

ANÁLISE NUMÉRICA DA AERODINÂMICA DE UM VANT DO TIPO DIRIGÍVEL

Stephan Schöne – schonestephan@gmail.com

Vitor Nuzzi Garcia – vitorng74@gmail.com

Edvaldo Angelo (Orientador) – eangelo@mackenzie.com.br

RESUMO

Dirigíveis são aeronaves que utilizam como elemento gerador de sustentação um reservatório contendo um gás com densidade menor que o ar. Os Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) são aeronaves remotamente controladas, conhecidas popularmente como drones. O objetivo deste trabalho é obter entre os formatos propostos de um VANT tipo dirigível o de melhor desempenho aerodinâmico. O estudo se desenvolve por meio de simulações numéricas de um dirigível de um tamanho compatível com um drone para aplicação de vigilância, obtidos através do emprego de um software comercial ANSYS CFX®. Os dados obtidos pelo software de oito geometrias distintas foram comparados com os dados de duas geometrias base. As duas geometrias base fazem referência a um formato aerodinâmico de gota de água, mas se diferenciam em seu término. Um formato base termina em ponta e o outro é arredondado. O formato geométrico mais aerodinâmico da superfície do VANT é definido, portanto, pelo menor valor da força de arrasto obtido através das simulações, assim diminuindo a resistência do ar e melhorando consumo de energia para o seu deslocamento. As comparações entre os resultados foram capazes de apontar a geometria mais adequada entre as estudadas.

Palavras-chave: VANT. Formato de dirigível. Eficiência aerodinâmica. Aplicação de vigilância. Simulações numéricas computacionais.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE AERODYNAMICS OF A UAV AIRSHIP TYPE

ABSTRACT

Airships are aircraft that use a reservoir containing a gas with a density lower than air as a support generating element. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are remotely controlled aircraft, popularly known as drones. The aim of this work is to obtain among the suggested formats for an airship of the UAV type, the one that has the better aerodynamic performance. The study develops with the usage of numerical simulations of an airship for the dimensions suitable for a drone with surveillance implementation, obtained with the employment ANSYS CFX® commercial software. The data obtained by the software from eight different geometries were compared with the data from two basic

geometries. The two base geometries refer to an aerodynamic shape of a drop of water but differ in their ending. One base format ends as the tip and the other is rounded off. The most aerodynamic geometric shape of the UAV's surface is therefore defined by the lower value of the drag force obtained through the simulations, there for reducing air resistance and improving energy consumption for its displacement. The comparisons between the results pointed out the most suitable geometry between those studied.

Keywords: UAV. Airship shape. Aerodynamic efficiency. Surveillance application. Computational numerical simulations.

1 INTRODUÇÃO

A diminuição de tamanho e peso de componentes eletrônicos possibilitou o surgimento de mecanismos voadores não tripulados para monitoramento, capazes de proporcionar uma ampla visão aérea de uma determinada região. Essas imagens facilitam a percepção de características de interesse do observador, que podem ser ampliados para identificação de detalhes (KELLER, 2011).

Os Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) também podem ser utilizados em diversas outras aplicações, como dispersão de defensivos agrícolas, filmagens, entregas de pequenos volumes, entre outros, são estratégicos e oferecem diversas opções de exploração comercial. Os mais comuns de se encontrar no mercado, utilizam hélices como helicópteros ou elementos sustentadores como asas, assim como os aviões. Esses veículos geralmente têm limitação de autonomia pelo elevado gasto energético, especialmente necessário para a manutenção de voo.

Por outro lado a principal característica que diferencia o dirigível de outras aeronaves, é a combinação da sustentação do balão com a propulsão das aeronaves. O elemento de sustentação do balão proporciona 80% de chance de sobrevivência caso ocorra um pouso forçado, conforme Gadir (2001).

Dirigíveis são aeronaves que utilizam como elemento gerador de sustentação, um reservatório contendo um gás com densidade menor do que o ar. Braun (2005) cita um lado negativo do hélio, pois possui uma menor capacidade de carga se comparado ao dirigível LZ 129 Hindenburg, que tinha uma carga útil de cinquenta toneladas usando hidrogênio em comparação com trinta e duas toneladas caso tivesse sido usado o hélio. A utilização de um gás como o hidrogênio é seguro conforme Goodyear Aerospace Corporation (1976), se estiver contido em um recipiente englobado por uma célula de hélio, tornando-o mais resguardado, possibilitando um custo menor e um aumento da força de sustentação.

A proposta deste trabalho foi o estudo aerodinâmico de um VANT do tipo dirigível, que por natureza, exige menor quantidade de energia para o voo. O dirigível sendo um VANT, propicia várias vantagens como em utilizações para vigilância. Desta forma o VANT do tipo dirigível se beneficia

de uma sustentação fornecida por um gás de densidade menor que o ar, pairando com mais estabilidade e usando menos energia do que drones convencionais com asas ou hélices. Na superfície externa do VANT do tipo dirigível, pode-se ter um menor arrasto quando ele possuir um formato que seja mais aerodinâmico, o que proporciona a utilização de menos energia para funcionamento. Na análise do comportamento do escoamento do ar na parte externa do dirigível, pode-se adotar como uma hipótese simplificadora o formato do dirigível ser rígido, mesmo que não seja rígida a superfície que o envolve, conforme Dorrington (2007).

Outra característica do formato do VANT é referente ao arrasto aerodinâmico causado por ele. Este arrasto resulta da força de arrasto que se contrapõe ao seu movimento. O formato do VANT tem assim dois fatores, um dele garantir a sustentação que lhe dá uma vantagem energética para pairar no ar e o outro que provoca um arrasto aerodinâmico que consome energia ao retardar seu movimento. Este consumo de energia é diretamente ligado a força e a velocidade, definindo a quantidade de potência necessária para seu deslocamento.

Na situação proposta deste estudo, o elemento resultante, ou seja, o VANT do tipo dirigível com aerodinâmica a ser otimizada, tem potencial de obter uma autonomia muito maior do que as aeronaves convencionais atuais, independentemente do tipo de propulsão (elétrica ou com motor de combustão interna), sendo utilizado de modo semelhante, oferecendo custos compatíveis com essas aplicações.

O objetivo do trabalho foi estudar através de simulações numéricas diferentes formas aerodinâmicas de dirigíveis e compará-las. Foram escolhidos alguns formatos de VANT compatíveis com a aplicação desejada e foram comparadas as forças de arrasto quando as formas eram submetidas aos mesmos tipos de condições de voo. Todas as comparações admitiram voo em linha reta, sem ventos laterais.

Nos próximos parágrafos são apresentados elementos importantes indicados na literatura para o estudo realizado.

A rugosidade de uma superfície influencia de forma significativa o coeficiente de arrasto e como consta no artigo científico de Dorrington (2007), o coeficiente de arrasto em corpos rombudos com escoamento de fluidos a uma velocidade subsônica pode ser aproximado pela fórmula de Prandtl-Schlichting, que consta em Schlichting (1979).

Para confirmação de análises numéricas são utilizados túneis de vento, nos quais são realizados testes em que se utiliza o modelo Sting-mounted, empregado para efetuar o cálculo do coeficiente de arrasto na estrutura externa do objeto de estudo, como é mencionado no estudo de Dorrington (2007), ele indica que esse método foi utilizado com o modelo do dirigível britânico dos anos trinta, R101.

Por sua vez, Cornish e Boatwright (1960) dizem que o coeficiente de arrasto pode ser reduzido em vinte por cento se no dirigível for incorporado um rotor de propulsão na cauda, se ocorrer uma redução da área na parte traseira e ajustar a gôndola para um formato mais aerodinâmico.

Estas características também são encontradas no Zeppelin NT como observado por Sträter (2003). Este dirigível demonstra uma geometria bem difundida e é a que se aproxima mais de um elipsoide, no qual se localiza com grande acentuação desta geometria na parte frontal e traseira.

