UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

GUSTAVO MILLNITZ

# A INTRODUÇÃO DA INJEÇÃO ELETRÔNICA NOS MOTORES AERONÁUTICOS A PISTÃO

Palhoça

2019

**GUSTAVO MILLNITZ**

# A INTRODUÇÃO DA INJEÇÃO ELETRÔNICA NOS MOTORES AERONÁUTICOS A PISTÃO.

Monografia apresentada ao Curso de graduação em Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Angelo Damigo Tavares.

Palhoça

2019

**GUSTAVO MILLNITZ**

# A INTRODUÇÃO DA INJEÇÃO ELETRÔNICA NOS MOTORES AERONÁUTICOS A PISTÃO.

Esta monografia foi julgada adequada à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovada em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 25 de novembro de 2019.

_____

Orientador: Prof. Angelo Damigo Tavares.

_____

Avaliador: Prof. Msc. Joel Irineu Lohn

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família, que foi o meu pilar e me apoiou nestes anos de estudos e dedicação, que muitas vezes não foi possível dar a atenção merecida aos entes queridos por motivo de estar focado nos estudos.

Obrigado aos colegas de sala pela companhia, pelos trabalhos, pelas risadas e o mais importante a grande amizade desenvolvida nestes anos de faculdade.

Agradeço aos colegas de trabalho pela paciência e compreensão que em meio às rotinas e correrias do dia a dia, onde estava exausto no decorrer da semana e sempre pude contar com seus conselhos que nos impulsionaram.

Não posso me esquecer dos mestres que em todos os momentos me ajudaram com a sua sabedoria, conhecimento e experiências.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que de uma forma ou de outra me ajudaram a alcançar o tão sonhado diploma de graduação.

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal compreender a evolução dos métodos de utilização da eletrônica em favor do melhor desempenho dos motores aeronáuticos. Para tanto se realizou uma analise dos métodos antigos de utilização de motores puramente mecânicos e suas limitações para a evolução da atividade aérea. Em paralelo foi apresentado o novo modelo de motorização que poderá ser utilizado no futuro próximo. Após a realização dos estudos foi possível constatar os principais benefícios que a tecnologia aplicada á motorização aeronáutica conseguirá entregar aos usuários. Porém, o sistema de motores carburados ainda existe e é utilizado pela grande maioria da aviação geral, causando o aumento do custo da hora voada e possível desinteresse dos que a utilizam como meio de transporte, devido aos altos custos atrelados ao voo, especialmente o excesso de consumo de combustível. Deste modo este trabalho vem expor as diferenças entre as tecnologias antigas e novas, e também colocar a opinião de um grupo de usuários acerca das questões das novas tecnologias em relação aos motores antigos. Enquanto o Brasil não implementa um acordo para a diminuição de impostos sobre o combustível aeronáutico para diminuir os custos da aviação geral, será necessário ir em busca de tecnologias para uma melhor relação custo e beneficio entre todos os usuários.



**Palavras-chave:** Eletrônica. Motores aeronáuticos. Voo, Custos.

## ABSTRACT

The present work has as main objective to understand the evolution of the methods of use of the electronics in favor of the better performance of the aeronautical engines. To this end, an analysis of the old methods by using purely mechanical engines and their limitations for the evolution of air activity was performed. In parallel was presented the new model of motorization that could be used in the near future. After conducting the studies it was possible to verify the main benefits that the technology applied to the aeronautic engine will be able to deliver to the users. However, the carbureted engine system still exists and is used by the vast majority of general aviation, causing the cost of flying time to rise and possible disinterest for those using it as a means of transport due to the high costs associated with the flight, especially the excess of fuel consumption. Thus this work exposes the differences between old and new technologies, and also puts the users' opinion on the issues of new technologies in relation to old engines. While Brazil does not implement an agreement to lower aviation fuel taxes to lower overall aviation costs, it will be necessary to look for technologies for better value for money among all users.



**Keywords:** Electronics. Aeronautical engines. Flight, Costs.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Magneto .....17
Figura 2: Bomba de combustível mecânica .....17
Figura 3: Carburador .....18
Figura 4: Ignição eletrônica .....19
Figura 5: Bomba de combustível elétrica .....20
Figura 6: Exemplo de unidade de injeção eletrônica e cabeamento .....20
Figura 7: Exemplo de Sensor MAP .....21
Figura 8: Bicos injetores e tubos de admissão .....22
Figura 9: Corpo de borboleta.....22

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tipo de habilitação.....25
Gráfico 2: Região de operação.....25
Gráfico 3: Nível de confiabilidade dos motores atuais.....26
Gráfico 4: Injeção eletrônica agregada à segurança de voo .....26
Gráfico 5: Opção de incluir injeção eletrônica em sua aeronave.....27
Gráfico 6: Nível de aceitação da injeção eletrônica na aviação geral.....27
Gráfico 7: Segurança em condições de tempo ruim com motores injetados.....28
Gráfico 8: Operação de voo com motores eletronicamente comandáveis .....28
Gráfico 9: Comparação de desempenho injetados e carburados.....29

## LISTA DE SIGLAS

UCE - Unidade de comando eletrônica

MAP - Medidor de pressão absoluta

PMA - Ponto morto alto

PMB - Ponto morto baixo

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO ..... 11**
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA ..... 12
1.2 OBJETIVOS ..... 12
1.3 JUSTIFICATIVA ..... 13
1.4 METODOLOGIA ..... 14
**1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa** ..... 14
**1.4.2 Materiais e Métodos** ..... 14
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO ..... 15
**2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MOTORES CONVENCIONAIS ..... 16**
2.1 COMPONENTES DE MOTORES DOTADOS DE TECNOLOGIAS ANTIGAS . 16
2.2 COMPONENTES DE MOTORES DOTADOS DE NOVAS TECNOLOGIAS .... 18
**3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS ..... 24**
3.1 DETERMINAÇÃO DA AMOSTRA ..... 24
3.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS ..... 25
**4 CONCLUSÃO ..... 31**
**REFERÊNCIAS ..... 33**
**APÊNDICES ..... 35**

# 1 INTRODUÇÃO

A evolução dos motores aeronáuticos é muito evidente com o passar dos anos. Os irmãos Wright ao realizarem o primeiro voo, utilizaram um motor de 4 cilindros com apenas 12 HP (cavalo força), que junto ao radiador de água e o tanque de combustível pesava em torno de 77 kg. Além disso, o motor não possuía aceleração completa, o motor trabalhava em torno de 1000 RPM (rotações por minuto) e apresentava a aceleração e desaceleração controlada apenas pelo ponto de ignição do motor, ao atrasar o ponto a rotação diminuía, e ao adiantar o motor acelerava- e poucas rotações variavam acima ou abaixo dos 1000 RPM.

