

**PROJETO DE BANCADA DE TESTES PARA MOTORES DA
COMPETIÇÃO SAE AERODESIGN**

D.J.A. da SILVA¹, G.F.C. SILVA², G.G.R. LIMA³ e D.P.A. PEÑA⁴

¹ Universidade Federal do Maranhão. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Ciência e Tecnologia.

² Universidade Federal do Maranhão. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Ciência e Tecnologia.

³ Universidade Federal do Maranhão. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Departamento de Ciência e Tecnologia.

⁴ Universidade Federal do Maranhão. Centro de Ciências Exatas e Tecnologias, Departamento de Engenharia Mecânica.

E-mail para contato: davidson.j.alencar@gmail.com

RESUMO –*Na Engenharia Aeronáutica, é fundamental que hajam estudos constantes que possibilitem melhorias de desempenho, estabilidade e resistência estrutural de uma aeronave. No ramo das competições estudantis, instituições públicas e privadas propiciam um cenário ideal para a aplicabilidade de conhecimentos dos estudantes. Competições estas como a da SAE Brasil, que promove anualmente a Competição SAE Brasil Aerodesign. Este programa é um desafio lançado a equipes formadas por estudantes de graduação e pós-graduação a se envolverem na concepção, detalhamento, construção e testes de aeromodelos que podem chegar a dois metros de envergadura. Esse trabalho tem como objetivo projetar uma bancada de ensaios instrumentada para os motores tipo Glow permitidos na competição SAE Brasil, utilizando o software Autodesk Inventor. A metodologia empregada teve como base a utilização de matrizes de decisão e outros trabalhos que tiveram êxito na concepção de bancadas semelhantes. O projeto teve como prioridade a simplicidade de construção, a confiabilidade das medições e instrumentações com extensões para arduino. Possibilitando, assim, a obtenção de dados precisos que simulem o real desempenho do sistema motopropulsor. A bancada deverá mensurar os principais parâmetros: empuxo, torque, rotação e consumo específico.*

Palavras-chave: Aeronaves. SAE Aerodesign. Bancada de Testes.

1. INTRODUÇÃO

Na Engenharia Aeronáutica, é fundamental que hajam estudos constantes que possibilitem melhorias de desempenho, estabilidade e resistência estrutural de uma aeronave. Materiais mais leves e resistentes, motores com maior potência e rendimento, hélices com maior eficiência, todos esses fatores se encontram no foco da concepção de um projeto aeronáutico. O aeromodelismo, embora de projeção mais simplificada se comparada a grandes aeroplanos comerciais e militares, carrega iguais necessidades de estudos. Seu foco está na prática de competições e como hobby, envolvendo profissionais e simpatizantes do mundo todo.

Nas universidades, o aeromodelismo se enquadra em pesquisas e competições, possibilitando a aplicação de estudos que visam novas tecnologias, incentivando futuros engenheiros e/ou pesquisadores a buscar conhecimento para inovar. No ramo das competições, instituições públicas e privadas propiciam um cenário ideal para a aplicabilidade de conhecimentos dos estudantes. Competições estas como a da SAE Brasil, que promove anualmente a Competição SAE Brasil Aerodesign. Este programa é um desafio lançado a equipes formadas por estudantes de graduação e pós-graduação a se envolverem na concepção, detalhamento, construção e testes de aeromodelos que podem chegar a dois metros de envergadura. Havendo, assim, uma difusão e intercâmbio de técnicas e conhecimentos de Engenharia Aeronáutica, através de aplicações práticas e da competição entre equipes.

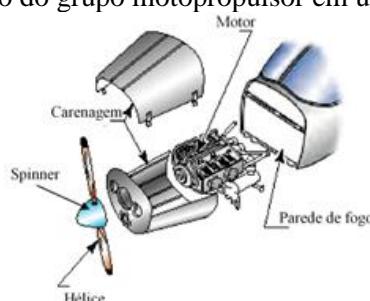
Na Competição SAE Brasil Aerodesign o estudante pode participar dentre duas modalidades, presencial e o Torneio de acesso, sendo essa por vídeo e aquela subdividida entre micro, regular e *advanced*.

