

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

CONCEPÇÃO E FABRICAÇÃO DE UM DISPOSITIVO PARA MEDIR O EMPUXO E TORQUE ESTÁTICOS EM SISTEMAS DE PROPULSÃO DE VANT

DAVI J. CANTORI¹, JOSÉ A. G. CROCE²

¹ Graduando em Engenharia Aeronáutica, Bolsista PIBITI/CNPq, IFSP, Campus São Carlos, davi.cantori@aluno.ifsp.edu.br.

² Professor e Pesquisador, IFSP, Campus São Carlos, croce@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.12.05.00-3 Propulsão Aeroespacial

RESUMO:

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa voltada ao desenvolvimento de um medidor de empuxo e torque para sistemas de propulsão a hélice de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). A pesquisa bibliográfica abordou a aerodinâmica de hélices, medição de forças e torques, e técnicas de construção de sensores de alta precisão. Com base nesses estudos, foi elaborado o projeto do medidor, que incluiu a definição dos materiais, a configuração dos sensores e a metodologia de calibração. A construção do protótipo foi finalizada utilizando técnicas de usinagem e soldagem. Ensaios preliminares foram realizados com o protótipo funcional para verificar seu funcionamento e precisão, mas a etapa experimental completa ainda não foi concluída. Os testes iniciais indicaram que o equipamento está operacional, e os resultados obtidos até o momento serão comparados com valores teóricos esperados para validar o projeto. A pesquisa demonstra grande relevância para o desenvolvimento de sistemas de propulsão de VANT, uma vez que o medidor pode ser utilizado em diversas aplicações, desde o desenvolvimento de novos sistemas de propulsão até a manutenção preventiva de sistemas em operação, contribuindo para o avanço tecnológico e novas soluções na área de VANT.

PALAVRAS-CHAVE: Medidor de empuxo; Medidor de torque; Propulsão a hélice; Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT).

DESIGN AND MANUFACTURING OF A DEVICE TO MEASURE STATIC THRUST AND TORQUE IN UAV PROPULSION SYSTEMS

ABSTRACT: This paper presents the results of research focused on the development of a thrust and torque meter for propeller propulsion systems of Unmanned Aerial Vehicles (UAV). The literature review covered propeller aerodynamics, force and torque measurement, and high-precision sensor construction techniques. Based on these studies, the meter design was developed, including material selection, sensor configuration, and calibration methodology. The prototype construction was completed using machining and welding techniques. Preliminary tests were conducted with the functional prototype to verify its operation and accuracy, though the full experimental phase has not yet been completed. Initial tests indicated that the equipment is operational, and the results obtained so far will be compared with expected theoretical values to validate the design. This research is of great relevance to the development of UAV propulsion systems, as the meter can be used in various applications, from the development of new propulsion systems to the preventive maintenance of systems in operation, contributing to technological advancement and new solutions in the UAV field.

KEYWORDS: Thrust meter; Torque meter; Propeller propulsion; Unmanned Aerial Vehicles (UAV).

INTRODUÇÃO

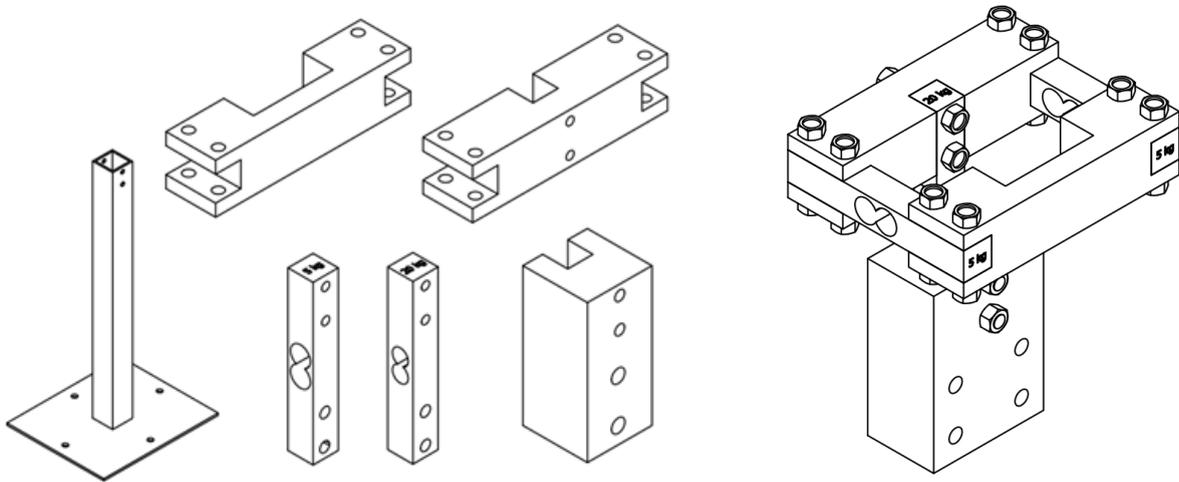
Bancadas de teste estático são ferramentas úteis para medir a eficiência, empuxo, torque, potência e ruído das hélices. Estudos anteriores, como os de Hossain e Krouglicof (2010), Gabriel et al. (2011), Brezina e Thomas (2012) e Virginio et al. (2018), destacam a importância de desenvolver instrumentos precisos para essa avaliação, variando desde dinamômetros com precisão de $\pm 1\%$ até sistemas compactos e portáteis, com aplicação em pesquisa e educação.