Ao iniciar a primeira guerra mundial, começou-se a buscar novas tecnologias para o aumento de potência de aeronaves, foi inventado o motor radial LeRohne c9, aonde o motor girava em volta do virabrequim que ficava parado, era refrigerado a ar e que possuía 9 cilindros. Nele se obtinha com peso em torno de 129kg uma potência entre 80 a 110 HP.

Anos mais tarde Charles Lindbergh cruzou o atlântico em 1927 utilizando o motor J5 Whirlwind radial com 9 cilindros refrigerado a ar, o qual obtinha a potência de 220 HP e pesava em torno de 230 kg. Era um motor simples, porém bastante confiável e por isso usado por grandes exploradores.

Na segunda guerra mundial foram construídos os motores em V que equipavam os caças da época. Tais motores utilizavam 12 cilindros com potência entre 1695 HP até 2640 HP e pesavam em torno de 768 kg.

A geração de motores antigos se mostrou muito confiável e duradoura, porém tais motores mostravam-se extremamente pesados e com baixa eficiência na relação consumo/potência. Em face ao aumento expressivo do preço do petróleo nos últimos anos, tornou-se extremamente necessária a construção de motores com boa performance e economia. Por meio da introdução da injeção eletrônica através dos mais variados sensores que controlam a ignição e injeção do combustível conseguiu-se produzir menos gases pós-combustão utilizando uma boa queima de combustível com apenas o necessário.

Na atualidade as novas aeronaves são leves e mais eficientes aerodinamicamente, não havendo a necessidade de motores grandes para conseguir uma boa relação peso/potência. Consequentemente isso gera demandas

por novas e mais baratas tecnologias que consigam reduzir os custos operacionais dos aviões.

Segundo Ubiratan (2015, p.3).

> Um dos grandes avanços foi o uso da tecnologia de injeção eletrônica, criada pela indústria automobilística, que permitiu não apenas reduzir o consumo, mas, também, ampliar as opções de combustível para um mesmo tipo de motor (exigindo apenas alguns ajustes mecânicos) [...].

Assim sendo, o futuro dos motores aeronáuticos tende a seguir a linha automotiva, utilizando componentes eletrônicos mais desenvolvidos que consigam obter uma melhor performance e economia do que os motores atuais. Nesse sentido surgiu o uso de novos sensores e peças que anteriormente eram comandadas mecanicamente como bomba de gasolina, magnetos, carburador, sensores de oxigênio etc.

Nos dias atuais percebe-se que a eletrônica é uma tendência mundial na aviação em aspectos como navegação e instrumentação, sendo que a parte de motorização acompanha os novos ciclos tecnológicos que surgem constantemente. A modernização dos motores aeronáuticos é crucial para um melhor aproveitamento das atividades aéreas na aviação de pequeno porte, trazendo segurança e economia para as operações.

## 1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Como a evolução da eletrônica viabiliza mais segurança e melhor desempenho nos motores aeronáuticos?

## 1.2 OBJETIVOS

### Objetivo Geral.

Compreender como a evolução da eletrônica viabiliza na segurança e melhoria de desempenho nos motores aeronáuticos.

### Objetivos Específicos.

a) Demonstrar os antigos sistemas utilizados pelos motores aeronáuticos.

b) Explicar as características dos novos componentes eletrônicos aplicados aos motores aeronáuticos.
c) Analisar os aspectos de desempenho e segurança dos motores aeronáuticos propiciados por novos componentes eletrônicos.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O aumento do numero de aeronaves ao redor do mundo fez com que se buscassem novas alternativas para motores mais eficientes e econômicos. De acordo com ANAC (2019) obteve-se um crescimento registrado só no Brasil entre 2009 e 2019 no valor de 5950 novas unidades contabilizando um total em 2019 de 22.219 aeronaves registradas, sendo 8% desse valor utilizados entre aviões e helicópteros em escolas de aviação. Grande parte das aeronaves utilizadas durante a instrução são antigas e ultrapassadas, o que causa um aumento do custo operacional e consequente aumento no valor da hora voada.

O princípio de construção e funcionamento dos motores aeronáuticos sempre foi o mesmo; ao passar dos anos, pôde-se observar melhorias na mecânica automotiva com carros mais potentes e econômicos, mas não houve esse contraponto na motorização aeronáutica a pistão. Outro fato que deve ser levado em consideração é o aumento do preço do combustível e os aumentos dos gases poluentes, fatores que demandam melhorias para o rendimento dos motores na atualidade.

Devido ao aumento do uso de novas tecnologias mais leves e mais baratas na construção de aeronaves que possuem um grupo moto propulsor adequado ao projeto, é necessário ir à busca de novas tecnologias para um melhor rendimento, com uma alta confiabilidade agregada no sistema. Nos dias atuais ainda se percebe certa restrição ao uso de novas tecnologias, mas este paradigma mudou com o passar dos anos. Motores mais leves, fortes, resistentes e eletronicamente comandáveis são o futuro da atual geração.

Grande parte da aviação experimental já está utilizando a injeção eletrônica como base para seus motores como, por exemplo, a Rotax que produz em larga escala novos motores comandáveis eletronicamente e que possuem uma alta confiabilidade e economia. Segundo AEROMAGAZINE (2013, p.1), diz que:

“Presente na aviação esportiva brasileira desde os anos 80, a empresa opera cerca de 2.000 unidades no país, aproximadamente 10% do número de motores aeronáuticos dessa marca no mundo”.

Sendo assim, o motivo da realização deste trabalho será devido á experiência pessoal obtida durante a fase de treinamento com aeronaves de tecnologia ultrapassada, que são extremamente custosas e de baixo desempenho. Devido a isso, decidi apresentar algo que busque novas soluções tecnológicas para os problemas atuais, envolvendo a motorização aeronáutica. Fazendo questionamentos principalmente sobre o que os futuros pilotos devem esperar, e quais são as maiores diferenças entre a operação e funcionamento de motores antigos e novos.

## 1.4 METODOLOGIA

### 1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa

O presente trabalho irá seguir a linha de pesquisa exploratória, subsidiada pela consulta a fontes e documentos.

Conforme explica Duarte (2015, p.1.) sobre a pesquisa exploratória, "podemos afirmar que ela assume a forma de um estudo de caso, sempre em consonância com outras fontes que darão base ao assunto abordado, como é o caso da pesquisa bibliográfica e das entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado". Dessa forma, o tipo de pesquisa exploratório representa como caminho para a obtenção dos resultados apresentados nesse projeto de pesquisa.

### 1.4.2 Materiais e Métodos

Com relação ao procedimento de pesquisa, este será feito na análise bibliográfica e documental, em consonância com a interpretação de respostas fornecidas por profissionais da aviação, utilizando a experiência destes como referência através de um questionário on-line, dirigido para pilotos brasileiros de várias regiões do país, com a qualificação de pilotos comerciais em aviões e helicópteros. A limitação da pesquisa surge ao passo que não abordará todos os

componentes eletrônicos possíveis para a utilização em motores aeronáuticos, mas fará uma distinção entre alguns deles considerados relevantes para o autor como: alimentação de combustível, ignição e comandos eletrônicos.

