

# ESTUDO DE UM MODELO TECNOLÓGICO INOVADOR PARA MOTORES A JATO COM FOCO NA REDUÇÃO SIGNIFICATIVA DA EMISSÃO DE POLUENTES

## A STUDY OF TECHNOLOGICAL INNOVATION MODEL FOR JET ENGINES WITH FOCUS ON SIGNIFICANT REDUCTION IN EMISSION OF POLLUENTS

Raphael Fernandes Martins<sup>1</sup>, Álvaro André Colombero Prado<sup>2</sup>, Marcelo Nogueira<sup>3</sup>

**Abstract** — Thousands of tons of toxic gases and soot are dispersed into the atmosphere every year, causing environmental impacts and health problems of the population. Ways to combat such problems has been studied for long in prioritizing technological innovations for cars; however, little has been done to aircraft. This presents a theoretical adaptation of Kepp induction motor, known as Keppemotor technology to employ it in the propellant turbine system in order to generate hydrogen and it contributes combustion, giving smallest possible burning of any hydrocarbon, without loss of system power. The work was based on designs developed by several researchers. Because of the low financial resource, it is being developed a prototype to have just the idea and an example of operation. The benefits of technological innovation that gives this work are many, namely: reduction of respiratory problems caused by pollution, prevention of acid rain and reducing greenhouse gases.

**Index Terms** —turbines, Keppemotor, innovation, economy, efficiency, technology..

**Resumo** – Milhares de toneladas de gases tóxicos e fuligens são dispersos na atmosfera todo ano, causando impactos ambientais e problemas de saúde da população. Há muito tempo tem-se estudado meios de combater tais problemas priorizando em inovações tecnológicas para automóveis, porém, pouco se tem feito para veículos aéreos.

Este trabalho apresenta uma adaptação teórica do motor de indução keppe, conhecido como tecnologia Keppemotor, para empregá-lo no sistema propulsor da turbina, de modo que gere hidrogênio e o mesmo contribua na combustão, proporcionando menor queima possível de qualquer hidrocarboneto, sem que haja perda de potência do sistema. O trabalho foi baseado em projetos desenvolvidos por diversos pesquisadores. Por conta do baixo recurso financeiro, está sendo desenvolvido um protótipo para se ter a apenas a ideia e um exemplo de funcionamento.

Os benefícios da inovação tecnológica que este trabalho proporciona são muitos, sendo eles: redução de problemas

respiratórios causados pela poluição, prevenção de chuvas ácidas e redução do efeito estufa.

**Palavras chave** — turbinas, keppemotor, inovação, economia, eficiência, tecnologia.

### INTRODUÇÃO

Os pesquisadores Hans Von Ohain e Frank Whittle são os co-inventores do motor a jato. Ironicamente, as pesquisas foram conduzidas separadamente sem que um soubesse do estudo do outro. Cada um construiu seu próprio avião a jato, provando a eficácia dessa tecnologia ao mundo. As turbinas fazem parte da aviação desde 1930, onde a Inglaterra e Alemanha já tentavam desenvolver seu próprio modelo visando vantagens na guerra. Na manhã de 27 de agosto de 1939, o piloto Erich Warsitz levantou voo com o He 178, a primeira aeronave a jato do mundo.

Durante muitos anos, a eficiência das turbinas tem melhorado muito, porém, o princípio de funcionamento continua o mesmo, seguindo os mesmos estágios de admissão de ar, compressão e combustão. É notável os avanços tecnológicos alcançados para obter mais eficiência na propulsão, desde as pás, que foram aprimoradas para aumentar a sucção de ar, até a saída, inclusive o controle eletrônico de todo o sistema.

As turbinas de última geração não só aumentaram a capacidade de empuxo, como também trouxeram redução de ruído, porém atingiu-se o limite tecnológico no quesito de economia de combustível, obrigando pesquisadores a desenvolverem novos estudos de modo a inovar a atual tecnologia, focando na redução do peso das aeronaves através da massa do combustível e a utilização de outros elementos que possam auxiliar na combustão (biocombustíveis), para que haja economia sem a perda da eficiência.

