

DESEMPENHO DO MOTOR ZENOAH GT-80 DE UMA AERONAVE NÃO-TRIPULADA EM UM BANCO DE HÉLICE

Cristiane Aparecida Martins, cmartins@ita.br
Giuliano Gardolinski Venson, venson@ita.br

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Aeronáutica.
Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Praça Marechal Eduardo Gomes 50, Vila das Acácias.
São José dos Campos, SP, Brasil. 12228-900

Resumo: Este trabalho apresenta a metodologia experimental utilizada no ensaio do motor de uma aeronave não-tripulada em um banco de hélice. O objetivo é a obtenção das curvas de tração, torque, potência e consumo específico do motor em função da rotação. O motor ensaiado é o Zenoah GT-80, do tipo dois tempos, de dois cilindros opostos horizontalmente, alimentação por carburador, ignição por magneto e volume deslocado de 80cc. O desempenho do motor é avaliado utilizando a hélice de geometria 24x10. Os valores de tração e torque são obtidos através de células de carga montadas na estrutura do banco de hélice. A rotação do motor é obtida através de um sensor ótico posicionado no cubo da hélice. O sistema de aquisição de dados e controle do motor é baseado no software comercial LabView® 7.1. O controle do acelerador do motor é realizada através de um eletro-servo conectado ao computador de controle via porta serial. Os resultados apresentam as curvas de tração, torque, potência e consumo específico do grupo moto-propulsor em função da rotação. A potência máxima do motor obtida experimentalmente é da ordem dos 3kW. O tração e o torque máximos obtidos são de 160N e 5N.m a 6020rpm. Os valores são comparados com a curva de torque e potência disponibilizada pelo fabricante. Os desvios médios obtidos são da ordem de 22% para o torque e 15% para a potência.

Palavras-chave: banco de hélice, desempenho de motor, consumo específico de combustível, aeronave não-tripulada.

1. INTRODUÇÃO

As aeronaves não-tripuladas, chamadas de VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado) ou UAV (do inglês, *Unmanned Aerial Vehicle*) são aeronaves que não possuem pilotos embarcados, sendo controladas remotamente ou mesmo de maneira autônoma. Esse tipo de aeronave é comumente empregado em situações onde o uso de tripulações é perigoso ou mesmo desnecessário. Podem se empregados desde missões civis, como em mapeamentos terrestres e patrulhamento urbano, até missões militares, como reconhecimento e ataque aéreo. Atualmente existem aeronaves não-tripuladas com propulsão por motores a pistão, motores a jato e até mesmo motores elétricos. Os motores a pistão são utilizados em pequenas aeronaves onde não há necessidade de grande peso e velocidade de voo. Os motores a jato são empregados em aeronaves de grande porte, permitindo que a aeronave carregue mais peso em altitudes e velocidades maiores. As aeronaves elétricas possuem a característica especial de poderem utilizar a energia solar captada em voo para alimentar os motores ou carregar as baterias do motor.

Em vista da crescente aplicabilidade das aeronaves não-tripuladas iniciou-se uma linha de pesquisa na Divisão de Engenharia Aeronáutica, do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, para construção de uma aeronave desse tipo. Como parte do desenvolvimento do VANT, desenvolveu-se um banco de hélice para permitir ensaios de desempenho do grupo moto-propulsor selecionado para a aeronave. Os parâmetros de desempenho de interesse a serem obtidos nos ensaios são: força de tração, torque e potência gerada pelo grupo moto-propulsor. Os parâmetros de desempenho são obtidos com o banco de hélice operando de forma estática, ou seja, o grupo moto-propulsor não desenvolve movimento relativo com o ambiente que circunda o banco de hélice. A potência do grupo moto-propulsor é correlacionada com o torque e rotação do motor através da Eq. (1) (Heywood, 1988):

$$P = T \cdot \omega \quad (1)$$

Onde P é a potência do motor em W, T é o torque gerado em N.m e ω é a rotação do motor em rad/s. Comercialmente, os valores de potências disponibilizados pelos fabricantes são apresentados unidades de *horsepower* ou hp. Na prática, a velocidade de rotação do motor é medida em unidades de rotação por minuto ou *rpm*.

