



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
CAMPUS CARAÚBAS  
ENGENHARIA MECÂNICA

IGOR MACEDO GOMES

**ANÁLISE DE EMPUXO ESTÁTICO PARA SELEÇÃO DE CONJUNTO MOTO  
PROPULSOR APLICADO AO PROJETO AERODESIGN**

CARAÚBAS – RN  
2015

IGOR MACEDO GOMES

**ANÁLISE DE EMPUXO ESTÁTICO PARA SELEÇÃO DE CONJUNTO MOTO  
PROPULSOR APLICADO AO PROJETO AERODESIGN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido, (UFERSA) - Campus Caraúbas para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me Ramsés Otto Cunha Lima – UFERSA

CARAÚBAS – RN  
2015

IGOR MACEDO GOMES

**ANÁLISE DE EMPUXO ESTÁTICO PARA SELEÇÃO DE CONJUNTO MOTO  
PROPULSOR APLICADO AO PROJETO AERODESIGN**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado a Universidade Federal Rural  
do Semiárido – UFERSA, Campus  
Caraúbas para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica

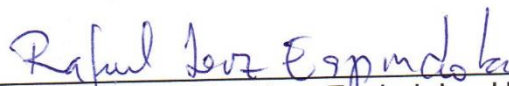
APROVADO EM: 04/12/2015

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Me. Ramsés Otto Cunha Lima - UFERSA  
Presidente



---

Prof. Me. Rafael Luz Espindola - UFERSA  
Primeiro Membro



---

Prof. Me. Wendell Albano – UFERSA  
Segundo Membro

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Biblioteca Setorial Campus Caraúbas (BSCA)**  
**Setor de Informação e Referência**

G633a Gomes, Igor Macedo.

Análise de empuxo estático para seleção de conjunto moto propulsor aplicado ao projeto aerodesign / Igor Macedo Gomes -- Caraúbas, 2015.  
31f.: il.

Orientador: Prof. Me Ramsés Otto Cunha Lima.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Morotes. 2. Hélice. 3. Aerodesign I. Título.

RN/UFERSA/BSCA

CDD: 621.43

Bibliotecário: Dalvanira Brito Rodrigues  
CRB-15/700

A Deus, por estar sempre comigo em todos os momentos me dando força e proteção.

A **Maria de Jesus Macedo Gomes**, minha mãe, que sempre esteve ao meu lado me dando apoio e me acompanhando durante toda vida fazendo ser quem sou hoje.

A **Francisco das Chagas Gomes**, meu pai, por ser o maior exemplo de todos, meu melhor amigo e orgulho.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me iluminar em minhas decisões, fortalecendo e orientando durante toda a minha trajetória, todos os dias me protegendo e dando saúde e sabedoria necessária para realização dos meus objetivos.

Aos meus pais, Francisco das Chagas Gomes e Maria de Jesus Macedo Gomes, simplesmente os melhores pais que devem ser tomados como exemplo, pelo o apoio, orações, dedicação, paciência, incentivo e toda a preocupação e investimentos junto aos meus estudos e sonhos.

A todos os meus familiares, tios, primos, avós e amigos, que torceram por minha vitória.

Ao meu orientador Prof. Msc. Ramsés Otto Cunha Lima, pela a orientação e, por todas as críticas construtivas, sugestões e incentivos que só vieram a acrescentar a este trabalho, pela compreensão, disponibilidade e paciência assumindo o papel de um verdadeiro orientador.

A todos os professores da UFERSA que contribuíram para a minha formação acadêmica.

A minha mulher Jayane de Brito Azevedo e aos meus filhos Benício Azevedo Gomes e Heitor Azevedo Gomes por entenderem a falta de atenção que era vos dada, em prol de um futuro brilhante, me apoiando nas horas mais difíceis.

## RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto de construção de uma bancada, para análise de empuxo estático e posteriormente a seleção do conjunto moto propulsor aplicado ao projeto Aerodesign, utilizado pela equipe Acceptor Aerodesign que compete na categoria Regular da “SAE Brasil Aerodesign”. O motor escolhido mediante a cálculos foi o fabricado pela empresa O.S. Engines, modelo 0.55 FX, muito empregado em aeromodelos. Trata-se de um motor monocilindro de dois tempos, movido com uma mistura de metanol, nitrometano e óleo lubrificante. A hélice que se mostrou mais eficiente aliado ao motor foi a APC 12.25x3.75. A correta escolha do conjunto motopropulsor rendeu a 28ª posição entre 62 equipes. Este resultado mostra que o trabalho aqui desenvolvido foi feito de forma coerente.

**PALAVRAS-CHAVES:** Empuxo estático; Motor; Hélice; Aerodesign.

## **ABSTRACT**

This work presents the project to build a workbench for static thrust analysis and then selecting the propellant set applied to Aerodesign project, used by Acceptor Aerodesign team, competing in the regular category of "SAE Brazil Aerodesign". The engine selected by calculations is manufactured by OS Engines, 0.55 FX model, much used in model airplanes. This is a single cylinder two-stroke engine, powered with a mixture of methanol, nitromethane and lubricating oil. The propeller that proved most effective, coupled with the selected engine, was APC 12.25x3.75. The correct selection of the propellant set enabled the team to conquer the 28th position among 62 teams in the aerodesign competition. This result shows that the work was carried out in a consistent way.