Ingressando nessa realidade, a Equipe Sabiá Aerodesign, criada no ano de 2018, é representante da Universidade Federal do Maranhão na competição SAE Brasil Aerodesign, se enquadrando na classe regular. Alinhada às aspirações da equipe, esse trabalho tem como objetivo projetar uma bancada de ensaios instrumentada para os motores tipo *glow* permitidos na competição SAE BRASIL na classe regular. A bancada deverá mensurar os principais parâmetros: empuxo, torque, rotação e consumo específico.

2. GRUPO MOTOPROPULSOR

O grupo motopropulsor de uma aeronave é responsável por impulsioná-la. Os principais componentes necessários para a montagem do grupo motopropulsor, segundo Rodrigues (2014), são o motor, a hélice, a carenagem, o *spinner* e a parede de fogo que recebe o berço para o alojamento do motor. A Figura 1 ilustra as componentes mencionadas.

Figura 1 – Ilustração do grupo motopropulsor em uma montagem convencional.



Fonte: Rodrigues, 2014.

A função primária do motor é fornecer a potência necessária para colocar a hélice em movimento de rotação, que por sua vez gera a tração para impulsionar o avião.

2.1. Motores

O motor de um avião tem como função acelerar e equilibrar a resistência do ar. Para Rodrigues (2004), o motor é o componente que fornece energia capaz de assegurar empuxo necessário para que haja o deslocamento do modelo.

Os motores utilizados na competição SAE BRASIL AeroDesign são do tipo elétrico e de combustão interna do tipo Glow. Os elétricos são utilizados na classe micro ou *advanced*, nas quais não há restrições de quantidade e nem de modelos para os motores. Já na classe regular e no Torneio de Acesso, só é permitido o uso de um único motor sendo este necessariamente do tipo Glow e estando dentre a lista de modelos disponibilizados no regulamento. Na classe *Advanced* também é permitido o uso de motores do tipo Glow, seguindo a mesma lista de modelos, sendo ainda permitido aos alunos modificá-los desde que tais modificações sejam devidamente incluídas nos documentos enviados à comissão de organização.

No regulamento de 2019 da competição SAE BRASIL AeroDesign, a lista de motores Glow permitidos consta de quatro modelos de motores de 2 tempos, sendo eles: *O.S. 0.61 FX*, *O.S. 0.55 AX*, *Magnum XLS-61A*, *ASP S61AII*.

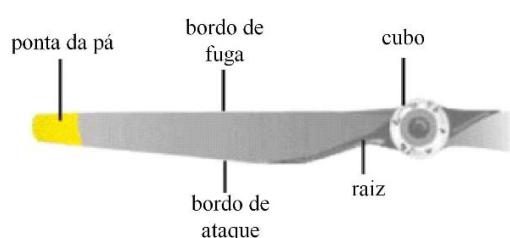
O Glow refere-se ao combustível formado por uma mistura a base de metanol, nitrometano e alguns lubrificantes. Conhecido como Glow ou Nitrometano (CH_3NO_2), sua vantagem está na necessidade de menor quantidade de ar em comparação à gasolina (C_8H_{18}).

Segundo Amboni e Curi (2018), a determinação do desempenho do motor é realizada através da caracterização das curvas de potência e torque, que podem ser ensaiadas a partir de uma bancada apropriada com a aplicação de uma carga para frear o mesmo. Para este estudo, pode-se considerar como carga, tanto freios dinamométricos, quanto a própria hélice do motor.

2.2. Hélices

Segundo Rodrigues (2014), a hélice de uma aeronave é composta por uma ou mais pás interligadas por meio de um cubo central. Suas partes principais são: raiz, ponta da pá, cubo, bordo de ataque e bordo de fuga como é mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Partes de uma hélice.



Fonte: Rodrigues, 2014.

A hélice tem a função de fornecer empuxo necessário ao vôo, forçando o movimento do ar para trás e, pela lei da ação e reação, projetando-se à frente, assim é gerado o empuxo que impulsiona a aeronave. O desempenho de uma hélice depende de alguns fatores como o diâmetro em função da rotação, a área das pás em função da absorção de potência e o passo.

3. PARÂMETROS DO CONJUNTO MOTOR PROPULSOR

3.1. Empuxo

O Empuxo ou Tração em uma aeronave trata-se da força responsável por movimentá-la horizontalmente. A chamada teoria axial de hélices mostra que esse empuxo é adquirido através da descontinuidade de pressão na seção da hélice provocada pela energia que ela fornece ao fluido. Esta diferença de pressão entre os dois lados do disco da hélice é quem gera o empuxo fazendo com que a aeronave se desloque. Esta energia fornecida ao fluido pode ser variada de acordo com a alteração de três dados: o ângulo de hélice, passo e a corda da seção.