3. APARATO EXPERIMENTAL

O motor ensaiado no banco de hélice é o Zenoah GT-80, do tipo dois tempos, com dois cilindros opostos horizontalmente, alimentação por carburador, ignição por magneto e volume deslocado de 80cc, mostrado na Fig. 1. A mistura combustível utilizada é 40/1 em volume de gasolina de aviação e óleo para motores dois tempos, no caso foi utilizado óleo Motul 800. A potência máxima do motor é de 4,5 kW a 9000rpm com torque máximo de 5,3 N.m a 7000rpm. A hélice utilizada no motor é do tipo bi-pá, de madeira, de passo fixo e dimensões 24x10, mostrada na Fig. 2. O primeiro valor da geometria corresponde ao diâmetro da hélice em polegadas e o segundo valor ao passo da hélice em polegadas. Essa hélice foi escolhida para permitir comparar os resultados experimentais com as curvas de desempenho de torque e potência desse grupo moto-propulsor disponibilizados pelo fabricante.



Figura 1. Motor Zenoah GT-80



Figura 2. Hélice de Madeira 24x10

O banco de hélice é formado por uma estrutura de fixação do motor baseada em uma coluna de sustentação e um chassi superior de acomodamento do motor. A coluna de sustentação do motor agrega dois pares de células de carga, um par para medições dos esforços de tração gerado pelo motor e outro par para medições de esforços laterais no motor. No chassi superior é acomodado o motor, seu respectivo berço de fixação, o tanque de combustível, o sistema de alimentação de combustível, composto do carburador e servo do acelerador, e os sensores de medição do torque e da rotação do motor. O banco de hélice com o motor montado é mostrado na Fig. 3.

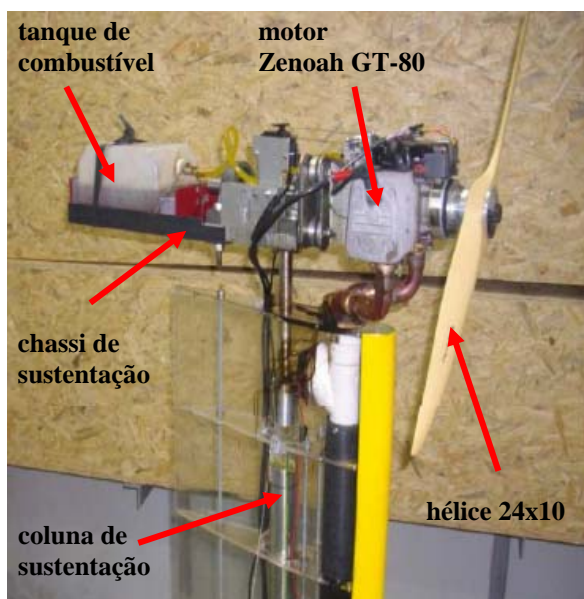


Figura 3. Banco de Hélice

Para as medições da tração e do torque gerado pelo motor são utilizadas células de carga resistivas. Essas células consistem de um sistema de *strain gages* na forma de ponte de Wheatstone, as quais convertem o sinal de força aplicada à ponte em um sinal de tensão (Doebelin, 2004). O sinal de tensão gerado é amplificado e ajustado para a faixa de tensão desejada através de condicionadores de sinal. A célula de carga da tração consiste de um par de *strain gages* incorporadas à estrutura da coluna de sustentação. Cada unidade está fixada dentro de ranhuras usinadas na coluna de sustentação. Através da deformação de cada unidade e da distância entre as unidades determina-se a força de tração aplicada na célula de carga. A célula de carga do torque foi construída no próprio ITA, com base nas especificações de torque nominal do motor. O torque gerado pelo motor é transmitido à célula através de um eixo concêntrico ao eixo do motor. O valor do torque é calculado através da multiplicação da força aplicada com a distância do centro da célula à linha de centro do motor. As células de carga de tração e do torque possuem faixas de medição até 200N e 10N e são mostradas nas Figs. 4 e 5, respectivamente.



