



CONVERSÃO DAS AERONAVES T-25 UNIVERSAL DA AFA PARA O USO DO ETANOL: Ênfase na viabilidade operacional, econômica e sustentável

David Roberto de Oliveira Silva^{1*}, Thiago Vinicius da Silva Faria², Helder Fernando França Mendes³, Letícia Nogueira Melo Theodoro⁴

1 – Base Aérea de Brasília (ALA 1), Brasília - DF, Brasil

2 – Base Aérea do Galeão (ALA 11), Rio de Janeiro - RJ, Brasil

3 – Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), São José dos Campos - SP, Brasil

4 – Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR), Lagoa Santa - MG, Brasil

*Autor de contato: oliveiradros@fab.mil.br

Para citar este artigo:

SILVA, D.R.O.S.; FARIA, T.V.S.; MENDES, H.F.F.; THEODORO, L.N.M. Conversão das aeronaves T-25 Universal da AFA para o uso do etanol: Ênfase na viabilidade operacional, econômica e sustentável. **Revista do CIAAR**, Lagoa Santa, v. 1, n. 1, p. 5-22, out. 2020.

RESUMO

O mundo tem passado por grandes transformações populacionais e ambientais que geram mudanças e necessidade de adaptação por parte das indústrias. O desafio de se adequar a crescente massa populacional aos modais de transportes convencionais tem levado as autoridades do ramo energético, assim como diversos setores da economia, a trilharem em conjunto na busca de soluções eficazes para preservação e melhoria das condições de vida no planeta Terra. Assim, a Organização das Nações Unidas - ONU e a Organização da Aviação Civil Internacional - OACI, por meio de seus países signatários, têm trabalhado, a fim de direcionar o desenvolvimento do setor aeronáutico mundial rumo ao crescimento sustentável. Este direcionamento está apoiado na redução da emissão de poluentes oriundos da queima de combustíveis fósseis na atmosfera. A partir desse entendimento, este estudo busca investigar a viabilidade operacional, econômica e sustentável da conversão dos motores das aeronaves T-25 Universal da Academia da Força Aérea - AFA, que operam com gasolina de aviação, para o uso do etanol hidratado. O objetivo aqui estabelecido é verificar se os aspectos operacionais e econômicos dessa mudança podem ser conciliados com a preservação do meio ambiente e os interesses estratégicos de uma Força Aérea Brasileira moderna e pujante.

Palavras-chave: T-25. Conversão de motores. Gasolina de aviação. Etanol hidratado. Força Aérea Brasileira.

ABSTRACT

The world has been through major population and environmental changes, which causes the need for adaptation by industries. The challenge of adapting the growing population mass to the conventional transport modes has led the authorities in the energy field, as well as various sectors of the economy, to work together in the search for effective solutions to preserve and improve living conditions on planet Earth. Thus, the United Nations - UN and the International Civil Aviation Organization - ICAO, through its signatory countries, have been working in order to direct the development of the global aeronautical

sector towards sustainable growth. Therefore, this direction is supported in reducing the emission of pollutants resulting from the burning of fossil fuels in the atmosphere. Based on this understanding, this study seeks to investigate the operational, economic and sustainable feasibility of converting the T-25 Universal aircraft engines of the Air Force Academy - AFA, which operate with aviation gasoline, to the use of hydrous ethanol. The objective established here is to verify whether the operational and economic aspects of this change can be reconciled with the preservation of the environment and the strategic interests of a modern and vigorous Brazilian Air Force.

Keywords: T-25. Engine conversion. Aviation gasoline. Hydrous ethanol. Brazilian Air Force.

1. INTRODUÇÃO

A crise mundial do petróleo em 1973, provocada pelo embargo dos países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) em protesto ao apoio dado pelos Estados Unidos da América e Europa Ocidental a Israel na guerra de Yom Kippur, contribuiu para que o preço do barril do petróleo subisse, em média, 400%. O preço, à época, era de \$3.00 e subiu para \$12.00. Esse aumento do valor afetou a economia mundial e, em especial, a brasileira, pois o país dependia da importação do petróleo. Após essa crise, o estado brasileiro, para se prevenir de uma possível falta do petróleo, começou a investir em biocombustíveis, fontes de energias renováveis, produzidas a partir da cana de açúcar, biomassa florestal e resíduos agropecuários (LEITE; CORTEZ, 2008).

Em 1975, para amenizar os impactos da primeira crise, foi criado pelo Governo Federal o Programa Nacional do Álcool ou Pro-Álcool, com o objetivo de mitigar a importação do petróleo e incentivar a produção do álcool em substituição à gasolina pura. O álcool combustível ou etanol é um biocombustível de origem vegetal, produzido a partir da cana de açúcar, fonte renovável de energia (bioenergia). Seu custo de produção era mais barato que o da gasolina (COSTA, 2011).

Dentre as várias opções de biocombustíveis disponíveis no mercado, as características consideradas na escolha do álcool produzido a partir de cana de açúcar são sua natureza biológica renovável, com menores taxas de emissões nocivas ao meio ambiente, e o grande potencial agrícola brasileiro (COSTA, 2011).

Atualmente o Brasil enfrenta outra crise de combustível, porém desta vez interna, referente ao ramo da aviação geral. Em 2018, das nove refinarias nacionais que processam combustível de aviação, a única que processava gasolina de aviação, em Cubatão-SP, paralisou suas atividades, deixando o setor à mercê da importação do produto europeu. Desde então, a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) importa o combustível, mas não a quantidade necessária para atender as mais de 11.000 aeronaves do país que dependem do insumo, inclusive as de uso militar.

A fim de se resguardar dos impactos resultantes das crises passadas, presentes e futuras, no âmbito da Força Aérea Brasileira, este trabalho sugere investigar a viabilidade do emprego exclusivo do etanol como combustível na frota de aeronaves T-25 da Academia da Força Aérea (AFA). Segundo estudos, o etanol tem se mostrado muito vantajoso sobre vários aspectos que serão abordados na presente

investigação (MALUF, 1987; RODRIGUES, 2009).

Além disso, sua composição elimina a emissão de enxofre e reduz a quantidade de material particulado a valores insignificantes. Como fator positivo da substituição da gasolina de aviação, evidenciamos a acentuada redução na emissão de monóxido de carbono (co) e hidrocarbonetos (hc), com aumento de dióxido de carbono (co₂), que, por se tratar de uma taxa de carbono neutra ou negativa, não acarreta danos para o efeito estufa (SOMAVILA; GOMES NETO, 2003).

Há que se deixar claro que o motor *flex* aeronáutico, motor biocombustível que aceita qualquer mistura de gasolina de aviação e álcool, ainda está em estudo. Isso impossibilita que ambos os combustíveis sejam concomitantemente empregados na operação das aeronaves equipadas com motores a combustão interna.