Portanto, é de extrema necessidade procurar soluções a longo prazo para tais problemas, proporcionando vantagens não somente na aviação em si, mas também à saúde das pessoas e ao meio

<sup>1</sup> Raphael Fernandes Martins, Software Engineering Research Group, Paulista University, UNIP, Campus Tatuapé, São Paulo, SP, Brazil

<sup>2</sup> Álvaro André Colombero Prado, Software Engineering Research Group, Paulista University, UNIP, Campus Tatuapé, São Paulo, SP, Brazil

<sup>3</sup> Marcelo Nogueira, Software Engineering Research Group, Paulista University, UNIP, Campus Tatuapé, São Paulo, SP, Brazil, [marcelo@noginfo.com](mailto:marcelo@noginfo.com)

ambiente, pela redução de poluentes emitidos pelas aeronaves.

## CONTEXTUALIZAÇÃO

As emissões de poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis pelas aeronaves têm aumentado gradativamente nos últimos anos. Tal fato tem provocado o aumento do efeito estufa e problemas respiratórios na população, principalmente as que vivem próximas dos aeroportos.

Embora haja esforços em reduzir a queima dos combustíveis, pouco se tem melhorado no quesito de emissão, pois, paralelamente a isso, a quantidade de voos tem aumentado, levando, conseqüentemente, a produção de mais aeronaves. A Figura 1 mostra a quantidade de monóxido de carbono (CO) emitida em alguns dos principais aeródromos no Brasil no decorrer dos anos.

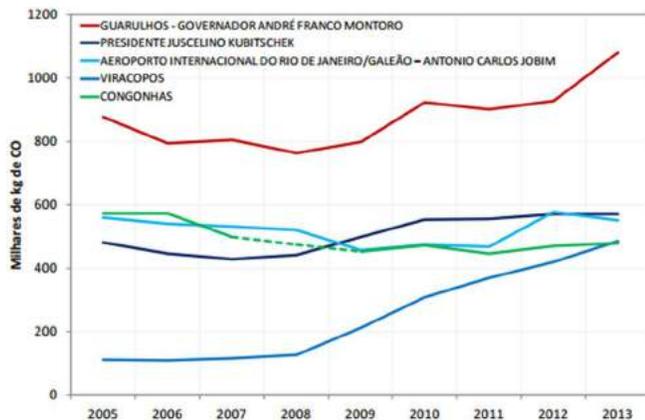


FIGURA 1: EMISSÕES DE CO EM AERÓDROMOS SELECIONADOS [1]

As emissões de CO atingiram, em 2013, o maior nível em comparação aos anos anteriores, provando que todos os esforços não estão sendo suficiente para a redução. Seguindo a análise do monóxido de carbono, dos 6,6 milhões de kg emitidos, 83% são provenientes de movimentações domésticas, contra 17% gerados por movimentações internacionais [1]. A Figura 2 apresenta uma visão geral da quantidade de CO emitido em comparação aos tipos de movimentações.

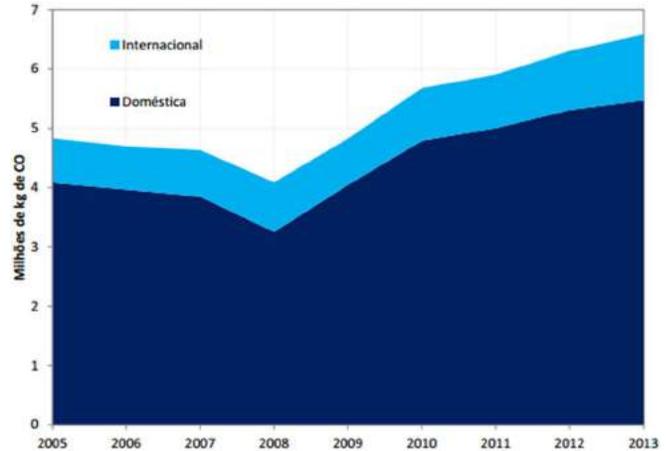


FIGURA 2: EMISSÕES DE CO POR TIPO DE MOVIMENTAÇÃO [1]

Nota-se uma tendência no aumento do consumo de combustíveis, tanto para o querosene de aviação (QAv) como para o biodiesel.