Figura 4. Célula de Carga da Tração

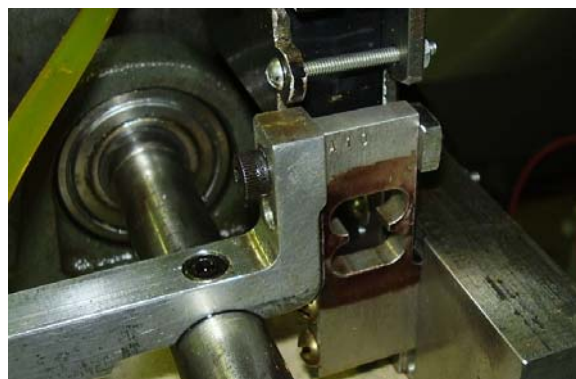


Figura 5. Célula de Carga do Torque

A rotação do motor é obtida através de um sensor ótico posicionado no cubo da hélice. O sensor ótico consiste de um foto-transistor interligado a um emissor de luz infravermelha do tipo LED. Na superfície do cubo da hélice é colocado um material reflexivo o qual reflete a luz emitida pelo LED, a qual é captada pelo foto-transistor. O condicionador de sinal do sensor gera um sinal analógico cujo nível de tensão é proporcional à rotação do motor. O sensor de rotação e seu posicionamento são mostrados na Fig. 6. Para o controle da aceleração do motor é utilizado um servo elétrico, conectado ao computador de controle via interface serial.



Figura 6. Sensor de Rotação

O consumo de combustível do motor, em função da rotação, é obtido através da variação de massa do tanque de combustível em um dado intervalo de tempo, com o motor operando em rotação constante. A temperatura dos gases de exaustão do motor é medida utilizando um termopar tipo K colocado no tubo de escapamento do motor, como na Fig. 7.

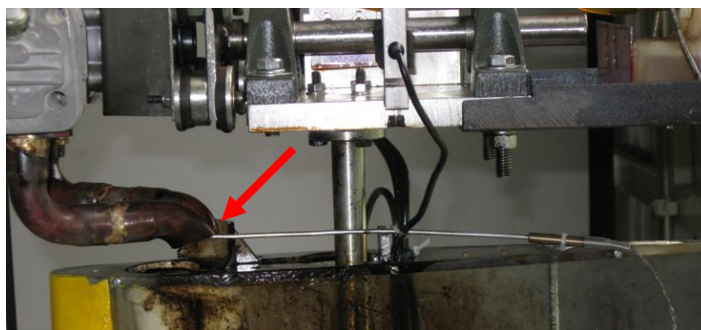


Figura 7. Termopar no Tubo de Escapamento do Motor

O sistema de aquisição é composto de um programa de aquisição elaborado utilizando o software comercial LabVIEW 7.1 e da placa de aquisição modelo PCI-6071E, ambos da National Instruments. Os sensores de medição são conectados ao sistema de aquisição utilizando sinais analógicos. A taxa de aquisição utilizada é de 1000Hz. O esquema do sistema de aquisição é mostrado na Fig. 8.

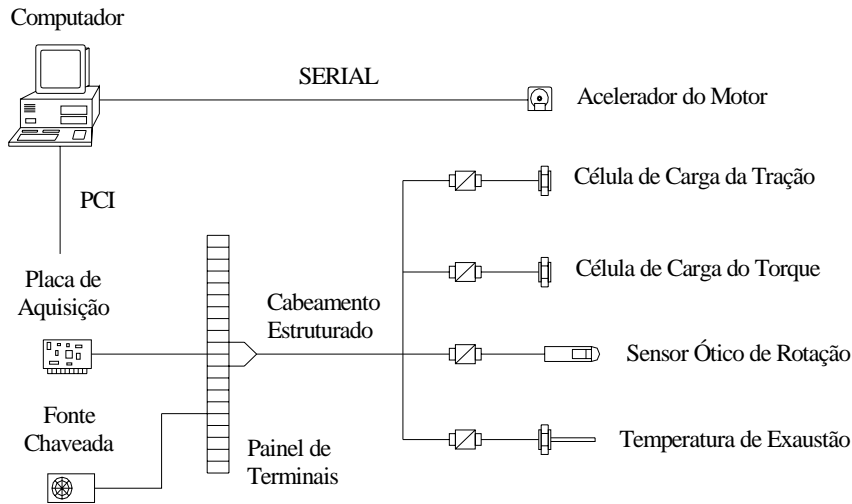


Figura 8. Esquema do Sistema de Aquisição

4. METODOLOGIA

O procedimento experimental para ensaio do grupo moto-propulsor Zenoah GT-80 com a hélice 24x10 é dividido em duas etapas: na calibração das células de carga da tração e do torque e nos ensaios de desempenho do motor.

4.1. Calibração das Células de Carga

Para correlacionar a força aplicada nas células de carga com o nível de tensão gerado é realizado um procedimento de calibração para as células de tração e torque. Na calibração da célula da tração foram sendo adicionadas massas (para simular a carga gerada pelo motor) na direção axial do motor. Para cada valor de carga adicionada, os valores correspondentes de tensão foram sendo registrados pelo programa. Os valores de carga utilizados foram 0, 1, 2, 4, 6, 8 e 10 kg. Chegando a carga máxima foi adicionada uma carga extra para sobrecarregar propositalmente a célula, retirando-a em seguida. Após isso as massas foram sendo retiradas na mesma seqüência de carregamento. Novamente, para cada valor de carga os valores correspondentes de tensão foram sendo registrados pelo programa.