No dirigível Skyship 500 da fabricante Airship Industries o volume de elipsoide é assimétrico, possuindo uma diferença na parte dianteira e traseira. A da frente com um raio maior e na região traseira um menor raio, segundo consta no artigo de Zhang, Wang e Duan (2013), já que o formato influi no comportamento do escoamento do ar em volta do modelo no túnel de vento, podendo ser visualizado através da utilização de fumaça como outro recurso.

O aspecto de outras empregabilidades dos dirigíveis usados atualmente agregaram a variação de formatos aerodinâmicos da superfície exterior de dirigíveis. Exemplos de dirigíveis híbridos que possuem uma asa fixa ou rotativa para compensar a diferença de peso, são os dirigíveis WB-1010 e o Airship One. O projeto Walrus Hula e o Skyhook JHL-40 pretende carregar cargas que variam de um a mil toneladas e quarenta toneladas, respectivamente, realizando assim viagens curtas em velocidades baixas, todos citados por Stockbridge, Ceruti e Marzocca (2012). Outro projeto Híbrido, uma mistura de dirigível e helicóptero, conforme mencionado no em Putzger (2008), é o Skyhook JHL-40.

Os dirigíveis também podem ser projetados para uma utilização de alta altitude que atingem a estratosfera e operados remotamente, apontado por Stockbridge, Ceruti e Marzocca (2012), como o conceito do Renault Zep'lin Solar Powered Airship. Os VANT's de altitudes elevadas também podem ser usados para transmitir dados, especialmente para regiões mais remotas, conforme o artigo Hutheesing (1997).

Outra utilização é a de controles de fronteiras conforme o artigo Javers (2003), podendo atingir a altura de dezenove mil oitocentos e doze metros conforme mencionado em Blimp to hover at 65,000 ft (2005). Os modelos em uso são principalmente dirigíveis com radares controlando a fronteira do Texas, o que vem acontecendo desde 1980, e são monitoradas pequenas aeronaves em baixas altitudes como mencionado em Hodge (2012).

2 METODOLOGIA

A metodologia empregada foi a comparação dos resultados do coeficiente de arrasto e da força de arrasto dos diferentes formatos, adotando duas geometrias como base. As duas geometrias base fazem referência a um formato aerodinâmico de gota de água, mas se diferenciam em seu término.

O estudo do formato do VANT no programa ANSYS CFX® foi simplificado considerando a simetria do formato da área definida. O círculo, por exemplo é simétrico no eixos vertical e horizontal e para simplificar o estudo aerodinâmico virtual, somente um quarto do círculo é usado para formar o objeto de três dimensões. Os valores resultantes de um quarto do objeto de três dimensões tem os resultados adequados para um formato completo. A adequação dessa forma, que tem um quarto do círculo de área de $62500\pi \text{ mm}^2$, é usada como referência de comparação para todos os outros valores obtidos de outros formatos.

Os diferentes valores da força de arrasto, que são os elementos mais importantes para determinação do coeficiente de arrasto, após comparações entre formatos distintos, possibilitarão encontrar o formato mais adequado para o VANT. O formato de um objeto em movimento envolto por um fluido, o tipo de fluido (e suas propriedades) e a velocidade de deslocamento determinam a resistência ao movimento imposta pelo fluido ao corpo. O fluido, em última análise, nestas condições, é um meio em deformação. O coeficiente de arrasto quantifica através de um número adimensional a razão entre força de resistência que um objeto em movimento tem de vencer, e a sua área projetada, no caso de corpos rombudos em baixa velocidade.

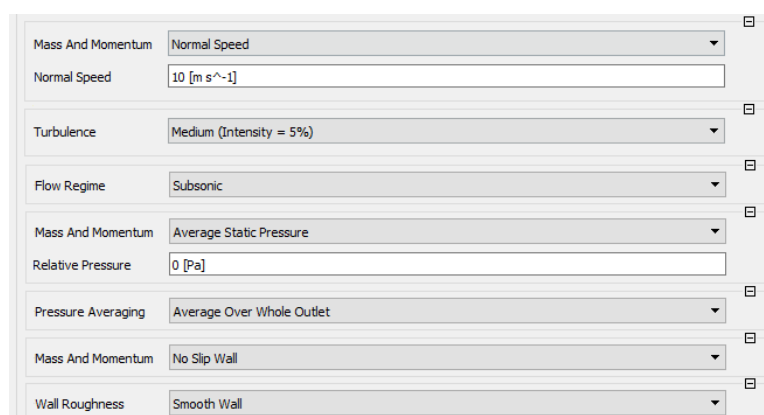
O cálculo do coeficiente de arrasto é efetuado pela fórmula 1 (ÇENGEL; CIMBALA, 2012):

$$C_d = \frac{2 \cdot F_d}{\rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (1)$$

Sendo C_d o coeficiente de arrasto, F_d a força de arrasto, ρ a densidade do fluido, v a velocidade do fluido e A área projetada ou área frontal.

Os valores da área projetada, velocidade, pressão atmosférica, temperatura do ar ideal e densidade do fluido, foram adotados como constantes no estudo, possibilitando o cálculo do coeficiente de arrasto com o valor de força obtida pelo programa ANSYS CFX®. A figura 1 indica alguns dos parâmetros adotados, já inseridos na caixa de diálogo do programa ANSYS CFX®. A figura 2 indica os valores complementares utilizados em todas as simulações realizadas. É importante ressaltar que a faixa de velocidade adotada no estudo obtém escoamento subsônico e incompressível.

Figura 1 – Domínio computacional.



Fonte: Autores (2020).

Figura 2 – Domínio computacional.

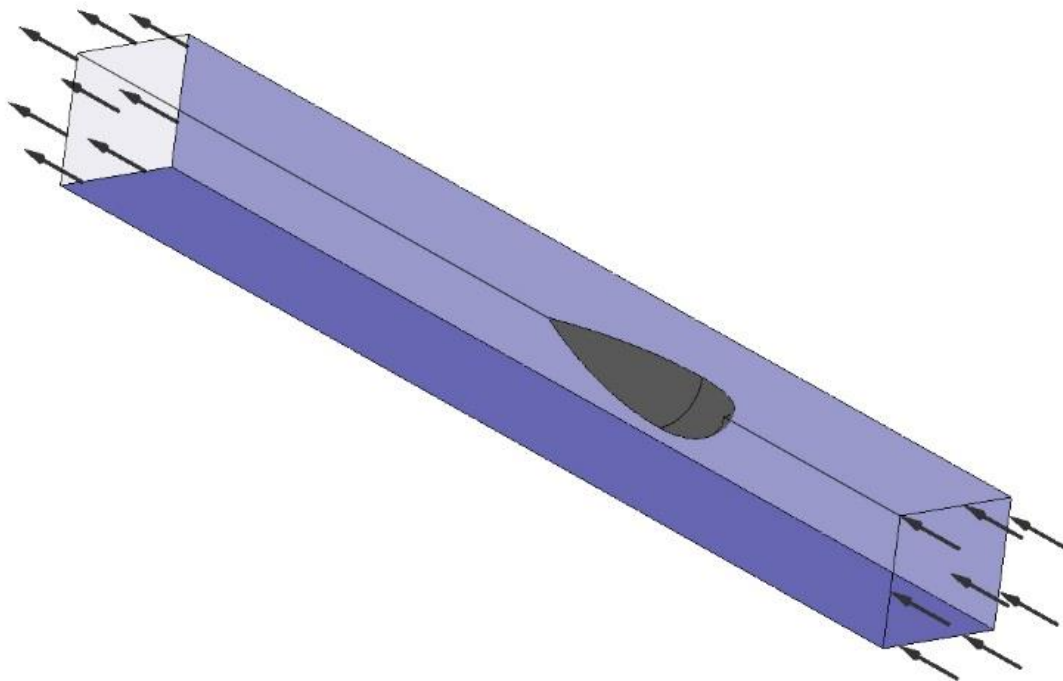
Fluid 1	Material Library	⊞
Material	Air Ideal Gas	⊞
Morphology	Continuous Fluid	⊞
Reference Pressure	1 [atm]	⊞
Buoyancy Model	Non Buoyant	⊞
Domain Motion	Stationary	⊞
Mesh Deformation	None	⊞
Heat Transfer	Isothermal	⊞
Fluid Temperature	25 [C]	⊞
Turbulence	k-Epsilon	⊞
Wall Function	Scalable	⊞
Combustion	None	⊞
Thermal Radiation	None	⊞

Fonte: Autores (2020).