Um exemplo disso pode ser visto no gráfico da Figura 3, no qual mostra a comparação do consumo de querosene com o reportado pelo Balanço Energético Nacional (BEN) no ano de 2013.

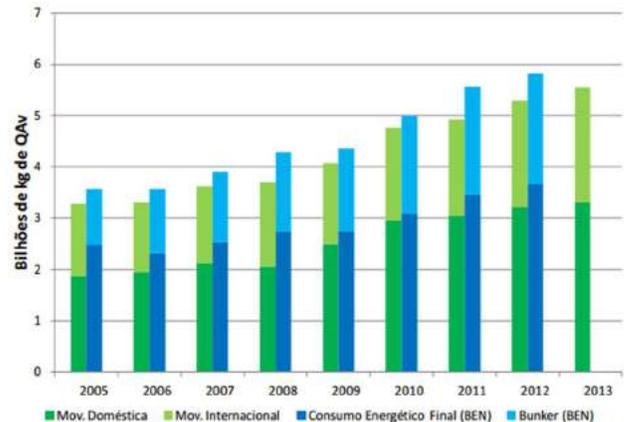


FIGURA 3: COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE QUEROSENE DE AVIÃO COM O REPORTADO PELO BEN [1].

Uma possível solução para tal problema é reduzir a emissão desses poluentes de modo significativo. Para isso, foi utilizado, como referencia, trabalhos de pesquisadores como[2], cujos estudos foram focados, principalmente, na combustão interna de turbinas, utilizando hidrogênio como combustível auxiliar, onde demonstraram que a injeção desse gás na combustão, introduzida em doses crescentes junto ao fluxo de ar, proporcionou economia e eficiência ao sistema, creditando confiança na elaboração deste trabalho.

### Motivação

Os problemas citados ainda são vistos e debatidos em fóruns do mundo todo com o objetivo de encontrar a melhor solução que satisfaça a demanda da aviação e, ao mesmo

tempo, que contribua com a baixa emissão de poluentes, mas pouco se tem desenvolvido no quesito tecnológico da área.

Com essa visão, deu-se início neste projeto, servindo como principal motivo para provar que as emissões de poluentes ainda podem ser reduzidas de modo significativo utilizando técnicas e teorias já conhecidas e conhecimentos adquiridos em estudos elaborados por cientistas do mundo todo.

### Justificativa

Focando na redução do efeito estufa e dos problemas respiratórios por ela criados, não há outra forma de solucionar tal problema a não ser inovar a tecnologia existente com métodos diferenciados dos já trabalhados por pesquisadores de todo o mundo.

Este trabalho apresenta o estudo da recente inovação tecnológica *KeppMotor*, no quesito de sustentabilidade, para a inserção na área de propulsores, provando que novas turbinas a jato podem ser mais econômicas sem perder a eficiência, incluindo o hidrogênio como um dos combustíveis utilizados na combustão, permitindo a redução drástica na emissão de poluentes, para mais de 70% dos já conseguidos.

A técnica proposta deste trabalho não é complexa e baseia-se em uma tecnologia brasileira na área de motores de indução (*motor keppe*), provando que diferentes campos de estudo podem ser mesclados quando visa-se, principalmente, a demanda mundial para a redução da emissão de poluentes.