**KEY WORDS:** Static thrust; Engine; Propeller; Aerodesign.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Motor O.S. Engines 0.55 FX.....	9
Figura 2: Galão de combustível. ....	9
Figura 3: Principais partes de uma hélice. ....	10
Figura 4: Diâmetro de uma hélice.....	13
Figura 5: Medida do passo teórico. ....	13
Figura 6: Fluxograma mostrando a metodologia utilizada.....	15
Figura 7: a) Toquinhos de madeira, b) Ganchos roscados de fixação do tanque, c) Gancho roscado para unir a caixa e a balança. ....	16
Figura 8: Face superior da caixa levantada .....	17
Figura 9: Vista lateral esquerda. ....	17
Figura 10: A) MASTER AIRSCREW 12x6, B) APC 12.25x3.75, C) APC 13x4.....	18

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados referentes as características dos motores. ....	8
Tabela 2: Valores de empuxo e rotação real para cada hélice.....	19
Tabela 3: Valores de empuxo e rotação teórico para cada hélice .....	19

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	4
1.1.	JUSTIFICATIVA.....	4
1.2.	OBJETIVO GERAL.....	4
1.3.	OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	5
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1.	PROJETO SAE AERODESIGN BRASIL.....	6
2.1.1.	HISTÓRICO DA COMPETIÇÃO.....	6
2.1.2.	REGULAMENTO DA COMPETIÇÃO.....	6
2.2.	CONJUNTO MOTO PROPULSOR.....	7
2.2.1	MOTOR.....	8
2.2.2	HÉLICE.....	10
2.3	EMPUXO ESTÁTICO.....	11
2.3.1.	Princípio físico.....	11
2.3.3	Parâmetros de influência.....	12
2.3.3.1	Fatores internos.....	12
2.3.3.2	Fatores externos.....	14
3.1.	CONFECÇÃO DA BANCADA.....	15
3.2.	PROCEDIMENTO UTILIZADO PARA O TESTE.....	17
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
5.	CONCLUSÃO.....	21
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como finalidade apresentar o processo de construção e análise em uma bancada para ensaios de empuxo estático. Esta bancada tem como objetivo medir valores de empuxo para o motor sugerido para a categoria regular da competição SAE Brasil Aerodesign, variando as hélices (com diferentes diâmetros e passos) utilizadas no conjunto motopropulsor. A construção desta bancada foi realizada com materiais simples como madeira, pregos, parafusos, trilhos de gavetas, e uma balança digital. Esta bancada trouxe muitos benefícios a equipe Acceptor Aerodesign no que diz respeito ao desempenho do motor utilizado no protótipo, podendo-se avaliar qual associação de elementos do conjunto motopropulsor (hélice, motor) proporcionou ao avião maior empuxo. Este foi o primeiro ano da equipe do Campus Caraúbas na competição da SAE Brasil Aerodesign, onde participou-se na categoria Regular. A competição ocorre, anualmente, na cidade de São José dos Campos-SP, no ITA (Instituto Tecnológico de Aeronáutica).

### 1.1. JUSTIFICATIVA

Neste trabalho foi avaliada a influência da utilização de diferentes combinações de hélices, em um motor O.S. 0.55, o qual é exigido pelo regulamento da competição. Esta variação de elementos do conjunto motopropulsor resultou em diferentes valores na medição do desempenho do mesmo. Desta forma objetiva-se descobrir qual o conjunto que confere melhor desempenho ao avião, uma vez que ter um maior empuxo, faz com que o avião tenha maior capacidade para o transporte da carga exigida pelo regulamento da competição.

### 1.2. OBJETIVO GERAL

- Construir uma bancada para ensaios de empuxo estático em motores à combustão para aeromodelos;
- Selecionar o conjunto moto propulsor ideal para atender o requisito do regulamento da competição.

### 1.3. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Compreender o funcionamento de motores de combustão interna para aeromodelos;
- Medir e entender como varia o valor de empuxo estático de um motor com a variação do modelo de hélice utilizada;
- Mostrar a necessidade de se realizar ensaios de engenharia, como auxílio a tomadas de decisões em projetos;
- Conhecer os parâmetros construtivos de hélices e como estes influenciam no valor do empuxo de um motor de aeromodelo.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. PROJETO SAE AERODESIGN BRASIL**

O projeto SAE Aerodesign é um desafio lançado aos estudantes de Engenharia que tem como principal objetivo propiciar a difusão e o intercâmbio de técnicas e conhecimentos de Engenharia Aeronáutica (SAE AERODESIGN, 2015). Esta competição ocorre a anos em meio a estudantes e futuros profissionais da engenharia da mobilidade, por meio de aplicações práticas e da competição entre equipes.

