

## Análise de formatos e fuselagens e sua influência em coeficiente de arrasto e sustentação

### Shape and fuselage analysis and their influence on drag and lift coefficient

#### RESUMO

**Isabella Fernanda Weber Cordova**  
[isabella.fcordova@gmail.com](mailto:isabella.fcordova@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Everton Moraes Matos**  
[everton.moraes@uol.com.br](mailto:everton.moraes@uol.com.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Ponta Grossa, Paraná, Brasil

As aplicações dos drones são cada vez mais exploradas devido a sua estabilidade de voo e suspensão no ar. O objetivo dessa pesquisa é desenvolver uma fuselagem que permita o aproveitamento do fluxo de ar na geração de uma força de sustentação, aumentando a eficiência energética do drone, analisando o impacto da fuselagem na força de arrasto e torque. Realizou-se simulações de voo no *software* Ansys CFX R19.1. Para o desenvolvimento das geometrias, do domínio físico e para a configuração das malhas, foi utilizado o *software* de desenho computacional Salome 8.3.0. Foram analisadas a fuselagem do drone modelo comercial e desenvolvidas duas fuselagens que permitiram o aproveitamento do fluxo de ar na economia de bateria. O segundo modelo desenvolvido permitiu maior aproveitamento pela adaptação do perfil NACA 9418. As modificações realizadas foram a prolongação e inclinação do perfil do corpo e a criação de um afunilamento frontal. Isso resultou em uma força de sustentação aproximadamente oito vezes maior do que a do modelo comercial, evidenciando que os drones apresentam a possibilidade de utilizar os fenômenos físicos e princípios matemáticos na criação de uma força de sustentação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Drone. Simulação. Modelos geométricos.

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



#### ABSTRACT

The applications for drones are increasingly exploited due to their flight and takeoff stability. The objective of this study is to develop a fuselage that allows drones to use air flow to generate lift force, increasing energy efficiency, and also analyzing the impact of the fuselage on its drag force and torque. Flight simulations were performed using ANSYS CFX R19.1. The geometries, physical domains and mesh configuration were developed using Salome 8.3.0, a computer drawing tool. The analysis involved a fuselage based on the commercial model and other two that allowed the use of air flow in the battery saving. The second developed model allowed greater use by adapting a NACA 9418 profile. The adaptations were the extension and inclination of the body profile and the creation of a frontal taper. This fuselage resulted in a lift force eight times greater than of the commercial model, showing that drones present the possibility of using physical and mathematical principles to generate lift force.

**KEYWORDS:** Drones. Simulation. Geometric models.

## INTRODUÇÃO

Os drones apresentam diversas aplicações como recreação, fotografia, entrega de produtos, inspeção de equipamentos em meios insalubres, mapeamento, dimensionamento, entre outras. A presença de hélices verticais no drone permite maior estabilidade de voo, decolagem, pouso e suspensão no ar. Uma das características é sua autonomia, isto é, o tempo de atividade que a bateria permite alcançar. A autonomia pode ser alterada aumentando o *pack* de baterias, porém, isso acarreta no aumento do peso total, que, por sua vez, aumenta o consumo de bateria do drone. Pode-se explorar, então, o aumento da eficiência energética do drone pelo desenvolvimento de uma fuselagem que permita a utilização da força de sustentação durante o voo, contribuindo com a economia de energia da bateria e, assim, aumentando a eficiência energética.