A pesquisa será balizada em informações utilizando as seguintes análises: Bibliográfica: sites e revistas que abordem o método de motorização eletrônica.
Documental: será estudado o manual de motor Rotax 912 e 912 IS (injetado), que é uma das pioneiras na inserção de novas tecnologias para aviação leve, conjuntamente com manual de operação de motor OM-912I Rotax, catalogo de ilustrações IPC-914, IPC912.

A técnica de coleta de dados utilizada consistiu em um questionário a ser aplicado para um grupo de 122 pilotos do Brasil, pela internet, abordando a visão desses profissionais sobre as novas tecnologias que estão por vir ao Mercado da aviação geral.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No que se refere a estrutura do trabalho, o capítulo um faz uma abordagem histórica entre os motores antigos e uma analise entre eles, onde se observam os motivos de a injeção eletrônica ser aplicada aos novos motores. Na segunda parte, serão abordados componentes tradicionais como magneto, bomba de combustível e carburador no que tange as características principais, benefícios e aspectos desfavoráveis de operação. A terceira parte ira expor as novas tecnologias aplicadas na atualidade como ignição eletrônica, bomba de combustível elétrica, unidade de comando, sensor MAP, injetores de combustível e o corpo de borboleta, capazes de prover melhor rendimento na operação.

Ao final serão oferecidas as considerações finais acerca do termo discorrido.

# 2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MOTORES CONVENCIONAIS

Desde os primórdios da aviação até os dias de hoje se utilizam motores aeronáuticos com tecnologia do século passado, empregando-se componentes como: magnetos, bomba de combustível mecânica, chave seletora de magnetos e etc. Tais componentes são extremamente pesados e grandes e apenas comandados mecanicamente, fazendo com que seu rendimento seja pior, com o aumento do consumo de combustível e perda de potência.

Segundo Ubiratan (2015, p.2).

> [...] Na Primeira Guerra, a necessidade de motores mais eficientes ajudou a popularizar os motores radiais, que, na ocasião, beneficiavam-se de grande potência e pequena massa. Assim como aconteceu com os motores em V, ele foi popular até a Segunda Guerra. Ambos os motores sofriam da baixa confiabilidade, devido à complexidade mecânica e ao elevado consumo de combustível.

Fazendo-se uma comparação entre motores antigos e os atuais, em termos de evolução tecnológica, sabe-se que existe significativa dependência da tecnologia no meio da engenharia aeronáutica. Segundo POPE (2012, p.1, tradução nossa).

> Uma das maiores transformações para aeronaves movidas a pistão, veio da qualidade de construção. Os fabricantes de aeronaves gastaram milhões de dólares para melhorar e automatizar os processos de manufatura, para uma maior precisão de construção, e isso fez com que se melhorasse a durabilidade [...].

Sendo assim é importante compreender o funcionamento de novas tecnologias em uso, para que se possa utilizar a aviação de um modo mais sustentável e coerente com a realidade dos custos atrelados ao voo.

## 2.1 COMPONENTES DE MOTORES DOTADOS DE TECNOLOGIAS ANTIGAS

A) Magnetos:

A utilização dos magnetos é muito comum nos dias de hoje, devido sua confiabilidade mecânica. Ao serem utilizados, não necessitam do uso de baterias, ou seja, caso a aeronave perca as corrente elétrica, o motor continuará funcionando. Além disso, são usados em duplicidade - dois magnetos estão acionados ao mesmo tempo enquanto o motor está funcionando. Em caso de parada de um, o magneto

restante conseguirá manter o motor funcionando. O grande problema é o peso e o tamanho do componente, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1: Magneto

Fonte: Piflight teorias de voo (2017)

B) Bomba de Combustível Mecânica:

No século passado, era muito comum o uso de bombas de combustível mecânicas para se puxar o combustível dos tanques em direção ao motor. Com base num sistema independente de energia elétrica e de forma similar aos magnetos. A bomba de combustível funciona por meio do giro do motor que impulsiona um diafragma interno, gerando a sucção do combustível para a bomba e consequentemente para o motor.

Figura 2: Bomba combustível mecânica.

Fonte: Aircraftspruce (2014)

C) Carburador:

A motorização de aeronaves empregava um componente para dosar a entrada de ar e a injeção de combustível, (carburador). O seu funcionamento é basicamente realizado por meio da abertura da borboleta, quando o motor inicia a aceleração, fazendo com que se absorva uma quantidade de ar e gasolina ao mesmo tempo, através do processo do tubo de Venturi. Ao passo que o ar entra pela parte superior do carburador mais aberta, passando para a seção intermediaria do mesmo, ocorre um estreitamento do tubo, com o aumento da velocidade e geração de diferença de pressão incrementando-se a velocidade do ar durante a passagem causando uma diferença de pressão. Nesse sistema a confiabilidade é grande, porém devido a sua complexidade mecânica é difícil conseguir acertar a entrada de ar e gasolina para o motor dentro dos parâmetros previstos. Além deste fato existe a possibilidade de ocorrências de sujeiras que possam vir através da gasolina ou ar que obstruem a passagem correta de combustível e ar para o motor.

Figura 3: Carburador.

Fonte: Aeroanuncio (2015)

## 2.2 COMPONENTES DE MOTORES DOTADOS DE NOVAS TECNOLOGIAS

A) Ignição Eletrônica

Dada a evolução das tecnologias com o passar dos anos, conseguiu-se a inserção de novos componentes, mais leves, baratos e precisos; um deles foi a ignição eletrônica, que é basicamente a faísca que o que o magneto produz, fazendo

o uso da elétrica para seu funcionamento. Tal sistema necessita de alimentação da bateria direta para seu funcionamento; nele é necessária a utilização de um sensor de rotação para a leitura do ponto morto alto (PMA) e ponto morto baixo (PMB) para a correta sincronia da faísca para a combustão do combustível. É composta basicamente pelo sensor de rotação, distribuidor, vela, cabo de vela, bobina de ignição e unidade de comando. Ao fato de a bobina ser de alta potência e de rápida resposta, consegue-se uma agilidade maior no tempo da centelha da vela, conseguindo-se adiantar ou atrasar o ponto de ignição mais rapidamente, fazendo com que a performance do motor melhore em altas e baixas rotações. Outro fator importante é o de que se consegue uma diminuição do consumo de combustível devido a eficiência do sistema.

Figura 4: Ignição eletrônica.

Fonte: ibis.experimentals (2015)

B) Bomba de combustível elétrica.

O sistema de alimentação das aeronaves mais antigas tornou-se obsoleto em função da disposição dos tanques de combustível, comumente empregado em aeronaves asa alta para conseguir pressão do combustível por meio da gravidade. Nos dias atuais, faz-se o uso das bombas de combustível para a pressurização da linha, conseguindo-se uma maior pressão de alimentação sem acréscimo de peso. Neste caso, é necessário o uso de bateria para seu funcionamento. Basicamente é um motor elétrico com um rotor que faz a captação do combustível, que ao ser acionado, inicia o processo de sucção do combustível dos tanques, enviando sob pressão o mesmo para o motor.