O modelo de turbulência utilizado foi o k-épsilon (ANSYS, 2011). O fluido que escoar ao redor dos corpos é o ar, considerado como gás ideal, com temperatura constante de 25°C e com pressão atmosférica absoluta de 101325 Pa.

A simulação virtual feita no programa ANSYS CFX® resulta do modelamento do espaço virtual do cálculo do fluido em movimento. Este espaço virtual é definido por um quarto formato do objeto integrado a um paralelepípedo no qual dois quadrados externos servem para definir a entrada e saída do fluido passante. O fluxo do fluido é portanto enquadrado por quatro retângulos, sendo dois deles recortados pela silhueta da junção do um quarto do objeto criado; estes tem uma superfície sem escorregamento. O quarto do objeto, que é um quarto da forma da superfície externa do VANT está caracterizado no programa como superfície livre de escorregamento. Na superfície do corpo foi imposta condição de não escorregamento e rugosidade nula. A figura 3 demonstra o domínio computacional descrito anteriormente, como um exemplo, o Modelo Arqueado com Frente Elíptica (MAFE).

Figura 3 – Domínio computacional para o Modelo Arqueado com Frente Elíptica (MAFE).



Fonte: Autores (2020).

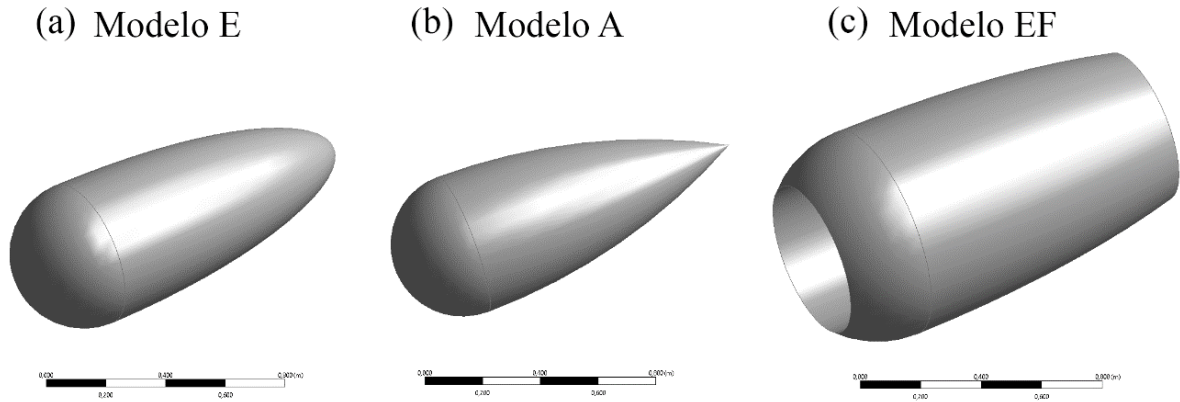
A geometria descrita é o objeto de estudo e a partir dos elementos da malha o cálculo da simulação foi feito. Uma malha com maior refinamento garante melhores valores resultantes da simulação. Os formatos base desse estudo aerodinâmico virtual mostraram que com um refinamento de nove iterações foi alcançado como um valor confiável de resultados para a força de arrasto, em outras palavras a força de arrasto obtida não tinha mais uma variação significativa. Outros aspectos que simplificaram a simulação do formato aerodinâmico virtual foi considerar o objeto como rígido e isotérmico.

O primeiro modelo base se caracteriza por ter meia esfera como formato inicial e o fechamento desse objeto com um elipsoide. O comprimento total desse objeto é de 1250 mm, podendo ser visto na figura 4 (a).

O segundo modelo base se caracteriza por ter meia esfera como formato inicial e o fechamento desse objeto com uma superfície com um perfil longitudinal de arco formando uma ponta, sendo o seu comprimento o mesmo do anterior, mostrado na figura 4 (b).

A primeira variação de formato tem a mesma área frontal, porém o seu diâmetro é consideravelmente maior já que longitudinalmente possui um furo possibilitando no mesmo a passagem do modelo anterior. O seu comprimento é de 1250 mm e seu formato pode ser visualizado na figura 4 (c). Vale ressaltar que as dimensões destes estudos são específicas para um VANT do tipo dirigível, portanto tem escalas de grandeza própria, isto significa que não é válido para qualquer outro tamanho.

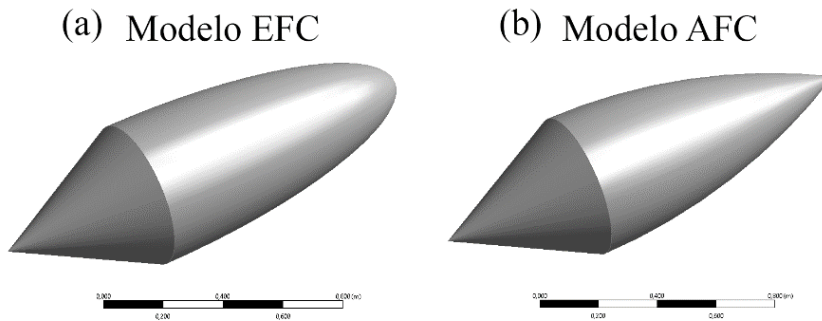
Figura 4 – Modelo Elíptico (ME) (a), Modelo Arqueado (MA) (b) e Modelo Elíptico com Furo (MEF) (c).



Fonte: Autores (2020).

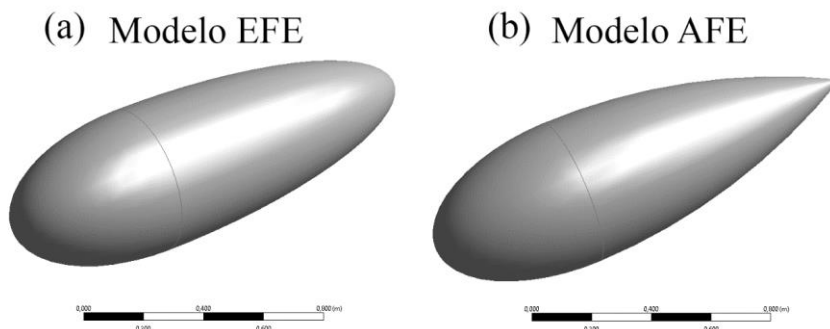
As próximas quatro variações estudadas são obtidas pela combinação de formatos frontais de cone e elipsoide com a intercalação do fechamento do formato, com uma superfície de perfil longitudinal de arco e de fechamento através de um elipsoide. O comprimento total dessas variações são de 1500 mm, podendo serem vistas na figura 5 (a) e (b) e na figura 6 (a) e (b).

Figura 5 – Modelo Elíptico com Frente Cônica (MEFC) (a) e Modelo Arqueado com Frente Cônica (MAFC) (b).



Fonte: Autores (2020).

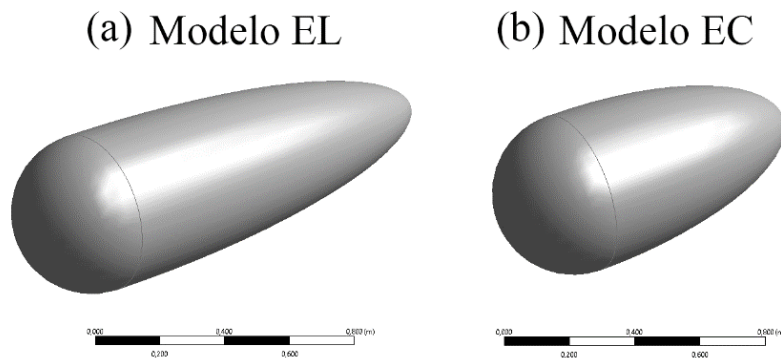
Figura 6 – Modelo Elíptico com Frente Elíptica (MEFE) (c) e Modelo Arqueado com Frente Elíptica (MAFE) (d).