A Academia da Força Aérea é uma unidade escola do Comando da Aeronáutica (COMAER), onde é conduzida a formação básica dos pilotos militares da Força Aérea Brasileira. A primeira fase da instrução é feita na aeronave designada T-25 Universal (N621-600-C1) de treinamento versátil. Fabricada pela Sociedade Construtora Aeronáutica Neiva Ltda, é do tipo terrestre, com acomodações para duas pessoas lado a lado, monomotor, monoplane, de asa baixa, com estrutura e revestimento inteiramente metálicos, um completo equipamento eletrônico para comunicação e navegação; painel duplo de instrumento. Os comandos são duplos, para uso do instrutor e/ou aluno. O grupo motopropulsor é

composto por um motor “Lycoming” modelo IO-540-K1D5, com potência de 300 HP (2700rpm) em condições ao nível do mar, usando gasolina de aviação com grau de octanagem de 100/130; é de injeção direta, seis cilindros horizontais opostos. O Universal destaca-se particularmente pelas suas excepcionais qualidades de voo, maneabilidade e pelo ótimo desempenho que desenvolve (AEROMOT, 2015).

Atualmente todos os motores IO-540-K1D5 da AFA operam a gasolina de aviação. Tendo em vista o custo reduzido na operação de aeronaves equipadas com motores convertidos para o uso de etanol hidratado (álcool automotivo) e sua disponibilidade no mercado interno, a proposta deste trabalho é investigar, do ponto de vista operacional, econômico e sustentável, a viabilidade da conversão das aeronaves T-25 Universal da AFA para operação à base de etanol. Como forma de fundamentar a presente pesquisa, buscou-se embasamento nos estudos de autores e pesquisadores que se dedicaram à idealização, desenvolvimento, popularização e inovação do uso do etanol como combustível de fonte renovável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico do etanol no Brasil

Avaliar o processo histórico ajuda a entender a trajetória do etanol no Brasil e como se iniciou a sua utilização na indústria automobilística. Com relação a essa abordagem, Leite e Cortez (2008, p.61) descrevem parte da história do etanol da seguinte forma:

O etanol produzido de cana de açúcar surgiu, no Brasil, basicamente por duas razões: a necessidade de amenizar as sucessivas crises

do setor açucareiro e a tentativa de reduzir a dependência do petróleo importado. Nesse sentido, no início do século XX, ocorreram as primeiras ações de introdução do etanol na matriz energética brasileira. Em 1925, surgiu a primeira experiência brasileira com etanol combustível. Em 1933, o governo de Getúlio Vargas criou o Instituto do Açúcar e do Alcool – IAA e, pela Lei nº 737, tornou obrigatória a mistura de etanol na gasolina. Em 1975, foi lançado o Programa Nacional do Alcool (Pro-Alcool), cujo objetivo maior era a redução da dependência nacional em relação ao petróleo importado. Naquele momento, o Brasil importava, aproximadamente, 80% do petróleo consumido, o que correspondia a cerca de 50% da balança comercial. Àquela época, ainda não havia a percepção da influência da emissão de CO₂ durante a queima de combustíveis fósseis no bem-estar da humanidade. Embora cientistas já viessem alertando o público e os governos quanto às consequências do aumento da densidade de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, nenhum país adotou qualquer medida restritiva. Apesar dos aumentos sucessivos do preço internacional do petróleo, o etanol não era economicamente competitivo, exigindo subsídios para sua penetração no mercado nacional. Esses incentivos duraram, basicamente, até o fim do regime militar, em 1984.

Quanto ao nome dado ao produto, o etanol, conhecido popularmente como álcool combustível, possui comercialmente duas composições que lhe nomeia: o etanol hidratado e o etanol anidro. O etanol hidratado é o combustível comercializado nos postos de abastecimento e possui em sua composição entre 95,1% e 96% de etanol puro, o restante é água. O etanol anidro, também chamado de etanol puro ou etanol absoluto, possui pelo menos 99,6% de graduação alcoólica, e é um dos produtos misturado à gasolina vendida nos postos. Para se obter o etanol anidro é preciso passar o etanol hidratado pelo processo de desidratação, que ocorre com a destilação fracionada, em que se evapora a água, separando-a do álcool (VEDANA, 2013).

Quanto à consagração como combustível automotivo, a partir de 1985, como contextualiza Vedana (2013),

os veículos movidos a álcool atingiram 85% das vendas em todo o país, mas uma grande mudança provocada pela queda do preço do petróleo e a recuperação do preço do açúcar no mercado internacional provocaram desmotivação na produção nacional de etanol.

Em 1986, o governo retirou o subsídio ao álcool, o que reduziu o lucro da agroindústria e estimulou ainda mais o uso da cana para produção de açúcar para exportação. Como consequência, em 1989 faltou etanol nos postos de abastecimento do país, o que culminou na perda de confiança do consumidor brasileiro e na queda da venda de carros a etanol para 11,4% (1990) em todo o país.

Vedana (2013) ainda explana que, em 2002, com a volta da elevação do preço do petróleo, surgiu um novo interesse pelo etanol, mas a desconfiança não permitiu que a venda de carros crescesse como antes. Somente em 2005, com a disponibilização para o mercado dos motores *Flex Fuel* automotivos, motores que funcionam com etanol e/ou gasolina, é que o mercado do etanol voltou a crescer. Outro fator que contribuiu muito para a nova fase do também chamado combustível verde, no Brasil, é que o setor sucroalcooleiro passou a apresentar ganho em produtividade, enquanto o petróleo não reagia. Assim, a busca por combustíveis renováveis, menos poluentes e mais baratos transformou o etanol em uma grande chance para a economia brasileira e a melhor opção para a redução da emissão de gases do efeito estufa.

No campo da aviação, segundo Santos e Pavan (2006), em 1981 no Centro Técnico

Aeroespacial (CTA) – atual Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) – iniciaram-se as pesquisas do emprego do etanol como combustível de aviação. Após o aprimoramento dos estudos, o uso do etanol tornou-se possível em função das adaptações feitas no motor originalmente projetado para funcionar a gasolina de aviação. Assim, a realização do primeiro voo de uma aeronave convertida para a operação com Etanol Hidratado se deu em 11 de dezembro de 1985, com uma aeronave T-25 Universal de matrícula 1904.

2.2 Operacionalidade do motor à base de etanol

Operacionalidade é a probabilidade de um sistema ter um desempenho satisfatório, durante certo intervalo de tempo e em determinadas condições; ainda poder ser restaurado a uma condição definida, quando a manutenção é feita de acordo com os procedimentos e recursos técnicos logísticos especificados; e estar disponível quando acionado de uma forma aleatória num ponto do tempo (BERQUÓ, 2014). Dessa forma, a operacionalidade está ligada ao perfeito funcionamento do motor, quando operado com o novo combustível.

Em sua pesquisa, Maluf (1987, p. 664) demonstrou que

o motor a etanol apresenta desempenho superior a gasolina de aviação em termos de potência e rendimento global, porém com maior consumo em função do menor poder calorífico.