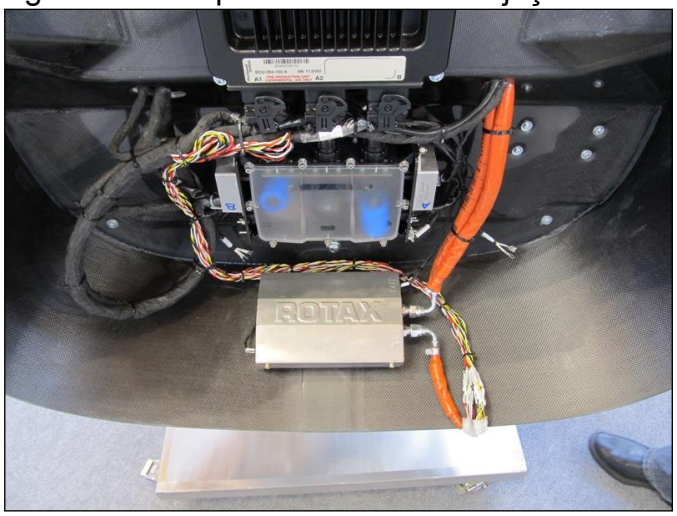
Figura 5: Bomba de combustível elétrica.

Fonte: Clube aero desportivo Vargem Grande (2012)

C) Unidade de comando

Para a realização dos comandos de ignição e injeção eletrônica, é necessário o uso da unidade de comando do motor. Tal unidade é responsável pelo envio de alimentação positiva da bateria para os principais sensores da injeção eletrônica. A unidade precisa estar alimentada diretamente pela bateria, a fim de conseguir realizar a distribuição correta de comandos de sinais necessários para o funcionamento do motor. O sistema utiliza como base de parâmetro as temperaturas do ar e da água para a correta injeção de combustível, enfatizando-se que, quanto mais frio, mais combustível o motor necessita para seu funcionamento e de forma inversa no caso de maiores temperaturas. Todos os pontos de injeção de combustível são parametrizados especificamente para o melhor rendimento e consumo utilizando as mais variadas condições atmosféricas.

Figura 6: Exemplo de unidade de injeção eletrônica.

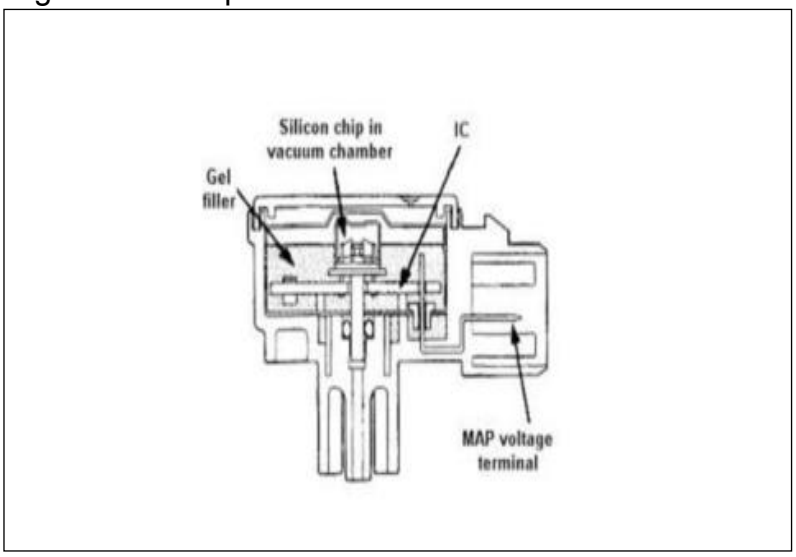



Fonte: Clube aero desportivo Vargem Grande (2012)

D) Sensor MAP

O sensor MAP -medidor de pressão absoluta-, é de grande importância para um correto funcionamento do motor. É basicamente composto por uma câmara hermeticamente fechada a vacuo com um diafragama sobre a mesma. Quando o motor inicia seu funcionamento, produz-se uma succção na admissão fazendo com que sugue o diafragma do sensor map á medida que a aceleração aumenta. O sensor é alimentado eletricamente de forma a realizar as medições da movimentação do diafragma que repassa o comando paraa a central de injeção eletrônica, fazendo com que a injeção trabalhe com o aumento ou diminuição de combustivel e tambem atrasando ou adiantando o ponto de ignição para que se consiga obter uma melhor queima de combustível.

Figura 7: Exemplo de Sensor MAP.



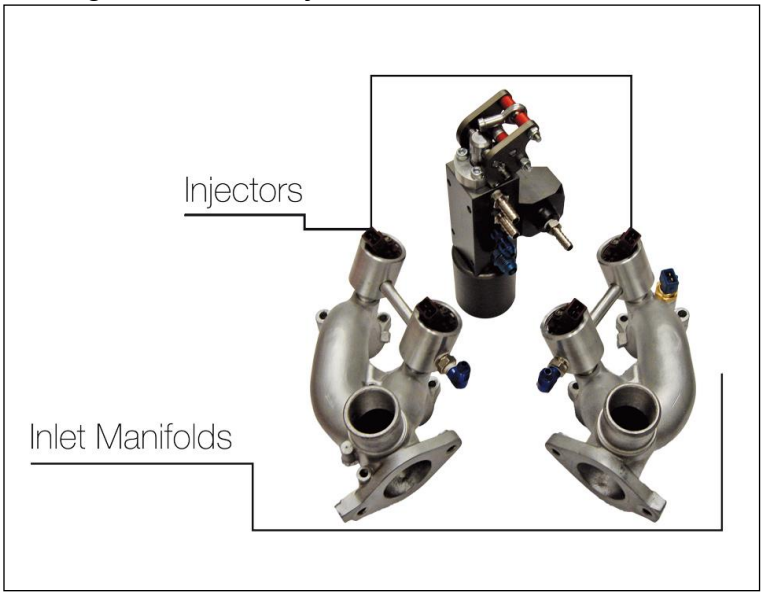

Fonte : Maperformance.com(2018).

E) Injetores de Combustível

Devido ao não uso do carburador, é necessário que se disponha de outros meios para a injeção do combustível na câmara de combustão. Sendo assim, foram introduzidos os bicos injetores, os quais realizam a injeção de combustível pulverizado nos tubos de admissão. São extremamente eficazes por conseguirem ajustar a medida exata de injeção de combustível para uma melhor queima. Tal sistema necessita de alimentação elétrica para seu funcionamento, e também de uma pressão maior de combustível para conseguir pulveriza-lo. Basicamente, o funcionamente depende de uma alimentação positiva constante e de um pulso de sinal negativo que é provido do módulo de injeção eletrônica através do sensor de rotação do motor. Ao receber o pulso do sinal negativo o bico injetor libera a

passagem de combustível por alguns milisegundos e volta a se fechar novamente á medida que o pulso termina. Tem a vantagem de ser extremamente rápido e preciso independendo da rotação requerida, e é de significativa importância para o correto funcionamento do motor e diminuição de excesso de combustível queimado.