Fonte: Autores (2020).

As próximas duas variações são baseadas no primeiro modelo básico com uma variação de comprimento. A variação é de 25 % aumentando o comprimento e 25 % diminuindo o comprimento do primeiro modelo base. O comprimento total varia portanto entre 1000 mm até 1500 mm, e podem ser observadas na figura 7 (a) e (b).

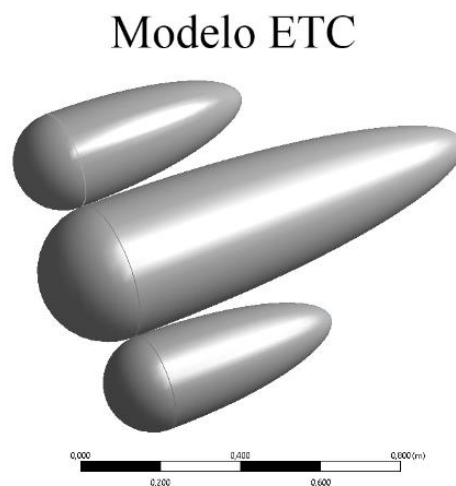
Figura 7 – Modelo Elíptico Longo (MEL) (a) e Modelo Elíptico Curto (MEC) (b).



Fonte: Autores (2020).

A maior área das três está alinhada, centralizada, encostada e acompanhada pelas áreas menores, uma de cada lado, sendo unidas por uma linha horizontal imaginária. O comprimento total desse objeto é de 1250 mm, mostrado na figura 8.

Figura 8 – Modelo Elíptico com Triplo Compartimento (METC).



Fonte: Autores (2020).

A última variação possui três áreas frontais distintas, que resulta no mesmo valor de área frontal das outras. A área total é composta por uma central de 50% do valor e duas áreas laterais de 25%.

O método utilizado na discretização da malha é dado pela dobra do número de elementos da malha a cada nova simulação. A variação da força de arrasto deve ser menor do que 10% em comparação ao valor da última simulação. Aplicando o método para cada formato individualmente e o tendo a finalidade de diminuir a variação da força de arrasto entre as simulações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cada simulação realizada em cada formato, a meta a ser atingida é de uma variação de força de arrasto abaixo de 10%, assim este processo foi continuado para as próximas simulações de outros formatos. Este procedimento resultou em um total de nove simulações para cada formato simulado no ANSYS CFX®. O Modelo Elíptico com Triplo Compartimento por ter muito mais elementos em sua malha, foi a exceção com oito simulações.

Quadro 1 – Quadro comparativo de grandezas físicas, elementos de simulações computacionais e método de discrepância entre simulações.

Modelo	Força de Arrasto	Coefficiente de Arrasto	Número de Elementos	Número de Nós	Variação da Força de arrasto (em %)
Modelo EF	1,59607 N	0,13732	1.358.425	299.164	1,79%
Modelo AFE	1,71616 N	0,14765	706.532	154.588	8,38%
Modelo EFE	1,72965 N	0,14881	1.192.716	253.626	7,50%
Modelo EFC	2,13662 N	0,18383	933.102	197.850	9,39%
Modelo E	2,15391 N	0,18532	1.066.910	226.594	9,20%
Modelo EL	2,16471 N	0,18625	1.166.775	248.314	8,38%
Modelo EC	2,21562 N	0,19062	844.802	181.322	9,38%
Modelo A	2,24141 N	0,19284	574.954	126.526	9,67%
Modelo AFC	2,27275 N	0,19554	455.403	101.897	8,99%
Modelo ETC	3,82837 N	0,32938	1.798.796	352.231	1,18%

Fonte: Autores (2020).

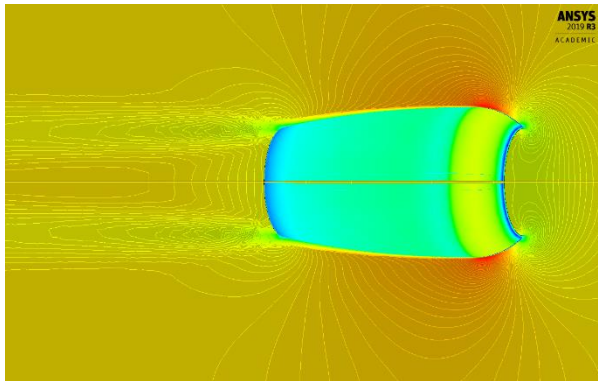
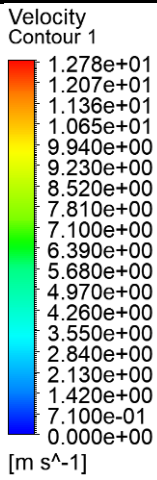
Analisando os valores calculados para os diferentes coeficientes de arrasto pelo valor obtido da força de arrasto através das diferentes simulações, o formato que obteve o melhor coeficiente aerodinâmico foi o Modelo Elíptico com Furo (Modelo EF).

As imagens seguintes estão em sequência respeitando a ordem crescente de coeficiente de arrasto. A escala à esquerda é referente ao contorno de velocidade, enquanto a escala da direita demonstra as linhas do fluxo da velocidade. As escalas são decrescentes da cor vermelha à azul, sendo vermelho a velocidade mais alta e azul a mais baixa, como pode ser notado da figura 9 até a figura 12.

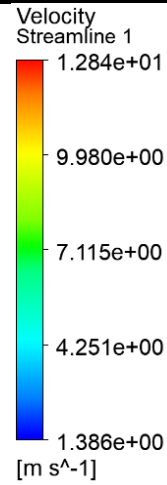
Figura 9 – Imagens dos modelos simulados.

MF

Contorno de velocidade

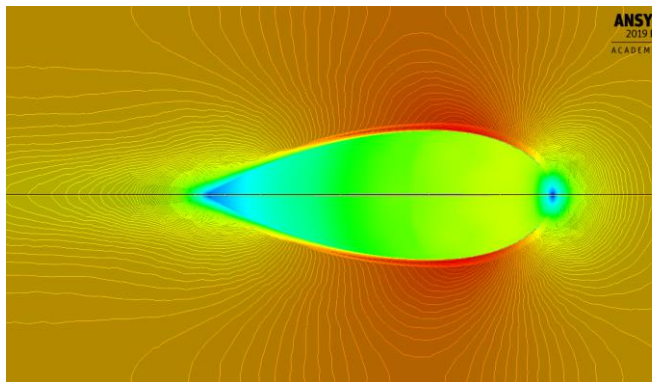
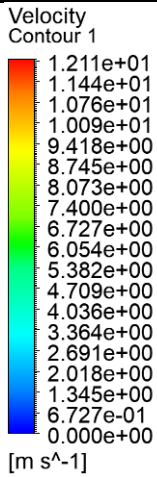