### Objetivos

De modo geral, o objetivo é propor um modelo inovador teórico e prático para a tecnologia aeroespacial, de modo a obter uma redução significativa de poluentes emitidos na atmosfera, consequente da combustão interna dos motores. Visa-se inovar a tecnologia aeroespacial, apresentando uma junção tecnológica utilizada no novo motor de indução chamado de *motor Kepp* para o setor aeroespacial. Outro foco é o de motivar as empresas a produzirem motores a jato mais econômicos e eficientes, mostrando que há possibilidades de realizar tal feito e que, dependendo dos investimentos, as empresas poderão alcançar até 75% de economia no consumo de combustíveis.

Para tal objetivo, algumas etapas estão sendo seguidas, são elas:

- Pesquisa bibliográfica.
- Formular um modelo do protótipo que adequa aos requisitos (combustão, dimensionamento, materiais, etc).
- Realizar os testes.
- Coletar os resultados obtidos e colocá-los em escala real para comparação e análise da economia e eficiência obtida.

### Materiais e Metodologias

A princípio, estão sendo utilizados materiais de fácil obtenção. Para alcançar os objetivos descritos anteriormente,

é necessário que haja retroalimentação, ou melhor, um sistema que forneça dados exatos de quanto está sendo consumido e a quantidade de hidrogênio que está sendo produzida simultaneamente, para isso, um sistema eletrônico está servindo como unidade processadora para manter a interface e o controle externo.

O projeto está dividido em quatro partes principais: a de aperfeiçoamento do motor *KeppMotor*, preparando-o para a união com a turbina, o desenvolvimento motor a jato propriamente dito, a união das duas partes e, por último, o controle microcontrolado. Alguns desses elementos estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1

LISTA DE MATERIAIS ESPECÍFICOS

Material	Principal Aplicação
Rolamentos	Turbina e Motor Motor
Bobinas de cobre	Motor Kepp
Arduíno	Motor Kepp
Sensores de temperatura	Turbina e Motor Kepp
Imãs	Motor Kepp

A programação está sendo desenvolvida em linguagem C no software Matlab para, posteriormente, ser gravada no Arduíno. Visou-se a utilização do sensor LM35 em função da precisão, alta resistência térmica, em torno de -50 a 150°C, e pela facilidade na manutenção.

A utilização dos rolamentos no protótipo é necessária pelo fato da ligação direta da turbina com o motor keppe em um único eixo, assim, não pode haver pontos de resistências, pois levará a redução da propulsão ao mesmo tempo em que reduz a produção de hidrogênio, obrigando o sistema a inserir mais querosene (hidrocarbonetos) na combustão para manter a potência, levando ao aumento na emissão de poluente, portanto, seu uso é importante para o equilíbrio de todo o sistema mecânico e elétrico.

As bobinas de cobre e os imãs serão montados para a formação do motor Kepp, porém com as devidas alterações para a união com a turbina a jato. O motor Kepp será o elemento primário do sistema propulsor, ou seja, de todo o processo desde a entrada de ar até a saída, ele estará na entrada, fornecendo aumento do fluxo de ar e, simultaneamente, gerando energia elétrica.

## DESENVOLVIMENTO

O modelo (circuito) proposto pode ser aplicada em qualquer turbina, não cabe, necessariamente, mencionar um motor específico, assim, diz-se “turbina” ou “motor a jato”, referindo a quaisquer modelos que se queira aplicar.

### Motor a jato

Conforme descrito por BRUNETTI (2012), o propulsor a jato é um motor rotativo de combustão interna e sua

configuração é obtida, basicamente, pelo agrupamento de três subsistemas:

- Um compressor que comprime o ar na câmara de combustão.
- A câmara propriamente dita onde a queima ocorre com o oxigênio do ar.
- Uma turbina que gira acionada pelos gases resultantes da combustão.

A diferença entre o trabalho realizado pela turbina e do compressor é a energia útil do sistema. A Figura 4 mostra este esquema.

