



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM INSTRUMENTO PARA TESTE DO CONJUNTO MOTOR-HÉLICE DE VANTS

**Elisiane P. Paixão**

Acadêmica do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, bolsista de Iniciação Científica  
elisianep251@gmail.com

**Manuel M. P. Reibold**

Professor Dr. / Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ  
manolo@unijui.edu.br

**Luís F. Sauthier**

Aluno do programa de Pós-graduação de Modelagem Matemática da UNIJUÍ  
luisfernandosauthier@gmail.com

**João V. das Chagas Silva**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, bolsista de Iniciação Científica  
joaovitor753pw@gmail.com

**Resumo.** *Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) se destacam pela aplicabilidade em tarefas que oferecem risco à integridade física de pilotos. Atualmente, estão se popularizando em aplicações civis, em que a necessidade de modelos com alta performance e rendimento torna essas aeronaves objeto de estudo em grupos de pesquisa. Contudo o responsável pelo desempenho dessas aeronaves é o sistema de propulsão, composto por hélice, motor e controlador de velocidade. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é desenvolver uma plataforma experimental, que atue como instrumento de medição e possibilite analisar as grandezas físicas que influenciam diretamente no comportamento desses sistemas. A metodologia se desenvolve a partir da construção de módulos de aquisição de dados e o resultado contribui com as investigações realizadas no Curso de Pós-graduação em Modelagem Matemática da UNIJUÍ.*

**Palavras-chave:** *Veículo multirrotor, aquisição de dados, modelagem matemática.*

### 1. INTRODUÇÃO

Um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) é uma aeronave que pode ser controlada remotamente (RPA – *Remotely Piloted Aircraft*) ou voar de forma autônoma (AA – *Autonomous Aircraft*). Os RPAs são apropriados para um amplo conjunto de aplicações, tais como produção de conteúdo jornalístico, monitoramento ambiental, pesquisa acadêmica e industrial, em que se destacam os modelos multirrotores.

No meio acadêmico é relevante investigar o desempenho dessas aeronaves a fim de projetar modelos que atendam determinadas especificidades de voo. Faundes, N. *et al* [1], retratou o estado da arte sobre metodologias de otimização de multirrotores. Chéron, C. *et al* [2] desenvolveu um estudo com plataformas de testes para identificar a eficiência do sistema de propulsão. O propulsor é composto por motor de corrente contínua, controlador

eletrônico de velocidade (ESC – *Electronic Speed Controller*) e hélice.

No entanto, uma das principais dificuldades é retratar os fenômenos físicos que envolvem esses sistemas, haja vista que esses são de difícil observação. Para que isso não ocorra, é necessário utilizar recursos que facilitem essa observação.

Nesse contexto, esse trabalho investiga a aplicação de plataformas como instrumento de medição, aplicadas na observação de fenômenos físicos. A confirmação dar-se-á por meio de simulação, em que os resultados poderão contribuir para as investigações realizadas no Curso de Pós-graduação em Modelagem Matemática da UNIJUÍ e da comunidade que projeta VANT.

A composição deste artigo está organizada em 5 seções: Na seção 2 define-se conceitos sobre as grandezas físicas observáveis. A seção 3 aborda a metodologia, que evolui a partir da implementação dos módulos de medição. A seção 4 apresenta os resultados, análise e discussão. Por fim, na seção 5 é apresentada a conclusão e trabalhos futuros.

## 2. GRANDEZAS ABORDADAS

Os Veículos Aéreos Não Tripulados possuem múltiplas configurações. No entanto, independente do arranjo, o sistema de propulsão é o responsável por sua estabilidade e mobilidade. As grandezas observáveis estão descritas a seguir.

### 2.1 Empuxo

Um corpo total ou parcialmente imerso em um fluido sofre ação de uma força de módulo igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo. Essa força é denominada empuxo, possui sentido oposto ao da gravidade, e a intensidade é igual a do peso deslocado.

Usualmente, relaciona-se o empuxo ao líquido, porém um fluido é definido como qualquer substância que pode fluir ou escoar. Essa definição também descreve o comportamento dos gases, nesse caso o ar.

No caso do empuxo do sistema de propulsão, esse pode ser definido pela Eq. (1)

$$E = m * g \quad (1)$$

Sendo  $m$  a massa e  $g$  a aceleração da gravidade.

### 2.2 Velocidade Angular

A taxa de variação dada pela relação entre um movimento circular de uma partícula no tempo é denominada velocidade angular. Portanto, essa pode ser definida instantaneamente como um deslocamento angular de curta duração dividido pelo tempo e definida pela Eq. (2).

