCLUSÕES

A aeroelasticidade é de grande importância para todos os profissionais da área da aviação independentemente de sua área laboral, pois a partir dela é possível conhecer os fenômenos aeroelásticos que influenciam diretamente na projeção, materiais e manutenção das aeronaves.

Conhecer como o flutter e as inversões de comando ocorrem influenciam na construção das estruturas das aeronaves. É importante ter ciência destes fenômenos, pois estes não influenciam apenas no processo de design da aeronave e em sua manutenção, mas também enquanto ela está em operação de voo. Vários acidentes já foram documentados por consequência de fenômenos aerolásticos (DA SILVA, T. M. L, 2010).

A falta de compreensão de suas origens e como ela se desenvolve ao longo do deslocamento das aeronaves pelo ar pode acarretar em grandes danos para estrutura das aeronaves, podendo colocar em risco de segurança pilotos e passageiros. É um fenômeno intrínseco ao material, estrutura da aeronave e forças (aerodinâmicas e inerciais) físicas, ou seja, não há como eliminar este fenômeno e para evitar danos é necessário pesquisar o seu desenvolvimento e ocorrência, para que seja possível contorná-lo com a aplicação de métodos adequados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IFSP pelo apoio financeiro através do PIBIFSP.

REFERÊNCIAS

DA SILVA, T. M. L, **Aeroelasticidade Transônica de Aerofólio com Arqueamento Variável**, 2010. Dissertação. (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DA SILVA, R.G.A, **Aeroelasticidade I**, 2009.

Material de Estudos- Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José Dos Campos, São Paulo.

BISPLINGHOFF, R. L.; ASHLEY H.; HALFMAN, R. L., **Aeroelasticity**, Cambridge, 1955.

CUNHA, F.S. **Apostilla do curso Estruturas Aeroespaciais**. Lisboa: Universidade Tecnica de Lisboa, 2004.

PORTELA, M. **Aeroelasticidade da seção típica com quatro graus de liberdade**, 2004. 57f.

Trabalho de conclusão de curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Jose dos Campos.