Linhas de corrente

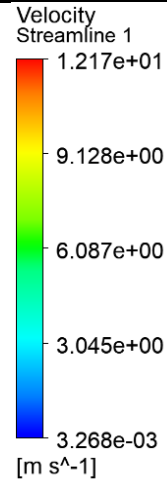


MAFE

Contorno de velocidade

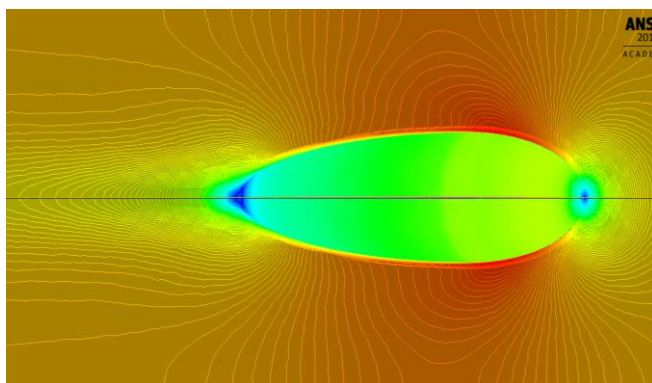
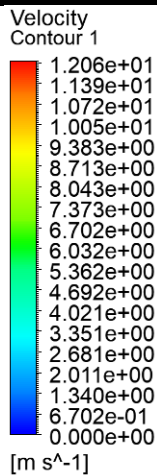


Linhas de corrente

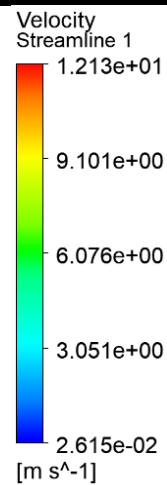


MEFE

Contorno de velocidade



Linhas de corrente



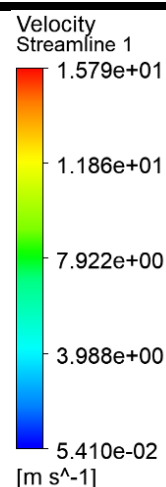
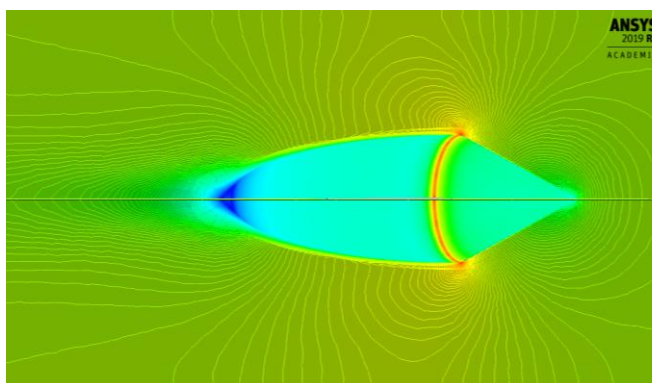
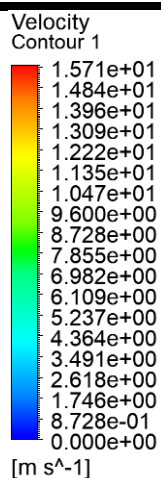
Fonte: Autores (2020).

Figura 10 – Imagens dos modelos simulados.

MEFC

Contorno de velocidade

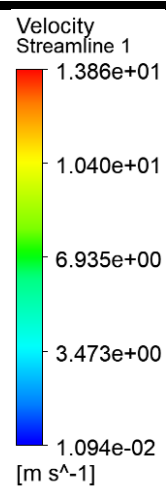
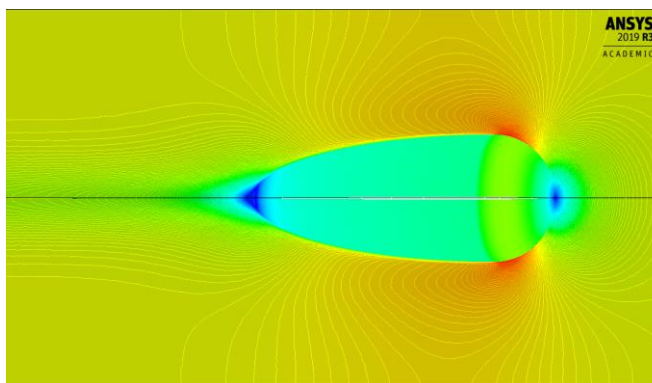
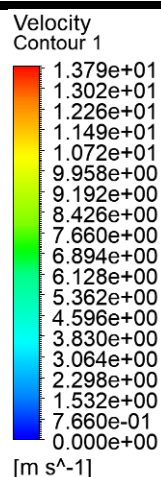
Linhas de corrente



ME

Contorno de velocidade

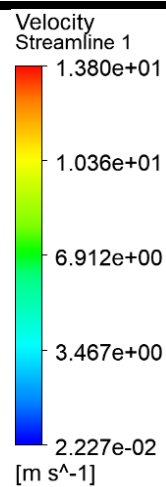
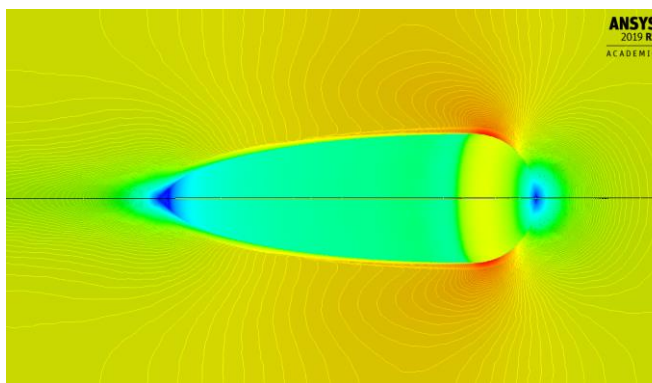
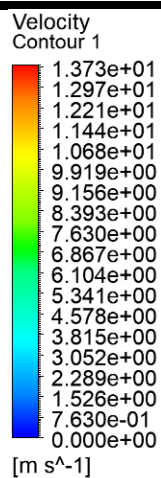
Linhas de corrente



MEL

Contorno de velocidade

Linhas de corrente



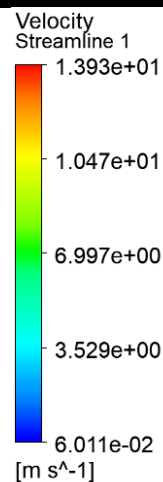
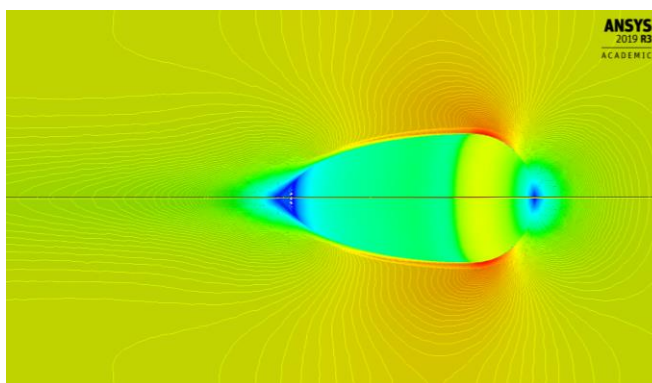
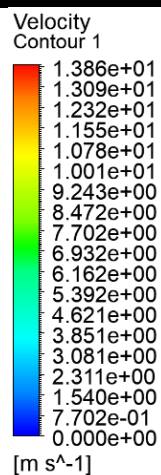
Fonte: Autores (2020).

Figura 11 – Imagens dos modelos simulados.