O Empuxo Estático é diretamente proporcional à potência desenvolvida pelo motor e inversamente proporcional à rotação e ao diâmetro da hélice.

$$T_{v=0} = K_{T0} \frac{P_e}{nD} \quad (1)$$

A constante K_{T0} é denominada coeficiente de tração estática e pode ser encontrada de forma empírica ou pela fórmula.

$$K_{T0} = 57000 \cdot (1,97 - \frac{p}{D}) \quad (2)$$

O Empuxo Disponível está diretamente relacionado com a eficiência da hélice e a potência do eixo do motor e inversamente relacionada à velocidade de vôo.

$$T_d = \frac{P_e \cdot \eta_h}{v} \cdot \frac{\rho_h}{\rho_0} \quad (3)$$

3.2. Torque

Torque é a força causada pela revolução (rotação) da hélice, fazendo com que o aeromodelo tenha a tendência de girar em sentido oposto ao giro da hélice. De acordo com Cesar (2012), a forma mais comum de coletar dados de medição do torque em bancadas de teste é através do uso de células de carga.

Analiticamente, o Torque (τ) pode ser calculado através da tração (T) e da distância (d) do ponto de aplicação da carga ao centro de giro,

$$\tau = T \times d \quad (4)$$

3.3. Rotação

A rotação, expressa em RPM, refere-se às revoluções por unidade de tempo do eixo do motor, ou seja, está relacionado com a velocidade angular do eixo do motor, podendo ser chamada também como velocidade do motor.

3.4. Potência

A potência representa a taxa de transformação da energia ao longo do tempo. Segundo Rodrigues (2014), a determinação da potência disponível no motor pode ser determinada pelo produto entre o torque e a rotação.

3.5. Consumo Específico

Segundo De Carvalho (2011) o consumo específico (CE) representa o consumo mássico de combustível (m) por unidade de trabalho de saída (W). De acordo com Amboni e Curi (2018), um melhor aproveitamento do combustível está associado ao melhor desempenho e menor consumo.

$$CE = \frac{m}{W} \quad (5)$$

4. PROJETO DE BANCADA DE TESTES

4.1. Bancada de Testes

Segundo Padilha (2007), o uso das bancadas de teste possibilita recriar comportamentos de uso do motor em condições controladas para calibrar, monitorar e avaliar as características funcionais. As bancadas podem ser classificadas segundo suas características construtivas e suas capacidades, sendo que a escolha determinada a partir da aplicação para a qual se considerou o uso da bancada.

4.2 Instrumentação

Segundo Braga e Braga (2016) instrumentação é todo o suporte capaz de realizar medição, monitoramento e controle de ações. E são subdivididos em: monitoração, análise experimental e controle de processos.

Para a construção de uma bancada de testes é necessário o uso de equipamentos capazes de medir os parâmetros previstos. O uso desses equipamentos requer uma boa sensibilidade de medição e adaptabilidade para acomodação na bancada. Nesse sentido a importância das escolhas dos materiais que serviram de base para arrecadação dos dados. A seguir estão listados os instrumentos usados na construção da bancada, e sua subdivisão.

Tabela 1 – Classificação dos instrumentos utilizados na bancada

Instrumentos	Classificação
Célula de carga	Instrumento de análise experimental
Placa de arduino	Instrumentos de controle de processos
Rolamentos	Não é um instrumento de medição, se enquadrando no controle de ações
Sensor de velocidade	Instrumento de análise experimental
Sensor de peso	Instrumento de análise experimental
Módulo conversor amplificador HX711	Instrumentos de controle de processos

Fonte: Braga e Braga, 2016.

Os programas utilizados para construção e arquivamento dos dados da bancada de testes foram: Microsoft Office Excel e Autodesk Inventor.

5. METODOLOGIA

A bancada foi projetada através do software Autodesk Inventor Professional 2016 utilizando como base as dimensões disponibilizadas pelos manuais de fabricantes dos quatro motores permitidos na competição. Em seguida, os materiais adotados como preliminares foram escolhidos seguindo a literatura disponível, tendo como referencial bancadas que tiveram boa resposta aos testes utilizados.