Quanto à durabilidade, Maluf (1987) provou que após 520 horas de funcionamento do motor convertido, em banco de provas, todas as peças estavam com as dimensões dentro das

tolerâncias especificadas no manual do motor e as amostras de óleo lubrificante não apresentaram contaminação, concluindo que é tecnicamente viável o uso do etanol em motores aeronáuticos a pistão.

De acordo com Zaghetto (2006), o álcool permite ao motor operar com taxa de compressão maior que a da gasolina, aumentando a potência de 5 a 10%. Este aumento de potência contribui para um aumento na razão de subida, um aumento na velocidade máxima do avião e uma distância menor para a decolagem. Rodrigues (2009) defende ainda que o motor a etanol opera com temperaturas mais baixas, favorecendo a manutenção. Na operação do motor com o etanol, notou-se que, na revisão geral, as peças internas apresentaram excelente preservação quanto a desgastes e baixa quantidade de depósito de resíduos. Isso pode, por meio de estudos e observações mais detalhadas, flexibilizar o aumento do tempo limite de vida e tempo entre revisões gerais desse motor, a critério do fabricante.

2.3 Economicidade do motor à base de etanol

A economicidade é a característica de um projeto, diretamente ligada aos investimentos financeiros para desenvolver e operar um novo produto. Um projeto que incorpora a economicidade em sua essência atrairá o interesse de investidores e consumidores. Segundo Torres (1991) a economicidade implica na eficiência do investimento sobre o lucro, fator este, essencial para que os projetos logrem êxito. Economicidade também está vinculada ao conceito da obtenção da melhor proposta para a efetuação da despesa, isto é, se o caminho

planejado foi o melhor e mais amplo, logo o mais eficiente (OLIVEIRA, 1990).

Em relação à economicidade da conversão do motor IO-540-K1D5 para o etanol, concluiu que o consumo, em volume, aumentaria de 30 a 35%, mas o custo da hora de voo diminuiria em função de o preço do etanol ser muito mais barato que a gasolina de aviação. Um exemplar foi usado por mais de 500 horas em bancada de teste durante os estudos de Maluf (1987). Outra evidência de economicidade do projeto é o fato de que o etanol pode ser produzido a partir de diversas fontes naturais, sendo a cana-de-açúcar a mais vantajosa em produtividade. Este insumo representa independência econômica sobre o mercado internacional de combustíveis fósseis, já que o Brasil é um dos maiores produtores do mundo (COSTA, 2011). Corroborando a economicidade, Silveira (2016) relata que a Indústria Aeronáutica Neiva, subsidiária da Embraer, também concluiu que o uso do álcool como combustível pode expandir de 20% a 80% o ciclo entre as revisões do motor, aumentando seu tempo entre inspeções de 1,5 mil horas, no caso da gasolina, para até 2 mil horas.

2.4 Sustentabilidade do motor à base de etanol

O etanol pode ser utilizado como uma alternativa de combustível sustentável uma vez que tem maior eficiência ecológica que a gasolina (COSTA, 2011). Assim, o etanol produz menos emissões de poluentes e, conseqüentemente, agride menos o meio ambiente, pois a emissão de CO diminui com o aumento da concentração de etanol no tanque. Corroborando as evidências apresentadas, o

estudo de Somavila e Gomes Neto (2003) registra que na combustão de combustíveis fósseis ocorre a liberação de dióxido de carbono – CO₂ em quantidades proporcionais à massa do combustível queimado. Esse dióxido de carbono liberado na atmosfera aumenta o efeito estufa e é chamado de ciclo de carbono positivo. No entanto, se o dióxido de carbono liberado na atmosfera for de um combustível de origem vegetal, como o etanol hidratado, não há acúmulo do gás poluente na atmosfera. Isso se dá, pois, a lavoura da cana de açúcar consumiu CO₂ no seu processo de fotossíntese, tornando o ciclo de carbono nulo ou negativo, o que evita o aumento do efeito estufa. Há de se pontuar que, para que o ciclo do carbono seja nulo ou negativo, toda cadeia produtiva do combustível precisa estar adaptada ao uso de insumos renováveis.

Além disso, segundo Rodriguez (2010), o uso de grande quantidade de água no processo da fabricação do etanol hidratado tem se tornado um desafio para a produção sustentável do Etanol. Atualmente na fase industrial da produção do etanol de cana-de-açúcar é utilizada uma demanda em torno de 11L de água por 1L de etanol. Com aplicação de novas práticas e novas tecnologias, esse cenário pode ser amenizado. Ele demonstra que no processamento da cana-de-açúcar dois produtos são gerados, o caldo e o melaço. Se o caldo for utilizado para a fabricação de açúcar e o melaço para a fabricação do etanol, em uma usina onde o circuito de água é fechado e tratado, este valor poderia ser reduzido para 3,6L de água por 1L de etanol, sem considerar a água da vinhaça e as perdas de lavagem da cana. Reutilizando a água

contida na vinhaça, poderiam atingir excedentes de 3L de água por 1L de etanol produzido.

Em um contexto global, o Brasil, signatário da Convenção das Nações Unidas sobre mudança do Clima - COP 21, que teve sua mais recente edição realizada em Paris, na França, em 12 de dezembro de 2015, acolheu, por meio de seus representantes, as metas de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025 e subsequentemente reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Assim, as metas assumidas na Convenção são as seguintes:

Artigo 2º

1. Este Acordo, ao reforçar a implementação da Convenção, incluindo seu objetivo, visa fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima, no contexto do desenvolvimento sustentável e dos esforços de erradicação da pobreza, incluindo:

(a) Manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais, e evitar esforços para limitar esse aumento da temperatura a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e os impactos da mudança do clima;

(b) Aumentar a capacidade de adaptação aos impactos negativos da mudança do clima e promover a resiliência à mudança do clima e um desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa, de uma maneira que não ameace a produção de alimentos; e

(c) Tornar os fluxos financeiros compatíveis com uma trajetória rumo a um desenvolvimento de baixa emissão de gases de efeito estufa e resiliente à mudança do clima.

2. Este Acordo será implementado de modo a refletir equidade e o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas as respectivas capacidades, à luz das diferentes circunstâncias nacionais (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU, 2015, p.25-26, grifo dos autores).

Os efeitos legais dessa última Convenção se concretizaram com a assinatura pelo Presidente

do Brasil à época, Michel Temer, e encaminhamento ao Secretário-Geral das Nações Unidas do documento intitulado “pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima”, o qual determinou o aumento da participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, expandindo o consumo de biocombustíveis, dentre eles o etanol.

Corroborando a importância dos estudos da COP-21 na área da aviação, a Organização da Aviação Civil Internacional - OACI, na sua 39ª Assembléia Geral realizada em 2016, aprovou, no mesmo ano, o CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*), que iniciará suas atividades em 2020, compelindo a indústria de aviação civil dos países signatários, do qual o Brasil também faz parte, a equilibrar ou compensar suas emissões de dióxido de carbono e gases do efeito estufa que estiverem acima da linha de crescimento neutro de carbono, tendo como referência o mesmo ano da efetividade.

