

## DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA TESTES DE PROPULSÃO AÉREA CONTRA-ROTATIVA

Antônio Alencar Nogueira Pancoti, antonio.pancoti@engenharia.ufjf.br<sup>1</sup>

Edvaldo Soares Araújo Neto, edvaldoneto@santoantonioenergia.com.br<sup>2</sup>

Leonardo de Mello Honório, leonardo.honorio@ufjf.edu.br<sup>1</sup>

Rafael Grande Pancini Delmonte, rafael.delmonte@engenharia.ufjf.br<sup>1</sup>

Vitor Mainenti Leal Lopes, vitor.mainenti@ufjf.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Juiz de Fora - Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora, MG, Brasil

<sup>2</sup>Santo Antônio Energia - Porto Velho, RO, Brasil

**Resumo.** A obtenção de dados acurados e precisos de propulsão aérea é de extrema importância para projetos de robótica móvel que utilizam desta configuração para se locomover. Tal cenário é encontrado no Grupo de Robótica Inteligente da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), onde projetos com drones e embarcações autônomas são desenvolvidos. Visto que alguns projetos apresentam propulsão contra-rotativa, conhecer o valor da perda propulsiva dos motores localizados na esteira dos motores adjacentes torna-se muito importante na determinação do desempenho destes veículos. Assim, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma bancada capaz de comportar dois grupos motopropulsores e instrumentar os parâmetros de tração, rotação, corrente, tensão e torque, além de realizar o acionamento remoto dos motores e registro automatizado dos dados. Onde os resultados apresentaram grande correlação na validação e a possibilitou quantificar a perda de tração do motor que recebe a esteira de ar.

**Palavras chave:** Ensaio de motores. Contra-rotativos. Instrumentação. Propulsão aérea

**Abstract.** It is extremely important to obtain accurate and precise air propulsion for mobile robots that use this configuration to move around. Such a scenario is found in the Intelligent Robotics Group of the Federal University of Juiz de Fora (UFJF), where projects with drones and autonomous vessels are developed. Since some designs have counter-rotating propulsion, knowing the loss of propulsive value of the engines located in the wake of adjacent engines becomes very important in determining the performance of these vehicles. This work presents the development of a test bench capable of holding two powertrain groups and instrumenting the parameters of thrust, rotation, current, voltage and torque, in addition to performing the remote activation of the motors and automated recording of the data. Where the results showed a high correlation in validation and allowed for understanding the loss of thrust from the motor receiving the air stream.

**Keywords:** Motor test. Counter-rotating. Instrumentation. Air propulsion

### 1. INTRODUÇÃO

Em projetos de robótica móvel que utilizam de grupos motopropulsores elétricos compostos por motor, bateria, hélice e o ESC (Electronic Speed Control), para se locomover, ter o conhecimento das forças e de seu consumo energético torna-se de grande importância para avaliar o desempenho dos veículos. Tendo posse de dados ensaiados como tração, momento, rotação, corrente e tensão, pode-se garantir o cumprimento dos requisitos de performance como velocidade, autonomia e peso máximo transportando (Raymer, 1992). Além disso, até no dimensionamento estrutural, em relação aos materiais e geometria de fixação do grupo motopropulsor, tais dados são importantes para um projeto seguro e otimizado.

Tal cenário é encontrado no Grupo de Robótica Inteligente (GRIn) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), onde projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) são elaborados para atender demandas do setor elétrico brasileiro utilizando robótica móvel. A Fig. 1 apresenta dois exemplos de aplicações desenvolvidas no GRIn, sendo elas inspeções em linhas de transmissão utilizando drones e monitoramento em hidrelétricas com embarcações do tipo catamarã.

Ambos os projetos apresentam configurações distintas em relação à disposição dos grupos motopropulsores, onde no drone se tem uma opção mais convencional com 4 motores nas extremidades dos braços do veículo, já no catamarã tem-se um posicionamento onde os propulsores traseiros recebem o fluxo de ar dos motores dianteiros, configuração denominada contra-rotativa. Assim, tal configuração faz com que os motores traseiros tenham certa perda de eficiência, e conhecer tal valor de perda torna-se uma informação muito valiosa para determinar as velocidades de operação e aceleração da embarcação. Existem projetos de drones que utilizam também da configuração contra-rotativo (Ardupilot, 2022), onde os motores ficam concêntricos e mais próximos, se comparados com a distância da embarcação apresentada.