MEC

Contorno de velocidade

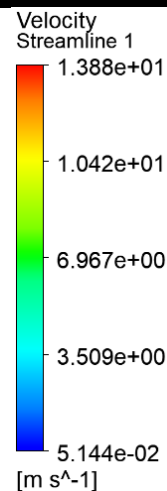
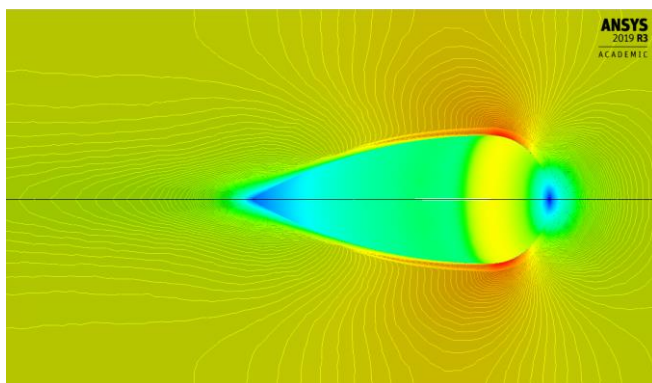
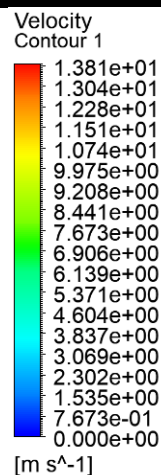
Linhas de corrente



MA

Contorno de velocidade

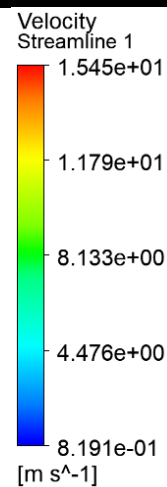
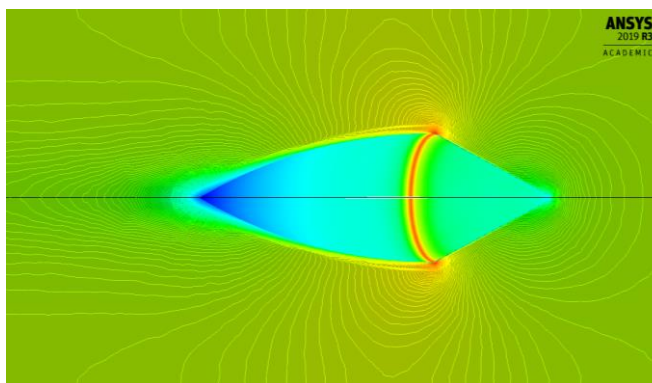
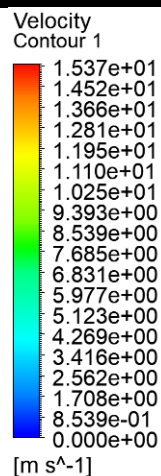
Linhas de corrente



MAFC

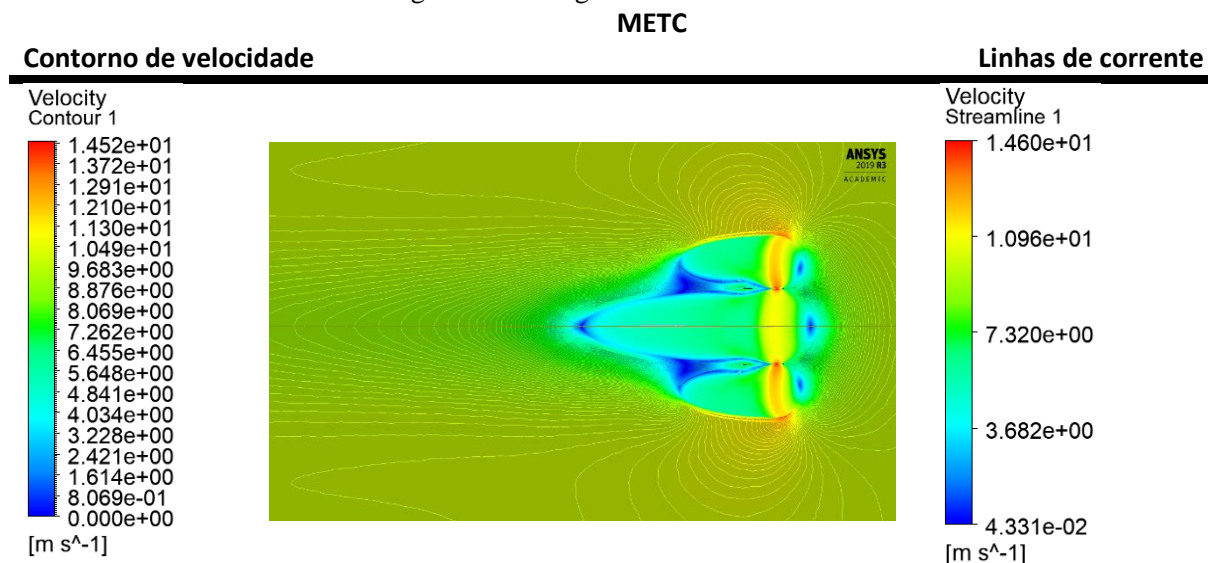
Contorno de velocidade

Linhas de corrente



Fonte: Autores (2020).

Figura 12 – Imagens dos modelos simulados.

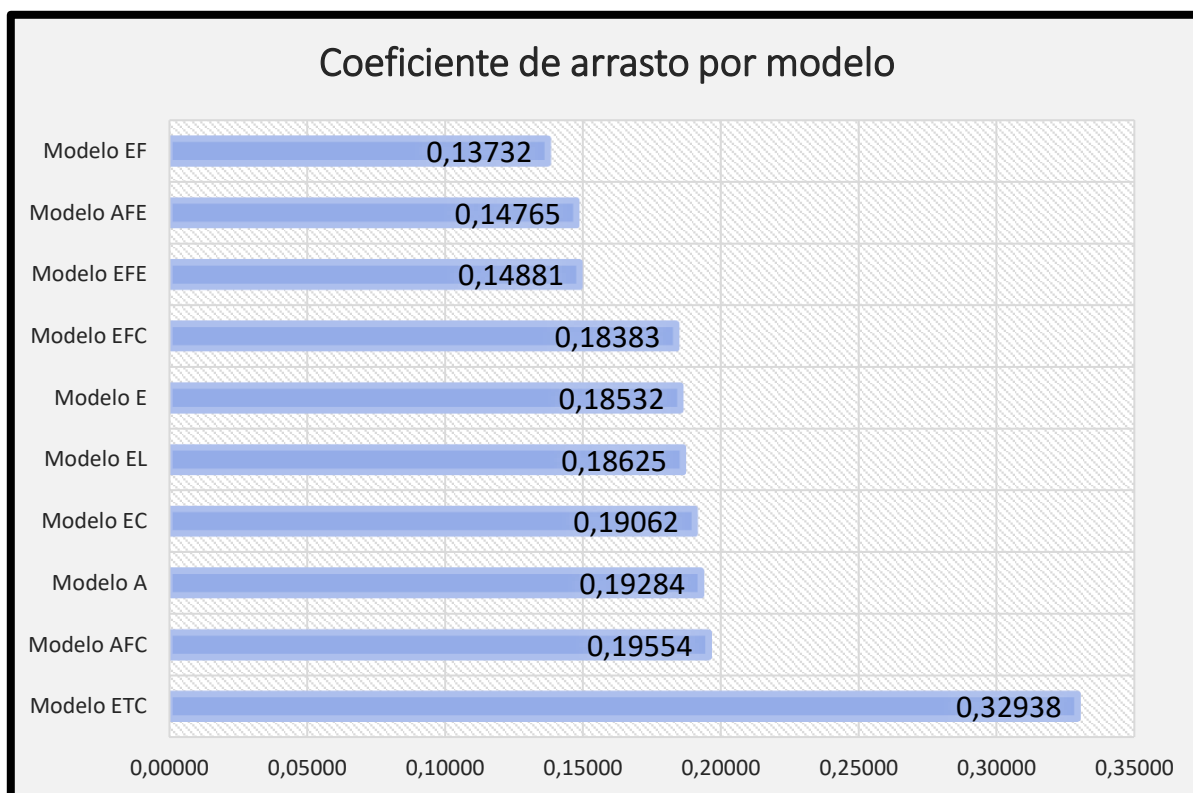


Fonte: Autores (2020).

A última variação e portanto com o pior valor de coeficiente de arrasto é a com três áreas frontais ligadas pela linha imaginária horizontal, que se nota na figura 12.