O processo análogo foi realizado para a calibração da célula do torque. Nesse caso, as massas foram adicionadas a um suporte posicionado a 50 cm da linha axial do motor, gerando assim momento que é transferido na forma de força à célula de carga. Foram adicionadas massas na seqüência de 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800 e 1000g. Novamente chegando à carga máxima, uma carga adicional foi acrescentada e retirada. Segue-se o descarregamento na seqüência do carregamento. Esse processo de carregamento e descarregamento em seqüência equivalente visa avaliar o fenômeno da histerese sobre a ponte de Wheatstone na célula. As curvas de calibração típica para as células de carga de tração e torque são mostradas nas Figs. 9 e 10, respectivamente.

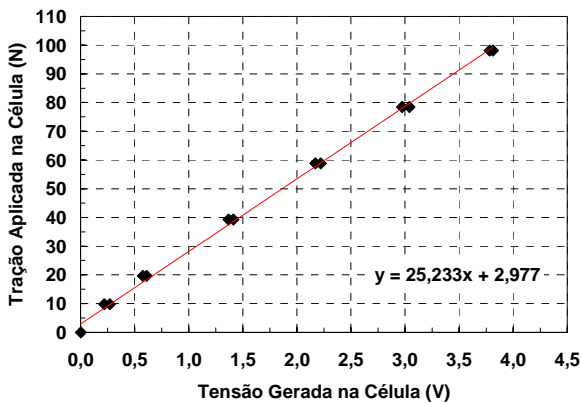


Figura 9. Curva de Calibração da Célula de Tração

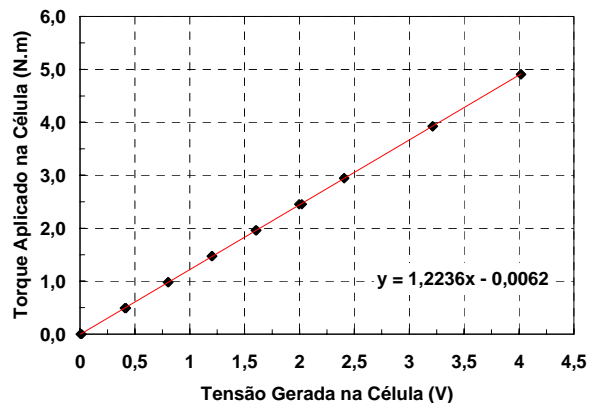


Figura 10. Curva de Calibração da Célula do Torque

4.1. Consumo de Combustível do Motor

Como o banco de ensaios não dispõe de um sistema de medição de vazão de combustível em tempo real, o consumo de combustível do motor, em diferentes condições de operação, foi obtido em ensaios específicos do motor. Nesses ensaios o motor é acelerado até uma dada rotação, onde permanece em rotação constante durante um intervalo de dois minutos.

O tanque de combustível é pesado antes e depois do ensaio utilizando uma balança de precisão. Através da variação de massa do tanque no intervalo de tempo é estimado o consumo de combustível mássico em g/min. O consumo de combustível volumétrico é calculado dividindo o consumo mássico pela massa específica da mistura combustível. A massa específica da mistura combustível foi obtida utilizando a balança de precisão e um recipiente graduado. Através da variação de massa em função da variação de volume no recipiente calculou-se uma massa específica de 822 g/L ou 822kg/m³. O consumo de combustível volumétrico em função da rotação, em mL/min, é mostrado na Fig. 11.