Diante deste cenário, este trabalho propõe desenvolver uma bancada de teste capaz de realizar ensaios com um motor,



Figura 1. Drone e catamarã, respectivamente, em missões em campo

configuração convencional, e com dois motores na configuração contra-rotativa. Nessa opção, será possível variar a distância entre os motores e instrumentar os dados para analisar tanto o desempenho do conjunto motopropulsor do ponto da vista da perda de tração, quanto o comportamento dos componentes eletro-mecânicos e eletrônicos.

## 2. METODOLOGIA

O desenvolvimento da bancada foi dividido entre os Projetos Estrutural e de Instrumentação Eletrônica. O Estrutural teve como objeto definir o formato e seleção dos materiais necessários para a fabricação da bancada. Já no Projeto de Instrumentação Eletrônica, os sensores, software e componentes eletrônicos necessários para a coleta dos dados foram selecionados e integrados. Os requisitos utilizados para as escolhas em cada projeto seguem em destaque:

### 1. Estrutura da Bancada

- Capacidade de suportar os esforços de tração e momento de maneira segura;
- Praticidade e segurança ao se variar a distância entre os motores;
- Ser composta de componentes com disponibilidade em mercado sem altos custos financeiros;

### 2. Instrumentação Eletrônica

- Ser capaz de instrumentar os dados de tração, momento, rotação, corrente, tensão, temperatura e pressão;
- Possibilitar o armazenamento automático e acionamento remoto dos motores, visando a segurança;
- Ser composta de sensores que apresentem dados acurados com um custo/benefício interessante para o projeto.

### 2.1 Estrutura da Bancada

Para a montagem da bancada foram selecionados Perfis Estruturais em alumínio com 30x30 mm de seção, os quais apresentam propriedades mecânicas favoráveis para suportar os esforços de tração e momento, além de permitirem uma montagem prática, a partir de cantoneiras com parafusos e porcas apropriadas. A Fig. 2 apresenta a modelagem da bancada, onde para realizar a variação da distância “D” entre os motores basta liberar, movimentar e apertar os parafusos das cantoneiras na posição desejada.

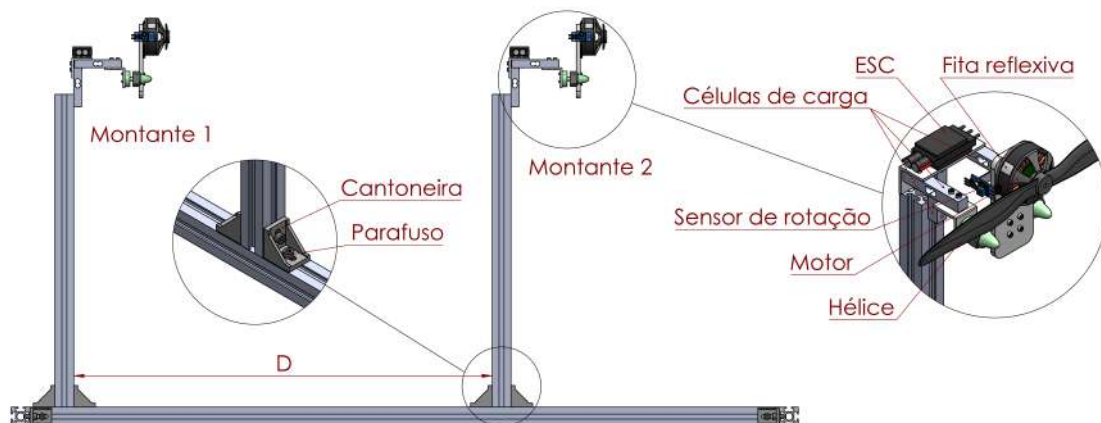


Figura 2. Estrutura da bancada

A estrutura de suporte dos motores foi nomeada de montante, onde cada uma foi composta por três células de carga, sendo que duas ficam posicionadas na horizontal para medir o momento de forma complementar e uma na vertical para aferir a tração. Além disso, o sensor de rotação fica na lateral do motor para identificar a passagem da fita reflexiva colada no rotor.