2.5 Estudos para a conversão de motores de aeronave para o etanol

O Projeto do “Motor Aeronáutico a Etanol” foi idealizado no Centro Técnico Aeroespacial, atual DCTA, na década de 1980, com a participação da Lycoming, fabricante do motor. Este trabalho foi acompanhado pelo Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI) do DCTA, órgão responsável pela certificação de produtos aeronáuticos no Brasil. A finalidade do projeto era

desenvolver tecnologia para a conversão de motores aeronáuticos convencionais para o uso do etanol hidratado. Segundo a documentação estudada, essa iniciativa buscou oferecer alternativa ao uso da gasolina de aviação, a fim de mitigar as consequências causadas pela flutuação do preço e disponibilidade dos insumos do petróleo no mercado mundial, desta forma, reduzindo custos operacionais e preservando o meio ambiente (MALUF, 1987). A aeronave escolhida para este estudo foi o T-25 Universal da Força Aérea Brasileira, aeronave ensaiada pelos técnicos do DCTA, empregada para treinamento e formação dos pilotos da FAB.

Os estudos da conversão da gasolina de aviação para o etanol hidratado se deu nos sistemas nos quais o combustível interage com a aeronave, isto é: motores, tanques de combustível e linhas de transmissão. Durante estes estudos, foram feitos diversos testes, como a conversão simplificada proposta pelo programa. Nela, só se alterou a calibração da servo injetora de combustível. Essa conversão era mais econômica, pois pouco se alterava a configuração básica do avião e os resultados foram muito convincentes. No entanto, o uso continuado do etanol hidratado num sistema todo projetado para outro tipo de combustível, apresentou corrosão, demonstrando que esse processo deveria ser mais criterioso, a fim de receber a certificação necessária. Assim, foram realizados os ensaios de calibração, de vibração torcional, de detonação, de durabilidade, todos seguindo os requisitos FAR 33 (*Federal Aviation Regulations*), do órgão certificador americano, FAA (*Federal Aviation Authority*). Os resultados

destes ensaios estão registrados e arquivados no DCTA.

Em 1989, antes de se iniciar a campanha de ensaios em voo para verificação do comportamento do motor a etanol hidratado, operando nas condições reais, em comparação ao motor a gasolina original, o Projeto Motor Aeronáutico a Etanol foi interrompido. Isso ocorreu pela falta de recursos orçamentários e razões econômicas da época.

Os principais resultados alcançados pelo projeto, até sua descontinuidade, foram:

- Conclusão dos ensaios de calibração em dinamômetro, quando se observou que o rendimento térmico e a potência do motor estavam dentro do previsto (maior do que com gasolina), embora com um consumo, já esperado, maior de combustível;
- Funcionamento do motor com etanol mais hidratado sem problema para misturas ricas e altas cargas, falhando apenas com cargas baixas e misturas mais pobres;
- Conclusão dos ensaios de durabilidade, sem ocorrência de desgaste anormal;
- Realização do primeiro voo da aeronave T-25 Universal da FAB 1904, a fim de demonstrar à sociedade a viabilidade técnica da conversão a etanol, em 11 de dezembro de 1985.

A Neiva, subsidiária integral da Embraer, com base no trabalho realizado na década de 80 do projeto “Motor Aeronáutico a Etanol”, concluiu os estudos no motor e, em 2004, certificou sua nova aeronave EMB-202, apresentando o avião agrícola Ipanema movido a etanol hidratado, primeira aeronave do mundo a sair de fábrica

preparada para esse combustível (HAUSEN, 2011). Este evento também corroborou a viabilidade da conversão dos motores a gasolina para etanol.

2.6 Particularidades da conversão do motor IO-540-K1D5

A conversão de um motor aeronáutico é um desafio para a engenharia mecânica, pois implica em alterações de projeto de um produto aeronáutico já certificado pelos órgãos reguladores. Pelas características do etanol hidratado faz-se necessário uma conversão robusta, a fim de se garantir a continuidade da aeronavegabilidade da aeronave.

O motor IO-540-K1D5 é um motor convencional que funciona baseado no ciclo Otto, disposto em seis cilindros opostos horizontais, projetado originalmente para operar com gasolina de aviação. Segundo Rodrigues (2009), essa conversão engloba a troca de todo o sistema de combustível do motor, incluindo as bombas de combustível, as mangueiras, a injetora, filtros, anéis de vedação, drenos, válvulas e cablagem. Algumas adaptações também precisam ser implantadas na aeronave como a partida a frio instalada no bordo de ataque da raiz da asa esquerda, do sistema de indicação e registro, do sistema elétrico, das inscrições técnicas e do painel de instrumento. Assim, tal conversão é a mais onerosa, pois exige trabalho de engenharia que será analisado pelo órgão certificador. Esse motor convertido seria o que mais se assemelha a um motor projetado para o emprego específico do etanol.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo buscou investigar a viabilidade, do ponto de vista operacional, econômico e sustentável, da conversão dos motores das aeronaves T-25 Universal da AFA, para o uso do etanol. Assim, do ponto de vista de sua natureza, esta investigação trata-se de uma pesquisa aplicada, pois objetiva reunir conhecimentos e compilá-los para aplicação prática, e dirigidos aos anseios estratégicos da Força Aérea Brasileira. Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa percorre o campo bibliográfico e documental, sendo do tipo explicativa. A abordagem relativa à coleta e análise de dados é quantitativa.

3.1 Delineamento da pesquisa

A verificação da viabilidade da conversão dos motores das aeronaves T-25 Universal da AFA para o uso do etanol se dará por meio da análise de dados das horas voadas pela frota de T-25 Universal da AFA, nos anos de 2018, 2017 e 2016. Para tanto serão considerados o preço de mercado dos combustíveis, o valor da conversão dos motores e também os ganhos ambientais existentes em condições de voo operadas à base de etanol e de gasolina de aviação.

3.2 Procedimentos específicos

Com a finalidade de se fazer o levantamento econômico decorrente do uso do etanol, os dados foram extraídos do Sistema Integrado de Logística, Materiais e Serviços (SILOMS) e consultada a Seção de Operações Aéreas da AFA quanto às horas voadas por mês, em horas,

nas instruções com a aeronave Universal T-25 nos anos de 2016, 2017 e 2018.