Figura 8: Bicos injetores e tubos de admissão




Fonte: Flygas (2017)

F) Corpo de Borboleta

O corpo de borboleta utilizado dentro da injeção eletrônica é bem diferente dos antiigos carburadores, visto que possui basicamente a borboleta e o sensor de posição da borboleta, conforme ilustra a figura 9.

Figura 9: Corpo de borboleta.

Fonte:Flygas.info(2017)

Ao iniciar a aceleração, a borboleta se abre, movimentando o sensor da posição que se encontra na lateral do corpo. Ao iniciar o movimento o sensor faz a leitura da inclinação e envia esse dado para o módulo de injeção eletrônica que entende que o motor esta acelerando; assim os bicos injetores enviam mais gasolina para a câmara de combustão e a bobina de ignição adianta seu ponto( a faísca da ignição é adiantada) para a melhor queima e aumento de potência do motor.

Devido a essa maior eficácia, consegue-se obter um menor consumo e melhor rendimento dos motores injetados, considerando a capacidade do corpo apenas controlar a quantidade de ar,não necessitando injetar o combustível nos motores dotados de carburadores.

# 3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

## 3.1 DETERMINAÇÃO DA AMOSTRA

De acordo com a ANAC (2018), contando somente os pilotos com o certificado médico aeronáutico (CMA), e pelo menos uma habilitação válida, e excluindo as duplicidades entre as licenças (ou seja: um piloto de linha aérea (PLA) que também possui as licenças de piloto comercial (PC) e de piloto privado (PP) só será contado uma vez, em sua maior licença), a quantidade de pilotos em atividade no Brasil era de, 27.164 pilotos de avião e 5.120 pilotos de helicóptero (dados de julho de 2018), o que representa um total geral de pilotos de 32.284.

Para determinar o tamanho da amostra considerando um 10% de erro amostral foi utilizada a seguinte equação:

$$n = \frac{n_{0\,.}\, N}{n_0 + N}$$

Onde:

n – tamanho da amostra

$n_o$ – primeira aproximação do tamanho da amostra

N – tamanho da população

$$n_{0=}\ \frac{1}{(E_0\ )^2}$$

$$E_0\ = 10\%$$

Onde:

$E_o$ – erro amostral

O caso da pesquisa seria:

$$n_{0=}\ \frac{1}{(E_0)^2} = \frac{1}{(0{,}1)^2} = \frac{1}{0{,}001} = 100$$

Como o tamanho da população de pilotos de avião e helicóptero no Brasil é de 32.284, o cálculo seria o seguinte:

$$n = \frac{n_o.N}{n_o + N} = \frac{100.32284}{100 + 32.284} = 99{,}69\, pilotos$$

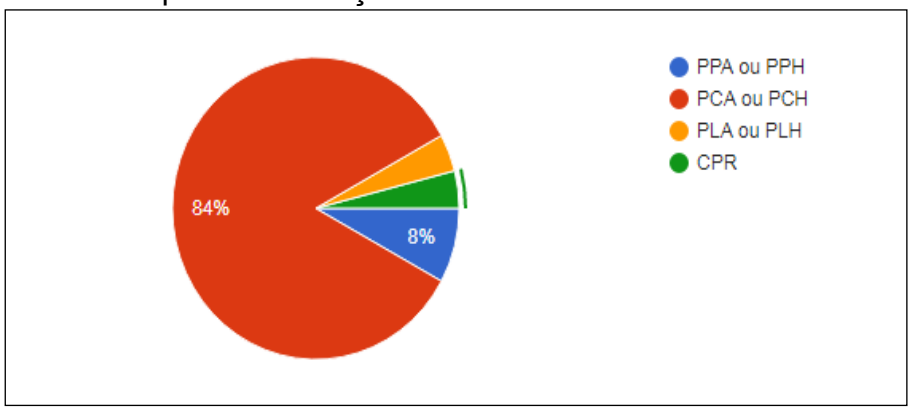
Portanto, a amostra da pesquisa totaliza 122 pilotos de avião e helicóptero.

Com o intuito de verificar a percepção dos pilotos a respeito das novas concepções de motores que existem no mercado, foi formulado um questionário com perguntas a respeito do tema. Ao todo foram realizadas 10 perguntas, as quais englobaram a qualificação e área geográfica de atuação dos profissionais.

## 3.2 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Na primeira pergunta foi questionado qual o tipo de habilitação que os pilotos possuíam e o resultado foi o seguinte:

Gráfico1: Tipo de habilitação.

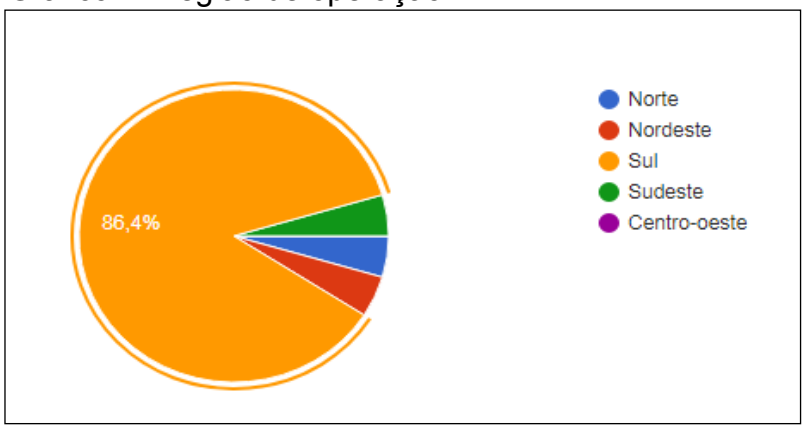



Fonte: Elaboração do autor (2019)

Observou-se que a maioria dos entrevistados possui certificados de habilitação que necessitam de um número maior de horas voadas para obter as respectivas licenças, agregando assim uma melhor qualificação aos respondedores.

Após isso, iniciou-se o questionamento sobre aonde a maiorias dos pilotos entrevistados realiza seus voos, o resultado foi o seguinte:

Gráfico 2: Região de operação.