## 2.2 Instrumentação Eletrônica

A Fig. 3 apresenta um diagrama para ilustrar como deve ser a integração do sistema de coleta, onde se tem o acionamento remoto dos motores, o sensoriamento e o registro dos dados, todos sendo comandos pelo sistema embarcado de gerenciamento.



Figura 3. Diagrama de integração do sistema de coleta dos dados

### 2.2.1 Gerenciamento do Sistema

Para o gerenciamento do sistema a plataforma de prototipagem NodeMCU-ESP32 foi escolhida, essa conta com o microcontrolador ESP32 e tem como principais características ser de código aberto, programável, de baixo custo, compacta e habilitada para comunicação Wi-Fi e Bluetooth (NODEMCU, 2019). Além disso, tal módulo apresenta pinos digitais e analógicos, onde alguns apresentam funções como *PWM* (Pulse Width Modulation), *I<sup>2</sup>C* (Inter-Integrated Circuit) e *SPI* (Inter-Integrated Circuit). Tais características permitem o acionamento remoto dos motores e a comunicação com uma vasta gama de sensores, cumprindo assim com os requisitos de projeto levantados. A Fig. 4 destaca a pinagem e principais características do NodeMCU-ESP32.

| Especificações |                          |
|----------------|--------------------------|
| Arquitetura    | 32 bits                  |
| RAM            | 520 KB                   |
| Clock          | 240 MHz                  |
| Nº de Cores    | 2                        |
| Interfaces     | SPI, I2C, UART, I2S, CAN |
| ADC            | 18                       |
| Alimentação    | 3 a 3,3 V                |
| Dimensões      | 52x28x5 mm               |

Figura 4. NODEMCU-ESP32

Para o acionamento remoto dos motores foi desenvolvido um aplicativo através da plataforma *APP Inventor* (MIT, 2010) que utiliza da comunicação Bluetooth para enviar os comando de *PWM* para a rotação dos motores e a leitura dos sensores.

### 2.2.2 Célula de carga

A célula de carga é o instrumento mais utilizado para medir massa, especialmente em aplicações industriais (Morris, 2001). Este componente consiste em uma pequena barra de alumínio que apresenta um tipo específico de resistência elétrica, conhecida como extensômetro, colada em uma de suas faces. Os extensômetros são capazes de variar seu valor de resistência linearmente em função da carga aplicada sobre a barra de alumínio (Ataide, 2012). Devido à reduzida magnitude do sinal elétrico proveniente da variação da resistência elétrica, um circuito para amplificar o sinal torna-se necessário.

Após uma pesquisa de mercado, o modelo de célula de carga TAL220 com capacidade de 20 kg (HTC, 2015) em conjunto do Módulo HX711 (AVIA, 2010) foram selecionados e seguem destacados na Fig. 5. Tal componente amplifica e converte o sinal analógico da célula de carga em digital, através de seu conversor de 24 bits. Assim, realizando as devidas calibrações, o NodeMCU-ESP32 pode aquisitar os sinais de tração e momento dos grupos motopropulsores.

| Especificações        |                    |               |              |
|-----------------------|--------------------|---------------|--------------|
| Célula de carga       |                    | HX711         |              |
| Capacidade            | 20 kg              | Conversor ADC | 24 bits      |
| Impedância de entrada | 1000 +/- 15 Ω      | Interface     | SPI          |
| Impedância de saída   | 1000 +/- 10 Ω      | Corrente      | 1,6 mA       |
| Sobrecarga máxima     | 120% da capacidade | Frequência    | 80 Hz        |
| Sobrecarga de ruptura | 150% da capacidade | Temperatura   | - 20 à 85 °C |
| Alimentação           | 3-12 V             | Alimentação   | 3,3 à 5 V    |
| Dimensões             | 80x12,7x12,7 mm    | Dimensões     | 34x31x2 mm   |



Figura 5. Célula de carga e Módulo HX711

### 2.2.3 Medidor de rotação

Para medir a rotação dos motores foram utilizados sensores ópticos devido à praticidade de aquisição dos dados (Morris, 2001), grande disponibilidade em mercado e por serem pouco suscetíveis à interferência eletromagnética proveniente dos motores elétricos.