As informações dos preços comercializados no mercado consumidor brasileiro para a venda do Etanol Hidratado foram obtidas no site governamental da Agência Nacional do Petróleo – ANP (BRASIL, 2016). Foi verificado que existe um banco de dados com a série histórica do levantamento de preços sobre os combustíveis automotivos no site governamental da ANP, incluindo o etanol hidratado. Assim, a ANP desenvolve uma pesquisa semanal de preços ao consumidor final e de distribuição, bem como das margens brutas de comercialização de gasolina comum, etanol hidratado combustível, óleo diesel não aditivado, Gás Natural Veicular (GNV) e Gás Liquefeito de Petróleo (GLP – botijão de 13 quilos) praticados por postos revendedores de combustíveis automotivos localizados em 501 municípios do país. Como a gasolina de aviação não é um combustível de ampla comercialização, a ANP não possui histórico do preço de venda do produto. Desta forma, foram escolhidos 5 fornecedores privados, selecionados nos aeródromos do Estado de São Paulo. Os cinco fornecedores foram selecionados no estado de São Paulo por ser este o estado em que está sediada a Academia da Força Aérea – AFA. Tal seleção visa aproximar os custos de compra e frete à realidade da frota estudada. Entretanto, após contatos telefônicos e mensagens eletrônicas enviadas aos 5 fornecedores, logrou-se êxito com apenas um fornecedor. Este concordou em compartilhar seu histórico de preço de venda da gasolina de aviação com os autores deste estudo, bem como autorizou que

estas informações fossem tratadas e divulgadas.

3.3 Análise dos dados

Os dados obtidos a partir do SILOMS foram analisados descritivamente, de forma a permitirem que fossem realizadas as inferências pretendidas quanto ao uso de etanol na aeronave Universal T-25 da FAB. As horas de voo nas instruções com a aeronave Universal T-25 nos anos de 2016, 2017 e 2018, obtidas a partir de dados extraídos do SILOMS, foram tabeladas e usadas para se determinar a quantidade de litros de gasolina de aviação utilizada, além de estimar a quantidade em litros de etanol que seria usada caso os motores estivessem convertidos. Os valores de comercialização de etanol hidratado e gasolina de aviação serão utilizados, com uma base mensal, para que seja feita a comparação de custos para a realização das instruções nos anos de 2016, 2017 e 2018 com ambos os combustíveis, a partir de uma subtração simples dos valores encontrados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dos grandes ganhos da utilização do combustível renovável se dá na forma como o carbono liberado na combustão interage no ambiente. Um combustível de origem fóssil elimina carbono sempre positivamente, contribuindo para o aumento do efeito estufa, pois o carbono que está depositado nas reservas, não polui a natureza até serem consumidos pelo homem. Um combustível de origem vegetal, como o etanol, por meio do ciclo de vida da cana de açúcar, que absorve carbono durante seu

desenvolvimento, elimina, no máximo, essa mesma quantidade absorvida pela planta, quando queimado (SOMAVILA; GOMES NETO, 2003). Dessa forma, conforme Costa (2011), a taxa de carbono que a queima do álcool lança na atmosfera é nula ou até negativa, pois o CO₂ liberado é, no máximo, igual ao usado pelas plantas na fotossíntese, agredindo menos o meio ambiente e evitando o aumento do efeito estufa.

Para se obter uma base de custo da conversão para álcool que seja aceita num processo de certificação, consultou-se o setor de Suporte do Produto da Embraer em Botucatu-SP. Foi tomado como base o motor da aeronave Ipanema, modelo IO-540 da série k, a mesma do Universal T-25. De acordo com esse setor, o custo total desta conversão era, no mês de maio de 2019, cerca de R\$ 200.000,00. Desta forma, tendo em vista que a FAB possui seu corpo de engenheiros, técnicos especialistas e o IFI como órgão certificador para suas oficinas, este custo seria reduzido apenas ao valor do material a ser empregado na conversão.

Em relação à economicidade da conversão do motor IO-540-K1D5 para o etanol hidratado, os estudos de Maluf (1987) concluíram que o

consumo, em volume, aumentaria em média 30%. Isso evidencia que uma aeronave abastecida com etanol, estaria abastecida com 30% menos combustível. No entanto, isso não chegaria a apresentar nenhum problema para muitas aplicações, tal como a de treinamento, pois os voos são realizados em uma área predeterminada e os pousos para reabastecimento compensariam a economia financeira.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os dados obtidos junto à Agência Nacional do Petróleo e fornecedor privado, respectivamente. Os preços do etanol, extraídos deste sítio, estão refletidos mensalmente, na Tabela 1, para os anos de 2016, 2017 e 2018.

Tabela 1 – Estimativa do Consumo de etanol hidratado em litros e em reais por mês

	Etanol hidratado	Horas voadas T-25	Consumo Etanol L/h	Consumo Etanol/L/mês	Consumo Etanol/R\$/mês
jan/16	R\$/L 2,71	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 174.909,68
fev/16	R\$/L 2,80	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 180.701,39
mar/16	R\$/L 2,86	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 184.626,88
abr/16	R\$/L 2,74	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 176.389,78
mai/16	R\$/L 2,47	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 159.465,11
jun/16	R\$/L 2,46	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 158.692,89
jul/16	R\$/L 2,43	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 156.633,61
ago/16	R\$/L 2,48	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 159.915,58
set/16	R\$/L 2,51	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 161.524,39
out/16	R\$/L 2,67	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 172.206,88
nov/16	R\$/L 2,81	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 180.958,80
dez/16	R\$/L 2,83	726:30:00	88,58	64352,34	R\$ 182.181,49
TOTAL NO ANO		8718:00:00		772228,18	R\$ 2.048.206,54
jan/17	R\$/L 2,91	248:55:00	88,58	21871,53	R\$ 63.646,15
fev/17	R\$/L 2,88	536:00:00	88,58	47478,12	R\$ 136.926,91
mar/17	R\$/L 2,74	1064:30:00	88,58	94291,91	R\$ 258.831,30
abr/17	R\$/L 2,63	804:45:00	88,58	71283,62	R\$ 188.117,48
mai/17	R\$/L 2,58	1118:55:00	88,58	99112,065	R\$ 256.105,57
jun/17	R\$/L 2,48	986:55:00	88,58	87419,69	R\$ 217.237,93
jul/17	R\$/L 2,46	1074:35:00	88,58	95185,08	R\$ 234.155,29
ago/17	R\$/L 2,61	827:50:00	88,58	73328,31	R\$ 191.460,22
set/17	R\$/L 2,63	1089:35:00	88,58	96513,75	R\$ 254.120,72
out/17	R\$/L 2,66	1124:50:00	88,58	99636,15	R\$ 265.829,26
nov/17	R\$/L 2,79	752:05:00	88,58	66618,48	R\$ 185.865,57
dez/17	R\$/L 2,87	270:20:00	88,58	23945,74	R\$ 68.939,80
TOTAL NO ANO		9899:15:00		876684,48	R\$ 2.321.236,25
jan/18	R\$/L 2,98	343:30:00	88,58	30426,74	R\$ 90.793,41
fev/18	R\$/L 3,02	584:30:00	88,58	51774,18	R\$ 156.513,37
mar/18	R\$/L 3,03	792:40:00	88,58	70213,29	R\$ 212.886,72
abr/18	R\$/L 2,97	1174:45:00	88,58	104057,70	R\$ 309.259,49
mai/18	R\$/L 2,81	912:15:00	88,58	80805,82	R\$ 227.145,16
jun/18	R\$/L 2,93	938:15:00	88,58	83108,86	R\$ 243.758,30
jul/18	R\$/L 2,78	835:05:00	88,58	73970,50	R\$ 206.007,86
ago/18	R\$/L 2,65	873:00:00	88,58	77329,11	R\$ 205.386,12
set/18	R\$/L 2,79	733:05:00	88,58	64935,49	R\$ 181.689,50
out/18	R\$/L 2,93	805:40:00	88,58	71364,82	R\$ 209.384,38
nov/18	R\$/L 2,91	432:50:00	88,58	38339,76	R\$ 111.837,10
dez/18	R\$/L 2,82	210:30:00	88,58	18645,79	R\$ 52.730,30
TOTAL NO ANO		8636:05:00		764972,11	R\$ 2.207.391,75