Seguindo a linha de estudos como o de Islami e Hartono (2019), que desenvolveram um sistema compacto e portátil para teste de hélices, o presente resumo apresenta o desenvolvimento do projeto e da construção de um medidor de empuxo e de torque de sistemas de propulsão elétrica a hélice de VANT. O medidor será projetado com base em conceitos de aerodinâmica de hélices, medição de forças e torques, e técnicas de construção de sensores de alta precisão. O projeto detalhado incluirá a escolha de materiais, calibração dos sensores e desenvolvimento de software para processamento de dados. Testes experimentais em um sistema de propulsão real serão realizados para validar a precisão e confiabilidade do equipamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para identificar conceitos e técnicas sobre medição de forças e torques em sistemas de propulsão, o que fundamentou o projeto do medidor. Com base nessa pesquisa, foram definidos os materiais, a configuração dos sensores, o acoplamento ao sistema de propulsão e a metodologia de calibração. Foram adquiridos três sensores de carga, dois com capacidade de até 50 N para medir torque e um com capacidade de 200 N para medir o empuxo. O projeto detalhado incluiu a criação de desenhos técnicos para os componentes da bancada de testes (elaborados no aplicativo AutoDesk Inventor), como suportes e um pedestal, com ajustes durante a fabricação para adaptar os desenhos aos materiais e ferramentas disponíveis.

FIGURA 1. Desenhos técnicos dos elementos mecânicos constituintes da bancada.

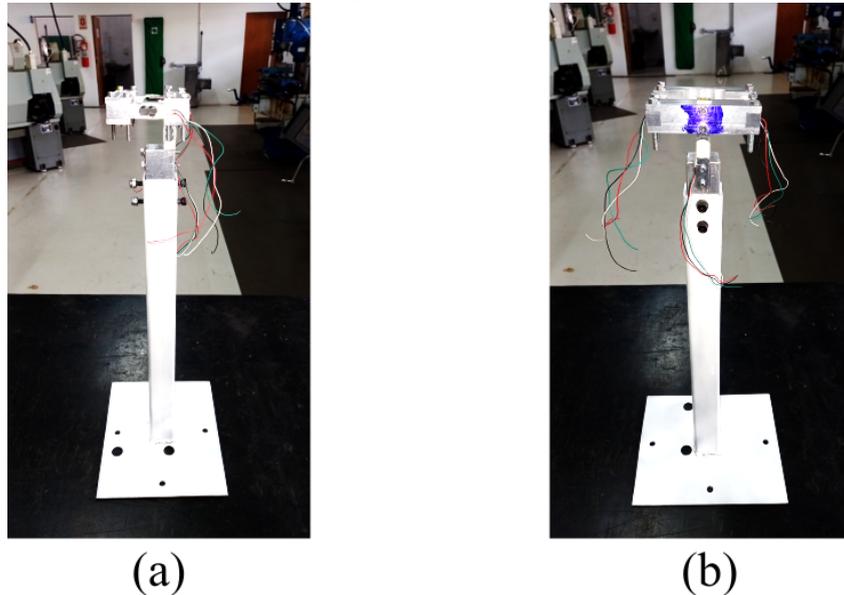


Para o circuito eletro/eletrônico da bancada, inicialmente a escolha recaiu na utilização de Módulos AD620 (um para cada célula de carga) para amplificar e condicionar os sinais gerados pelas células de carga que seriam conectados a uma placa de aquisição de dados. Entretanto, após reavaliar os requisitos do projeto, optou-se por simplificar o projeto do sistema de leitura e aquisição dos sinais gerados na célula de carga, mas sem diminuir as capacidades gerais do equipamento. Assim, optou-se pela utilização de módulos HX711 (uma para cada célula de carga) que foram conectados a um módulo ESP32.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