A Fig. 6 apresenta o módulo selecionado que contém o sensor reflexivo TCRT5000 (VISHAY, 2009), sendo esse composto por dois LED infravermelhos, um emissor e outro receptor. Seu funcionamento acontece da seguinte maneira: deve-se colar um adesivo reflexivo no rotor do motor; e ao iniciar a rotação, sempre que o adesivo passar na frente do LED emissor um pulso infravermelho será refletido e identificado pelo receptor e assim será registrado uma rotação. O código implementado no NodeMCU-ESP32 realizará a contagem de rotações por minuto (RPM) para medir a rotação dos motores.

| Especificações             |                |
|----------------------------|----------------|
| Distância máxima           | 25 mm          |
| Tamanho de onda do emissor | 950 nm         |
| Tipo de detector           | Fototransistor |
| Alimentação                | 3,3 à 5 V      |
| Dimensões                  | 10,2x5,8x7 mm  |

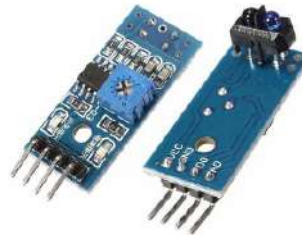


Figura 6. Módulo IR com o sensor reflexivo TCRT5000

### 2.2.4 Wattímetro

Visando coletar os dados de tensão e corrente consumida pelos motores, um wattímetro torna-se necessário. Assim, foi utilizado o Módulo de Potência GM V1, representado na Fig. 7. Tal componente tem um resistor de baixo valor ôhmico, mais conhecido como resistor *Shunt*, e um monitor de corrente denominado INA-169 (Texas, 2016).

O monitor trabalha medindo a queda de tensão  $v$  sobre a resistência *Shunt* de valor conhecido  $R$ , assim utilizando da Lei de Ohm (Alexander and Sadiku, 2013) conforme a Eq. (1), o valor de corrente  $i$  pode ser identificado.

$$v = Ri \tag{1}$$

Através dos pinos de entrada analógica do NodeMCU-ESP32, os valores de corrente e tensão são coletados e seguindo as devidas calibrações, o valor de potência fornecida aos propulsores pode ser medida.

| Especificações   |             |
|------------------|-------------|
| Tensão máxima    | 25 V        |
| Corrente máxima  | 90 A        |
| Saída do regular | 5 V         |
| Conector         | xt60        |
| Dimensões        | 145x15x9 mm |



Figura 7. Módulo de Potência GM V1

### 2.2.5 Sensor de Temperatura e Pressão

Para caracterizar e comparar testes com hélices é conveniente apresentação os resultados em valores adimensionais de Tração e Potência, respectivamente,  $C_T$  e  $C_P$  (Dantsker *et al.*, 2020). Assim, tendo conhecimento da Tração  $T(N)$  e da

Potência Mecânica  $P(W)$  para uma dada rotação RPM, basta seguir os respectivos equacionamentos Eq.(2) e Eq.(3).

$$C_T = \frac{Tg}{\rho \left(\frac{RPM}{60}\right)^2 D^4} \quad (2)$$

$$C_P = \frac{P}{\rho \left(\frac{RPM}{60}\right)^3 D^5} \quad (3)$$

Em ambos os casos, determinar o diâmetro da hélice  $D(m)$  e a aceleração da gravidade  $g(m/s^2)$  são tarefas simples. Porém, o valor da densidade do ar representada por  $\rho(kg/m^3)$  depende de fatores que variam com características do local do teste, como temperatura  $T(K)$  e a pressão  $p(hPa \cdot 10^2)$ . A Equação 4 apresenta a forma de calcular a densidade do ar, onde  $R_g = 287,053 J/(kgK)$  é a constante específica do gás.

$$\rho = \frac{p}{R_g T} \quad (4)$$

Visto a necessidade de se conhecer os valores de temperatura e pressão para adimensionalizar os dados de tração e potência em possíveis testes de comparação entre hélices, o módulo BMP180 foi selecionado e segue na Fig.8. Esse componente permite instrumentar de maneira prática e acurada a temperatura do local de teste, já que apresenta interface de comunicação  $I_2C$  e calibração de fábrica (BOSCH, 2015).