#### **2.1.1. HISTÓRICO DA COMPETIÇÃO**

A Competição SAE AeroDesign acontece nos Estados Unidos desde o ano de 1986, tendo sido idealizado e posto em prática pela SAE International. Pelo sucesso alcançado fora do Brasil, em 1999 incluíram esta competição no calendário de programas estudantis da SAE BRASIL. No decorrer de sua existência a Competição SAE BRASIL AeroDesign tornou-se visivelmente uma porta para o futuro dos estudantes que ali participam, tendo contato direto com empresas do ramo onde lhe são ofertadas vagas de estágios. É um evento que está sempre em constante crescimento tanto em quantidade como em qualidade dos projetos, uma resposta à altura às exigências técnicas por parte das regras da competição. O progresso, alcançado nas aeronaves atuais frente a suas precursoras é notável, pelo simples fato de aplicarem normas, métodos e softwares utilizados por empresas aeronáuticas ao Aerodesign.

#### **2.1.2. REGULAMENTO DA COMPETIÇÃO**

Logo no início do ano surge um regulamento elaborado por engenheiros da Embraer, onde se exige desde a idealização até a construção de uma aeronave cargueiro não tripulada. Os juízes fazem um acompanhamento a distância solicitando como forma classificatória um relatório e um vídeo de voo. Dentre as especificações exigidas no regulamento tem-se a área em planta, que corresponde à área projetada

verticalmente do avião no solo que deve ser igual a 0,9 m<sup>2</sup>, e o compartimento de carga que não pode ter volume menor que 5000 cm<sup>3</sup>. Uma das maiores bonificações da competição é a acuracidade, que é definida como medida de exatidão da previsão de carga a ser transportada pela aeronave, quando comparada com a carga real transportada durante a competição (SAE AERODESIGN, 2015). Na aeronave tem-se alguns componentes comprados comercialmente tais como servos, rádio e motor. São determinadas algumas marcas para maior segurança, tanto dos participantes da competição quanto da aeronave. Para SAE AERODESIGN (2015), o motor deve ser apenas um, a ser selecionado pela equipe entre os mostrados abaixo:

- K&B 0.61 RC/ABC (PN 6170), (tipo glow),
- O.S. 0.61 FX, (tipo glow),
- O.S. 0.55 AX, (tipo glow),
- Magnum XLS-61A, (tipo glow),

O motor escolhido deve ser original e usar o escapamento original do motor. Os motores especiais não serão aceitos. Troca de componentes danificados (exemplo: carburador) são permitidos desde que o substituto seja do mesmo modelo (SAE AERODESIGN, 2015). Peças de exemplares mais ultrapassados ou mais modernos não serão aceito como reposição. Quanto aos rolamentos só há uma condição para sua troca, se tiverem a mesma especificação dimensional e de material igual ao original. A denominação Glow vem do tipo de combustível usado nos motores que é o nitro-metano. É permitido a utilização de qualquer fabricante de velas, entretanto é proibido o uso de qualquer dispositivo de ignição por centelha, ou injeção eletrônica.

## 2.2. CONJUNTO MOTO PROPULSOR

Voltando-se para a parte de desempenho, uma das escolhas mais importantes é a do conjunto moto propulsor. Conforme sua seleção, a aeronave pode ou não carregar mais carga, se carregado mais carga a equipe ganha pontos. Indica-se no regulamento quais motores poderão ser usados. Os mesmos estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1: Dados referentes as características dos motores.

<b>Motores</b>	<b>K&amp;B 0.61 RC/ABC</b>	<b>O.S. 0.61 FX</b>	<b>O.S. 0.55 AX</b>	<b>Magnum XLS-61<sup>a</sup></b>
<b>Custo</b>	-	-	R\$ 760	R\$ 663
<b>Massa (com Muffler)</b>	509 g	550 g	525 g	638 g
<b>Cilindrada (cc)</b>	10,00 cc	9,95 cc	8,93 cc	9,94 cc
<b>Rotação (RPM)</b>	2200 a 14000	2000 a 17000	2000 a 17000	2000 a 16000
<b>Potência de eixo (hp)</b>	1,8 (14000 RPM)	1,7 (17000 RPM)	1,68 (16000 RPM)	Não informado
<b>Disponibilidade</b>	Indisponível no mercado	Indisponível no mercado	Disponível	Disponível
<b>Relação peso/potência</b>	0,2827 kg/hp	0,3235 kg/hp	0,3125 kg/hp	-

Fonte: Autoria própria.

### 2.2.1 MOTOR

Com a gama de motores ofertados foi escolhido o motor O.S. Engines 0.55 FX, por ter disponibilidade de mercado e a melhor relação entre peso/potência. É um motor a combustão interna de dois tempos. Tem-se em um único ciclo, admissão, compressão, expansão e exaustão de gases a cada volta do eixo, fazendo com que se alcance maior potência. São motores mais simples e leves por não possuírem válvulas. O motor tem capacidade cúbica de 0,55 cu.in ou 8,93cm<sup>3</sup> e necessita de um combustível especial. Suas principais partes estão destacados na Figura 1.