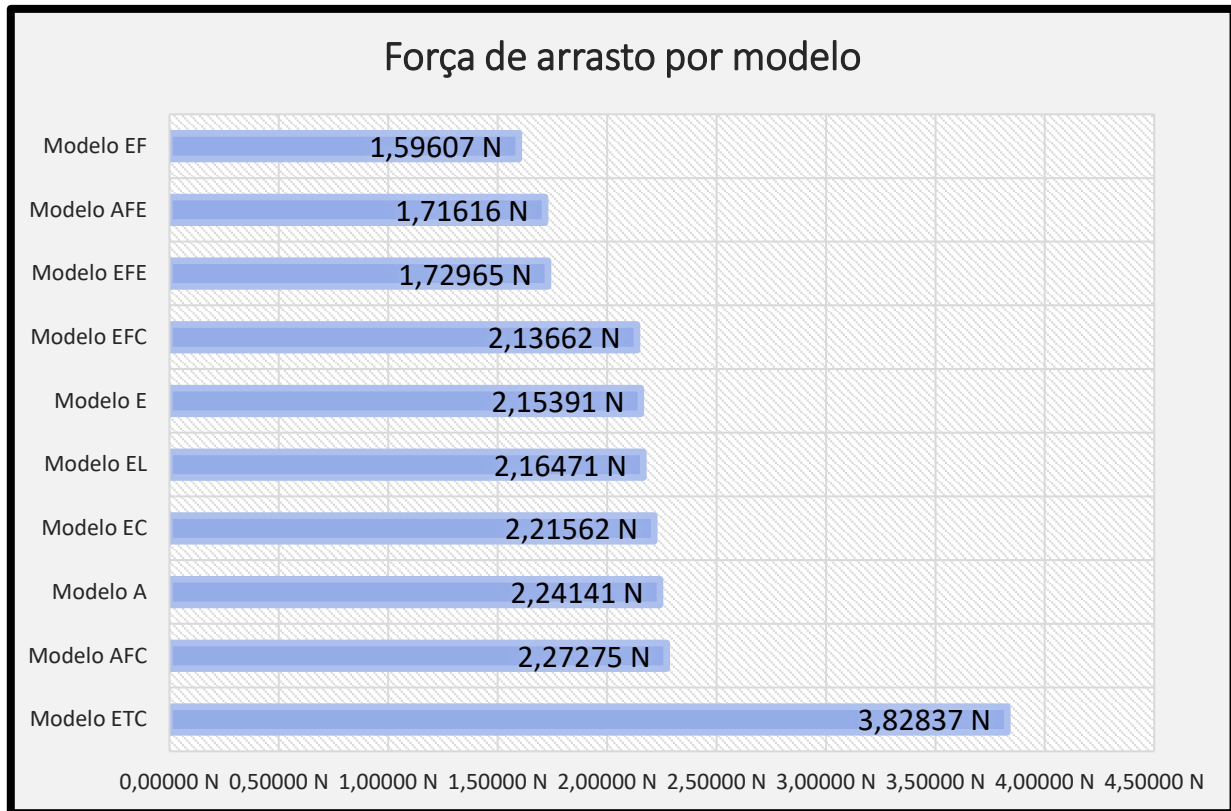
O gráfico de comparação dos resultados dos coeficientes de arrasto dos modelos podem ser vistos na figura 13, assim como o gráfico comparativo das forças de arrasto é mostrado na figura 14.

Figura 13 – Gráfico do Coeficiente de arrasto por modelo.



Fonte: Autores (2020).

Figura 14 – Gráfico da Força de arrasto por modelo.



Fonte: Autores (2020).

O Modelo Elíptico com Triplo Compartimento (METC) tem um valor muito maior de coeficiente de arrasto tanto como de força de arrasto, o que é visível pela grande área em azul de estagnação de velocidade, demonstrando que possui uma aerodinâmica nada adequada.

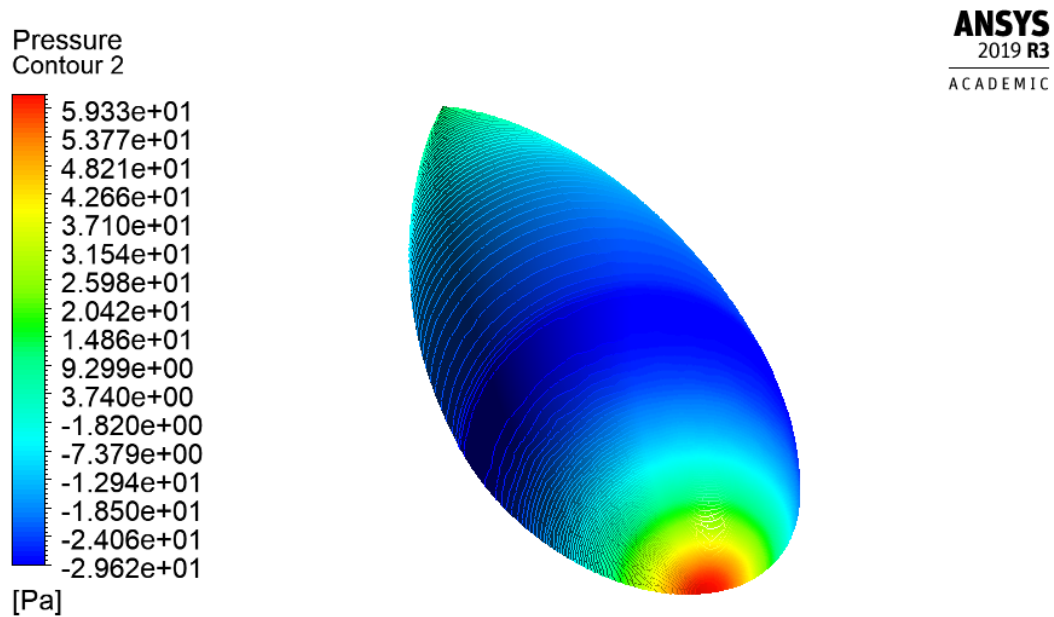
O formato fechado, portanto desconsiderando uma parte vazada, que resulta no melhor coeficiente de arrasto, é o de frente com metade de um elipsoide sendo fechado por uma superfície com o perfil longitudinal de arco. Este é o formato fechado que possibilita uma maior autonomia para um projeto de VANT dirigível. O formato com furo longitudinal tem um perfil mais esbelto e uma dimensão de furo grande o bastante para superar a eficiência aerodinâmica do formato fechado mencionado anteriormente.

Comparando de uma forma mais detalhada as duas geometrias com o menor coeficiente de arrasto, se nota que a área ocupada pela camada com menor pressão, a azul escuro, no Modelo Elíptico com Furo (MEF) da figura 16, é consideravelmente inferior do que a área no Modelo Arqueado com Frente Elíptica (MAFE) da figura 15. A área frontal que possui uma coloração vermelha mais abrangente e maior pressão, fica mais ressaltada no MAFE, na região que está concentrada na ponta do objeto. O MEF possui esta região de coloração vermelha distribuída em uma área com formato de arco contornando o furo. É possível observar que a relação de pressão entre a área de cor vermelha e a de azul escuro resultam em um valor de coeficiente de arrasto maior no MEF.

A relação da pressão sobre a área do VANT, é uma relação indireta com o valor da força de arrasto que gera a representação visual. A pressão influencia indiretamente a força de cisalhamento das diferentes camadas de ar sobre as áreas do volume, dado pela integral da pressão derivando um pedaço de área e aplicado para cada pedaço de volume de análise.