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

### 2.3 Torque

É definido como a tendência do acoplamento mecânico (de uma força e sua distância radial ao eixo de rotação) para produzir rotação. Segundo Leishman [3], em aeronaves de asas rotativas, como é o caso de multirrotores, é possível relacionar o coeficiente de torque ( $C_T$ ) ao empuxo e à velocidade angular por meio da Eq. (3).

$$C_T = \sqrt{\left(\frac{E}{\rho * A * R^2 * \omega^2}\right)^3 * \frac{1}{2}} \quad (3)$$

Sendo,  $\rho$  a densidade do ar,  $A$  a área do disco e  $R$  o raio da hélice. Assim, por meio da Eq. (4) se obtém o valor do torque ideal.

$$T = C_T * \rho * A * R^3 * \omega^2 \quad (4)$$

## 3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada possui natureza sistemática, é exploratória e experimental. O estudo envolve a concepção de um sistema de medição com o intuito de observar o desempenho comportamental das grandezas que influenciam no desempenho do módulo propulsor eletromecânico. Em que, com o auxílio da plataforma, será possível observar

e retratar o comportamento das variáveis: empuxo ( $E$ ), velocidade angular do motor ( $\omega$ ) e torque do motor ( $T$ ), o qual inicialmente será obtido por meio de equacionamento matemático.

A leitura dessas variáveis será realizada por sensores. Cada sensor é responsável pela medição de uma grandeza e representa um módulo de aquisição de dados. A ligação desses módulos é realizada com a plataforma Arduino UNO.

A técnica utilizada para medição do empuxo é por meio de balança de precisão, esse dispositivo é usado para medir o peso de um corpo, para isso utiliza célula de carga, que converte o valor de deformação em tensão elétrica por meio de um circuito elétrico constituído de resistores variáveis, Werneck [4].

Para aquisição da velocidade angular a técnica utilizada é por meio de sensor de reflexão. Esse dispositivo possui acoplado no mesmo invólucro um sensor infravermelho (emissor) e um fototransistor (receptor). Como o sensor trabalha com emissão e reflexão de luz infravermelha, é necessário a utilização de faixas com intercalação de cor clara e escura. Assim, uma onda quadrada é obtida na saída do sensor. Esta onda varia linearmente com a velocidade do motor, gerando um sinal que pode ser interpretado pelo circuito gerenciador.

Os motores *brushless* possuem como característica, quando comparados a outros motores, a alta eficiência e a elevada capacidade de carga. O diferencial deve-se a concepção construtiva, em que a parte externa do motor é ligada a hélice, proporcionando maior torque. Desse modo, para definição dos valores de torque existem dois métodos que podem ser utilizados. O primeiro, utilizando um sensor que mede a quantidade de força de rotação que o motor exerce e o segundo por meio de método empírico, utilizando de experiências práticas e fazendo uso de equacionamento matemático.

#### 4 RESULTADOS E ANÁLISE

A Figura 1 ilustra a plataforma experimental, a partir da qual é possível realizar ensaios e constatar o comportamento das grandezas supracitadas.

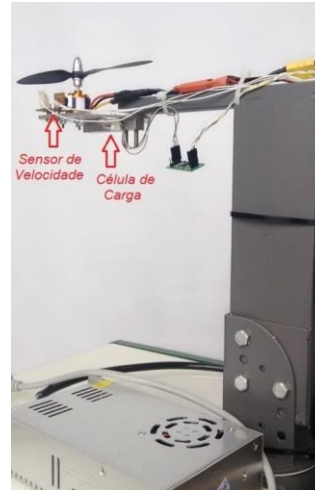


Figura 1. Plataforma experimental

O módulo propulsor utilizado para realizar os ensaios está descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Sistema de Propulsão

Motor	Marca Turnigy Modelo 2826/10
ESC	Marca RED Brick, 21A
Hélice	9x3,8"

Os resultados obtidos estão ilustrados graficamente na Fig. 2 para o empuxo, na Fig. 3 para a velocidade angular e na Fig. 4 para o torque.