| Especificações         |                |
|------------------------|----------------|
| Interface              | I2C            |
| Leitura de pressão     | 300 á 1100 hPa |
| Leitura de temperatura | -40 á 85 °C    |
| Alimentação            | 1,8 á 3,6 V    |
| Dimensões              | 13x10x2 mm     |



Figura 8. Módulo BMP180

### 2.2.6 Salvando os dados

Como forma de salvar todos os dados instrumentados em cada teste inicializado, o Módulo de Cartão de Memória SD foi necessário. Tal componente segue apresentado na Fig. 9, sendo compatível com o NodeMCU, pois utiliza o protocolo de comunicação  $SPI$  e permite gerar arquivos de texto de cada teste que serão salvos em um cartão de memória.

| Especificações         |            |
|------------------------|------------|
| Interface              | SPI        |
| Compatível com cartões | SD e SDHC  |
| Alimentação            | 3,3 á 5 V  |
| Dimensões              | 41x24x2 mm |



Figura 9. Módulo de Cartão de Memória SD

### 2.2.7 Integração do sistema

Tendo todos os componentes selecionados e conhecendo suas características, estes foram devidamente conectados ao NodeMCU-ESP32. A Fig. 10 apresenta o esquemático das ligação para os dois montantes, bem como a interface do aplicativo desenvolvido para a operação remota via a comunicação Bluetooth.

## 3. RESULTADOS

Com a montagem da estrutura e da eletrônica da bancada finalizadas, testes de validação foram realizados para determinar a acuracidade de todos os sensores utilizados. Inicialmente, foram realizados testes individuais com os montantes para verificar a correção dos dados de cada base. Em seguida, os dados coletados foram comparados com os testes disponibilizados pelo fabricante do motor e hélice, visando assim determinar a exatidão das amostras salvas. Por fim, o ensaio com a configuração contra-rotativa foi realizado, a fim de conhecer o comportamento do motor que recebe o fluxo de ar do primeiro propulsor.



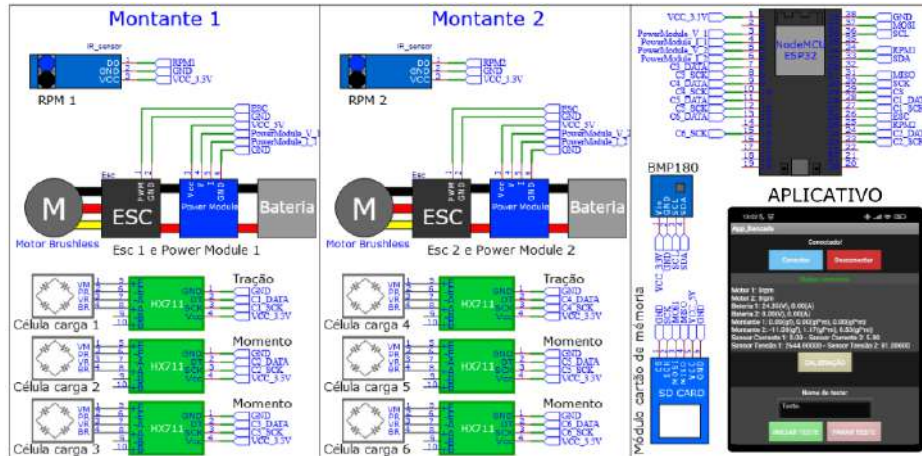


Figura 10. Esquemático de integração do sistema

### 3.1 Teste individual dos motores

Como forma de validar a correlação e exatidão dos dados coletados em cada montante, selecionou-se um grupo motopropulsor com dados confiáveis informados por seu fabricante (MAD, 2022). O grupo utilizado segue composto pelo motor MAD 5008IPE-300 KV em conjunto da hélice Fluxxer Pro 18x6.1 MATT, e para alimentar o sistema a bateria Tattu LiPo 6S 10 C 16000 mAh e o ESC T-motor 60 A foram selecionados. Na coleta dos dados, o grupo motopropulsor recebeu um comando de PWM de 0 a 100% em intervalos de 10%, onde 50 amostras foram registradas por etapa.