Figura 1: Motor O.S. Engines 0.55 FX.



Fonte: Adaptado de (MODELISMO, 2015).

O combustível mais apropriado para este tipo de motor dois tempos é o nitro-metano. Constitui-se de uma mistura de metanol, nitro-metano e óleo lubrificante (no geral, óleo de rícino) (KOSEKI, 2010). Tem-se a imagem de um galão de combustível na Figura 2.

Figura 2: Galão de combustível.



Fonte: (AEROSPORT, 2015).

O nitro-metano é uma mistura orgânica líquida de textura viscosa cuja fórmula é  $\text{CH}_3\text{NO}_2$ . Em razão de sua composição química contém dois átomos de oxigênio para cada átomo de carbono. Assim, ele necessita de menor quantidade de ar que a gasolina para se ter uma combustão completa. Mais precisamente, enquanto a gasolina precisa de 14,7 partes de ar para queimar 1 parte de gasolina, a mesma quantidade de nitro-metano precisa de apenas 1,7 partes de ar para queimar, (CARTAXO, 2003). Com isso, é inserido quase 9 vezes mais combustível na câmara de combustão se comparado com a gasolina, obtendo uma explosão bem mais elevada.

### 2.2.2 HÉLICE

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 3.

Figura 3: Principais partes de uma hélice.



Fonte: (HOMA, 2015).

Cada pá é basicamente uma asa rotativa. A pá tem um formato aerodinâmico capaz de gerar uma sustentação. Essa força de sustentação no plano em que a pá se desloca recebe o nome de tração, propulsão ou empuxo. A força necessária para se

rotacionar a hélice é extraída da parte motora. A hélice é colocada no eixo de manivelas dos motores.

Uma hélice bem projetada tem uma eficiência de 50% a 87% quando está trabalhando no melhor regime, (LAURENCE, 2009). Existem dois fatores que colaboram para a eficiência de uma hélice, são elas, ângulo de ataque das pás e a direção de rotação das pás. Um ângulo de ataque das pás pequeno tem um bom desempenho em relação à resistência mas gera pouco impulso, enquanto que ângulos grandes têm o efeito contrário, (LAURENCE, 2009). O melhor ângulo de ataque das pás é quando essas funcionam como pequenas asas, oferecendo mais sustentação do que resistência.

## 2.3 EMPUXO ESTÁTICO

Para entender o que vai ser estudado é necessário saber a definição do assunto abordado no presente trabalho. O empuxo se deve à diferença das pressões exercidas pelo fluido nas superfícies inferior e superior do corpo (SILVA, 2015). Denomina-se empuxo estático porque esta análise é realizada com o conjunto estacionado. Definindo em uma linguagem menos formal, nada mais é do que, a força com que o conjunto moto propulsor “puxa” seu modelo para frente. Como todo processo existem perdas esta avaliação não 100% mais chega bem próximo do valor real.

### 2.3.1. Princípio físico

A chamada teoria axial de hélices mostra como esse empuxo é adquirido, na seção da hélice ocorre uma descontinuidade de pressão, provocada pela energia que a hélice está fornecendo ao fluido (ROSA, 2006). 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. Neste trabalho será calculado este parâmetro, para saber se o conjunto (hélice, motor) trará a propulsão que se necessita, para que o avião cargueiro desenvolvido exclusivamente para competição SAE-Aerodesign Brasil levante voo.

### 2.3.2 Empuxo estática

Para efeito de comparação tem-se um modelo matemático que permite estimar com boa confiabilidade o empuxo. Este modelo é fundamentado na potência disponível no eixo do motor e na eficiência da hélice em função da razão de avanço. É possível calcular o empuxo estático de acordo com a Eq. 1, (RODRIGUES, 2010). E para obter a variável  $k_{to}$  utiliza-se da Eq. 2, (RODRIGUES, 2010).

$$T = K_{to} \left( \frac{P_e}{nD} \right) \quad (1)$$

$$k_{to} = 57000 \left( 1,97 - \frac{P}{D} \right) \quad (2)$$

Onde  $K_{to}$  representa o coeficiente de tração estática,  $P_e$  a potência disponível no eixo do motor em (hp),  $D$  é o diâmetro da hélice em (ft),  $n$  é a rotação em (rpm).