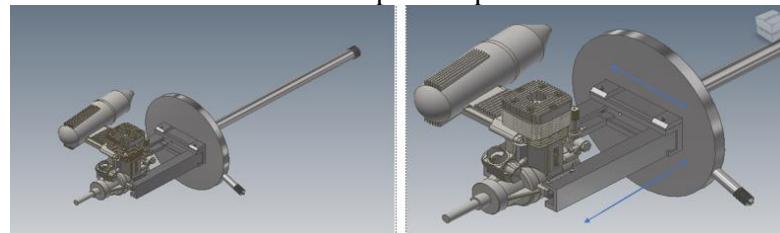
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Questões estruturais

O conceito inicial da bancada partiu de um método de fixação de motor apresentada por Rodrigues (2004). A razão por essa escolha está na ideia retratada por ele que torna viável a realização de testes de todos os possíveis motores permitidos para competição SAE Aerodesign sem necessitar a substituição de componentes da bancada.

Partindo desse conceito, modificações foram realizadas com o intuito de simplificar o processo de fabricação desse suporte. O princípio foi projetar uma peça capaz de garantir movimentos longitudinais e laterais do motor. O projeto final é apresentado na Figura 3.

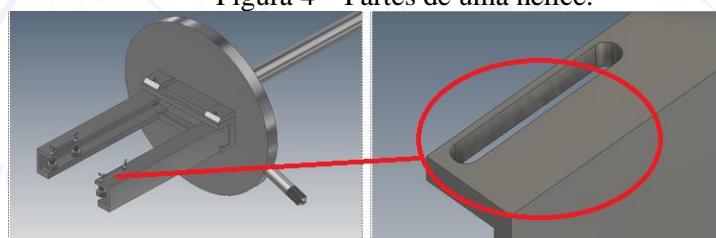
Figura 3 – Da esquerda para a direita, conjunto suporte do motor e detalhe da liberdade de movimento dos elementos para acoplamento de diferentes motores.



Fonte: Autores

Na Figura 4 pode-se observar o mecanismo de adaptação do suporte. Na extremidade da peça, observa-se os furos oblongos que permitem o ajuste conforme a largura da carcaça do motor.

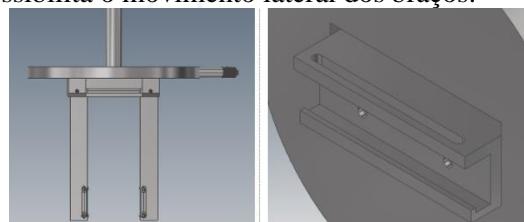
Figura 4 – Partes de uma hélice.



Fonte: Autores.

Para os movimentos laterais foi definido uma peça oca que possibilitasse que os braços do suporte tivessem um movimento lateral livre, de tal maneira que funcionasse como uma esteira (Figura 5).

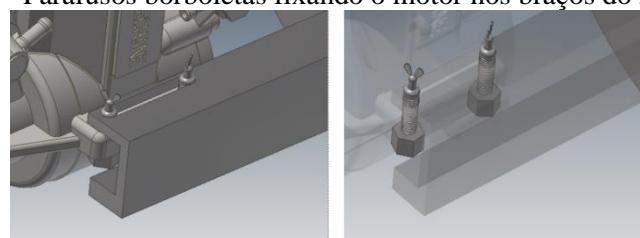
Figura 5 – A imagem a esquerda estão os braços do suporte, imagem à direita peça oca que possibilita o movimento lateral dos braços.



Fonte: Autores

Ajustando os encaixes, a fixação é feita utilizando parafusos borboletas, Figura 6.

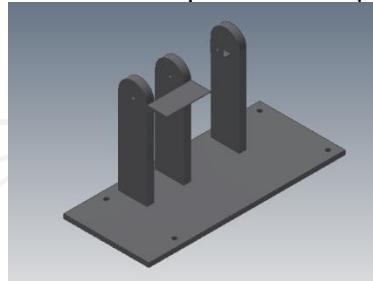
Figura 6– Parafusos borboletas fixando o motor nos braços do montante.



Fonte: Autores

Após definir a ideia de fixação do motor, desenvolveu-se uma base capaz de acoplar os mecanismos dependentes: suporte, células de cargas, tanque de combustível, célula de peso e sensor de velocidade. O layout da base está ilustrada na Figura 7.