Para avaliar a precisão de cada montante, calculou-se sua correlação  $r$  (Balbinot, 2012) através da Eq. 5. Para isso o cálculo da covariância  $C_{x,y}$  também foi necessário, essa segue definida pelo somatório das séries  $x$  e  $y$  com  $n$  elementos e subtraídas de suas respectivas médias aritméticas  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$ , conforme a Eq. 6.

$$r = \frac{C_{x,y}}{\sqrt{C_{x,y}C_{x,y}}} \quad (5)$$

$$C_{x,y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})] \quad (6)$$

A Fig. 11 apresenta os gráficos e as correlações calculadas, em todos os comparativos o valor de  $r$  se aproxima de 1, caracterizado uma forte correlação entre as amostras coletadas. Assim, é possível concluir que os montantes apresentam capacidade de aquisitar os dados com grande precisão entre si.

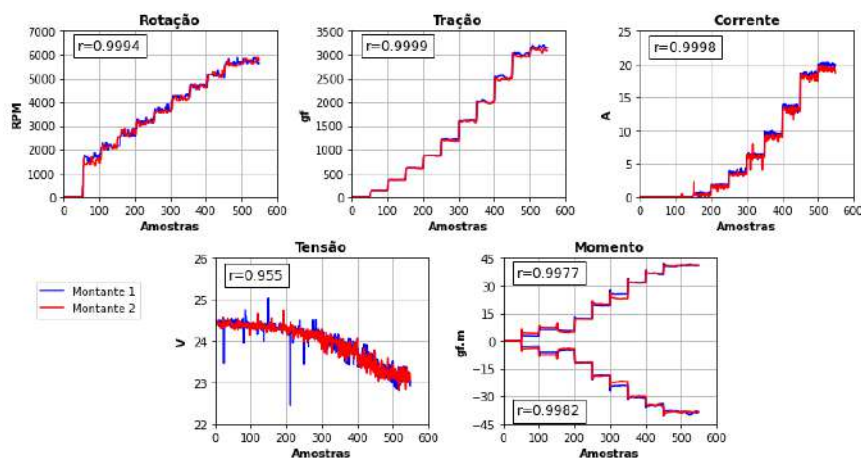


Figura 11. Comparativos entre os dados coletados dos dois montantes

### 3.2 Validação dos dados

Para avaliar a acurácia dos montantes, os dados aquisitados  $X_{coletado}$  foram comparados com os informados pelo fabricante,  $x_{ref}$ . Para isso, foi calculada a média aritmética com os intervalos de propulsão e foram plotados na Fig.12.

Seguindo a referência do fabricante, todos os sensores foram avaliados com dados de 50 a 100% de PWM, onde se calculou o erro relativo,  $Erro_{relativo}$ , através da Eq. 7. Não foram encontrados valores superiores a 25% de erro, ficando em média na faixa de 10% de erro para a maioria dos sensores, o que é bastante aceitável para uma bancada desenvolvida com sensores de baixo custo.

$$Erro_{relativo} = \frac{|X_{coletado} - x_{ref}|}{x_{ref}} \cdot 100\% \quad (7)$$