### 2.3.3 Parâmetros de influência

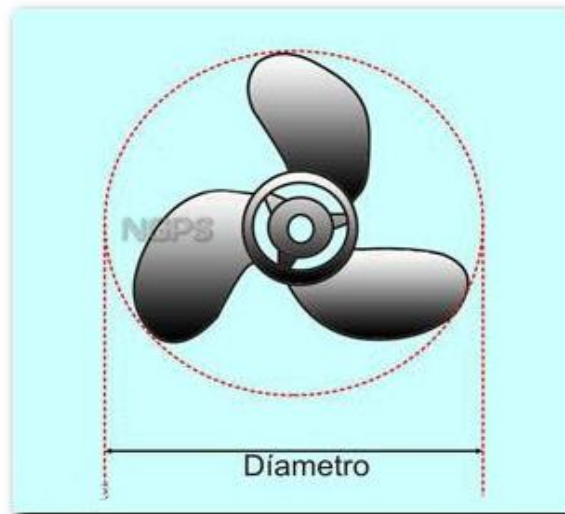
Estes parâmetros influenciam diretamente nos valores de empuxo, e estão divididos em duas categorias, são elas internos e externos.

#### 2.3.3.1 Fatores internos

São fatores que podem ser controlados pelo meio. São eles o diâmetro da hélice, passo da hélice, torque do motor e a afinação do mesmo.

- Diâmetro da hélice: teoricamente quanto maior o diâmetro, maior será o contato entre a hélice e o fluido, gerando um maior empuxo. Mas chega-se a um certo ponto em que isso se inverte porque o arrasto também aumenta. Se o arrasto aumentar muito a hélice perde eficiência. A Figura 5 abaixo mostra uma hélice cotada.

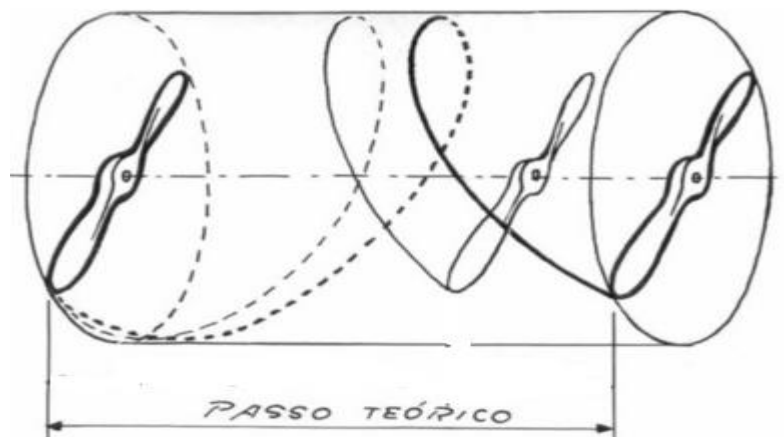
Figura 4: Diâmetro de uma hélice.



Fonte: (DAMBROSIO, 2015).

- Passo da hélice: é o quão ela se desloca radialmente em uma volta. Teoricamente quanto maior é o passo da hélice maior será o avanço que ela vai dar. Isto vale até certo ponto, porquê de acordo com o aumento do passo também se aumenta o arrasto. As vezes o arrasto é tão grande que a hélice perde eficiência. Temos abaixo a representação uma hélice dando um giro completa, e o quanto ela vai se deslocar, Figura 6.

Figura 5: Medida do passo teórico.



Fonte: Adaptado de (MARTINS, 2015).

- Motor: torque é a potência de saída no eixo do motor, quanto maior o torque, maior será a força repassada para hélice, conseqüentemente a aeronave carregará mais peso.
- Regulagem do motor: para haver uma combustão perfeita existe uma porcentagem ideal entre combustível e ar, e é com essa afinação que se obtém essa mistura, fazendo com que o motor chegue ao seu melhor rendimento.

#### 2.3.3.2 Fatores externos

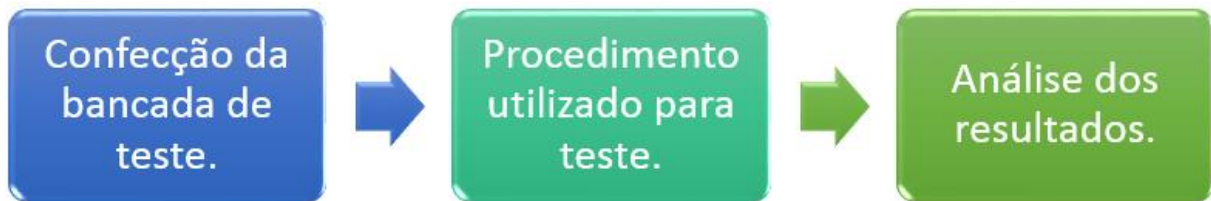
São fatores que não podem ser controlados pelo meio, como a massa específica do ar.

- Densidade do ar: em grandes altitudes o ar tem sua massa específica diminuída tornando-se mais escasso. Isso acontece em virtude de a gravidade da Terra realizar sua força constantemente em direção ao centro do planeta, condicionando o ar próximo ao nível do mar. Com o ar mais rarefeito diminui-se o contato entre a hélice e o fluído, diminuindo também o empuxo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido segundo a metodologia apresentada no fluxograma da Figura 7.

Figura 6: Fluxograma mostrando a metodologia utilizada.



Fonte: Autoria própria.