Figura 7 – Base da bancada usada para acomodação dos mecanismos.

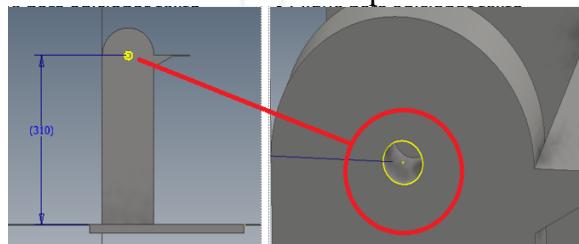


Fonte: Autores.

A mesa foi projetada para ser portátil, onde a fixação da chapa pode ser feita através de parafusos em uma superfície plana. Sendo a vibração do motor uma variável que não pode ser desprezada, o posicionamento adequado da bancada de testes em um local apropriado é uma ação necessária, podendo ser utilizados grampos mecânicos para obter maior estabilidade.

Uma vez a bancada fixada, foi possível pensar nas demais estruturas que compõem o corpo do projeto. O suporte foi fixado por um eixo (15 mm de diâmetro) que foi apoiado por mancais deslizamento, sendo sua liberdade de movimento garantida pelo uso de rolamentos lineares de 15 mm de diâmetro (Figura 8). Para os mancais, a altura foi dimensionada partindo do diâmetro das hélices que serão utilizadas em testes.

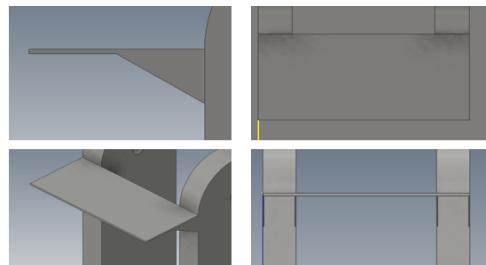
Figura 8 – Imagem do mancal com os furos de posicionamento do eixo do suporte



Fonte: Autores

Para a fixação do tanque, foi pensada a utilização de um imã anexado à base e um metal preso a parte externa do tanque, a interferência dessa interação pode ser desprezada nas medições que serão realizadas. Quanto ao posicionamento do tanque, os fabricantes recomendam que o mesmo esteja próximo à altura do motor, de modo que sua linha central fique 10 a 15mm abaixo do plano da agulha do carburador e a saída do pescador do tanque fique o mais perto possível desse plano. Por essa razão, foi posicionada uma base para o tanque acoplada aos mancais (Figura 8). A base suporta tanques padrões de até 550 mL. Na Figura 9 pode-se observar o posicionamento do tanque e do motor na bancada.

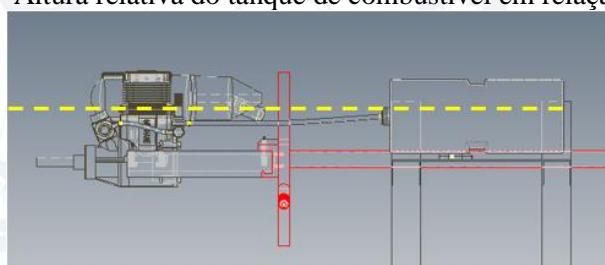
Figura 9 – Vistas do suporte do tanque de combustível.



Fonte: Autores.

A Figura 10 evidencia a altura do motor e do tanque na bancada de testes, estado este recomendado pelos fabricantes para o correto funcionamento do motor.

Figura 10 – Altura relativa do tanque de combustível em relação ao motor.



Fonte: Autores

Como material para bancada, é aconselhado o uso do Aço SAE 1020, devido a facilidade de usinabilidade e conformação do material, alto limite de escoamento (350 MPa) e resistência à tração (450 MPa), além da facilidade de se encontrar no mercado e de seu baixo custo.

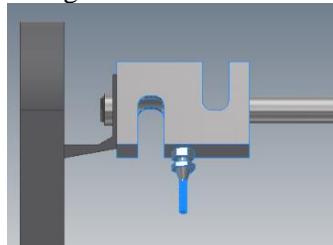
6.2. Medições

Os mecanismos para as medições foram baseados segundo outros trabalhos já realizados como Amboni e Curi (2018), Leichtweis (2016), Gomes (2015) e Lottermann *et al* (2014).