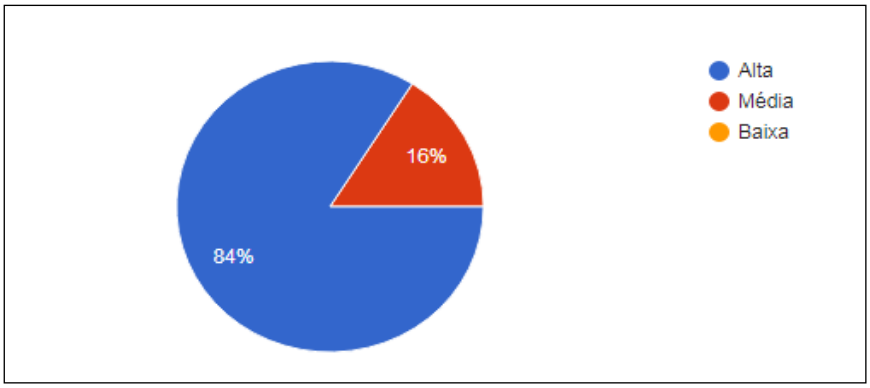



Fonte: Elaboração do autor (2019)

A pesquisa abrangeu algumas regiões do país, e as respostas ratificaram maior concentração de pilotos na região sul. Dessa forma, as respostas trazem indiretamente a opinião dos pilotos a respeito desses motores que operam em uma região de temperaturas mais baixas que propiciam melhores performances nos motores atuais.

Diante do exposto foi realizado o questionamento sobre o nível de confiabilidade dos motores atuais, com as seguintes respostas.

Gráfico 3: Nível de confiabilidade dos motores atuais.

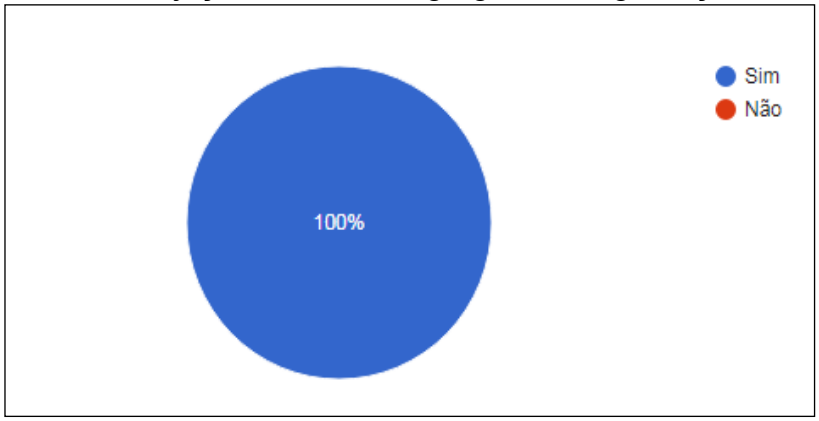



Fonte: Elaboração do autor (2019)

Pode-se observar que antigamente o índice de acidentes ou incidente na aviação era maior devido à falta de tecnologia e mão de obra qualificada neste mercado. Atualmente há opções de tecnologia e matéria prima que interferem diretamente no produto final, refletindo na confiabilidade destes motores.

Na quarta questão, perguntou-se quanto à introdução da injeção eletrônica na atualidade, se ela consegue aumentar o nível de segurança.

Gráfico 4: Injeção eletrônica agregada a segurança de voo.

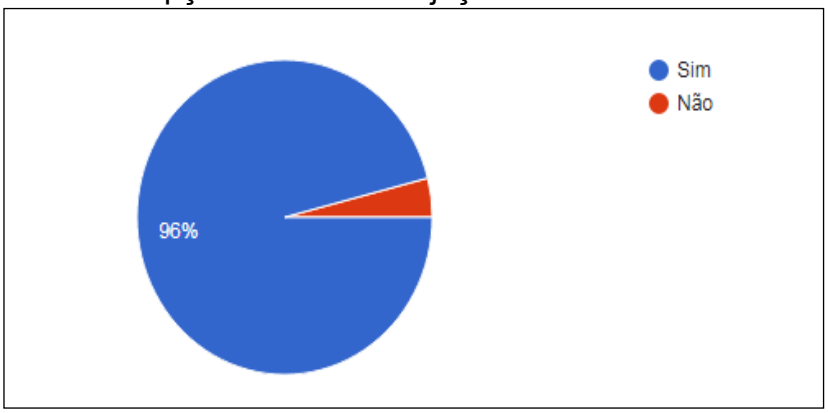



Fonte: Elaboração do autor (2019).

Esse resultado demonstra a confiabilidade que a eletrônica pode agregar para o futuro das aeronaves, sendo interessante observar o nível de confiança dos pilotos para os futuros motores dotados de injeção eletrônica.

Na questão 5 realizou-se o questionamento se os entrevistados optariam pelos motores comandáveis eletronicamente para sua aeronave atual, trazendo o seguinte resultado.

Gráfico 5:Opção de incluir a injeção eletrônica em sua atual aeronave.

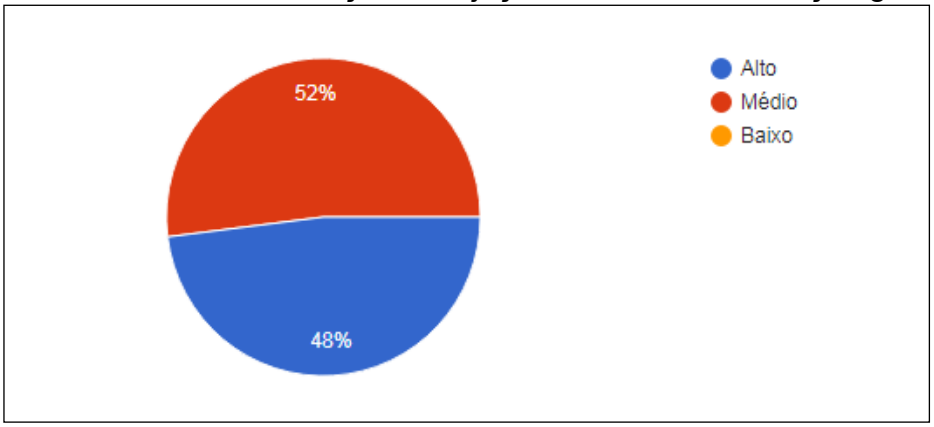



Fonte: Elaboração do autor (2019)

Observa-se desse modo que a maioria já considera a injeção eletrônica como mais segura, tanto que os respondedores se propuseram a incorporar esse componente de comandos em suas aeronaves atuais se assim fosse possível.

Em seguida, foi questionado qual o sentimento de confiabilidade da aviação geral em relação aos novos meios eletrônicos que estão sendo instalados atualmente nas aeronaves, o gráfico mostra uma divisão grande ainda com relação aos usuários atuais.

Gráfico 6: Nível de aceitação da injeção eletrônica na aviação geral.