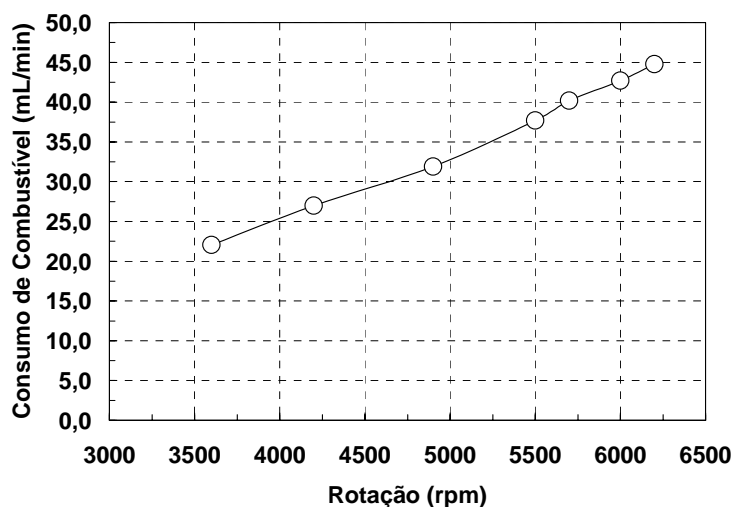


Figura 11. Consumo de Combustível do Motor em função da Rotação

4.2. Ensaio de Desempenho do Motor

O método utilizado para ensaio de desempenho do motor consiste na obtenção dos valores de tração, torque e temperatura de exaustão do motor em função da rotação do motor. Para cada condição de operação são obtidos esses parâmetros de desempenho através do programa de aquisição de dados. Os ensaios são realizados na forma de passos de degrau parametrizados em função da rotação. Em cada passo o motor é mantido em regime permanente (rotação constante) e o passo seguinte é definido por um nível acima ou abaixo do anterior (rotação superior ou inferior).

O procedimento experimental inicia-se com a partida do motor. Após a partida do motor aguardam-se alguns minutos para aquecimento do motor. Os parâmetros de desempenho do motor são obtidos durante o processo de aceleração do motor, da marcha-lenta até a rotação máxima, e durante a desaceleração do motor, seguindo a forma de degrau. Os diferentes pontos de operação são obtidos através da variação percentual de 10 em 10% de abertura ou fechamento da borboleta de ar do carburador. Após a alteração da condição de operação do motor aguardam-se alguns instantes a fim de garantir que o motor tenha atingido novamente o regime permanente.

5. RESULTADOS

Os resultados a seguir apresentam os valores experimentais para a tração, torque e temperatura de exaustão do motor em função da rotação motor.