A instrumentação escolhida foi direcionada para trabalhar junto com o arduino, fazendo a conexão entre os parâmetros fornecidos pela bancada e a um computador, armazenando esses dados.

Para a medição do Empuxo e Torque foi pensada a utilização de células de carga do tipo S, modelo TS, com capacidade de 5 kg a 10 kg. A célula de tração para o empuxo foi conectada ao eixo do suporte do motor e fixada a um mancal (Figura 11).

Figura 11 – Célula de carga fixada no montante e no eixo do suporte.

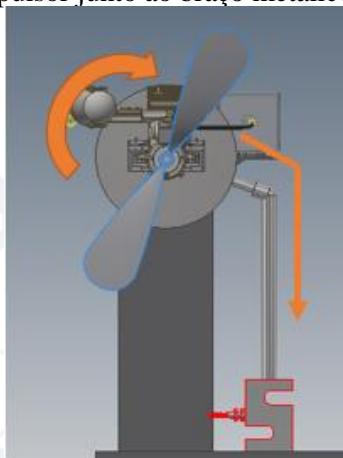


Fonte: Autores.

O mecanismo irá funcionar a partir do motor que forçará o movimento do conjunto, porém o movimento do motor será impedido pela célula de carga conectada ao mancal. Os dados da tração serão enviados pelo arduino direto ao computador que registrará em tabelas no *Microsoft Office Excel*.

Para o Torque, foi adaptado ao suporte do motor uma barra rosqueada, a qual, conectada à célula de carga, inibe a rotação do conjunto motopropulsor. Assim, quando esse conjunto tentar rotacionar, em virtude do movimento da hélice, a força de reação, em consequência da barra rosqueada que impede o movimento, será transferida a célula de carga, fixada na extremidade do braço metálico (Figura 12).

Figura 12 – Imagem ilustrando a dissipação da força rotacional proveniente do conjunto motopropulsor junto ao braço metálico.

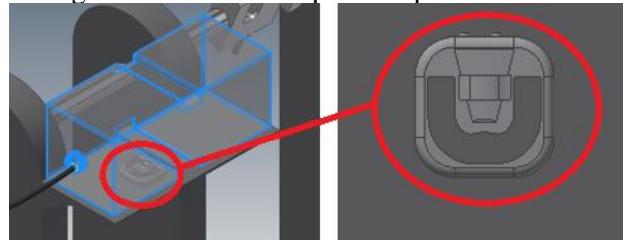


Fonte: Autores.

Para a medição de rotação e a aquisição dos dados foi pensado na utilização do sensor de velocidade LM 393 junto com um encoder de acrílico que será posicionado no eixo de rotação do motor e fará as medições de rotação.

A medição do consumo específico é feita por um sensor de peso de meia-ponte com capacidade de até 50 kg. O sensor foi posicionado no centro da base de sustentação do tanque (Figura 13). Estando o tanque devidamente estável, o sensor irá registrar o peso do mesmo em um intervalo de tempo pré-programado, sendo esses dados enviados para um computador no qual poderão ser tratados.

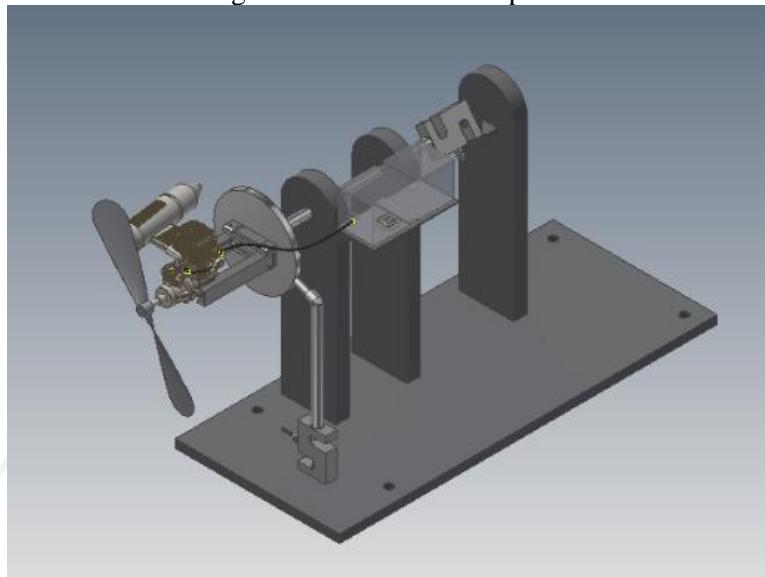
Figura 13 – Sensor de peso acoplado à base do tanque.