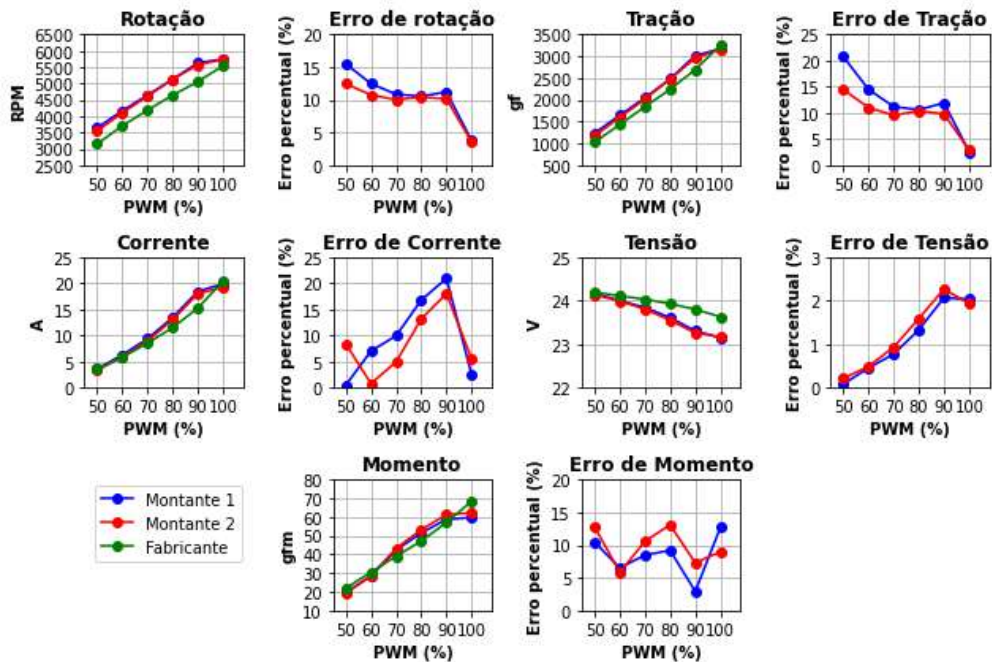


Figura 12. Comparativo entre os dados coletados e avaliação dos erros

Fica válido ressaltar que o modelo de bateria utilizado pelo fabricante não é informado, sendo esse um ponto de observação em relação aos erros encontrados, já que os valores de carga, taxa de descarga e a vida útil da bateria são parâmetros que influenciam diretamente no desempenho do grupo motopropulsor. Como última observação, tanto os dados fornecidos pelo fabricante, como os coletados pela bancada, foram avaliados na altitude do nível do mar (0 metros) utilizando as Eq.2, Eq.3 e Eq. 4.

### 3.3 Teste de propulsão contra-rotativos

Com a validação da bancada realizada, os testes contra-rotativos foram desenvolvidos a partir da disponibilidade dos componentes em laboratório, foram utilizados dois conjuntos de motores T-Motor MN3510-700VK, hélices 13x4, baterias Traxxas LiPo 3S 25C 8400mAh e ESCs T-motor 60A. O Montante 2 (M2) teve sua distância variada em relação ao M1 de 10 a 600 mm, onde foram coletadas amostras em intervalos de 25% até 100% de PWM com 50 amostras por etapa. A Fig. 13 apresenta a bancada finalizada com os grupos motopropulsores descritos.

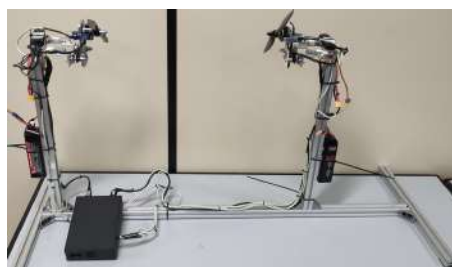


Figura 13. Bancada finalizada

Seguindo com o objetivo de identificar a perda de propulsão do montante que recebe o fluxo de ar (M2), a Fig. 14 apresenta a média dos dados de tração de M1 e M2 nos intervalos citados de PWM e variação da distância. Onde para cada distância, as curvas de M2 obtiveram o mesmo comportamento, ficando em média 41% do valor de M1. Tal resultado

acrescenta uma informação de desempenho bastante importante para projetos que utilizam tal grupo motopropulsor na configuração contra-rotativa, onde se ter o dobro de motores não significa alcançar o dobro de propulsão, independente da distância dos montantes para o intervalo testado de 10 a 600 mm.

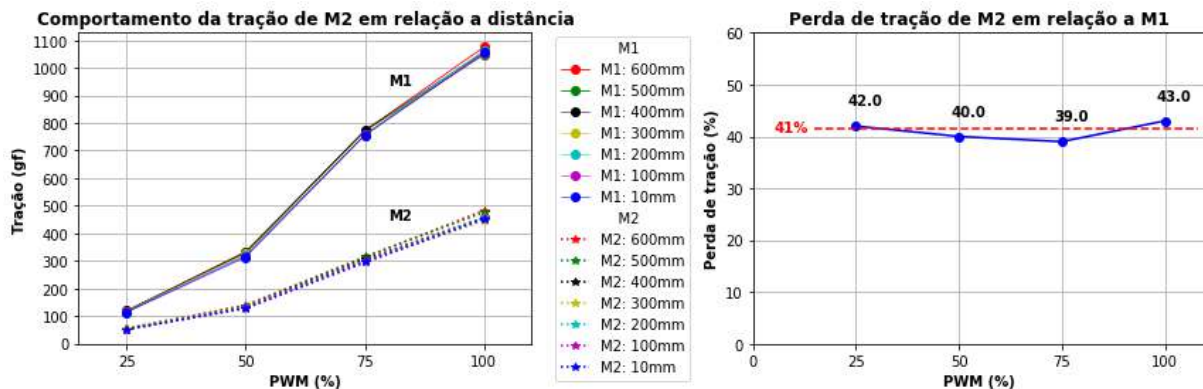


Figura 14. Comparativo variado as distância entre os montantes e comportamento da eficiência de Montante 2