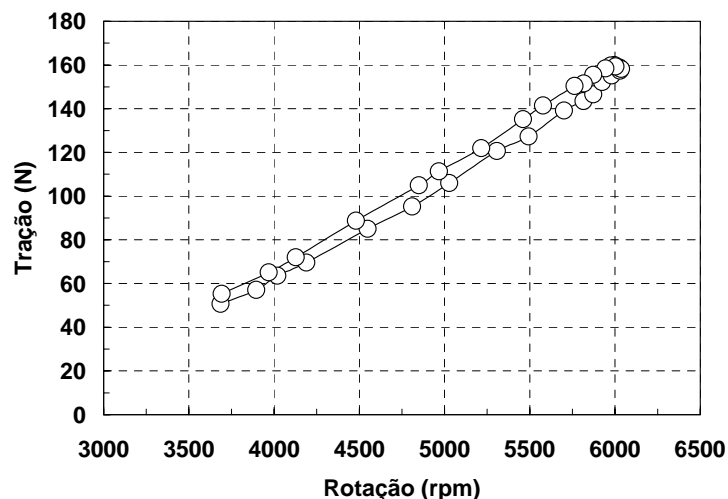


Figura 12. Tração do Grupo Moto-Propulsor em função da Rotação

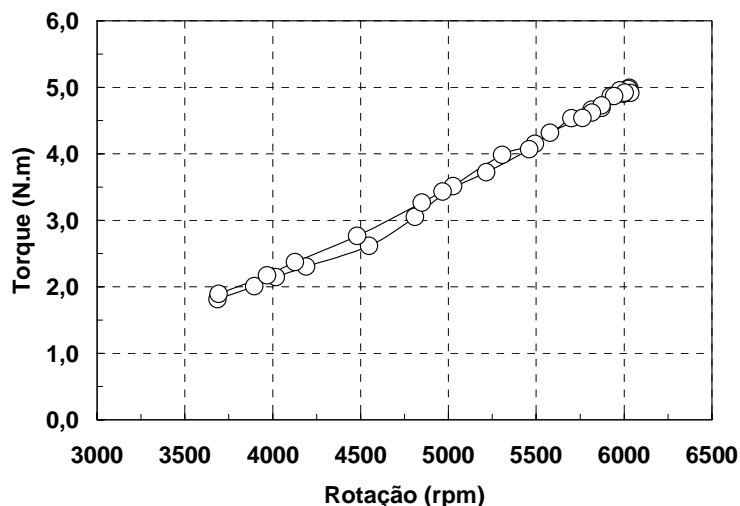


Figura 13. Torque do Grupo Moto-Propulsor em função da Rotação

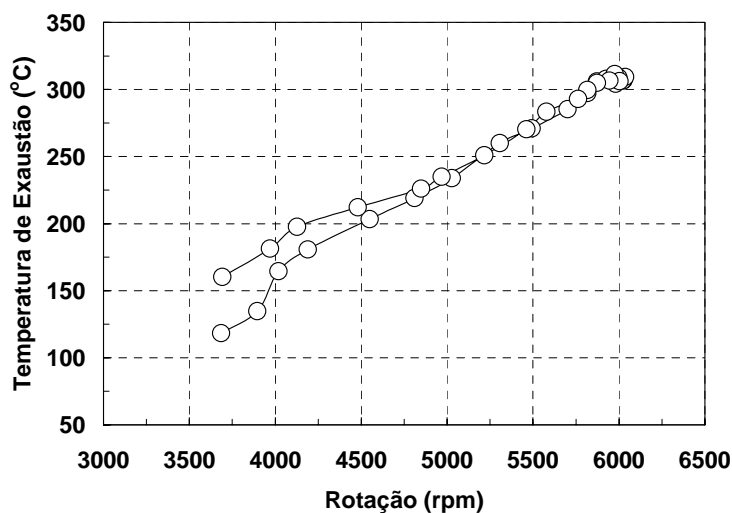


Figura 14. Temperatura de Exaustão do Motor em função do Motor

Os valores de potência gerada pelo grupo moto-propulsor são calculados com base na Eq. (1). A curva de potência do grupo moto-propulsor é apresentada na Fig. 15. Com base nos valores obtidos de potência e no consumo de combustível do motor, mostrado na Fig. 11, é calculado o consumo específico de combustível em l/kW.h. Os valores estimados para o consumo específico de combustível do motor são mostrados na Fig. 16.

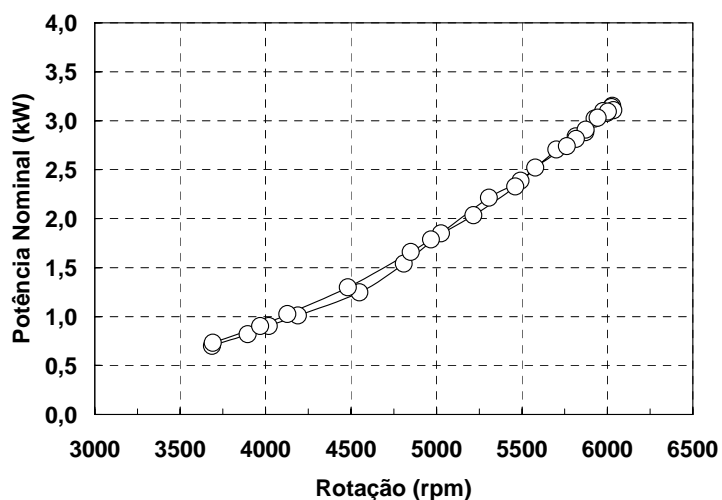


Figura 15. Potência Nominal do Grupo Moto-Propulsor em função da Rotação

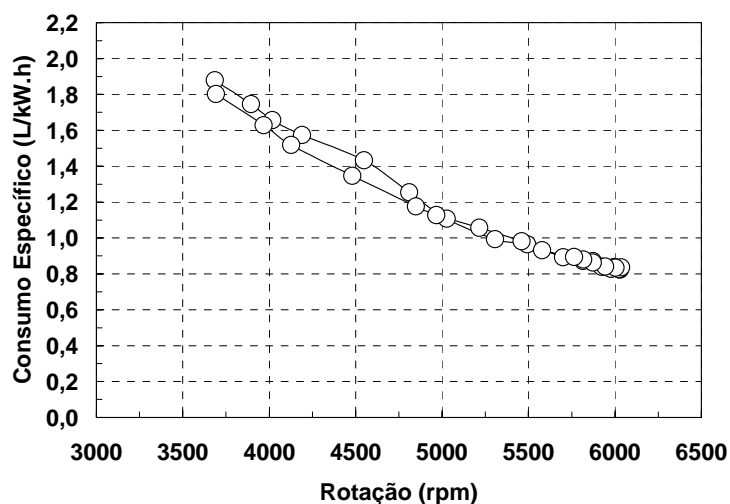


Figura 16. Consumo Específico do Motor em função da Rotação

Os resultados experimentais de torque e potência gerada pelo grupo moto-propulsor são comparados com dados disponibilizados pelo fabricante. Os dados do fabricante foram digitalizados do catálogo do motor a fim de permitir que os dados fossem apresentados na mesma escala. As comparações entre os dados do fabricante e os resultados experimentais são apresentadas nas Figs. 17 e 18. As Figuras 19 e 20 apresentam os desvios percentuais relativos aos valores experimentais de torque e potência com os dados do fabricante.