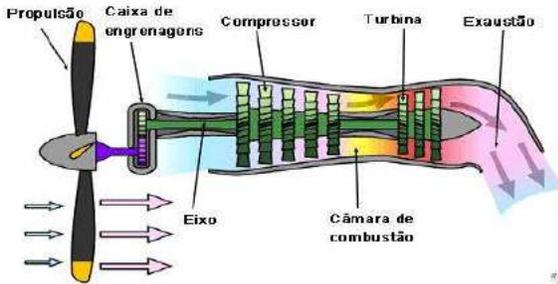


FIGURA 4: TURBO-HÉLICE [3].

### Motor Keppe

O princípio de funcionamento do motor Keppe é utilizar a corrente ressonante provinda da energia escalar (universal), ou seja, ela aproveita a “sobra” de energia e a utiliza para alguma função específica.

Conforme descrito por KEPPE (2009), a energia não é provinda da matéria, mas de outra fonte de energia, portanto utiliza-se a matéria apenas para excitá-la. Dessa maneira, o campo magnético do ímã, que nada mais é que do que a energia captada do espaço e transformada para essa forma, excita os elétrons da bobina e, conseqüentemente, induz corrente. Ou seja, nota-se que o ímã (matéria) não produz energia nenhuma (tanto campo magnético ou elétrico), apenas o capta do espaço e retransmite ao sistema, servindo como manipulador para que mais energia seja transformada.

Atualmente, muitos motores de indução não aproveitam essa energia extra, conseqüente da própria corrente em uso, havendo uma deficiência de rendimento energético final.

A partir da teoria de Norberto Keppe, os cientistas brasileiros Cesar Soós e Alexandre Frascari desenvolveram um motor que aproveitasse essa sobra de energia para a realização de outros trabalhos e o batizaram de KeppeMotor, em homenagem ao próprio pesquisador.

E é com base na utilização dessa tecnologia que este trabalho visa atingir o objetivo da redução da emissão de poluentes causados pelos propulsores das aeronaves.

De modo geral, pode-se imaginar a base de funcionamento como sendo um ímã que rotaciona no interior de uma bobina. Embora esteja em desenvolvimento, não é possível exibir todos os dados definidos. Ela está sendo adaptada para uma aplicação incomum, na qual se exige um

pouco mais de testes. A Figura 5 mostra o princípio básico de funcionamento.

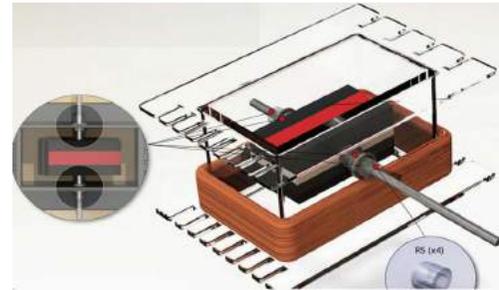


FIGURA 5: MOTOR KEPPE [4].

### Câmara de combustão

A câmara de combustão tem a finalidade principal de elevar a temperatura do ar proveniente do compressor através da queima adequada de um combustível, de modo que, em seguida, os gases quentes sejam expandidos e acelerados na turbina. Porém, isso deve ser alcançado com a mínima perda de pressão e máxima eficiência possível.

Utilizando o mesmo eixo de rotação da turbina, deve-se alocar no setor primário (sucção) o motor keppe de modo a trabalhar em conjunto com a turbina e gerador simultaneamente. O ganho de energia elétrica será direcionado ao reservatório de água devidamente tratada para que ocorra o processo de eletrólise, liberando moléculas de hidrogênio e oxigênio. O gás hidrogênio será redirecionado à câmara de combustão, enriquecendo a mistura estequiométrica, visto que possui poder calorífico muito alto, em torno de 28.700 Kcal/kg.

A princípio, não foram expostos todos os cálculos termodinâmicos e os tipos de câmaras de combustão. Para se ter uma ideia dos processos, pode-se empregar o ciclo de Brayton para aproximação dos processos térmicos, visto que sua teoria descreve as variações da temperatura e pressão dos gases sem considerar as perdas e as irreversibilidades existentes no processo real.