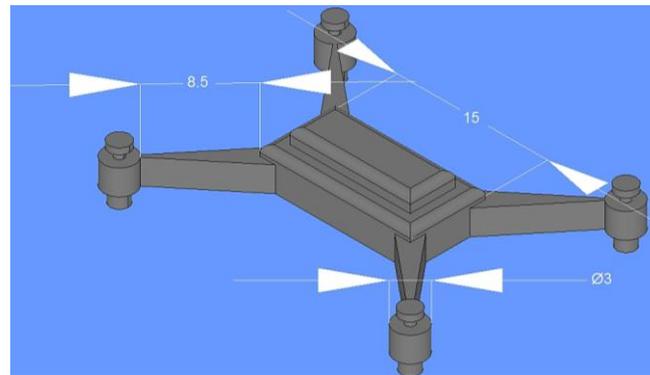
As geometrias dos perfis das asas de avião são estudadas de forma a sustentar a aeronave e diminuir a resistência do ar. Existem diversas formas e famílias de asa, sendo uma delas a NACA, que consiste em perfis gerados por equações analíticas que relacionam a simetria e a espessura da asa. Define-se arqueamento como a assimetria entre as superfícies superior e inferior da asa, criando uma curvatura na parte inferior para aumentar a força de sustentação durante o voo (SAMIEE et al., 2018). A nomenclatura ocorre na forma de NACA MPXX, onde M é o arqueamento (de 0% a 9,5%), P é a posição do ponto de arqueamento máximo dividido por 10 (de 0% a 90%) e a XX é a espessura da asa (de 1% a 40%) (AIRFOIL TOOLS, 2019). O funcionamento da asa de avião pode ser explicado pelo Princípio de Bernoulli. Assim, o aumento da velocidade deve vir acompanhado pela diminuição da pressão, e vice versa. A geometria da asa permite o aumento da velocidade do fluido na parte superior, diminuindo a pressão nessa região, e a diminuição da velocidade da parte inferior da asa, aumentando-a. Isso causa um desbalanceamento na pressão, e o resultado desse é uma força de sustentação. Além disso, a fuselagem da asa permite a diminuição da força de arrasto pela suavização das curvas da geometria da asa.

O objetivo dessa pesquisa é desenvolver uma fuselagem de um drone que permita o aproveitamento do fluxo de ar na geração de uma força de sustentação, aumentando a eficiência energética do dispositivo através da economia de bateria, analisando o impacto da fuselagem na força de arrasto e torque. Na fuselagem de drones, o torque está associado com a dirigibilidade e estabilidade durante o voo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento das geometrias, foi utilizado o *software* Salome 8.3.0. Gerou-se um domínio representando o volume do ar ao redor do drone, ou seja, excluindo-se a fuselagem do drone de uma geometria correspondente ao volume do ar. O volume do domínio foi determinado de forma que as diferenças de pressão nas extremidades do domínio fossem desprezíveis. Primeiramente, para comparação dos resultados, foi feito o *design* do drone modelo comercial com quatro apoios, conforme mostra a figura 1, juntamente com as dimensões do drone:

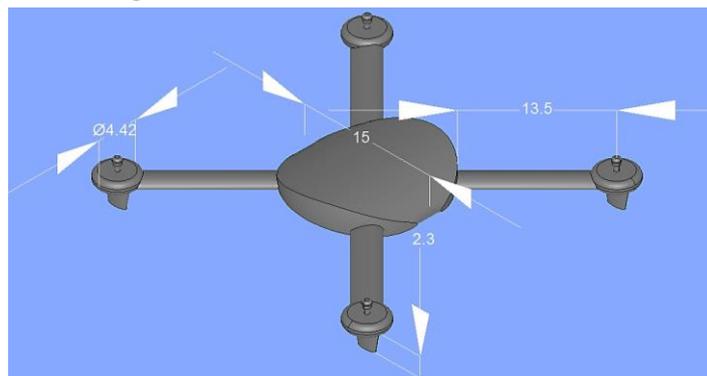
Figura 1 – Dimensões e *design* do drone modelo comercial.



Fonte: Autoria própria (2019).