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Quanto à gasolina de aviação, o cenário apresentado é o oposto, pois não foram encontrados na literatura disponível os mesmos dados históricos, o que nos levou a buscar as informações sobre o preço de comercialização deste combustível em comerciantes privados. De todos os cinco fornecedores que foram consultados, apenas Mildo Alves Administração

Comércio e Transportes Ltda. RASJO – Revendedor de Aviação do Aeroporto São José dos Campos – SP nos informou seu histórico de preços praticado no mesmo período acima.

A Tabela 1 apresenta uma estimativa do consumo do etanol hidratado por hora de voo, tendo por base os estudos de Maluf (1987), que comprovou ser o consumo com etanol 30% maior

que na gasolina de aviação, em regime de manual de operação do motor da aeronave, cruzeiro. O regime de cruzeiro é o modo de apresenta o consumo de gasolina de aviação por operação do motor da aeronave em que se dá a hora de voo, no mesmo regime de operação. maior parte do voo. A Tabela 2, de acordo com o

Tabela 2 – Consumo de gasolina de aviação em litros e em reais por mês

	Gasolina de Aviação	Horas voadas T-25	Consumo AvGas L/h	Consumo AvGas/L/ mês	Consumo AvGas/R\$/mês
ian/16	R\$/L 6,78	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 335.691,54
fev/16	R\$/L 6,78	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 335.691,54
mar/16	R\$/L 6,57	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 325.294,02
abr/16	R\$/L 6,60	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 326.779,38
mai/16	R\$/L 6,87	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 340.147,63
jun/16	R\$/L 6,78	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 335.691,54
jul/16	R\$/L 6,61	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 327.274,50
ago/16	R\$/L 6,78	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 335.691,54
set/16	R\$/L 6,78	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 335.691,54
out/16	R\$/L 6,78	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 335.691,54
nov/16	R\$/L 6,78	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 335.691,54
dez/16	R\$/L 6,78	726:30:00	68,14	49512,02718	R\$ 335.691,54
TOTAL NO ANO		7991:30:00		544632,2989	R\$ 4.005.027,88
ian/17	R\$/L 6,54	248:55:00	68,14	16842,99252	R\$ 110.153,17
fev/17	R\$/L 6,54	536:00:00	68,14	36521,63568	R\$ 238.851,50
mar/17	R\$/L 6,54	1064:30:00	68,14	72542,46162	R\$ 474.427,70
abr/17	R\$/L 6,72	804:45:00	68,14	54848,88747	R\$ 368.584,52
mai/17	R\$/L 6,72	1118:55:00	68,14	76258,78788	R\$ 512.459,05
jun/17	R\$/L 6,77	986:55:00	68,14	67264,65372	R\$ 455.381,71
jul/17	R\$/L 6,77	1074:35:00	68,14	73231,21697	R\$ 495.775,34
ago/17	R\$/L 6,77	827:50:00	68,14	56423,42876	R\$ 381.986,61
set/17	R\$/L 6,82	1089:35:00	68,14	74253,27767	R\$ 506.407,35
out/17	R\$/L 6,82	1124:50:00	68,14	76660,23062	R\$ 522.822,77
nov/17	R\$/L 6,82	752:05:00	68,14	51246,69131	R\$ 349.502,43
dez/17	R\$/L 7,18	270:20:00	68,14	18426,6188	R\$ 132.303,12
TOTAL NO ANO		18617:15:00		1268665,209	R\$ 4.548.655,29
ian/18	R\$/L 7,18	343:30:00	68,14	23415,41064	R\$ 168.122,65
fev/18	R\$/L 7,18	584:30:00	68,14	39836,51922	R\$ 286.026,21
mar/18	R\$/L 7,18	792:40:00	68,14	54023,85736	R\$ 387.891,30
abr/18	R\$/L 8,11	1174:45:00	68,14	80059,71807	R\$ 649.284,31
mai/18	R\$/L 8,11	912:15:00	68,14	62163,43521	R\$ 504.145,46
jun/18	R\$/L 8,11	938:15:00	68,14	63935,00709	R\$ 518.512,91
jul/18	R\$/L 8,45	835:05:00	68,14	56902,09385	R\$ 480.822,69
ago/18	R\$/L 8,45	873:00:00	68,14	59483,93274	R\$ 502.639,23
set/18	R\$/L 8,77	733:05:00	68,14	49952,08109	R\$ 438.079,75
out/18	R\$/L 9,26	805:40:00	68,14	54909,6433	R\$ 508.463,30
nov/18	R\$/L 9,26	432:50:00	68,14	29509,16366	R\$ 273.254,86
dez/18	R\$/L 9,26	210:30:00	68,14	14353,1391	R\$ 132.910,07
TOTAL NO ANO		8636:05:00		588544,0013	R\$ 4.850.152,73
TOTAL 16, 17 e 18		35244:50:00		2401841,509	R\$ 13.403.835,89

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Como se pode observar no Quadro 1, caso a FAB estivesse operando com etanol hidratado ao invés de gasolina de aviação nos anos analisados, teria economizado R\$ 6.807.481,07

nos custos destinados ao combustível das aeronaves da AFA. Este valor equivale ao custo da conversão de 34 aeronaves, a R\$ 200.000,00

cada uma, realizadas por oficinas civis homologadas, como a Embraer.