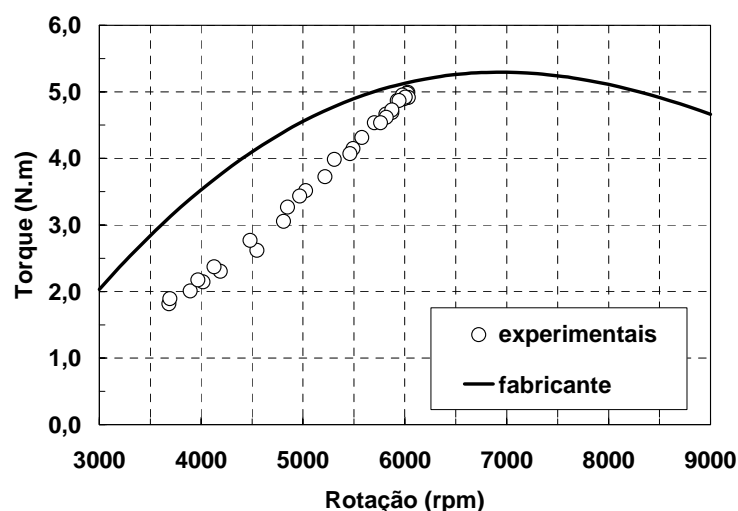


Figura 17. Comparação entre a Curva do Fabricante e os Dados Experimentais para o Torque

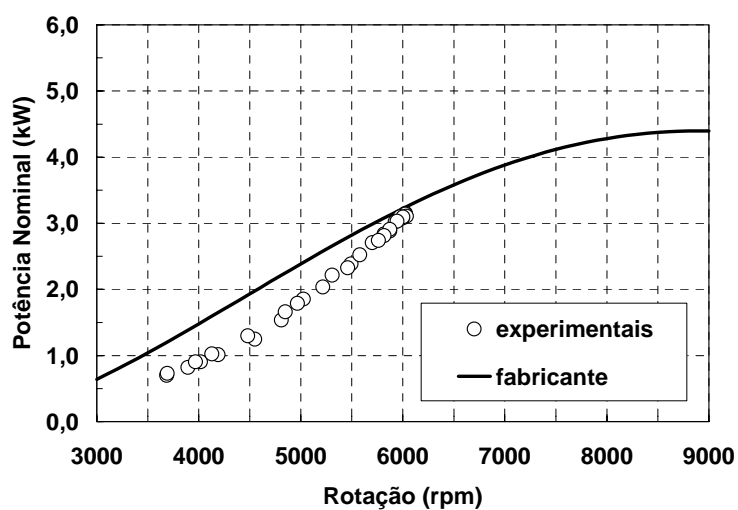


Figura 18. Comparação entre a Curva do Fabricante e os Dados Experimentais para a Potência

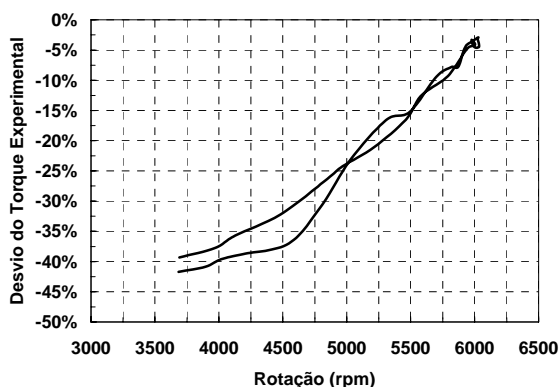


Figura 19. Desvio Percentual para o Torque

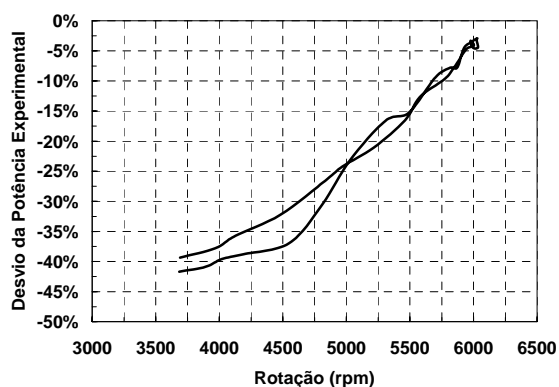


Figura 20. Desvio Percentual para a Potência

Pode-se verificar através das Figs. 19 e 20 que o desvio percentual dos resultados experimentais em relação aos dados do fabricante tende a diminuir com o aumento da rotação do motor. Esse comportamento ocorre devido ao fato de o motor operar de forma mais estável em altas rotações, gerando menos vibrações sobre as células de carga.