A partir de um perfil de asa que apresentasse maior força de sustentação, criou-se um *design* de drone cujo corpo e braços tivessem esse perfil. Assim, desenvolveu-se o modelo Drone 1, com perfis de asa NACA 9418, com 4 apoios, conforme ilustrado na figura 2, juntamente com as dimensões do drone:

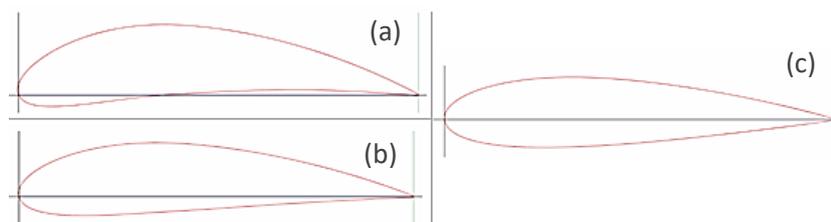
Figura 2 – Medidas e modelo do Drone 1.



Fonte: Autoria própria (2019).

Antes, comparou-se os perfis NACA 9418, NACA 5418 e NACA 2418 com o arqueamento em 9%, 5% e 2%, respectivamente, mantendo a posição do arqueamento máximo em 40% e espessura de 18%. Utilizou-se no desenvolvimento do Drone 1 o perfil que apresentasse maior força de sustentação. Assim, para a obtenção dos resultados, foi realizada a extrusão dos perfis de asa, criando um objeto de 15 cm de largura, no sentido da extrusão, e 30 cm de comprimento. Os perfis são ilustrados na figura 3:

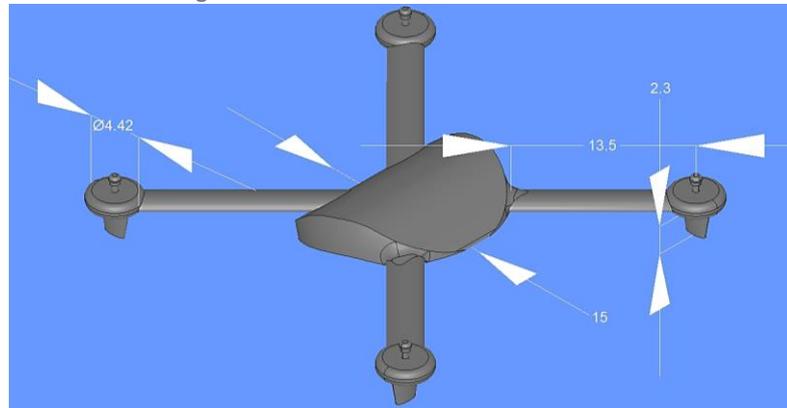
Figura 3 – Perfil de asa (a) NACA 9418 (b) NACA 5418 e (c) NACA 2418.



Fonte: Airfoil Tools (2019). Adaptado.

Analisando os resultados do Drone 1, visualizou-se possíveis melhorias na mesma. Dessa forma, criou-se o *design* do Drone 2, ilustrado na figura 4, juntamente com suas dimensões:

Figura 4 – Medidas e modelo do Drone 2.



Fonte: Autoria própria (2019).

A discretização do domínio foi feita pela geração da malha com a função *Mesh* do *software* Salome 8.3.0. Para a realização da simulação, utilizou-se o *software* ANSYS CFX R19.1, definindo as condições iniciais e fronteiras na interface CFX-Pre. Resolveu-se, então, o sistema de equações na interface CFX-Solver e visualizou-se os resultados na interface CFX-Post. O domínio foi definido como ar atmosférico, isotérmico a 25°C, com gravidade de 9,81 m.s<sup>-2</sup> e modelo de turbulência k-Epsilon. Foi definido como condições iniciais da entrada velocidade do ar de 0,2 km/h e pressões nas fronteiras saída e *opening* como 1 atm, no modelo pressão estática média. O critério de convergência foi definido como erro abaixo de 10<sup>-4</sup> na resolução ou 100 interações. Para todos os testes, obteve-se erro abaixo de 10<sup>-3</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta os resultados das simulações dos modelos desenvolvidos:

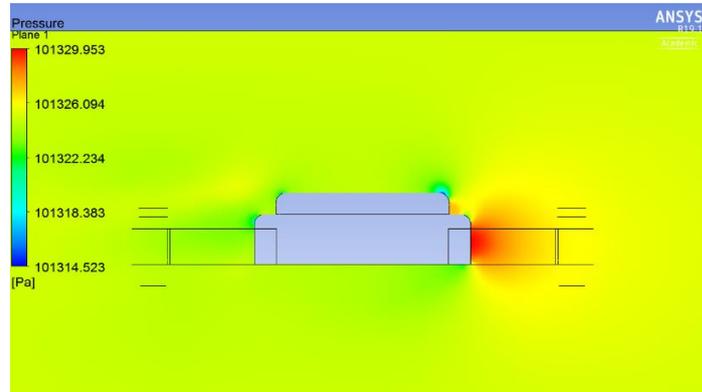
Tabela 1 – Resultados da simulação

Modelo	Força de	Valor	Torque	Valor
Drone Comercial	Sustentação (N)	0,0119382	No eixo Y (N.m)	0,00034643
	Arrasto (N)	-0,0574223		
Extrusão NACA 9418	Sustentação (N)	0,0613409	No eixo Y (N.m)	0,00500241
	Arrasto (N)	-0,0210479		
Extrusão NACA 5418	Sustentação (N)	0,0405111	No eixo Y (N.m)	0,00225281
	Arrasto (N)	-0,0130205		
Extrusão NACA 2418	Sustentação (N)	0,0272585	No eixo Y (N.m)	0,00069956
	Arrasto (N)	-0,0104677		
Drone 1	Sustentação (N)	0,0544179	No eixo Y (N.m)	0,00127079
	Arrasto (N)	-0,0184528		
Drone 2	Sustentação (N)	0,100077	No eixo Y (N.m)	0,00032572
	Arrasto (N)	-0,0492726		

Fonte: Autoria própria (2019).

A figura 5 apresenta as diferenças de pressão em um plano XZ para o drone modelo comercial:

Figura 5 – Plano XZ de diferença de pressão para o drone modelo comercial.

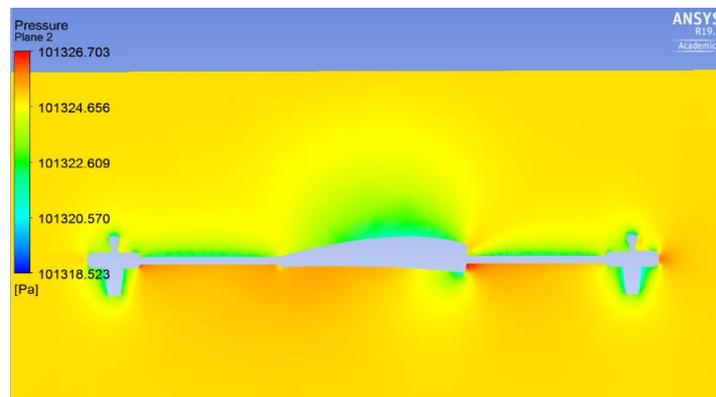


Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando a figura 5, nota-se que não há aproveitamento da passagem de ar na geração de força de sustentação, pois não ocorre regiões de baixa pressão na superfície superior da fuselagem ou de alta pressão na região inferior. A região frontal em vermelho indica a presença do atrito do ar com a geometria, o que aumenta a força de arrasto no drone, diminuindo sua velocidade.

Observando os resultados na tabela 1, a extrusão NACA 9418 apresentou maior força de sustentação. Esse resultado está de acordo com o previsto na literatura, uma vez que o arqueamento inferior permite o aumento da pressão nessa região (SAMIEE et al., 2018). Assim, utilizou-se o perfil NACA 9418 no *design* do Drone 1. Esse perfil foi utilizado na modificação dos braços e corpo do Drone 1.

Figura 6 – Plano diagonal de diferença de pressão para o drone modelo comercial.