Conforme ilustrado na Figura 6, o ciclo Brayton ideal pode ser representado por quatro etapas:

- (1→2): compressão isentrópica junto com aumento de temperatura;
- (2→3): queima da mistura ar/combustível a pressão constante;
- (3→4): gases a alta pressão e temperatura se expandem isentropicamente ao passar pela turbina.

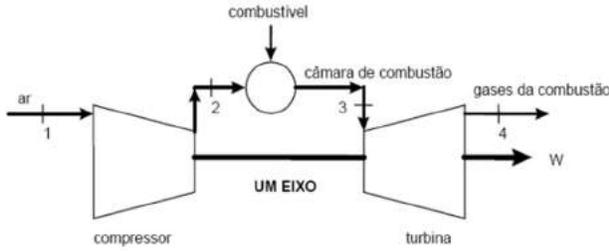


FIGURA 6: TURBINA A GÁS DE UM EIXO (LORA E NASCIMENTO, 2004).

### Difusor

Segundo LEFEBVRE (1998), o difusor, na sua forma mais simples, representa uma passagem divergente na qual o fluido (ar) é desacelerado e a redução da sua velocidade convertida em um aumento da pressão estática do fluido.

Por conta da alta velocidade do ar na câmara, há necessidade de reduzi-la na saída do compressor para um valor onde as perdas de pressão na câmara sejam baixas, para que ocorra uma queima estável, conforme ilustrado na Figura 7.

Alguns parâmetros a serem definidos baseiam-se na equação da energia (Equação 1) e da continuidade (Equação 2) entre a entrada e a saída do difusor.

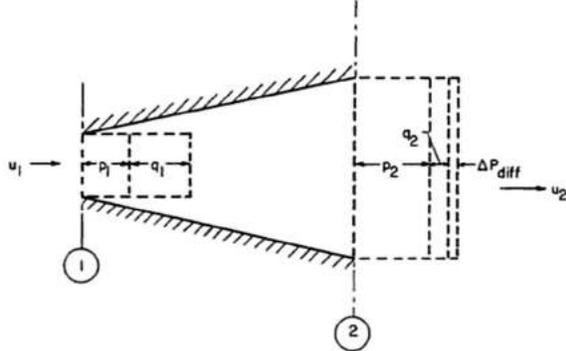


FIGURA 7: CONVERSÃO DE ENERGIA NO DIFUSO [5].

Sabe-se que a pressão dinâmica é

$$q = \rho u^2/2 \quad (1)$$

E a perda de pressão no difusor:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (2)$$

Onde  $\Delta P$  inclui ambas as perdas internas de energia e o efeito da redistribuição das velocidades de entrada e saída.

Para um fluido incompressível, a vazão mássica relativa é:

$$\dot{m} = \rho \bar{v}_1 A_1 = \rho \bar{v}_2 A_2 \quad (3)$$

Logo:

$$AR = A_2 / A_1 = \bar{v}_1 / \bar{v}_2 \quad (4)$$

Da equação de Bernoulli:

$$P_1 + q_1 = P_2 + q_2 + \Delta P \quad (5)$$

Portanto, das equações (4) e (5), conclui-se que a diferença da pressão estática no difusor para uma melhor combustão é regida pela equação:

$$P_2 - P_1 = [1 - 1/AR^2] - \text{perdas} \quad (6)$$

Conforme a simulação computacional realizada por DIAS (2011), concluiu-se que as baixas velocidades dos fluidos na região de chama são imprescindíveis para a estabilização da chama, além de distribuir adequadamente a temperatura no interior da câmara. Portanto, a equação (6) é de extrema importância no quesito de eficiência e controle interno para todo o sistema propulsor.

### Esquema teórico do sistema propulsor

A Figura 8 ilustra o posicionamento do reservatório (água/hidrogênio) na câmara de combustão para se ter a ideia da ordem dos processos. Nenhuma posição ou tamanho está definido.

Foi escolhido o drone MQ-1 aleatoriamente para mostrar que a teoria de funcionamento deste trabalho funciona para qualquer modelo de aeronave que se deseja desenvolver.