Quadro 1 - Comparativo do custo de horas de voo gasolina de aviação X etanol hidratado

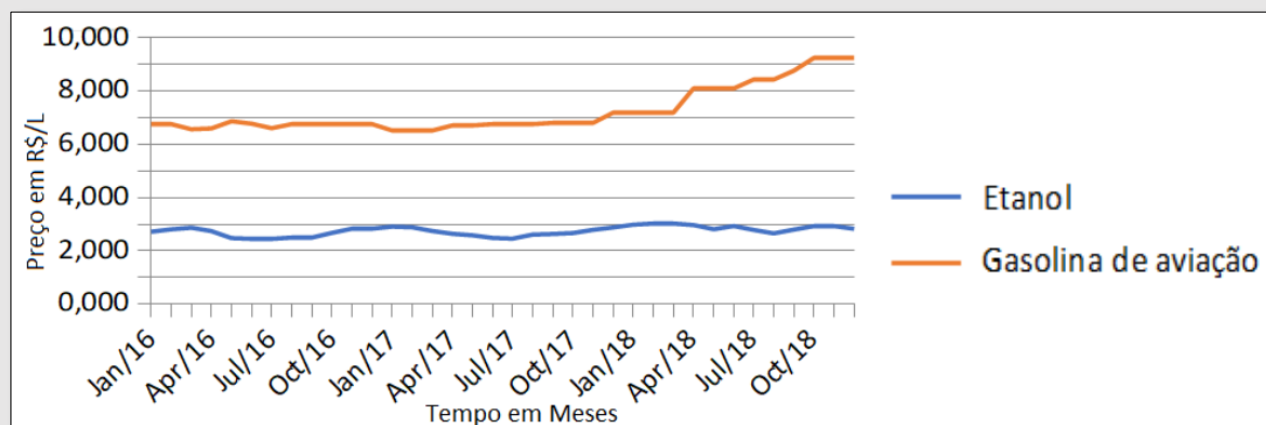
Descrição	Tipo de Combustível	Período	Custo
Custo de horas de voo	etanol hidratado	2016/2017/2018	R\$ 6.576.834,56
Custo de horas de voo	gasolina de aviação	2016/2017/2018	R\$ 13.403.835,89
Economia			R\$ 6.827.001,34
Quantidade de aeronaves convertidas com a economia	34		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

O registro da evolução histórica do preço dos dois combustíveis é importante, pois evidencia a flutuação de seus reajustes em função do tempo. Assim, o Gráfico 1 mostra, no período de 2016 a 2018, os preços praticados na venda a varejo da gasolina de aviação e do etanol hidratado. Nesse período, a média do preço da gasolina de aviação foi de R\$ 7,25, com

bruscas flutuações e a do etanol hidratado R\$ 2,74, mais estável, evidenciando mais de 50% de diferença no período observado. Como visto no fim de 2017 e início de 2018, o aumento do preço da gasolina de aviação, se deu em virtude da interrupção, pela Petrobras, da fabricação do insumo no país e início de sua importação da Europa.

Gráfico 1 – Comparativo do custo da gasolina de aviação X etanol hidratado em R\$ por Litro.



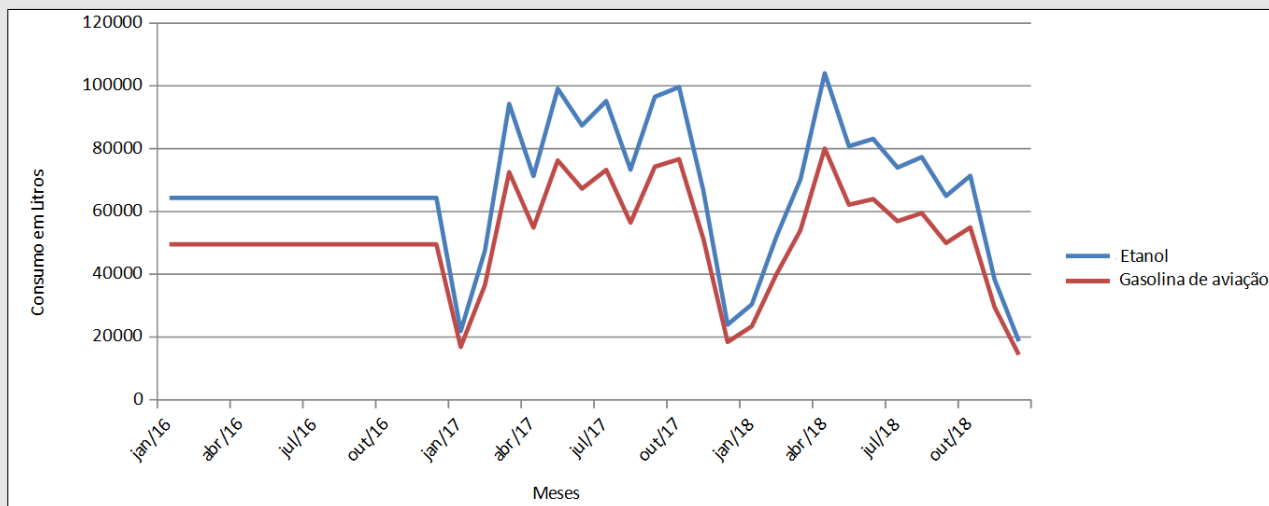
Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

O Gráfico 2 mostra, no mesmo período, o comparativo mensal do consumo em litro dos dois combustíveis. Esse gráfico evidencia o consumo do Etanol Hidratado 30% maior que a gasolina de aviação. As informações do

consumo real da frota foram disponibilizados, para os anos de 2017 e 2018, mensalmente; e para o ano de 2016 foi informado o total anual. A fim de alimentar as planilhas para análise dos dados do trabalho, este valor anual foi dividido

por doze (meses), o que culminou em um consumo aparentemente constante e nas linhas retas neste gráfico.

Gráfico 2 – Comparativo do consumo da gasolina de aviação X etanol hidratado em L/mês



Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

A seguir é apresentado um quadro-síntese elencados nesta investigação. (Quadro 2) das possibilidades diante dos dados

Quadro 2 – Ganhos e limitações da conversão do motor IO-540 da série K do T-25 de gasolina de aviação para etanol hidratado

Aspecto	Área	Características
Operacional	Ganhos	Maior disponibilidade do etanol no mercado interno; Desempenho maior em termos de potência e rendimento global; Aumento da potência de 5 a 10%; Aumento na razão de subida; Aumento na velocidade máxima do avião; Diminuição na distância de decolagem.
	Limitações	Diminuição da autonomia, caso o tanque seja mantido o mesmo; Maior consumo de combustível.
Econômico	Ganhos	Preço do litro de etanol, em média 50% mais barato; Mesma durabilidade mecânica do motor a gasolina de aviação; Possibilidade de expansão do intervalo entre revisões e <i>Time Between Overhaul</i> (TBO - tempo entre revisão geral); Custo da hora de voo menor; Independência econômica.
Sustentável	Ganhos	O etanol contém 35% de oxigênio, e possui uma combustão com menor emissão de material particulado em comparação com derivados do petróleo; Emissão de menores taxas de CO, HC e NOX; Sem emissão de enxofre; Não possui tolueno em sua composição.
	Limitações	Uso da água no processo de fabricação do etanol.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019.

Todos os aspectos envolvendo a conversão do motor aeronáutico demonstraram sua viabilidade: sustentável pela preservação do meio ambiente, economia financeira e a ampliação do uso operacional. Em função disso, ela é aconselhada pelos técnicos e já executada em um projeto muito parecido com o Universal T-25, o EMB 202 Ipanema certificado a etanol hidratado.