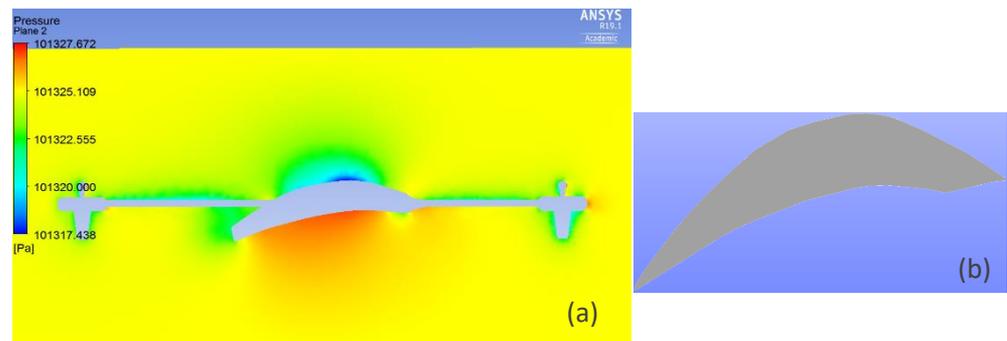


Fonte: Autoria própria (2019).

Percebe-se, pela figura 6, o aproveitamento da passagem de ar, pois ocorrem regiões de baixa pressão na superfície superior da fuselagem. O resultado deste é mostrado na força de sustentação do mesmo, 0,0544179 N, maior do que a obtida pelo drone comercial (0,0119382 N), conforme a tabela 1. Também houve a diminuição do valor absoluto da força de arrasto, -0,0184528 N, em relação ao modelo comercial (-0,0574223 N), pela diminuição do atrito do ar com a parte frontal da geometria, conforme observado na figura 5. O valor do torque em relação ao eixo Y foi de 0,00127079 N.m, maior do que o obtido para o drone comercial, de 0,00034643 N.m, indicando possível modificação na dirigibilidade do drone. Na elaboração do Drone 2, realizou-se o prolongamento e inclinação para

baixo do perfil de asa, para obter um aumento da pressão na região inferior. Na superfície superior, foi mantida a curvatura do perfil NACA 9418. Por fim, realizou-se o afunilamento da parte frontal da geometria para diminuir o atrito com o ar. Os perfis NACA 9418 nos braços do drone foram mantidos. O perfil do corpo pode ser analisado na figura 7 (b), assim como os resultados da simulação na figura 7 (a):

Figura 7 – (a) Plano diagonal de diferença de pressão para o drone modelo comercial  
(b) Perfil do corpo do Drone 2



Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando a figura 7 (a), percebe-se maior aproveitamento da passagem de ar na geração de força de sustentação pelo aumento da pressão na região inferior da fuselagem. O resultado deste aumento de pressão é mostrado na força de sustentação do mesmo, 0,100077 N, maior do que a obtida pelo drone modelo comercial (0,0119382 N) e pelo Drone 1 (0,0544179 N). O valor do torque em relação ao eixo Y foi de 0,000325725 N.m, muito próximo do obtido para o drone comercial, de 0,00034643 N.m, de acordo com a tabela 4. Assim, a dirigibilidade do drone terá pouca ou nenhuma modificação.

## CONCLUSÕES

O aproveitamento da passagem de ar na sustentação do drone acarreta na menor utilização da bateria, aumentando sua eficiência energética. Assim, conclui-se que os drones também apresentam a possibilidade de utilizar os fenômenos físicos e princípios matemáticos na criação de uma força de sustentação.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR pela oportunidade de desenvolvimento da pesquisa. Agradeço também ao meu orientador, Prof. Dr. Everton Moraes Matos.

## REFERÊNCIAS

SAMIEE, Ahmad et al. Improvement of Airfoils Aerodynamic Efficiency by Thermal Camber Phenomenon at Low Reynolds Number. J. Aerosp. Technol. Manag., São José dos Campos, v.10, e4518, 2018. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2175-91462018000100338](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-91462018000100338). Acesso em 15 jul 2019.

A Airfoil Tools. NACA 4 digit airfoil generator. Disponível em: <http://airfoiltools.com/airfoil/naca4digit>. Acesso em 15 jul 2019.