#### 3.1. CONFECÇÃO DA BANCADA

Para a confecção da bancada utilizou-se os seguintes materiais:

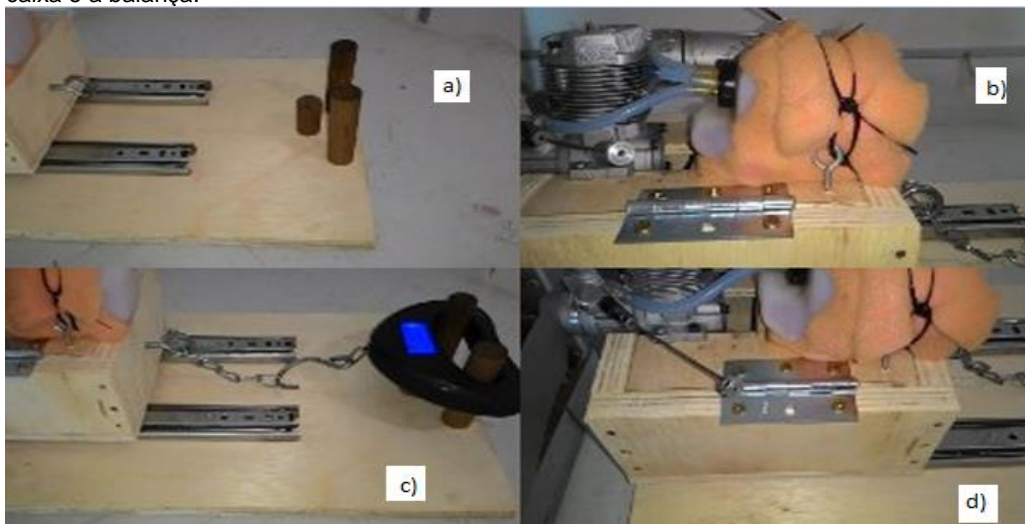
- Placa de madeira.
- Trilhos de gavetas com rolamentos.
- Cabo de vassoura de madeira
- Arco de serra.
- Furadeira.
- Parafusos.
- Ganchos roscados.
- Régua.
- Chave philips.
- Balança digital com gancho.
- Presilhas

Durante o processo de construção da bancada houveram-se muitas dificuldades. Foi necessário a construção de três bancadas para se chegar ao modelo

atual. Dentre as dificuldades podemos citar: a madeira utilizada inicialmente que era prensada não suportou as vibrações ocasionadas pelo motor sendo necessário uma madeira mais resistente, os trilhos de gaveta por terem uma folga grande no seu encaixe também não suportou as vibrações vindo a desencaixar no momento do teste, sendo necessário a utilização de trilhos com rolamentos.

Inicialmente cortou-se uma placa de madeira com o auxílio de um arco de serra, obtendo-se as seguintes medidas 250X400 mm. Com esta placa foi feita a base da bancada. Em seguida foi feita uma caixa de madeira com as laterais medindo 160x110 mm. Foi aberto um rasgo retangular na parte frontal superior medindo 60x36 mm para acomodar o motor O.S. Engines 0.55 FX. Prendeu-se um gancho roscado na face posterior central da caixa. Esse gancho serviu como um elo entre a caixa e a balança, (Figura 8 c). Uniu-se os trilhos a parte inferior da caixa por meio de parafusos e posteriormente fixou-se na parte superior da bancada. Para facilitar a montagem do motor colocou-se uma dobradiça na parte superior da caixa, (Figura 8 d). Cortou-se dois pedaços de madeira de cabo de vassoura medindo 100 mm para servir de suporte para balança e um terceiro pedaço para deixar a balança estável, (Figura 8 a). Colocou-se dois ganchos na face superior com uma distância entre eles de 70mm para fazer a fixação do tanque de combustível, (Figura 8 b). E um tacômetro apontado diretamente para hélice. Figura 9 mostra a face superior da caixa levantada para montagem do motor. Figura 10 exhibe uma vista lateral da bancada, onde se observa o alinhamento da caixa com a balança. A bancada teve um custo total de 25 R\$.

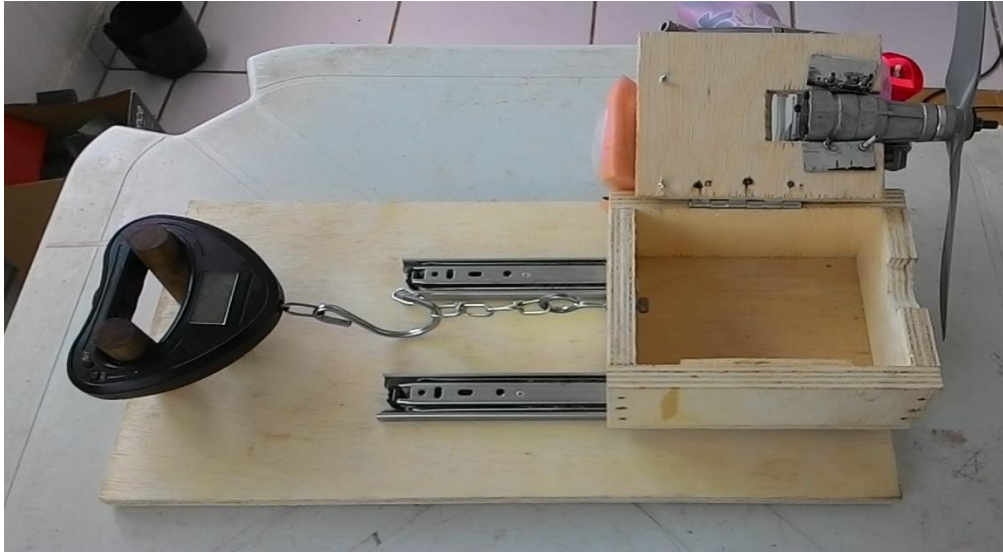
Figura 7: a) Toquinhos de madeira, b) Ganchos roscados de fixação do tanque, c) Gancho roscado para unir a caixa e a balança.