Torna-se importante ressaltar que o comportamento identificado neste trabalho, em relação à não variação da tração em função da distância dos montantes, foi observada nesta específica configuração de grupo motopropulsor testada. Assim, para outras associações de motores, hélices e baterias, tal comportamento pode ou não ser encontrado.

#### 4. CONCLUSÕES

O trabalho em questão teve como principal proposta o desenvolvimento de uma bancada capaz de realizar testes de propulsão contra-rotativa coletando dados de tração, rotação, corrente, tensão e momento com o acionamento remoto e registro automatizado dos dados.

Seguindo a metodologia traçada, foi possível desenvolver a parte estrutural de maneira prática, no quesito de variar a distância dos montantes, e de segurança, sendo capaz de suportar todos os esforços provenientes do acionamento dos motores. Na parte eletrônica, desenvolveu-se todo um sistema capaz de integrar os vários componentes selecionados, que retornaram dados acurados e precisos segundo as limitações de cada item.

Com o desenvolvimento da validação encontrou-se as características operacionais e métricas da bancada, e no teste final uma importante informação foi observada em relação ao comportamento e perda de tração do grupo motopropulsor que recebe a esteira de ar. É válido destacar que essa foi apenas uma associação de grupos motopropulsores testadas, onde várias combinações são possíveis, como variação dos modelos de hélices em relação ao diâmetro e passo distintos ou iguais entre os montantes, e tal gama de possibilidades também pode ser aplicada aos modelos de motor e bateria.

Por fim, pôde-se desenvolver uma bancada capaz de instrumentar grupos motopropulsores simples e contra-rotativos, a fim de alimentar os mais variados tipos de projetos de robótica móvel que utilizem tais configurações propulsivas.

#### 5. REFERÊNCIAS

- Alexander, C.K. and Sadiku, M.N.O., 2013. *Fundamentals of Electric Circuits*. The McGraw-Hill Companies, New York, 5th edition.
- Ardupilot, 2022. "Ardupilot". URL <https://bitly.com/34G4J>.
- Ataíde, R.W.R., 2012. *Projeto de Implementação de um Nodo Sensor para Aquisição de Sinais de Extensômetro em Redes de Sensores Sem Fio Aplicado ao Monitoramento*. Master's thesis, Instituição de Tecnologia/UFPA, Belém.
- AVIA, 2010. "Avia semiconductor". URL <https://bitly.com/JANmm>.
- Balbinot, A., 2012. *Instrumentação e Fundamentos de Medidas*. LTC, Baurueri, SP, 2nd edition.
- BOSCH, 2015. "Bosch sensortec - digital pressure sensor". URL <http://tiny.cc/1yz1vz>.
- Dantsker, O.D., Caccamo, M., Deters, R.W. and Selig, M., 2020. *Performance Testing of Aero-Naut CAM Folding Propellers*. AIAA Aviation Forum.
- HTC, 2015. "Htc sensor - parallel beam load cell". URL [11nq.com/2tGLS](http://11nq.com/2tGLS).
- MAD, 2022. "Mad - 5008ipe-300kv". URL <https://www.mad-motor.com/products/mad-components-5008-ipe-v3>.
- MIT, 2010. "Mit app inventor". URL <https://appinventor.mit.edu/>.
- Morris, A.S., 2001. *Measurement and Instrumentation Principles*. Butterworth-Heinemann, 1st edition.
- NODEMCU, 2019. "Nodemcu". URL <http://www.nodemcu.com>.
- Raymer, D.P., 1992. *Aircraft Design: A conceptual approach*. American Institute of Aeronautics, 1st edition.
- Texas, 2016. "Inal69". URL <https://bit.ly/3IuVF4P>.
- VISHAY, 2009. "Vishay". URL <https://www.vishay.com/docs/83760/tcrt5000.pdf>.