



## ANÁLISE ESTRUTURAL DOS ESFORÇOS SOFRIDOS DURANTE O VOO DE UM AVIÃO BOEING 737-400 USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

**Matheus Henrique Glória de Freitas Cardoso**

**Pedro Américo Almeida Magalhães Júnior**

matheus.gfcardoso@outlook.com

paamjr@gmail.com

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil – 30535-610.

**Resumo:** *O objetivo deste trabalho é avaliar de forma simplificada o comportamento da estrutura de avião Boeing 737-400 durante o voo. A análise estrutural é efetuada por meio de uma análise aerodinâmica do fluxo de ar em torno do avião durante o voo em várias velocidades. Com esta análise é possível levantar os esforços sofridos pelo avião. Uma vez levantado as forças e momentos aplicados no avião pelo fluxo de ar. Em seguida é feita uma análise da pressão em torno do avião nos mostrando a influência da pressão no avião em diversas velocidades de voo. São feitas várias simplificações na modelagem da análise estrutural computacional por elementos finitos, mas sem perder a precisão e a veracidade dos fenômenos naturais envolvidos.*

**Palavras-Chaves:** *Análise estrutural, Aerodinâmica, Esforços em Voo, Análise por elementos finitos, Métodos computacionais.*

## 1 INTRODUÇÃO

A família Boeing 737 é um avião comercial a jato, bimotor, para voos de pequena ou média distância. O avião Boeing 737-400, sendo de fuselagem estreita com corredor único, ele possui um máximo de 188 assentos (The Boeing 737-400, 2016).

Quando se tem a necessidade de resolver um problema de análise de estrutura, o MEF (método de elementos finitos) se apresenta para auxiliar os engenheiros. Este método tem como objetivo a determinação do estado de tensão e deformação de um sólido de geometria arbitrária (Azevedo, 2003).

O CFD (Computational Fluid Dynamics) é um ramo da mecânica dos fluidos que utiliza métodos numéricos e algoritmos para resolver e analisar problemas que envolvam fluxo de fluidos (Manish et al., 2013). Utilizando o CFD, foi efetuada uma análise aerodinâmica do fluxo de ar em torno do avião durante o voo em diversas velocidades.

Devido aos grandes custos financeiros envolvidos em voos testes, o CFD e tuneis de vento entraram com uma grande vantagem para o desenvolvimento destas aeronaves (Forrester et al., 2004).

## 2 METODOLOGIA

Para realização do trabalho, foi utilizado o modelo tridimensional de um Boeing 737-400, demonstrado na Fig. 1. Após isso foi utilizado o software Ansys para desenvolver aerodinâmica do mesmo.



Figura 1. Modelo Boeing 737-400

### 2.1 Análise aerodinâmica

A figura 2 apresenta a geometria do avião redefinida a fim de deixá-lo como um único sólido, removendo os detalhes como portas e janelas, para simplificar a análise.



Figura 2. Boeing 737-400 como um único sólido

Utilizando a ferramenta “Fluid Flow (Fluent)” do software Ansys, foi criado um contorno em volta do avião para determinar a área de análise.