Fonte: Autoria própria.

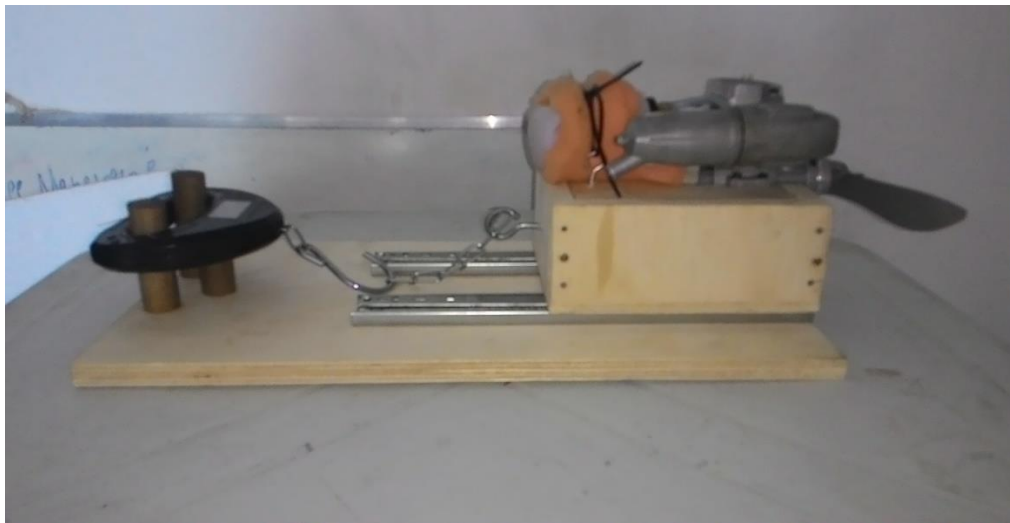


Figura 8: Face superior da caixa levantada



Fonte: Autoria própria

Figura 9: Vista lateral esquerda.



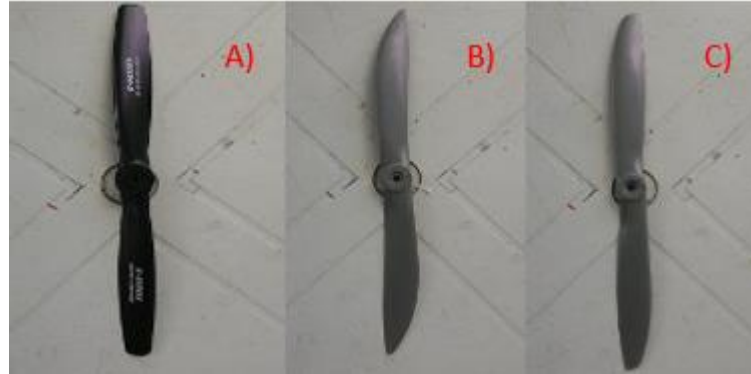
Fonte: Autoria própria.

### 3.2. PROCEDIMENTO UTILIZADO PARA O TESTE

O procedimento é simples, a balança é ligada primeiramente, após isso liga-se o motor, acelera-se ao máximo para se fazer a regulagem do mesmo, em seguida é acelerado até sua máxima potência por 15 segundos obtendo-se as variáveis necessárias para análise, que são, rotação e empuxo por meio de um tacômetro e

uma balança. Este processo é feito três vezes para cada hélice. Com os três valores de rotação e os três de empuxo foi feito uma média. Tem-se as hélices utilizadas nos testes, Figura 11.

Figura 10: A) MASTER AIRSCREW 12x6, B) APC 12.25x3.75, C) APC 13x4.



Fonte: Autoria própria.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segue abaixo os resultados obtidos nos testes, Tabela 2.

Tabela 2: Valores de empuxo e rotação real para cada hélice.