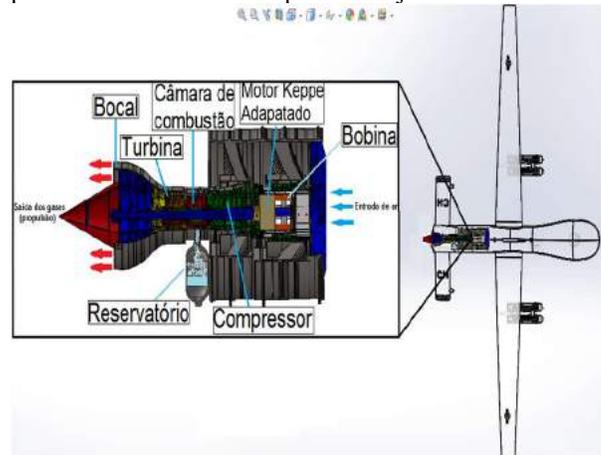


FIGURA 8: ADAPTAÇÃO DO MOTOR KEPPE NA TURBINA.

## RESULTADOS PRELIMINARES

Nota-se que a inclusão da tecnologia KeppeMotor em turbinas aeronáuticas é um dos meios mais simples e eficazes para se obter a redução da emissão de poluentes, pois utiliza técnicas e fórmulas já conhecidas dos propulsores a jato e os mescla à tecnologia do motor-gerador baseada na teoria das energias de Norberto Keppe [6].

Apesar da estrutura do protótipo não estar definida, prevê-se poucos resultados negativos para os testes de forma a adiantar possíveis soluções, alguns deles são:

- O propulsor não gera hidrogênio suficiente: Neste caso, é necessário redimensionar o motor keppe e analisar as propriedades químicas da água;
- Há perdas térmicas excessivas na combustão: Um estudo deve ser iniciado para se realizar o reaproveitamento dessa energia ou ampliação do isolamento com cálculos termodinâmicos;

Os benefícios que este trabalho apresenta visa suprir a demanda mundial na redução da emissão de gases tóxicos. Ao ser concluído, o trabalho irá colaborar na redução significativa dos problemas respiratórios da população, principalmente aquela que reside próxima dos aeroportos, Dentre tantos benefícios, inclui-se também a redução da dependência de combustíveis fósseis com a inclusão do hidrogênio, provando que é possível aplicar tal estudo na aeronáutica, não apenas em veículos terrestres.

Espera-se que a ambição deste projeto sirva de exemplo para ampliação da criatividade dos cientistas e que proporcione esperança e benefícios nunca antes atingidos pela aeronáutica em termos de eficiência e economia, beneficiando não somente as empresas, mas o meio ambiente e a população mundial.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANAC, “INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DA AVIAÇÃO CIVIL,” 2014.
- [2] G. S. P. B. R. B. Madhujit Deb, “An experimental study on combustion performance and emission analysis of a single cylinder, 4-stroke DI-diesel engine using hydrogen in dual fuel mode of operation,” *International journal of hydrogen energy*, 23 Abril 2015.
- [3] F. Brunetti, Motores de combustão interna., vol. I, São Paulo: Edgar Blucher, 2002.
- [4] “KEPPEMOTOR,” 2015. [Online]. Available: <http://www.keppemotor.com/>. [Acesso em 23 Agosto 2015].
- [5] A. H. Lefebvre, Gas Turbine Combustion, 2ª ed., Philadelphia, 1998.
- [6] N. R. Keppe, A Nova Física da Metafísica Desinvertida, 2ª ed., São Paulo: Proton, 2009.
- [7] F. L. G. Dias, “Projeto Preliminar e Simulação Computacional de Câmara de Combustão de Turbina a Gás Considerando a Queima de Biocombustíveis,” Agosto 2011.
- [8] A. H. Lefebvre, Gas Turbine Propulsion, T. & Francis, Ed., Whashington, DC, 1983.