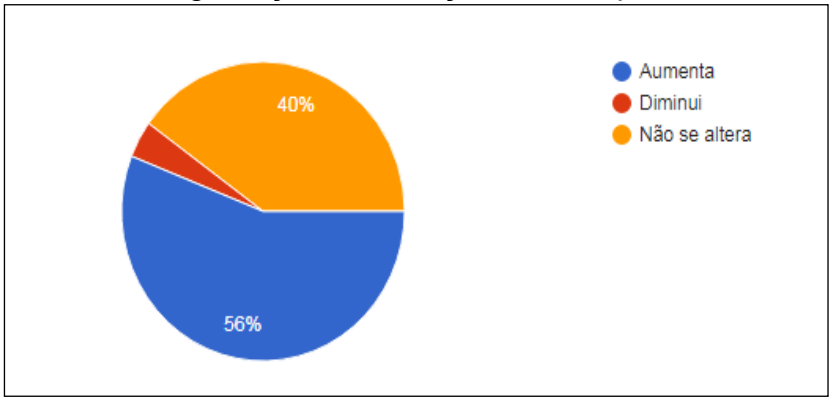



Fonte: Elaboração do autor (2019)

Os resultado exposto no gráfico 6 demonstra certa desconfiança com relação ás novas tecnologias implantadas atualmente, o que leva a crer que possa existir certos receios com relação ao uso da eletrônica sem o desenvolvimento tecnológico completo dos motores na atualidade.

Porém, a maioria dos entrevistados considera que em condições ruins de tempo o motor dotado de novas tecnologias se torna mais seguro nesse tipo de operação.

Gráfico 7: Segurança em condições de tempo ruim com motores injetados

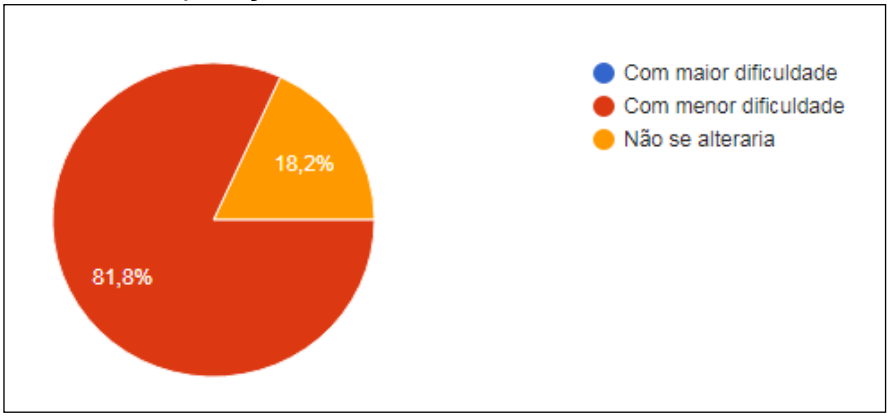



Fonte: Elaboração do autor (2019).

Pode-se observar uma aceitação maior para ocasião de voo aonde possa existir precipitação ou condições desfavoráveis aonde é requerido um grau maior de confiabilidade junto à operação.

O oitavo questionamento foi acerca da operação aérea com motores dotados de injeção eletrônica deixariam a operação de voo.

Gráfico 8: Operação de voo com motores eletronicamente comandáveis




Fonte: Elaboração do autor (2019)

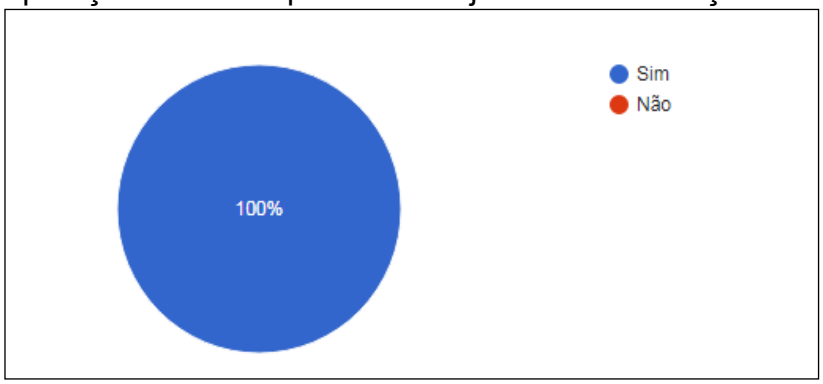
Sendo que 81,8% respondeu que diminuiria a carga de trabalho com motores que utilizem a injeção eletrônica, devido ao sistema conseguir se adequar

automaticamente e também fazer uma leitura geral dos componentes e avisar através do módulo de injeção eletrônica, caso algum sensor não esteja de acordo com os mínimos operacionais ou fora dos parâmetros desejados.

Por meio de uma questão aberta sobre o que melhoraria a confiabilidade dos motores dotados de injeção. Entre as diversas opiniões percebe-se uma maior preocupação com a redundância do sistema para que sempre se consiga obter algo em segundo plano, caso falhe o primeiro, como o sistema de bicos injetores ou bobinas de ignição. E que também seja constituído através de um material bastante resistente a umidade além de possuir um bom peso operacional junto com as baterias.

O gráfico 9 apresenta acerca do desempenho dos motores injetados em relação aos carburados, que apresentou o seguinte resultado.

Gráfico 9: Comparação de desempenho dos injetados com relação aos carburados.




Fonte: Elaboração do autor (2019)

Diante do exposto, pode-se observar uma grande maioria formada como piloto comercial, sendo a região sul a mais atuante para o devido questionário. Foi observado uma grande confiança com relação aos motores atuais e também se pode confirmar que a segurança aumenta de acordo com o nível de tecnologia empregado a bordo da aeronave.

Verificou-se que os respondedores aceitariam a inclusão de novos meios eletrônicos para os motores atuais de suas respectivas aeronaves, porém a aceitação por completa da injeção eletrônica no meio aeronáutico não está completamente aceita. Quando se trata de operação em tempo adverso com uma eletrônica embarcada, observou-se que é muito bem vindo esse tipo de aprimoramento para determinadas condições de voo. Além disso foi considerado a

operação de aeronaves eletronicamente comandáveis, mais simples e rápida em relação as atuais.

Na pergunta teórica foi observado que a grande maioria ainda está em busca de uma maior redundância no sistema por completo, utilizando duas baterias independentes além de mais do que apenas um módulo de injeção eletrônica.

A comparação de desempenho entre motores antigos e os dotados de comandos eletrônicos, foi contundente de que a performance é infinitamente melhor comparada entre ambos, na medida em que se evolui tecnologicamente, em busca de novos componentes mais leves e resistentes que consigam armazenar uma quantidade de dados cada vez maior para se transmitir com maior rapidez as informações transmitidas pelos componentes.

# 4 CONCLUSÃO

Desde os primórdios da aviação buscaram-se novas alternativas para um melhor desempenho e segurança dos motores tradicionais, partindo em busca de metais mais leves e que consigam suportar melhor ao calor. O surgimento da eletrônica veio para facilitar esse processo de busca por um melhor rendimento dos mesmos.