Fonte: Autores.

Por fim, na Figura 14 tem-se a bancada de teste projetada completa. Embora, não visualmente inclusa, a placa eletrônica estará acoplada à bancada em uma caixa preta de proteção podendo ser diretamente conectada ao computador por um cabo USB.

Figura 14 – Bancada completa.



Fonte: Autores.

7. CONCLUSÃO

A partir do que se foi exposto, acredita-se que o projeto da bancada de testes em questão possui todos os requisitos necessários para ser funcional e atender a todas as necessidades propostas neste trabalho. Além disso, tendo como prioridades a simplicidade de construção e a alta confiabilidade dos resultados adquiridos, a bancada possui grande potencial de auxílio à Equipe Sabiá Aerodesign em seus projetos sendo assim sugerida a sua construção como um projeto futuro.

Outros projetos sugeridos e que agregarão ao projeto da bancada de testes são a criação do banco de dados partindo do esquema já construído neste trabalho utilizando conexão entre o Microsoft Office Excel e a plataforma PostgreSQL com consulta interativa com VBA, a projeção de um suporte para motores elétricos abrangendo assim o uso da bancada para todos os motores permitidos na competição SAE BRASIL *AeroDesign* e a projeção e construção de um túnel de vento que possa ser acoplado à bancada ampliando as análises para situações com velocidade relativa diferente de zero.

8. REFERÊNCIAS

AMBONI, Otávio Ronconi; CURI, Elvys Isaías Mercado. *Desenvolvimento de uma bancada para ensaios de um motor a combustão utilizado em um aeromodelo rádio controlado*. Revista Vincci, Criciúma, 2018. Disponível em: <http://revistavincci.satc.edu.br/ojs/index.php/Revista-Vincci/article/download/134/70/>. Acesso em: 25 maio 2019.

BRAGA, A.; BRAGA, C. *Instrumentação Industrial*: Notas de Aula, 2016. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~palhares/Instrumentacao_NotasAula.pdf>. Acesso em: 21 de jun. de 2019

CEZAR, Gustavo Viana. *Desenvolvimento de uma Bancada de Testes para Motores Combustão Interna*. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://www.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1021754_2012_completo.pdf. Acesso em: 4 jun. 2019.

DE CARVALHO, Márcio Augusto Sampaio. *Avaliação de um motor de combustão interna ciclo otto utilizando diferentes tipos de combustíveis*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: <http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/18744>. Acesso em: 18 fev. 2019.

GOMES, Igor Macedo. *Análise de empuxo estático para seleção de conjunto moto propulsor aplicado ao projeto aerodesign*. 2015. 31f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2015.

LEICHTWEIS, Augusto Cesar Dahmer. *Desenvolvimento de uma bancada para testes de um motor de pistão tipo glow*. 2016. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2016. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2016/Augusto_Cesar_Dahmer_Leichtweis.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

LOTTERMANN, Leonardo José et al. *Aplicação de ensaios de tração dinâmica no conjunto moto propulsor de uma aeronave rádio controlada para competição sae aerodesign [...]*. Xvi Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial, 2014, Salvador. Salvador: [s. n.], 2014. Disponível em: <http://www.conemi.org.br/download/TT25_XIV_CONEMI-003.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2019.

PADILHA, R. S. *Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento eletrônico e de um ambiente de aferição para motores mono cilíndricos de pequeno porte*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

RODRIGUES, J. C. *Aeromodelismo Teórico e Prático*. Versão Digital Comemorativa dos 40 Anos de Edição por José Manuel Padinha Colarejo, 2004. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/17000849/livro-aeromodelismo-teorico-e-pratico---jose-carlos-rodrigues/4>>. Acesso em: 24 de maio de 2019.

RODRIGUES, L. E. M. J. *Fundamentos da engenharia aeronáutica, aerodinâmica e desempenho*. [S.I.]: Salto/SP - Edição do Autor, 2014.

SAE BRASIL AERODESIGN. *18 Competição SAE BRASIL AeroDesign 2014*. Disponível em: <<http://portal.saебrasil.org.br/programas-estudantis/sae-brasil-aerodesign>> . Acesso em: 14 de março de 2019.