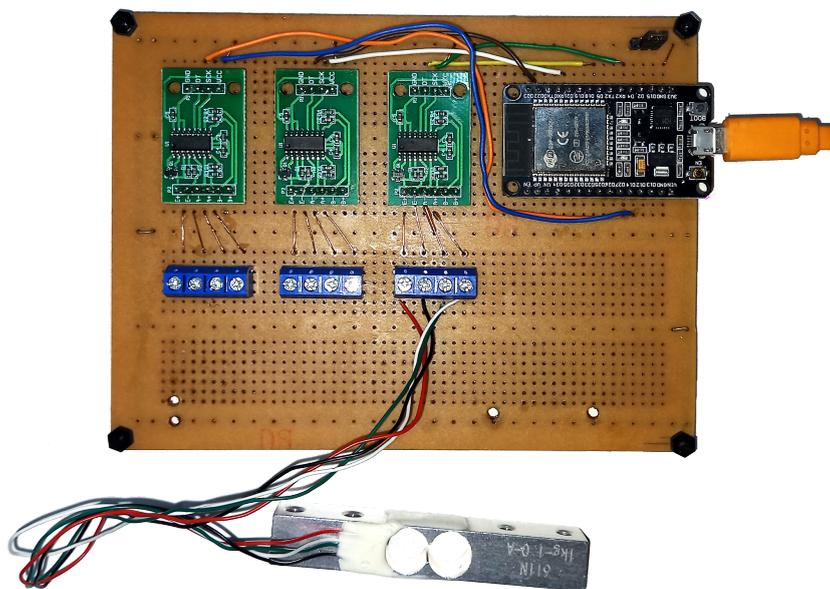
A montagem começou com a construção de um pedestal de chapa metálica e haste metálica, seguido da usinagem dos suportes em alumínio. O pedestal foi dimensionado para suportar os sensores e acomodar as pás das hélices, sendo cortado e soldado conforme as especificações. Posteriormente, foi realizada a usinagem dos suportes para as células de carga, utilizando tarugos de alumínio que foram fresados e moldados conforme necessário. Na Figura 2 é possível visualizar o processo de montagem dos componentes individuais na estrutura primária do equipamento.

FIGURA 2. Fabricação dos componentes mecânicos e montagem da bancada.



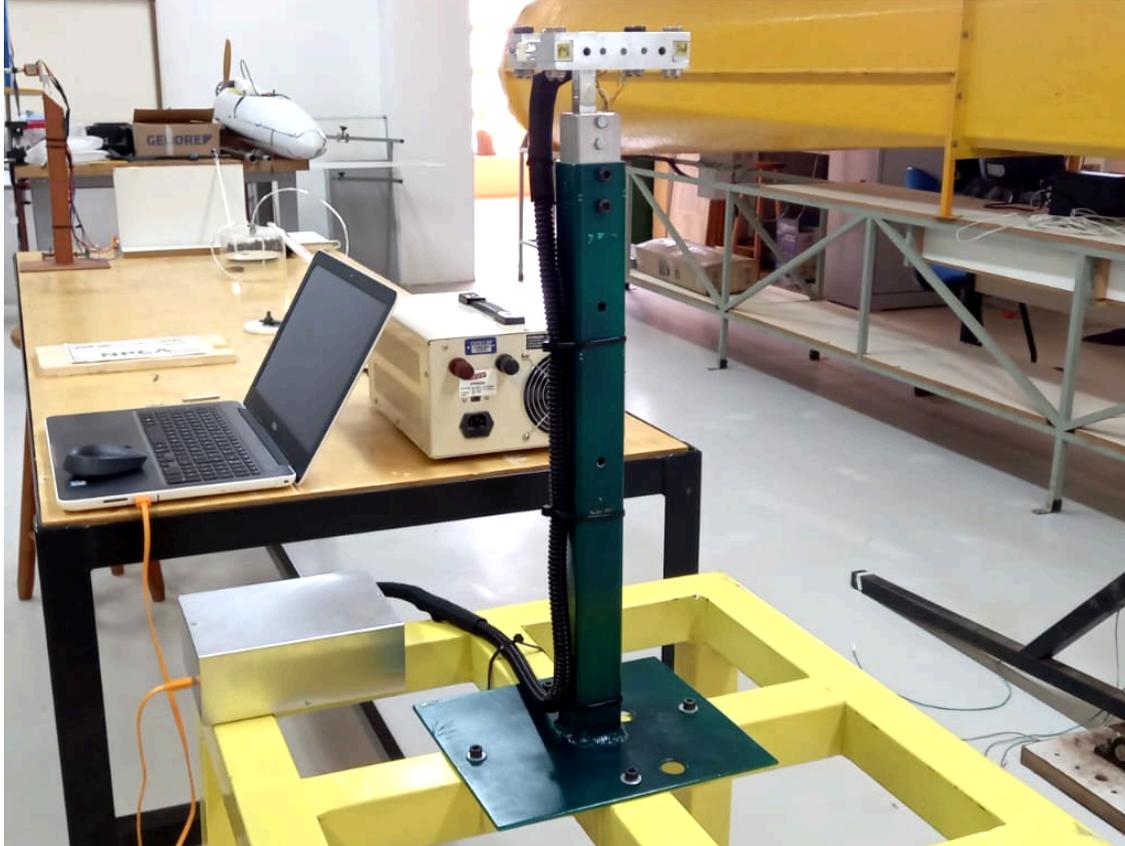
Foi escolhida uma placa de circuito impresso universal, onde foram soldados os três módulos HX711, cada um conectado a uma célula de carga, e o módulo ESP32, responsável pela aquisição e processamento dos dados (ver Figura 3). Após a montagem, a placa foi instalada no interior de uma caixa de alumínio, garantindo proteção aos componentes eletrônicos contra interferências externas e facilitando a organização do sistema.