A motorização baseada em componentes tradicionais como magnetos, carburadores, bombas mecânicas de gasolina esta se tornando ultrapassadas devido ao excesso de peso das peças, e também pela demora necessária para que se consiga realizar os ajustes necessários nas vezes em que os mesmos forem retirados para algum tipo de manutenção, como os ajustes de ar nos carburadores para determinadas faixas de rotação e o correto ponto de ignição dos magnetos para o melhor centelhamento das velas. Dessa forma a eletrônica vem sendo implantada devido ao seu fácil manuseio e baixo custo na produção das peças.

Por meio da utilização dos componentes eletrônicos no motor é possível observar que devido a eles, consegue-se obter um melhor rendimento durante a operação de voo. Os sensores realizam uma melhor leitura do que está acontecendo durante a queima do combustível, conseguindo assim regular o ponto de ignição e a quantidade de combustível através desses parâmetros.

Ao ser aplicado um questionário a um grupo de 122 pilotos, observou-se a opinião que reflete especialmente no desenvolvimento da aeronave, a maioria acredita que um motor injetado possui um melhor rendimento em relação a um carburado. Além disso, foi constatado que motores com injeção eletrônica podem diminuir significativamente a carga de trabalho dos pilotos, além da confiabilidade aumentada em condições de tempo ruim. De modo geral a pesquisa mostrou que a evolução dos motores é bem vista devido às melhorias com o custo operacional e também com o desempenho dos motores aeronáuticos.

Como fator limitante ao presente estudo, foi levado em consideração apenas alguns aspectos referentes ao uso de componentes de maior aplicação na produção moderna. Consegue-se verificar que é de grande importância para a aviação geral o uso dessas tecnologias para a redução de custos atrelados a hora de voo. Devem ser pesquisados novos sistemas de injeção eletrônica com a finalidade de melhoria

das condições de segurança e custos, consequentemente as condições de voo da aviação geral do Brasil terão mudanças positivas.

## REFERÊNCIAS

AEROANUNCIOS. **Peças, motores, carburador MA 4SPA**. Disponível em: <https://www.aeroanuncios.com.br/pecas/motores/carburador-marvel-ma-4spa-1067.htm> Acesso em: 22 ago. 2019.

AEROMAGAZINE (2013). **Rotax realiza curso no Brasil.** Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/rotax-realiza-cursos-no-brasil_978.html.> Acesso em: 22 ago. 2019.

AIRCRAFT SPRUCE E SPECIALTY.CO **Tempest Lycoming fuel pumps new.** Disponível em: <https://www.aircraftspruce.com/catalog/eppages/TEMPESTfuelpumpLYC2.php.> Acesso em: 20 ago.2019.

ANAC. **Número de mulheres na aviação cresce nas categorias de piloto**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/noticias/2018/numero-de-mulheres-na-aviacao-cresce-106-nas-categorias-de-piloto> Acesso em: 20 out. 2019.

ANAC. **Dados e estatísticas de aeronaves.** Disponível em: < https://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/aeronaves> Acesso em: 03/11/2019.

CLUBE AERO DESPORTIVO VARGEM-GRANDENSE. **Rotax 912 IS impressões gerais.**[São Paulo]: Disponível em: <http://clubecav.blogspot.com/2012/04/rotax-912-is-impressoes-gerais.html> Acesso em: 04 ago.2019.

DUARTE, V.M. (2015) **Pesquisas: exploratórias, descritiva e explicativa.** Disponível em: <https://monografias.brasilescola.uol.com.br/regras-abnt/pesquisas-exploratoria-descritiva-explicativa.htm.> Acesso em: 21 ago. 2019.

ELECTROAIR. Disponível em: <http://www.electroair.net/> Acesso em: 05 ago. 2019.

FLYGAS. **Inject Rotax**. Disponível em: <http://www.flygas.info/wp-content/uploads/2017/06/inject_rotax_desc.jpg> Acesso em: 05 ago. 2019.

FLYINGMAG. **Eletronic ignition.** Disponível em: <https://www.flyingmag.com/how-it-works-electronic-ignition/> Acesso em: 05 ago. 2019.

IBIS CANARD EXPERIMENTAL HOMEBUILT AIRPLANE. **Leburg electronic ignition system.** Disponível em: <http://ibis.experimentals.de/progress/firewall/engine/leburgignition.html.> Acesso em: 20 ago. 2019.

MACHINE DESIGN. **100 anos dos motores de avião**. Disponível em: <https://www.machinedesign.com/technologies/100-years-aircraft-engineshttp://www.enginehistory.org/engines.shtml> Acesso em: 22 ago. 2019.

MAPERFORMANCE. **Omin Power Mitsubishi MAP.** Disponível em: <https://www.maperformance.com/blogs/tech/omni-power-4-bar-map-sensor-mitsubishi-map-mits-4bar> Acesso em: 22 ago. 2019.

PIFLIGHT. **Funcionamento dos magnetos de um avião.** Disponível em: <https://piflightteoriasdevoo2.blogspot.com/2017/11/funcionamento-dos-magnetos-de-um-aviao.html> Acesso em: 12 ago.2019.

POPES (2019). **Piston engine aircraft technology.** Disponível em: <https://www.flyingmag.com/aircraft/pistons/piston-engine-technology/.> Acesso em: 21 ago. 2019.

ROTAX. **Technical documentation.** Disponível em: <https://www.flyrotax.com/services/technical-documentation.html.> Acesso em: 21 ago. 2019.

UBIRATAN, E. (2015). **Empuxo para os leves.** Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/empuxo-para-os-leves_2240.html>. Acesso em: 05 ago. 2019.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PARA COLETA DE DADOS

O presente questionário foi utilizado para coletar dados para a realização do trabalho de conclusão de curso de Ciências Aeronáuticas.

1Qual licença você possui?
A PPA ou PPH
B PCA ou PCH
C PLA ou PLH
D Mecânico de aeronaves
E Outros

2 Quais as regiões que você costuma operar?
A Norte
B Nordeste
C Sul
D Sudeste
E Centro-oeste

3 Em sua opinião qual o nível de confiabilidade dos motores utilizados atualmente?
A Alta
B Média
C Baixa

4 A introdução da eletrônica nos motores aeronáuticos pode aumentar a segurança dos voos?
A Sim
B Não

5 Você optaria pelo uso de motores comandáveis eletronicamente para sua aeronave?
A Sim
B Não

6 Qual o sentimento de confiabilidade da aviação geral em relação aos novos meios eletrônicos que estão sendo colocados?
A Alto
B Médio
C Baixo

7 Em condições de tempo deteriorado, a confiabilidade dos motores eletronicamente comandáveis:
A Aumenta
B Diminui

C Não se altera

8 Em sua opinião o uso de motores dotados de injeção eletrônica deixaria a operação de voo:
A Com maior dificuldade
B Com menor dificuldade
C Não se alteraria

9) Qual requisito em sua opinião melhoraria a confiabilidade dos motores com injeção eletrônica?

10 Em sua opinião o desempenho de um motor injetado seria maior em relação aos motores carburados?
A Sim
B Não