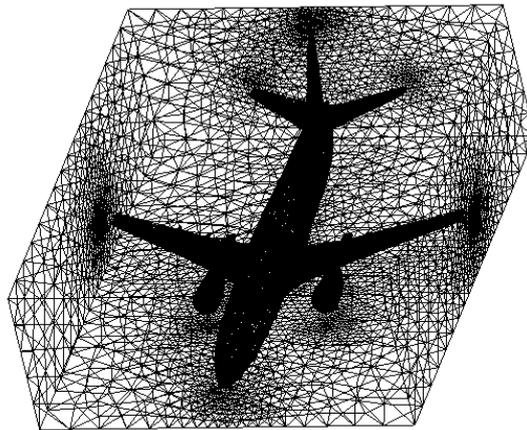


Figura 3. Malha em torno da geometria

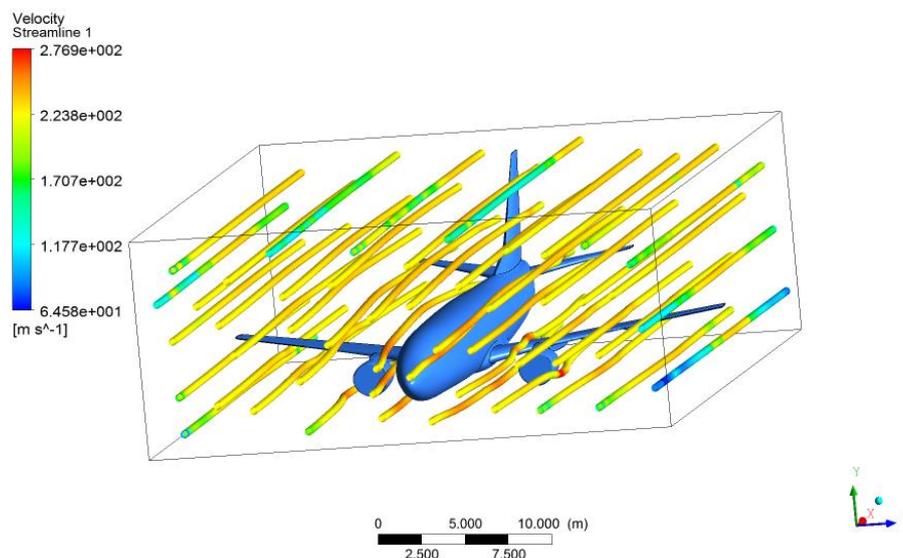
A figura 3 mostra a malha em torno da geometria. Foi determinado para condição de contorno o plano a frente do avião como entrada e o plano de trás como saída, sendo na entrada a velocidade real de voo do avião. Os materiais utilizados para o fluido e o sólido foram ar e alumínio, respectivamente. Para a análise foram utilizadas as seguintes velocidades: de cruzeiro e máxima, sendo respectivamente, 813 km/h (226 m/s) e 912 km/h (253 m/s).

O modelo CFD utilizado para realizar a análise foi o K- $\epsilon$ . Esse modelo utiliza duas equações, sendo a primeira nos traz a energia cinética turbulenta, K, determina a energia da turbulência. A segunda equação traz a dissipação turbulenta,  $\epsilon$ , que determina a escala de turbulência (K-epsilon models, 2016).

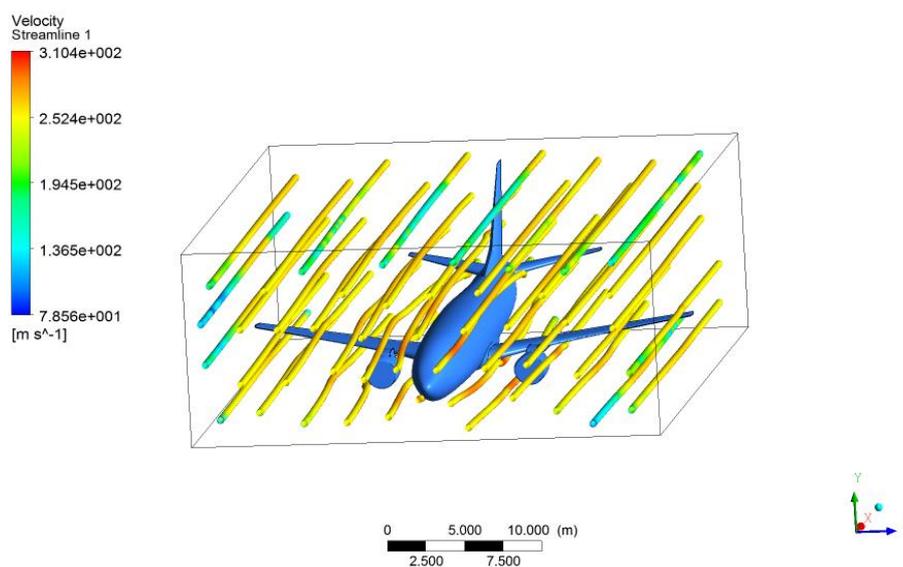
### 3 RESULTADOS

Após a execução do software, podemos observar na Fig. 4 e 5 as linhas de velocidade do ar em torno do avião para as duas velocidades em análise, 226 m/s e 253 m/s, respectivamente. Vemos que as linhas de vento próximas ao avião seguem o contorno da

estrutura e aceleram a ponto de atingirem uma velocidade superior a velocidade de voo. Isto é necessário para que o ar flua através das asas para produzir a sustentação do avião (C. Suresh et al., 2015).



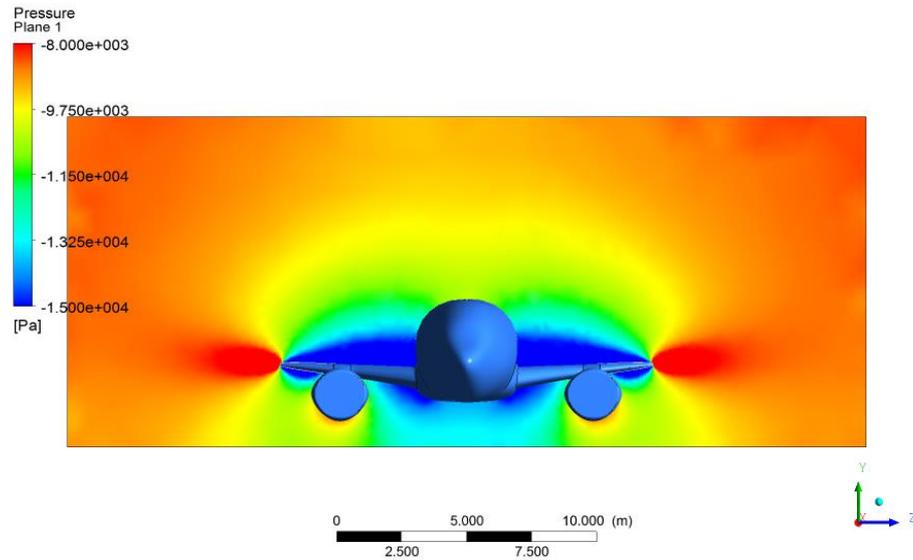
**Figura 4. Linhas de velocidade do ar na velocidade de cruzeiro**