FIGURA 3. Imagem da placa de circuitos impresso do sistema de medição/aquisição dos dados



Após a montagem da estrutura mecânica da bancada, e da montagem da parte eletrônica, todos foram fixados em uma estrutura metálica (que serve de base para a fixação da bancada no solo), podendo ser vista na figura 4.

FIGURA 4. Imagem da bancada finalizada



Com a bancada finalizada e fixada foi então possível realizar testes para comprovar a eficiência da mesma, dessa forma foram utilizados gráficos, gerados pelos sinais elétricos das células de carga, que demonstraram como variações nos valores de empuxo e torque são geradas, dessa forma ao aplicar *inputs* mecânicos em ambos os sentidos foi comprovada a eficiência da bancada. Nas figuras 5 e 6 pode-se analisar essas variações vistas, através dos resultados preliminares.

FIGURA 5. Gráfico contendo resultados preliminares.

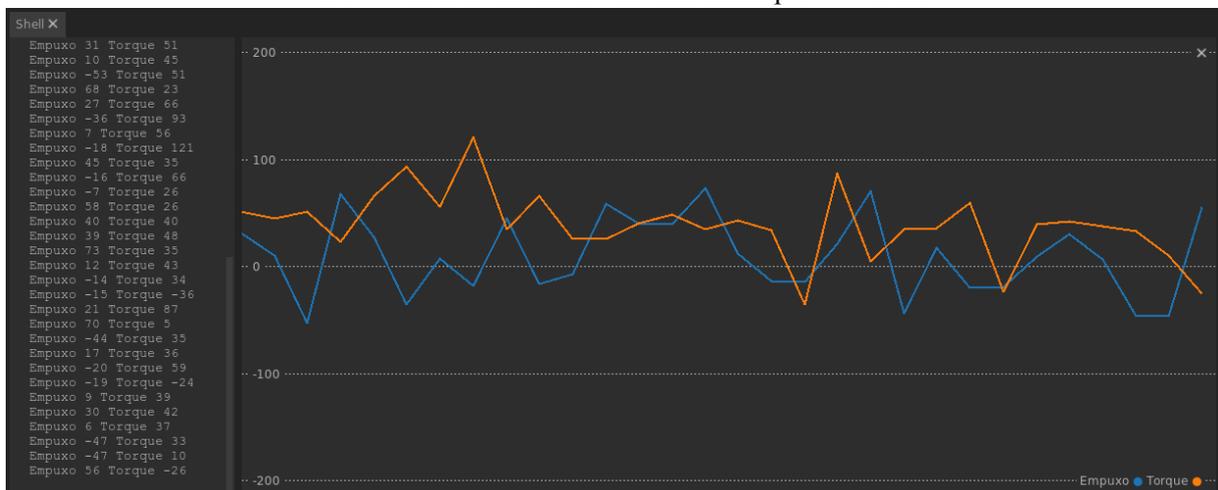
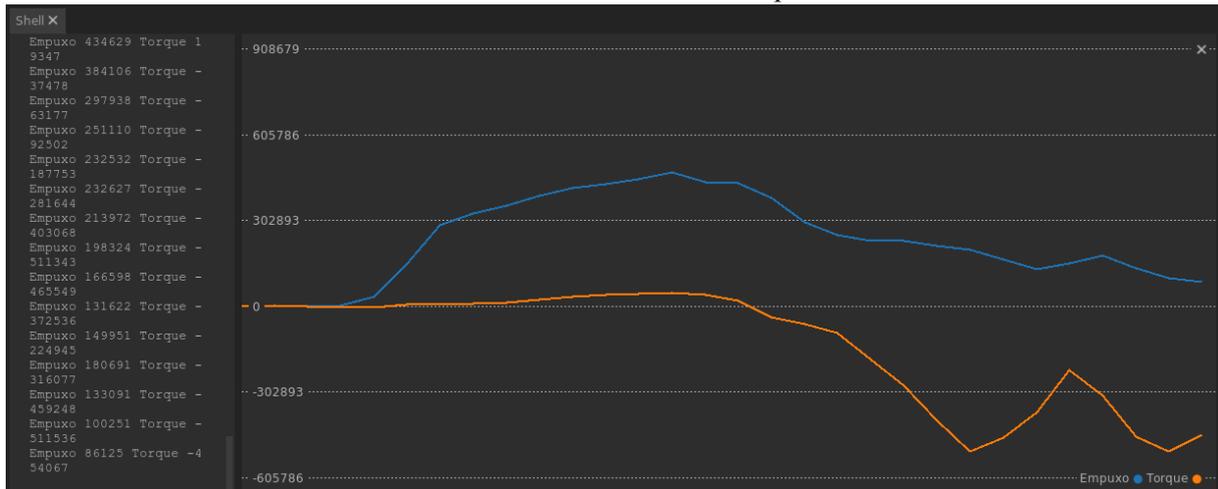


FIGURA 6. Gráfico contendo resultados preliminares.



CONCLUSÕES

Apesar do equipamento ainda carecer de uma etapa de calibração, o objetivo primário do projeto foi plenamente concluído Além de a concepção, a fabricação e a montagem terem sido finalizadas, foi possível realizar alguns testes para comprovar a eficácia da bancada, sendo este o objetivo final do projeto, construir uma bancada funcional para ser utilizada em projetos subsequentes, fomentando à pesquisa e o desenvolvimento da indústria de novas hélices e motores, visando uma melhora aerodinâmica, financeira e de diminuição de ruído, além de comprovar os valores de potência informados pelos fabricantes. Portanto o laboratório de pesquisa do Campus conta com um valioso equipamento que apoiará as atividades de pesquisa que estão sendo desenvolvidas com foco no projeto e construção de novas hélices para VANT.