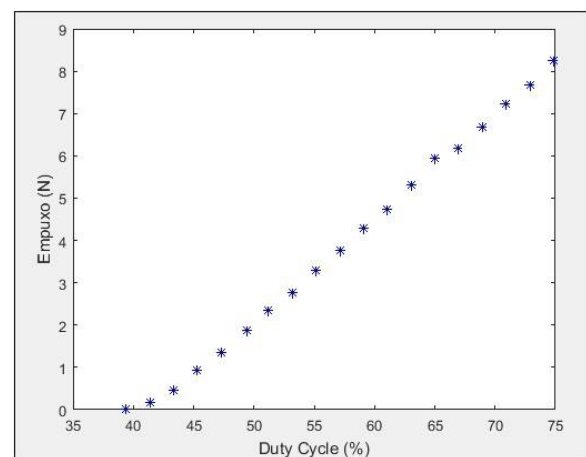


Figura 2 – Comportamento do empuxo

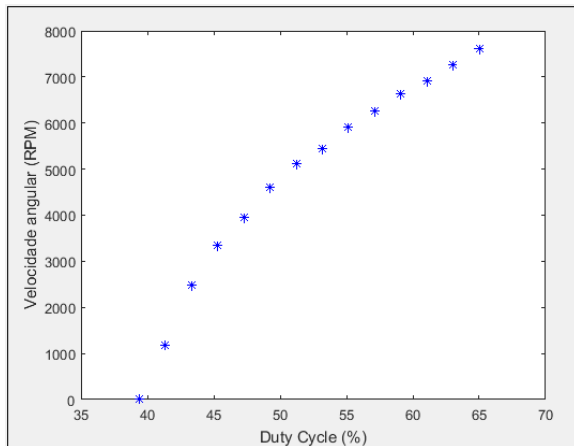


Figura 3 - Comportamento de velocidade

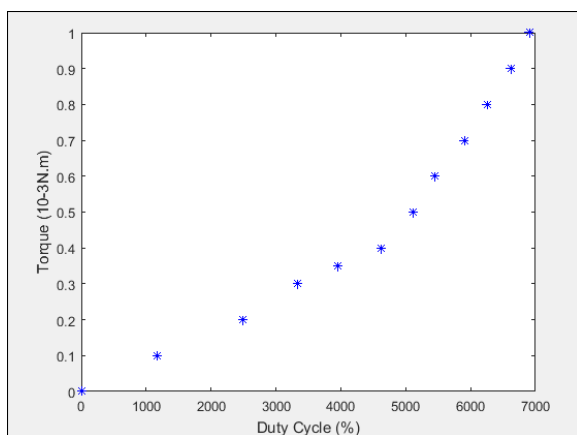


Figura 4 – Comportamento do torque

### Discussão

A estrutura física da plataforma tem como base de sustentação uma armação metálica que permite rotação. Em sua extremidade é alocada a célula de carga, que atua como apoio para o propulsor, e uma estrutura onde está fixado o sistema de leitura da velocidade. No teste do empuxo e da velocidade, o sinal de referência é o PWM (*Pulse Width Modulation*), que consiste na variação da tensão elétrica média de entrada do controlador eletrônico de velocidade. De acordo com a variação dessa tensão elétrica é possível aumentar ou diminuir a velocidade do motor, e conseqüentemente o empuxo. Na avaliação é possível constatar linearidade no comportamento entre o sinal de entrada e o empuxo e na comparação entre o sinal de entrada e a velocidade o comportamento indica uma curva acentuada.

Ambos os resultados apresentam comportamento satisfatório. A estrutura da plataforma mostrou-se satisfatória, pois apresentou rigidez suficiente para manter o correto funcionamento do conjunto, assim como os dados obtidos que representaram adequadamente a dinâmica comportamental do conjunto motor-hélice.

### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de plataformas experimentais, na verificação de grandezas de difícil observação, é direcionada para criar um instrumento de medição que proporcione descrever o desempenho dessas grandezas. Para as medições realizadas, os resultados são satisfatórios, no entanto, o comportamento do torque é ideal e não retrata fielmente o sistema. Outros testes são apresentados na literatura técnica decorrentes da aplicação de dinamômetros, os quais serão estudados posteriormente.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FAPERGS.

### 6. REFERÊNCIAS

- [1] FAUNDES, N. et al. **Research paper on the topic of different UAV drive train qualification and parameter sets.** *IEEE/AIAA 32nd Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, East Syracuse, NY, p. 1-15, 2013
- [2] CHÉRON, C. et al. **A multifunctional HIL testbed for multicopter VTOL UAV actuator.** *IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications (MESA)*, Qingdao, ShanDong, p. 1-5, 2010.
- [3] LEISHMAN, J. G. **Principles of Helicopter Aerodynamics.** Cambridge Aerospace Series. 2 Ed. 2006.
- [4] WERNECK, Marcelo Martins. **Transdutores e Interfaces.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. LTC - Livros Técnicos Científicos S.A. 1996.