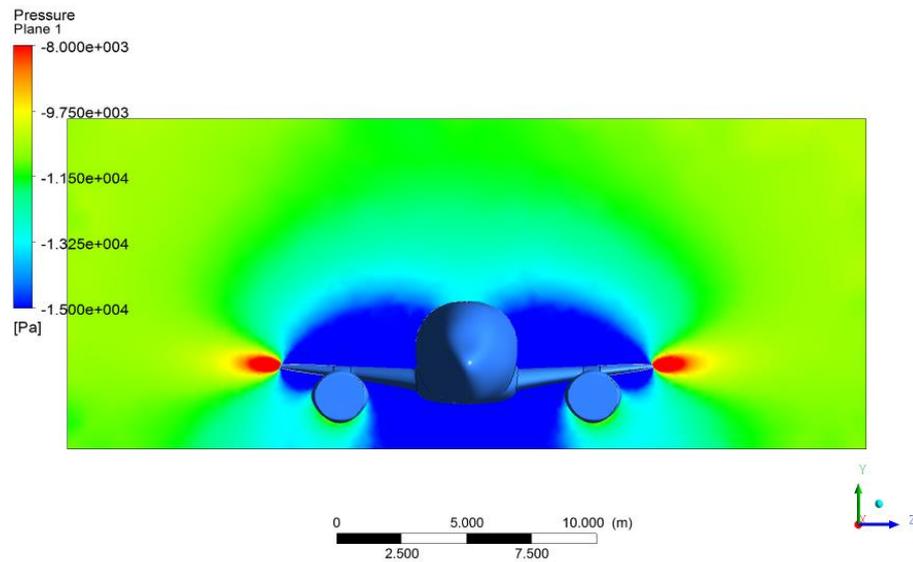
**Figura 5. Linhas de velocidade do ar na velocidade máxima**

É possível ver isso na Fig. 4 o ponto de maior velocidade do ar atinge 276,9 m/s e na Fig. 5 observa-se o ar atingindo 310,4 m/s.

As figuras a seguir nos mostram os planos de pressão posicionados em cima das asas do avião. Há uma pressão baixa acima das asas em relação a parte inferior do avião, fazendo uma tração positiva na estrutura.



**Figura 6. Plano de pressão no eixo YZ posicionado sobre as asas na velocidade de cruzeiro**



**Figura 7. Plano de pressão no eixo YZ posicionado sobre as asas na velocidade máxima**

Outra análise foi feita a fim de verificar a variação da pressão em torno do avião. As figuras 8 e 9 são de volume de pressão para as duas velocidades em análise.