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Todos os autores atuaram na redação do trabalho, contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IFSP - Campus São Carlos pela infraestrutura fornecida, que foi fundamental para a realização desta pesquisa, e ao CNPq pelo apoio financeiro através da bolsa PIBITI, que possibilitou o avanço deste trabalho. Expresso também minha gratidão pelo auxílio dos técnicos de oficina, especialmente a Eduardo Luiz de Godoi, cujas orientações e ensinamentos no uso de ferramentas, como fresas, furadeiras, e nas práticas de oficina, foram essenciais para o desenvolvimento e inovação deste projeto, contribuindo diretamente para a execução dos experimentos e análises.

REFERÊNCIAS

BREZINA, A. J.; THOMAS, S. K. Measurement of Static and Dynamic Performance Characteristics of Electric Propulsion Systems. In: **51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition**. 2012

GABRIEL, D. L.; MEYER, J.; DU PLESSIS, F. Brushless DC motor characterization and selection for a fixed wing UAV. In: **AFRICON, 2011**. IEEE, 2011. p. 1-6.

VIRGINIO, R. et al. Design and implementation of low cost thrust benchmarking system (TBS) in application for small scale electric UAV propeller characterization. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2018. p. 012022.

HOSSAIN, M. Raju; KROUGLICOF, Nicholas. Propeller dynamometer for small unmanned aerial vehicles. In: **CCECE 2010**. IEEE, 2010. p. 1-5.

ISLAMI, Z. S.; HARTONO, F. Development of small propeller test bench system. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 012017.