Como o motor em estudo é do tipo dois tempos e o seu funcionamento ocorre segundo um ciclo alternativo, os valores de tração e torque variam em função do tempo mesmo para uma rotação constante. Com base no desvio-padrão dos valores de tração e torque registrados pelo programa de aquisição ao longo do tempo, para uma dada condição de operação, estimou-se a incerteza dos valores medidos para a tração, torque e rotação do motor. Os valores médios das incertezas para a tração, torque, rotação e são mostrados na Tab. 1.

Tabela 1. Incertezas Médias Associadas as Medições

| parâmetro | faixa de medição reproduzida | incerteza média |
|------------------------|------------------------------|-----------------|
| tração (N) | 50 a 160N | 5 N |
| torque (N.m) | 1.8 a 5 N.m | 1 N.m |
| rotação do motor (rpm) | 3700 a 6000 rpm | 30 rpm |

6. CONCLUSÕES

A configuração física e a metodologia utilizada para ensaio do motor no banco de hélice se mostraram satisfatórios para obtenção dos parâmetros do motor estudado. O sistema de aquisição e controle atende as necessidades experimentais, apresentando com robustez e confiabilidade.

Os resultados experimentais obtidos para o torque e para a potência gerada pelo motor apresentam desvios máximos da ordem dos 40% em relação aos dados disponibilizados pelo fabricante. Entretanto, devido à falta de confiabilidade nos dados fornecidos pelo fabricante e como os resultados experimentais reproduzem o comportamento esperado para as curvas de torque e potência de um motor a pistão, assume-se que o desvio real dos valores obtidos seja menor do que o estimado pelas curvas.

O método empregado para estimar o consumo de combustível do motor, utilizando valores médios de consumo de somente algumas condições de operação, apresenta limitações com relação à precisão do valor de consumo instantâneo real do motor. A utilização de um sistema de medição em tempo real se mostraria mais adequado.

7. AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro Carlos Guedes e estagiário Marcelo Guedes do Laboratório Prof Feng pela inestimável ajuda. Ao MCT/FINEP/Ação Transversal - Cooperativos - no. 243/2004.

8. REFERÊNCIAS

- Doebelin E. O. 2004. "Measurement Systems: Application and Design", 5th Edition. New York: McGraw-Hill.
 Heywood J. 1988. "Internal Combustion Engine Fundamentals". New York: Mc Graw- Hill, 1988.
 Zenoah Engines. On-line. "Zenoah GT-80 Twin-Cylinder Specifications". <www.zenoah.com>.

9. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

PERFORMANCE OF THE ZENOAH GT-80 ENGINE OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE IN A PROP TEST STAND

Abstract: This paper presents the experimental methodology used to test an unmanned aerial vehicle engine in a prop test stand. The objective is to obtain the performance curves for engine thrust, torque, power and specific fuel consumption in function of the engine rotational speed. The engine tested is the Zenoah GT-80, two-stroke, two cylinder horizontally opposed, fueled by carburetor, magneto ignition and displaced volume of 80cc. The engine performance is evaluated using the 24X10 two-blade fixed pitch propeller. The engine thrust and torque are obtained by load cells mounted on the test stand structure. The engine rotational speed is obtained through an optical sensor positioned in the propeller hub. The data acquisition and control system is based on commercial software LabVIEW® 7.1. The engine fuel throttle is controlled through an electro-servo connected to the computer via serial port. The results show the curves for thrust, torque, power and specific fuel consumption in function of rotational speed. The maximum power obtained experimentally is in the order of 3kW. The maximum thrust and torque are 160N and 5N.m at 6020rpm. The values are compared with the torque and power curve provided by the manufacturer. The torque and power mean deviation are 22% and 15%, respectively.

Keywords: prop test stand, engine performance, specific fuel consumption, unmanned aerial vehicle.