5. CONCLUSÕES

É possível considerar que o acesso aos meios de transportes eficientes, o conforto disponibilizado pelas indústrias e a ocupação do território foram trocas entre o meio e o homem. O custo pago pelo meio ambiente ocasionou a degradação da camada de ozônio, assim como a poluição atmosférica. Assim, se faz imperioso repensar o modo pelo qual a humanidade tem interagido com a natureza, levando em conta suas consequências e o futuro do planeta. Dessa forma, tendo em vista a responsabilidade das Instituições, a exemplo da Força Aérea Brasileira, muito se pode fazer para reduzir os efeitos negativos gerados e otimizar os ganhos operacionais.

Em virtude do exposto, elencamos neste trabalho a necessidade de se continuar o debate sobre a importância da conversão dos motores a combustão interna da Academia da Força Aérea por um combustível sustentável. As evidências acadêmicas e práticas revelam que a ampliação do uso do etanol hidratado nacional, na matriz energética militar, colaboraria para a manutenção da soberania nacional, haja vista a independência de combustíveis fósseis, muitas vezes de domínio de nações estrangeiras

(MALUF, 1987; RODRIGUES, 2009). Somado a isto, o uso do etanol colaboraria na preservação de reservas naturais e do meio ambiente, com a redução da emissão de gases nocivos e causadores do efeito estufa, que é uma preocupação global. É possível levantar a questão de que a implementação de tal conversão nas aeronaves T-25 Universal da AFA não causaria uma mudança significativa no quadro ecológico global, haja vista a comparação do tamanho de uma frota de 34 aeronaves versus a frota mundial, que em sua maioria voa com combustível fóssil. Entretanto, a preservação ambiental, por menor que seja, reflete em benefícios que não podem ser mensurados monetariamente, tendo em vista os valores agregados a ela. Hoje, por meio de seus regulamentos e orientações ao efetivo, percebemos o massivo envolvimento da Força Aérea Brasileira - FAB com a sustentabilidade ambiental.

Corroborando a busca por uma atuação mais sustentável, o Plano Estratégico Militar da Aeronáutica – PCA11-47 (BRASIL, 2018a) viabilizou o Programa de Eficiência Energética, amparado na Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, regulada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) na qual prevê, como objetivo principal, produzir energia limpa e sustentável, diversificar a matriz energética com a instalação de fontes de energia renováveis em pontos estratégicos das diversas Guarnições de Aeronáutica. Também é possível pontuar o Plano de Infraestrutura da Aeronáutica – PCA 11-201 (BRASIL, 2018b) que orienta ações de sustentabilidade, energia alternativa e programas ambientais. Assim, retomar o projeto da

conversão das aeronaves T-25 Universal para o uso do etanol, tendo comprovada sua viabilidade do ponto de vista operacional, econômico e sustentável, é acenar para o seu povo e para o mundo que cuidar do nosso planeta, sem perder o foco na sua missão, é um compromisso com a sobrevivência das gerações futuras, fato que potencialmente será visto com orgulho e esperança por aqueles que sonham com a preservação do Brasil e do planeta.

REFERÊNCIAS

AEROMOT Aeronaves e Motores. **Manual de manutenção Aeronave T-25 Universal**. Goiânia: ALIANÇA AVIAÇÃO, 2015. 892 p.

BERQUÓ, J.E. **Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**: O trinômio da Operacionalidade. *Melhore Seus Conhecimentos (MSC)*, out. 2014. Disponível em: <http://www.dcabr.org.br/download/artigos/msc49.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional do Petróleo (ANP). **Série histórica do levantamento de preços**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/levantamento-de-precos/serie-historic-a-levantamento-precos>. Acesso em: 05 jun. 2019.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. **Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018-2027**: PCA 11-47. Brasília, DF, 2018a.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. **Plano de Infraestrutura da Aeronáutica**: PCA 11-201. Brasília, DF, 2018b.

COSTA, A.A.S. **Caracterização de motor aeronáutico utilizando misturas de gasolina de aviação e etanol**: aspectos fluidodinâmicos, termodinâmicos e ecológicos. 2011, 178 f. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, 2011.

HAUSEN, R.B. **Sistematização de conhecimento para o projeto de motor a etanol para aeronave agrícola**. Orientador: Leonardo Nabaes Romano. 2011. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

LEITE, R.C.C.; CORTEZ, L.A.B. **O etanol combustível no Brasil**. *Revista Biocombustíveis no Brasil: Realidades e Perspectivas*. Brasília: Ministério das Relações Exteriores, 2008.

MALUF, F.C. Uso do etanol em motores aeronáuticos a pistão. *In: IV SIMEA – Simpósio de Engenharia Automotiva*. São Paulo: [s.i.], 1987.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, Santa Maria, n. 16, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/eed/article/view/3442>. Acesso em: 05 jun. 2019.

OLIVEIRA, R.F.; HORVATH, E.; TAMBASCO, T.C.C. **Manual de Direito Financeiro**. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 1990, 94 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Convenção Quadro sobre Mudança do Clima, 2015**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2016/04/Acordo-de-Paris.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

RODRIGUES, S. **Álcool combustível para aeronaves**: combustíveis alternativos e preservação do meio ambiente. Trabalho de Conclusão de Curso (tecnólogo em Manutenção de Aeronaves) – Universidade Tuiuti do Paraná, Faculdade de Ciências Aeronáuticas, Curitiba, 2009.

RODRÍGUEZ, M.F.C. **Uso de água na produção de etanol de cana de açúcar**. 2010, 198 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/265125/1/ChavezRodriguez_MauroFrancisco_M.pdf. Acesso em: 05 jun. 2019.

SANTOS, B.M.; PAVAN, C.J.S. **O álcool como combustível na aviação**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Jornalismo) - Universidade do Vale do Paraíba, Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas e Comunicação, São José dos Campos, 2006, 4 f. Disponível em: <http://biblioteca.univap.br/dados/00002a/00002ab6.pdf>. Acesso em: 09 out. 2019.

SILVEIRA, V. Mistura em pleno voo. **Scientific American** Brasil, n. 44, jan. 2016.

SOMAVILA, C.; GOMES NETO, E. **Célula a Combustível: Gás Natural & Etanol; H 2 Fuel Cell Energy**; Brasil; Paraná; 2003.

TORRES, R.L.O Tribunal de Contas e o controle da legalidade, economicidade e legitimidade. **Revista do TCE/RJ**, Rio de Janeiro, n. 22, p. 37-44, jul.1991.

VEDANA, J.C. **Contextualização histórica do etanol**. Disponível em: <https://www.novacana.com/estudos/contextualizacao-historica-do-etanol-120913>. Acesso em: 03 mai. 2019.

ZAGHETTI Jr.F. Emprego do álcool etílico nos motores aeronáuticos alternativos. **Revista CFOE**, Belo Horizonte, p. 25-37, 04 dez. 2006.