<i>Fabricante</i>	<b>APC</b>	<i>APC</i>	<i>MASTER AIRSCREW</i>
<i>Diâmetro</i> (")	<b>12,25</b>	13	12
<i>Passo</i> (")	<b>3.75</b>	4	6
<i>Empuxo</i> (g)	<b>4260</b>	3830	2590
<i>Rotação</i> (RPM)	<b>12375</b>	11543	8622

Fonte: Autoria própria

Observando os valores de empuxo da Tabela 2 e 3, percebe-se que os valores reais são bem próximos dos teóricos. Com isto comprova-se que os testes foram bem sucedidos.

Tabela 3: Valores de empuxo e rotação teórico para cada hélice

<i>Fabricante</i>	<b>APC</b>	<i>APC</i>	<i>MASTER AIRSCREW</i>
<i>Diâmetro</i> (")	<b>12,25</b>	13	12
<i>Passo</i> (")	<b>3.75</b>	4	6
<i>Empuxo</i> (g)	<b>3966,37</b>	4003,15	5134,30
<i>Rotação</i> (RPM)	<b>12375</b>	11543	8622

Fonte: Autoria própria

Observando a Tabela 2, constatou-se que o conjunto motopropulsor que gerou o melhor rendimento é o motor O.S. Engines 0.55 FX aliado a hélice APC 12.25x 3.75.

Os valores alcançados de rotação e empuxo foram respectivamente: 12375 RPM e 4260 g, o empuxo chega a ser quase 11% maior que a segunda colocada, que é a hélice APC 13X4.

Devido à seleção correta do conjunto motopropulsor a equipe conseguiu fazer uma aeronave competitiva, atingindo a meta estabelecida para 2015, que era estar entre os 33<sup>a</sup> primeiros, alcançando a 28<sup>a</sup> posição. Ficar entre os 33<sup>a</sup> trazia um benefício a equipe, que é a vaga garantida para a competição de 2016. Já de primeira o avião conseguiu decolar e realizar com êxito um voo válido transportando a carga necessária para classificação, que era de 4 kg. E seguiu adiante voando mais 5 vezes em 7 baterias, conseguindo na 3<sup>a</sup> bateria uma das pontuações mais importantes e valiosas da competição que é a acuracidade, dando a equipe Acceptor uma posição final na tabela de classificação melhor do que algumas equipes renomadas.

## 5. CONCLUSÃO

- Foi possível construir uma bancada confiável utilizando-se materiais baratos.
- Obteve-se êxito em se realizar a medição de empuxo estático, encontrando-se valores que estavam próximos ao calculado teoricamente.
- Observou-se que nem sempre o maior diâmetro e o maior passo darão maior empuxo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEROSPORT. **Combustível Wildcat Premium 10**. Disponível em: <<http://aerosport.lojatemporaria.com/combustiveis/premium-10-10-nitro-16-oleo-wilcat-combustivel.html>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

CARTAXO, Iran. **Os efeitos da adição de nitrometano e metanol**. 2003. Disponível em: <<http://bestcars.uol.com.br/ct/nitro.htm>>. Acesso em: 15 jul. 2011

D'AMBROSIO, Claudio. **La Hélice**. Disponível em: <<http://www.nauticaygps.com.ar/Tecnologia/helice/helice.php>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

HOMA, Jorge. **COMO AS HÉLICES FUNCIONAM?** Disponível em: <<http://blog.hangar33.com.br/como-as-helices-funcionam/>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

KOSEKI, Claudio Sakai. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DINAMÔMETRO PARA MOTORES DE AEROMODELOS**. 2010. 72 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <[http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2010/Trabalhos\\_finais/TCC\\_039\\_2010.pdf](http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2010/Trabalhos_finais/TCC_039_2010.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2015.

LAURENCE, Nathan. **Hélices**. 2009. Disponível em: <<http://grupomotopropulsor.blogspot.com.br/2009/06/helices.html>>. Acesso em: 08 nov. 2015.

MODELISMO, Fab. **Motor Glow OS 55 Fx**. Disponível em: <<http://www.fabmodelismo.com.br/motor-glow-os55ax---completo-e-original--com-garantia/>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

MARTINS, Cristiane Aparecida. **Introdução as hélices**. São Paulo, 2015. 98 slides, color. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1259665/>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

ROSA, Edson da. INTRODUÇÃO AO PROJETO AERONÁUTICO: UMA CONTRIBUIÇÃO AO PROJETO SAE AERODESIGN. Florianópolis: Grante, 2006.

RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda José. GRUPO MOTO-PROPULSOR. In: RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda José. **FUNDAMENTOS DA ENGENHARIA AERONÁUTICA APLICAÇÕES AO PROJETO SAE-AERODESIGN**. São Paulo: Edição do Autor, 2010. Cap. 3. p. 113-135.

SAE BRASIL, Aerodesign. PROJETO SAE AERODESIGN. Disponível em: <[http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas\\_estudantis/aero2015/aero.aspx](http://www.saebrasil.org.br/eventos/programas_estudantis/aero2015/aero.aspx)>. Acesso em: 01 abr. 2015.

SILVA, Marcelo Gomes da. FLUTUAÇÃO E EMPUXO. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgPD8AI/flutuacao-empuxo>>. Acesso em: 01 abr. 2015.