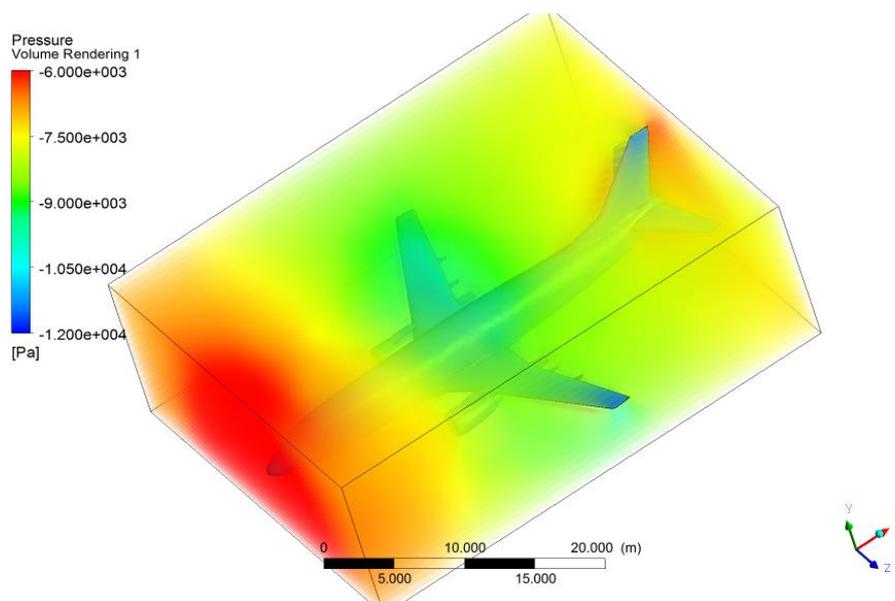


Figura 8. Volume de pressão em torno do avião na velocidade de cruzeiro

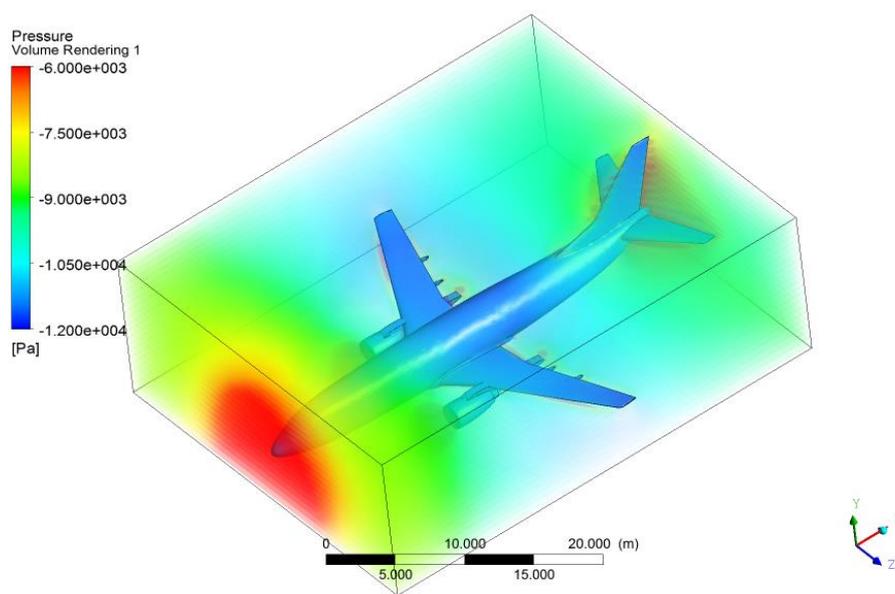


Figura 9. Volume de pressão em torno do avião na velocidade máxima

Sendo a análise no perfil laminar de voo, nota-se novamente que a pressão acima das asas possui um valor inferior a pressão abaixo das asas do avião em ambas velocidades, fazendo com que haja uma sustentação da aeronave.

## 4 CONCLUSÃO

Utilizando a análise dinâmica de fluidos computacional foi feita uma análise simplificada, mas sem perder a precisão e a veracidade dos fenômenos naturais envolvidos, de duas velocidades diferentes de voo de um Boeing 737-400 e foi possível verificar como a

velocidade do ar e a pressão distribuída em torno do avião varia. Foi observado o fenômeno que produz a sustentação da aeronave que ocorre pela passagem de ar pelas asas (C. Suresh et al., 2015).

A ferramenta utilizada na análise apresentada é de grande valia para inúmeros estudos em cima de uma aeronave, pois durante o projeto podem ser feitas análises que sustentaram o desenvolvimento de uma aeronave com maior confiabilidade.

Uma análise futura pode ser feita considerando mais detalhes do avião permitindo um refino no CFD fazendo uma melhor aproximação real do avião, como por exemplo, considerando o avião com várias partes, assim como flaps e fluxo de ar na turbina, e não como um único corpo sólido.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores generosamente agradecem o apoio da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUCMINAS, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq – e a Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG.

## **REFERÊNCIAS**

Azevedo, Álvaro F.M. Método dos elementos finitos. 1 ed. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.

C. Suresh, K. Ramesh, V. Paramaguru, 2015. Aerodynamic performance analysis of a non-planar C-wing using CFD.

Edward N. Tinoco, 1991. CFD codes and applications at Boeing.

Forrester T. Johnson \*, Edward N. Tinoco, N. Jong Yu, 2005. Thirty years of development and application of CFD at Boeing Commercial Airplanes, Seattle.

K-epsilon models. Disponível em: <[http://www.cfd-online.com/Wiki/K-epsilon\\_models](http://www.cfd-online.com/Wiki/K-epsilon_models)>. Acesso em: 15 de Junho de 2016.

Manish Sharma, T. Ratna Reddy, Ch. Indira Priyadarsini, 2013. Flow Analysis over an F-16 Aircraft using Computational Fluid Dynamics.

The Boeing 737-400. Disponível em: <<http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=93>>. Acesso em: 12 de Junho de 2016.

The Boeing 737-400. Disponível em: <<http://www.aviacaocomercial.net/boeing737.htm>>. Acesso em: 12 de Junho de 2016.