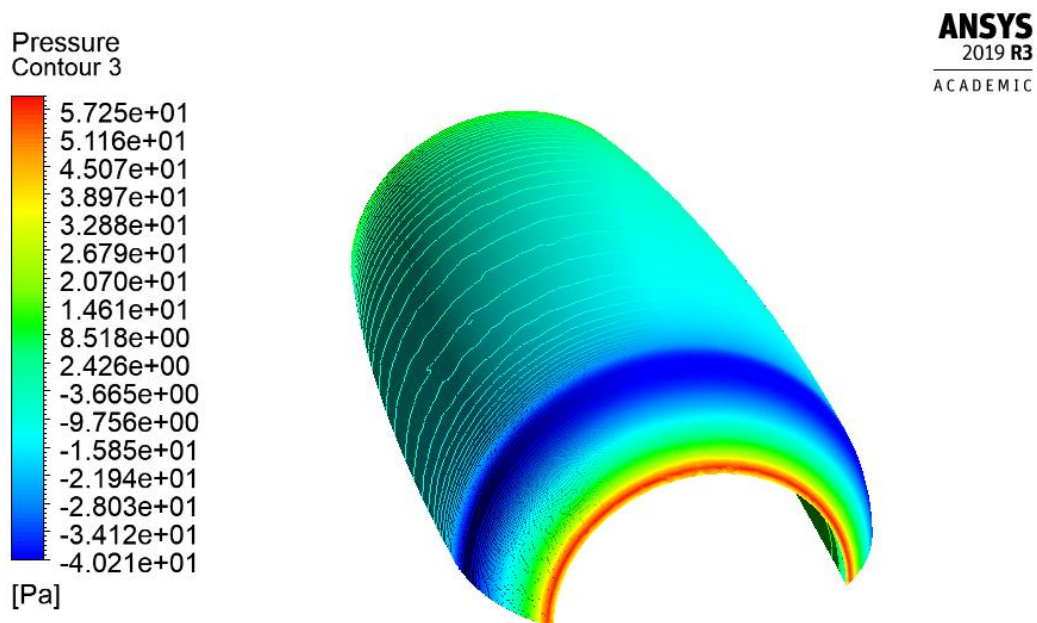
A área frontal preenchida entre os dois modelos é a mesma, porém o tamanho do furo possibilita a passagem do outro modelo por dentro do mesmo.

Figura 15 – Contorno dos valores de pressão do Modelo Arqueado com Frente Elíptica (MAFE).



Fonte: Autores (2020).

Figura 16 – Contorno dos valores de pressão do Modelo Elíptico com Furo (MEF).



Fonte: Autores (2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos aerodinâmicos virtuais do elemento de sustentação de um VANT do tipo dirigível, abrem caminho para melhorar a autonomia de ferramentas para vigilância aérea. O consumo de energia utilizada tanto para pairar no ar como para se deslocar, beneficia-se do elemento de sustentação e do menor coeficiente de arrasto. O Modelo Elíptico com Furo (MEF) é o formato mais aerodinâmico em comparação com os demais, porém é de se observar que os valores dos coeficientes de arrasto dos outros modelos não apresentaram uma diferença tão discrepante, exceto o Modelo Elíptico com Triplo Compartimento (METC). O projeto de execução mais rápido é com certeza o de formato fechado, porém o com o furo longitudinal oferece a possibilidade para outros estudos estruturais. Este projeto de VANT do tipo dirigível com formato de área de vazada, requer uma estrutura inovadora e um possível sistema de propulsão em sua parte vazada, a qual poderia ter um controle de ângulo de ataque através de um centro de gravidade com posição variável. Outro possível estudo seria do comportamento de um VANT do tipo dirigível exposto à ventos laterais.

REFERÊNCIAS

- ANSYS. **ANSYS CFX-Pre User's Guide**. Canonsburg, 2011. 368 p. Disponível em: <http://read.pudn.com/downloads500/ebook/2077964/cfx_pre.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2020.
- BLIMP to hover at 65,000 ft. **Machine Design**. New York City, mai. 2005. Disponível em: <<https://www.machinedesign.com/news/blimp-hover-65000-ft>>. Acesso em: 18 set. 2019.
- BRAUN, H. **Das „Wundergas“ Helium, die US-amerikanische Innenpolitik und die deutschen Zeppeline**. Munique: Institut Für Zeitgeschichte, 2005. 30 p. (4). Disponível em: <<http://www.ifz-muenchen.de/heftarchiv.html>>. Acesso em: 3 set. 2019.
- CORNISH, J. J. III; BOATWRIGHT, D. W. **Application of full scale boundary layer measurements to drag reduction of airships**. Mississippi State: The Aerophysics Department Mississippi State University, jan. 1960. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/317134.pdf>>. Acesso em: 3 nov. 2019.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill, 2012. 494 p.
- DORRINGTON, G. E. Performance of non-rigid airships operating in the neutral buoyancy condition. **The Aeronautical Journal**. London, p. 89-103. fev. 2007. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/aeronautical-journal/article/performance-of-nonrigid-airships-operating-in-the-neutral-buoyancy-condition/D4DD7D988FBA9582785BB994A97AC653>>. Acesso em: 31 out. 2019.
- GADIR, Y. A. **Ballone und Luftschiffe**. Berlin, TU Berlin, out. 2001. Disponível em: <http://www.isoluftschiff.de/deutsch/links/Ballone_und_Luftschiffe_Yousif.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2020.

- GOODYEAR AEROSPACE CORPORATION. **Feasibility Study of Modern Airships, Phase 2.** Akron, v. 2, 1976. 234 p. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19770016115.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2019.
- HODGE, R. D. Borderworld. **Popular Science**, Harlan, p.56-81, nov. 2012. Mensal.
- HUTHEESING, N. Airship Internet. **Forbes Inc**, New York City, 05 mai. 1997. Mensal. Disponível em: <<https://www.forbes.com/forbes/1997/0505/5909170a.html#245fa4a517ce>>. Acesso em: 18 set. 2019.
- JAVERS, E. Spy in the sky. **Inc Magazine**, New York City, mar. 2003. Mensal. Disponível em: <<https://www.inc.com/magazine/20030301/25191.html?cid=search>>. Acesso em: 18 set. 2019.
- KELLER, J. L-3 EO/IR to provide persistent surveillance visible-light and IR sensors for Army tethered blimps. **Military & Aerospace Electronics**. 15 mai. 2011. Disponível em: <<https://www.militaryaerospace.com/communications/article/16717340/l3-eoir-to-provide-persistent-surveillance-visiblelight-and-ir-sensors-for-army-tethered-blimps>>. Acesso em: 18 set. 2019.
- PUTZGER, I. Boeing's Blimp. **The Journal of Commerce**, New York City, 2008.
- SCHLICHTING, H. **Boundary-layer Theory**. 7. ed. University Park, Texas: Southern Methodist University, 1979. 817 p. (McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering). Disponível em: <https://books.google.com.br/books/about/Boundary_layer_theory.html?id=fYdTAAAMAAMAJ&redir_esc=y>. Acesso em: 29 out. 2019.
- STOCKBRIDGE, C.; CERUTI, A.; MARZOCCA, P. Airship Research and Development in the Areas of Design, Structures, Dynamics and Energy Systems. **International Journal Of Aeronautical And Space Sciences**. Seoul, p. 170-187. jun. 2012. Disponível em: <<http://www.dbpia.co.kr/Society/articleDetail/NODE01919220#none>>. Acesso em: 31 out. 2019.
- STRÄTER, B. **Aktueller Stand der Leichter-als-Luft-Technologie**. Darmstad: Technische Universität Darmstadt, 2003. Disponível em: <https://www.aviation.tu-darmstadt.de/media/arbeitskreis_luftverkehr/downloads_6/kolloquien/10kolloquium/strteraktuellers_tandderleichteralslufttechnologie.pdf>. Acesso em: 3 set. 2019.
- ZHANG, M.; WANG, X.; DUAN, D. Panel method predictions of added mass for flexible airship. **Aeronautical Journal**, Xangai, p. 519-531. mai. 2013. Disponível em: <<https://www.cambridge.org/core/journals/aeronautical-journal/article/panel-method-predictions-of-added-mass-for-flexible-airship/F88AF1ABB85BF239499BB15831196584>>. Acesso em: 17 out. 2019.

AGRADECIMENTOS

Somos gratos pela paciência e suporte de nossas respectivas famílias, pois através delas foi possível a realização deste artigo.

Agradecemos a Prof. Dra. Silvia Maria Stortini González Velázquez pela ajuda em melhorias no texto.